

GEOTEHNIČKI USLOVI TEMELJENJA MOSTA M4 NA KORIDORU Vc, LOT 1, SVILAJ – VUKOSAVLJE

Nedo Đurić¹,
Anda Đujić²,
Petar Mitrović³

UDK:

Rezime: U Bosni i Hercegovini su intenzivirana geološka i geotehnička istraživanja terena, za potrebe izrade projektne dokumentacije za trasu auto puta koridor Vc. Istraživanja su se odvijala tri godine, a trasa koridora podijeljena je na više dionica. Složenost geološke građe terena kroz koji prolazi trasa koridora zahtjevala je detaljnija istraživanja, kako terenska, tako i laboratorijska, te kabinetsku obradu podataka. Na trasi auto puta nalazi se veći broj objekata, od kojih je most M4 prikazan u ovom radu.

Ključne riječi: autoput, most, geotehnička istraživanja, geotehnički projekat

1. UVOD

Koridor Vc je dio kraka autoputa Baltik – Adriatik i predstavlja najznačajniji putni koridor Jugoistočne Evrope. Dužina koridora je oko 660 km. Od Budimpešte se odvaja prema Hrvatskoj, zatim ulazi u Bosnu i Hercegovinu na njenom sjevernom dijelu, a izlazi na južnom dijelu ponovo u Hrvatsku. Dužina koridora kroz Bosnu i Hercegovinu je oko 330 km. Izbor pravca kroz Bosnu i Hercegovinu definisan je kao Vc Pan-evropski koridor Budimpešta – Osijek – Sarajevo – Ploče, slika 1.

Geotehnička istraživanja, geomehanička ispitivanja i analiza dobivenih rezultata urađena su za potrebe izrade projektne dokumentacije idejnog i glavnog projekta. Obim i vrste istražnih radova izvedeni su u dovoljnom obimu da se definiše model terena, kako za trasu puta, tako i objekte na trasi. Trasa koridora prolazi kroz složene terene, od aluvijalnih sedimenata u slivu rijeke Save i duž toka rijeke Bosne u njenom donjem toku. Dalje teren se izdiže prema Sarajevu i dalje lagano spušta prema Hercegovini, ali je složenost geološke građe više izražena. Na trasi se nalazi veći broj objekata, od mostova, propusta, podvožnjaka, nadvožnjaka i tunela. Za svaki objekat provedena su detaljna geološka i geotehnička istraživanja, te urađen geotehnički elaborat i projekat.

U radu će se prikazati jedan od objekata na trasi auto puta, koji se nalazi u ravničarskom dijelu na stacionaži km 16+344,90, dužine 38,95 m. Predstavlja most na lateralnom kanalu.

¹ Prof. dr Nedo Đurić, Građevinski fakultet Subotica, Kozaračka 2a, e-mail: nedjo@tehnicki-institut.com

² Đujić Anda dipl.inž.geol. Tehnički institut Bijeljina, Starine Novaka bb, e-mail: tehnicki@tehnicki-institut.com

³ Dr Petar Mitrović, dipl. inž.građ. Tehnički institut Bijeljina, e-mail: tehnicki@tehnicki-institut.com



Slika 1. Saobraćajni koridori u Evropi

2. GEOTEHNIČKA ISTRAŽIVANJA TERENA

Geotehničkim istraživanjima obuhvaćen je širi prostor lokacije mosta M4. U sklopu terenskih istraživanja vršeno je geološko kartiranje terena i izvođenje istražnih radova, sa ciljem definisanja stanja i sastava tla do dubine uticaja objekta na tlo, što obuhvata:

- utvrđivanje debljine i sastava površinskog pokrivača,
- litološkog sastava i stanja podpovršinskih sedimenata koji će biti radna sredina i u kojima će se ostvariti uticaj objekta kako u toku građenja tako i u toku eksploatacije objekta,
- dubinu i litološki sastav i stanje geološkog substrata
- utvrđivanje pojave i nivoa podzemne vode
- ocjenu uticaja na objekat sa aspekta zaštite životne sredine
- sagledavanje mogućnosti zagadenja podzemne vode u fazi izgradnje i eksploatacije objekta
- određivanje fizičko-mehaničkih osobina pojedinih litoloških jedinica tla i stijena do dubina interakcije objekat – tlo
- definisanje geotehničkih uslova na lokaciji objekta i prijedlog načina i dubine temeljenja na osnovu geostatičkih proračuna sa jednom od priznatih metoda za takve proračune
- određivanje uslova iskopa temeljne jame sa aspekta uređenja podtla temelja i stabilnosti kosine temeljne jame, u slučaju plitkog temeljenja

Za navedeni objekat pored kartiranja terena urađene su četiri (4) istražne bušotine, urađeni opiti Standardnog penetracionog testa i uzeti neporemećeni i poremećeni uzorci za laboratorijska ispitivanja, te geofizička ispitivanja.

2.1. Detaljno geološko kartiranje

Detaljnim geološkim kartiranjem terena izvršena je registracija stanja i sastava površinskog dijela tla te svih inženjerskogeoloških i hidrogeoloških procesa i pojava koji bi mogli imati uticaja na izgradnju i eksploataciju objekta bilo kao povoljni uslovi terena ili kao ograničavajući faktori. Kartiranjem je zahvaćen površina u radijusu oko 500 m sa detaljnošću primjereno karti (orto – foto) M 1 : 5000 i 1 : 1000.

U okviru detaljnog kartiranja, na lokacijama svih objekata, naročita pažnja posvećena je:

- utvrđivanju morfoloških i geomorfoloških karakteristika terena
- utvrđivanju litološkog sastava terena, stanja raspadnutosti
- registraciji savremenih pojava i procesa kao što su: erozija, zamočvarenja, površine podložne plavljenju, zajezerena područja, inundacioni prostori površinskih tokova,
- registraciji svih hidrogeoloških objekata ne samo u zoni objekta nego i šire ako se procjeni da bi njegova izgradnja i eksploatacija mogla imati negativnih uticaja na takve objekte
- registraciji izvora i pištevinu
- mjerenu nivoa podzemne vode u postojećim objektima
- kategorizaciji površinskih tokova
- sagledavanju stvorenih vrijednosti koje mogu biti ograničavajući faktor za izgradnju objekta

2.2. Istražno bušenje i prateći radovi bušenja

Na lokaciji objekta izvedene su četiri bušotine pojedinačnih dubina po 18.0 m, završnog prečnika \varnothing 101 mm. Nakon vađenja jezgra bušotina, vršeno je kartiranje i fotografisanje, te uzeti uzorci za laboratorijska ispitivanja. Uziman je uzorak iz svake litološke promjene.

Tokom bušenja registrovala se pojava podzemne vode, a nivo vode opažan je nakon svakog prekida bušenja dužeg od jednog časa i na početku svake smjene. Završetkom bušotine, ugrađen je piezometar na kome je praćen nivo vode u narednom periodu. Paralelno sa bušenjem rađeni su opiti standardne penetracije SPT. Opiti su izvedeni u nevezanim ili slabo vezanim sedimentima.

2.3. Geofizička istraživanja

Geofizička ispitivanja vršena su metodom geoelektričnog sondiranja i refrakcionog profiliranja, radi definisanja geološke sredine i njenih parametara. Izdvojene su sredine glinovito-pjeskovitih sedimenata, šljunak koji se kontinuirano prostire do dubine 7,0 m, te šljunak riječne terase čija je moćnost veća od dubine istraživanja.

2.4. Laboratorijska ispitivanja uzorka tla

Laboratorijska ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava tla izvršena su u skladu sa važećim propisima i standardima za laboratorijsko određivanje fizičko-mehaničkih svojstava uzorka tla, JUS U.B1., odnosno ASTM standardima. ASTM standard je ekvivalentan BS standardu – BS 1377 – 2 iz 1990. godine.

3. PRIKAZ OSNOVNIH REZULTATA ISTRAŽIVANJA

Prema geomorfološkim karakteristikama teren u dijelu lokacije mosta M4, kao i cijele dionice auto puta Svilaj – Vukosavlje, odnosno od rijeke Save do rijeke Bosne kod Modriče, karakteriše fluvijalno – akumulacione procese rijeka Save i Bosne koje su formirale dvije kategorije reljefa:

- terasno – akumulacioni reljef kojeg karakterišu sedimenti riječnih terasa i koji se prostire na visinama većim od 100 mnm
- savremeni akumulacioni reljef kojeg karakterišu naplavni sedimenti, sa visinama do 100 mnm i sedimenti riječnog korita.

Na lokaciji mosta M4 teren je subhorizontalan sa blagim padom u pravcu juga, odnosno rijeke Bosne, gdje se apsolutne visine kreću od 102 do 103 mnm.

U geološkoj gradi terena, do dubine istraživanja, zastupljeni su kvartarni sedimenti pleistocenske (Q_1) i holocenske (Q_2) starosti. Pleistocenske starosti su neraščlanjeni sedimenti riječnih terasa (t_1 i t_2) a holocenskim tvorevinama pripadaju savremeni sedimenti riječnog korita, sedimenti poplavnih područja i barski sedimenti.

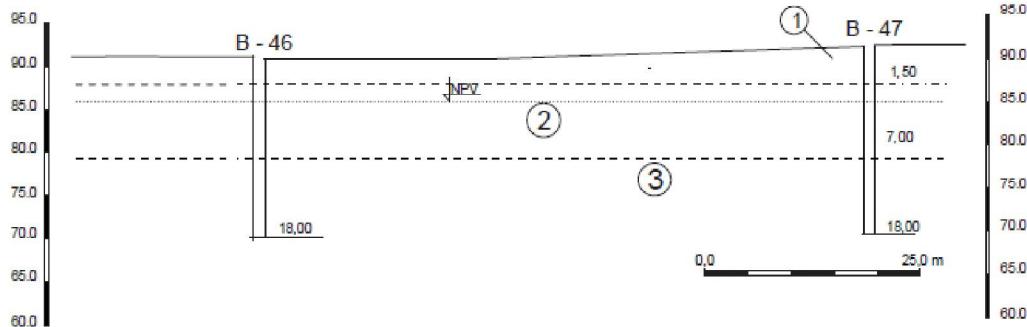
Supstrat terena nije definisan bušenjem ali, na osnovu rezultata prethodnih regionalnih istraživanja, može se prepostaviti da pripada pliokvartarnim glinovito – pjeskovito – šljunkovitim sedimentima i miocenskim sedimentima predstavljenim laporovitim glinama, laporima i pješčenjacima. Prema rezultatima geofizičkih istraživanja na lokaciji mosta M4 supstrat terena očekuje se uglavnom na dubinama većim od 25,0 m.

U litološkom pogledu, od površine terena prema dubini, na lokaciji mosta M4 izdvojeni su sedimenti nasipa tehnogenog porijekla debljine do 0,5 m, naplavni sedimenti predstavljeni glinom prašinasto pjeskovitom (CL) debljine oko 1,5 m, slabo konsolidovana i ne predstavlja povoljnu sredinu za temeljenje, slika 2. Niže rasprostranjeni sedimenti su vezani su za mlađe riječne terase (t_1), predstavljeni su šljunkom pjeskovitim (GP). Šljunak je dobro zbijen, malo stišljiv i dobar medij za temeljenje objekta. Podinu sedimentima mlađe terase izgrađuje šljunak zaglinjen (GC) starije (t_2) terase, sa mjestimičnim sočivima pijeska prašinastog. Dobro je zbijen, malo stišljivi dobar medij za temeljenje objekata.

Prema gradevinskim normama GN 200, glinovito - pjeskoviti sedimenti su II kategorije po težini iskopa. Šljunkoviti sedimenti su III do IV kategorije.

U okviru hidrogeoloških karakteristike na lokaciji mosta M4 izdvojene su slabo vodopropusne stijene međuzrnske i sitno pukotinske poroznosti predstavljene naplavnim prašinasto pjeskovitim glinama. Koeficijent filtracije po USBR-u za prašinasto pjeskovite gline iznosi $k = 1,56 \times 10^{-8}$ m/s, a koeficijent vodopropusnosti $T = 3,7 \times 10^{-8} - 2,3 \times 10^{-8}$ m²/s. U hidrogeološkom pogledu ovi sedimenti imaju funkciju stijena bez vododonosnika i predstavljaju hidrogeološki izolator. Takođe, prisutne su i srednje vodopropusne stijene međuzrnske poroznosti, koje predstavljaju sedimenti mlađe (t_1)

terase predstavljeni šljunkom pjeskovitim i starije (t_2) terase predstavljeni pjeskom prašinastim i šljunkom zaglinjenim. Koeficijenti filtracije šljunka pjeskovitog određivani su laboratorijski i po USBR-u kreću se u rasponu od $k = 1,35 \times 10^{-3}$ m/s do $k = 5,0 \times 10^{-3}$ m/s, a koeficijent vodopropusnosti $T = 8,4 \times 10^{-3} - 3,3 \times 10^{-4}$ m²/s. Koeficijenti filtracije za sedimente starije (t_2) riječne terase kreću se u rasponu od $k = 5,32 \times 10^{-4}$ m/s do $k = 8,8 \times 10^{-7}$ m/s. Koeficijent vodopropusnosti $T = 1,0 \times 10^{-4}$ m²/s do $T = 8,2 \times 10^{-6}$ m²/s.



Slika 2. Poprečni profil terena za most M4

1. glina prašinasto pjeskovita CL, 2. šljunkovit pjesak GP, 3. šljunak zaglinjem GC

Na lokaciji mosta M4 utvrđeno je prisustvo kolektora u propusnim stijenama međuzrnske poroznosti, odnosno u terasnim sedimentima (t_1 i t_2) šljunkovito pjeskovitog razvoja. Moćnost kolektora nije utvrđena istražnim radovima. Prihranjivanje kolektora zavisi od padavina, terasnih sedimenata (t_1 i t_2), pliocenkvarternih sedimenata, režima vode rijeke Bosne.

4. GEOTEHNIČKI USLOVI TEMELJENJA MOSTA

Most M4 planiran je na stac km 16 + 344,90, za potrebe osiguranje prolaza za lateralni kanal koji se uliva u rijeku Bosnu. Trasa autoputa u odnosu na most je pod uglom od 74,25°. Uređeno korito lateralnog kanala širine je 3,3 m na dnu, odnosno 9,90 m u vrhu obale. Na mjestu ukrštanja put se nalazi u nasipu visine 7,5 m. Analiza geotehničkih uslova podrazumijeva određivanje nosivosti šipa za karakteristično mjesto ispod upornjaka, kao i slijeganje grupe šipova na istom mjestu. Predviđeno je da se most fundira na šipovima, prečnika 1,20 m¹, gdje minimalna nosivost jednog šipa iznosi N = 2 800 kN, tabela 1.

Tabela 1. Tabelarni prikaz objekta M 4 sa naprezanjima fundamenata

Objekat	Stacionaža	Prepreka	Dužina	Širina	Neprezanje šipa/ploče u stanju eksploracije
Most M4	16 + 344,9	Lateralni kanal	38,95 m	12,0 m	ŠIP φ1200 N = 2800 kN

Radovi na bušenju tla radi izrade AB armirano – betonskih šipova, obavljaju se u sredini tla III i IV kategorije prema GN – 200.

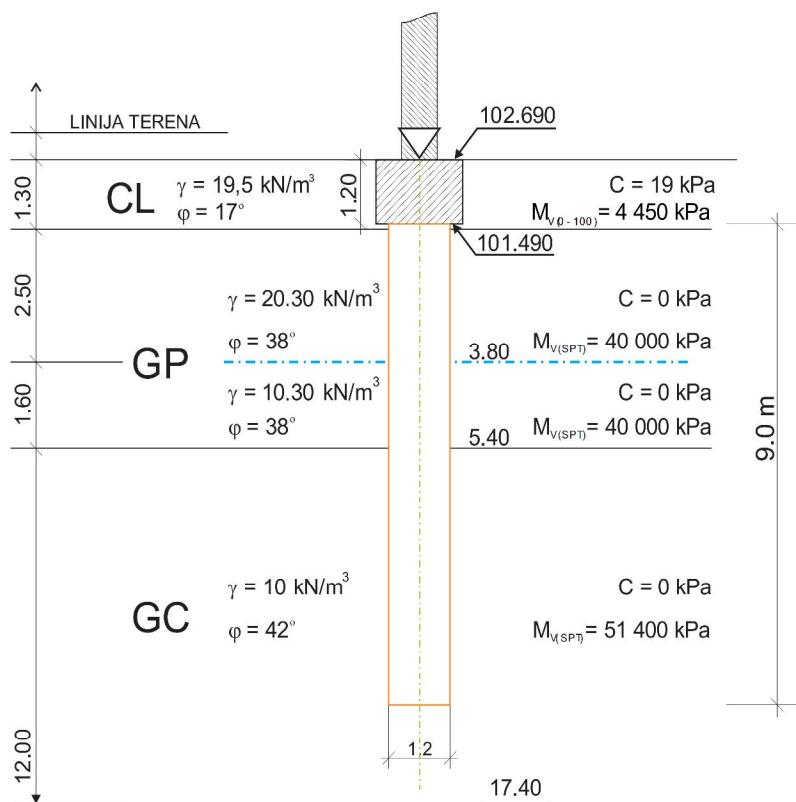
4.1. Geotehnički model terena

Na lokaciji mosta M4 preko lateralnog kanala, geotehnički model terena utvrđen je do dubine 18,0 m, koga čine litološki kompleksi prikazani na slici 3, sa svojim otporno – deformabilnim svojstvima.

Litološki slojevi GP i GC imaju otporno – deformabilna svojstva pogodna za duboko fundiranje objekata. Nivo podzemne vode registrovan je na kote 98,60 mm. Od površine terena, odnosno od kote 103,00 m do dubine 18,0 m odnosno kote 85,00 m geotehnički model terena čine sledeći litološki kompleksi i tipovi stijena i tla:

- Od kote 102,69 m do dubine 1,3 m odnosno do kote 101,39 m teren izgrađuje litološki tip glina prašinasto pjeskovita. Prema UC klasifikaciji pripada CL grupi. Glina je meke do polučvrste konsistencije, sa visokim sadržajem pjeskovite komponente. Slabo je konsolidovana, deformabilna. Osnovni geotehnički parametri za geostatičke proračune su:

○ zapreminska težina	$\gamma = 19,5 \text{ kN/m}^3$
○ zapreminska težina (suva)	$\gamma_d = 16,1 \text{ kN/m}^3$
○ ugao unutarnjeg trenja	$\phi = 17^\circ$
○ kohezija	$c = 19 \text{ kPa}$
○ modul stišljivosti	$M_{V(0-100)} = 4500 \text{ kPa}$
○ Poissonov broj	$\mu = 0,3$



Slika 3. Geotehnički model terena

- Od kote 101,39 m do kote 97,29 m odnosno do dubine 6,0 m, prostire se litološki tip kojeg prema UC klasifikaciji čini šljunak pjeskovit GP grupe. Debljina sloja je 4,1 m. Osnovni geotehnički parametri za geostatičke proračune su:
 - zapreminska težina $\gamma = 20,30 \text{ kN/m}^3$
 - zapreminska težina (suva) $\gamma_d = 18,9 \text{ kN/m}^3$
 - ugao unutarnjeg trenja $\phi = 38^\circ$
 - kohezija $c = 0 \text{ kPa}$
 - modul stišljivosti $M_v(0-100) = 40000 \text{ kPa}$
 - Poissonov broj $\mu = 0,4$
- Od kote 97,29 m do dubine istraživanja od 18,0 m je litološki tip sedimenata kojega prema UC klasifikaciji čine materijali GC grupe. Debljina sloja nije utvrđena istražnim radovima. Osnovni geotehnički parametri za geostatičke proračune su:
 - zapreminska težina $\gamma = 19,00 \text{ kN/m}^3$
 - zapreminska težina (suva) $\gamma_d = 17,6 \text{ kN/m}^3$
 - ugao unutarnjeg trenja $\phi = 42^\circ$
 - kohezija $c = 0 \text{ kPa}$
 - modul stišljivosti $M_v(spt) = 51400 \text{ kPa}$
 - Poissonov broj $\mu = 0,4$

4.2. Geostatičke analize temeljenja

Geostatičke analize fundiranja na bušenim šipovima izvršene su kroz analizu nosivosti šipova i slijeganje grupe šipova. Nosivost šipova analizirana je po metodi Brinch Hansen-a. Dobijena nosivost jednog šipa je $Q_f = 4.181,93 \text{ kN}$. Dužina šipa $L = 9,00 \text{ m}$. Dozvoljena nosivost jednog šipa je minimalno $N = 2\ 800 \text{ kN}$. Šipovi se fundiraju u tlu grupe GC. Ulazni podaci za geotehnički model terena za most M4, dati su u tabeli br. 2, a rezultati analize dubokog fundiranja prikazani su u tabeli br. 3.

Tabela 2. Ulazni podaci za geotehnički model terena

Geotehnički model terena	Debljina sloja (m)	NPV (m)	γ (kN/m ³)	ϕ^0	C (kPa)	M_v (kPa)	μ
Glina praš. pjesk.	1,3	4,4	19,50	17	19	4500	0,3
Šljunak pjeskovit	2,5		20,30	38	0	40000	0,4
	1,6		10,30	38	0	40000	0,4
Šljunak zaglinjen	12		10	42	0	51400	0,4

Tabela 3. Rezultati analize dubokog fundiranja

Tip fundiranja		Dimenzije temelja (m)	Dubina fundiriranja (m)	Dozvoljena nosivost tla (kPa)
Duboko fundiranje	Brinch Hansen	$\emptyset 1,2$	9	4.181.93

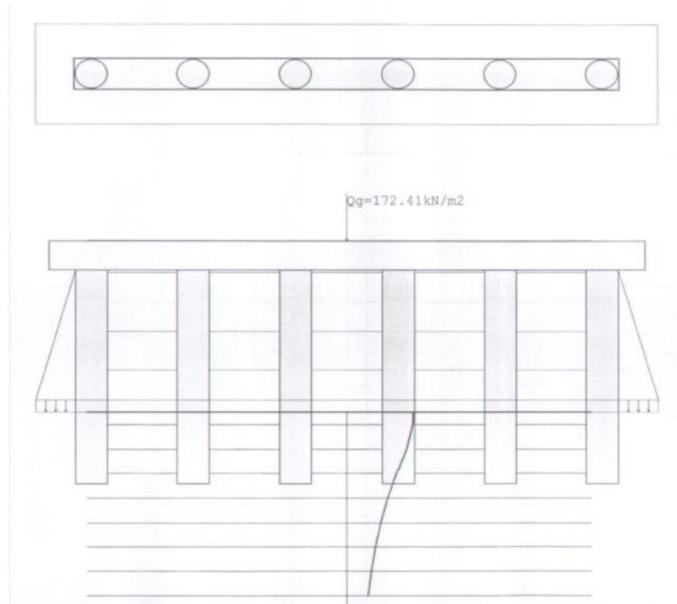
4.3. Analiza slijeganja dubokog fundiranja

Analiza slijeganja grupe šipova izvršena je u odnosu na vrijednosti dozvoljenog opterećenja dobivenih po metodi Brinch Hansen-a. Na lokacijama upornjaka, analiza slijeganja provedena je za grupu od šest šipova, gdje slijeganje iznosi $s = 1,677$ cm. Vrijednosti slijeganja grupe šipova sa dozvoljenim opterećenjima dobivenim po Brinch Hansenu, date su u tabeli br. 4, i geotehničkom modelu terena, slika 4.

Tabela 4. Rezultati proračuna slijeganja šipova

Metode prorač. graničnog opterećenja	Sila/napon (kN/kPa)	Prečnik Šipa (m)	Dužina šipa (m)	Baterija šipova (kom)	Modul stišljivosti (kPa)	Sleganje (cm)
Brinch Hansen-u	4181,93/172,41	1,2	9,0	6	CL 4500 GP 40000 GP 40000 GC 51400	1,68

Iz navedenih sleganja šipova zaključuje se da se šipovi trebaju fundirati u sloju sitnozrnog šljunka GC. Dužine šipova kod oporaca su 8,00 m¹. Dozvoljena veličina sleganja je 10% od veličine dijametra šipa. Ostvareno slijeganje šipova nalazi se u tom okviru. Za elemente dubokog temeljenja treba urediti preliminarni test pilota za svaku inženjerskogeološku jedinicu. Preporučuje se da se predviđi statičko testiranje pilota postupkom MLT, postupak održavanja sile. Prema iskustvu, rezultati preliminarni test pilota potvrđuju ispravnost predviđene tehnologije i stvarnu nosivost pilota, što često omogućava optimizaciju dizajniranih pilota u fazi izrade Izvedbenog projekta.



Slika 4. Geotehnički model terena za proračun slijeganja grupe šipova preko ekvivalentne ploče

5. ZAKLJUČAK

Koridor Vc je jedan od najznačajnijih putnih pravaca Jugistočne Evrope, koji kroz Bosnu i Hercegovinu prolazi dužinom oko 330 km. Za potrebe izrade projektne dokumentacije urađena su geološka i geotehnička istraživanja terena u dovoljnom obimu da se definiše model terena, kako za trasu puta, tako i objekte na trasi. U radu je prikazan most M4, koji predstavlja jedan od objekata na trasi auto puta, koji se nalazi u ravnicaškom dijelu terena. Istražnim radovima definisana je geološka građa terena, koju predstavljaju kvartarni sedimenti pleistocenske (Q_1) i holocenske (Q_2) starosti riječnih terasa (t_1 i t_2), kao i savremeni sedimenti riječnog korita, sedimenti poplavnih područja i barski sedimenti. U litološkom pogledu, do dubine istraživanja zastupljeni su sedimenti gline prašinasto pjeskovite (CL), zatim šljunka pjeskovitog (GP) i šljunaka zaglinjenog (GC). Geotehnički model terena utvrđen je do dubine 18,0 m, na osnovu koga je određena nosivost šipova, kao i slijeganje grupe šipova. Dobivene vrijednosti za duboko fundiranje šipa prečnika $\varnothing = 1,2$ m i $L = 9,0$ m, po metodi Brinch Hansen – a su:

- za nosivost $Q_f = 4.182$ kN, što je veće od zahtijevane nosivosti $N = 2800$ kN
- slijeganje za grupu od šest (6) šipova prečnika $\varnothing = 1,2$ m i $L = 9,0$ m iznosi $s = 1,68$ cm

Za elemente dubokog temeljenja treba uraditi preliminarne test pilote za svaku inženjerskogeološku jedinicu. Preporučuje se preliminarno statičko testiranje pilota postupkom MLT, postupak održavanja sile iz razloga utvrđivanja stvarne nosivosti pilota.

LITERATURA

- [1] Đurić A., Đurić N: (2005): Elaborat o geotehničkim istraživanjima trase autoputa Gradiška – Banja Luka, Geotech – plus, Bijeljina.
- [2] Đukić D. (2004): Geotehničke klasifikacije za površinske radeve u rudarstvu i građevinarstvu, Rudarski institut Tuzla.
- [3] Đurić N. (2009): Osnove geologije i inženjerske geologije, Građevinski fakultet Subotica.
- [4] Đurić N. i sar. (2010): Elaborat o geotehničkim istraživanjima trase autoputa koridor Vc, dionica Svilaj – Vukosavlje. Tehnički institut Bijeljina.
- [5] Laušević M., Jovanović Č., Mojičević M.: Osnovna geološka karta SFRJ, list Dobojski, R 1:100000, i Tumač OGK, Savezni Geološki Zavod, Beograd.
- [6] Mitrović P. i sar. (2010): Geotehnički projekat za trasu. Lot 1, Svilaj – Vukosavlje. Tehnički institut Bijeljina.

GEOTECHNICAL CONDITIONS FOUNDATIONS OF BRIDGES M4 CORRIDOR VC, LOT 1, SVILAJ – VUKOSAVLJE

Summary: In Bosnia and Herzegovina have intensified geological and geotechnical surveys of the terrain, for the preparation of project documentation for the route of the highway corridor Vc. Surveys were conducted for three years, and the route corridor is divided into multiple shares. The complexity of geological structure of the terrain through which the route corridor required a more detailed research, in field, and laboratory and cabinet data processing. The route of the highway is a larger number of objects, of which the M4 bridge shown in this paper

Keywords: highway, bridge, geotechnical investigations, geotechnical design