

KLIZIŠTE NA LOKACIJI DUBOKA DOLINA U SELU BUNUŠEVAC, OPŠTINA VRANJE – PREDLOG I VERIFIKACIJA SANACIONIH MERA

UDK : 625.122(497.11)

Zoran Bonić¹, Elefterija Zlatanović², Nebojša Davidović³, Nemanja Marinković⁴,
Nikola Romić⁵, Branimir Stanković⁶

Rezime: U fokusu ovog rada je klizište na lokaciji Duboka dolina u selu Bunuševac, opština Vranje, kojim je zahvaćen deo naselja i okolni nenaseljeni teren na površini od oko tri hektara. U radu je dat opis uzroka i procesa nastanka klizišta, kao i projektovane mere sanacije. Trenutno stanje terena zahvaćenog procesima kličjenja zahteva preduzimanje kako hitnih, tako i dugoročnih mera sanacije. Na osnovu raspoloživih katastarsko-topografskih podataka i geotehničkog elaborata, predložena je sanacija klizišta ugradnjom horizontalnih drenova, čime bi se u značajnoj meri smanjio nivo podzemnih voda u širem području klizišta, i modifikacijom geometrije kosine nasipanjem zemljanog materijala u donjem delu kosine, što bi doprinelo povećanju sile otpora koja se suprotstavlja kličjenju. Sa ciljem verifikacije predloženih mera sanacije sprovedene su računске analize stabilnosti kosina primenom softvera Geostructural Analysis (Slope Stability). Na osnovu rezultata sprovedenih analiza stabilnosti kosine, zaključeno je da projektovane mere stabilizacije kosine, pod uslovom da se izvedu kako je planirano, obezbeđuju stabilnost kosine.

Ključne reči: klizište, mere sanacije, modifikacija geometrije kosine, horizontalni drenovi, računске analize, verifikacija mera

Abstract: In the focus of this paper is the landslide at the location of Duboka dolina in the village of Bunuševac, municipality of Vranje, which affected a part of the settlement and the surrounding uninhabited terrain on an area of about three hectares. The paper describes the causes and processes of the landslide occurrence, as well as the proposed remediation measures. The current state of the terrain affected by landslide processes requires the undertaking of both urgent and long-term remediation measures. Based on the available cadastral-topographic data and geotechnical study, a landslide remediation is proposed by installing horizontal drains, which would significantly reduce the groundwater level in the wider landslide area, as well as by modification of the slope geometry with earth filling in the lower part of the slope, which would increase a force of resistance that opposes sliding. To verify the designed remediation measures, computational analyses of slope stability were carried out utilising the software Geostructural Analysis (Slope Stability). Based on the results of the performed slope stability analyses, it was concluded that the designed slope stabilisation measures, provided that they are executed as planned, ensure the stability of the slope.

Keywords: landslide, remediation measures, slope geometry modification, horizontal drains, computational analyses, verification of measures

¹ vanredni profesor Građevinsko - arhitektonskog fakulteta u Nišu Univerziteta u Nišu

² docent Građevinsko - arhitektonskog fakulteta u Nišu Univerziteta u Nišu

³ docent Građevinsko - arhitektonskog fakulteta u Nišu Univerziteta u Nišu u penziji

⁴ istraživač pripravnik, Građevinsko - arhitektonski fakultet u Nišu Univerziteta u Nišu

⁵ asistent, Građevinsko - arhitektonski fakultet u Nišu Univerziteta u Nišu

⁶ dipl. inž. građ., Građevinsko - arhitektonski fakultet u Nišu Univerziteta u Nišu

1 UVOD

Na lokaciji dela naselja Duboka dolina u selu Bunuševac, pored Vranja, došlo je do značajnih pomeranja zemljane mase i oštećenja stambenih objekata koji su tu izgrađeni. Radi se o poznatom i starom klizištu koje je bilo posebno aktivno tokom 2018. i 2019. godine. Klizištem je zahvaćen deo naselja kako je to prikazano satelitskim snimkom na Slici 1. Teren je jednim delom pod strmim nagibom. Teren je jednim delom pod strmim nagibom prema potoku i nepristupačan pod gustom vegetacijom, dok je drugim delom sa manjim nagibom i koristi se za poljoprivrednu proizvodnju. Ukupna površina terena zahvaćenog klizištem procenjena je na oko 3 hektara. Trenutno stanje terena zahvaćenog klizištem i stepen oštećenja objekata nameću potrebu da se projektuju i izvedu odgovarajuće mere sanacije.

2 GEOTEHNIČKO ISTRAŽIVANJE TERENA I ANALIZA UZROKA NASTANKA KLIZIŠTA

U cilju dobijanja potrebnih podloga za izradu projekta sanacije navedenog klizišta, uprava grada

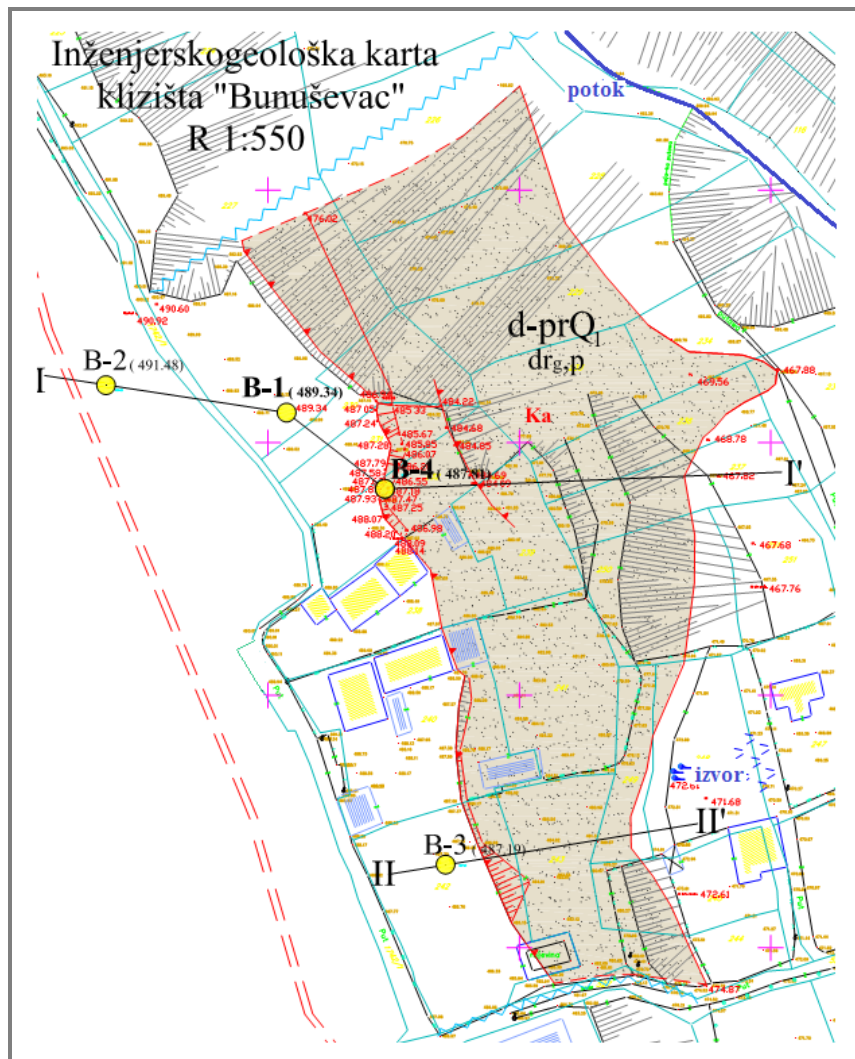
Vranja je naručila geotehnička istraživanja, koja su izvedena septembra 2019. godine, a na osnovu kojih je sačinjen Elaborat pod nazivom „Geotehničke podloge za potrebe izrade idejnog projekta sanacije klizišta u zoni gradskog naselja Duboka dolina u Bunuševcu - Vranje“ [1]. Elaborat je urađen od strane Društva za geološka istraživanja i inženjering „Geoinženjering d.o.o.“ iz Niša.

Ispitivana lokacija predmetnog klizišta sa izvedenim istražnim bušotinama, definisana je sa ciljem određivanja morfoloških i litoloških karakteristika terena, površine i dubine klizanja, kao i utvrđivanja uzroka koji su doveli do pojave klizišta, a time i načina za sanaciju klizišta. Uočeno je da postoji pomeranje masa tla u pravcu nagiba padine – sa čeonim ožiljkom klizišta koje se nalazi na velikom prostoru i koje zahvata nekoliko kuća. Klizište je nepravilnog oblika sa nožicom koja je teško uočljiva, široka i u pojedinim delovima dopire skoro do potoka (Slika 2).

Nastanak klizišta zavisi od velikog broja činilaca, a pre svega od litološkog sastava terena, nagiba, orijentacije, položaja i dužine potencijalne površine klizanja, kao i položaja i režima podzemne vode u pokrenutom terenu, te je stoga posebna pažnja posvećena njihovom utvrđivanju.



Slika 1 - Deo naselja Duboka dolina u Bunuševcu zahvaćen klizištem



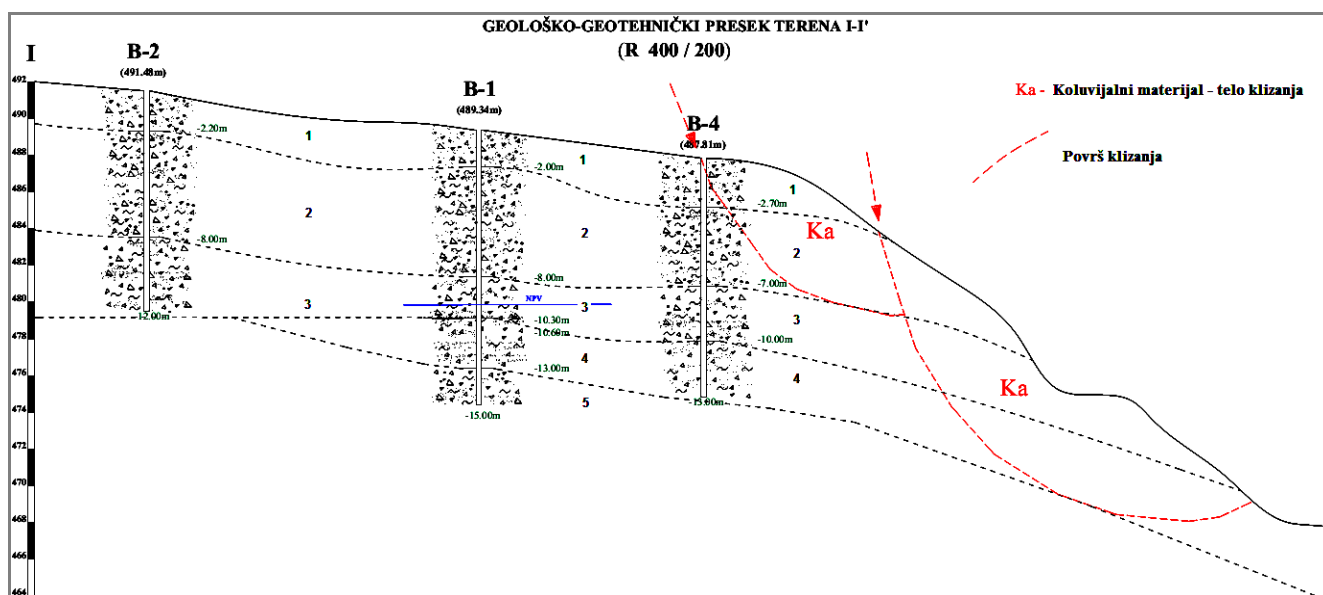
Slika 2 - Inženjersko - geološka karta klizišta sa rasporedom istražnih bušotina

Istražnim bušenjem terena do dubine 10 do 15 m i analizom predhodnih istražnih radova, utvrđene su litološke karakteristike tla u okviru ispitivanja predmetne lokacije. Izdvojeni litološki članovi (Slika 3) su:

- (1) Drobina, sitnozrna, veličine peska i prašina, sa retkim komadima do 4 cm (prema USCS klasifikaciji - *CL*);
- (2) Drobina, sitna, sa laminama sivih prašinstih glina i peskova (prema USCS klasifikaciji - *CL, CH*);
- (3) Drobina, sa proslojcima peska, sitnozrna, slabo zaglinjena (prema USCS klasifikaciji - *CL*);
- (4) Drobina, sitnozrna, sa laminama sivo - plavih prašina, suva, zbijena, veličine peska do sitnog šljunka (prema USCS klasifikaciji - *CL*);

- (5) Drobina, različito zaglinjena, sa nagomilanjima karbonata, zbijena, suva (prema USCS klasifikaciji - *CH*).

Generalno, geneza tla je jasna, dok je materijal nejasnih granica, sličan po sastavu i po fizičko - mehaničkim karakteristikama. Analizom fizičko - mehaničkih parametara tla određena je klizna površ koja je formirana u različitim litološkim sredinama, sa najvećom dubinom klizanja od oko 6,50 m (Slika 3). Prva, starija klizna površ, je verovatno na granici sloja (5) – drobina, dok je druga, mlađa klizna površ na kontaktu sloja (2) i (3). Definisanu kliznu površ i koluvijalni materijal aktivnog klizišta treba uzeti uslovno iz razloga veoma nejasne slike dobijene kartiranjem istražnih bušotina i uvidom u nabušene slojeve tla koji su veoma sličnih karakteristika.



Slika 3 - Geološko - geotehnički presek terena I – I'

Pri utvrđivanju uzroka koji su doveli do pojave klizišta naročito je vođeno računa o registrovanju nivoa podzemne vode u izvedenim bušotinama i postojećim bunarima u neposrednoj okolini klizišta. U bunaru neposredno u blizini bušotine B-1, u bušotini B-3 i bunaru između njih, registrovan je nivo podzemne vode na dubini od 3,0 m. Takođe, registrovano je zabarivanje (izvor) u nožici klizišta. Ovo su činjenice koje su bitno uticale na donošenje suda o nivou podzemnih voda u telu klizišta, uzroku nastanka klizišta, kao i na izbor mera sanacije klizišta.

Na osnovu svega iznetog u Elaboratu, može se reći da se radi o aktivnom, višefaznom, relativno starom klizištu uzrokovanim predisponirajućim karakteristikama lokacije – pre svega nagibom terena i geološkom građom sa narušenim prirodnim stanjem tla dejstvom čoveka. Konačno, na osnovu osmatranja terena, analize njegovog geološkog sastava i merenja i osmatranja nivoa podzemne vode, zaključeno je da je pod uticajem atmosferskih i podzemnih voda (sa dodatnim uticajem neregulisanе kanalizacije) došlo do promene fizičko - mehaničkih parametara tla, pa je voda najvećim delom bila inicijator klizanja.

3 PREDLOŽENE MERE SANACIJE

Uzimajući u obzir sve prethodno navedeno, kao rešenje za sanaciju klizišta usvojeno je dreniranje padine u zoni klizišta, gde se nalaze objekti i

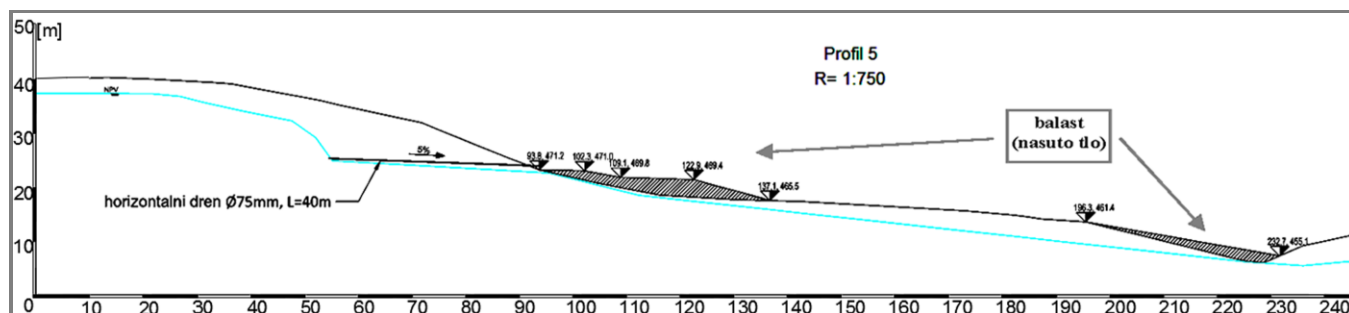
infrastruktura, kao i modifikacija geometrije kosine dodavanjem zemljanog materijala u zoni koja poboljšava stabilnost kosine. Materijal treba dodati u donjem (najnižem) delu kosine u vidu nasipa sa bermama. Predložene mere sanacije, s obzirom na površinu zahvaćenu klizanjem (približno 3 ha, gledano u horizontalnoj projekciji) i dubinu površi klizanja (i do 6,5 m prema Geotehničkom elaboratu) predstavljaju najracionalnije rešenje sanacije. Treba napomenuti da se zbog dubine lokalnih i globalnih kliznih površi, kao i veličine područja zahvaćenog klizanjem u startu odustalo od izvođenja bilo kakve potporne konstrukcije.

Predloženo je da se sanacija klizišta sprovede u dve faze.

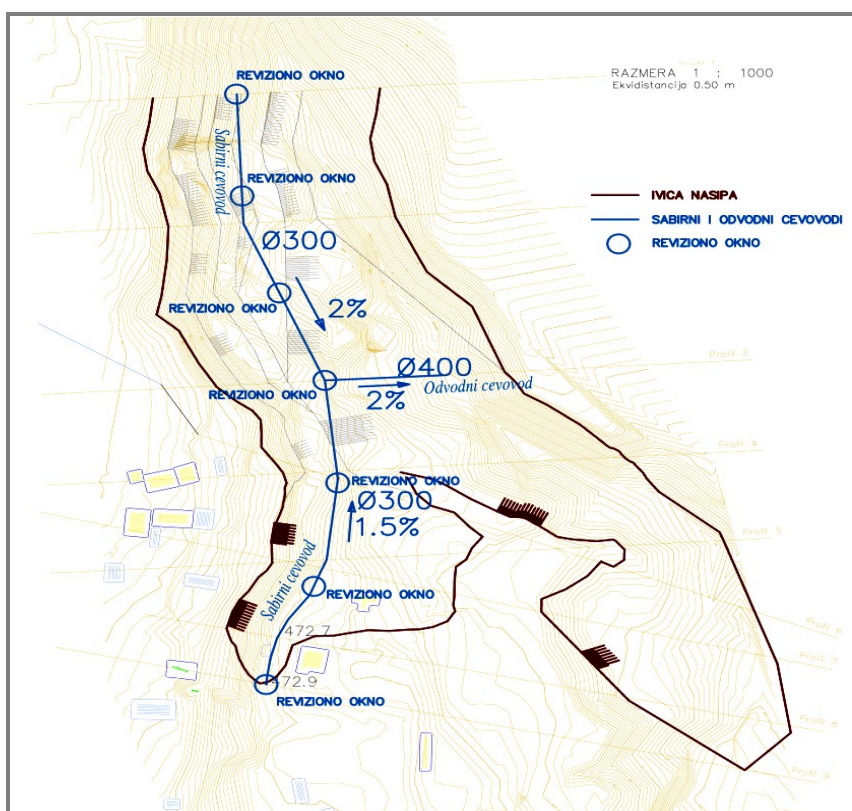
I. Prvu fazu sanacije predstavlja dreniranje kosine. Ovde je najpre ispitivan uticaj izvođenja vertikalne drenaže u dnu kosine, međutim efekti ove mere nisu bili zadovoljavajući. Zato je pri daljem projektovanju tretirana mera izvođenja horizontalnih drenova, koja je, u kombinaciji sa merom preraspodele mase tla, dala prihvatljive rezultate. U tu svrhu je predviđeno izvesti horizontalne drenove u telo klizišta, dužine 40,0 m i prečnika cevi 75 mm. Ugradnju horizontalnih drenova treba uraditi sa prostora nožice klizišta, kako je to dato na Slici 4. Međusobni razmak horizontalnih drenova je 5,0 m, a pad prema sabirnom kanalu 5%. Zadatak planirane horizontalne drenaže je

II. efikasno prikupljanje i odvođenje podzemnih voda iz tela klizišta, što ima za posledicu obaranje nivoa podzemne vode.

u toku eksploatacije predviđeno je ukupno 7 revizionih okana prečnika 1,0 m. Cevovode treba



Slika 4 - Predviđene mere sanacije na klizištu u naselju Duboka dolina, Bunuševac (poprečni presek)



Slika 5 - Predviđene mere sanacije na klizištu u naselju Duboka dolina, Bunuševac (u osnovi)

Iz horizontalnih drenova voda se prihvata sabirnim cevovodom prečnika \varnothing 300 mm, koji ima dva kraka u odnosu na reviziono okno na koti 471,6 m (Slika 5). Sabirni cevovod ima pad 2% u gornjem (severnom) i 1,5% u donjem (južnom) delu klizišta. Njime se sakupljena voda odvodi do odvodnog cevovoda prečnika \varnothing 400 mm i pada 2% ka recipijentu koji ovde predstavlja potok u dnu duboke doline. Radi obezbeđenja mogućnosti kontrole funkcionisanja, čišćenja i popravljanja sabirnog i odvodnog cevovoda

pokriti (zatrpati) zemljanim materijalom u debljini ne manjoj od 1,0 m.

III. Modifikacija geometrije kosine dodavanjem zemljanog materijala u donjem (nižem) delu kosine (gledano u poprečnim presecima klizišta), u vidu nasipa sa bermama, predstavlja drugu fazu stabilizacije kosine (Slike 4 i 5). Nasipanje zemljanog materijala se

IV. može izvesti samoniklim materijalom iz okoline ili nekim drugim pogodnim materijalom.

Nasip treba završiti površinskim slojem zbijenog glinovitog materijala (glineni čep) koji treba izvesti u debljini od 0,30 m. Nasutu površinu treba izvesti ravno kako bi se izbeglo stvaranje neravnina, izbočina i depresija gde bi eventualno moglo doći do pojave zabarivanja, što bi dalje moglo dovesti do proceđivanja površinskih voda i izazvati lokalne nestabilnosti u pojedinim nasutim delovima.

Za zaštitu kosina od erozije, na celokupnoj površini nasutog zemljanog materijala treba formirati trajni vegetativni pokrivač i to primenom postupka hidrosetve, uz korišćenje organske kokosove mreže. Osim toga, treba uraditi i pošumljavanje bagremom. Na taj način se sprečava erozija terena, a ujedno i obezbeđuje prosušivanje gornjih slojeva terena i vrši stabilizacija tla korenovim sistemom.

Efekat predloženih mera sanacije je dvostruk:

- 1) Dreniranjem bi se u značajnoj meri smanjio nivo podzemnih voda u širem području klizišta, što bi dovelo do smanjenja pornih pritisaka i povećanja smičuće otpornosti tla, čime bi se ovaj prostor učinio stabilnijim.
- 2) Nasipanjem tla u najnižem delu kosine bi se povećala sila otpora koja se suprotstavlja klizenju.

4 VERIFIKACIJA PREDLOŽENIH MERA SANACIJE

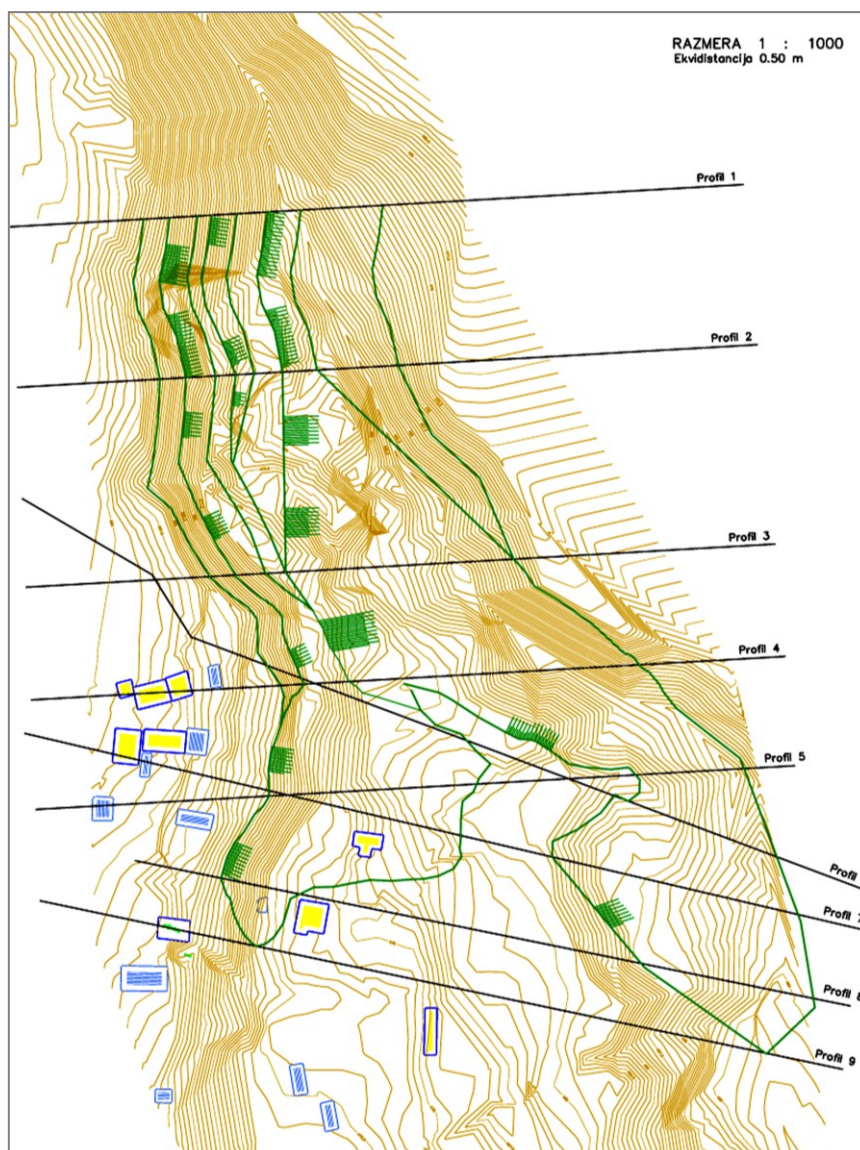
Verifikacija predloženih mera za sanaciju klizišta izvršena je kroz računsku analizu stabilnosti kosina na razmatranim profilima (Slika 6) na predmetnoj lokaciji, korišćenjem softverskog paketa Geostructural Analysis (Slope Stability) [2]. Najpre je na merodavnim poprečnim profilima, za usvojene vrednosti geotehničkih parametara slojeva tla iz pomenutog Geotehničkog elaborata, urađena povratna analiza kako bi se došlo do merodavnih vrednosti geotehničkih parametara slojeva tla. Sa tako usvojenim karakteristikama slojeva tla izvršena je verifikacija predloženih mera u pogledu dostignutih faktora sigurnosti po pojedinačnim profilima. Proračun faktora sigurnosti je urađen primenom rešenja Bishop-a, sa optimizacijom analiziranih kliznih površina. Za potrebe računskih analiza stabilnosti kreiran je računski model kosine, pri čemu su uzeti u obzir:

- opterećenje od sopstvene težine tla;
- saobraćajno opterećenje (16,70 kN/m²);
- opterećenje od objekata na kosini;
- seizmički uticaji (preko seizmičkih koeficijenata $K_h = 0,05$ i $K_v = 0,04$ koji odgovaraju seizmičkoj zoni mikrolokacije);
- projektovani drenažni sistem (efekat → sniženje nivoa podzemne vode (NPV) u kosini);
- projektovano nasipanje zemljanog materijala u najnižem delu kosine (efekat → povećanje otpora klizenju).

Na karakterističnim poprečnim profilima klizišta izvršene su analize globalne i lokalne stabilnosti kosine. Proračun je sproveden odvojeno za dejstvo statičkog opterećenja (sopstvena težina tla, saobraćajno opterećenje i opterećenje od objekata) i seizmičkog opterećenja. U oba slučaja, odvojeno su analizirane globalna i lokalna stabilnost kosine i dobijene zadovoljavajuće vrednosti faktora sigurnosti (Tabela 1).

Može se videti da su sve sračunate vrednosti faktora sigurnosti F_s veće od zahtevanih vrednosti: 1,40 za dejstvo statičkog opterećenja i 1,10 za dejstvo seizmičkog opterećenja, u skladu sa odgovarajućim aktuelnim pravilnicima i standardima [3, 4].

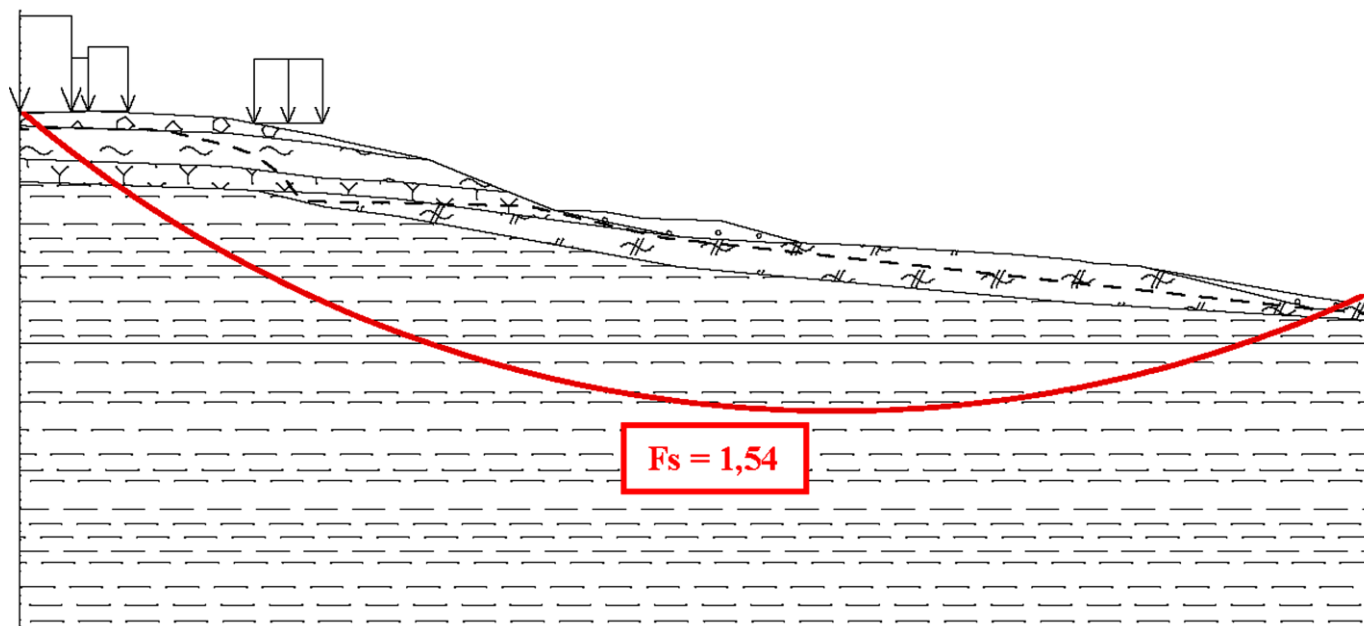
Kritične površi klizanja, utvrđene analizama globalne i lokalne stabilnosti kosine, u statičkim i dinamičkim uslovima, prikazane su u nastavku na primeru profila 5 kao jednog od najkritičnijih profila na telu klizišta (Slike 7 – 10).



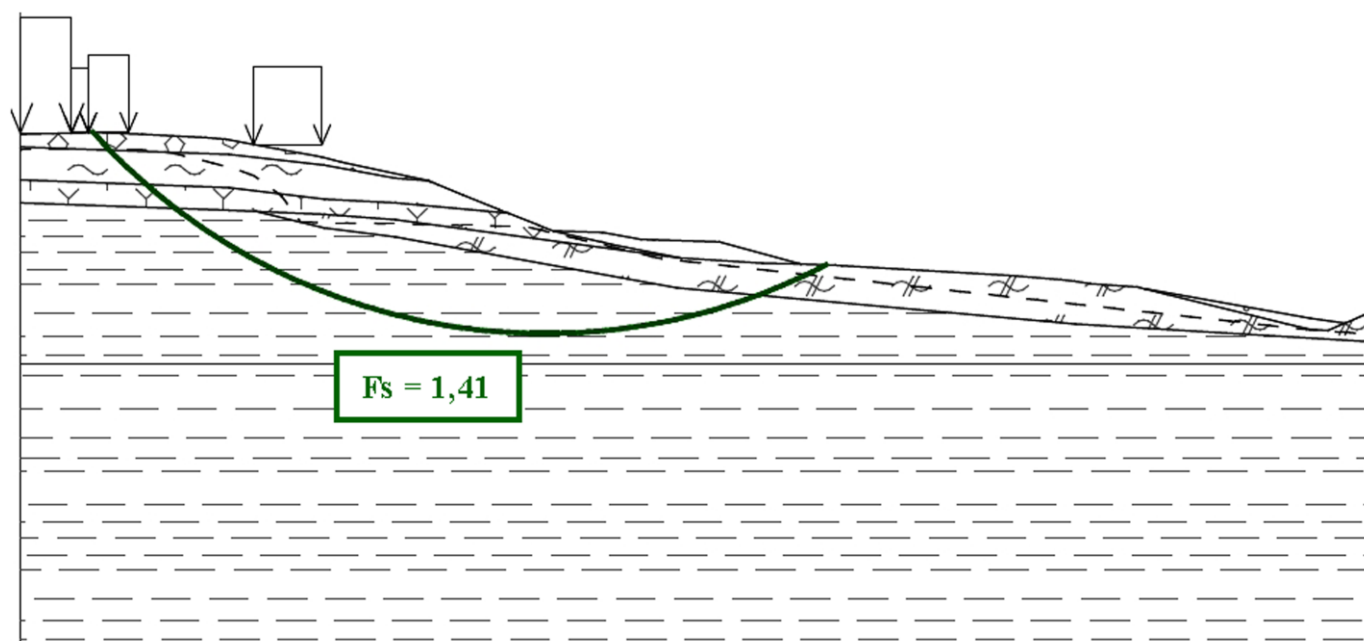
Slika 6 - Pozicija razmatranih profila na telu klizišta

Tabela 1 - Koeficijenti sigurnosti kosine sa merama sanacije na razmatranim profilima na telu klizišta

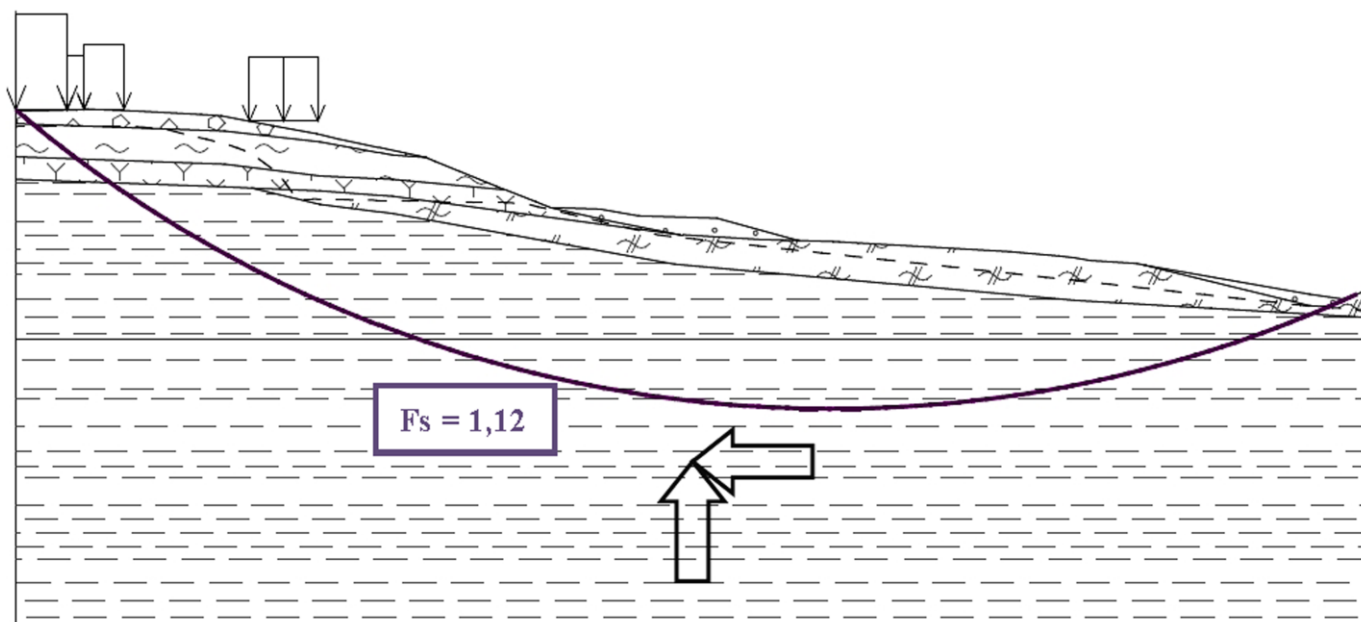
Profil	1	2	3	4	5	6	7	8	9
F_s (zahtevano ≥ 1,40) Globalna stabilnost kosine (statičko opterećenje)	1,41	1,41	1,41	1,41	1,54	1,52	1,57	1,54	2,37
F_s (zahtevano ≥ 1,40) Lokalna stabilnost kosine (statičko opterećenje)	1,58	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,61	1,50	1,94
F_s (zahtevano ≥ 1,10) Globalna stabilnost kosine (statičko + seizmičko opterećenje)	1,15	1,14	1,11	1,11	1,12	1,12	1,15	1,12	1,72
F_s (zahtevano ≥ 1,10) Lokalna stabilnost kosine (statičko + seizmičko opterećenje)	1,23	1,25	1,11	1,11	1,11	1,12	1,16	1,15	1,68



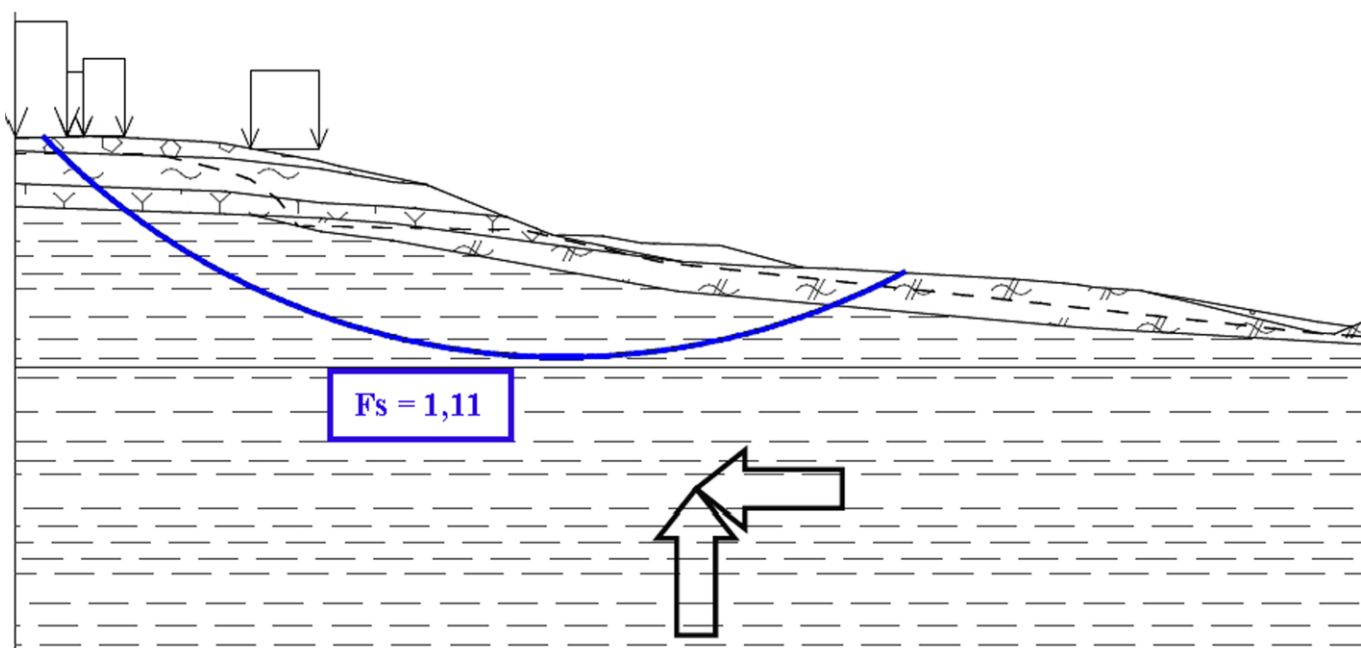
Slika 7 - Predviđene mere sanacije i kritična klizna površ za globalnu stabilnost kosine na profilu 5 (dejstvo statičkog opterećenja)



Slika 8 - Predviđene mere sanacije i kritična klizna površ za lokalnu stabilnost kosine na profilu 5 (dejstvo statičkog opterećenja)



Slika 9 - Predviđene mere sanacije i kritična klizna površ za globalnu stabilnost kosine na profilu 5 (dejstvo statičkog + seizmičkog opterećenja)



Slika 10 - Predviđene mere sanacije i kritična klizna površ za lokalnu stabilnost kosine na profilu 5 (dejstvo statičkog + seizmičkog opterećenja)

Na osnovu rezultata sprovedenih analiza stabilnosti kosine, zaključeno je da projektovane mere stabilizacije kosine, pod uslovom da se izvedu kako je planirano, obezbeđuju stabilnost kosine.

5 ZAKLJUČAK

Na lokaciji dela naselja Duboka dolina u Bunuševcu, opština Vranje, došlo je do značajnih pomeranja zemljane mase i oštećenja objekata koji su tu izgrađeni. Ugroženo područje obuhvata prostor od oko 3 hektara sa nekoliko manjih klizišta uz obalne strane potoka koji protiče kroz naselje. U cilju sanacije klizišta predložene su mere koje podrazumevaju dreniranje kosine ugradnjom horizontalnih drenova i modifikaciju geometrije kosine dodavanjem zemljanog materijala u vidu nasipa sa bermama. Verifikacija predloženih mera za sanaciju klizišta izvršena je kroz računsku analizu stabilnosti razmatranih profila na predmetnoj lokaciji, korišćenjem softverskog paketa Geostructural Analysis (Slope Stability), pri čemu su uzeta u obzir dejstva statičkog, saobraćajnog i seizmičkog opterećenja. Navedene mere bi trebalo da doprinesu smirivanju klizišta, što bi merenjima trebalo kasnije potvrditi i pratiti.

ZAHVALNOST

Autori rada zahvaljuju se na podršci Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije u okviru naučnoistraživačkog projekta TR 36028 (2011 – 2020).

LITERATURA

- [1] *Geotehničke podloge za potrebe izrade idejnog projekta sanacije klizišta u zoni gradskog naselja Duboka dolina u Bunuševcu – Vranje*, “Geoinženjering” d.o.o. Niš, 2019.
- [2] *Geostructural Analysis (Slope Stability)*, Bentley Systems, 2014.
- [3] *Zbirka jugoslovenskih pravilnika i standarda za građevinske konstrukcije - deo: Geotehnika i fundiranje*, Jugoslovensko društvo građevinskih konstruktera, Beograd, 1995.
- [4] *Pravilnik o tehničkim normativima za projektovanje i proračun inženjerskih objekata u seizmičkim područjima*, Jugoslovensko društvo građevinskih konstruktera, Beograd, 1986.