

ŽIVEO AKVADUKT! DOPRINOS GEOTEHNIKE

Jovan Br. Papić*, Atanas Strašeski**, Kemal Edip***,
 Radica Jovanova****

- * *Univerzitet „Sv. Kiril i Metodij”, Građevinski fakultet, bul. Partizanski odredi br. 24, Skoplje, R. Sev. Makedonija, papic@gf.ukim.edu.mk*
 ** *GEING, bul. Boris Trajkovski br. 111, Skoplje, R. Sev. Makedonija*
 *** *Univerzitet „Sv. Kiril i Metodij”, IZIIS, ul. Todor Aleksandrov br.165, Skoplje, R. Sev. Makedonija, kemal@iziis.ukim.edu.mk*
 **** *Stokuća DOOEL, ul. Londonska br. 1-1, Skoplje, R. Sev. Makedonija*

REZIME

Akvadukt u Skoplju, dužine oko 400 m i visine 6 m, pretrpeo je dosta oštećenja, dok su nedavno registrovane i dve inklinacije. Da bi se utvrdili razlozi pojavljivanja, pregledana je postojeća dokumentacija, a urađena su i dodatna istraživanja. Konstatovano je postojanje veoma heterogenih uslova tla, uključujući i gline sa visokim kapacitetom bubrenja. Takođe, lokacija je močvarna i predstavlja seizmički aktivno područje, pa projekat tretira ove elemente s ciljem obezbeđivanja trajne sanacije. U radu su sažeta sprovedena terenska i laboratorijska ispitivanja, numeričke analize, teško stanje u kojem se nalazi akvadukt i njegovo ponašanje, a predstavljene su i geotehničke mere za stabilizaciju.

KLJUČNE REČI: akvadukt, inklinacija, stabilizacija, bubrenje, mikrošipovi.

LONG LIVE THE AQUEDUCT! CONTRIBUTION OF GEOTECHNICS

ABSTRACT

The aqueduct in Skopje, about 400 m long and 6 m high, has suffered destruction, while recently two inclinations appeared. In order to determine the reasons, existing documents were reviewed and additional investigations were performed. It was found that there are very heterogeneous soil conditions, including clays with high swelling capacity. In addition, the location is swampy and is a seismic prone area, thus, the project had to deal with these elements and to supply permanent stabilization. The paper digests the geotechnical tests, numerical analyses, difficult conditions and behaviour of the aqueduct, and presents the geotechnical measures to restore it.

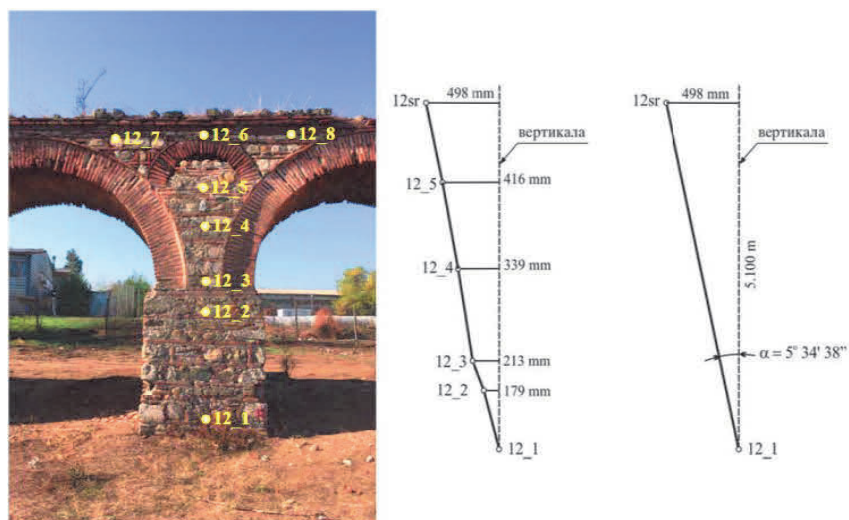
KEY WORDS: aqueduct, inclination, stabilization, swelling, micropiles.

UVOD

Skopski akvadukt, udaljen samo 4 km od centra grada, monumentalna je građevina tipa „nadzemni vodovodni sistem na jednom nivou“, očuvana u punoj dužini od 385,80 m. Sastoji se od: 53 kvadratna ili pravougaona stuba (S) visine 6 m, raspoređena na osnom rastojanju 6,50-6,70 m; dve bočne rampe; 54 luka; zidova iznad lukova, venaca i vodovodne konstrukcije. Postoji nekoliko pretpostavki o starosti, budući da još uvek nije konačno utvrđeno da li je izgrađen u Justinijanovo doba (6. vek) ili datira iz 15. ili 16. veka. Zbog svog velikog značaja, ne samo za istoriju, kulturu i umetnost u našoj zemlji, već i u širem regionu, skopski akvadukt je predmet interesovanja međunarodne stručne i naučne javnosti. Zahvaljujući tome, pokrenut je postupak za njegovo očuvanje i rehabilitaciju jer se u trenutnoj situaciji suočava sa problemima konstruktivne prirode koji utiču na njegovu stabilnost i dalje postojanje, kao i sa znatnim i raznovrsnim oštećenjima arhitektonske prirode. Naime, pretrpeo je oštećenja kako iz geotehničkih razloga, tako i zbog zemljotresa i vandalizma, dok su se nedavno pojavile i dve inklinacije, na dužinama od 20-tak m. Ovaj rad obuhvata sprovedene geotehničke aktivnosti i planiranu sanaciju i stabilizaciju temeljnih konstrukcija, u cilju sprečavanja rotacije pojedinih stubova.

TREKUTNO STANJE KONSTRUKCIJE

Premda akvadukt postoji u svojoj dužini, njegovi sastavni delovi nisu u najboljem stanju, jer su neki očuvani samo delimično. Osnovni razlog za to stanje je stalna izloženost atmosferskim uticajima i nedostatak mera za održavanje i direktnu zaštitu. Otuda, najveći problem predstavlja ozbiljna destruktivna transformacija dela stubova, lukova i celokupne strukture iznad njih, u vidu inklinacije u odnosu na vertikalno stanje. Tako, odstupanje od vertikale u smeru ka zapadu registrovano je na stubovima S7÷S19 u iznosima od -44 mm za S18 i S19 do -498 mm za S12, dok je odstupanje od vertikale ka istoku registrovano na stubovima S20÷S26, u vrednostima od +16 mm za S20 do +351 mm za S24.

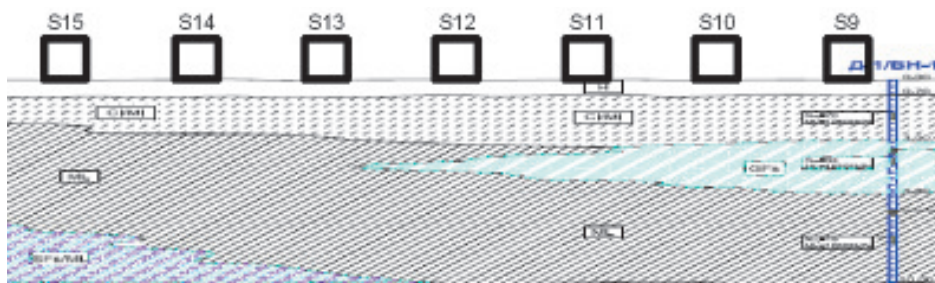


Slika 1. Inklinacija stuba S12
Figure 1. Inclination of pier S12

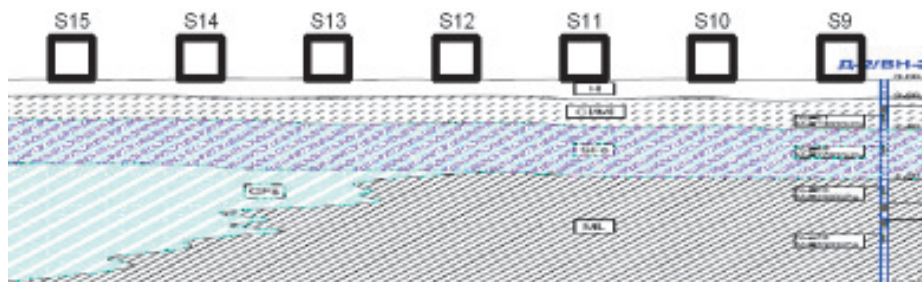
Temelji predstavljaju nastavak nadzemnog gabarita ispod nivoa terena, bez posebne konstrukcije, a izgrađeni su od kamena i maltera. Ovaj način gradnje primenjen je do kote terena sa koje počinje zidarija nadzemnog dela stubova. Ispitani temelji stubova su slične visine, dok dubina fundiranja, u zavisnosti od konfiguracije terena, varira 1,0÷1,50 m. Temelji u osnovi imaju približno kvadratan oblik i širinu od 2,15 do 2,24 m. Budući da su u dobrom stanju, ne pokazuju vidljiva oštećenja, pukotine i devastaciju subkonstrukcije.

GEOTEHNIČKI I SEIZMIČKI ISTRAŽNI RADOVI

Za potrebe geotehničkog uvida u lokaciju celom dužinom akvadukta, sprovedene su dve kampanje istraživanja. U okviru prve (2014. god.) izvedeno je 10 bušotina, osam bunara, osam CPT, više SPT, kao i geofizička ispitivanja. Uporedo s tim, iz bušotina su uzeti uzorci tla većine zastupljenih materijala, na kojima su izvršeni laboratorijski opiti. Njihovo tumačenje i koreliranje ukazalo je da se teren odlikuje heterogenim sastavom duž i oko akvadukta, i poseduje međusobno prilično različita svojstva: CI/MI, ML, CL/SF, SF/ML, SF, GP, GF. Mestimično, na većim dubinama, registrovana je i podzemna voda.



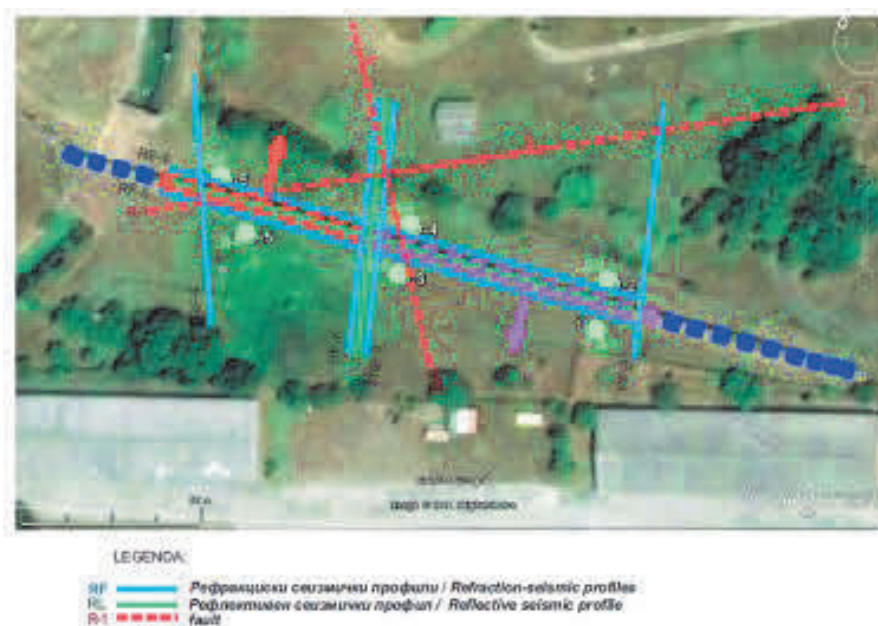
Slika 2. Podužni profil tla ispod zapadne (leve) strane stubova S9÷S15
Figure 2. Longitudinal soil profile at piers S9÷S15 – west (left) side



Slika 3. Podužni profil tla ispod istočne (desne) strane stubova S9÷S15
Figure 3. Longitudinal soil profile at piers S9÷S15 – east (right) side

*(nalazi iz istraživanja iz 2014. god.) / (findings from investigations in 2014)

Interpretacijom seizmičkih istraživanja određene su dve tektonske dislokacije (R1 i R2) u geološkoj osnovi akvadukta. One seku njegovu osu i utiču da jedna grupa stubova (desno od dislokacije R2, tj. između bušotina D1/D2÷D4, gde su stubovi S7÷S19) bude nagnuta ka zapadu, a druga (oni između dislokacija R1 i R2, tj. između bušotina D3÷D5, gde su stubovi S20÷S26) ka istoku.



Slika 4. Situacioni prikaz seizmičkih istraživanja: crvenom bojom označene su dislokacije R1 i R2
 Figure 4. Layout of conducted seismic investigations: red lines are for tectonic dislocations R1-R2

Radovi su dopunjeni 2019. god., kad su u zoni ugroženih stubova sprovedene istrage na sloju na kojem je fundiran najveći deo objekta i koji je lociran pripovršinski: CI/MI. Iako relativno male debljine, njegove karakteristike su važne budući da učestvuje u primanju najvećih opterećenja, pa otuda i počinju najizraženije deformacije. Ujedno, u cilju utvrđivanja stanja konstrukcije na kontaktu stub-temelj (dubina fundiranja, nagib stuba, smicanje, pukotine po materijalima i dr.), izvedeni su i raskopi na uglovima stubova 12 i 24. Iskopani materijal poslužio je u većem broju laboratorijskih ispitivanja.

MOGUĆI RAZLOZI INKLINACIJE STUBOVA

Analizom podataka, ne samo geotehničkih već i arheoloških i konzervatorskih, ne može se preciznošću da se definiše period realizacije deformacija ili početka njihovog procesa, kao ni razlozi koji su doveli do inklinacije, iako postoje određeni koji ukazuju na moguće.

- Antropogeni uticaji

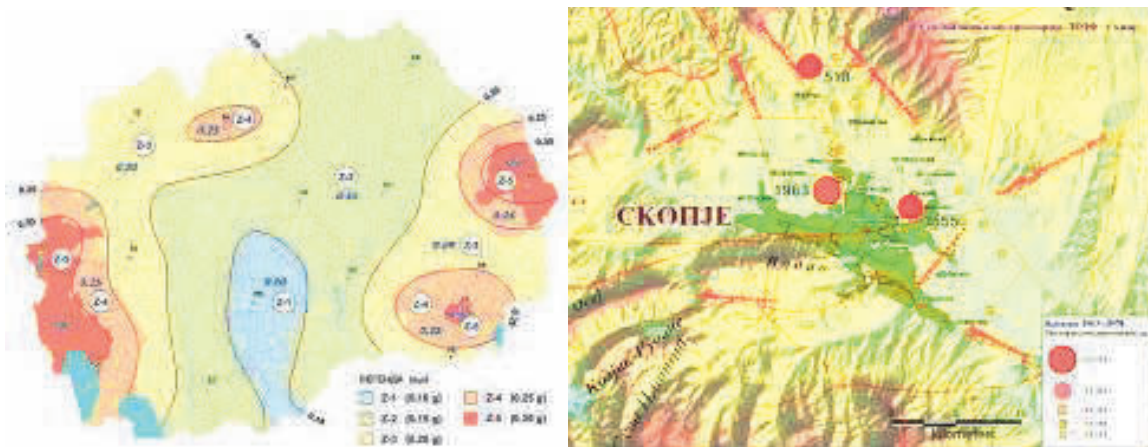
Oni svakako imaju ulogu u razvoju defomacija ili barem omogućavaju da neka druga serija događaja dovede do sadašnje situacije. Pre svega, neki delovi lokaliteta korišćeni su kao odlagališta građevinskog šuta, naročito posle zemljotresa iz 1963. g., što utiče na promenu morfologije. Tada je i osa akvadukta presečena veštački formiranim kanalom reke Serave, koja ranije nije prolazila kroz ovaj rejon, što je uticalo na prirodno kretanje površinskih i podzemnih voda i čime se direktno vrši kontinuirano vodozasićenje terena. Na takav način, uslovljeno je formiranje viših zona koje se dreniraju, i udubljenih zona kod kojih to nije slučaj. Otuda, na najnižim delovima, upravo onim u blizini ugroženih stubova, tokom

kišnih perioda dolazi do zadržavanja vode, čime se ugrožavaju temelji. Ipak, ovo ne isključuje postojanje i ostalih uticaja o kojima nema ili ne mogu da se obezbede dokazi.

- Geotehnički i seizmički uslovi

Svi ovi razlozi ne bi nepovoljno uticali ukoliko nisu dopunjeni drugim preduslovima. Naime, mogući razlozi sa geotehničkog aspekta su lokalna tektonika i izražene promene u prostiranju slojeva, bubrenje gline, njene relativno slabe deformabilne karakteristike, kao i mala dubina fundiranja objekta. Dodatni istražni radovi upućuju na konstataciju da nedovoljna nosivost i promene fizičko-mehaničkih karakteristika gline, u zavisnosti od prisustva vode, predstavljaju jedan od glavnih uzroka realizovanih deformacija stubova akvadukta. Ono što privlači posebnu pažnju je relativno visok pritisak bubrenja koji se javlja kod gline na nivou fundiranja objekta: 400 kPa.

Sa geotektonskog aspekta, lokacija spada u područja sa maksimalnim intezitetom zemljotresa od IX stepeni, koliki je i bio onaj iz 1963. god.



Slika 5. Karta seizmičkog zoniranja Makedonije za povratni period od 475 god. (levo) i epicentralna karta zemljotresa na teritoriji Skoplja 1963-1970 (akvadukt je u blizini događaja iz 1963.) (desno)
Figure 5. Map of seismic zoning of Macedonia for return period of 475 years (left) and epicentral map of Skopje's earthquakes 1963-1970 (the aqueduct is in the proximity of the 1963 earthquake) (right)

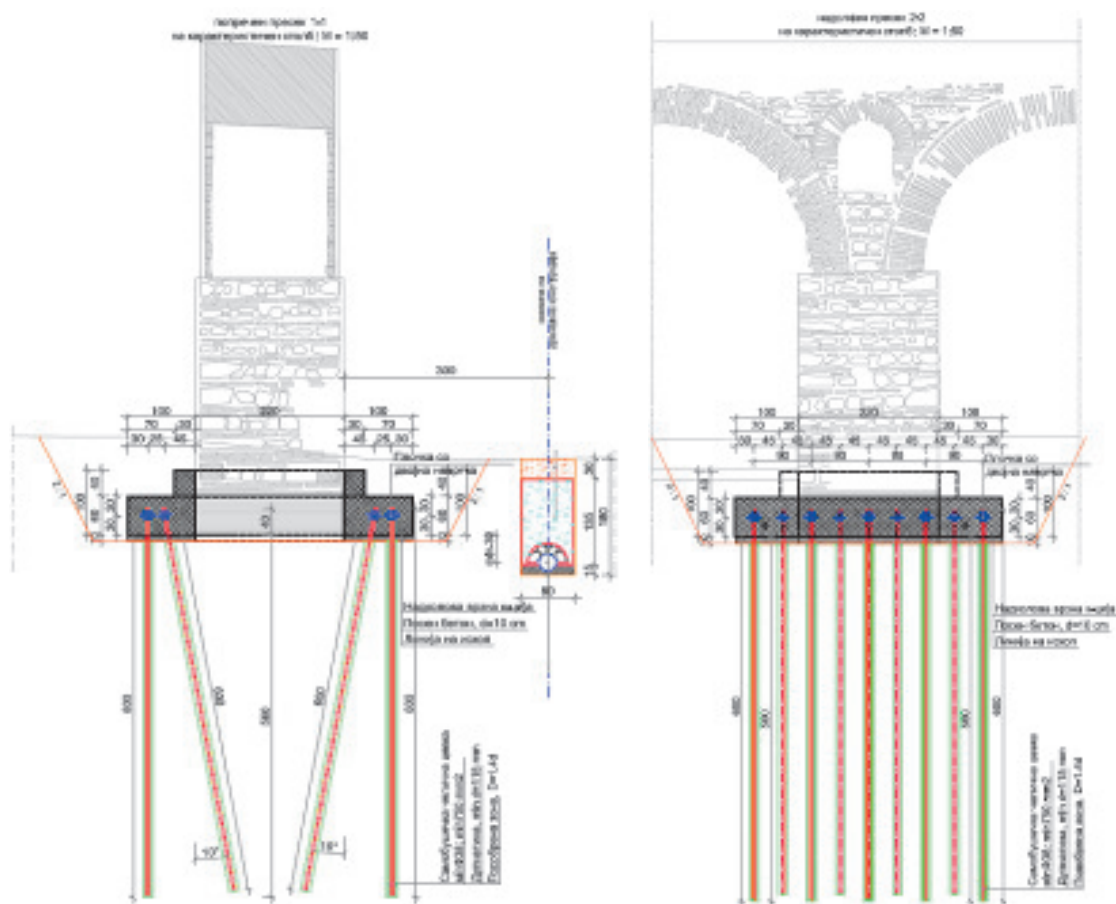
SANACIONE MERE

Osnovni koncept sanacionih mera je redukovanje i sprečavanje dalje nekontrolisane inklinacije stubova, tačnije S10-S14 i S22-S26 (ukupno 10). Prvo treba da se istakne da – s obzirom na izmerene vrednosti inklinacija stubova, a posebno najkritičnijih S12 i S24 – sila sopstvene težine još uvek pada u zonu jezgra preseka, odnosno da ekscentricitet ne dovodi do pojave zategnutih zona na kontaktu temelj-tlo. Ovo stanje, ipak, može da se prevaziđe vrlo lako, budući da je trenutno stanje ravnoteže obezbeđeno na kompleksan način: delimično kroz kontaktna naprezanja temelja sa tlom, ali i dodatnom pomoći susednih stubova preko lukova, čime se realizuje promena stanja naprezanja. Bilo koji dodatni uticaji, s jedne strane – dodatno oštećenje lukova i stubova, s druge strane – promena

geotehničkog stanja, kao i treća komponenta – dinamički spoljašnji uticaji i seizmika, mogu lako da prevaziđu uspostavljeno stanje ravnoteže koje je ocenjeno kao labilno i da se realizuju progresivne deformacije koje će rezultovati potpunim lomom predmetnih stubova.

DIREKTNE SANACIONE MERE – TEMELJ OD MIKROŠIPOVA

Fokusiranjem problema inklinacije na sloj u kojem su fundirani stubovi, kao glavni uzrok, predloženo tehničko rešenje se sastoji od primene dubokog fundiranja uz tehnologiju izvođenja mikrošipova. Oni će poslužiti kao elementi za duboko fundiranje opterećeni silom pritiska, ali i kao ankerne konstrukcije opterećene silama izvlačenja. Pored ovog direktnog dejstva, oni utiču i indirektno na unapređenje ukupnih uslova, budući da se njihovim izvođenjem poboljšava i stanje čvrstoće i deformabilnosti tla ispod stubova i obezbeđuje bolja interakcija akvadukta sa geološkom sredinom. Takođe, ovakva integralna celina konstrukcije – uz uključivanje geološke sredine obuhvaćene mikrošipovima, dobija prilično veći gabarit u donjoj zoni, nasuprot sadašnjem stanju relativno veoma male dubine fundiranja, zbog čega se težište integralne konstrukcije spušta znatno niže, što direktno utiče kako na seizmičku otpornost, tako i na stabilnost na prevrtanje.



Slika 6. Poprečni i uzdužni presek akvadukta i predviđenih mikrošipova
Figure 6. Cross and longitudinal section of the aqueduct and proposed micropiles

Ispod svakog stuba projektovano je 18 mikrošipova prečnika $\Phi 115$ mm (čelični profil $\Phi 38$) i dužine 6 m, lociranih u četiri reda: po dva reda s obe strane ose akvadukta. Dva spoljašna reda (pozicija I i pozicija IV) projektovani su vertikalno, na udaljenosti 0,70 m od spoljašne strane stubova, dok se dva unutrašnja reda (pozicija II i pozicija III) projektovani nakošeni prema unutra pod uglom od 10° od vertikale i na rastojanju od 0,50 m od spoljašne strane. Osno rastojanje mikrošipova u jednom redu iznosi 0,90 m. Mikrošipovi su u oba reda s jedne strane postavljeni naizmenično, tako što je na pozicijama I i IV predviđeno po 5 mikrošipova, a na pozicijama II i III po 4 mikrošipa. Oni su povezani veznom obodnom konstrukcijom u obliku slova L: njen donji deo je širok 1,0 m i visok 0,60 m, dok je gornji širok 0,30 m i visok 0,40 m. Osim toga, ona služi i za opšivanje stubova izvođenjem duž njihovog celog oboda, što omogućava uzajamnu saradnju sa mikrošipovima koji se izvode samo s dve strane, duž akvadukta. Površina stubova i temelja je veoma hrapava, čime se obezbeđuje visok stepen kontaktnog trenja.

MERE INDIREKTNE SANACIJE – ODVODNJAVANJE

S obzirom na to što je neposredno uz stubove akvadukta evidentirano dugotrajno zadržavanje površinske vode tokom godine, nametnula se i potreba za predviđanjem drenažnih mera za odvodnjavanje oblasti. Za prihvatanje i odvođenje infiltriranih podzemnih voda i dreniranje zadržanih površinskih voda, sa istočne strane akvadukta projektovan je drenažni rov dubine do max 2.50 m. Tačnije, on se vodi ispod nivoa fundiranja stubova, a zahvaćene vode se ispuštaju u korito reke Serave. Ova mera bi sprečila sve dalje nepovoljne uticaje vode na sloj tla na kojem su fundirani stubovi, uključujući i bubrenje, što će se odraziti ne samo na sanirane, već i na ostale stubove.

KRATAK OPIS I IZVODI IZ NUMERIČKIH ANALIZA

MODEL ANALIZE

Složenost uslova terena u zoni akvadukta usloвила je izradu dva nezavisna modela u kojima je interpretirano ponašanje poluprostora tla, odnosno interakcije tla i stubova. Oni su sprovedeni za stubove sa najizraženijim deformacijama u suprotnim smerovima, tj. za stub 12 i stub 24. Analize naponsko-deformabilnog stanja izvršene su u softveru PLAXIS.

GEOTEHNIČKI PROFIL

Na osnovu geotehničkih istražnih radova kreirani su mikrolokacijski profili za oba stuba.

Tabela 1. Usvojeni geotehnički parametri
Table 1. Adopted geotechnical parameters

Materijal	γ [kN/m ³]	E_{oed} [MPa]	c_{ref} [kPa]	ϕ [°]
H	18,50	3,00	12,00	10,00
CI/MI	19,50	12,00	10,00	15,00
SFs (S12)	20,00	28,00	10,00	19,50
CL/SFs, CL (S24)	20,50	12,50	23,00	19,50
CI (S24)	19,50	9,50	15,00	15,00
GFs	21,50	32,00	3,00	33,00
ML	18,50	14,50	12,00	17,00
Akvadukt	27,50	1200,00	/	/

Svi materijali tla definisani su Mohr-Coulombovim modelom. Stubovi akvadukta dodatno su modelovani primenom volumenskog modela tla, ali pritom je korišćen linearno-elastični model, s obzirom da predmet analize ovde nije unutrašnje stanje naprezanja akvadukta, već se traže samo njegova realna geometrija i opterećenja koja prenosi na osnovu. Kod određivanja zapreminske težine u obzir je uzet trodimenzionalni efekat, tj. pripadajući teret sa lukova, kao i vrednosti zapreminskih težina materijala od kojih je izgrađen akvadukt.

KONSTRUKTIVNI ELEMENTI

Redovi mikrošipova u poprečnom preseku modelovani su sa elastičnim pločastim elementom i zbog njihovog diskontinuiteta sa ovim elementom ispunjen je uslov ekvivalentne krutosti u skladu sa momentima inercije poprečnih preseka i pripadajućim površinama jednog konstruktivnog elementa. Takođe su i armiranobetonske vezne obodne konstrukcije modelovane sa pločastim elementima.

Tabela 2. Parametri konstruktivnih elemenata
Table 2. Parameters of structural elements

Element	EA [kN/m]	EI [kNm ² /m]	ν [/]	w [kN/m/m]
Mikrošipovi	$3,58 \times 10^5$	$2,96 \times 10^2$	0,15	0,28
Obodna konstrukcija	$1,89 \times 10^7$	$5,67 \times 10^5$	0,15	15,00
Vertikalni pločasti element	$9,45 \times 10^6$	$7,09 \times 10^4$	0,15	7,50

POSTUPAK ANALIZE

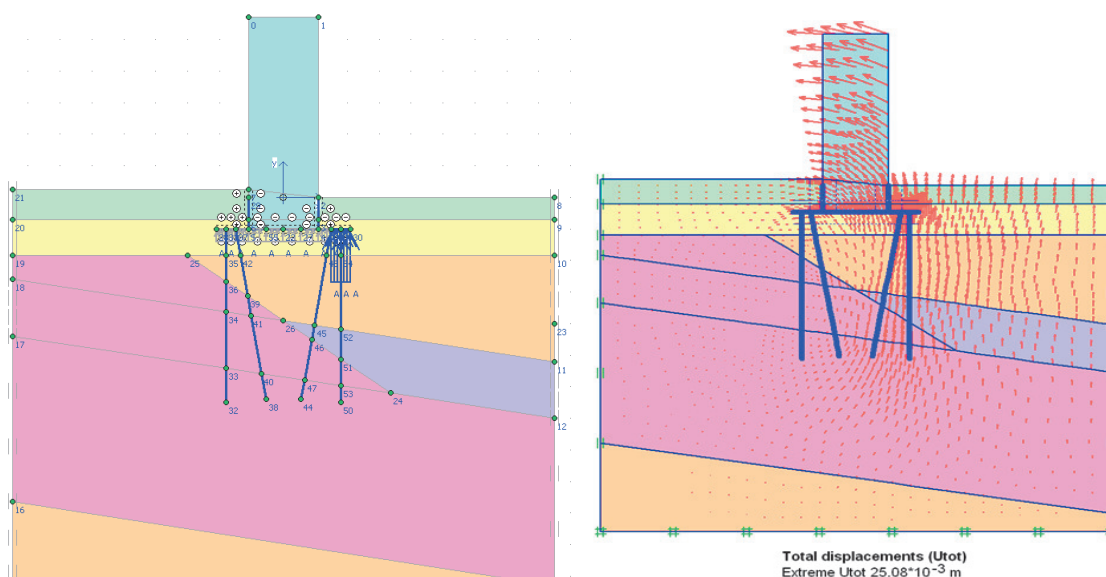
Softverska simulacija tehničkog rešenja sprovedena je u nekoliko sukcesivnih faza. Naime, prvo je izvršena kalibracija modela, nakon čega su na tom kalibriranom modelu aplicirane sanacione mere, koje su analizirane na različite uticaje:

MODEL A – Postojeće stanje [Faza (A1) Inicijalna faza; Faza (A2) Izvođenje akvadukta; Faza (A3) Kalibracija modela], i

MODEL B – Sanacija [Faza (B1) Inicijalna faza; Faza (B2) Izvođenje akvadukta; Faza (B3) Izvođenje sanacionih mera; Faza (B4) Opterećenje od bubrenja – Slučaj opterećenja 1; Faza (B5) Opterećenje od bubrenja – Slučaj opterećenja 2; Faza (B6) Opterećenje od seizmike – Slučaj opterećenja 3]

Analiza postojećeg stanja (model A) predstavlja povratnu analizu kojom se vrši kalibracija u cilju određivanja parametara čvrstoće i deformabilnosti slojeva tla, kao i ostalih uslova koji su doveli do trenutnog stanja analiziranih stubova. Budući da se ne isključuje mogućnost da trenutno stanje predstavlja rezultat superponiranja većeg broja nabrojanih uticaja, pripremljen je sveobuhvatan numerički model analize u skladu sa realnim stanjem na terenu. Međutim, za pojednostavljenu analizu, u inženjerskoj praksi je uobičajeno izvršavanje kalibracije postojećeg stanja preko jednog od dominantnih uzroka. U datom slučaju, kao dominantni usvojeno je bubrenje gline u kojoj je izvršeno fundiranje stubova, a koje po geomehaničkim istražnim radovima ima relativno visoku vrednost, do čak 400 kPa. Ono je modelovano nanošenjem tereta ispod temelja stubova u smeru naviše. Za postizanje trenutne rotacije stubova, usvojeno je da ovaj teret deluje na 1/4 (55 cm) osnove temelja, a čiji je intenzitet kalibriran s ciljem određivanja aktuelne deformacije stubova.

U cilju sprovođenja potrebnih analiza, pripremljen je potpuno nov model (model B) u kojem su modelovane i sanacione mere. Budući da se radi o sanaciji, u najvećem broju slučajeva najopravdanije (na strani sigurnosti) je da se, pre nanošenja kritičnog tereta koji je doveo do deformacija realizovanih na terenu, primene sanacione mere i da se one analiziraju za kritični slučaj. Ovo predstavlja fiktivno stanje koje bi realno značilo da su pre nastanka deformacija sprovedene sanacione mere i da je takva konstrukcija opterećena za stanje u kojem su nastale sadašnje deformacije. Slučaj opterećenja (SO) 1 predstavlja stanje koje je dovelo do realizovanih deformacija: opterećenja od bubrenja određena analizom postojećeg stanja. SO-2 predstavlja novonastalo stanje u kojem dolazi do bubrenja ispod novoizvedenih temelja. Zapravo, izvođenjem sanacionih elemenata mogućnost bubrenja ispod postojećeg temelja (infiltracije vode do postojećeg temelja) je otežana, pa bi možda mogla da se javi infiltracija ispod proširenja, gde bi došlo i do bubrenja (teret od 400 kPa).



Slika 7. Slučaj opterećenja 2 i proračunato ukupno pomeranje – Stub 12
Figure 7. Load case 2 and total displacement – Pier 12

SO-3 predstavlja novonastalo stanje u kojem je u obzir uzeto opterećenje od bubrenja samo ispod postojećih temelja (SO 1) kome je dodato pseudo-statičko opterećenje seizmike: uticaj je modelovan preko horizontalnog i vertikalnog koeficijenta seizmičkog ubrzanja. Kako lokacija spada u područje sa maksimalnim intenzitetom do VIII i IX° po MCS, usvojena su seizmička opterećenja sa koeficijentima ubrzanja $k_h=0,12$ i $k_v=0,06$.

REZULTATI ANALIZE

Upoređenjem proračunatih i izmerenih deformacija na terenu, konstatovano je da je kalibracija, odnosno izjednačavanje modelskih sa realnim deformacijama, sprovedena uz visok stepen preciznosti, imajući u vidu geotehničku kompleksnost problema. U tabeli 3 su prikazani rezultati analize objekta sa sprovođenjem sanacionih mera, za tri slučaja opterećenja. Na osnovu iznesenih vrednosti, može se uvideti da predviđeno tehničko rešenje u potpunosti ispunjava namenu, odnosno da su izračunate deformacije u granicama dozvoljenih za statičko i seizmičko stanje opterećenja objekta. Detaljniji podaci o kalibraciji i postignutim silama u mikrošipovima mogu se naći u Papić i sar. (2021/22).

Tabela 3. Izračunate deformacije za različite slučajeve opterećenja
Table 3. Calculated deformations for different load cases

	Stub 12			Stub 24		
	SO-1	SO-2	SO-3	SO-1	SO-2	SO-3
u_x [mm]	-8,95	-23,47	-31,91	7,20	21,07	38,42
u_y [mm]	4,06	5,36	9,76	8,32	8,47	13,31

ZAKLJUČCI

Ogromno značenje skopskog akvadukta za kulturno nasleđe nametnulo je veliku odgovornost kod pripreme projekta sanacije. Dug životni vek objekta uslovio je njegovu izloženost različitim uticajima, a zbog nedovoljno podataka, lociranje razloga koji su doveli do njegovog sadašnjeg stanja predstavlja izazov. U okviru projekta, razmatrano je nekoliko sanacionih mera, ali neke nisu bile favorizovane. Na pr., ponavljanje pozicija u neposrednoj blizini akvadukta tokom izvođenja betonskih šipova je veoma rizično. Otuda, planirani mikrošipovi i drenažni rov predstavljaju elegantno rešenje za sanaciju zakošenih stubova, budući da ne zauzimaju prostor, niti remete izgled iznad tla, što je bio jedan od zahteva. Vlada R. Sev. Makedonije nedavno je proglasila akvadukt za spomenik od izuzetnog značaja, dok je Nacionalni konzervatorski centar pristupio realizaciji opisanog rešenja, čime se daje i nova dimenzija značenja geotehnike i njeno doblizavanje široj javnosti.

LITERATURA:

- Geing Krebs und Kiefer International Ltd. Skopje. Elaborate for geotechnical investigations – Aqueduct in Skopje. 2014.
- Градежен факултет – Скопје: Извештај од геомеханички лабораториски испитувања за аквадукт - Скопје. 2019.
- Градежен факултет – Скопје: Техничко решение за стабилизација на инклинирани столбови на аквадуктот во Скопје. 2019.
- Građenje D.O.O: Technical documentation for preparation of the executive design for conservation and restoration of the Aqueduct. East Sarajevo. 2014.
- Papić J. Br., Peševski I., Strašeski A., Jovanova R.: Geotechnical measures for stabilization of the Skopje Aqueduct. 20th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Sydney. 2021/22 (accepted for publication)