

Utjecaj složenih inženjersko-geoloških i geotehničkih uvjeta na izbor kombiniranih mjera sanacije klizanja trupa prometnice

Đenari Čerimagić

Univerzitet u Sarajevu, Građevinski fakultet, prof. dr. sc., djenari.cerimagic@gf.unsa.ba

Mladen Kapor

Univerzitet u Sarajevu, Građevinski fakultet, v. ass., mladen.kapor@gf.unsa.ba

Sažetak: U ovom radu prikazan je utjecaj složenih inženjersko-geoloških i geotehničkih uvjeta terena na odabir kombiniranih mjera sanacije klizanja trupa magistralne ceste M5. Za determinaciju inženjersko-geoloških i geotehničkih uvjeta predmetnog lokaliteta, izvedeni su terenski i laboratorijski istražni radovi. Cesta se u prostoru klizišta nalazi na relativno visokom nasipu ispod kojeg se nalazi propust, kojim se kanalizira prirodni potok. Geološki supstrat se nalazi relativno duboko, na dubini od 7 do 8 m, a ispod kolovozne konstrukcije je nasipni materijal raznolike kvalitete što je potvrdilo saznanje kako je ovom trasom nekada prolazila željeznička pruga. Kosina ispod ceste je relativno strma i visine cca 10 m. U dnu kosine se nalazi kameni zid u lošem stanju. U osnovi koncept rješenja se svodi na izradu potporne konstrukcije koju sačinjavaju šipovi, naglavna greda i AB platno. Projektirane sanacijske mjere osigurale su stabilnost i funkcionalnost prometnice.

Ključne riječi: inženjersko-geološki i geotehnički uvjeti, klizište, istražni radovi, sanacija, bušeni šipovi

Influence of complex engineering geological and geotechnical conditions on the selection of combined measures for road landslide remediation

Abstract: This paper presents the influence of complex engineering geological and geotechnical ground conditions on the selection of combined measures for the rehabilitation of landslide on the main road M5. Field and laboratory investigations were conducted to determine the engineering geological and geotechnical conditions of the site. The road is situated on a relatively high embankment within the landslide area, under which a culvert channels a natural stream. The geological substrate is found quite deep, 7 to 8 meters below the surface. Beneath the road, there is a mixture of fill materials of different qualities, indicating that a railway used to run along this route in the past. The slope below the road is relatively steep, approximately 10 meters in height, with a poorly maintained stone wall at its base. The fundamental concept of the proposed solution involves the construction of a support structure comprising piles, a head beam, and a reinforced concrete wall. The designed rehabilitation measures ensure the stability and functionality of the roadway.

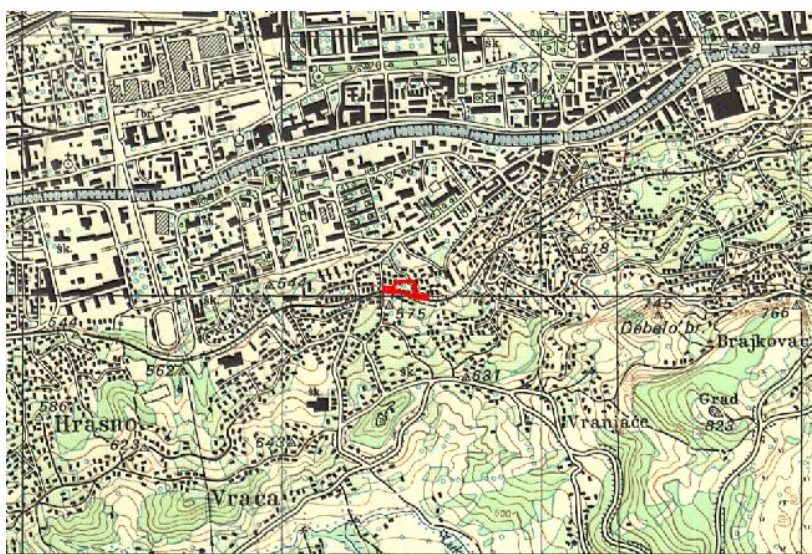
Key words: engineering geological and geotechnical conditions, landslide, investigation works, remediation, drilled piles

Čerimagić, Đ., Kapor, M.

Utjecaj složenih inženjersko-geoloških i geotehničkih uvjeta na izbor kombiniranih mjera sanacije klizanja trupa prometnice

1. UVOD

Istražni prostor klizišta i okolnog terena obuhvaća površinu od oko 0,8 ha i administrativno pripada općini Novo Sarajevo (slika 1). Istražni radovi i ispitivanja izvedeni su u skladu s Projektnim zadatkom, Zakonom o geološkim istraživanjima, a prema vrstama i opsegu uključuju: geodetske radove, inženjersko-geološko kartiranje i profiliranje, izvođenje istražnih bušotina uz izvođenje terenskih opita i uzimanje uzoraka za laboratorijsko ispitivanje fizičko-mehaničkih karakteristika tla, te utvrđivanje razine podzemne vode.



Slika 1. Geografski položaj predmetne lokacije, Topografska karta M 1:25 000, list Sarajevo

Snimljena je geodetska situacija površine oko 0,8 ha. Geodetsko snimanje je izvedeno u Gauss-Krugerovom sustavu, u državnom koordinatnom sustavu. Tako urađena situacija predstavlja osnovnu podlogu za rad na terenu i ujedno, podlogu za izradu projekta sanacije prometnice. Na geodetskoj situaciji izvršeno je detaljno inženjersko-geološko kartiranje terena i urađena inženjersko-geološka karta i karakteristični profili. Izvedeno je šest istražnih bušotina dubine od 5 m do 9 m (ukupno 46 m) s 40 SPT opita, uzimanjem 12 uzoraka za laboratorijska geomehanička ispitivanja i registriranjem pojava i razina podzemnih voda (tablica 1).

Tablica 1. Koordinate, kote i dubine izvedenih istražnih bušotina

Bušotina	X	Y	Z	Dubina (m)	SPT (opit)	Uzorci (kom.)
B-1	6532463.39	4856007.47	559.85	7	3	2
B-2	6532482.93	4856013.51	559.75	9	9	2
B-3	6532473.76	4856016.62	559.50	9	8	2
B-4	6532482.39	4855997.75	560.40	7	6	2
B-5	6532463.66	4856018.33	560.00	9	9	2
B-6	6532489.60	4856041.04	547.30	5	5	2
		Ukupno:		46	40	12

Opiti SPT-a obavljani su prema usvojenom međunarodnom standardu ASTM D1586-20 i prema BAS ISO 22476-3. U glinama primijenjen je dvodijelni cilindar („split barrel“), a u šljunku (drobinama) i stijenskim masama supstrata primijenjen je „konus“. Geomehanička ispitivanja

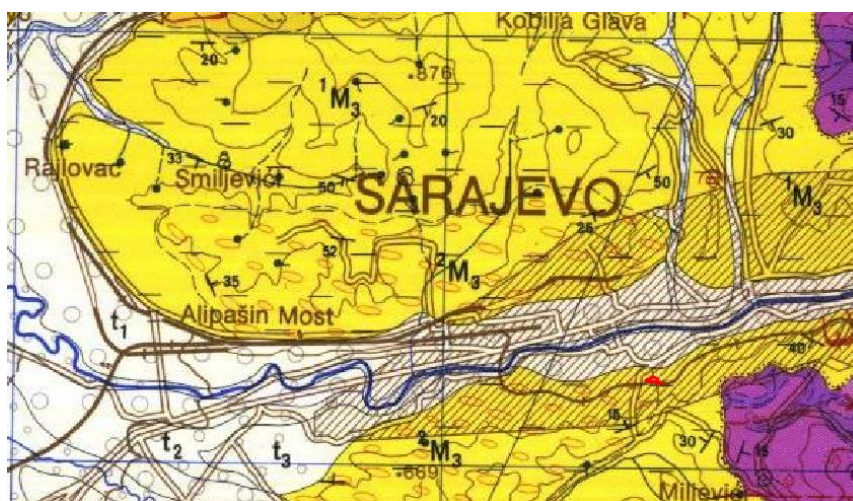
Čerimagić, Đ., Kapor, M.

Utjecaj složenih inženjersko-geoloških i geotehničkih uvjeta na izbor kombiniranih mjera sanacije klizanja trupa prometnice

su izvedena prema ASTM, BS i BAS ISO standardima. Na uzetim uzorcima pokrivača i supstrata ispitan je sadržaj vode, zapreminska masa, granulometrijski sastav i parametri posmične čvrstoće i deformabilnosti tla.

2. REZULTATI ISTRAŽIVANJA I ISPITIVANJA

Istraživani teren klizišta na lokalitetu magistralne ceste M5, u morfološkom pogledu pripada brdsko-planinskom tipu reljefa, s kotama 550,00 m n. m. na sjeveru u nožici klizišta, do 560,00 m n. m. u razini magistralnog puta M5 na južnom dijelu u čelu klizišta. Zbog heterogene geološke građe, antropogenih utjecaja, neotektonske aktivnosti i različitog ponašanja stijenskih masa u površinskoj zoni raspadanja pod utjecajem egzogenih geoloških faktora, geomorfološka građa terena je kompleksna. Prema geološkoj građi, u morfogenetskom smislu predmetni teren i njegova neposredna okolina pripadaju brdsko-planinskom i gravitacijsko-akumulacijskom tipu reljefa.



Slika 2. Geološka građa istraživanog terena, [1]

Geološka građa istraživanog terena je složena zbog toga, što pojedine geološke formacije imaju složen facijalni sastav i kompleksan sklop koji bitno utječe na kvalitativno-kvantitativna svojstva stijenskih masa i njihovu stabilnost na padinskim dijelovima terena. U građi terena učestvuju neogeni sedimenti gornjeg miocena (1M_3), „Koševska serija“ kao i suvremene kvartarne naslage (Q) u vidu površinskih pokrivača različite geneze i materijalnog sastava. Gornjomiocenski jezerski sedimenti (1M_3) Sarajevsko-zeničkog neogenog bazena, poznatiji kao „Koševska serija“, transgresivno i diskordantno leže preko anizijskih krečnjaka i polifacijalnog kompleksa verfena. U građi ovog kompleksa učestvuju laporovite gline, lapori, pijesci, pješčari i alevroliti. Svi naprijed navedeni litološki članovi utvrđeni su bušenjem bilo u prethodnim ili ovim provedenim istraživanjima. Prema OGK, list Sarajevo M 1: 100.000 (slika 2) debljina „Koševske serije“ na širem području procijenjena je u vrijednosti od cca 400 m, [1]. Kvartarne tvorevine (Q) su predstavljene antropogenim vještačkim materijalima, klastičnim i nevezanim tvorevinama, eluvijalno-deluvijalnim produktima raspadanja geološkog supstrata i koluvijalnim materijalima klizišta. Površinski pokrivači zauzimaju cijelu površinu istraživanog terena. Površinski pokrivači su heterogenog i to prevlađujuće, glinovito-pjeskovito-drobinskog sastava. Debljina ovih materijala varira u dijapazonu vrijednosti, od 4,2 m (B-1; B-6) do 7,0 m (B-3; B-5).

Čerimagić, Đ., Kapor, M.

Utjecaj složenih inženjersko-geoloških i geotehničkih uvjeta na izbor kombiniranih mjera sanacije klizanja trupa prometnice

Tektonski sklop istraživaniog i okolnog terena, prema OGK, list Sarajevo (slika 2), pripada strukturno-facijalnim jedinicama "Crepoljsko – Trebević – Treskavica – Prača" i "Sarajevsko – zeničkog neogenog bazena". Strukturni sklop jedinice Sarajevsko – zenički bazen je relativno složen zbog izraženog ubiranja u nabore čije su ose približno upravne na dinarske strukture. Tektonski pokreti u ovom dijelu terena značajno su uticali na dezintegraciju stijenskih masa, povećanu ispucalost, raspadnutost i vodopropusnost, zbog čega kora raspadanja geološkog supstrata ima značajnu debljinu i vrlo promjenljiva i neujednačena fizičko-mehanička svojstva. Manji nabori većeg indeksa ubiranja se pojavljuju u nižim horizontima klastita gdje su pješčari i laporci.

U pogledu inženjersko-geološkog sastava, stanja i svojstava tla i stijena, izdvojene su dvije osnovne sredine koje odražavaju geološku građu terena unutar klizišta i neposrednom okruženju: kvartarni površinski pokrivači i geološki supstrat.

Kvartarni pokrivači zauzimaju cijelu površinu razmatranog područja. To su materijali nastali procesima raspadanja geološkog supstrata ili antropogenom djelatnošću pri izgradnji puteva i objekata. Ovisno o genezi, izdvojeni su slijedeći tipovi, odnosno horizonti površinskih pokrivača: antropogeni (tehnogeni) pokrivač, koluvijalni materijal i eluvijalno-deluvijalni pokrivač.

Antropogeni materijali – nasip konstatiran je u konstrukciji puta i oko stambenih objekata. Sastavljeni su od asfalta, betona, drobine krečnjaka, gline, pijeska, pjeskovite gline. Materijali nasipa konstatirani su u istražnim bušotina B-1 do B-5. Debljina im je u vrijednosti do 5,0 m. Koluvijum predstavlja vrlo heterogenu materijalnu sredinu, a njegov postanak vezan je za procese fizičkog raspadanja geološkog supstrata i antropogenih vještačkih tvorevina. Pri gravitacionim pokretima došlo je do miješanja drobinskog materijala krečnjaka i materijala kore raspadanja sedimenta neogena. S obzirom na naprijed navedeno, u koluvijalnom pokrivaču nalaze se pomiješani glinoviti i drobinski materijali. Naime, koluvijalni pokrivač je sastavljen od crvenih i smeđih pjeskovitih glina, crvenih sitnozrnih pijeskova. Iz naprijed navedenog može se zaključiti da je granulometrijski sastav vještačkih, antropogenih tvorevina (Vt) i koluvijalnih materijala (kl), veoma heterogen. Potrebno je naglasiti da je ponekada vrlo teško povući jasnu granicu između koluvijalnog i eluvijalno-deluvijalnog pokrivača. U vertikalnom profilu i bočno, pojedini litološki članovi se često naizmjenično smjenjuju tako da su geomehanička svojstva ovog pokrivača veoma promjenljiva i neujednačena. Debljina antropogenih tvorevina vještačkih materijala koluvijalnog tipa varira u vrijednostima od 2,5 do 5,0 m (tablica 2).

Tablica 2. Debljina Vt, kl, pokrivača, [3]

Oznaka bušotine	Dubina bušotine (m)	Debljina Vt,kl, pokrivača (m)	Prosječna debljina (m)
B-1	7	2,5	3,3
B-2	9	5,0	
B-3	9	5,0	
B-4	7	1,5	
B-5	9	2,5	
B-6	-	-	

Eluvijalno-deluvijalni pokrivač konstatiran je djelomično na površini predmetnog dijela terena. Promatrano u vertikalnom presjeku, eluvijalno-deluvijalni materijali leže ispod antropogenih i koluvijalnih materijala, a preko stijenskih masa geološkog supstrata. Eluvijalno-deluvijalni pokrivač predstavlja litološki kompleks sastavljen od raznobojnih prašinih i pjeskovitih glina crvene, sive, tamnosive, smeđe i žutosmeđe boje, sitnozrnih pijeskova crvene, sive, žute i blijedozelene boje, sitnozrne drobine pješčara, glinaca i alevrolita, te laporovitih glina. Dominantnu zastupljenost imaju raznobojne pjeskovite gline i pijeskovi koji

Čerimagić, Đ., Kapor, M.

Utjecaj složenih inženjersko-geoloških i geotehničkih uvjeta na izbor kombiniranih mjera sanacije klizanja trupa prometnice

se u vertikalnom profilu i bočno često naizmjenično smjenjuju sa drugim litološkim članovima, u vidu tankih proslojaka ili izoliranih sočiva. Ovaj pokrivač u cjelini ima plastičnu do tvrdu konzistenciju i vrlo promjenljiva i neujednačena geomehanička svojstva, što uglavnom zavisi od procentualnog sadržaja vode i kamenite frakcije. U suhom stanju, imaju relativno povoljna svojstva, a u vodozasicićenom, pretvaraju se u lakopokretljivu blatno-kašastu masu. U stanju prirodne vlažnosti, podložne su bubrenju i povećanom slijeganju ili pri niskim temperaturama mraznom bubrenju. Eluvijalno-deluvijalni pokrivač u cjelini, predstavlja povoljnu sredinu za formiranje klizišta, a kontakt sa geološkim supstratom predstavlja kritični diskontinuitet za generiranje kliznih procesa. Prema rezultatima provedenih istražnih bušenja, kao i rezultata ranijih istraživanja, konstatirana je debljina eluvijalno-deluvijalnog pokrivača (el-dl) u dijapazonu vrijednosti od 1,5 do 4,5 m (tablica 3).

Tablica 3. Debljina eluvijalno-deluvijalnog pokrivača, [3]

Oznaka bušotine	Dubina bušotine (m)	Debljina el-dl pokrivača (m)	Prosječna debljina (m)
B-1	7	1,5	2,43
B-2	9	1,5	
B-3	9	1,8	
B-4	7	2,5	
B-5	9	4,5	
B-6	5	2,8	

Geološki supstrat leži u dubljim dijelovima terena ispod površinskih pokrivača. Zbog izuzetno složenih geoloških odnosa na ovom istraživanom terenu izdvojena su dva horizonta supstrata: kora raspadanja geološkog supstrata i geološki supstrat. Kora raspadanja sedimenata gornjeg miocena izdvojena je ispod materijala pokrivača, a direktno leži preko svježih sedimenata gornjeg miocena. Kora raspadanja predstavlja produkt „in situ“ raspadanja osnovnih stijena pod djelovanjem atmosferilija i infiltracijskih voda.

U pogledu materijalnog sastava, to je također heterogena sredina izgrađena od laporovite gline svijetlo do tamnosive boje, te ispucalih, raspadnutih i trošnih glinaca, lapora, alevrolita i pješčara. U cjelini, litološke članove ove kore raspadanja odlikuje dobra prirodna zbijenost i relativno visoke vrijednosti otpornosti penetraciji. Pod utjecajem vode i klimatskih promjena, podložni su raspadanju u sipku i rastresitu masu. Debljina zone kore raspadanja sedimenata gornjeg miocena i supstrata, varira u širokom dijapazonu, od minimalnih 2,1 do maksimalnih 3,1 m (tablica 4).

Geološki supstrat tj. geološku osnovu terena u području klizišta gradi litostratigrafski član – klastični sedimenti "Koševske serije" gornjeg miocena (1M_3). Miocenski polifacijalni kompleks leži ispod materijala raslabljenog supstrata. Unutar litološkog kompleksa je istražnim bušenjem utvrđeno vertikalno i bočno smjenjivanje pojedinih litoloških tipova kao što su alevroliti, glinci, lapori, pijesci i pješčari. Kompleks je tankoslojevite do slojevite teksture i psamitsko-alevrolitsko-pelitske strukture. Alevroliti i glinci preovlađuju u masivu, dok se ostali litološki tipovi povremeno smjenjuju u vidu proslojaka. Kompleks se generalno odlikuje niskim stupnjem dijageneze (zbog čega lapori prelaze u laporovite gline). Fizičko-mehanička svojstva ovog kompleksa su promjenjiva i neujednačena. Na osnovu terenskih istraživanja utvrđeno je da ovaj laporoviti kompleks "in situ" ima vrlo visoke vrijednosti otpornosti penetraciji. Pod utjecajem vode i klimatskih promjena, litološki tipovi ovog kompleksa podložni su procesima površinskog raspadanja.

Čerimagić, Đ., Kapor, M.

Utjecaj složenih inženjersko-geoloških i geotehničkih uvjeta na izbor kombiniranih mjera sanacije klizanja trupa prometnice

Tablica 4. Debljina raslabljenog geološkog pokrivača i nabušenog geološkog supstrata, [3]

Oznaka bušotine	Dubina bušotine (m)	Debljina kore raspadanja i supstrata sedimenata 1M3 (m)	Prosječna debljina (m)
B-1	7	3,1	2,46
B-2	9	2,3	
B-3	9	2,1	
B-4	7	3,1	
B-5	9	2,1	
B-6	5	2,1	

3. UZROCI NASTANKA KLIZIŠTA

Uzroci nastanka klizišta u osnovi se mogu svesti na: predispozicije zbog geološke građe padine koju u osnovi čine erodibilne stijene podložne procesima raspadanja i formiranja glinovito-pjeskovito-drobinskih pokrivača, vještačke tvorevine, pokrivači loših geomehaničkih karakteristika, dugotrajno puzanje materijala na padini i promjena čvrstoće na smicanje s vršnih vrijednosti na rezidualne, visoke razine podzemnih voda uslijed intenzivnih padavina ili otapanja snježnog pokrivača.

4. HIDROGEOLOŠKE KARAKTERISTIKE TERENA

Hidrogeološke karakteristike terena na prostoru klizišta na lokalitetu magistralne ceste M5 su vrlo složene zahvaljujući, prije svega, geološkoj građi terena, strukturi poroznosti i općoj vodopropusnosti stijenskih masa. Prema vodopropusnosti i hidrogeološkim funkcijama koje imaju, u terenu se mogu izdvojiti dvije osnovne kategorije stijenskih masa i to: propusne stijene sa funkcijom hidrogeoloških kolektora i nepropusne stijene sa funkcijom hidrogeoloških izolatora.

Propusne stijene međuzrnske poroznosti su nevezane ili slabovezane kolutivijalne i eluvijalno-deluvijalne naslage, te antropogeni materijali (Vt). U njihovom sastavu su pretežno zaglinjene drobine, pijesak, kameni agregat manji i veći blokovi, te prašinaste i pjeskovite gline. Na osnovu vrijednosti hidrogeoloških parametara i izdašnosti vodnih pojava, kolutivijalni materijali se mogu izdvojiti u klasu srednjevodopropusnih, a eluvijalno-deluvijalni i antropogeni materijali u klasu slabovodopropusnih stijena. U cjelini, predstavljaju hidrogeološke komplekse u kojima se često lateralno i vertikalno smjenjuju litološki članovi različite vodopropusnosti. Propusne stijene međuzrnske propusnosti imaju funkciju pripovršinskog vodonosnika manje-više kontinualnog rasprostranjenja, ali male do srednje izdašnosti, te povremeno brze i nagle vodoizmjene. Zavisno od hipsometrijskog položaja propusnih i nepropusnih stijena, u okolnom prostoru se pojavljuju izvori gravitacionog i preljevnog tipa koji intenzivnije raskvašavaju dijelove padina izgrađenih od plastičnih glinovitih neogenih tvorevina i time generiraju klizne procese na padini. Zona primarnog isticanja podzemnih voda je skoro po pravilu maskirana krečnjačkim siparišnim materijalom, tako da se sada njihovo isticanje vrši preko mreže sekundarnih tokova razasutih po čitavoj padini. Zbog toga su pojedini dijelovi padina jače raskvašeni u toku čitave godine, a povećana vlažnost u sredinama sa vrlo promjenjivim fizičko-mehaničkim svojstvima, najčešće je uzrok pojave nekontroliranog razvoja klizišta u ovom dijelu istraživanog terena.

U kategoriju nepropusnih stijena koje imaju funkcije hidrogeoloških barijera, uvršten je kompleks stijena "Koševske serije" gornjeg miocena ($1M_3$). U sastavu $1M_3$ kompleksa sudjeluju alevroliti, lapori, pijesci i pješčari. U pravilu, leže diskordantno preko krečnjaka anizika. Naslage miocena uglavnom su pokrivene kvartarnim eluvijalno-deluvijalnim i kolutivijalnim

Čerimagić, Đ., Kapor, M.

Utjecaj složenih inženjersko-geoloških i geotehničkih uvjeta na izbor kombiniranih mjera sanacije klizanja trupa prometnice

tvorevinama. S obzirom na položaj koji zauzimaju u terenu, stijenske mase gornjomiocenskog hidrogeološkog kompleksa predstavljaju krovinsku hidrogeološku barijeru krečnjacima anizika i podinsku barijeru tvorevinama kvartara. U toku izvođenja istražnih radova na predmetnom terenu, podzemne vode su konstatirane na različitim dubinama u eluvijalno-deluvijalnom i koluvijalnom pokrivaču. Pored bušotina sa vodom konstatirane su i suhe bušotine. Pojave i razine podzemnih voda u istražnim bušotinama koje su izvedene u okviru ovih provedenih istraživanja prikazani su u narednoj tablici.

Tablica 5. Pojave i razine podzemnih voda u istražnim bušotinama, [3]

Oznaka bušotine	Pojava podzemne vode (m)	Razina podzemne vode (m)
B-1	4,5	6,1
B-2	6,2	-
B-3	-	-
B-4	-	-
B-5	7,0	-
B-6	1,5	-

4. REZULTATI LABORATORIJSKOG ISPITIVANJA I OPITA SPT-A

U materijalima vještačkih tvorevina (horizonta 1a) nisu vršena uzorkovanja za laboratorijska ispitivanja (Tablica 6), a srednja vrijednost opita standardne penetracije iznosi 27,41 (Tablica 7). Iz materijala eluvijalno-deluvijalnih i koluvijalnih pokrivača (horizont 1) tijekom provedenih istraživanja za sanaciju klizišta ispitano je 6 uzoraka. Zapreminska težina materijala ovog horizonta je određena u vrijednosti 21,0 kN/m³. Izvedeni opit direktnog smicanja rezultirao je vrijednosti kohezije $c = 4-10$ kPa i kuta unutarnjeg trenja $\varphi = 19-31^\circ$. Naprijed navedeno ukazuje na veoma promjenjiv sastav predmetnih materijala, pri čemu osnovnu komponentu pretežno čini drobinska frakcija, ali s veoma različitim primjesama, od glina, preko prašinate frakcije do pijeskova. Provedeni opiti penetracije rezultirali su prosječnom vrijednošću od $N = 21,91$ udaraca što odgovara vrlo krutoj konzistenciji, [2].

Iz materijala kore raspadanja (horizonta 2) za potrebe sanacije klizišta ispitana su 3 uzorka. Prema USC klasifikaciji, ovi materijali također su svrstani u grupu CI - glina niske plastičnosti. Na jednom uzorku ovih materijala provedeni su i opiti direktnog smicanja koji su dali vrijednosti kuta unutarnjeg trenja $\varphi = 24,1^\circ$ i kohezije $c = 25$ kPa. Određena je i zapreminska težina čija vrijednost iznosi $\gamma = 21,8$ kN/m³. U ovim materijalima izvedeno je 5 SPT opita koji su rezultirali prosječnom vrijednošću od $N = 44,2$ udaraca, što ukazuje da se radi o vrlo krutoj i čvrstoj konzistenciji, [2].

Tablica 6. Pregled uzoraka, [3]

Bušotina	1a	1	2	3
B-1	-	1		1
B-2	-	1		1
B-3	-	1	1	
B-4	-	1		1
B-5		1	1	
B-6		1	1	
UKUPNO:	-	6	3	3

Čerimagić, Đ., Kapor, M.

Utjecaj složenih inženjersko-geoloških i geotehničkih uvjeta na izbor kombiniranih mjera sanacije klizanja trupa prometnice

Tablica 7. Rezultati SPT opita – nekorrigirane vrijednosti, [3]

Horizont	Broj opita	Vrijednost (N30)		
		srednja	minimalna	maksimalna
1a	12	27,41	10	53
1	12	21,91	12	30
2	5	44,20	39	50/05
3	11	50/08	59	50/06

Iz horizonta 3 (polifacijalni kompleks gornjeg miocena) za potrebe sanacije klizišta uzeta su i ispitana 3 uzorka. Izvedeni opiti direktnog smicanja dali su vrijednosti kohezije od $c = 8-9,8$ kPa kao i kuta unutarnjeg trenja $\varphi = 25-27^\circ$. Na oba uzorka određena je i zapreminska težina čija vrijednost je $\gamma = 21,0-22,0$ kN/m³. U ovim materijalima izvedeno je 11 SPT opita koji su rezultirali vrijednošću od $N = 50/08$ udaraca, što ukazuje da se radi čvrstoj konzistenciji, [2].

5. OPIS SANACIJSKIH MJERA I NUMERIČKI PRORAČUN

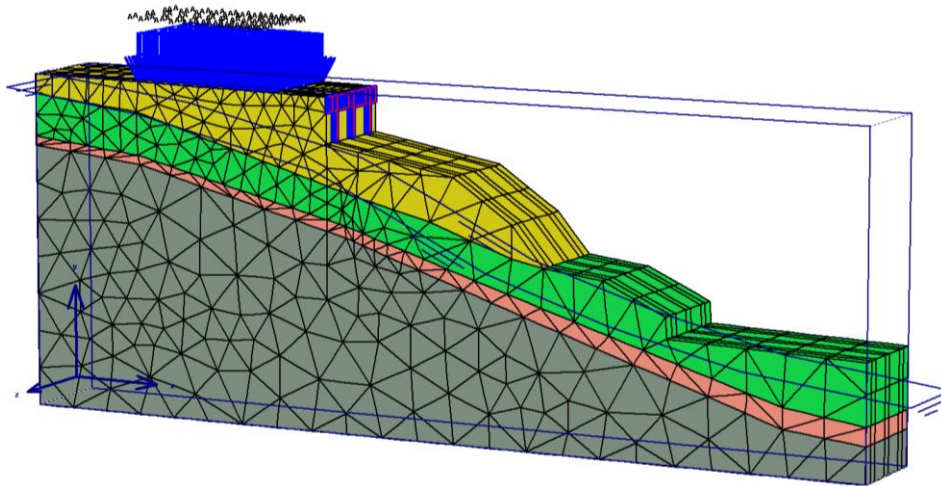
Prostorne mogućnosti, nagib padine, komunalna infrastruktura i nemogućnost prekida odvijanja prometa ograničavaju uporabu teške mehanizacije za sanaciju klizišta. Sanacijske mjere podrazumijevaju izradu potporne konstrukcije koju sačinjavaju šipovi promjera 600 mm, naglavna greda i AB platno. Šipovi su dužine 10 m i promjera 600 mm. Gornjih 80 cm šipa se ne betonira, nego se samo ostavlja armatura koja se povezuje sa armaturom naglavne grede. Šipovi su na osovinskom razmaku od 2,0 m i ukupno se izvodi 19 šipova. Naglavna greda je dimenzija 80x80 cm i dužine 38,75 m. Od naglavne grede, kao jedinstvena cjelina izvodi se AB platno debljine 30 cm i visine 1,35 m. Povoljna okolnost za prihvaćanje ovakvog tipa potporne konstrukcije su relativno mali iskopi, čime se minimalno ugrožava stabilnost terena prilikom izvođenja radova. Dodatno, sanacijske mjere podrazumijevaju zamjenu tampona i asfalta u nestabilnom dijelu ceste i pješačke staze, te izradu drenažnog sustava. Uloga drenažnog sustava je sakupljanje i kontrolirano odvođenje procjedne vode koja s viših dijelova padine dotječe u zonu klizišta. 3D numeričkim modelom dokazana je stabilnost i funkcionalnost potporne konstrukcije sastavljene od šipova s naglavnom gredom. Za proračun je korištena metoda konačnih elemenata. Materijali tla su modelirani Mohr-Coulomb-ovim konstitucijskim zakonom ponašanja. Parametri čvrstoće i deformabilnosti materijala tla prikazani su u tablici 8. Proračunski model s mrežom konačnih elemenata prikazan je na slici 3.

Tablica 8. Geotehničke karakteristike tla i stijena, [3]

Parametri tla \ Materijal	Nasip od lomljenog kamena sa glinom	Pjeskovita glina	Laporovita glina/ Raslabljeni supstrat	Lapor/ Supstrat
Zapreminska težina [kN/m ³]	20	20	20	21
Kut unutarnjeg trenja [°]	33	22	30	30
Kohezija [kPa]	5	5	10	20
Ugao dilatacije [°]	3	0	0	0
E referentni [kPa]	20 000	10 000	15 000	35 000

Čerimagić, Đ., Kapor, M.

Utjecaj složenih inženjersko-geoloških i geotehničkih uvjeta na izbor kombiniranih mjera sanacije klizanja trupa prometnice



Slika 3. Analizirani model s mrežom konačnih elemenata

6. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazan je utjecaj složenih inženjersko-geoloških i geotehničkih uvjeta terena na odabir kombiniranih mjera sanacije klizanja trupa magistralne ceste M5. Za determinaciju inženjersko-geoloških i geotehničkih uvjeta predmetnog lokaliteta, izvedeno je ukupno 5 istražnih bušotina, dubine od 5,0 do 9,0 m uz 40 opita standardne penetracije i mjerenje razine podzemne vode, te je uzeto 12 uzoraka za laboratorijska geomehanička ispitivanja. Prostorne mogućnosti, nagib padine, komunalna infrastruktura i nemogućnost prekida odvijanja prometa ograničavaju uporabu teške mehanizacije. U osnovi, koncept rješenja se svodi na izradu potporne konstrukcije koju sačinjavaju šipovi promjera 600 mm, naglavna greda i AB platno. Podrazumijeva se zamjena tampona i asfalta u nestabilnom dijelu ceste i pješačke staze, te izvođenje drenaže. Projektirane sanacijske mjere osigurale su stabilnost i funkcionalnost prometnice.

LITERATURA

1. Osnovna geološka karta SFRJ, list Sarajevo 1:100000 sa tumačem. SGZ Beograd, 1981.
2. Terzaghi, K., Peck, R.B. (1967.): Soil mechanics in engineering practice, 2nd edn. Wiley, New York
3. Univerzitet u Sarajevu – Građevinski fakultet, Institut za geotehniku i geologiju, Elaborat o inženjersko-geološkim i geotehničkim karakteristikama terena za potrebe sanacije slijeganja trupa magistralne ceste M5, 2021.