Autori:Dragan Šuput[1], Dejan Šulem[2], Vladimir Vujčić[3],
Koautori: Milan Milovanović[4], Milan Šveljo[5]

PRIMENA 3D MODELA KONSTRUKCIJE U MONTAŽI TRANSVERZALNIH NOSAČA LUKOVA ŽEŽELJEVOG MOSTA U NOVOM SADU

Rezime:

U radu je prikazan postupak određivanja potrebnih dužina stranica sandučastih transverzalnih nosača, koji povezuju susedne elemente luka, a koji iz fabrike za izradu konstrukcije dolaze sa dužinama 100mm dužim od projektovanih. Obzirom na prostorni položaj lukova i ostvarenih, standardom dozvoljenih, odstupanja izvedenog od projektovanog položaja lukova, određivanje dužina zasniva sa na primeni 3D modela konstrukcije lukova. U radu je objašnjen algoritam za izračunavanje potrebnih dužina na osnovu podataka dobijenih geodetskim merenjem stvarnog položaja oslonačkih tačaka transverzalnih nosača na lukovima.

Ključne reči: transverzalni nosač, lukovi, 3D model, geodetski podaci

USING OF 3D MODEL OF STRUCTURE FOR ASSEMBLY OF TRANSVERZAL BEAMS OF THE ZEZELJ BRIDGE ARCHES IN NOVI SAD

Summary: This paper presents the procedure for defining the required lengths of sides of box transversal beams, which connect adjacent arch elements and which come from the factory in the length of 100mm longer than the designed ones. Considering the spatial position of arches and achieved deviations, allowed by standard, conducted from the designed arch positions, defining the lengths is based on using of 3D model of the arch structure. This paper explains the algorithm for calculation the required lengths based on the data obtained by geodetic measurement of the actual position of supporting points of transversal beams on arches.

Key words: transversal beam, arches, 3D model, geodetic data

---

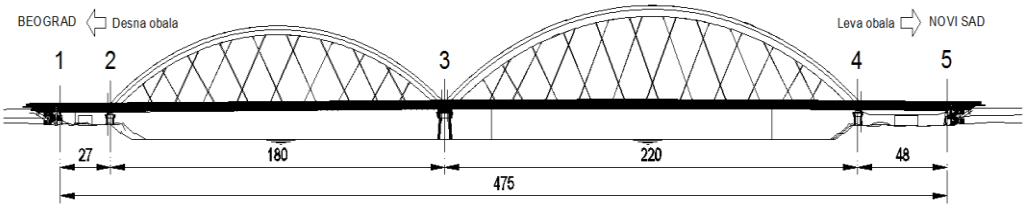
[1] dipl.inž.građ., rukovodilac izgradnje na projektu izgradnje Žeželjevog mosta, GP Mostogradnja AD, Beograd
[2] dipl.inž.građ., inženjer tehničke pripreme na projektu izgradnje Žeželjevog mosta, GP Mostogradnja AD, Beograd
[3] dipl.inž.građ., inženjer tehničke pripreme na projektu izgradnje Žeželjevog mosta, GP Mostogradnja AD, Beograd
[4] dipl.inž.građ., rukovodilac radova na desnoj obali na projektu izgradnje Žeželjevog mosta, GP Mostogradnja AD, Beograd
[5] dipl.inž.građ., rukovodilac radova na levoj obali na projektu zgradnje Žeželjevog mosta, GP Mostogradnja AD, Beograd

1 UVOD

Izgradnja Žeželjevog mosta obuhvata nabavku i izradu čelične konstrukcije – LOT1 i građevinske radove LOT2. Investitor radova su „Železnice Srbije", a glavni izvođač Joint Venture Azvi-Taddei-Horta Coslada. Podizvođač na montaži čelične konstrukcije mosta na levoj, odnosno desnoj obali Dunava u Novom Sadu, antikorozivnoj zaštiti, čišćenju dna Dunava u zoni srednjeg stuba P3 i njegovoj izradi je GP „MOSTOGRADNJA"AD iz Beograda. Izrada čelične konstrukcije izvodi se u fabrici u Italiji odakle se šleperima transportuje do gradilišta gde se vrši njeno ukrupnjavanje.

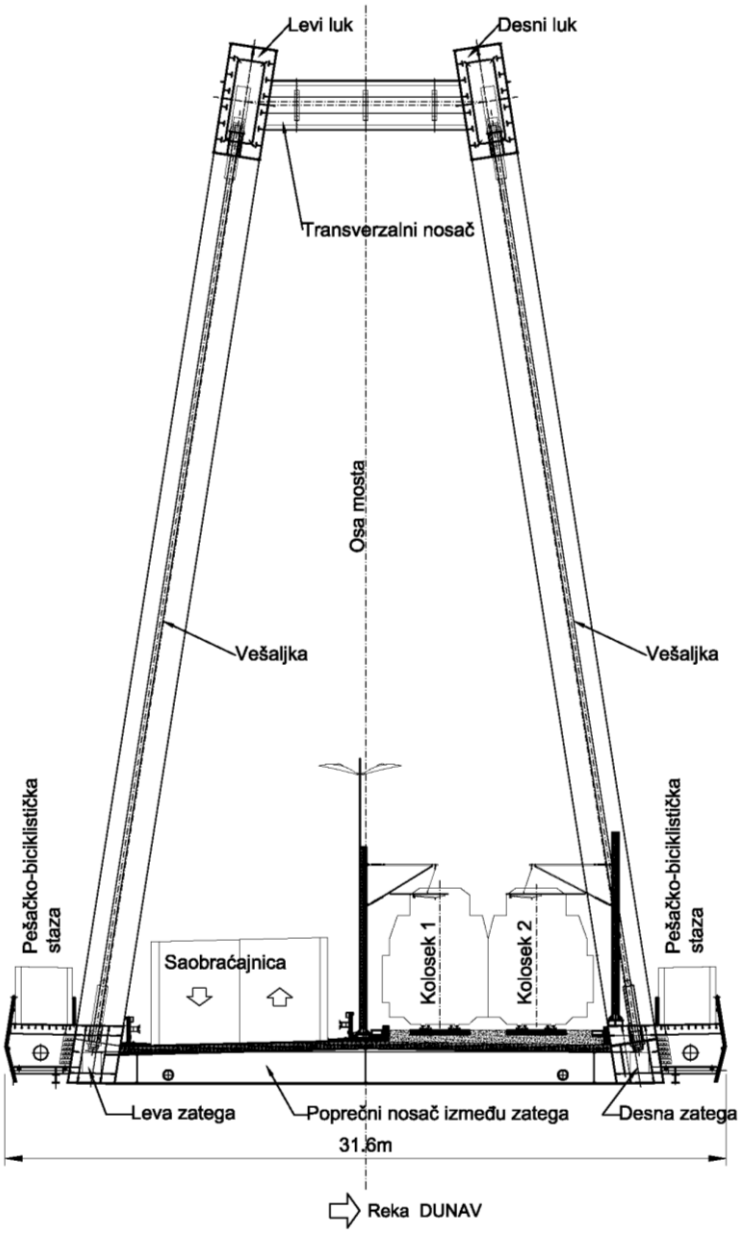
1.1 TEHNIČKI OPIS I KARAKTERISTIKE MOSTA

Železničko-drumski most preko reke Dunav u Novom sadu – „Žeželjev most" čine dva lučna mosta raspona 180m i 220m i prilazne konstrukcije sa petrovaradinske, odnosno novosadske strane Dunava, raspona 27m i 48m. Visina Luka raspona 180m je 34m, a visina Luka raspona 220m je 42m.



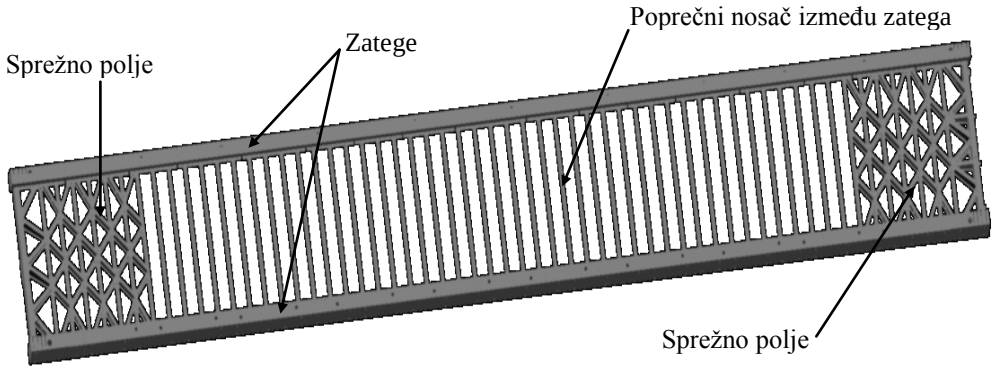
Slika 1 – Dispozicija drumsko-železničkog mosta preko Dunava u Novom sadu

Preko mosta predviđene su dve trake za drumski saobraćaj, dva koloseka za železnički saobraćaj i po dve biciklističko-pešačke staze. Ukupna širina mosta je 31.6m.



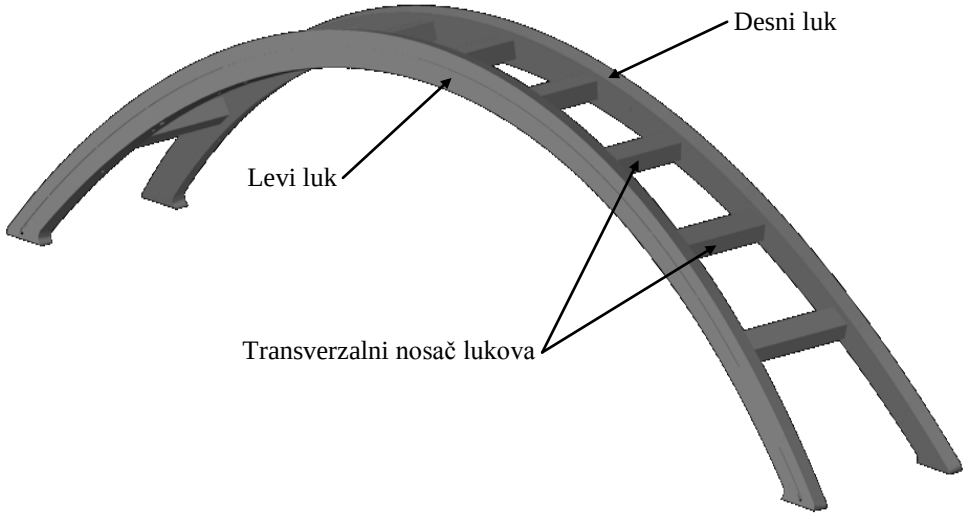
Slika 2 – Poprečni presek železničko-drumskog mosta preko Dunava u Novom Sadu

Glavni noseći sistem Lukova Žeželjevog mosta jeste čelična konstrukcija statičkog sistema luka sa zategom. Time u grupi železničko-drumskih mostova sa dva koloseka, ovaj most sa svojim Lukovima raspona 180m i 220m, predstavlja most sa rekordnim rasponima lukova u svetu. Zatege su međusobno povezane poprečnim nosačima i zajedno sa dva sprežna polja na susednim krajevima formiraju donji deo konstrukcije (Slika 3). Veze između ovih elemenata konstrukcije ostvaruju se zavarivanjem.



Slika 3 – Donji deo čelične konstrukcije Lukova

Gornji deo konstrukcije formiraju levi i desni luk međusobno povezani transverzalnim nosačima. Tranverzalni nosači lukova su projektovani kao sandučasti nosači, oslonjeni na susedne elemente lukova, pri čemu se veza sa lukovima ostvaruje sučeonim zavarivanjem. Oba luka su pod nagibom (Slika 4)

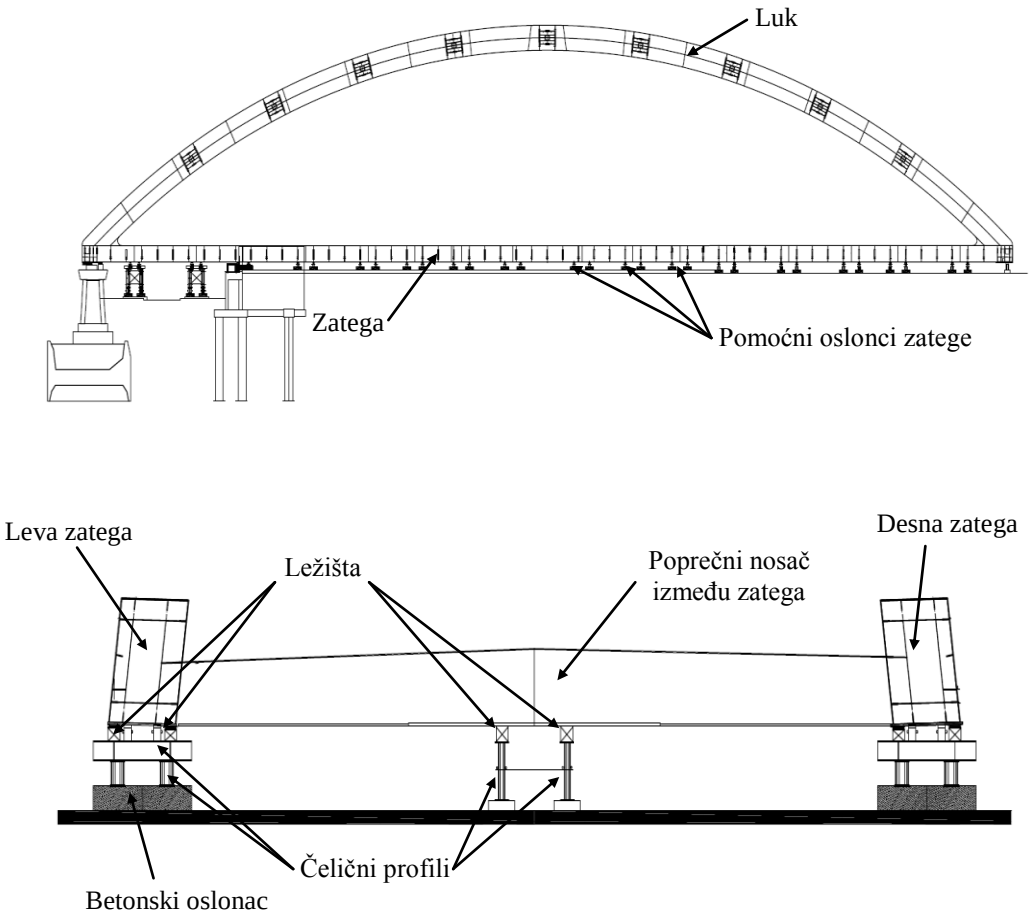


Slika 4 – Gornji deo čelične konstrukcije Lukova

1.2 TEHNOLOGIJA MONTAŽE

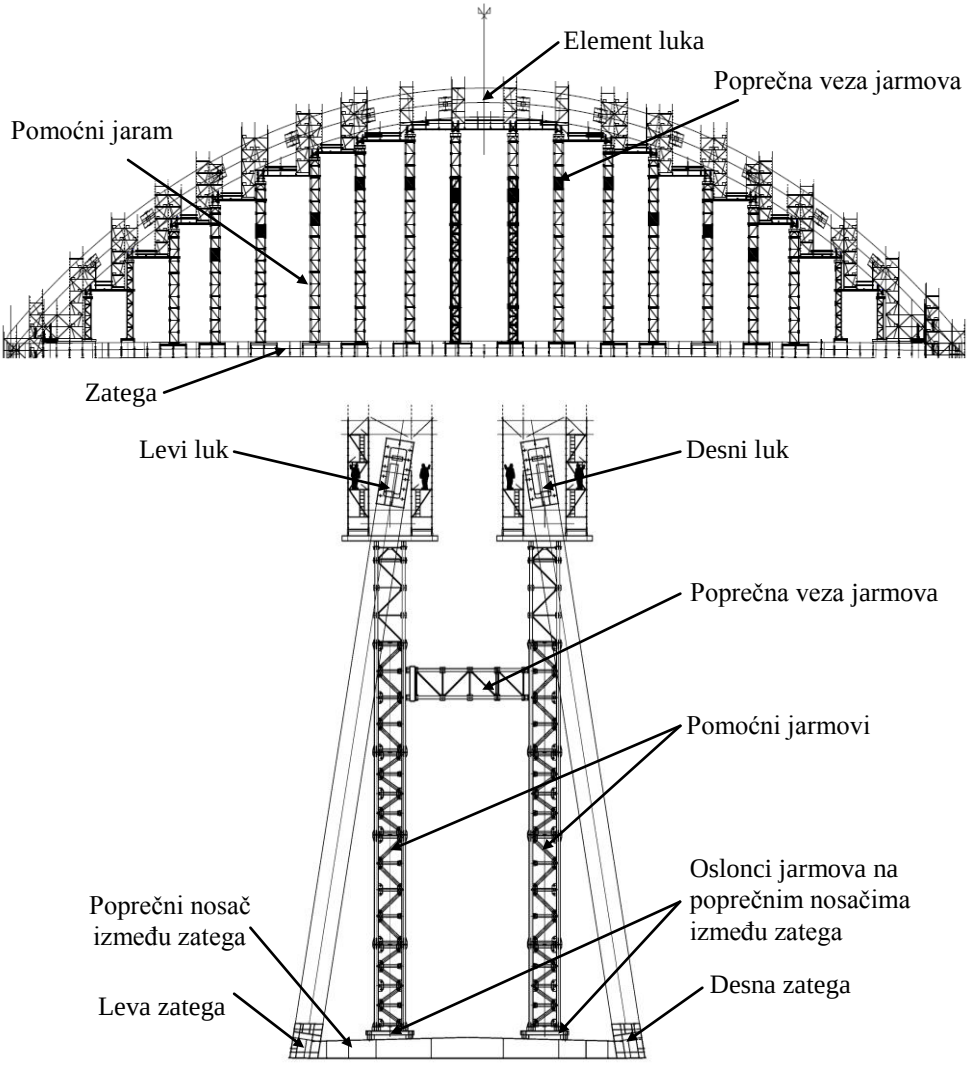
Tehnologijom montaže lukova predviđeno je da se prvo montira i zavari donji deo konstrukcije mosta (zatege, poprečni nosači i spregovi), nakon čega sledi montaža i zavarivanje gornjeg dela konstrukcije (lukovi i transverzalni nosači). Obeležavanje, pozicioniranje i kontrolu elemenata konstrukcije tokom montaže vrše geometri korišćenjem geodetskih instrumenata.

Tokom montaže elementi konstrukcije oslanjaju se na pomoćne oslonce, projektovane i izrađene u fabrici čelične konstrukcije GP „Mostogradnja“ AD. Donji deo konstrukcije oslanja se preko pokretnih i nepokretnih ležišta na čelične profile i betonske stope (Slika 5).



Slika 5 – Pomoćni oslonci za oslanjanje elemenata zatege i poprečnih nosača

Lukovi se oslanjaju na pomoćne čelične jarmove (Slika 6), dok se transverzalni nosači, kao što je već rečeno, oslanjaju direktno na lukove.



Slika 6 – Pomoćni jarmovi za oslanjanje elemenata lukova

Obzirom da se radi o zavarenoj čeličnoj konstrukciji deformacije usled zavarivanja dovode do odstupanja između izvedenih i projektovanih dimenzija elementa konstrukcije mosta kako tokom izrade, tako i tokom njihove montaže. Ova odstupanja su predviđena i istovremeno ograničena tolerancijama, koje su definisane standardom EN1090-2: 2008.

2 SPECIFIČNOST MONTAŽE TRANSVERZALNIH NOSAČA

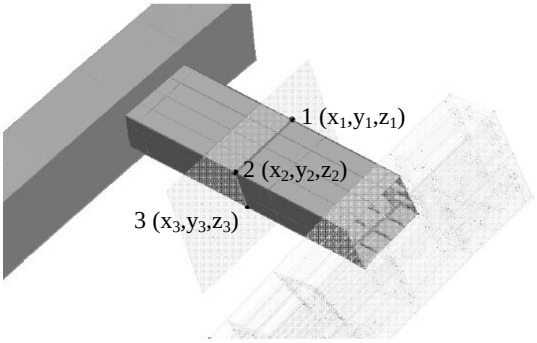
Zbog niza faktora kao što su izvedena dužina zatega, relativan odnos između zatega, dilatiranja konstrukcije usled temperature, pomeranje pomoćnih jarmova na kojima su oslonjeni elementi luka i odstupanja pojedinih elemenata luka od projektovane geometrije, relativno rastojanje između elemenata lukova tj. između oslonačkih tačaka transverzalnih nosača odstupa od projektovanog za svaki transverzalni nosač različito. Drugim rečima transverzalni nosači lukova više nisu simetrični, niti ortogonalni na podužnu osu mosta.

Iz tog razloga svi transverzalni nosači su izrađeni duži za 100mm od projektovanih, čime se kompenzuju odstupanja koja nastaju usled gore navedenih faktora. Obaveza izvođača na gradilištu je da precizno definiše potrebne dužine i izvrši precizno obeležavanje i opsecanje transverzalnog nosača, kako bi mogao da se uklopi u stvarno, izvedeno rastojanje između lukova.

2.1 POSTUPAK ODREĐIVANJA POTREBNIH DUŽINA ZA OPSECANJE TRANSVERZALNIH NOSAČA

2.1.1 Definisanje ravni koja prolazi kroz osu mosta

Obzirom na odstupanja projektovane geometrije i položaja elemenata Lukova, jedina nepromenjena i konstantna veličina je podužna osa mosta, koja ujedno prolazi sredinom svake stranice svakog transverzalnog nosača. Upravo iz tog razloga kao jedini parametar za određivanje potrebnih dužina transverzalnih nosača jeste njihova ravan kroz osu mosta, koja je upravna na sve četiri stranice transverzalnog nosača. Jednačinu te ravni definišemo, očitavanjem koordinata tri tačke, koje se nalaze na sredinama odgovarajućih stranica transverzalnog nosača iz 3D modela projektovane konstrukcije mosta.



Slika 5 – Tačke na podužnoj osi mosta čije se koordinate očitavaju iz 3D modela

Definisanje ravni koja prolazi kroz tri tačke:

$$\begin{vmatrix} x-x_1 & y-y_1 & z-z_1 \\ x_2-x_1 & y_2-y_1 & z_2-z_1 \\ x_3-x_1 & y_3-y_1 & z_3-z_1 \end{vmatrix} = 0$$

Nakon množenja dobijamo opšti skalarni oblik jednačine ravni:

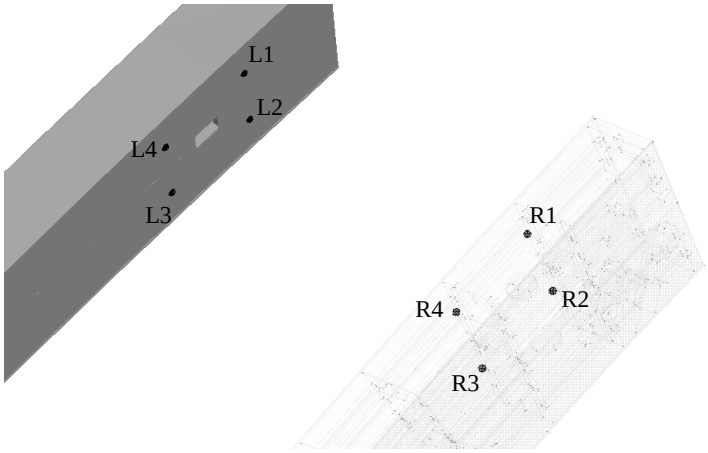
$$Ax+By+Cz+D=0$$

gde su:

A, B, C, D	parametri srednje ravni
x, y, z	koordinate tačke u ravni

2.1.2 Određivanje koordinata oslonačkih tačaka transverzalnog nosača

Koordinate osam oslonačkih tačaka transverzalnog nosača na odgovarajućim elementima lukova, koje su obeležene pre njihove montaže, dobijaju se geodetskim merenjem (totalnim stanicama) na gradilištu.



Slika 6 – Osam oslonačkih tačaka na elementima lukova

Tabela 1 – Koordinate oslonačkih tačaka merene totalnom stanicom

	x	***y***	***z***
L1			
L2			
L3			
L4			
R1			
R2			
R3			
R4			

2.1.3 Određivanje najkraćeg rastojanja oslonačkih tačaka do ravni definisane u tački 2.1.1

Najkraće rastojanje tačke od ravni:

$$d = \left| \frac{Ax_1 + By_1 + Cz_1 + D}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}} \right|$$

gde su:

A, B, C, D	parametri srednje ravni definisani u tački 2.1.1
x_1, y_1, z_1	koordinate oslonačkih tačaka definisane u tački 2.1.2

Tabela 2 – Najkraće rastojanja oslonačkih tačaka do srednje ravni

	d
L1	
L2	
L3	
L4	
R1	
R2	
R3	
R4	

2.1.4 Određivanje dužine za opsecanje

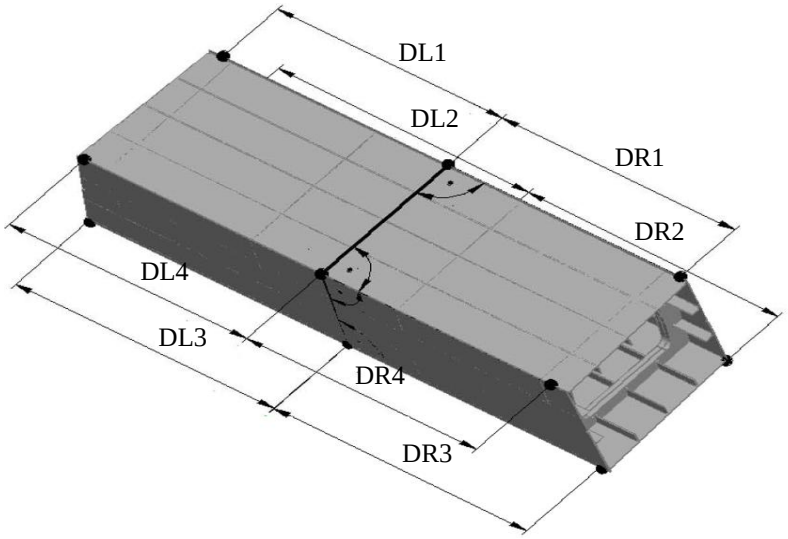
Dužine za opsecanje svake stranice dobijaju se kada se najkraća rastojanja oslonačkih tačaka do srednje ravni definisanih u tački 2.1.3, umanje za veličinu neophodnih zazora između transverzalnih nosača i segmenata lukova, jer se veza između transverzalnog nosača i susednih elemenata lukova ostvaruje sučeonim zavarivanjem polu V šava.

$D_i = d_i - Z$

gde su:

D_i	dužina za opsecanje
d_i	najkraće rastojanje oslonačkih tačaka do srednje ravni određeno u tački 2.1.3
Z	zazor između transverzalnih nosača i lukova

Nakon određivanja dužina za opsecanje pristupa se njihovom obeležavanju na odgovarajućim stranicama transverzalnog nosača na gradilištu. Odmeravanje dužina za opsecanje vrši se od lokalne referentne ravni transverzalnog nosača na gradilištu, koja se određuje tako što se odredi sredina jedne stranice, a zatim se u odnosu na nju, geodetskim instrumentima povlače normale na sve ostale stranice transverzalnog nosača.



Slika 7 – Obeležavanje dužine za opsecanje transverzalnog nosača

3 ZAKLJUČAK

U radu je prikazan relativno jednostavan i brz postupak određivanja potrebnih dužina za opsecanje transverzalnih nosača, koji se može primeniti u svakodnevnoj inženjerskoj praksi i na drugim sličnim, prostorno složenim konstrukcijama.

Rezultati proračuna dobijeni na ovaj način obezbeđuju potrebnu tačnost , koja se ogleda pre svega u veličini ostvarenih zazora između transverzalnog nosača i levog, odnosno desnog elementa luka na koje se oslanja. Veličine zazora izmerene nakon opsecanja i montaže transverzalnoh nosača su jednake zahtevanim veličinama ili neznatno odstupaju od njih u granicama dozvoljenim tolerancijama, koje definiše standard EN1090-2: 2008.

LITERATURA

[1] Tenderski dokumenti: Poglavlje 3 - Tehničke specifikacije, Sekcija 1 – Konstrukcija mosta