



Geotehnički radovi tijekom sanacije mostova

Ivan Matković

Olja Brkljač

Morana Krulić

Mostovi preko vodotokova

- U prezentaciji je prikazana sanacija mostova kod kojih su dijelovi konstrukcije građeni neposredno uz ili u samom vodotoku.
- Uslijed djelovanja vodenog toka dolazi do erozijskih i sedimentacijskih procesa koji djeluju na geološku građu i oblikuju korito.
- Eroziya može biti vertikalna, djeluje u dubinu ili bočna kada ispire stranice korita.
- Ujedno, cijelim tokom rijeka taloži određenu količinu nanosa različite granulacije.



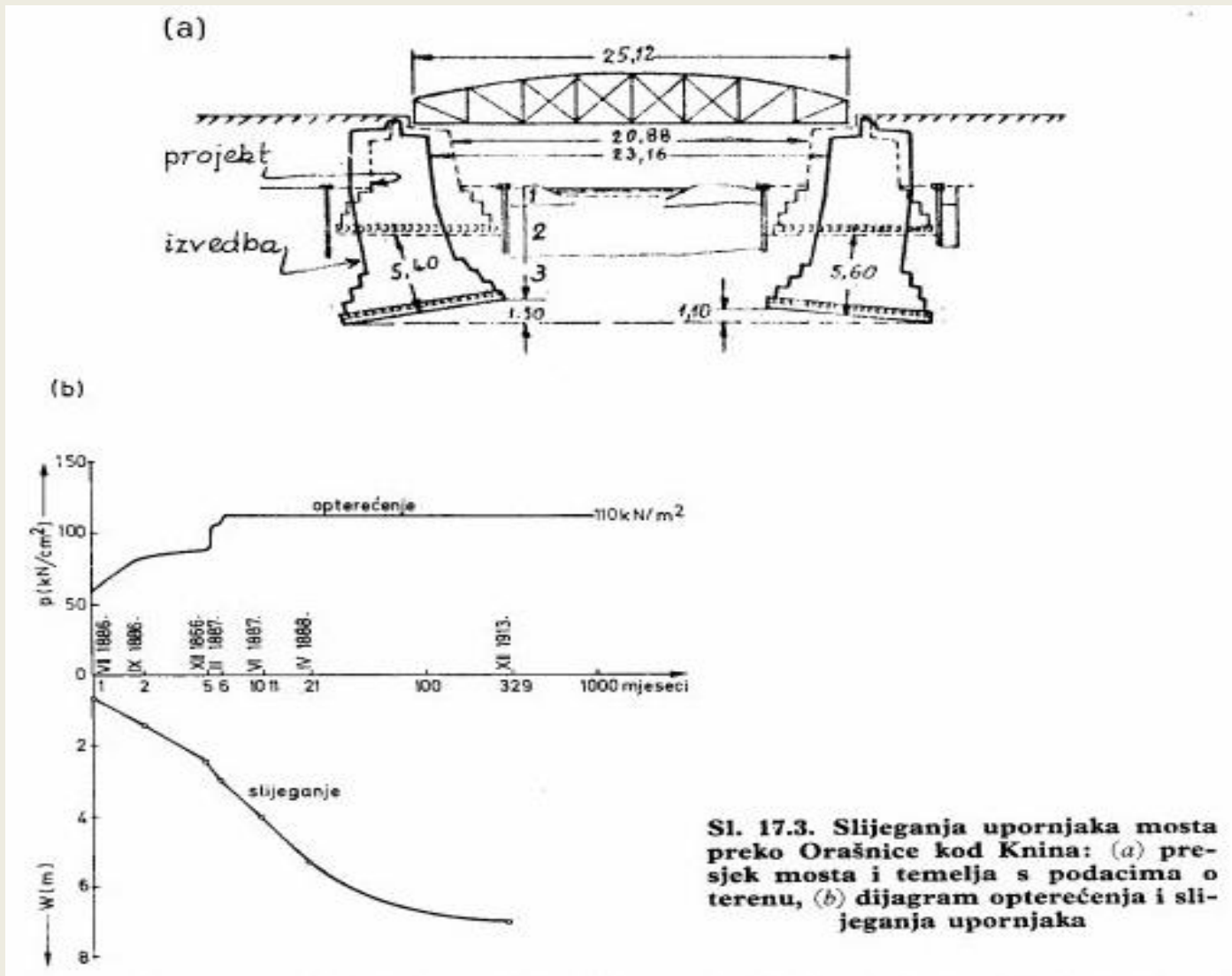
- Erozija je najizraženija kad su dno i stranice rijeka građene od nekoherentnog zrnatog materijala. Također djeluje na koherentne materijale i trošnu stijensku masu.
- Erozija se pojavljuje uslijed prirodnog djelovanja vodotoka u koritu ali se može pojaviti i uslijed izgradnje građevinskih konstrukcija u koritu rijeke.
- Sedimentacija oko vodotoka može stvoriti meke, stišljive slojeve tla vrlo male čvrstoće.



Most Orašnica (stari most)

- 1886, gradnja pruge Split Knin
- Otvor mosta trebao je biti 20,9 m, a gredna konstrukcija ležala je na dva masivna upornjaka
- Tlo je građeno od slabo konsolidiranih jezerskih naslaga od meke gline
- Već u toku građenja upornjaci su se slijekali, a naginjali su se i prema vani zbog težine pristupnih nasipa do mosta





E. Nonveiller, Mehanika tla i temeljenje, 1979.

Most iz 1957.

- Dva betonska upornjaka i betonsko stupište, rasponi iznose 9,9 i 9,0 m
- Svaki temelj se oslanja na 100 zabijenih armiranobetonskih pilota presjeka 30*30 cm i duljine 8,0-12,4 m
- Na upornjaku s kninske strane mosta pojavila su se oštećenja betonske konstrukcije za koja je ustanovljeno da su uzrokovana slijeganjem temelja





Na zidu upornjaka s kninske strane pojavila se pukotina širine 12-15 cm uz vertikalni pomak zida od 4-5 cm

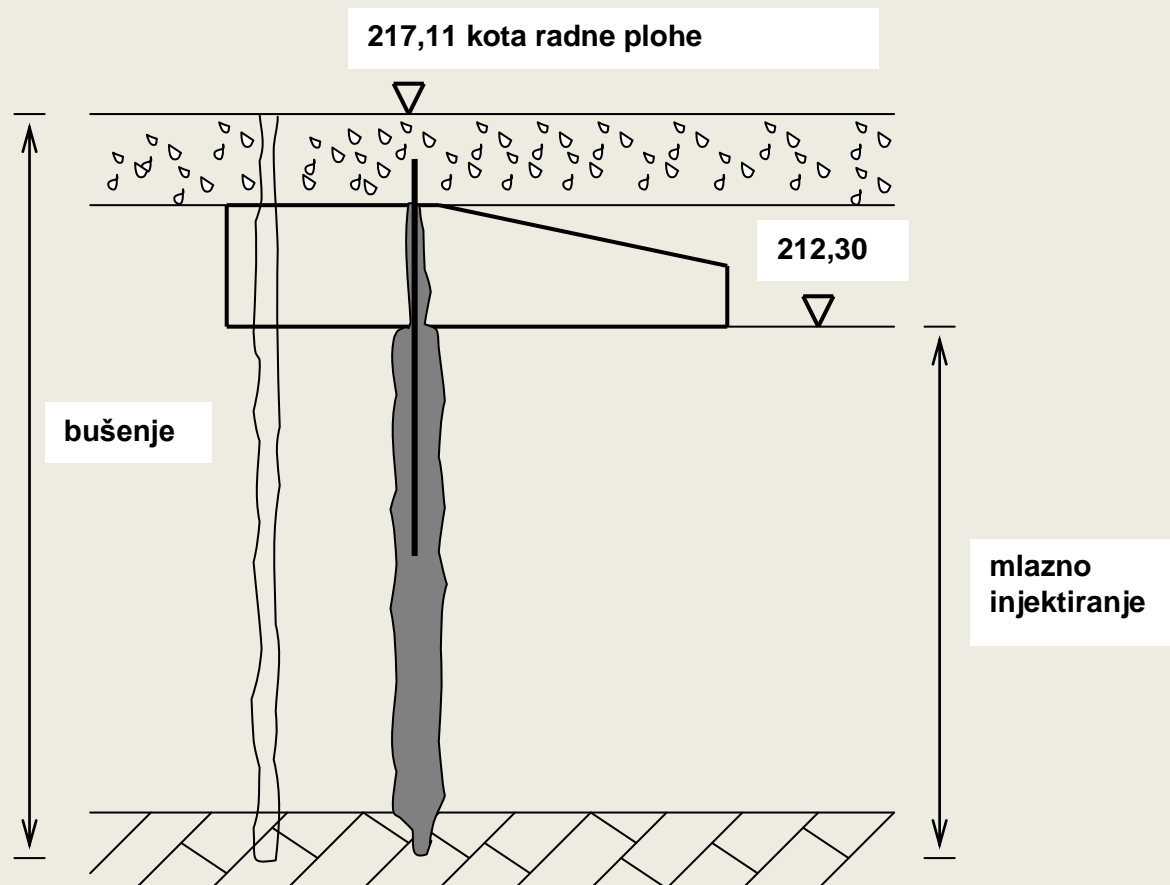
Da bi se saniralo postojeće stanje izvedeno je:

- uklanjanje deformiranih nosivih ploča uz rušenje deformiranog dijela zida upornjaka s kninske strane;
- sanacija tla ispod deformiranog dijela upornjaka metodom mlaznog injektiranja;
- rekonstrukcija dijela upornjaka i dijela stupa uz izvedbu nove rasponske konstrukcije u širini rekonstruiranog dijela mosta.



Mlazno injektiranje je obuhvatilo:

- izvedbu, tehnikom mlaznog injektiranja, 83 stupnjaka ispod dijela postojećeg temelja upornjaka s kninske strane mosta, između zabijenih armiranobetonskih pilota;



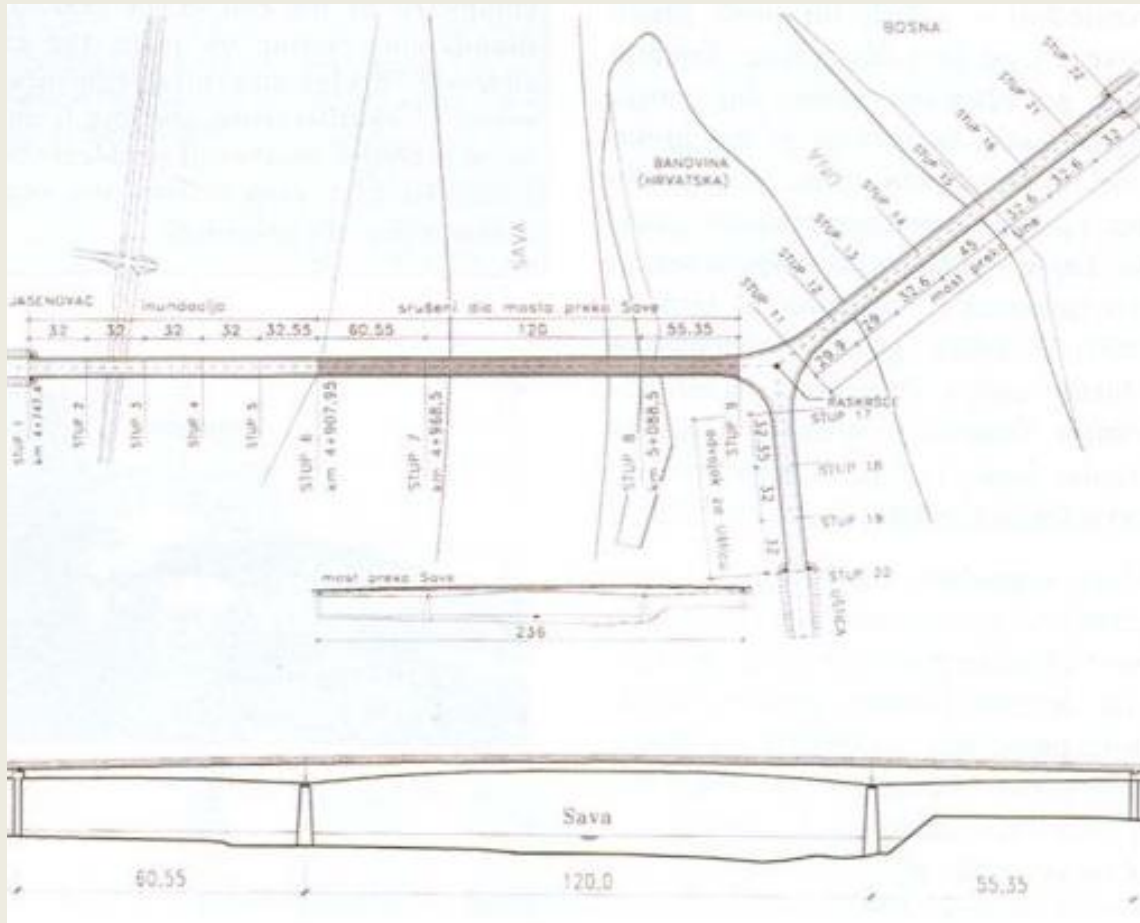


Pogled na most s Kninske tvrđave



Radovi mlaznog injektiranja

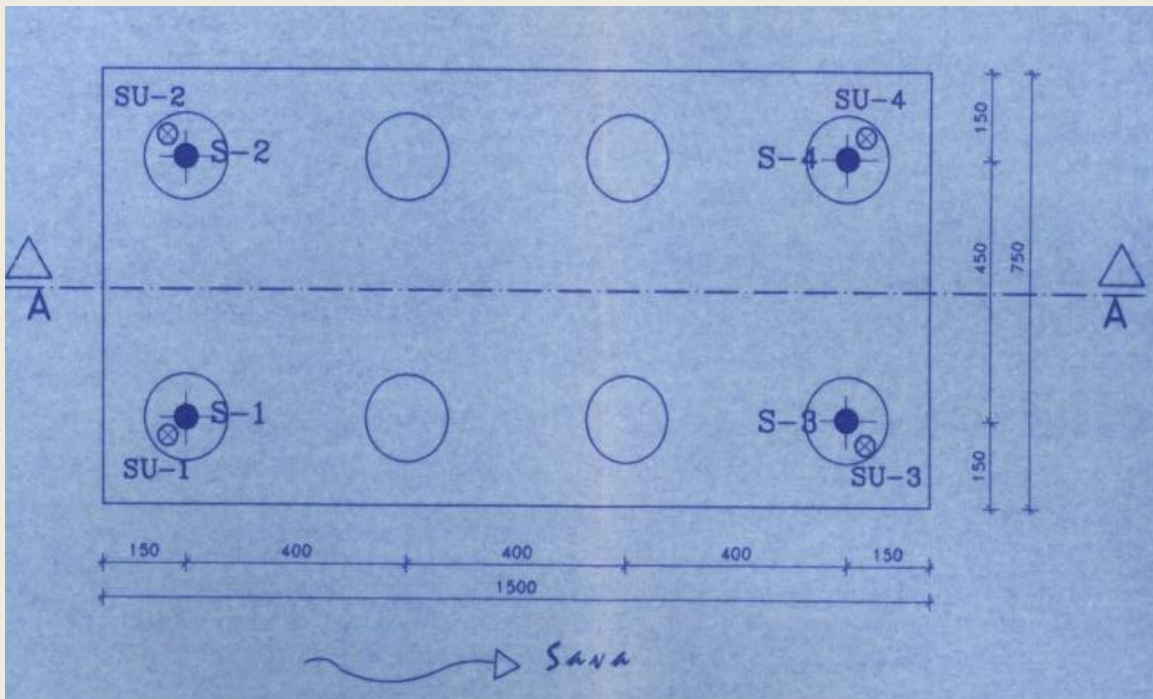
Most Jasenovac



Položaj mosta preko Une i Save kod Jasenovca



Dovršeni most 1973. godine
(S. Šram, Gradnja mostova, 2002.)



Prema izvornom projektu temeljna konstrukcija stupa S7 se sastoji od 8 bušenih pilota promjera 150 cm koji su pri vrhu povezani masivnom naglavnom pločom.

Oko naglavnice je izveden zagat od čeličnih talpi.

Dubina bušenja (m)	Betonska jezgra S1	Opis	Dubina bušenja (m)	Betonska jezgra S1	Opis
0,00		<p>B1</p> <p>Beton maksimalnog zrna agregata 32 mm, dobrog učešća i rasporeda frakcija, svjetlije cementnog kamena</p> <p>N 456</p>	1,00		<p>B1</p> <p>nema čvrste veze dvaju betona</p> <p>B2</p>
,18			,25		
,36			,40		
,49			,49		
,63			1,50		
,70			,84		
,80			,84		
1,00			2,00		

Dubina bušenja (m)	Betonska jezgra S1	Opis	Dubina bušenja (m)	Betonska jezgra S1	Opis
4,00		<p>B2</p> <p>Beton maksimalnog zrna agregata 32 mm, dobrog učešća i rasporeda frakcija, tamnijeg cementnog kamena</p>	5,00		<p>B2</p> <p>Beton maksimalnog zrna agregata 32 mm, dobrog učešća i rasporeda frakcija, tamnijeg cementnog kamena</p> <p>N 458</p> <p>ME 034/1</p>
,07			,10		
,17			,19		
,30			,30		
,50			,88		
5,00			6,00		

Dubina bušenja (m)	Betonska jezgra S1	Opis	Dubina bušenja (m)	Betonska jezgra S1	Opis
10,00		<p>B3</p> <p>Beton najlošije kvalitete, max. zrna agregata 32 mm, porozan, s šuplinama, loš raspored frakcija, svjetlije cementnog kamena, ispiranje cementnog kamena uslijed bušenja</p> <p>N 461</p>	11,00		<p>B3</p> <p>Beton najlošije kvalitete, max. zrna agregata 32 mm, porozan, s šuplinama, loš raspored frakcija, svjetlije cementnog kamena, ispiranje cementnog kamena uslijed bušenja</p> <p>Vidljiva segregacija, veziva nema, vrlo loša ugradnja</p>
,19			,15		
,24			,24		
,38			,34		
,45			,53		
,53			,63		
,68			,70		
,80			,78		
,87			,89		
11,00			12,00		

Prema programu istražnih radova su izvedene 4 bušotine kroz uglovne pilote.

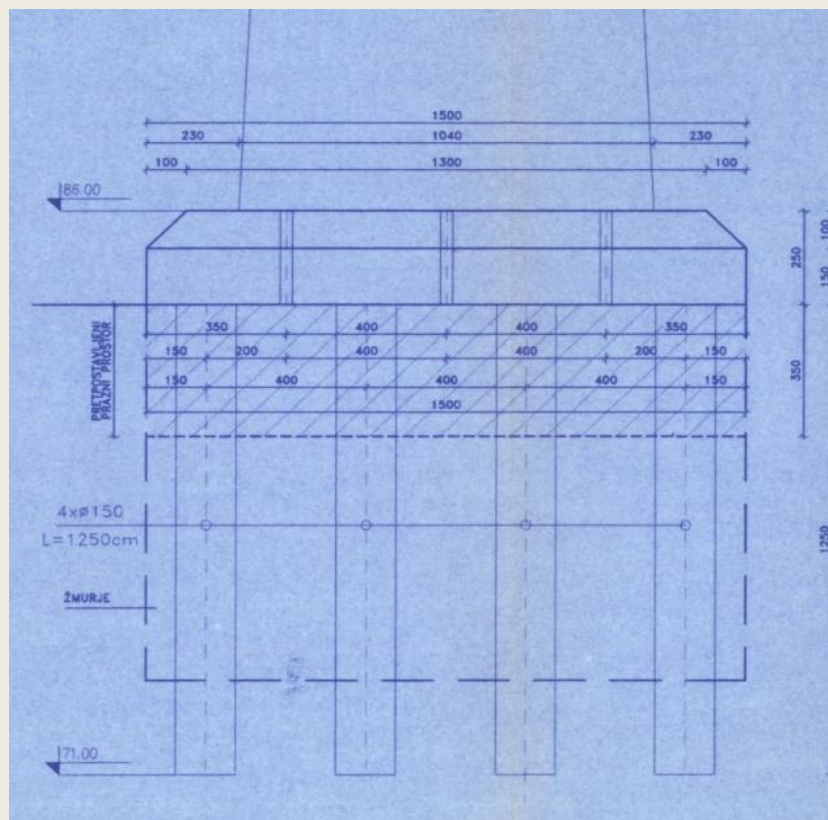
Na sve 4 bušotine uočeno su tri vrste betona (B1, B2 i B3) ovisno o kvaliteti betonske mase.

Bilo je potrebno provesti bušenje kroz naglavnu ploču kako bi se utvrdila ukupna debljina baze stupa i naglavne ploče te količina ispranog tla ispod temelja. Kontrolne bušotine:

- KB-1, utvrđen je slijedeći raspored materijala:
 - 0,00 - 3,45 m beton;
 - 3,45 - 5,60 m bušaći pribor “propada”;
 - 5,60 - 7,00 m prašinski pijesak;
 - 7,00 - 8,00 m prašinski šljunak.
- KB-2, utvrđen je slijedeći raspored materijala:
 - 0,00 - 4,00 m beton;
 - 4,00 – 6,70 m bušaći pribor “propada”;
 - 6,70 – 7,45 m prašinski pijesak;
 - 7,45 – 9,00 m prašinski šljunak.

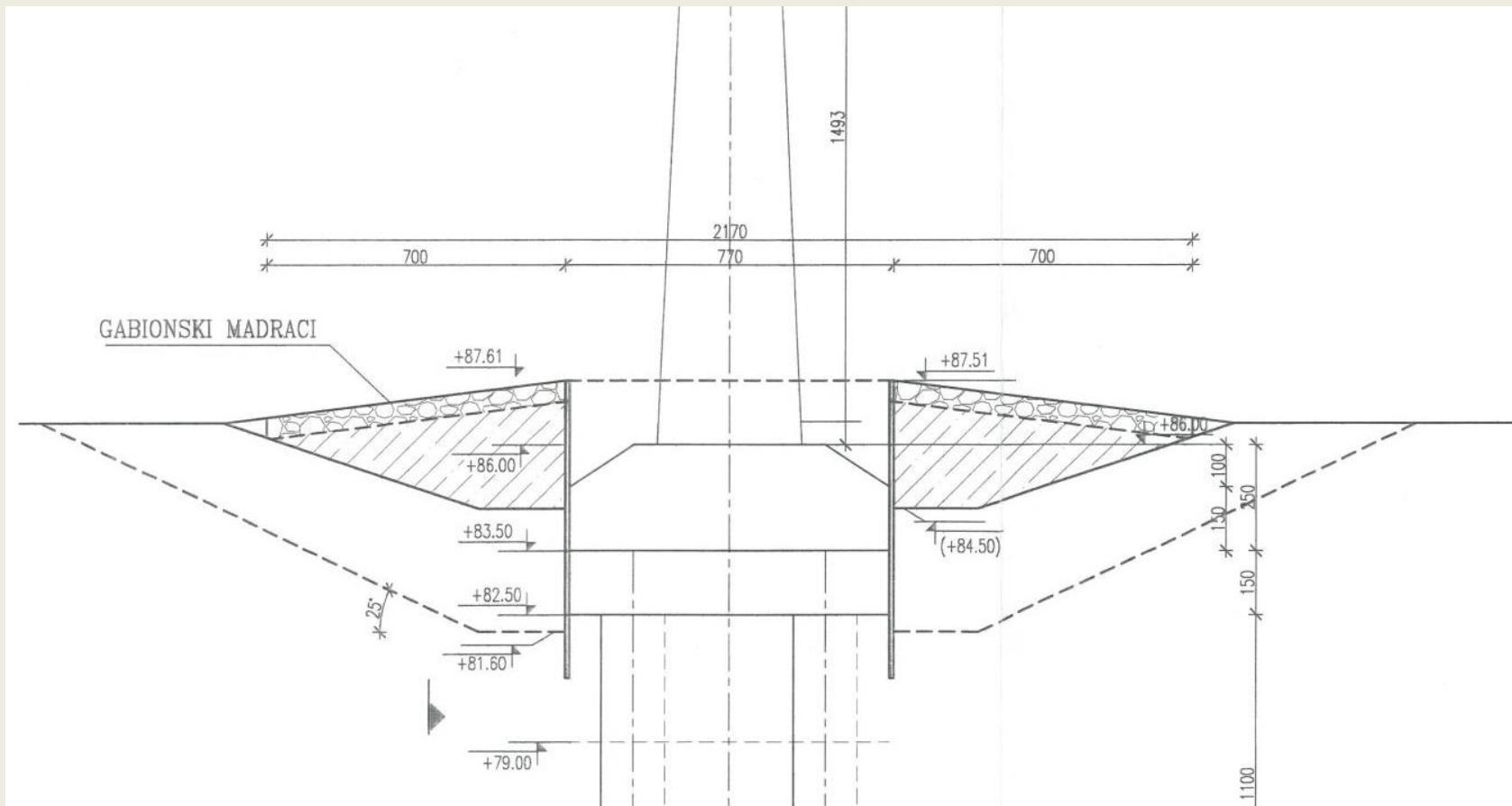


Oko naglavne ploče stupa S7 je pobijen novi zagat od čeličnih talpi. Prostor između starih i novih talpi je zapunjen betonom. U naglavnoj ploči su izbušene četiri rupe promjera 140 mm kroz koje je pomoću betonske pumpe ugrađen beton koji je zapunio prazan prostor ispod naglavnice.





Sanacija stupa S7, radovi tijekom 2005.



U konačnici je napravljena sanacija korita uz stup S7.
 Ispiranje tla 4,7 m (86,3 do 81,6).

- Investitor: Hrvatske ceste, Zagreb
- Geotehnički istražni radovi: IGH Zagreb, 2003.
- Projekti: Građevinski fakultet Zagreb, IGH Zagreb, 2004.
- Nadzor: IGH Zagreb, 2004. i 2005.
- Izvoditelj radova: Đuro Đaković-Montaža Slavonski Brod, Gradex-ing Slavonski Brod, 2005.



Most Jakuševac

- Most Jakuševac je izgrađen 1968. godine.
- Obrambeni nasipi su na razmaku oko 300 m
- Širina korita rijeke Save oko 112 m

Rasponski sklop čine tri dilatacije čeličnih grednih sustava ukupne duljine 432,35 m.





U ožujku 2009. dio mosta je izgubio nosivost u trenutku kada je preko njega prolazio teretni vlak. Ustanovljeno je ispiranje tla oko temelja stupa S6 u koritu Save.

Prema projektnoj dokumentaciji: Temelj stupa S6 – bunar tlocrtnih dimenzija 17,0 x 6,5 m, kota temeljenja 94,00 m n.m.

Lokalno podlokavanje iznosilo je više od 5 metara u dubinu – do kote 93,5 m.n.m.

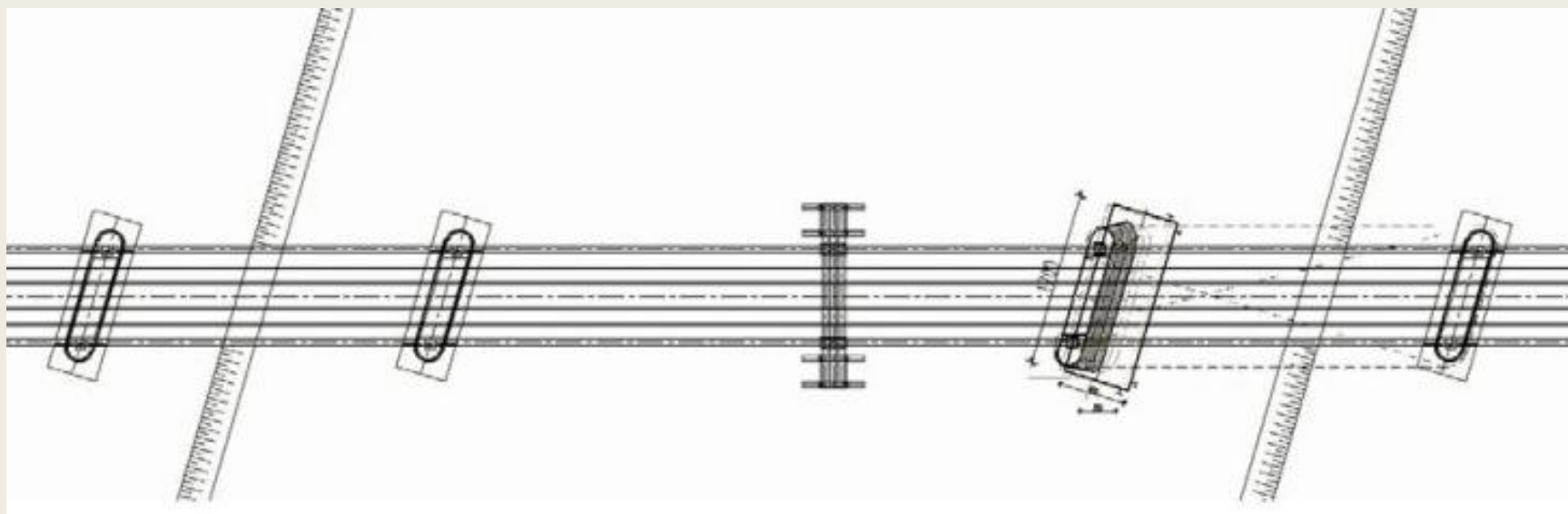
Projektom sanacije predviđeno je rušenje stupa S6 nakon podizanja i odvajanja konstrukcije mosta od stupa. Bilo je potrebno izvesti:

- sanaciju temelja
- dodatno povezivanje čeličnom užadi S6 s S7
- proširenje temelja S6 kako bi se na njemu mogao izvesti pomoćni stup od teške cijevne skele.



- Izvedba zagata od čeličnog žmurja. Žmurje L= 10 i 12 m
- Podvodno betoniranje prostora između postojećeg temelja i zagatne stijene od sadašnjeg dna korita (nakon zasipavanja) pa do kote 98,00 m n.m.
- Bušenje kroz beton, armiranobetonski postojeći temelj i šljunak, za potrebe izvedbe mlaznog injektiranja
- Izvedba mlazno injektiranih stupnjaka u šljunku tako da je kota dna injektiranja predvidivo 89,00 m n.m.
- Podizanje konstrukcije, uklanjanje postojećeg stupa, izvedba nove vezne ploče i novog stupa





Tlocrt mosta

Položaj stupova S5 i S6 u koritu rijeke Save

MOST „SAVA JAKUŠEVAC“
S-1



MOST „SAVA JAKUŠEVAC“
S-2



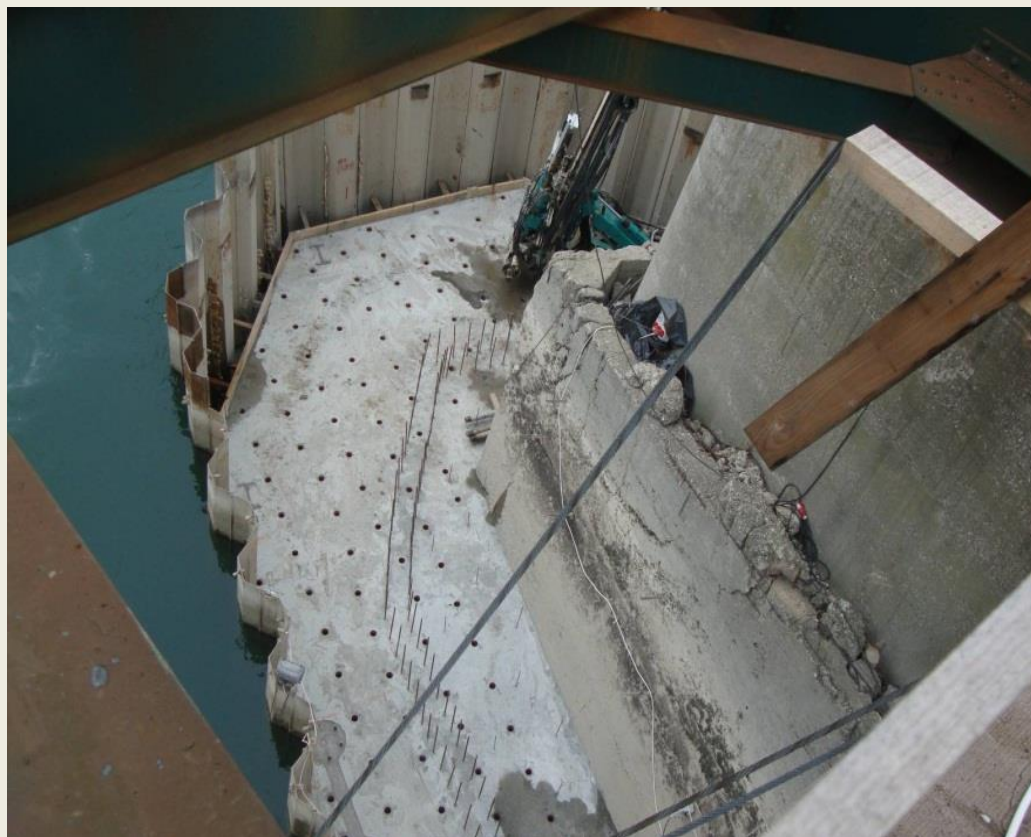
Istražne bušotine izvedene uz stup S-7.



Izvedba zagata od čeličnog žmurja oko postojećeg nagnutog temelja stupa S6.



Izvedba novog temelja između stupa i zagata od žmurja, do kote 101,00 m n.m.



Izvedba stupnjaka mlaznim injektiranjem u šljunku tako da je kota dna injektiranja predvidivo 89,00 m n.m.



Podupiranje rasponske konstrukcije s dva pomoćna stupa, nakon čega slijedi rekonstrukcija stupa i čelične konstrukcije.



- Odizanje rasponskog sklopa
- Konačno stanje je fiksirano i pristupilo se radovima na sanaciji čeličnog rasponskog sklopa, uklanjanja stupa S6 i izvedbi novog stupa.



Povlačenjem vodnog vala u rujnu 2010. je došlo do klizanja obale između stupova S6 i S7.

- Investitor: HŽ Infrastruktura, Zagreb
- Geotehnički istražni radovi: IGH Zagreb, 2010.
- Projekti: IGH Zagreb i Građevinski fakultet Zagreb, 2010.
- Nadzor: IGH Zagreb, 2011.
- Izvoditelj radova: Hidroelektra niskogradnja Zagreb, 2011.
- Injektiranje: GK Grupa Zagreb, 2011.



Podsusedski most

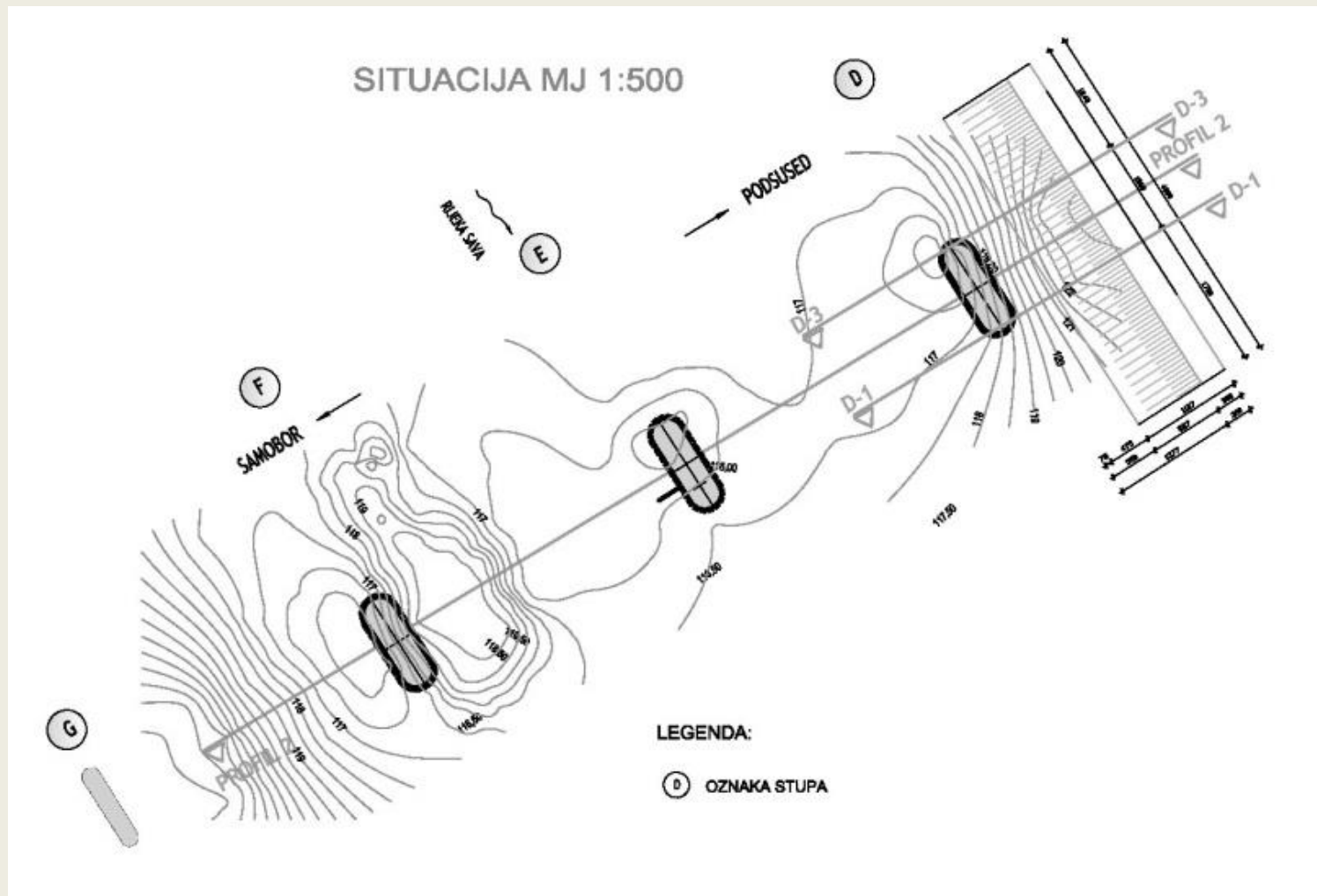
Tri stupa u koritu koja treba sanirati su stari više od 100 godina, a srednji stup je u najgorem stanju jer se događa ispiranje temeljnog tla pa je ugrožena stabilnost cijelog mosta.

Radi toga je 2015. provedena sanacija srednjeg stupa oznake E.

U temeljno tlo oko stupa ubušen 101 mikropilot dužine 4 do 6 m.

Mikropiloti su povezani armiranim betonom s tijelom stupa.



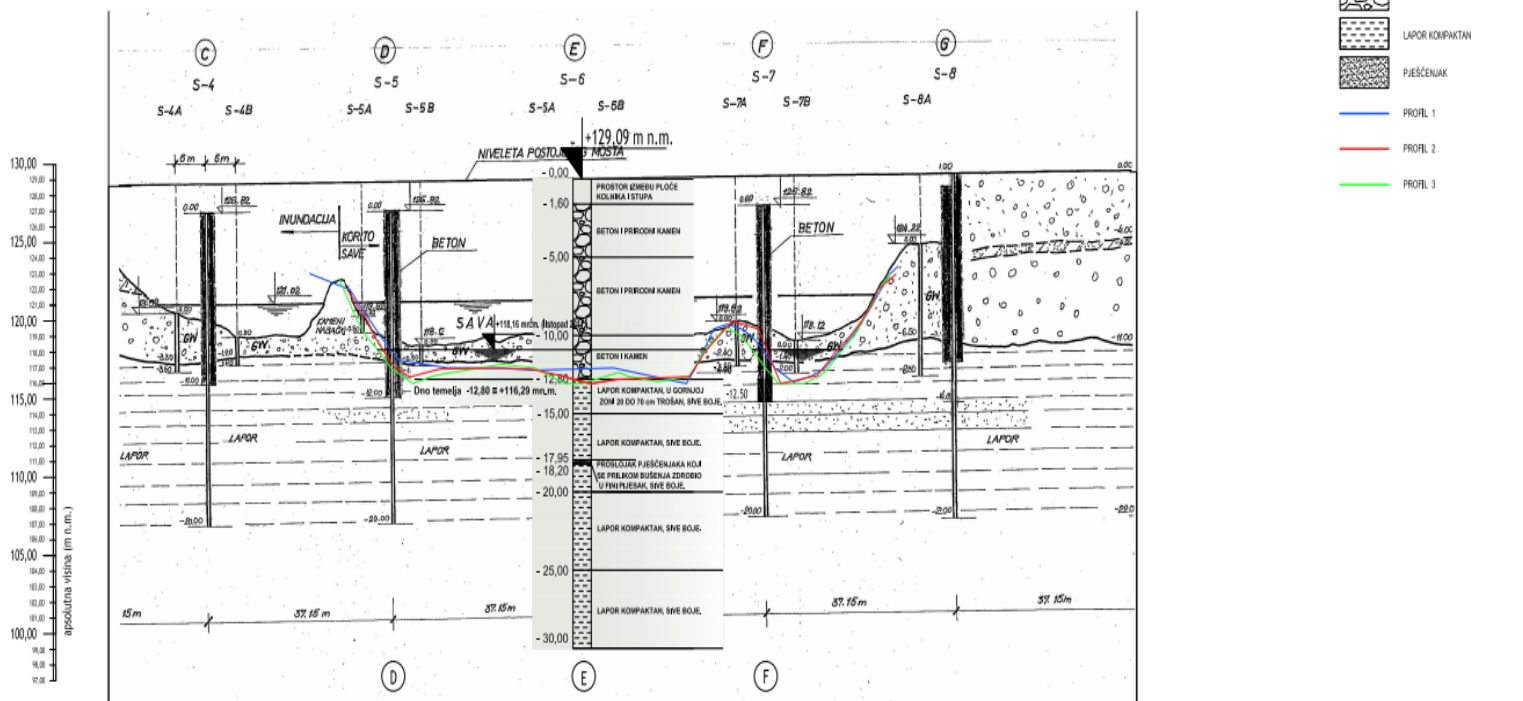


Situacija stupova u koritu rijeke Save

GEOTEHNIČKI PROFIL

PODSUSED ←

→ SAMOBOR

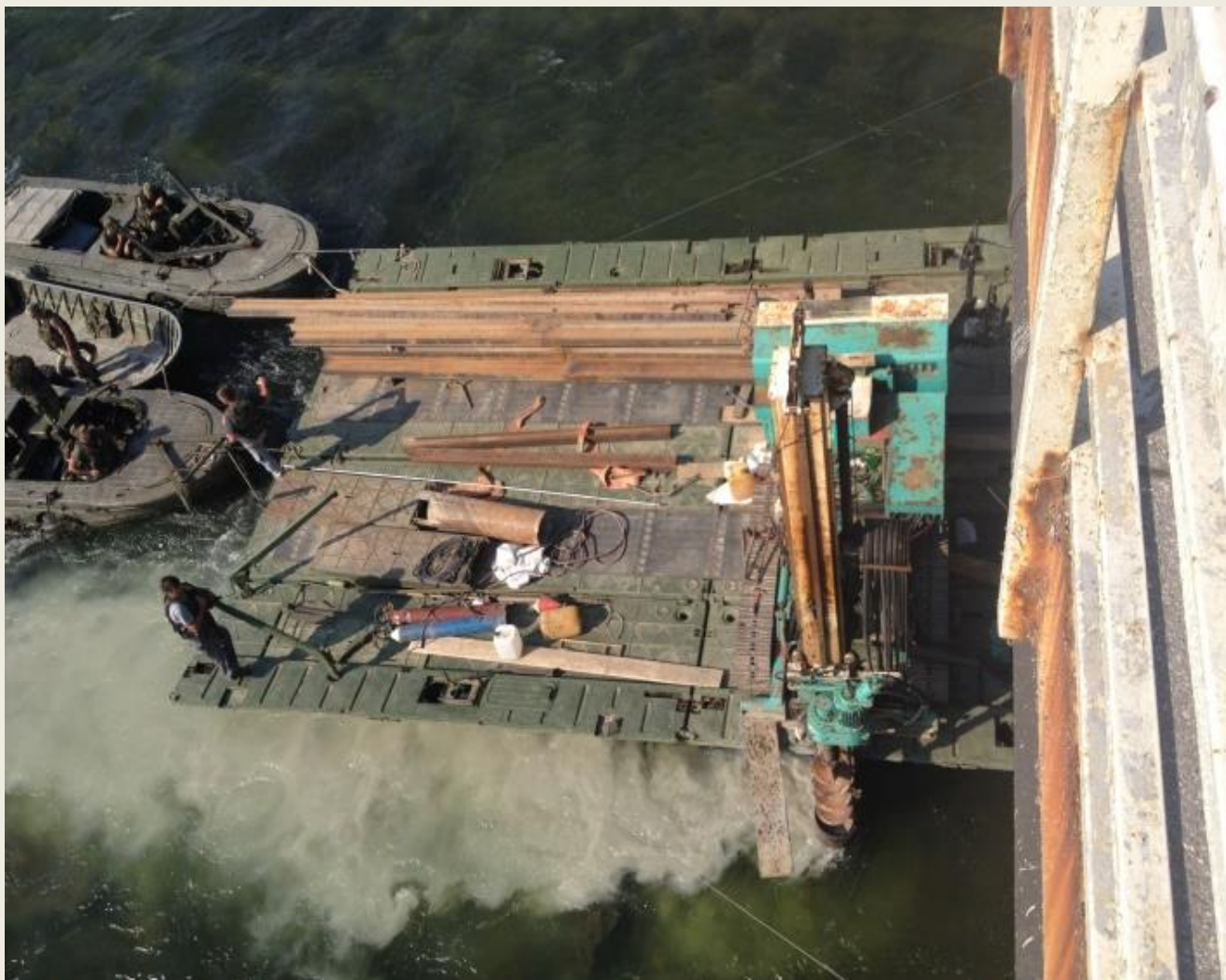


Prema provedenom bušenju i usporedbom s istražnim radovima iz 1978. i geodezijom iz 2011. rijeka Sava je duž cijelog profila erodirala.

Radovi na sanaciji temelja mosta sastojali su se od slijedećih aktivnosti:

- čišćenja korita rijeke od kamenog nabačaja,
- izvedbe pilota od IPE 270, izvedbe okvira HEB 300, ugradnje čeličnog žmurja, ugradnje sloja betona unutar zagata,
- izvedbe razupornog sklopa, crpljenja vode,
- uklanjanja oštećene obloge oko temelja mosta,
- ojačanja stupa i temelja stupa,
- izvođenja kanala oko temelja mosta te skidanja trošnog sloja temeljnog tla,
- izvedbe naglavne grede i mikropilota,
- izvedbe obloge,
- uklanjanja žmurja,
- izvedba zaštite od kamenog nabačaja

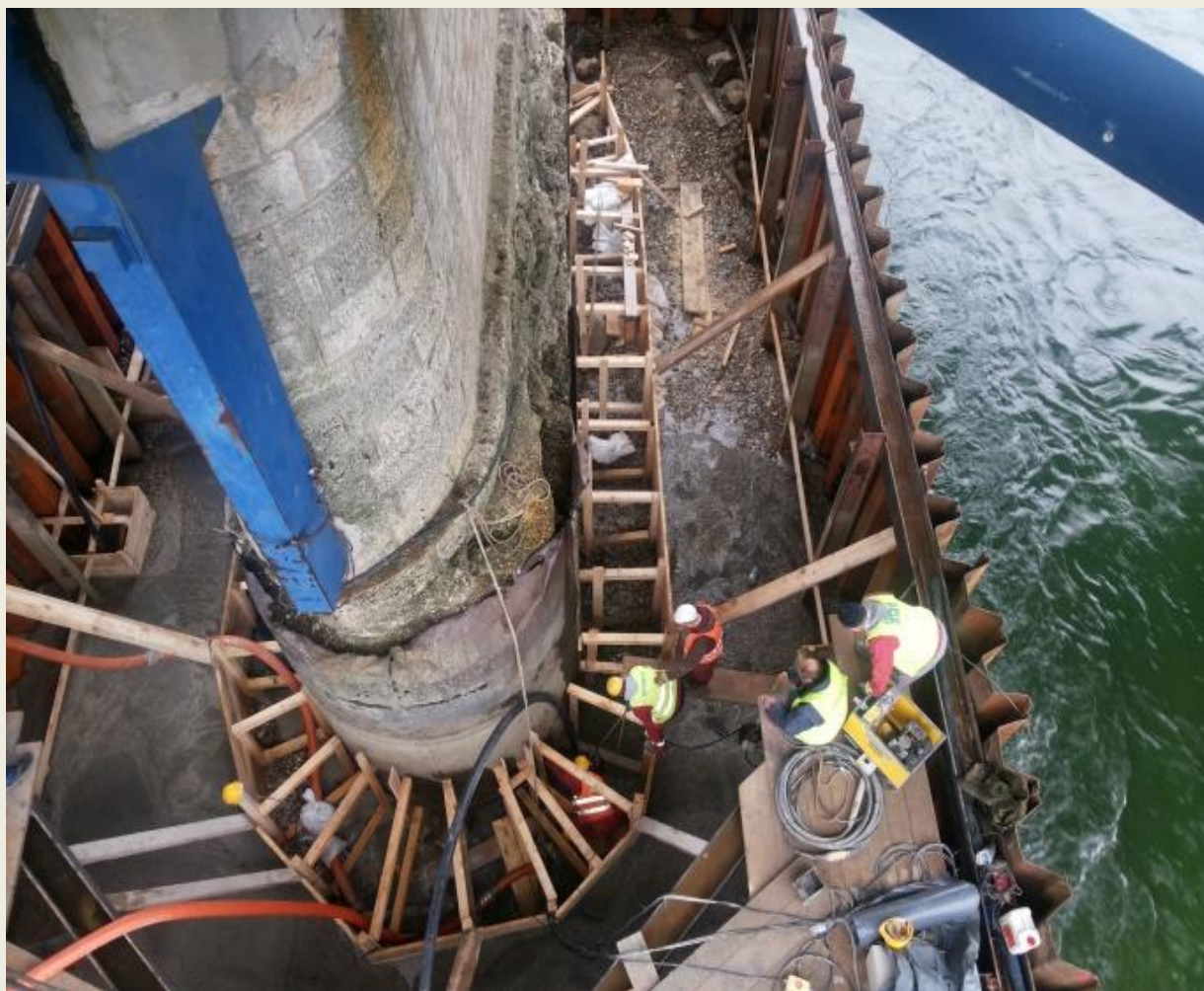




Bušenje za ugradnju pilota IPE 270



Pogled na most s izvedenom zaštitom oko stupa



Izvedba betona oko stupa

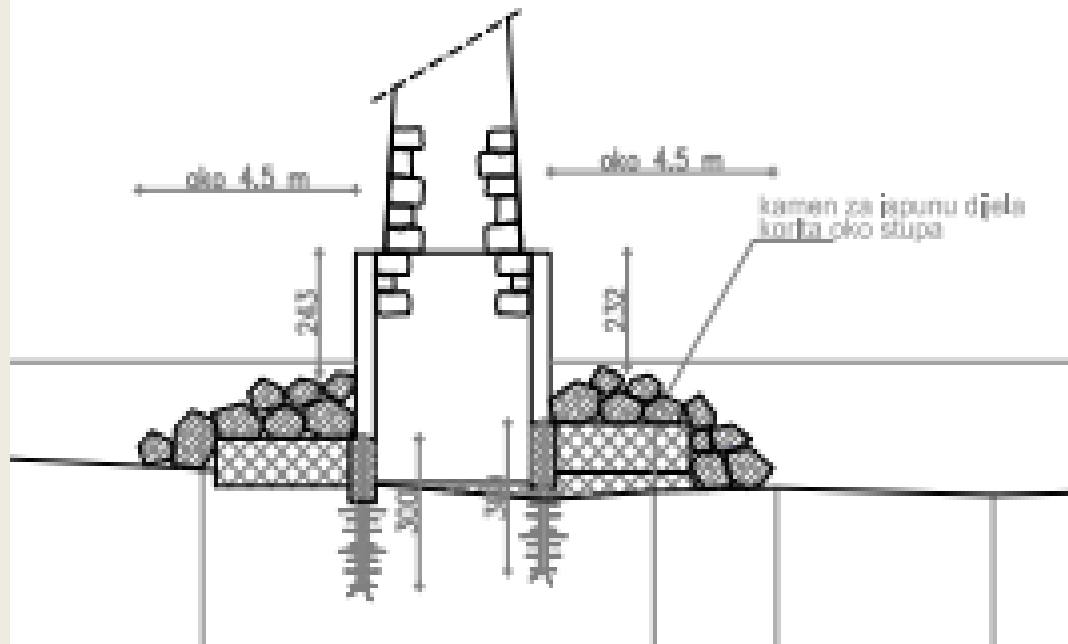


Ugradnja mikropilota i injektiranje



Izvedena betonska obloga

STUP E



Zaštita temelja stupa u koritu

- Investitor: Grad Zagreb
- Geotehnički istražni radovi: IGH Zagreb
- Projekti: Institut IGH Zagreb, 2012. i 2015.
- Nadzor: Institut IGH Zagreb, 2015.
- Izvoditelj radova: Spegra inženjering iz Splita i Viadukt iz Zagreba, 2015.

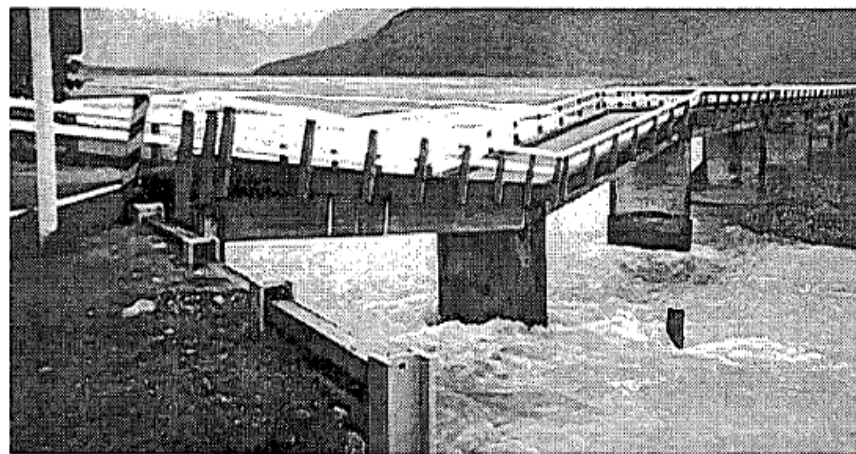


Provedeni geotehnički radovi

Most	Geotehnički istražni radovi	Radovi na sanaciji	Sanacija isprane zone
Orašnica	Nasipani materijal - glina, pijesak, šljunak i kršje; Sloj treseta; Sloj pjeskovito-glinovitog praha Naslage gipsa	Mlazno injektiranje ispod postojećeg temelja	
Jasenovac	Beton; Bušaći pribor "propada"; Prašinski pijesak; Prašinski šljunak	Zaštita talpama; Zapunjavanje prostora ispod temelja betonom	Kameni materijal; Gabionski madraci
Jakuševac	Nasip gline, praha, šljunka i organskih materijala; Sloj šljunka	Zaštita talpama; Zapunjavanje prostora oko temelja betonom; Mlazno injektiranje ispod betona	Kameni materijal;
Podsused	Beton; Sloj šljunka Trošan lapor; Srednje trošan lapor; Kompaktan lapor	Zaštita talpama; Zapunjavanje prostora oko temelja betonom; Ugradnja mikropilota uz injektiranje	Kameni materijal;



Ispiranje oko temelja – globalni problem



Most u Georgiji, SAD, 2009. i most Bealey, Novi Zeland, 1998. Utjecaj ispiranja na upornjak i na stup mosta.

Studija u SAD-u iz 1973. pokazala je da pri oštećenju 383 mosta uslijed djelovanja voda 25% uključivalo oštećenja stupova a 75% oštećenja upornjaka.

Šira studija iz 1978. pokazala je da se ispiranje kod stupova i kod upornjaka javljalo u jednakom broju slučajeva.

U Britaniji je najznačajniji uzrok problema kod mostova preko vodotokova ispiranje materijala i podlokavanje temelja.



Podaci potrebni za projektiranje

- Geometrija poprečnog presjeka i tlocrta vodotoka
- Vodostaji i dubina toka
- Brzina vodotoka
- Geotehničke odnosno sedimentacijske karakteristike korita i obale
- Povratni periodi poplavlivanja



Zaštita od ispiranja

- Mjere za smanjivanje ispiranja
- Projektiranje temelja koji mogu izdržati utjecaj dubine ispiranja
- Zaštita od ispiranja ugradnjom otpornog materijala oko temelja (kameni blokovi, beton, gabioni)



Održavanje i praćenje

- Zakon o građenju
- Pravilnik o održavanju građevina
- Pravilnik o održavanju i zaštiti javnih cesta
- Pravilnik o tehničkim uvjetima za sigurnost željezničkog prometa...
- Programi građenja i održavanja javnih cesta u RH za petogodišnja razdoblja



Podvodni pregled mostova

Američki standardi za podvodni pregled mostova (FHWA: Underwater Bridge Inspection, 2010;

FHWA: Underwater bridge repair, rehabilitation and countermeasures, 2010) određuju:

frekvenciju pregleda, osposobljenost inženjera koji ih provode, strukturu izvještaja, sadržaj baze prikupljenih podataka te mjere koje se moraju poduzeti u slučaju utvrđenih oštećenja.



Ispitivanje čeličnog pilota ultrazvučnim uređajem za mjerenje debljine stijenke

ZAKLJUČAK

Sve mostove koji se nalaze iznad vodne površine treba ocjenjivati multidisciplinarni tim koji uključuje konstruktore, hidrotehničke i geotehničke inženjere.

Podvodna materijalna šteta i propadanje, te potkopavanje koje je povezano sa ispiranjem ne može biti vidljivo iznad vode sve dok oštećenja ne postanu toliko velika da su mjere sanacije izuzetno skupe.

Upravo zato, ranim otkrivanjem podvodnih oštećenja mostova, mogu se spriječiti veliki troškovi sanacija.



Hvala na pažnji !

