

GEOTEHNIČKA ISTRAŽIVANJA I OPAŽANJA ZA POTREBE SANACIJE CESTOVNOG KLIZIŠTA

GEOTECHNICAL INVESTIGATIONS AND MONITORING FOR ROAD LANDSLIDE REMEDIATION

Stjepan Strelec¹, Kristijan Grabar², Željko Miklin³, Jasmin Jug^{1*}

¹ Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Hallerova aleja 7, 42000 Varaždin, HRVATSKA

² SPP d.o.o., Trstenjakova 3, 42000 Varaždin, HRVATSKA

³ Sveučilište u Zagrebu, Hrvatski geološki institut, Sachsova 2, 10000 Zagreb, HRVATSKA

*E-mail adresa osobe za kontakt / e-mail of corresponding author: jasmin.jug@gmail.com

Sažetak: U ovom radu prikazani su rezultati istraživanja složenog retrogresivnog klizišta na cesti LC37128 Bastajski Brđani - Veliki Miletinac, te je ponuđeno nekoliko mogućih rješenja sanacije klizišta. Kako bi se istraživanjem definirale klizne plohe i dobila što detaljnija slika terena provedeni su detaljni geotehnički istražni radovi: istražno bušenje, inženjerskogeološko kartiranje, geoelektrična tomografija, inklinometarska mjerenja te prethodno geodetsko snimanje terena. Izrađena je detaljna hidrogeološka karta mikrolokacije istraživanog područja, mjerenjem razina podzemnih voda u starim zapuštenim zdencima, istražnim bušotinama i kartiranjem postojećih izvora. Terenskim istražnim radovima dobiveni su podaci o vrsti i fizikalno-mehaničkim karakteristikama tla, rasporedu i debljini slojeva i hidrogeološkim uvjetima. Svi ti podaci, uz već navedeno IG kartiranje, omogućili su izradu inženjerskogeološkog modela padine, utvrđivanje uzroka i mehanizma klizanja te definiranje mogućih rješenja sanacije. Slučaj ovog istraživanja prikazuje kako postoji potreba za točnim propisivanjem skupa istraživačkih metoda koje treba provesti kod svakog istraživanja klizišta kako bi dobiveni podaci, a samim time i projekt sanacije bili što kvalitetniji.

Ključne riječi: geotehnički istražni radovi, hidrogeološka i inženjerskogeološka istraživanja, model tla, sanacija klizišta.

Abstract: The results of complex and retrogressive landslide investigation on the road LC37128 Bastajski Brđani - Veliki Miletinac are presented along with several possible solutions of landslide remediation. In order to define sliding surface and to obtain the detailed description of the investigated location, detailed geotechnical investigations were carried out: geomechanical core drilling, engineering-geological mapping, geoelectrical tomography, inclinometer measurements with previously geodetic survey of the field. A detailed hydrogeological map of the investigated area was developed, based on the measurement of groundwater levels in old abandoned wells, in the drilling boreholes and by mapping of existing water sources. The data on the type and physical-mechanical characteristics of the soil, layers distribution and thickness, hydrogeological conditions were obtained based on field investigations. All these data, along with the already mentioned EG mapping, enabled the establishment of engineering-geological model of the slope and slip mechanism, as well as the definition of possible remediation solutions. Presented investigation shows that there must be a precise program of investigation methods to be implemented at each investigated landslide in order to achieve a reliable data as well as remediation project.

Keywords: geotechnical investigations, hydrogeological and engineering-geological investigations, soil model, landslide remediation.

Received: 26.10.2015 / Accepted: 02.12.2015

Published online: 14.12.2015

Stručni rad / Technical paper

1. UVOD

Područje istraživanja nalazi se na LC 37128 u mjestu Bastajski Brđani, na dijelu brda okrenutom prema sjeveroistoku. Na istoj lokaciji već je 2007. godine vršeno istraživanje terena (GeoKol 2006) i sanacija ceste. Tada je sanacija uključivala izvedbu armiranog tla primjenom geosintetika uz postizanje dreniranih uvjeta sustavom drenažnih kanala i rovova na način da se podzemna voda snizi ispod potencijalne klizne plohe i odvede izvan potencijalno nestabilne zone na terenu (Via Plan 2006).

Sredinom 2013. godine došlo je do klizanja izvedene sanacije i kolnika, što dovodi do zaključka da

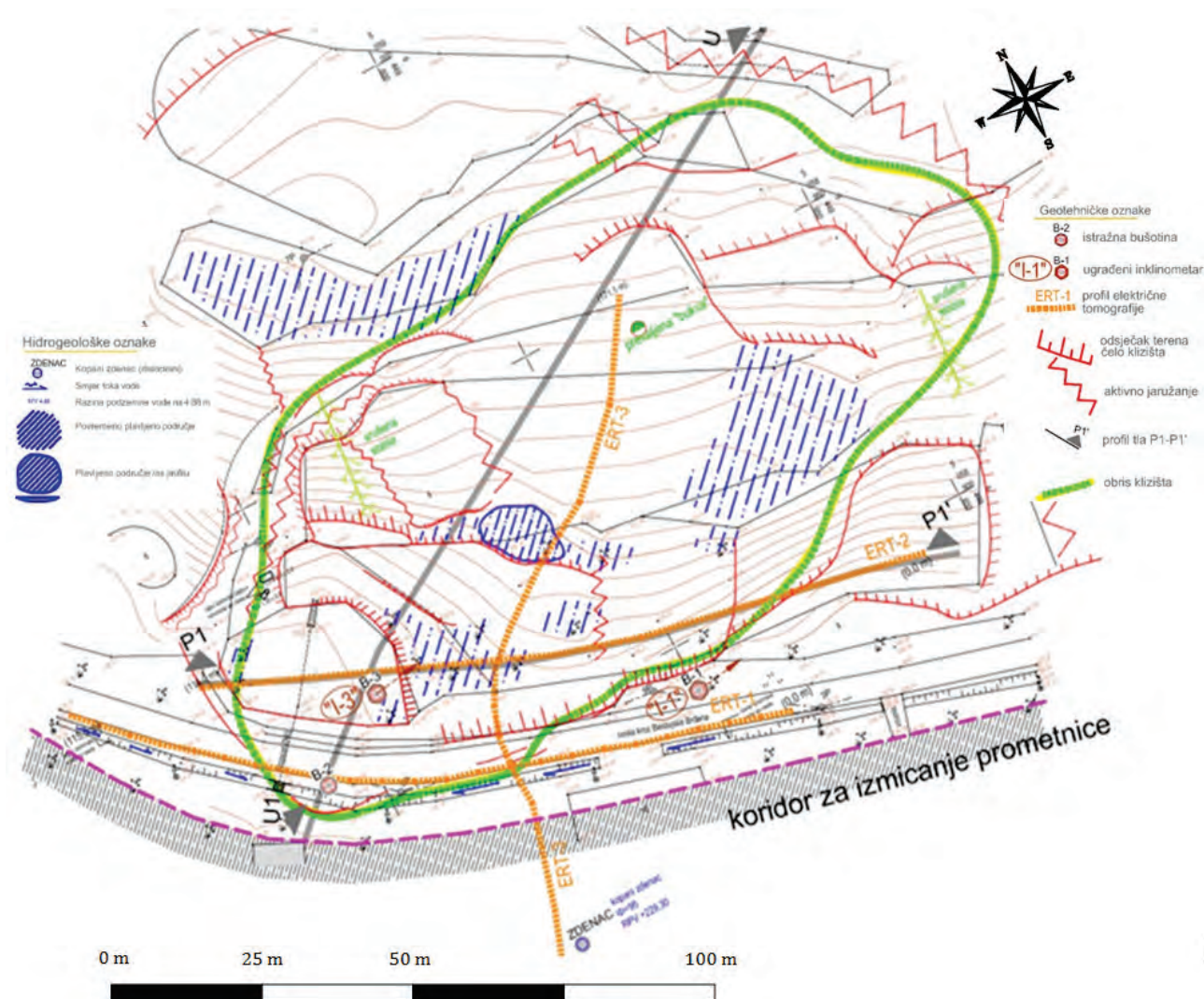
je izvedena sanacija bila neuspješna. Izlaskom na teren i pregledom istražne lokacije, uočeni su svi elementi klizišta: vlačne pukotine, izdizanje tla, naguravanje materijala, odroni. Cesta Bastajski Brđani – Veliki Miletinac bila je dijelom uništena i prijetilo je zatvaranje prometa u slučaju da se nastavi klizanje padine. Zato je bila potrebna ponovna sanacija kolnika, a za istu je bilo neophodno izvršiti detaljna istraživanja koja bi definirala kliznu plohu i inženjerskogeološki model padine (Gonzalez de Vallejo & Ferrer 2011).

Mikrolokacije i istražni profili prikazani su na situacijskom planu, na slici 1.

2. KARAKTERIZACIJA KLIZIŠTA

Aktivno klizište s dubokom kliznom plohom. Dimenzije: približna širina mase u pokretu $W_d = 60$ m, dužina mase u pokretu $L_d = 130$ m. Slobodna voda prisutna je u tijelu klizišta. Tip klizanja je složen, a razvoj klizišta retrogresivan (delapsivan). Osnovom prisutnog raslinja radi se o starom klizištu s recentnom promjenom u dinamici. Od deformacija podudarnih sa smjerom klizanja vidljive su: tangencijalne pukotine, radijalne u stopi, ispučenje u tijelu klizišta, najahavanje u stopi, vlačne pukotine, te pukotine sa skokom. Sekundarna klizanja formirana su vododerinama i jarugama na samom tijelu klizišta, gdje dolazi do mikrodrona kojima su formirane retencije površinskih voda, a iste dodatno kvase koluvij.

Klizanjem je devastiran sustav odvodnje, te je kao takav dodatni okidač regresivnosti klizišta. Sustav odvodnje izgrađen u fazi sanacije 2007. god., prikupljene vode ispušta na površinu koluvija (koji u tadašnjoj fazi nije prepoznat), dodatno narušavajući pokrenutu masu tla. Tada primijenjeno sanacijsko rješenje nije bilo adekvatno. Temeljem polazišta iz nalaza geotehničkih istraživanja u kojem je pogrešno prepoznata klizna ploha problem nije sagledan u potrebnom obimu. Problematika je rješavana samo na prostoru prometnice, iako je nestabilnost bila dio mnogo šireg klizišta. Prema primijenjenom rješenju, dreniranje nasipa od armiranog tla, te vode prikupljene odvodnim jarkom, dodatno su koncentrirane i ispuštane na klizno tijelo, što je pridonijelo širenju klizišta i reaktiviranju primirenog dijela.



Slika 1. Tlocrtna situacija zatečenog stanja sa ucrtanim geotehničkim i hidrogeološkim oznakama

3. OBIM I REZULTATI ISTRAŽNIH RADOVA

Terenski istražni radovi bitni su za utvrđivanje vrste tla, njenih fizičkih i mehaničkih karakteristika, rasporeda i debljine slojeva, utvrđivanja podataka o podzemnoj vodi. Preduvjet za kvalitetno izvođenje istražnih radova

je geodetska snimka terena. Ovom se snimkom dobiva podloga za izradu inženjerskogeološke karte i formiranje presjeka (uzdužni i poprečni).

Kod geodetske snimke bitno je da se detaljno registriraju pojave naglih skokova i zaravnjenja na terenu, pukotine, pojave izvora i blatnih tokova.

3.1. Geologija šireg područja istraživanja

Za rješavanje inženjerskogeoloških struktura potrebno je poznavanje geološke građe i događanja koja su se događala tijekom geološke prošlosti (Galović et al. 1981).

Nakon izdizanja Bilogore formirale su se manje značajne strukture (Virovitica) gdje ostaju manja jezera, a na kopnu se stvara hidrografska mreža, formiraju se rijeke (Drava) i potoci, koji pronose različiti gruboklastični materijal (šljunci, pijesci, siltovi). Gruboklastični materijali danas su leće koje su za vrijeme glacijala i interglacijala erodirane. Glacijali i interglacijali diktiraju intenzitet sedimentacije, izdizanjem cijelog područja dolazi do regresije i stvaraju se dravske terase. U pleistocenu cijelo područje prekriva prapor. Na padinama se taloži kontinentalni prapor, a u vodenim sredinama taloži se barski prapor.

Ovakvo događanje u prošlosti upravo je definiralo naslage koje izgrađuju padinu u Bastajskim Brđanima. Osnovne naslage su prašinate gline, prapor. IG istraživanjem uočena je ritmička izmjena krupnijih sedimenata i prapora. Šljunci i pijesci lateralno isklinjavaju te su ograničenog prostiranja. Ta vertikalna i horizontalna raznolikost razlog je nastajanja klizišta i nestabilnih padina.

3.2. Hidrogeološka istraživanja

Poznato je da bez vode nema klizanja, iz toga razloga izrađena je hidrogeološka karta područja klizišta. Pojava vode na terenu (izvori) te razine podzemne vode u lokalnim zdencima u mnogome mogu pomoći pri izradi modela klizišta. Karta je načinjena na temelju jednokratnog mjerenja razina podzemne vode u postojećim zdencima.

Pokrovne naslage hidrogeološki su nepropusne do polupropusne, stoga su na terenu vidljivi ostaci jaružanja koje je načinila voda tečenjem po površini. Dio vode prodre do šljunčanog horizonta koji je raspoređen po cijelom terenu i taj horizont prihranjuje lokalne zdence. Horizont je ograničenog rasprostiranja i izdašnosti, ali ti

zdenci zadovoljavaju jedno gospodarstvo pitkom vodom. Obzirom da pokrovne naslage nisu sasvim nepropusne ranjivost vodonosnika je velika, stoga se i kvaliteta podzemne vode može lako ugroziti.

Na hidrogeološkoj karti (slika 2) izdvojene su lokalne razvodnice, koje samo djelomično (kod niskih voda) odvajaju slivove. Kod visokih voda slivovi se ponašaju kao jedan i prelijevaju se iz jednog u drugi. Upravo se to prelijevanje, zapravo podzemna bifurkacija događa u zoni klizišta Bastajski Brđani.

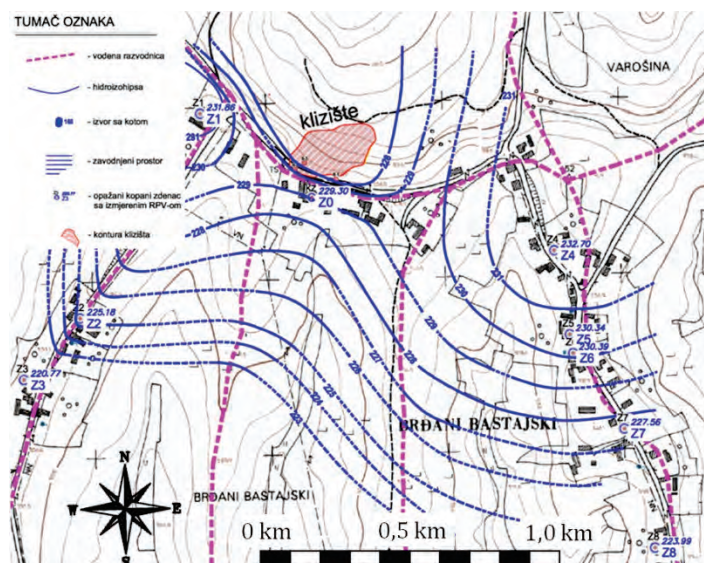
Razvodnica koja prolazi nekako po sredini ceste odvaja podzemne vode na sjever i na jug. U vrijeme suša distribucija vode je na jednu i drugu stranu podjednaka. Za vrijeme velikih kiša dolazi do porasta razine podzemne vode. Kada razina vode u kopanom zdencu (na karti KZ, "Z0") dosegne kotu 230 m n.m (-5,22) tada se „višak“ vode prelijeva na sjever prema klizištu. U aktiviranju klizišta ovo je ključni moment, velika količina vode jurne prema sjeveru jer su i padine strmije, a voda pronalazi prostor gdje može otjecati.

3.3. Istražno bušenje

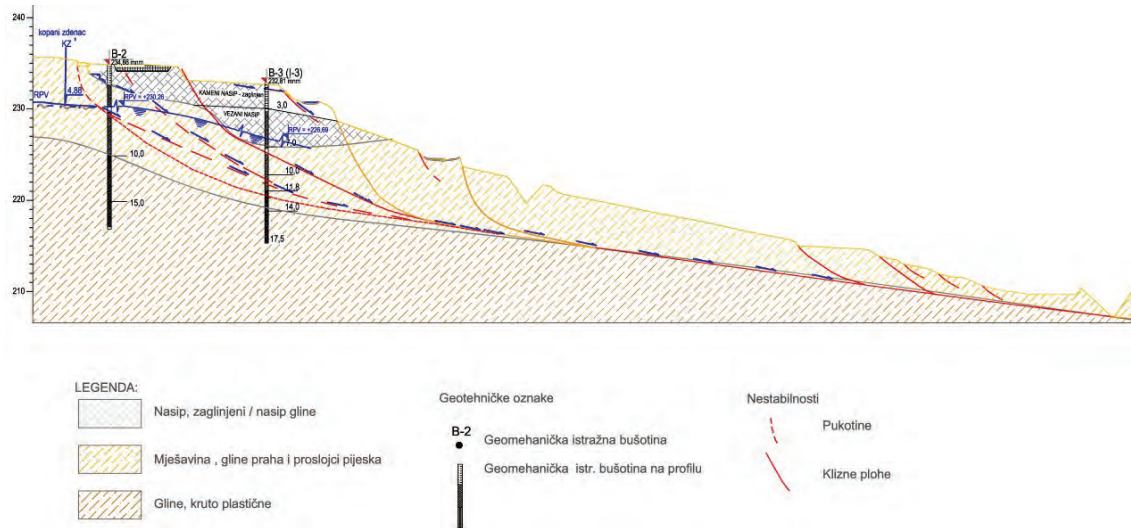
Kako bi se dobila što detaljnija slika terena izbušene su tri istražne geotehničke bušotine. Prilikom bušenja bušotina proveden je statički penetracijski pokus, a iz jezgrene cijevi uzeti su reprezentativni uzorci za ispitivanje u laboratoriju.

Ispitivanjima su utvrđene tri vrste vezanog sedimenta, i to: prašinate gline (CL-ML) indeksa plastičnosti 15 – 21 %, gline niske plastičnosti (CL) indeksa plastičnosti 21 – 30 %, te proslojci glina visoke plastičnosti (CH) indeksa plastičnosti 31 do 37 %. Utvrđeni minimalni parametri posmične čvrstoće glina iznose: kut unutrašnjeg trenja $\varphi = 22$ do 24° , kohezija $c = 5$ do 9 kN/m². Nakon što su izbušene, dvije bušotine (B-1 i B-3) opremljene su opremom za inklinometarska mjerenja.

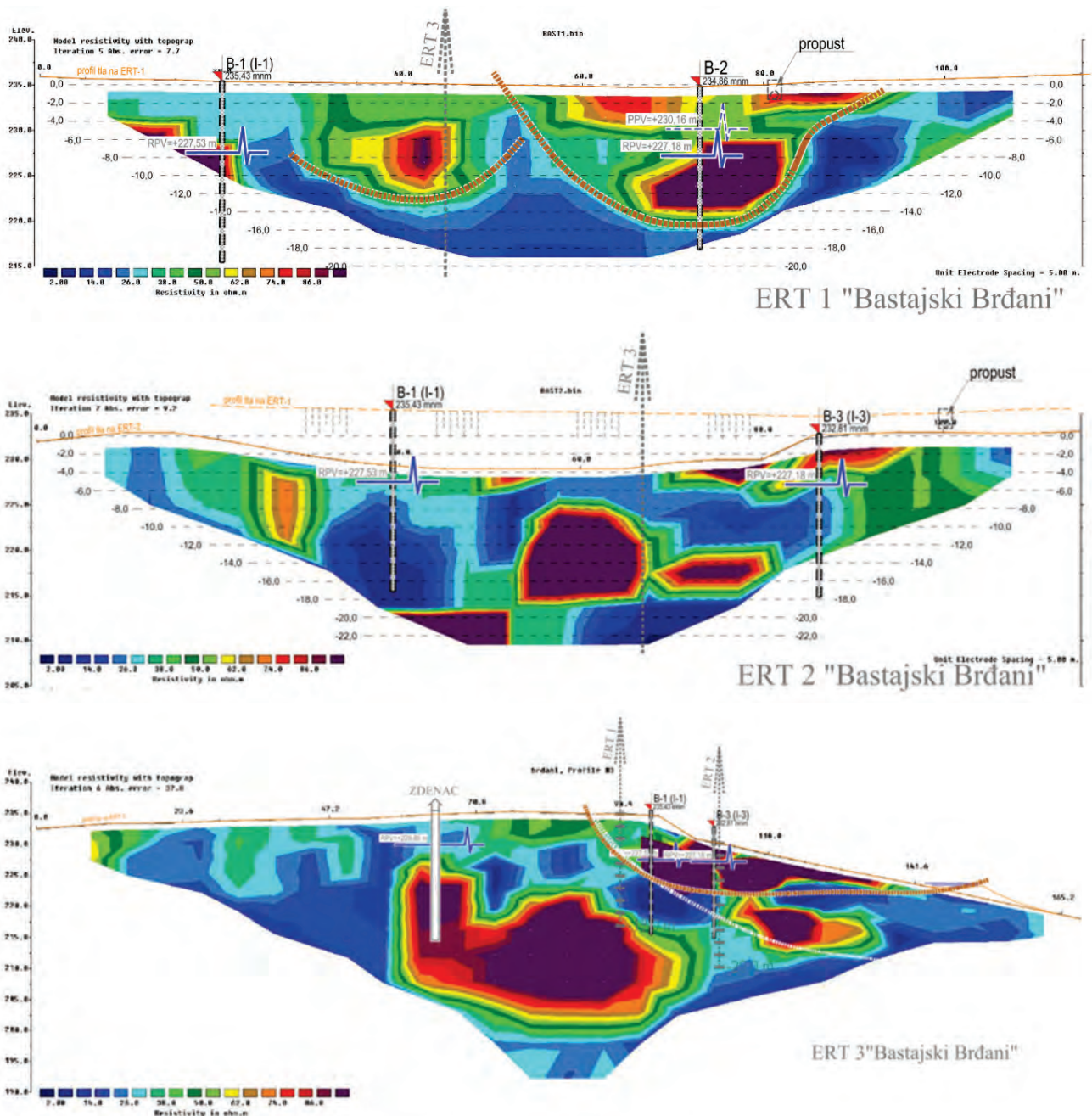
Podaci dobiveni istražnim bušenjem, uz inženjerskogeološka i hidrogeološka istraživanja, omogućili su izradu uzdužnog inženjerskogeološkog profila prikazanog na slici 3.



Slika 2. Hidrogeološka karta istraživanog područja



Slika 3. Uzdužni inženjerskogeološki profil U1-U, označen na slici 1



Slika 4. Geofizički presjeci snimljeni metodom geoelektrične tomografije

3.4. Geoelektrična istraživanja

Na tri geofizička profila izvedena su ispitivanja metodom geoelektrične tomografije. Pri tom je primijenjen Wennerov mjerni raspored koji za svako mjerenje koristi dvije strujne elektrode i dvije potencijalne. Mjeri se jakost struje između strujnih elektroda pa se iz razlike potencijala između potencijalnih elektroda, pomoću konstante geometrijskih odnosa elektroda, određuje prividna otpornost. Interpretacijom se određuju debljine i specifični električni otpor pojedinih geoelektričnih sredina.

Interpretirani rezultati daju grafički prikaz profila otpornosti s dubinom. Profili dati na slici 4 prikazuju zone različitih otpornosti. Tako su na profilu ERT-1 vidljive dvije geološke formacije ili zone sa većim otpornostima, a okružene su formacijama manje otpornosti. Kontakti između zona veće i manje otpornosti označeni su smeđom isprekidanom linijom, a interpretiraju se kao zone klizanja. Isto je prikazano i na desnoj strani uzdužnog profila ERT-3. Poprečni profil ERT-2 izveden je preko tijela klizišta i prikazuje složenu geološku građu koja je rezultat svih promjena do kojih je došlo tijekom predmetnog geodinamičkog procesa.

Trapezasti oblik grafičkog prikaza, gdje se sa udaljenošću od središta profila smanjuje dubina interpretacije, razlog je u postepenom smanjivanju prikupljenih podataka kako se razmak strujnih i potencijalnih elektroda povećava.

Na temelju iskustvenih podataka autora, a za slične geoelektrične sredine, uz podatke iz literature o specifičnom električnom otporu nekih materijala, interpretirane su geološke sredine u geoelektričnim profilima (tablica 1).

Tablica 1. Kategorije tla prema električnim otpornostima

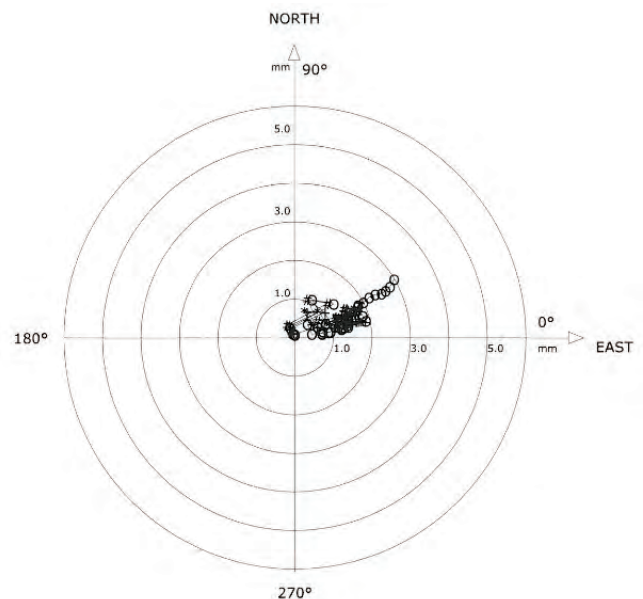
ELEKTRIČNA OTPORNOST	KLASIFIKACIJA TLA
< 20 Ω m	gline
20 - 80 Ω m	prašinsto-pjeskovite gline
80 - 150 Ω m	sediment s povećanom saturacijom

3.5. Inklinometarska mjerenja

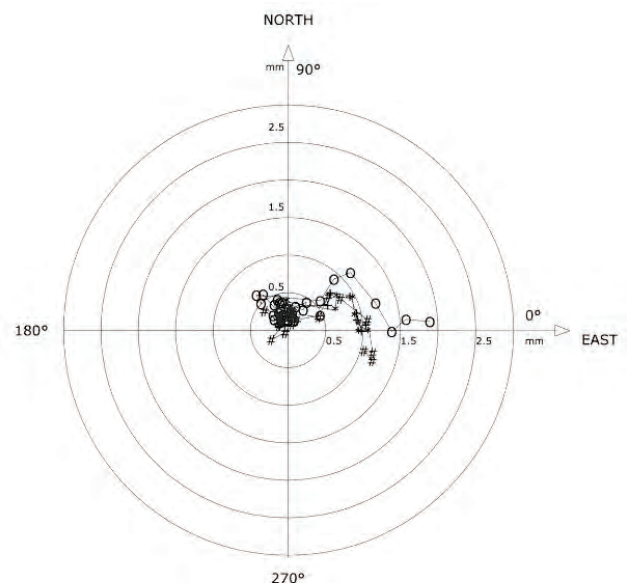
Kako bi se pokušali detektirati horizontalni pomaci između litoloških članova, vršena su opažanja dva inklinometra (Sisgeo 2003) oznaka I-1 i I-3, čije su konstrukcije ugrađene u bušotine B-1 i B-3. Opažanja su vršena tjedno, ali u vrlo kratkom vremenskom periodu (od 09.08.2013. do 07.09.2013. god.), pa su izmjereni pomaci bili malih iznosa. Ukupni kumulativni pomak inklinometra I-1 iznosio je 3,0 mm (slika 5), a I-3 svega 1,8 mm (slika 6). Pošto je LC 37128 jedini prometni pravac koji spaja Bastajске Brđane i Veliki Miletinac, a nastavkom klizanja došlo bi do zatvaranja prometa, trebalo je hitno krenuti u sanaciju klizišta. Zato je sva istraživanja trebala provesti u vrlo kratkom vremenskom periodu, pa tako i mjerenja u inklinometrima.

Osim kratkog perioda opažanja, iznosi pomaka su mali i zbog opažanja u vrlo sušnom razdoblju godine, kad se klizište smirilo i bilježen je pad razine podzemne vode (vidi sliku 7). No, unatoč spomenutim nepovoljnim karakteristikama za provođenje inklinometarskih opažanja na slikama 5 i 6 vidljivo je kako su indicirani pomaci malih iznosa usmjereni prema sjeveroistoku, što je sukladno sa smjerom utvrđene dinamike gibanja kliznog tijela,

Uz analizu kumulativnih pomaka, vrlo korisna bila je i analiza inkrementalnih pomaka jer se njome lako detektiraju klizne plohe na pozicijama najvećih pomaka. Tako je na lijevoj strani slike 8 vidljivo da je najveći pomak kod I-1 zabilježen na dubini od 17 metara, a na desnoj strani slike za I-3 isto je vidljivo na dubini od 7 m.



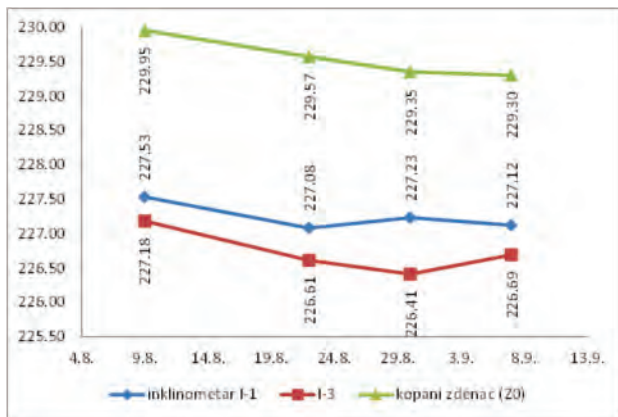
Slika 5. Polarni prikaz ukupnog kumulativnog pomaka inklinometra I-1



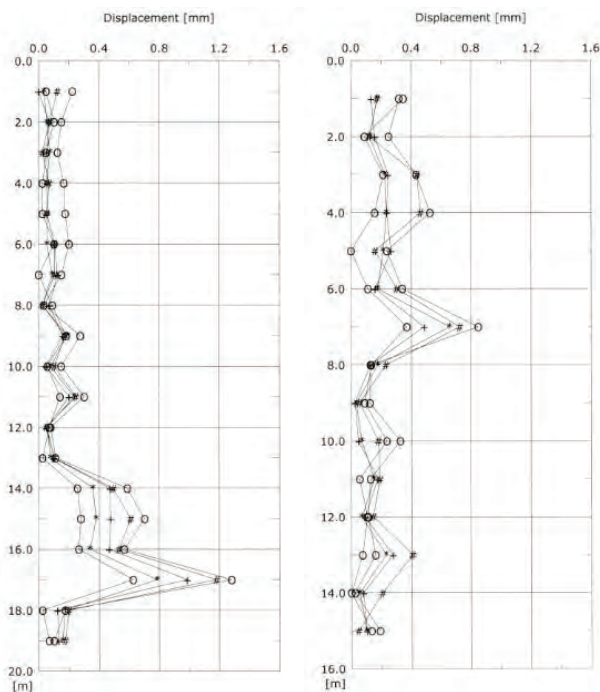
Slika 6. Polarni prikaz ukupnog kumulativnog pomaka inklinometra I-3

4. UZROCI I MEHANIZAM KLIZANJA

Istraživanjem se utvrdilo da je padina izgrađena od više, prema mehaničko-fizičkim karakteristikama, različitih slojeva tla. Klizanje se odvija u glinovito-prašinstim materijalima u kojima su mjestimice prisutni proslojci koji u svojem sastavu imaju povećanu količinu pijeska i šljunka. Takvi proslojci omogućavaju brže i lakše procjeđivanje vode. Nailaskom iste na nepropusnije glinovite slojeve nastavlja se procjeđivanje po tom kontaktu. Ukoliko su u tlu prisutni takvi uvjeti da procijeđena voda nema mogućnost brze evakuacije iz padine, ona se počne nakupljati u tlu, te se povećavaju porni pritisci. Konačno, kombinacija povećanih pornih pritisaka i prirodno loših mehaničkih karakteristika tla dovela je do pojave nestabilnosti.



Slika 7. Padajući trend razina podzemne vode na opažanim bušotinama i zdencima za period provedenih inklinometarskih mjerenja



Slika 8. Prikaz inkrementalnih pomaka po dubini, lijevo za inklinometar I-1, a desno za I-3

No, pojave klizanja uvijek su praćene i ljudskim aktivnostima. Tako je i ovom slučaju. Preko padine prelazi cesta. To znači da je dio ceste izgrađen na materijalu koji je nasut na padinu. Uzimajući u obzir sve prethodno navedeno i dodajući tome prometno opterećenje (statičko i dinamičko) nije iznenađujuće što je došlo do otvaranja klizišta. Prilikom izvedbe sanacije u prvom pokušaju (2007. god.) lošom izvedbom kanala za prikupljanje vode s obje strane ceste dobiveno je samo dodatno saturiranje padine vodom, što je dovelo do ponovnog aktiviranja klizišta. Ovako su napravljeni kanali drenirali prikupljenu vodu sa prometnice i koncentrirano je ispuštali po padini. Tako prikupljena voda, zbog uzdužnog pada ceste prema točki infleksije koja je na samom čelu klizišta, potencirala je nestabilnost i novo odlamanje materijala.

Prvo je došlo do klizanja kojemu je čelo bilo izvan ceste, a nožica po prilici na dvije trećine tadašnjeg kliznog tijela, mjereći od ceste. Ovo je klizanje imalo za rezultat nagomilavanje materijala u nožici. Klizanje nije odmah bilo onakvo kakvo je registrirano kod provedbe istražnih radova zbog toga jer je voda koja se nalazila u padini zbog geološke građe izlazila na površinu u prije spomenutoj nožici. Ta se voda zatim slijevala dalje nizbrdo po terenu, gdje je započela dodatna saturacija. Opterećivanjem tla kliznutim materijalom i saturacijom tla vodom došlo je do otvaranja novog klizanja ispod postojećeg. Pojavom novog klizanja pokrenuta masa ispod ceste gubi oslonac u nožici, a to dovodi do širenja klizišta. Ovo se širenje očituje proširenjem čela klizišta na veći dio kolnika, a dijelom čak prelazi cestu na drugu, južnu stranu. Dva klizna tijela spajaju se u jednu cjelinu, koja je registrirana za vrijeme ovih istražnih radova (vidljivo na uzdužnom IG profilu, slika 3).

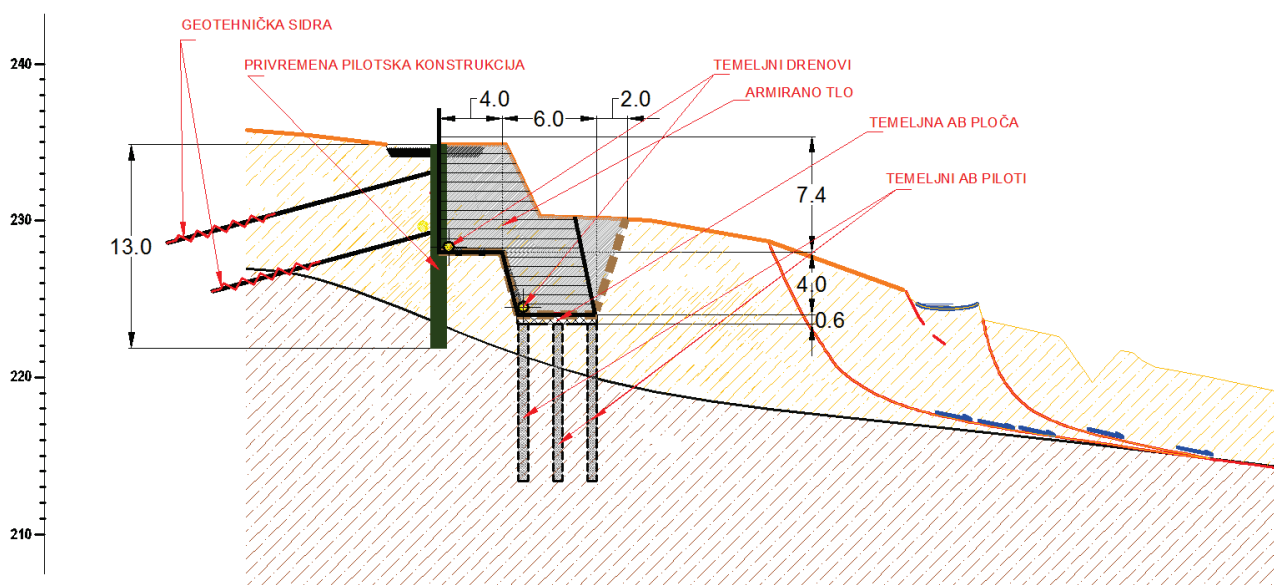
5. PRIMJENJIVO TEHNIČKO RJEŠENJE SANACIJE KLIZIŠTA

Prilikom odabira primjenjivog rješenja trebalo je ispuniti uvjet da se po završetku sanacije cesta vrati na poziciju koju je imala prije pojave svih nestabilnosti. Zbog toga, a i zbog okolnosti da tijekom sanacije jedan prometni trak mora biti u funkciji jer je ta cesta jedini prometni pravac koji vodi do Velikog Miletinca, potpornu konstrukciju trebalo je pozicionirati niže niz padinu. Takvom pozicijom otvara se problem zaštite građevne jame u kojoj će se izvoditi potporna konstrukcija. Ovaj problem može se riješiti izvedbom privremene pilotske sidrene konstrukcije po rubu ceste.

To uključuje tehničko rješenje sanacije prikazano na slici 9. Ono predlaže izvedbu zaštite građevne jame na dionici ceste koja će se sanirati, i to pomoću privremene pilotske konstrukcije koju je potrebno učvrstiti s dva reda geotehničkih sidara. Nakon izvedbe zaštite, treba izvesti iskop tla i tako formirati dvije etaže, kao što je prikazano na slici 9. Sa etažne ravnine na donjoj etaži treba izvesti AB temeljne pilote u tri reda, s razmakom od 2,0 m između redova. Temeljni piloti moraju biti dužine minimalno 10,0 m kako bi dosegli zonu čvršćeg tla i promjera 0,6 m kako bi zadovoljili uvjete nosivosti. Kako bi se vrhovi temeljnih pilota povezali, na donjoj etažnoj ravni-

ni treba izvesti temeljnu AB ploču debljine cca 0,6 m. Osim što će povezivati temeljne pilote, AB ploča biti će i podloga za izvedbu zemljane konstrukcije armirane geomrežama, u slojevima od po 0,6 m. Armirano tlo treba izvesti na obje etaže formirane iskopom prirodnog tla. Sanacija preostalog dijela padine neće se vršiti jer ne ugrožava nikoga nizvodno i biti će prepušteno prirodnom formiranju reljefa. Potrebno je onemogućiti zadržavanje

oborinske vode na saniranom dijelu padine i to sakupljanjem iste pomoću površinskih odvodnih kanala, te je ispustiti na adekvatan način u okoliš. Plitkim drenovima treba presjeći mogućnost procjeđivanja po posteljici kolničke konstrukcije iz razloga što se nestabilnost nalazi na najnižoj točki. Duboko dreniranje padine izvodi se u sklopu sanacijskog rješenja prometnice, na način da se projektira ugradnja temeljnih drenova (vidi sliku 9).



Slika 9. Skica poprečnog presjeka tehničkog rješenja sanacije klizišta

6. ZAKLJUČAK

Istraživanjem se utvrdilo da je građa padine složena, a klizanje se odvija u glinovito-prašinstim materijalima u kojima su mjestimice prisutni proslojci s povećanim postotkom pijeska i šljunka.

Utvrđena geološka građa terena, fizičko-mehanički parametri slojeva tla u kombinaciji s hidrološkim uvjetima u tlu i ljudskim aktivnostima osnovni su uzroci pokretanja klizišta.

Prijedlog sanacije predmetnog klizišta temelji se na zamjeni tla, za što je potrebno izvesti duboki zasjek koji se od zarušavanja štiti privremenom potpornom sidrenom konstrukcijom. Prirodni materijal loših fizičko-mehaničkih svojstava treba zamijeniti armiranim tlom koje će se formirati na AB ploči temeljenoj na AB pilotima. Problem oborinske vode može se adekvatno riješiti površinskom odvodnjom kanalima, a procjedne vode plitkim i dubokim (temeljnim) drenovima.

Na temelju primjera iz ovog rada može se zaključiti kako primjena skupa istraživačkih metoda kod provedbe istraživanja nudi provjerene i pouzdane ulazne podatke koji olakšavaju projektiranje i omogućuju dobivanje vrlo kvalitetnih projektnih rješenja.

7. LITERATURA

- GeoKol d.o.o. (2006): Geotehnički izvještaj GI-K1608/06-1, Varaždin
- Gonzalez de Vallejo, L., Ferrer, M. (2011): Geological Engineering, 700 pages, CRC Press, Taylor and Francis Group, London, England
- Galović, I., Marković, S., Magdalenić, Z. (1981): ODK i tumač ODK: L 33-83 Virovitica, 42 str., Institut za geološka istraživanja Zagreb, Savezni geološki zavod u Beogradu
- Sisgeo Instruction Manual (2003): INCLI2 version 3.0, 33 pages FIELD S.r.l., Lallio (BG), Italy
- Strelec, S., Miklin, Ž., Grabar, K., Filipović, A. (2013): Geotehnički elaborat za potrebe sanacije klizišta na LC37128 u mjestu Bastajski Brđani, 60 str., 8 priloga, 8 slika, 2 tablice. SPP d.o.o., Trstenjakova 3, Varaždin.
- Via Plan d.o.o. (2006): Projekt sanacije klizišta, T.D. 116-06-KNJIGA I, Varaždin