Broj rada: 5.3
DOI: 10.65156/wws.sjdp.si.025

TEHNOLOGIJA ZAVARIVANJA NOSEĆE ČELIČNE KONSTRUKCIJE NA PROJEKTU „NACIONALNI STADION“ BEOGRAD

WELDING TECHNOLOGY OF LOAD-BEARING STEEL STRUCTURE ON THE “NATIONAL STADIUM” PROJECT, BELGRADE

Dimitrije Maljević[1], dipl.ing., IWE, IWI-C, Liu Zengjun[2], dipl.ing., Jovica Stevanović[3], dipl.ing., IWE, IWI-C

[1]CSCEC Steel, Kumanovska 32, 11000 Beograd, [2] CSCEC Steel, Kumanovska 32, 11000 Beograd, [3] Project Biro Utiber doo, Temerinska 76, 21000 Novi Sad, Srbija

dimitrije.maljevic.pr@outlook.com; liuzengjun@csceсsteel.com; j.stevanovic@utiber.rs

Rezime: Za potrebe izgradnje Nacionalnog Stadiona u Surčinu, u prvoj fazi izvođenja radova, izvršeno je ukrupnjavanje i konačna montaža noseće čelične konstrukcije – fasadnih stubova. Konstrukcija fasadnih stubova služi za oslanjanje krovne konstrukcije, čija se montaža vrši u drugoj fazi radova. Prema Projektu, konstrukcija se izvodi u klasi EXC4, prema EN ISO 1090-2:2024.
Fasadna konstrukcija je prostorna čelična konstrukciju, sastavljena od glavnih vertikalnih i koso postavljenih čeličnih cevi dimenzija Ø762x20, Ø914x20 i Ø914x30 mm, koje su međusobno spojene sekundardnim čeličnim kutijastim profilima dimenzija 550x340x15x20 mm.
Ovim radom dat je prikaz tehnologije zavarivanja primenjene tokom izvođenja radova na montaži.

Ključne reči: Nacionalni Stadion, tehnologija zavarivanja, montaža čelične konstrukcije, postupak zavarivanja 136, čelik S355J2

***Abstract*:** For the purpose of building the National Stadium in Surčin, in the first phase of the works, consolidation and final assembly of the supporting steel structure - facade columns - was carried out. The construction of the facade columns serves to support the roof structure, the assembly of which is carried out in the second phase of the works. According to the Project, the construction is performed in class EXC4, according to EN ISO 1090-2:2024.
The facade construction is a three-dimensional steel construction, composed of main vertical and obliquely placed steel pipes with dimensions Ø762x20, Ø914x20 and Ø914x30 mm, which are interconnected by secondary steel box profiles with dimensions 550x340x15x20 mm.
This paper presents the welding technology applied during assembly work.

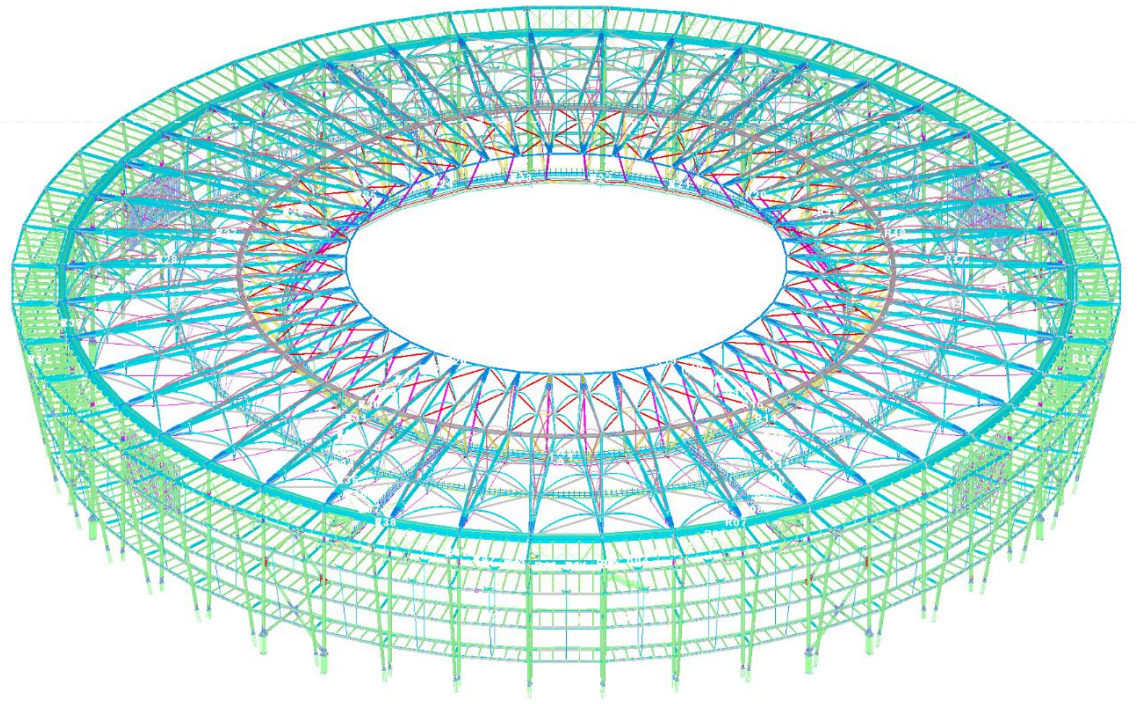
Keywords: National Stadium, welding technology, assembly of steel structure, procedure 136, steel S355J2

1. UVOD

Izgradnja velikih sportskih objekata najčešće zahteva montažu prostornih čeličnih konstrukcija velikih raspona i visina, kod kojih se zbog gabarita i mase, transport i montaža, po pravilu odvijaju u više faza, uz ukrupnjavanje elemenata neposredno na gradilištu. Celokupna montaža čelične konstrukcije na projektu „Nacionalni Fudbalski Stadion“ podeljena je u dve faze: u prvoj fazi je zavarena i montirana prostorna noseća čelična konstrukcija fasadnih stubova, koju čine čelične cevi dimenzija Ø762x20, Ø914x20 i Ø914x30, dok je u drugoj fazi predviđena montaža čelične konstrukcije krova. 3d model „Nacionalnog Fudbalskog Stadiona“ prikazan je na slici 1.

Fasadni stubovi Nacionalnog Stadiona u Surčinu predstavljaju noseću prostornu konstrukciju sastavljenu od glavnih (oslonačkih) i sekundarnih kutijastih elemenata, koja u drugoj fazi izvođenja preuzima opterećenje krovne konstrukcije. Zbog transportnih ograničenja, glavne (noseće) cevi su iz fabrike izvođača radova, kineske kompanije „CSCEC Steel“ isporučene kao podsklopovi, sačinjeni od dva elementa, čije je spajanje u montažnu celinu, sučeonim zavarivanjem, izvedeno na gradilištu. Sekundarni elementi su na gradilište isporučeni kao gotovi elementi i sa glavnim cevima su spojeni zavrtanjskim vezama. Ukupan broj montažnih sklopova glavnih cevi, formiranih zavarivanjem na gradilištu, iznosi 44 komada.

Cilj rada je da se, na primeru ukrupnjavanja i montaže noseće čelične konstrukcije Nacionalnog Stadiona u Surčinu, prikaže primenjena tehnologija zavarivanja, organizacija izvođenja radova i sprovedena kontrola kvaliteta. Rad treba da posluži kao praktičan prikaz rešenja i iskustava primenjivih u sličnim projektima montažnog zavarivanja velikih cevastih čeličnih konstrukcija.



Slika 1: 3d model čelične konstrukcije Nacionalnog Stadiona

Kvalitet osnovnog materijala

Za izradu čelične konstrukcije projektom je određen čelik prema standardu EN ISO 10210-1:2008 [1], čije su hemijske i mehaničke karakteristike prikazane u tabelama 1 i 2.

Tabela 1: Hemijski sastav osnovnog materijala prema EN ISO 10210-1:2008

Red. br.	Oznaka po EN ISO 10210-1	C max. [%]	Mn max. [%]	Si max. [%]	P max. [%]	S max. [%]	CEV max. [%]
1.	S355J2H	0,22	1,60	0,55	0,030	0,030	0,47

Tabela 2: Mehaničke karakteristike osnovnog materijala prema EN ISO 10210-1:2008

Red. br.	Oznaka po EN ISO 10210-1	Gornji napon tečenja R_{EH} [N/mm^2]	Zatezna čvrstoća R_m [N/mm^2]	Izduženje A_5 min %	Žilavost KV [J]
1.	S355J2H	345	470÷630	22	27 (-20°C)

Čelik određen projektom za ugradnju u konstrukciju fasade pripada grupi nelegiranih konstruktivnih čelika, tj. grupi 1.2, prema EN ISO 15608:2025 [2]. Najveća vrednost ugljeničnog ekvivalenta (CEV), zasnovana na analizi šarže, prikazana je u tabeli 1, prema EN ISO 10210-1:2008 [1]. Na osnovu preporuka iz standarda EN ISO 1011-1:2012 [3] i EN ISO 1011-2:2007 [4] i s obzirom na projektovanu klasu kvaliteta izvođenja konstrukcije EXC4, za sučeono zavarene spojeve cevi, potrebno je predgrevanje pre izvođenja zavarivanja, kao i održavanje temperature do završetka zavarivanja.

Na osnovu podataka o hemijskim i mehaničkim karakteristikama osnovnog materijala, dimenzijama i vrsti žlebova, kao i položaju zavarivanja, korišćen je postupak zavarivanja oznake 136, prema EN ISO 4063:2023 [5]: 136 – elektrolučno zavarivanje punjenom žicom u zaštiti aktivnog gasa.

Kvalitet dodatnog materijala

Za postupak zavarivanja 136, prema EN ISO 17632-A:2017 [6], odabrana je punjena žica oznake: **T 42 2 P C 2 H10.** Zavarivanje se vrši u zaštiti aktivnog gasa CO_2, klasifikacija prema EN ISO 14175:2009 [7]. Pri zavarivanju u zaštiti gasa CO_2 izabrane žičane elektrode daju metal šava čije su karakteristike navedene u tabeli 3 i tabeli 4.

Tabela 3: Hemijski sastav čistog metala šava

Žičana elektroda	C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Cr [%]	Ni [%]
T 42 2 P C 2 H10	0,053	0,32	1,31	0,0099	0,0074	0,066	0,012

Tabela 4: Mehaničke karakteristike čistog metala šava

Žičana elektroda	Gornji napon tečenja R_{EH} [N/mm^2]	Zatezna čvrstoća R_m [N/mm^2]	Izduženje A_5 [%]	Žilavost KV [J]
T 42 2 P C 2 H10	≥ 420	500-640	≥ 20	≥ 47 (-20°C)

Komercijalna oznaka navedene žičane elektrode glasi: THY-51B, proizvođača Tianjin Bridge Welding Materials Group Co. Ltd.

Priprema žlebova za zavarivanje

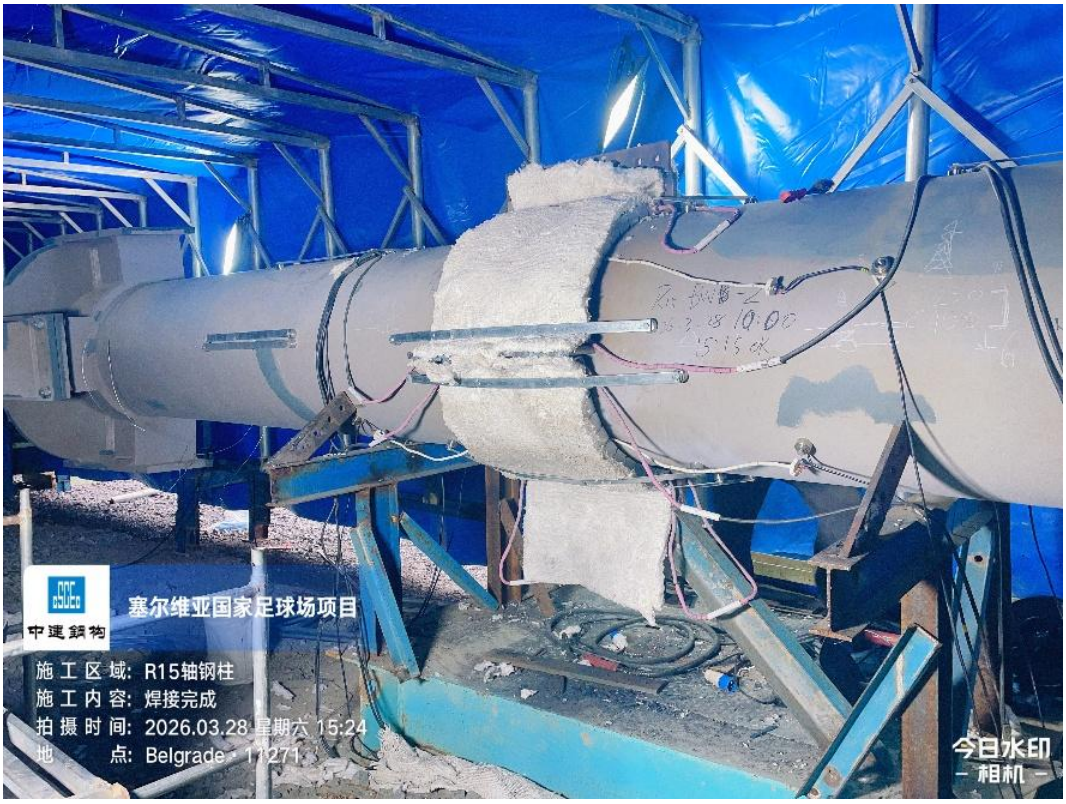
Stranice žlebova za zavarivanje su pripremljene u fabrici čelične konstrukcije u Kini, kompanije „CSCEC Steel“. Oblici i dimenzije tako dobijenih žlebova su prikazani u tehnološkim listama i u skladu su sa standardom EN ISO 9692-1:2014 [8].

Za sve spojeve, pre početka zavarivanja, proverava se da li je geometrija spoja pripremljena u skladu sa WPS listom. Za spojeve sa potkorenom trakom, potrebno je da potkorena traka koja ostaje u sastavu žleba bude kontinualna, bez prekida. Potkorena traka se postavlja uz osnovni materijal na takav način da ne postoje bilo kakvi zazori, kao što je prikazano u WPS-u**.**

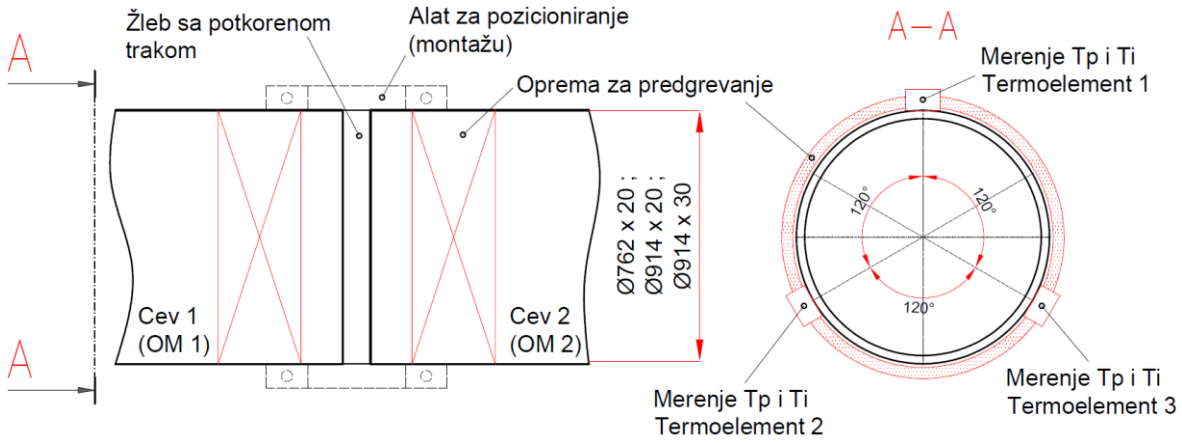
Izvođenje pregrevanja

Predgrevanje elemenata vršeno je električnim grejačima, uz kontrolu temperature predgrevanja i izradom zapisa. Temperatura predgrevanja je održavana tokom procesa zavarivanja. Izvođenje i kontrolisanje celokupnog procesa, vršeno je u skladu sa EN ISO 13916:2025 [9].

Oprema za izvođenje procesa i šematski prikaz rasporeda termoelemenata prikazani su na slici 2 i slici 3.



Slika 2: Oprema za mašinsko predgrevanje



Slika 3: Šematski prikaz opreme za mašinsko predgrevanje sa rasporedom termoelemenata

Parametri zavarivanja

U tehnološke liste uneta je priprema žlebova prema EN ISO 9692-1:2014 [8], kao i svi potrebni podaci za izvođenje konkretnog zavarenog spoja, u koje spadaju: broj prolaza [1–n], prečnik dodatnog materijala [mm], protok zaštitnog gasa [l/min], jačina struje zavarivanja [A], napon [V], vrsta struje [polaritet DC ±], brzina zavarivanja [cm/min] i uneta toplota [kJ/cm]. WPS lista prema kojoj je zavarivanje izvedeno je data u nastavku, na slici 4.

Način i redosled izvođenja zavarivanja

Zavarivanje ove konstrukcije zasniva se na odredbama normi standarda EN ISO 1090-2:2024 [10] i svih drugih standarda koji se odnose na zavarivanje čeličnih konstrukcija, i pripada klasi izvođenja EXC4.

Formiranje montažne celine glavnih nosećih cevi obavljano je kroz sledeće faze: (1) postavljanje dva podsklopa na prethodno nivelisanu montažnu platformu; (2) njihovo međusobno pozicioniranje i dovođenje u propisan geometrijski položaj (saosnost, zazor u korenu) pomoću fabrički postavljenih alata; (3) predgrevanje zone spoja na propisanu temperaturu; (4) zavarivanje korenog prolaza i prolaza popune postupkom 136, uz kontrolu međuprolazne temperature; (5) hlađenje, čišćenje i priprema za kontrolu kvaliteta.

Zavarivanje sučeonog spoja cevi, izvršeno je istovremenim radom dva zavarivača, prema redosledu zavarivanja koji je dat na slici 5 i to na sledeći način: zavarivanje korenog prolaza prvog segmenta, istovremenim radom dva zavarivača (I-1 i I-2), povratnim korakom dužine 200-250 mm, uz naknadnu obradu brušenjem početka i kraja svakog prolaza; zavarivanje korenog prolaza drugog segmenta, istovremenim radom dva zavarivača (II-1 i II-2), povratnim korakom dužine 200-250 mm, uz naknadnu obradu brušenjem početka i kraja svakog prolaza; zavarivanje korenog prolaza trećeg segmenta, istovremenim radom dva zavarivača (III-1 i III-2), povratnim korakom dužine 200-250 mm, uz naknadnu obradu brušenjem početka i kraja svakog prolaza; nastavak zavarivanja drugog prolaza i narednih prolaza popune, prema istom redosledu kao i koreni prolaz, uz kontrolu međuprolazne temperature.

Nakon završenog zavarivanja, izvršena je vizuelna kontrola spoja kao i eventualne popravke lica šava, nakon čega je predgrevanje prekinuto, a spoj je zaštićen izolacijom do hlađenja, uz zapis do temperature od 150 °C. Ispitivanja bez razaranja su izvršena 48h nakon završenog zavarivanja.

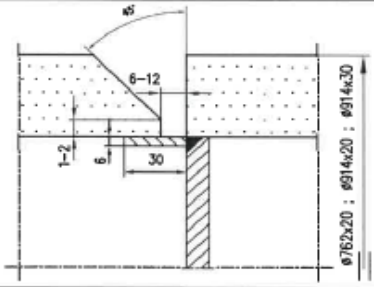
Specifikacija tehnologije zavarivanja

WPS br. : **004-1/26**
Datum : **Mart, 2026.**
Rev : **0**

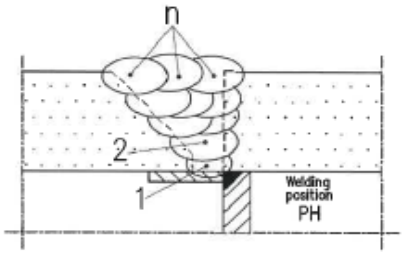
Gradilište / objekat:	**Nacionalni Stadion – Surčin**	Priprema / čišćenje spoja:	**Mašinska obrada / Brušenje**
Izvođač radova: Podizvođač radova:	**Power China** **CSCEC Steel**	Specif. osnovnog materijala:	**S355J2 / S355J2**
Postupak zavarivanja:	**136 – FCAW**	Grupa materijala - EN 15608:	**1.2 / 1.2**
Tip spoja:	**½ V Sučeoni spoj (BW)**	Debljina s (mm):	**Sa=20 ; 30 / Sb=20 ; 30**
Izveštaj o ispitivanju WPQR:	**SGS-ATF-WPQR-B260003**	Spoljašnji prečnik D (mm):	**D=762 ; 914**
Crtež br. / detalj, pozicije sa crteža:	**Facade layout plan 01 (Section A-H)** **NFS-CSC-SDG-ST-AL-AZ-016-021**	Pozicija zavarivanja:	**PH**

Detalj pripreme žleba i zavarenog spoja

Detalj pripreme žleba:



Izgled spoja:



Podaci zavarivanja:

Prolaz broj	Postupak zavarivanja	Prečnik dodatnog materijala (mm)	Struja (A)	Napon (V)	Vrsta struje / polaritet	Brzina žice (m/min)	Brzina zavarivanja (cm/min)	Unos toplote (kJ/mm)
1	**136**	**ø1,2**	**180÷185**	**27÷28**	**DC / +**	**/**	**14÷16**	**1,46÷1,78**
2÷n	**136**	**ø1,2**	**210÷220**	**29÷30**	**DC / +**	**/**	**20÷22**	**1,33÷1,58**

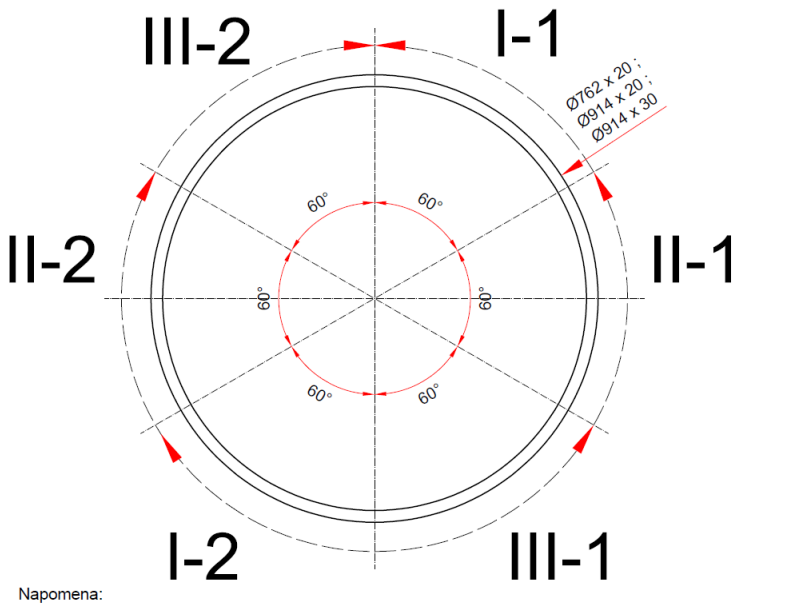
Napomena:
- **Početno / međuprolazno čišćenje čeličnom četkom, brušenje.**
- **Stranice žleba (okolne zone ~ 20 mm) očistiti do metalnog sjaja, odmastiti.**
- **Kontrola temperature predgrevanja i međuprolazne temperature (na mašini za predgrevanje).**
- **Priprema žleba prema EN ISO 9692-1.**
- **Pripojni spojevi (heftovi) između cevi i potkorene trake su privremeni i biće uklonjeni (brušeni) i ispitani VT, PT, pre početka zavarivanja.**

Dodatni materijal (klasa i oznaka):
EN ISO 17632-A: T 42 2 P C 2 H10 / Tianjin Bridge: THY-51B

Postupak propisan za sušenje	/	Temperatura predgrevanja :	**≥ 150 °C (EL grejačima)**
Zaštitni gas / prašak - lice:	**C1-EN ISO 14175 (100% CO_2)**	Temperatura međuprolaza :	**≤ 250 °C**
- koren :	/	Temperatura termičke obrade :	/
Protok gasa - lice:	**20÷25 l/min**	Vreme držanja :	/
- koren :	/	Brzina zagrevanja i hlađenja :	/
Vrsta volfram elektrode / prečnik :	/	Hladjenje u izolaciji :	/
		Ostali podaci:	/
		Njihanje (max. širina gusenice):	**max 5ø žice**
		Ostale informacije:	

Za Podizvođača radova, obradio:	Za Izvođača radova, odobrio:	Za Stručni nadzor, odobrio:
Maljević Dimitrije, dipl.ing.maš., IWE	Pavlović Bojan, dipl.ing.građ., IWE	Stevanović Jovica, dipl.ing.maš., IWE
		12.03.2026.

Slika 4: WPS lista za zavarivanje sučeonih spojeva fasadnih cevi



Slika 5: Redosled zavarivanja sučeonih spojeva cevi fasade

Kontrola zavarivačkih radova

Predviđeni obim i vrsta kontrole zavarivačkih radova zasnovani su na dostavljenoj tehničkoj dokumentaciji, Planu kontrole kvaliteta i zahtevima Projekta, u saglasnosti sa zahtevima standarda EN ISO 1090-2:2024 [10], u cilju obezbeđenja kvaliteta, a odnose se na kontrolu pre početka zavarivanja, kontrolu tokom zavarivanja i kontrolu nakon zavarivanja.

Nakon završenog zavarivanja svakog sučeonog spoja cevi u skladu sa Planom kontrole kvaliteta, sprovedena su ispitivanja bez razaranja u obimu od 100%: vizuelno ispitivanje, ispitivanje magnetnim česticama i ispitivanje ultrazvukom. S ozbirom na klasu izvođenja EXC4, nivo kvaliteta zavarenih spojeva je B+, prema standardu EN ISO 1090-2:2024 [10].

Rezultati ispitivanja

Rezultati ispitivanja metodama bez razaranja, sprovedenih na 88 montažnih sučeonih spojeva glavnih nosećih cevi, prikazani su u tabeli 5. Spojevi sa indikacijom su sanirani tehnologijom koja nije predmet ovog rada.

Tabela 5: Rezultati ispitivanja bez razaranja sučeonih zavarenih spojeva nosećih cevi

Metoda kontrole	Broj ispitanih spojeva	Broj spojeva sa indikacijom	Procenat uspešnosti [%]
(VT)	88	0	100 [%]
(MT)	88	0	100 [%]
(UT)	88	2	97,73 [%]

Zaključak i dalji radovi

U prvoj fazi izgradnje Nacionalnog Stadiona u Surčinu izvedeno je montažno zavarivanje 88 sučeonih spojeva glavnih nosećih cevi fasadnih stubova, ukupne mase 4.501,00 tona, u klasi izvođenja EXC4 prema EN ISO 1090-2:2024 [10].

Primenjena tehnologija zavarivanja – žleb ½V na potkorenoj čeličnoj traci, zavaren postupkom 136, uz kontrolisano predgrevanje i merenje međuprolazne temperature se pokazala pouzdanom, o čemu svedoči visok udeo spojeva koji ispunjavaju zahteve nivoa kvaliteta B+, shodno ispitivanjima bez razaranja.

Rad pokazuje da je uz doslednu pripremu ivica, kontrolu geometrije pozicioniranja podsklopova i strogo poštovanje propisanih parametara zavarivanja prema kvalifikovanoj tehnologiji zavarivanja, moguće na gradilištu, van fabričkih uslova, ostvariti kvalitet montažnih zavarenih spojeva koji zadovoljavaju zahteve za konstrukcije visoke klase izvođenja.

Iskustva i rezultati prikazani u radu mogu poslužiti kao osnova za planiranje tehnologije zavarivanja i obima kontrole kvaliteta koji se može primeniti na sličnim projektima montaže infrastrukturnih čeličnih konstrukcija.

Literatura

[1] EN ISO 10210-1:2008, Hot finished structural hollow sections of non-alloy and fine grain steels - Part 1: Technical delivery conditions

[2] EN ISO 15608:2025, Welding - Grouping system for metallic materials

[3] EN ISO 1011-1:2012, Welding - Recommendations for welding of metallic materials - Part 1: General guidance for arc welding

[4] EN ISO 1011-2:2007, Welding - Recommendations for welding of metallic materials - Part 2: Arc welding of ferritic steels

[5] EN ISO 4063:2023, Welding, brazing, soldering and cutting - Nomenclature of processes and reference numbers

[6] EN ISO 17632:2017, Welding consumables - Tubular cored electrodes for gas shielded and non-gas shielded metal arc welding of non-alloy and fine grain steels - Classification

[7] EN ISO 14175:2009, Welding consumables - Gases and gas mixtures for fusion welding and allied processes

[8] EN ISO 9692-1:2014, Welding and allied processes - Types of joint preparation - Part 1: Manual metal arc welding, gas-shielded metal arc welding, gas welding, TIG welding and beam welding of steels

[9] EN ISO 13916:2025, Welding - Measurement of preheating temperature, interpass temperature and preheat maintenance temperature

[10] EN ISO 1090-2:2024 , Execution of steel structures and aluminium structures - Part 2: Technical requirements for steel structures