

*Originalan naučni rad*

*UDC: 624.21.014.2*

## GEOTEHNIČKA ISTRAŽIVANJA ZA SANACIJU MOSTA NA RIJECI SAVI U BRČKOM

Neđo Đurić<sup>1</sup>, Anđa Đujić<sup>1</sup>, Petar Mitrović<sup>1</sup>, Snežana Tadić<sup>1</sup>, Jovo Miljanović<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Tehnički institut, Bijeljina, E. mail: [tehnicki@tehnicki-institut.com](mailto:tehnicki@tehnicki-institut.com)*

### REZIME

Most na rijeci Savi koji povezuje grad Brčko sa Republikom Hrvatskom izgrađen je prije oko 100 godina i do sada je uglavnom kontinuirano bio otvoren za saobraćaj. Povremeni zastoji prije II svjetskog rata, kao i tokom II svjetskog rata kada je bila srušena konstrukcija jednog polja između stubova, predstavljaju kreaće periode u odnosu na njegov period eksploatacije.

Početakom 2007 godine došlo je do oštećenja jednog stuba mosta, koja su takvih razmjera da je teretni saobraćaj potpuno obustavljen. Provedena su određena geotehnička istraživanja oko oštećenog stuba kao i neposrednoj okolini koja je stabilna, na kojoj nisu primijećena oštećenja stubova mosta. Dobiveni rezultati definisali su nestabilnu zonu zbog koje je došlo do oštećenja stuba mosta, te korišteni za određivanje tehničkog rješenja sanacije.

Ključne riječi: *geotehnička istraživanja, most, sanacija, tlo, voda*

## GEOTECHNICAL INVESTIGATIONS FOR TREATMENT THE BRIDGE ON THE SAVA RIVER IN BRČKO

### ABSTRACT

The bridge on the Sava River, which connects the town of Brcko the Croatian Republic was built around 100 years ago and has mainly been continuously open to traffic. Occasional delays before World War II and during World War II when it was demolished in the construction of one field of pillars, represent the creation of the periods in respect of his period eksploatacije.

In early 2007, there was a damage to one bridge pillars, which are of such proportions that the freight traffic completely stopped. Were carried out geotechnical investigations about some damaged stairs and the immediate environment that is stable, which is not observed damage to the bridge piers. The results obtained define the unstable zone for which there has been damage to the bridge pier, and used to determine the technical recovery solutions

Key words: *geotechnical investigations, bridge, repairs, soil, water*

### UVOD

Na mostu preko rijeke Save koji grad Brčko veže sa Republikom Hrvatskom, došlo je do oštećenja stubnog mjesta br. 3, koja su takvih razmjera da je saobraćaj za teretna vozila obustavljen. Oštećenja

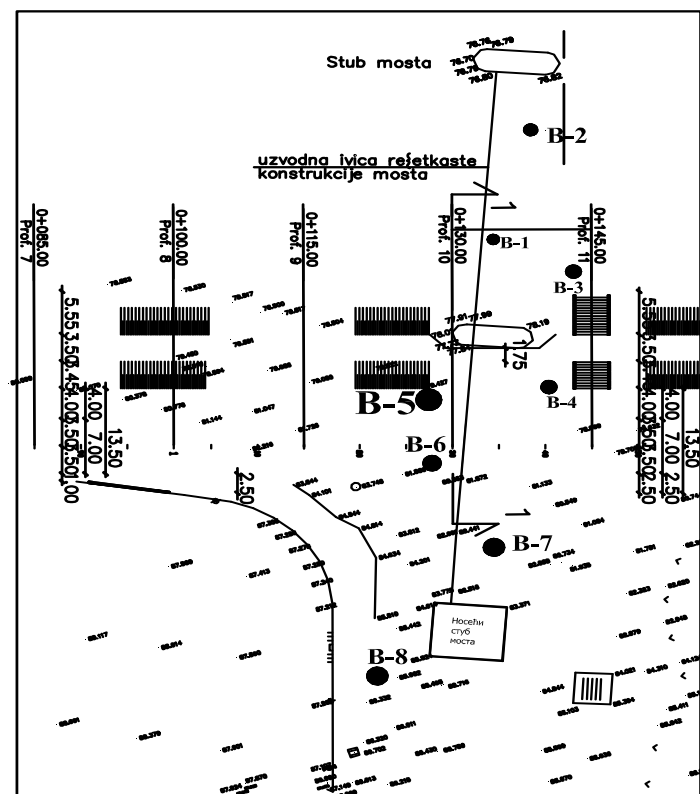
se na stubu manifestuju tako što je osa stuba u odnosu na osu rešetke pomjerena u pravcu rijeke oko 7,0 mm. Pri tome su se poremetila ležišta mosta na stubu oko 12,0 cm, polomljeni su oslonci ležišta, nepokretno lijevo ležište se otkinulo, a pokretno ležište spada sa oslonca. Dilataciona spojnica na stubu br. 4 ne vrši svoju punu funkciju.

Oštećenja mosta bila su prisutna i ranije, ali nisu vezana za nestabilnost stubnih mjesta, već su prouzrokovana drugim faktorima. Najznačajniji je vezan za miniranje dijela mosta u toku II svjetskog rata, kada je porušena konstrukcija polja tri (3). To je prostor između sadašnjeg stuba br. 3 i narednog stuba prema rijeci Savi. U posleratnom periodu most je obnovljen i do pojave navedenih oštećenja na stubu br. 3, bio je stalno u funkciji saobraćaja. Temeljna stopa stuba br. 3, visine je 9,0 m, a prema nekim pisanim tragovima 10,0 m, širine oko 4,80 m i visine oko 12,0 m.

Ispod mosta u prostoru polja dva (2) u toku je izgradnja nove saobraćajnice – Savski put, kojom se uspostavlja veza između luke Brčko i carinskog terminala. U zoni stuba br. 3, put je u nasipu visine cca 5,0 m. Nasip je naslonjen na stub, a sa njegove strane do rijeke, formirana je kosina u nagibu 1:1. Kosina je obložena armirano betonskom oblogom, koja nije oštećena.

## GEOLOŠKE KARAKTERISTIKE TERENA

Za sagledavanje geoloških i geotehničkih karakteristika terena provedena su određena istraživanja i analizirana sva prethodna dokumentacija vezana za most, rijeku Savu, i neposrednu okolinu. U okviru geomehaničkih bušenja urađeno je osam (8) bušotina, dubine 15,0 – 32,0 m, slika 1. Na bušotinama su urađena prateća istraživanja kao što su SPT, detaljno kartiranje jezgra bušotina, praćenje nivoa podzemnih voda, te uzimanje uzoraka za laboratorijska ispitivanja.



Slika 1. Situacioni plan rasporeda bušotina  
Figure 1 Situational plan schedule wells

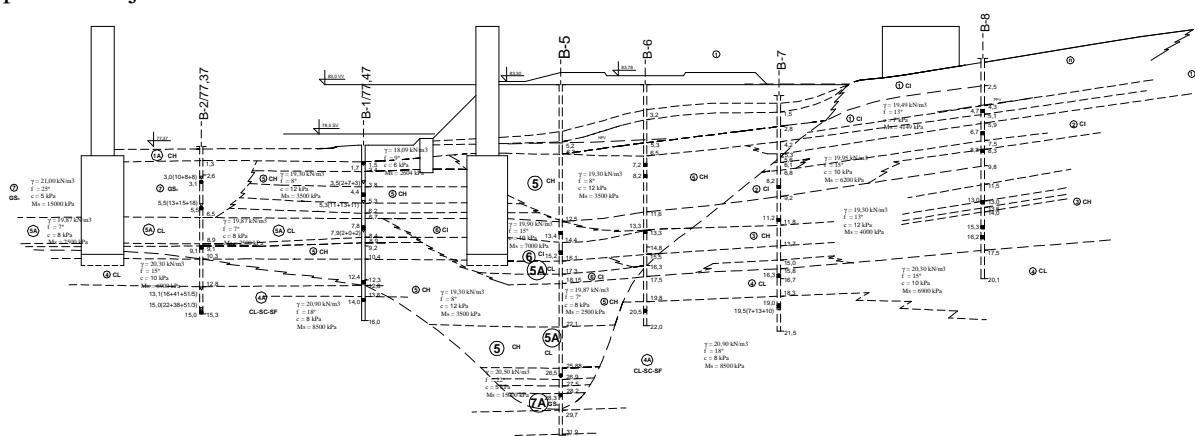
Šire područje lokacije i sama lokacija u prirodnim uslovima predstavlja aluvijalnu zaravan sa blagim padom prema rijeci Savi do 5<sup>0</sup>. To je područje na kome je rijeka usijecala svoje korito i odlagala riječne sedimente. Usijecanje korita izvršeno je u sedimentima pliokvartara kao temeljnog gorja.

Kontakt aluvijalnih tvorevina i sedimenata temeljnog gorja manifestuju se u vidu odsjeka visine do 3,0 m, sa smjerom pružanja sjeverozapad-jugoistok, odnosno paralelan je sa koritom rijeke.

Hidrografsku mrežu karakteriše rijeka Sava i njena desna pritoka rijeka Brka, koje često plave teren sve do kote 78,50 mm, što predstavlja kotu srednje vode. Kota velike vode je 83,00 mm te za vrijeme takvih poplava, voda poplavi skoro čitav prostor polja dva (2).

Geološka građa terena karakteriše muljevite sedimente napuštenog riječnog korita, riječne sedimente i sedimente supstrata terena pliokvartarne starosti.

Pliokvartarni sedimenti koji čine supstrat terena konstatovani su na svim bušotinama, ali različitim dubinama. Najveća dubina do pliokvartarnih sedimenata je na bušotini B – 5, oko 30,0 m, dok je na ostalim bušotinama znatno plića, slika 2. Tako na bušotinama B -7 i B - 8 dubina do supstrata kreće se oko 5,0 m. Neravnomjeran odnos do dubine supstrata terena upućuje na konstataciju da je nekadašnje korito rijeke Save ili njenog rukavca bilo južnije u odnosu na današnji tok. Sedimenti su predstavljeni sivosmeđim do sivožutim glinama koje su pod uticajem podzemne i površinskih voda pretrpjele proces izmjena.



Slika 2. Poprečni profil terena

5. glina prašinsto , pjeskovita - muljevita, 5A. muljeviti sedimenti, 6. glina prašinsto pjeskovita,  
7. Šljunak krupnozrn, 7A. sedimenti riječnog korita – glina, pijesak, šljunak

Figure 2 Transverse profile field

5. clay, dust, sand - muddy, 5A. muddy sediments, 6 dust sandy clay,  
7. coarser gravel, 7A. riverbed sediments - clay, sand, gravel

Riječni sedimenti prostiru se ispod tankog sloja naplavnih sedimenata od 1,8 m, pa dublje, da bi se na bušotini B – 5 pojavili na dubini 26,0 m. Moćnosti su oko 4,0 m, a predstavljeni su uglavnom šljunkom pjeskovitim koji je mjestimično zamuljen. U dubljim dijelovima djelimično je prisutan i sloj gline.

Sedimenti napuštenog riječnog korita čine muljevite tvorevine predstavljene glinama, prašinama, finim pijescima i šljuncima. Prostiru se na cijeloj lokaciji, ali poseban značaj imaju u zoni bušotine B – 5, gdje njihova ukupna moćnost iznosi 26,0 m.

Najmladi sedimenti odloženi su na površinskom dijelu terena i predstavljeni su glinovito prašinstim naplavnim materijalima u kojem su odloženi ostaci poplava, koje su prije izgradnje nasipa za Savski put bile česte pojave.

U inženjerskogeološkom smislu izdvajaju se sedimenti napuštenog riječnog korita, slabovezani sedimenti, nevezani sedimenti i glinoviti, odnosno pjeskovito glinoviti sedimenti supstrata.

Sedimenti napuštenog riječnog korita po svom sastavu su heterogeni. Zbog teškog rasčlanjivanja sedimenti čine jedan facijes slabovezanih sedimenata, koji su nepovoljnih geomehničkih karakteristika. U depresiji napuštenog riječnog korita izdvajaju se dva proslojka moćnosti od 1,2 – 4,5

m, gdje su istaložene gline, koje se po svojim karakteristikama razlikuju od ostalih krovinskih i podinskih muljevitih sedimentata. Tokom istražnog bušenja na bušotini B – 5 u intervalu od 18,15 – 25,9 m, zabilježeno je propadanje bušačkog alata i SPT od sopstvene težine.

Teren izgrađen od slabovezanih sedimentata karakteriše labilnu padinu u zaleđu rijeke Save, koja može postati nestabilna ukoliko se prilikom zasijecanja uslovi izvođenja radova ne prilagode uslovima terena. Ovdje prvenstveno obratiti pažnju na zaštitu iskopa od podzemne i površinske vode, te nagiba kosine iskopa pod kojim se osigurava njena stabilnost.

Nevezani sedimenti predstavljeni su šljunkovito pjeskovitim malo zaglinjenim aluvijalnim sedimentima, gdje materijal dobro zbijen i zavodnjen. Ovoj grupi sedimentata pripadaju svi proslojci muljevitih pjeskovito šljunkovitih materijala iz paketa muljevitih sedimentata napuštenog riječnog korita. Zbog svoje male moćnosti nemaju značajan uticaj na opšta geotehnička svojstva terena.

Pjeskovito glinoviti materijali krajnjih dubina istraživanja predstavljaju supstrat terena. Prema granulometrijskom sastavu su nevezani sedimenti, ali zbog velikog učešća glinovite komponente svrstani su u slabovezane sedimente. U dijelu gdje supstrat bliže površini terena, procenat glinovite komponente je veći.

Hidrogeološke karakteristike su odraz geološke građe terena, odnosno karakteristika pojedinih litoloških članova. Uglavnom se izdvajaju vodonepropusni i slabo vodopropusni sedimenti.

Vodonepropusne sedimente karakterišu gline i jako zaglinjeni fini pijesci supstrata terena, čiji koeficijent filtracije prema USBR se kreće:

$$k = 3,0 \times 10^{-6} - 10,0 \times 10^{-7} \text{ m/sec.}$$

Slabo vodopropusne stijene su aluvijalni šljunci i pijesci sa izdvojenim koeficijentom filtracije prema USBR u granicama:

$$k = 3,0 \times 10^{-6} - 10,0 \times 10^{-7} \text{ m/sec.}$$

Podzemna voda registrovana je na dubinama koje odgovaraju nivou rijeke Save.

## GEOSTATIČKI PRORAČUNI

Tokom istraživanja terena definisane su karakteristike pojedinih sedimentata terena, gdje se posebno izdvajaju sedimenti napuštenog riječnog korita u zoni bušotine B – 5. Temeljna stopa stuba br. 3, jednim dijelom je temeljena u muljevito glinovitim sedimentima gdje zabilježeno propadanja alata i SPT od sopstvene težine.

**Proračun stabilnosti terena i stuba**, urađeni su za prirodno stanje terena, bez bilo koga opterećenja, sa nivoom podzemne vode na površini terena, te prirodno stanje terena opterećenog težinom riječnog stuba i stalnim pokretnim opterećenjem mosta, sa nivoom podzemne vode na površini terena. Usvojeni su sljedeći parametri dobiveni iz podataka laboratorijskih ispitivanja:  $\gamma_{\text{pot.}} = 11,0 \text{ kN/m}^3$ ;  $\varphi = 8^\circ$ ,  $c = 12,0 \text{ kN/m}^2$ , za metodu Bishop-a, po programskom paketu S. Tomaševića, pri čemu su dobiveni sljedeći faktori sigurnosti:

- Za prirodno stanje terena, bez dodatnog opterećenja, sa nivoom podzemne vode na površini terena:

$$F_s = 2,649 > F_{s\text{doz.}} = 1,500$$

U cilju provjere geotehničkih parametara dobiveni laboratorijskim putem za istu kliznu površinu i granično stanje ravnoteže  $F_s = 1,00$ , dobiven je ugao unutrašnje otpornosti  $\varphi = 5,3^\circ$ .

To približno odgovara uglovima unutrašnje otpornosti dobivenim laboratorijskim ispitivanjima koji se kreću od  $5^{\circ} - 8^{\circ}$ .

- Za prirodno stanje terena, opterećenog težinom riječnog stuba, stabilnim i pokretnim opterećenjem mosta, sa nivoom podzemne vode na površini terena:

$$F_s = 0,999 < F_{sdoz.} = 1,500$$

Dobivena vrijednost faktora sigurnosti  $F_s$  pokazuje da teren nije u stanju da prihvati opterećenje stuba i mosta, te je neophodno obaviti sanaciju.

- Za prirodno stanje terena, opterećenjem težinom riječnog stuba, stalnim i pokretnim opterećenjem mosta i težinom novo izgrađenog nasipa, koji se oslanja na pomenuti stub, nivo podzemne vode na površini terena:

$$F_s = 1,011 < F_{sdoz.} = 1,500$$

Vrijednost faktora sigurnosti  $F_s$  pokazuje da teren nije u stanju da primi opterećenje stuba, mosta i nasipa i potrebno ga je sanirati. Interesantan je podatak da je novoizgrađeni nasip povoljno uticao na globalnu stabilnost terena opterećenog stubom, mostom i nasipom ( $F_s = 0,999 < F_s = 1,011$ ). Izgradnjom nasipa kritični klizni krug, koji daje minimalni  $F_s$ , pomjerio se više ka obali pa silu težine stuba i stalnog i pokretnog opterećenja mosta, pomjera bliže centru rotacije, čime se postiže veći faktor sigurnosti.

**Proračun slijeganja riječnog stuba**, urađen je za dva slučaja, u uslovima ranijeg stanja i uslovima novostvorenog stanja. Pri proračunu korištene su iste vrijednosti parametara, a veličine slijeganja su:

- Za opterećenje sopstvene težine riječnog stuba i težine mostovske konstrukcije i pokretnog opterećenja na mostu:

$$s = 35,487 \text{ cm}$$

Za ovo slijeganje može se reći da je u najvećoj mjeri završeno u proteklom periodu, odnosno za vrijeme postojanja mosta.

- Za opterećenje sopstvene težine riječnog stuba, težine mostovske konstrukcije, pokretnog opterećenja na mostu i težine novo izgrađenog nasipa, veličina slijeganja je određena samo za opterećenja nastala izradom novog nasipa. Ranija slijeganja već su završena, a nova iznose:

$$s = 4,407 \text{ cm}$$

Procentualno povećanje slijeganja izradom nasipa, koji se oslanja na stub je oko 11%, te je sanacija stuba neophodna zbog veličine slijeganja.

**Proračun nosivosti**, izvršen je u svrhu proračuna nosivosti tla na dubini fundiranja riječnog stuba, pri čemu su doobivene sljedeće vrijednosti:

- Provjerom nosivosti tla na dubini fundiranja riječnog stuba, dozvoljeno opterećenje je:

$$q = 416,22 \text{ kPa}$$

Navedena veličina je nedovoljna prema stvarnom opterećenju. Opterećenje od sopstvene težine riječnog stuba, dijela sopstvene težine mostovske konstrukcije i pokretnog opterećenja, ne uzimajući u obzir vertikalnu komponentu aktivnog pritiska tla, premašuje dobivenu vrijednost dozvoljenog opterećenja tla.

Težina stuba sa težinom pripadajućeg dijela mostovske konstrukcije sa pokretnim opterećenjem, za cijeli stub iznosi:

$$q_a = 425,00 \text{ kPa}$$

što je veće od dozvoljenog opterećenja tla  $q = 416,22 \text{ kPa}$ . Ova veličina kao i veličina slijeganja pokazuje da je potrebno izvršiti sanaciju stuba.

## ZAKLJUČAK

U radu je prikazana problematika vezana za oštećenje stuba br. 3, mosta preko rijeke Save koji povezuje grad Brčko sa Republikom Hrvatskom. Provedena su određena geotehnička istraživanja neposredno uz temeljnu stopu oštećenog stuba, kako bi se saznale karakteristike tla do dubine uticaja temelja.

Geotehnički proračuni stabilnosti u zoni stuba br. 3, urađeni su za stabilnost terena u prirodnom stanju, gdje je faktor sigurnosti  $F_s = 2,649$ , što je veće od  $F_{s\text{doz}} = 1,500$ . Za uslove u prirodnom stanju opterećenog težinom riječnog stuba i stalnim i pokretnim opterećenjem mosta faktor sigurnosti  $F_s = 0,999 < F_{s\text{doz}} = 1,500$ , što pokazuje da teren nije u stanju da primi takva opterećenja te je potrebna sanacija. Kada se u analizu uključi i težina novo izgrađenog nasipa Savskog puta faktor sigurnosti  $F_s = 1,011 < F_{s\text{doz}} = 1,500$ , što takođe pokazuje da teren nije u stanju da primi takva opterećenja te je potrebna njegova sanacija.

Geostatički proračuni slijeganja, pokazali su da je neophodno vršiti sanaciju stuba zbog veličine slijeganja, koje je dodatno povećano sa novo izgrađenim nasipom. Ako se ima u vidu da je težina stuba sa težinom pripadajućeg dijela mostovske konstrukcije sa pokretnim opterećenjem veća od dozvoljenog opterećenja tla, onda je sanacija ne samo potrebna, nego zahtijeva preduzimanje hitnih mjera.

## LITERATURA

1. Đurić N., Santrač P., Bajić Ž.: Izgradnja podzemnih objekata – garaže i saobraćajnica na gradskom trgu u Bijeljini. Zbornik radova "Arhiv za tehničke nauke" br. 1. Tehnički institut Bijeljina, 2009.
2. Ljubojev M., Popović R., Bogdanović D.: Određivanje vremena stabilizacije deformisane površine terena za urbanističko korišćenje, Časopis Rudarski radovi br. 2/2001, Bor 2001.
3. Maksimović M.: "Mehanika tla" treće izdanje. Građevinska knjiga, Beograd, 2005.
4. Mitrović P.: Primjena plastičnih materijala pri građenju puteva. "Institut za puteve", Beograd, 2004.
5. Najdanović N.: Mehanika tla u inženjerskoj praksi. Rudarski institut Brograd, Zemun, 1979.
6. Elaborat o geomehaničkim istraživanjima na lokaciji mostovskog stuba br. 3, most preko rijeke Save – granični prelaz Brčko Distrikta. Fond stručnih dokumenata Tehničkog instituta, Bijeljina, 2007.