

Tomislav IVANKOVIĆ  
prof.dr., dipl.ing. geol., Geotehnički fakultet, Varaždin

Zlatko LANGOF  
prof.dr., dipl.ing. građ., Građevinski fakultet, Sarajevo

Vladimir SIGMUND  
prof.dr., dipl.ing. građ., Građevinski fakultet, Osijek

## **GEOTEHNIČKI PROBLEMI OBNOVE STAROG MOSTA U MOSTARU**

**SAŽETAK:** Istraživanja izvedena u području Starog mosta u Mostaru omogućila su određivanje prostornog položaja pojedinih litoloških jedinica, definiranje geomehaničkih svojstava stijene i ocjenu uspješnosti sanacijskih radova izvedenih 1956. godine.

Sadašnji uvjeti temeljenja Starog mosta dosta su nepovoljni, posebno na desnoj obali gdje se nalaze kaverne, te se ocjenjuje potreba za izvođenjem konsolidacijskih radova.

Rezultati izvedbe probnog sanacijskog polja pokazuju da je moguća uspješna primjena mikropilota u kombinaciji sa injektiranjem.

## **GEOTECHNICAL PROBLEMS RECONSTRUCTION OF THE OLD BRIDGE IN MOSTAR**

**SUMMARY:** The fondation of the Old Bridge in Mostar has been investigated and on this basis we stated the position of some lithological units in order to define basic geotechnical rock properties. The condition of the rock mass under the fundation is very bad, especially on the right bank, so that rebuilding is necessary. The results of conducted experimental rebuilding field shows that it is possible to apply successfully the Method of Vertical Girders, especially when this method is combined with grouting.

## Uvod

Stari most u Mostaru izgrađen je još 1556. godine i predstavlja kulturno povjesni spomenik nulte kategorije. Svojim izgledom, tehničkim rješenjima i načinom gradnje to je graditeljsko remek djelo svoga vremena.

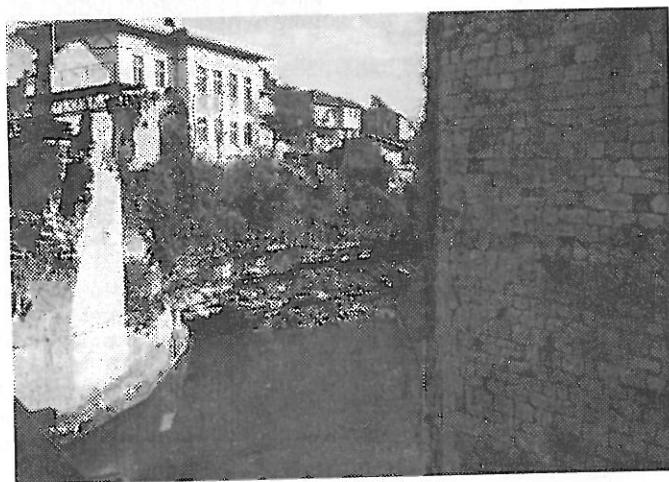
Razmak između zidanih oslonaca mosta iznosi 28 metara, a lučni dio ima radius 14,6 metara. Da postoji opasnost po stabilnost mosta zbog nepovoljnih inženjersko geoloških pojava i litološkog sklopa terena na koji se oslanjaju temelji mosta znalo se još prije 50 godina. Prvi sanacijski radovi u području temelja izvedeni su 1956. godine, ali zbog niza otežavajućih okolnosti nisu do kraja provedeni. Već tada su uočena dva važna problema i to:

- način zatvaranja i ispunjavanja podloških obala u području temelja
- očvršćavanje stijena slabih geomehaničkih svojstava.

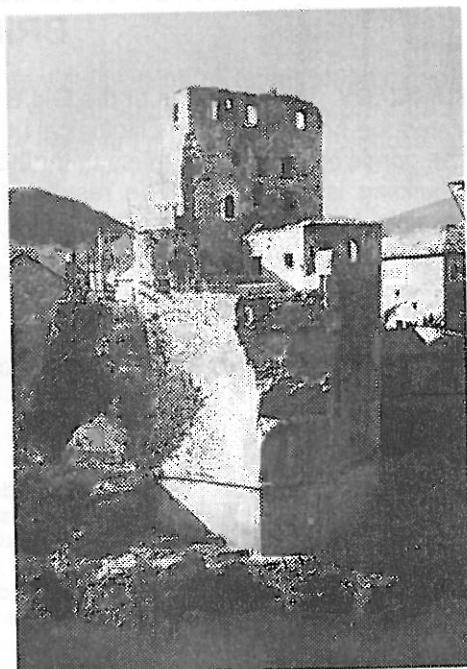
Konsolidacijski radovi su usmjereni uglavnom na problem zatvaranja i ispunjavanja podloških obala u području temelja. Pod zaštitom odgovarajuće oplate, kojom su podloški prostori odvojeni od rijeke, izvršeno je zapunjavanje postupkom "prepakt", a djelomice i klasičnim cementnim injekcijama. Ovim zahvatima se trebao sprječiti dalji proces erozije i omogućiti oslonac tankom sloju čvrstih konglomerata na kojima leže temelji mosta.

Tijekom 1982. godine izvršena su istraživanja u području temelja na lijevoj i desnoj obali. Kao dio ovih istraživanja izvedeno je jedno probno sanacijsko polje na desnoj obali. U prvoj fazi istraživanja izvršeno je inženjersko geološko kartiranje terena, istražno bušenje, petrografska i geomehanička ispitivanja, ispitivanja TV kamerom i radioaktivnim karotažom, te ispitivanja vodopropusnosti u buštinama.

U drugoj fazi je izvedeno probno sanacijsko polje i kontrolna ispitivanja. Posljednji rat na ovim prostorima donio je brojna razaranja pa je pogotcima granata 1993. godine srušen i Stari most. Srušen je cijeli lučni dio mosta (slika 1 i slika 2) dok su relativno neoštećeni ostali bočni dijelovi, odnosno zidani oslonci i kule koji čine jednu cjelinu i u statičkom smislu.



Slika 1. Ostaci Starog mosta, lijeva obala



Slika 2. Ostaci Starog mosta, desna obala

Obnova Starog mosta odvijat će se pod pokroviteljstvom i uz finansijsku potporu UNESCO-a i Svjetske banke. Predstojeća istraživanja omogućit će izradu projekta obnove i izgradnju replike mosta na način i od materijala koji odgovaraju originalu.

## Rezultati dosadašnjih istraživanja i sanacija

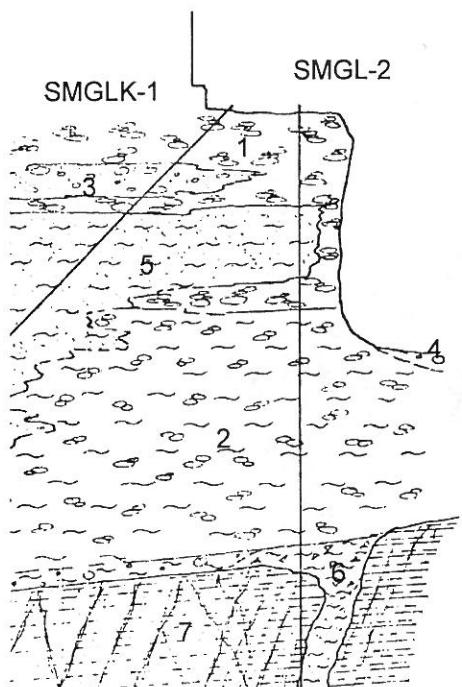
### Inženjersko geološka istraživanja

Najpotpunije informacije o geološkom sastavu i geomehaničkim značajkama tla u području temelja dobivene su tijekom detaljnih istraživanja 1982. godine (1). Tlo je izgrađeno od kvarternih i neogenskih naslaga. Neogenske naslage čine sivi i sivo smeđi slatkovodni lapori mikrokristalaste do kriptokristalaste strukture. Znakovita je izrazita tektonska ispučalost. Dominiraju pukotinski sustavi prostornog položaja  $50^{\circ}/80^{\circ}$  i  $340^{\circ}/70^{\circ}$ . Pukotine širine do 5 cm su prazne ili ispunjene glinenim materijalom. U nekim bušotinama na desnoj obali konstatirane su kaverne promjera 0,5 m do 2,5 m djelomice ili potpuno zapunjene glinenim muljem. Na dnu ovih kaverni obično se nalazi zaglinjeni šljunak i pijesak, što upućuje na mogućnost zarušavanja materijala iz krovinskih naslaga. Prostorni položaj i dimenzije kaverni ovim istraživanjima nisu jasno definirani pa je zbog njihovog geotehničkog značenja ovaj problem potrebno posebno tretirati u okviru predstojećih istraživanja. U području temelja unutar ovih naslaga konstatirana su tri paralelne rasjeda sa elementima pada  $350^{\circ}/80^{\circ}$ . Rasjedi su ispunjeni laporovitom glinom i fragmentima laporanog materijala, a širina im iznosi približno 1,0 m do 3,0 m.

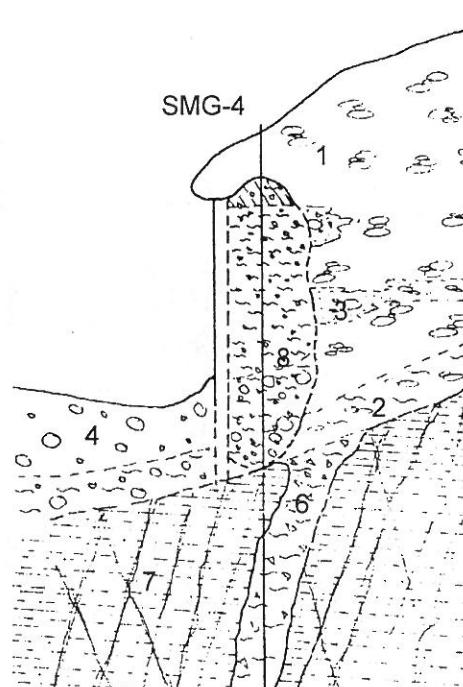
Zbog značajnog udjela laporovite komponente lapor je sklon raspadanju u laporovitu glinu koja se nalazi u njegovoj krovini na kontaktu sa slojem šljunka, pijeska i slabo vezanog konglomerata. Unutar glinovito karbonatnog matriksa nalaze se čestice drobine oštih rubova veličine do 2 cm što pokazuje da ovaj materijal nije transportiran.

Šljunak i pijesak bez značajnijeg udjela glinene komponente zastupljen je unutar slojeva čvrstog konglomerata u vidu proslojaka. Zaglinjeni šljunak i pijesak pojavljuje se obično na kontaktu sa laporom ili laporovitom glinom.

Čvrsti konglomerati su zastupljeni uglavnom na površini terena i djelomice kao proslojci unutar slabo vezanih konglomerata. Valutice vapnenca, dolomita, eruptiva i kvarca vezane su kalcitnim vezivom u čvrstu stijenu veoma dobrih geomehaničkih svojstava. Ovaj sloj čvrstih konglomerata ima debljinu 1,5 m do 5,0 m i na njemu leže temelji mosta.

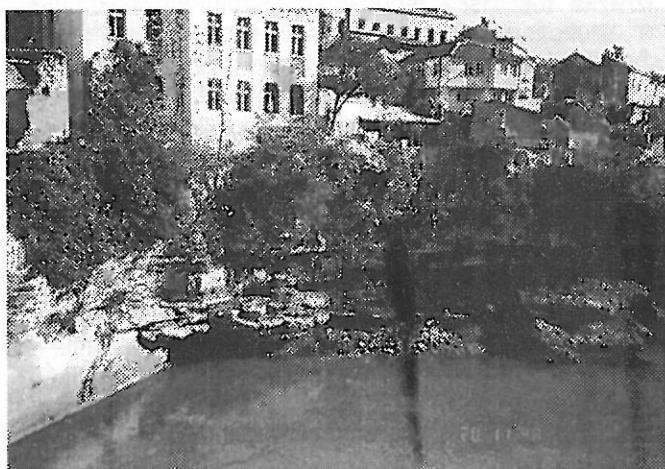


Slika 3. Inž. geološki profil lijeve obale



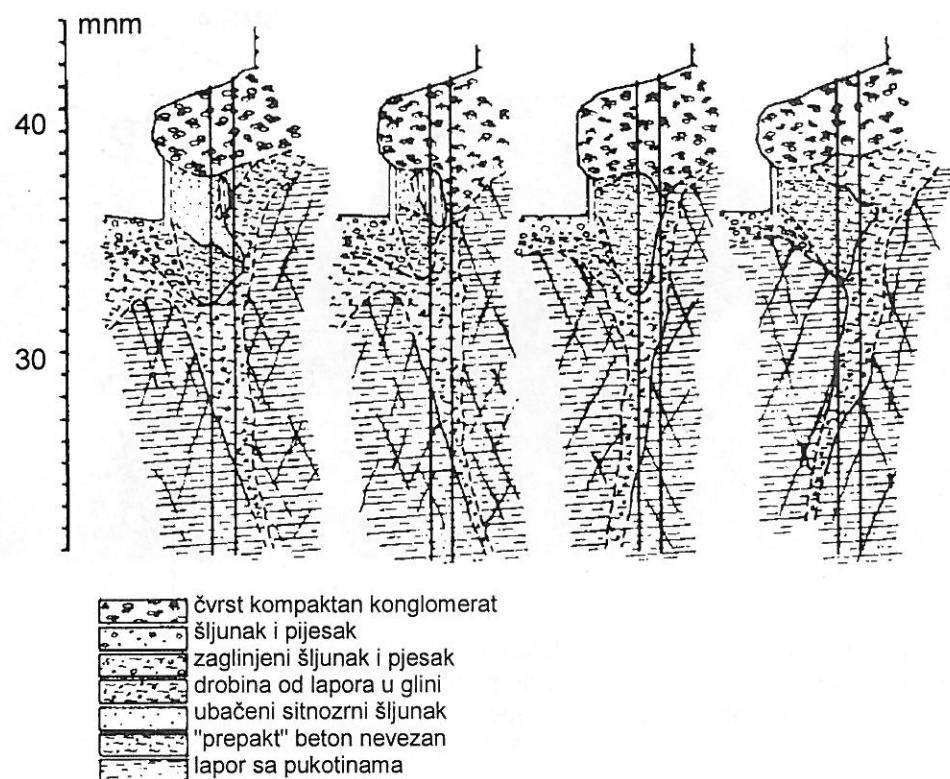
Slika 4. Inž. geološki profil desne obale

Osnovna značajka cijelog paketa nabrojanih litoloških članova je velika heterogenost. Slika litološkog sastava se mijenja na malim razmacima zbog čega i inženjersko geološke profile na slici 3 i slici 4 treba smatrati mjerodavnim samo u prikazanom profilu. Tako i dubina do neogenskih lopora varira od profila do profila u rasponu 6,0 m do 18,0 m. Rijeka Neretva je erodirala nevezane i slabo vezane sedimente na svojim obalama, te se čvrsti konglomerati pojavljuju u obliku konzolnih ploča (slika 5).



**Slika 5.** Oblici čvrstog konglomerata nakon procesa erozije

Jednaka situacija je i u dijelu kompleksa temeljne stijene, osobito na uzvodnom dijelu desne obale gdje je locirano probno sanacijsko polje. Inženjersko geološki profili ove stijenske sredine prikazani su na slici 6.



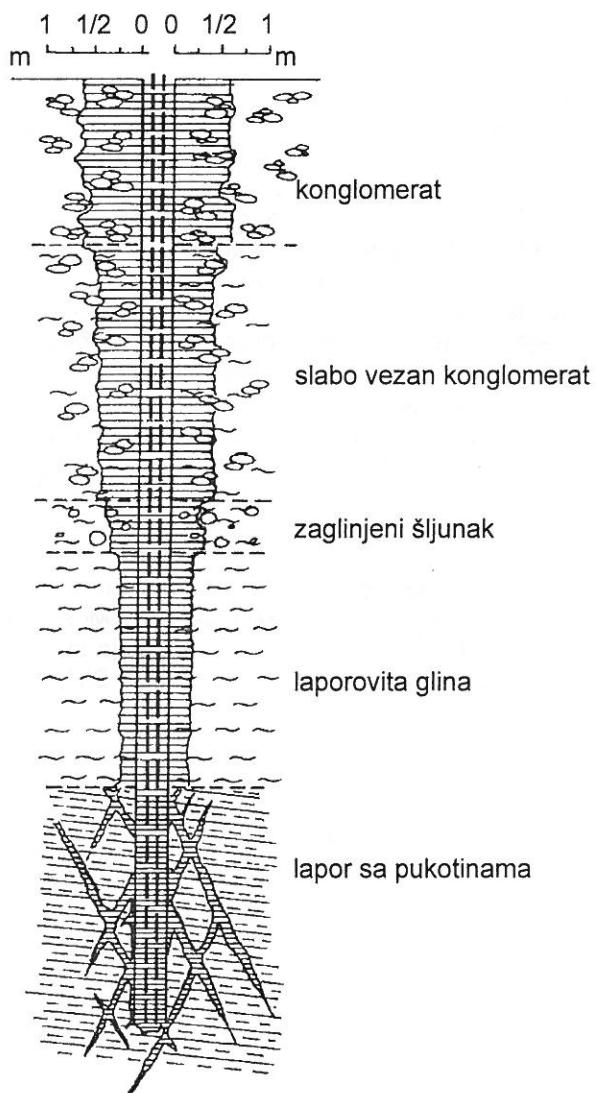
**Slika 6.** Inženjersko geološki profili uzvodnog dijela desne obale

### *Probno sanacijsko polje*

Probno sanacijsko polje locirano je uz uzvodni zid oslonca mosta na desnoj obali u području gdje su geološki uvjeti temeljenja najnepovoljniji. Tehničko rješenje se temeljilo na zamisli da se mrežom mikropilota i injektiranjem stijenske sredine poveća nosivost stijene pri čemu se opterećenja prenose na bolje nosivu stijenu u dubinu, a prazni prostori unutar stijene se ispunjavaju injekcijskom smjesom.

Injekcijske bušotine su locirane na vrhovima istostraničnih trokutova sa dužinom stranice 1,0 m. U geometrijskim sredinama ovih trokutova izvedene su nakon injektiranja kontrolne bušotine. Zbog sprječavanja prodora injekcijske smjese u vodu prvo se injektirao red bušotina uz rijeku pri čemu je primjenjena metoda "približavanja", a zatim je injektiran drugi red. Dubina bušotina bila je ovisna o dubini na kojoj se nalazi kompaktni lapor. Smjese za injektiranje odabrane su na temelju predhodnih i kontrolnih terenskih ispitivanja. Ispitana su četiri tipa injekcijskih smjesa sa po jednim omjerom suha tvar/voda od kojih jedna cementno bentonitna i tri cementno bentonitno pješčane smjese sa dodatkom plastifikatora. U skladu sa terenskim uvjetima najveću primjenu imala je cementno bentonitna smjesa sastava 96% cementa PC-45, 4% bentonita, 4% plastifikatora na količinu cementa. Omjer suha tvar/voda kretao se u rasponu 1/0,6 do 1/2. Time je postignuta zadovoljavajuća čvrstoća i najveći mogući radijus prodora kroz šljunak i pijesak.

Injektiranje je izvršeno uz primjenu modificirane metode "Serpanson" sa uzlaznim postupkom i etažama dužine 0,5 m.



**Slika 7.** Približna penetrabilnost injekcijske smjese

Značajniji prodori injekcijske smjese javljaju se na kontaktu konglomerata i glina gdje su uvjeti filtriranja vode bili povoljni pa je i injekcijska smjesa u potpunosti očvrsla. Najveći utrošci injekcijske smjese (preko 1000 kg suhe tvari na 1,0 m bušotine) konstatirani su u laporima, što je posljedica njenog prodora kroz otvorene pukotine na veće udaljenosti. Vodopropusnost stijene u kontrolnim bušotinama bila je izrazito mala. Prema tome, probno sanacijsko polje u području temelja Starog mosta potvrdilo je prihvatljivost zamišljenog tehničkog rješenja sanacije temelja. Efekti ovog rješenja bili bi bolji uz primjenu mikrocementa odgovarajuće krupnoće mliva jer bi se postigla veća penetrabilnost injekcijske smjese u šljunku i pijesku. Kao jedno od mogućih tehničkih rješenja sanacije temeljnog tla mogla bi se primjeniti i metoda mlaznog injektiranja čime bi se rješio problem injektibilnosti u glinama i jako zaglinjenim šljuncima.

#### *Sanacija podločanih obala*

Kao posljedica intenzivne erozije nevezanih i slabo vezanih sedimenata na desnoj obali sa uzvodne strane mosta pojavila su se udubljenja unutar čvrstih konglomerata. Dalji proces erozije ugrozio bi stabilnost temelja pa je 1956. godine izvršena sanacija ispunom ovih prostora "prepakt" u betonom. Kroz bušotine odgovarajućeg profila u podlokane prostore ubacivan je šljunak i pijesak, a zatim je pod zaštitom oplate izvršeno injektiranje ubačenog materijala. Izvedeni radovi su imali određene pozitivne efekte i sigurno su usporili proces erozije. Međutim, primjenjena tehnologija nije dala trajne efekte što se pokazalo istražnim radovima provedenim 26 godina poslije. Šljunak je uglavnom ostao u nevezanom stanju, a nije zapunjjen ni kontakt sa krovinskim slojem čvrstog konglomerata. Ovo ukazuje na potrebu primjene drugih rješenja zaštite obala u sklopu predstojećih radova na obnovi Starog mosta.

#### **Zaključak**

Geološki sastav stijena u području temelja Starog mosta izrazito je heterogen. Temelji leže na sloju čvrstog konglomerata debljine 1,5 m do 5,0 m, a zatim slijedi kompleks sastavljen od slabo vezanog konglomerata sa glinenim vezivom, zaglinjenog šljunka i pijeska, gline sa šljunkom i fragmentima laporanog lopata, čiste gline i jako ispučalog lopata.

Unutar temeljne stijene na nekoliko mjesta registrirane su kaverne čije dimenzije i prostorni položaj nisu sa sigurnošću određeni. Postoje indicije da se kaverne vremenom zapunjavaju obrušavanjem krovinskih nevezanih sedimenata što može ugroziti stabilnost temelja.

Sa uzvodne strane temelja na desnoj obali registrirane su brojne pojave podlokavanja koje su nastale erozijom nevezanih i slabo vezanih sedimenata.

Tehnička rješenja zaštite obala primjenjena 1956. godine nemaju trajni karakter.

Probno sanacijsko polje izvedeno 1982. godine dalo je dobre rezultate, ali pitanje injektibilnosti svih litoloških članova nije u potpunosti rješeno.

#### **Literatura**

- (1) Ivanković, T., Antunović, I. (1989). Istražni i probno sanacioni radovi u području temelja Starog mosta u Mostaru, Zbornik radova Građevinskog fakulteta, Mostar, 75-80
- (2) Krsmanović, D., Dolarević, H., Langof, Z. (1967). Sanacija starog kamenog mosta u Mostaru, Naše starine, Godišnjak Zavoda za zaštitu spomenika SR BiH, Sarajevo, 5-23