

Idejno rješenje sanacije klizišta Galgovo

Kovačić, Bruno

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/um:nbn:hr:157:788058>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International/Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-05-20**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

Bruno Kovačić

Idejno rješenje sanacije klizišta Galgovo

Završni rad

Rijeka, 2023.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Prijediplomski sveučilišni studij građevinarstva
Građevinarstvo
Geotehničko inženjerstvo**

**Bruno Kovačić
JMBAG: 0114034020**

Idejno rješenje sanacije klizišta Galgovo

Završni rad

Rijeka, rujan 2023.

IZJAVA

Završni rad izradio sam samostalno, u suradnji s mentorom i uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.

Bruno Kovačić

U Rijeci, 11. rujan 2023.

SAŽETAK

Ovim završnim radom istraživala se tema „Idejno rješenje sanacije klizišta Galgovo“. U početku rada prikazuje se lokacija klizišta i navode se istraživačke metode koje su se koristile za dobivanje parametara materijala i značajki klizišta. U radu je definiran pojам klizišta, posmičnog naprezanja, čvrstoće na smicanje, Mohr-Coulomb-ovog zakon čvrstoće, efektivnih naprezanja i faktora sigurnosti. Navedeni su mogući načini sanacije klizišta uz primjere. Istražni radovi provedeni su geotehničkim bušenjem, a rezultati laboratorijskih ispitivanja dani su u tablicama. Povratne analize stabilnosti rađene su u računalnom programu Slide2 iz računalnog programskega paketa Rocscience. Sanacija je rađena izvedbom pilota i gabiona u tijelo klizišta.

Ključne riječi: klizište, povratne analize sigurnosti, Mohr-Coulomb-ov zakon čvrstoće, metode sanacije, faktor sigurnosti, efektivna naprezanja

ABSTRACT

This BSc thesis explored the topic "Preliminary design of the Galgovo landslide remediation". At the beginning of the paper, the location of the landslide is presented and the research methods used to obtain the material parameters are stated. The term landslide, shear stress, shear strength, Mohr-Coulomb theory, effective stresses and factor of safety are defined in the paper. Possible ways of remediating landslides are listed with examples. Investigative works were carried out by geotechnical drilling, and the results of laboratory tests are given in tables. Reverse stability analyzes were performed in the Slide2 computer program from the Rocscience computer program package. Remediation was done by the implementation of piles and gabions in the body of the landslide.

Key words: landslide, reverse stability analyzes, Mohr-Coulomb theory, remediation methods, factor of safety, effective stresses

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. KLIZIŠTA	3
2.1 Posmična čvrstoća i analize stabilnosti.....	5
2.2 Mjere sanacije.....	8
3. KLIZIŠTE NA CESTI GALGOVO – ZAGREBAČKA CESTA	11
3.1 Istražni radovi.....	13
3.2 Rezultati laboratorijskih ispitivanja	21
4. ANALIZE STABILNOSTI.....	32
4.1 Povratne analize stabilnosti – postojeće stanje.....	32
4.2 Analize stabilnosti – sanirano stanje	35
5. ZAKLJUČAK	38
6. LITERATURA	39
7. PRILOZI.....	40

POPIS SLIKA

Slika 1. Prostorni položaj naselja Galgovo u odnosu na grad Samobor (Google maps, 2023)	1
Slika 2. Položaj klizišta Galgovo na uvećanom isječku M 1:2500 (Geotehnički elaborat, 2014).....	2
Slika 3. Koordinate položaja klizišta (Google maps, 2023)	2
Slika 4. Aksonometrijski presjek kroz tipično klizanje kosine (Nonveiller, 1979).....	3
Slika 5. Mjere za smanjenje tangencijalnih naprezanja u zoni sloma (Nonveiller. 1979).....	8
Slika 6. Stabilizacija klizišta izvedbom potpornog zida u nožici kosine (Nonveiller, 1979)	9
Slika 7. Stabilizacija klizišta promjenom razine podzemnih voda u kosini (Nonveiller, 1979).....	9
Slika 8. Inženjerskogeološka karta klizišta na cesti Galgovo-Zagrebačka cesta (Geotehnički elaborat, 2014).....	12
Slika 9. Jezgra bušotine B-1 (Geotehnički elaborat, 2014)	14
Slika 10. Jezgra bušotine B-2 (Geotehnički elaborat, 2014)	16
Slika 11. Jezgra bušotine B-3 (Geotehnički elaborat, 2014)	18
Slika 12. Jezgra bušotine B-4 (Geotehnički elaborat, 2014)	20
Slika 13. Geotehnički model na presjeku 1-1	33
Slika 14. Klizna ploha na presjeku 1-1	34
Slika 15. Geotehnički model kosine s mjerama sanacije na presjeku 1-1	37
Slika 16. Kritična klizna ploha za saniranu kosinu na presjeku 1-1	37

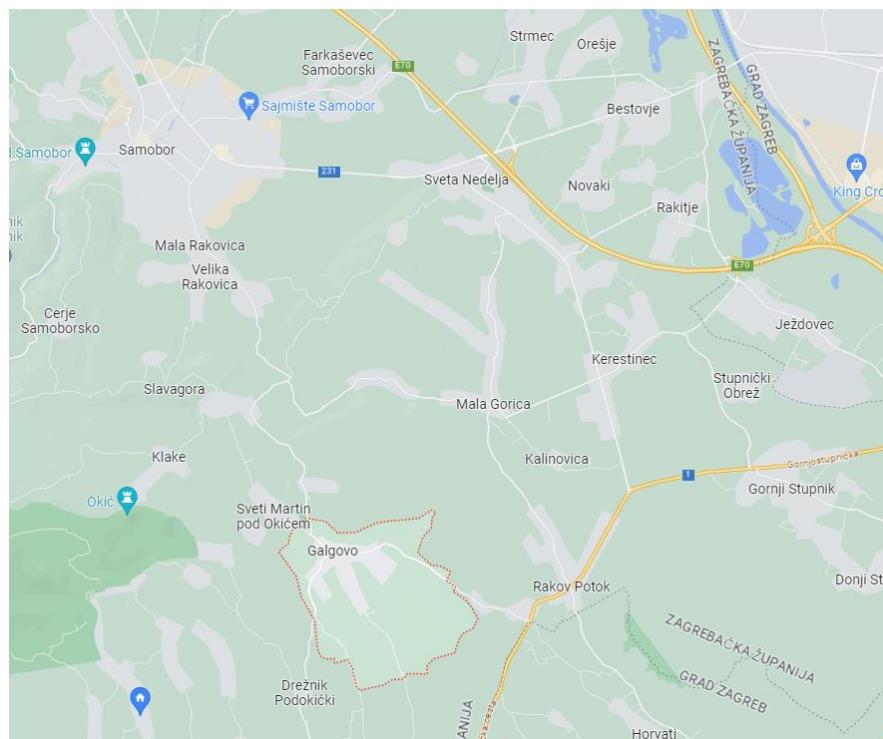
POPIS TABLICA

Tablica 1. Koordinate i dubine bušotina (Geotehnički elaborat, 2014).....	13
Tablica 2. Inženjerskogeološki profil bušotine B-1	15
Tablica 3. Inženjerskogeološki profil bušotine B-2	17
Tablica 4. Inženjerskogeološki profil bušotine B-3	19
Tablica 5. Inženjerskogeološki profil bušotine B-4	20
Tablica 6. Izvještaj određivanja vlažnosti uzorka tla (Geokon-Zagreb, 2014)	21
Tablica 7. Izvještaj određivanja specifične težine uzorka tla (Geokon-Zagreb, 2014)	22
Tablica 8. Izvještaj određivanja zapreminske težine uzorka tla (Geokon-Zagreb, 2014).....	23
Tablica 9. Izvještaj ispitivanja granulometrijskog sastava tla bušotine B-1 (Geokon-Zagreb, 2014)	24
Tablica 10. Granulometrijski sastav tla bušotine B-1 (Geokon-Zagreb, 2014)	24
Tablica 11. Izvještaj ispitivanja granulometrijskog sastava bušotine B-3 (Geokon-Zagreb, 2014)..	25
Tablica 12. Granulometrijski sastav tla bušotine B-3 (Geokon-Zagreb, 2014)	25
Tablica 13. Izvještaj ispitivanja granulometrijskog sastava bušotine B-4 (Geokon-Zagreb, 2014)..	26
Tablica 14. Granulometrijski sastav tla bušotine B-4 (Geokon-Zagreb, 2014)	26
Tablica 15. Izvještaj određivanja konzistentnih stanja (Atterbergove granice) za buštinu B-1 (Geokon-Zagreb, 2014).....	27
Tablica 16. Određivanje konzistentnih stanja bušotine B-1 (Geokon-Zagreb, 2014).....	27
Tablica 17. Izvještaj određivanja konzistentnih stanja (Atterbergove granice) za buštinu B-3 (Geokon-Zagreb, 2014).....	28
Tablica 18. Određivanje konzistentnih stanja bušotine B-3 (Geokon-Zagreb, 2014)	28
Tablica 19. Izvještaj određivanja čvrstoće tla izravnim smicanjem za uzorak gline narančasto-sive boje iz bušotine B-1 (Geokon-Zagreb, 2014)	29
Tablica 20. Izvještaj određivanja čvrstoće tla izravnim smicanjem za uzorak gline narančasto-sive boje iz bušotine B-1 (Geokon-Zagreb, 2014)	29
Tablica 21. Izvještaj određivanja čvrstoće tla izravnim smicanjem za uzorak gline smeđe boje sa sivim proslojcima i oksidima iz bušotine B-1 (Geokon-Zagreb, 2014)	30
Tablica 22. Izvještaj određivanja čvrstoće tla izravnim smicanjem za uzorak gline smeđe boje sa sivim proslojcima i oksidima iz bušotine B-1 (Geokon-Zagreb, 2014)	30
Tablica 23. Fizikalna svojstva materijala iz bušotina B-1, B-3 i B-4 (Geokon-Zagreb, 2014)	31
Tablica 24. Mehanička svojstva materijala iz bušotine B-1 (Geokon-Zagreb, 2014).....	31

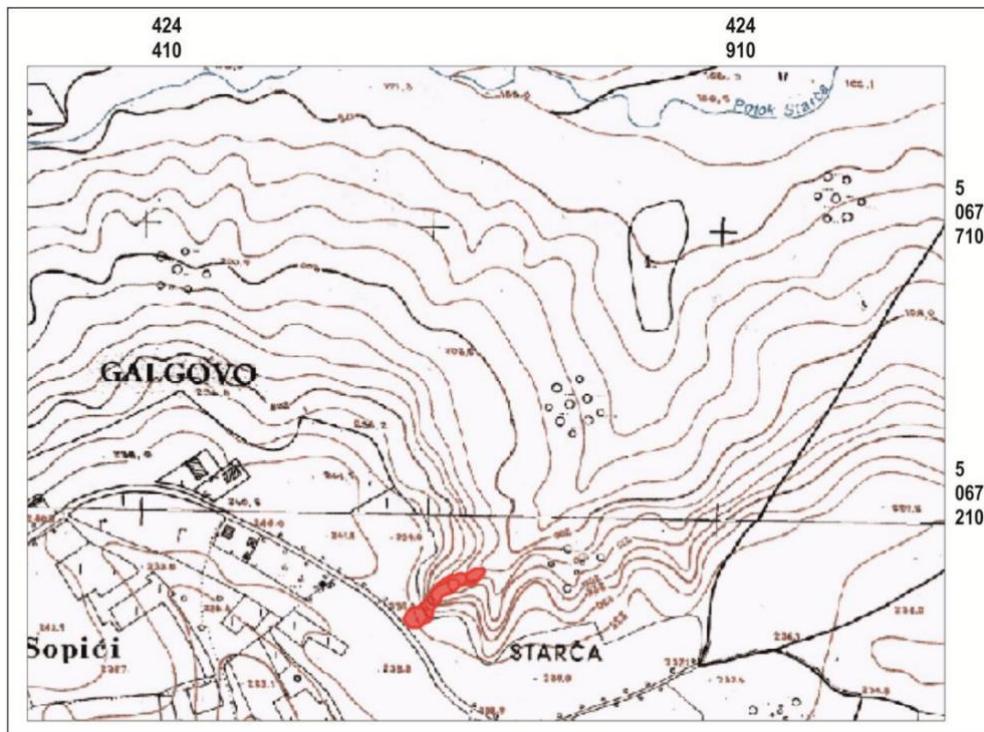
1. UVOD

Naselje Galgovo smješteno je oko 7,5 kilometara jugoistočno od grada Samobora (Slika 1). Klizište u blizini naselja Galgovo reaktivirano je 4. travnja 2013. godine, pri kojem je došlo do pojave klizanja na padini ispod prometnice (Slika 2). Koordinate klizišta priložene su ispod (Slika 3). Prilikom klizanja, gornji dio klizišta zahvatio je prometnicu te oštetio kolničku konstrukciju u približnoj duljini od 10 metara. Jugoistočni bok klizišta smješten je neposredno uz ogradu dvorišta stambene kuće, gdje postoji očiti rizik od oštećenja objekata na tom dijelu u slučaju proširenja klizišta.

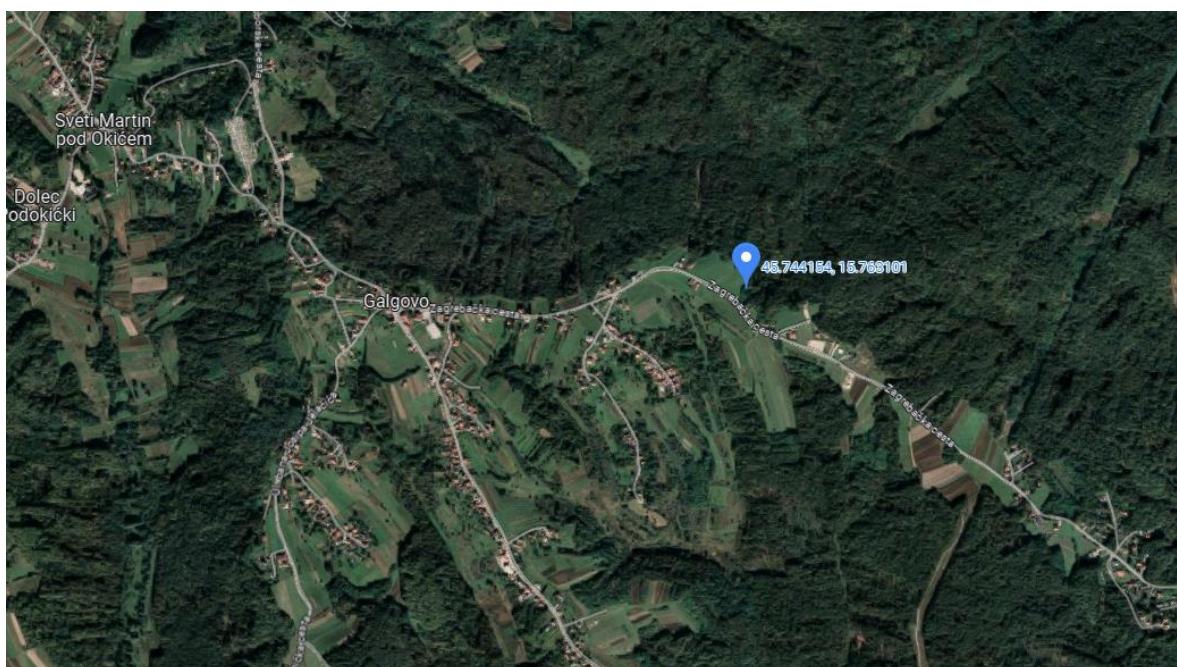
Geotehnički istražni radovi sprovedeni su radi utvrđivanja značajki klizišta i uvjeta temeljnog tla, a cilj istražnih radova je prikladno projektirati sanacijsko rješenje na datom klizištu. Rezultati provedenih istražnih radova dati su u Geotehničkom elaboratu. Temeljem datih rezultata geotehničkih istraživanja pristupilo se izradi Glavnog projekta sanacije klizišta.



Slika 1. Prostorni položaj naselja Galgovo u odnosu na grad Samobor (Google maps, 2023)



Slika 2. Položaj klizišta Galgovo na uvećanom isječku M 1:2500 (Geotehnički elaborat, 2014)

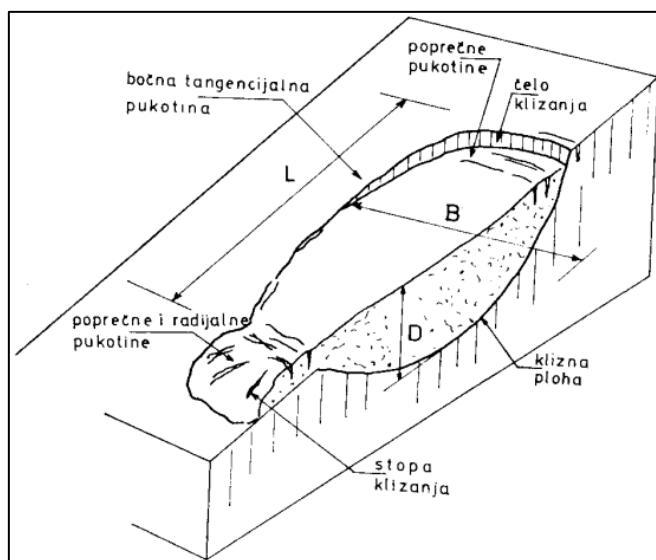


Slika 3. Koordinate položaja klizišta (Google maps, 2023)

2. KLIZIŠTA

Klizanje je kretanje mase stijena ili tla niz padinu (Cruden, 1991). Posmična naprezanja koja se dešavaju u tlu rezultat su gravitacije i dodatnih opterećenja te su uzrok kretanja masa niz padinu. Brzina kretanja klizišta može biti oku nevidljiva što se naziva puzanjem, a može biti i izuzetno brza što se naziva brzo klizanje. Ukoliko je čvrstoća na smicanje veća od posmičnog naprezanja, tlo će se nalaziti u ravnoteži. Stvarna posmična čvrstoća tvoriti će različite nagibe kosina u prirodi pa tako glinoviti i prašinasti materijali uzrokuju blaže nagnute kosine, dok čvršći materijali rade upravo suprotno, odnosno strme kosine. Dođe li do toga da se na neki način poremeti prirodna ravnoteža, posmična naprezanja mogu premašiti čvrstoću na smicanje i doći će do nastanka sloma na kosini što će pokrenuti veću ili manju masu materijala. Pokretanjem materijala s kosine, mijenja se i geometrija klizišta. Klizanje će se zaustaviti kad se oblik kosine toliko promijeni da se zbog promjene napona ponovno uspostavi ravnoteža, ili ako prestanu djelovati utjecaji što su izazvali poremećaje (razina podzemne vode, vode, strujni tlak i sl.) (Nonveiller, 1979).

Tipičan primjer klizišta dat je aksonometrijskim presjekom u prilogu (Slika 4).



Slika 4. Aksonometrijski presjek kroz tipično klizanje kosine (Nonveiller, 1979)

Kod aksonometrijskog presjeka kroz tipično klizište, mogu se primijetiti određeni dijelovi. Čelo klizanja označava nepokrenuti materijal pri najvišem dijelu glavne pukotine na početku klizne plohe. Klizna ploha predstavlja donju granicu pokrenutog materijala i nalazi se ispod neporemećene kosine. Stopa klizanja je pokrenuti dio klizišta koji se nalazi dalje od završetka plohe sloma. Duljina L, širina B i dubina D poremećene mase tla na kosinu u određenih su granica za razne tipove klizanja (Nonveiller, 1979). U ovisnosti od promjene tih dimenzija, mijenjaju se i karakteristični tipovi klizanja.

2.1 Posmična čvrstoća i analize stabilnosti

Kada se proučava klizanje, bitno je poznavati porne pritiske i njihov razmještaj u prostoru. Porni pritisak izmjeriti će se piezometrom koji se postavi na terenu kojeg promatramo. Ukoliko je materijal klizišta nehomogen, duž cijele plohe sloma na raznim mjestima dolazi do prekoračenja čvrstoće tla, te dolazi do progresivnog sloma uz smanjenje prosječne čvrstoće. Naprezanja koja se javljaju u tlu kod graničnog stanja ravnoteže nisu dovoljno velika da bi prouzročila drobljenje zrna u tlu. Uzrok deformacija u graničnoj ravnoteži su zapravo rotacija i klizanje zrna tla međusobno, a da se ti procesi uopće dogode, potrebno im je prekoračiti sile otpora što djeluju među zrnima. Što su čestice manje, više je dodirnih točaka među njima i sile otpora su veće. Granična linija čvrstoće definirana je odnosom normalnih napona σ i posmične čvrstoće τ_f . Ispod granične linije definirane po Mohr-ovoj teoriji sloma, nalazi se kružnica naponskog stanja. Kako rastu naponi, raste i kružnica i u trenutku kada ona tangira, odnosno dotakne graničnu liniju čvrstoće, nastupiti će slom tla. Pravac linije čvrstoće definiran je Mohr-Coulomb-ovim zakonom čvrstoće, preuzetim iz (Nonveiller, 1979), datim u izrazu (1), koji glasi:

$$\tau_f = c + \sigma * \tan \varphi \quad (1)$$

Gdje je: τ_f - posmična čvrstoća tla

c – kohezija

φ – kut unutarnjeg trenja

σ – normalno efektivno naprezanje

Promjenom tenzora naprezanja, pojavljuje se porni tlak u zasićenom i djelomično zasićenom materijalu. Deformacije u tlu ovisiti će o promjeni samih pornih tlakova. U procesu konsolidacije porni tlak se smanjuje s vremenom u zavisnosti od osobina materijala i od uvjeta dreniranja, pa je on $u=u(\sigma,t)$ (Nonveiller, 1979.).

Kut unutarnjeg trenja φ biti će konstantan u materijalu određenog koeficijenta pora e ukoliko se posmična čvrstoća τ_f izrazi za efektivna naprezanja, datim u izrazu (2), preuzetim iz (Nonveiller, 1979), na način:

$$\sigma' = \sigma - u \quad (2)$$

Gdje je: σ' – efektivno naprezanje , σ – normalno naprezanje , u – porni tlak

Iz toga slijedi Coulomb-ov zakon čvrstoće (3), preuzet iz (Nonveiller, 1979), koji glasi:

$$\tau_f = c' + \sigma' * \tan \varphi \quad (3)$$

Gdje je: τ_f - posmična čvrstoća tla

c' – kohezija

φ – kut unutarnjeg trenja

σ' – efektivno naprezanje

Kod proučavanja stabilnosti kosine, valja obratiti pozornost na moguće pojave nestabilnosti. Klizanje tla i odron stijenskog materijala su najčešći oblici nestabilnosti. Nestabilnost koja se proučava u ovome radu, klasificirana je kao reaktivirana, što znači da je u prošlosti na tom području već došlo do pojave nestabilnosti kosine, odnosno do pojave klizanja kosine. Neke od metoda kojima se može poslužiti kod analize stabilnosti kosine su: metode analize granične ravnoteže, numeričke metode, fizički modeli, itd.. Faktor sigurnosti neke kosine dat u izrazu (4), preuzetom iz (Arbanas, n.d.), biti će odnos sila mogućeg otpora i aktivnih sila koje djeluju na kosinu i dat je izrazom:

$$F_s = \frac{\Sigma(\text{SileOtpora})}{\Sigma(\text{AktivneSile})} \quad (4)$$

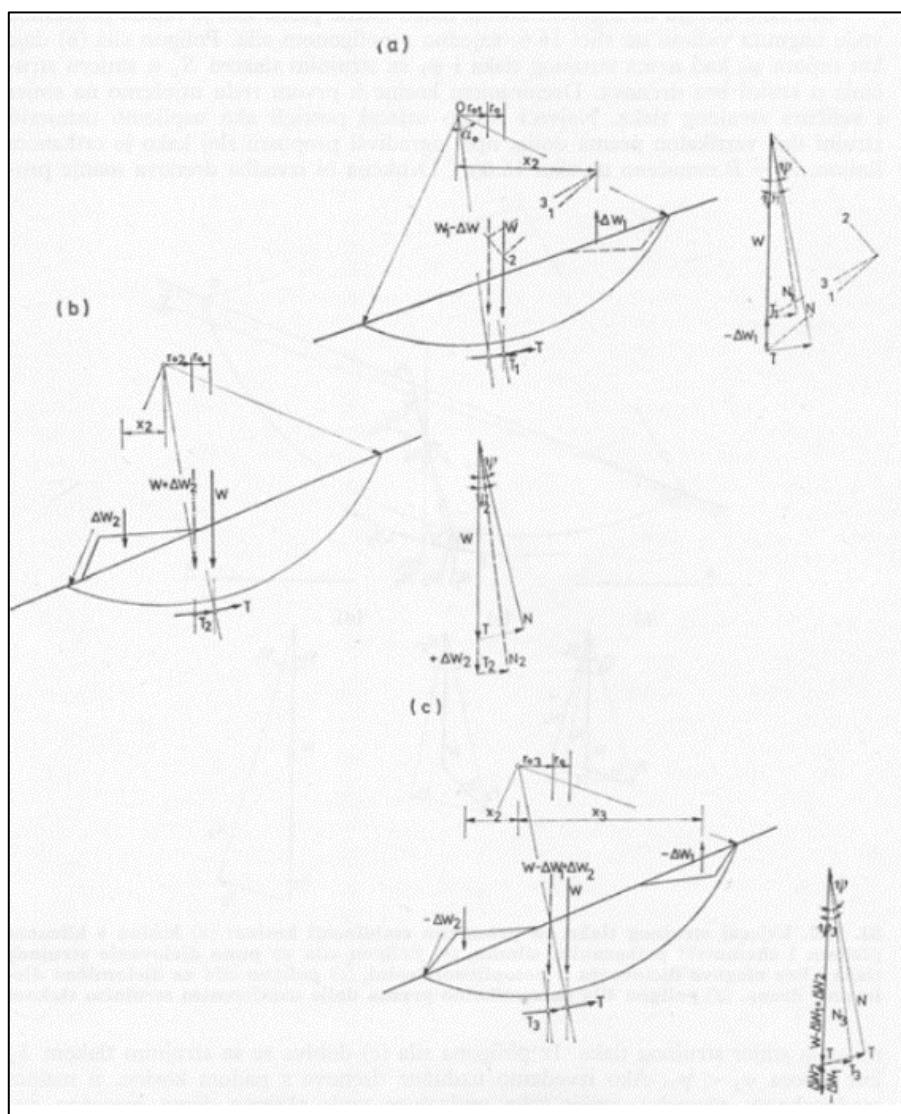
Gdje je: F_s - faktor sigurnosti kosine

Kod određivanja faktora sigurnosti kosine važno je da njegova vrijednost bude $F_s > 1$. Vrijednost faktora sigurnosti koja je $F_s = 1$ nije najpovoljnija iz razloga što je kosina na samoj granici ravnoteže i svakog trenutka može doći do klizanja kosine. Kada faktor sigurnosti dođe na vrijednost $F_s < 1$, dolazi do sloma i klizanja kosine.

Metode granične analize stabilnosti uključuju jednoznačno rješenje problema stabilnosti kosine čije se ponašanje definira metodama mehanike kontinuma. U potpunosti su ispunjeni uvjeti ravnoteže i kompatibilnosti kosine u svim točkama kosine. Zadovoljene su diferencijalne jednadžbe ravnoteže, jednadžbe kompatibilnosti pomaka, konstitutivne jednadžbe ponašanja materijala i rubni uvjeti problema. S druge strane, metode analize granične ravnoteže ne zadovoljavaju u cijelovitosti niti jednu od temeljnih jednadžbi mehanike kontinuma. Deformacije zbog toga neće biti uzete u obzir, a uvjeti ravnoteže biti će zadovoljeni samo za sile koje djeluju na kosini. Numeričke metode obuhvaćaju numerička modeliranja stanja kosine i numeričke procese preko kojih se isto stanje utvrđuje. Valja ispuniti rubne uvjete uspostavljenog modela, konstitutivne jednadžbe materijala, diferencijalne jednadžbe ravnoteže i pripadne jednadžbe pomaka. Analize će rezultirati vrijednostima stanja naprezanja i pomaka unutar elemenata modela izloženih vanjskim opterećenjem i ograničenog rubnim uvjetima. Fizički modeli simuliraju uvjete ponašanja kosine u kontroliranim uvjetima. Uvjeti koji mogu utjecati na stanje kosine lako variraju. Ovakvi modeli omogućavaju da se razumije pojava i mehanizam sloma padine, uz to, koriste se za potvrđivanje ponašanja materijala što se moglo zaključiti iz numeričkih modela. Tri tipa modelskih ispitivanja su: modeli ponašanja ispitivani centrifugom, modeli ponašanja u konvencionalnoj laboratorijskoj opremi i umanjeni model kosine.

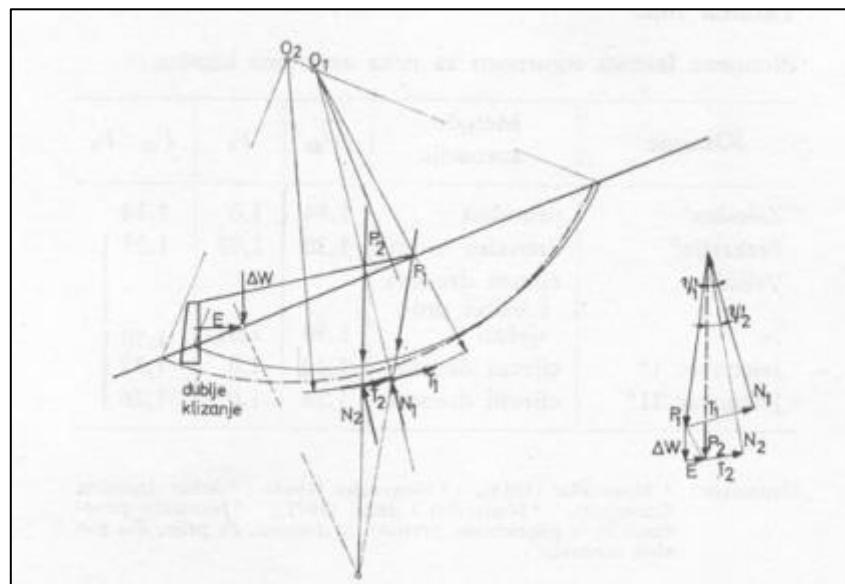
2.2 Mjere sanacije

Mjere sanacije klizišta koje se mogu primijeniti su primjerice: Smanjenje naprezanja na plohi sloma kako bi se uravnotežilo klizno tijelo, povećanje posmične čvrstoće materijala koji se nalazi u zoni sloma, kombinirano djelovanje obje od navedenih mjera. Tangencijalna naprezanja koja se pojavljuju u zoni sloma moguće je smanjiti tako da se rastereti gornji dio aktivnog dijela kliznog tijela, optereti donji pasivni dio kliznog tijela, kombinacijom obiju mjera (Slika 5).

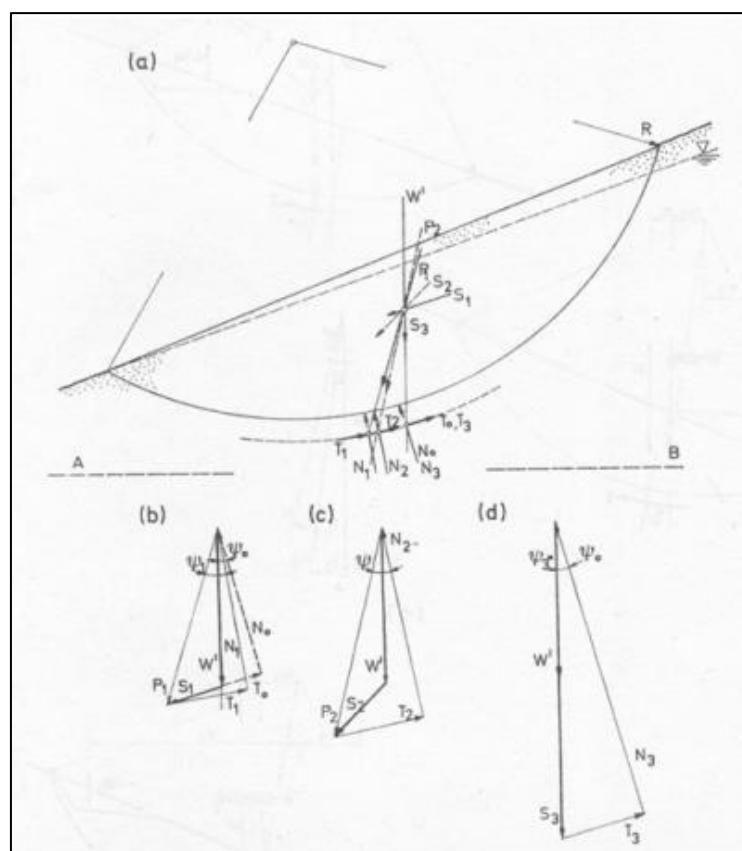


Slika 5. Mjere za smanjenje tangencijalnih naprezanja u zoni sloma (Nonveiller. 1979)

Također je moguće stabilizirati klizište izvedbom potpornog zida u nožici kosine (Slika 6), kao i promjenom razine podzemne vode u kosini (Slika 7).



Slika 6. Stabilizacija klizišta izvedbom potpornog zida u nožici kosine (Nonveiller, 1979)



Slika 7. Stabilizacija klizišta promjenom razine podzemnih voda u kosini (Nonveiller, 1979)

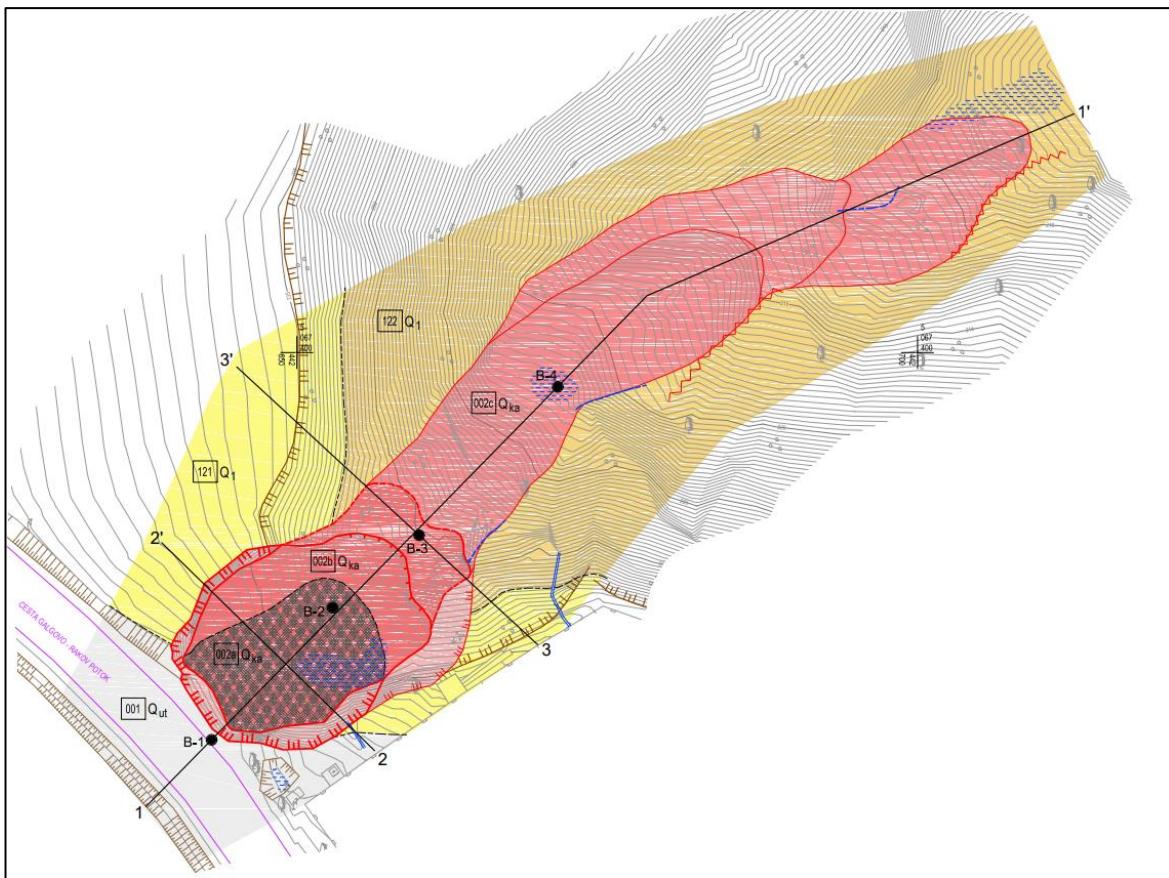
Da bi se postiglo povećanje čvrstoće na plohi sloma potrebno je opteretiti donji dio kliznog tijela, pogotovo kod nekoherentnih materijala. Povećanje efektivnih naprezanja također povoljno utječe na povećanje čvrstoće materijala, a da bi se to postiglo, porne pritiske je potrebno smanjiti. Na raspolaganju se nude i neki ostali postupci kada prethodna dva nisu izvediva, a to su injektiranje i elektroosmoza.

Kod stabilizacije klizišta izvedbom potpornog zida u nožici kosine dolazi do opterećenja donjeg dijela padine, što je povoljno u pogledu povećanja čvrstoće materijala na plohi sloma. Aktivne sile koje djeluju u kosini povećati će se zbog dodatnih horizontalnih sila u nožici. Postavljanje potpornog zida u nožici kosine prouzročiti će i to da se geometrija klizne plohe promijeni.

Kada se promjeni razina podzemne vode u kosini u smislu njenog snižavanja, rizik od nastanka klizanja kosine uvelike se smanjuje. Prije svega dolazi do promjene smjera rezultante aktivnih sila. Efektivna naprezanja će se povećati zbog snižavanja razine podzemnih voda. Kako se navelo prije, povećanje efektivnog naprezanja također će doprinijeti povećanju čvrstoće tla na plohi sloma. Hidrodinamičke sile također će se smanjiti. Materijal na lokaciji sanacije će zbog isušivanja doživjeti promjenu konzistentnog stanja, čime će doći do povećanja čvrstoće tla.

3. KLIZIŠTE NA CESTI GALGOVO – ZAGREBAČKA CESTA

Klizište Galgovo-Zagrebačka cesta nalazi se u slivu potoka Starče. Padina se pruža u smjeru sjeverozapad-jugoistok i nagnuta je ka sjeveroistoku. Dio na kojem je aktivirano klizište prikazuje jarugu širine 35 m i duljine 75 m. Nadmorska visina klizišta kreće se od 207 m n.m. do 239 m n.m. . Cijela padina duljine je 530 m, a u njenom dnu nalazi se potok Starča. Prosječni nagib kosine na kojem je nastalo klizište iznosi 30° . Izvorna morfologija terena je konkavnog oblika, jer je u pitanju jaruga koja se duže vremena zatrپavala nasipom. Ispod klizišta, kosina je blaže nagnuta, otprilike 10° . Na klizištu nema objekata, osim prometnice koja se nalazi iznad i obiteljske kuće pored. Navedeni objekti nisu oštećeni u toku klizanja. Denivelacija pokrenute mase gornjeg dijela klizišta iznosi oko 1,50 metara. Vidljiva je kruna klizišta, glavna pukotina, desni bok klizišta. U gornjem dijelu klizišta na pokrenutoj masi uočeni su nasipi različitog sastava, zajedno sa većim komadima betona i asfalta, čime se da zaključiti da je na lokaciji klizišta divlje odlagalište građevinskog otpada. Velika količina odloženog materijala, sprječava uočavanje ostalih pukotina na površini gornjeg dijela pokrenute mase, kao i donjeg dijela pokrenute mase. Nožica i završetak najmlađeg klizišta smješteni su u gornjem dijelu padine. Reaktivirano klizište nastalo je u koluvijalnoj masi dosta dugačkog starog klizišta koje ispunjava dno jaruge. Donja granica reaktiviranog klizišta nije jasno izražena. Granice starog klizišta jasno su izražene u odnosu na originalnu površinu terena, vidljivi su tragovi višestrukih klizanja raznih volumena i duljine transporta. Reaktiviranje klizišta zahvatilo je gornji dio starog klizišta odmah uz prometnicu pored naselja Galgovo. Obzirom na izduženi oblik klizišta, za vjerovati je da su stara klizišta imala značajke tečenja, koje je prouzročila veća količina površinskih voda uslijed padalina, jer se tokom oborina na užem području oko samog klizišta koncentriraju slivovi površinskih voda s prometnice po jaruzi. Uslijed svega toga, u tijelo klizišta se odvode otpadne vode iz susjednog objekta. Prikaz lokacije klizišta prikazan je kao inženjerskogeološka karta (Slika 8).



Slika 8. Inženjerskogeološka karta klizišta na cesti Galgovo-Zagrebačka cesta (Geotehnički elaborat, 2014)

3.1 Istražni radovi

Za potrebe utvrđivanja inženjerskogeoloških značajki i uvjeta terena, značajki nastalog klizišta i temeljnog tla na lokaciji klizišta, provedeni su geotehnički istražni radovi koji su se sastojali od:

- detaljnog inženjerskogeološkog kartiranja
- istraživačkog bušenja
- identifikacije i inženjerskog opisa jezgre bušotine
- laboratorijskih ispitivanja uzoraka tla i trošne stijene

Inženjerskogeološko kartiranje provedeno je na geodetskoj podlozi u mjerilu 1:250 snimljenoj u lipnju 2014. godine od strane tvrtke GEO-BIM d.o.o..

Od 19.05. do 21.05.2014. godine provedeni su geotehnički istražni radovi, a sastojali su se od istraživačkog bušenja koje je provela tvrtka GeoKol AS d.o.o. te inženjerske identifikacije i opis jezgri bušotine koje je provodio Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

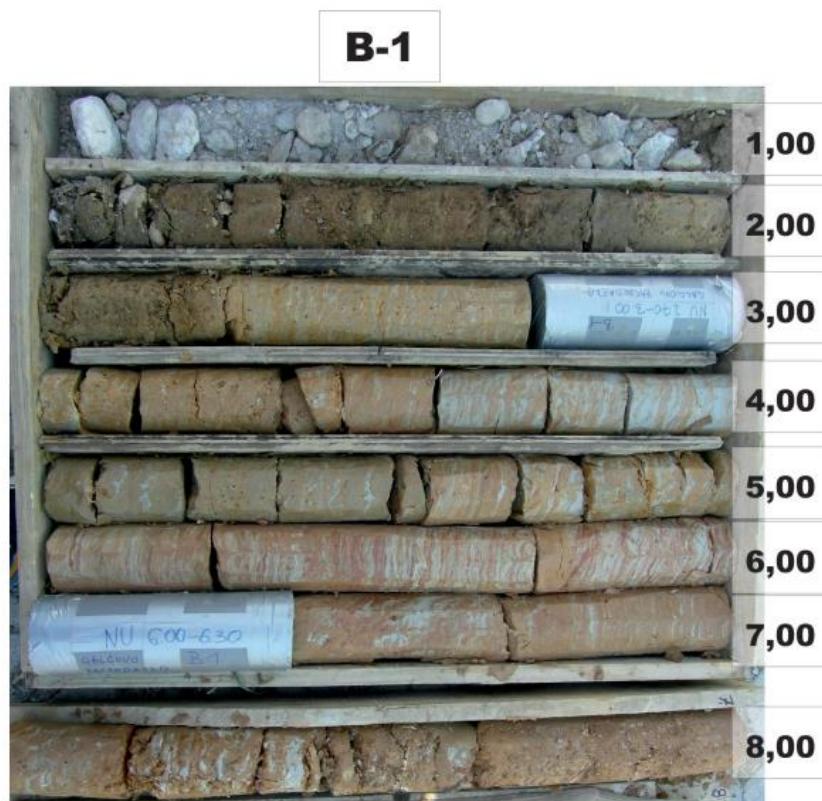
Tokom geotehničkih istražnih radova izvedene su 4 geotehničke istražne bušotine na dubinama od 5,0 do 9,0 metara. Koordinate i detalji bušenja dati su tabličnom prikazu (Tablica 1). Jedna bušotina (B-1) (Slika 9), izvedena je garniturom za bušenje Kamaco 205 te je izbušena na dubini 8,0 metara uz kontinuirano jezgrovanje. Preostale bušotine (B-2, B-3, B-4) (Slika 10), (Slika 11) i (Slika 12), izvedene su ručnom bušilicom uz kontinuirano jezgrovanje, ukupne dubine 20,0 metara.

Tablica 1. Koordinate i dubine bušotina (Geotehnički elaborat, 2014)

OZNAKA BUŠOTINE	DATUM BUŠENJA	KOORDINATE BUŠOTINA			DUBINA BUŠOTINE (m)	SPP (kom)
		X	Y	UŠĆE BUŠTINE Z (mm)		
B-1	19.5.2014.	442643,1	5067368,7	239,3	8,0	2/0
B-2	19.5.2014.	442652,8	5067379,4	233,6	9,0	0/3
B-3	19.5.2014.	442659,8	5067385,2	230,1	6,0	0/1
B-4	20.5.2014.	442671,0	5067397,2	222,3	5,0	0/0

Laboratorijska ispitivanja tla i stijena uzoraka iz bušotina provedena su u geomehaničkom laboratoriju tvrtke Geokon-Zagreb d.d. u lipnju 2014. godine. Na poremećenim uzorcima tla provedena su klasifikacijska ispitivanja i određivanje granulometrijskog sastava tla. Ispitivanje parametara čvrstoće tla izravnim posmikom sprovedena su na dva uzorka iz bušotine B-1 koji su se nalazili na dubinama (2,7-3,0 m i 6,0-6,3 m) (Slika 8). Inženjerskogeološki profili bušenja izrađeni su za bušotine B-1, B-2, B-3 i B-4 (Tablica 2), (Tablica 3), (Tablica 4) i (Tablica 5).

Parametri temeljnog tla koji su potrebni za analize stabilnosti i dimenzioniranje konstrukcija dobiveni su na temelju rezultata geotehničkih istraživanja i usporedivog iskustva o parametrima materijala u pokrivaču i stijenske mase u podlozi na sličnim materijalima sa susjednim lokacijama.



Slika 9. Jezgra bušotine B-1 (Geotehnički elaborat, 2014)

Tablica 2. Inženjerskogeološki profil bušotine B-1

NADM. VISINA (m)	DUBINA (m)	JEZGRA (%)	IG SIMBOL	GOMEH. SIMBOL	INŽENJERSKOGEOLOŠKI OPIS INŽENJERSKOGEOLOŠKA KLASIFIKACIJA	
239	1,00	70% ↑ *			Nasip: mješavina sitnozrnastog tla i krupnozrnastog tla s blokovima veličine preko profila bušenja, sive boje.	001-Qut
238	2,25	100% *		CL	GLINA NISKE PLASTIČNOSTI: oko 95% sitnozrnastog tla, niske plastičnosti, niske žilavosti; oko 5% pjeska; plastične do tvrde konzistencije, homogena, tamno žučkasto smeđe boje.	021-Qet
237	2,25	100% *		CL	GLINA VISOKE PLASTIČNOSTI: oko 100% sitnozrnastog tla, visoke plastičnosti, visoke žilavosti; tragovi šljunka i pjeska; tvrde do vrlo tvrde konzistencije, homogena (laminirana), vlažna, žuto sive boje do svjetlo sive boje, 5,00-6,50 m lamine crvene boje.	121-Q1
236						
235						
234						
233						
232	7,15	100% *		CH	ŠLJUNKOVITA GLINA: oko 60% sitnozrnatog tla, srednje plastičnosti, srednje žilavosti; oko 30% šljunka, maks. vel. 3 cm, okrugli, zaobljeni; oko 10% pjeska; tvrde do vrlo tvrde konzistencije, heterogena, vlažna, tamno žučkasto narančaste boje u izmjenama s bijelom do sivom bojom; nema reakcije sa HCl-om.	122-Q1
	8,0	100% ↓		CL		

B-2



Slika 10. Jezgra bušotine B-2 (Geotehnički elaborat, 2014)

Tablica 3. Inženjerskogeološki profil bušotine B-2

NADM. VISINA (m)	DUBINA (m)	JEZGRA (%)	IG SIMBOL	GEOMEH. SIMBOL	INŽENJERSKOGEOLOŠKI OPIS INŽENJERSKOGEOLOŠKA KLASIFIKACIJA	
0,50					Nasip: mješavina sitnozrnastog tla i krupnozrnastog tla, s blokovima asfalta veličine preko profila bušenja, tamno sive boje.	002a
233					GLINA S PIJESKOM: oko 75% sitnozrnastog tla, srednje plastičnosti, srednje žilavost; oko 15% pijeska; oko 10% trošnog šljunka, maks. vel. 3cm, poluuuglatog, aluvijalnog porijekla; homogena, vlažna, tamno žučkasto narančaste boje s izmenama bijedo maslinaste boje; nema reakcije sa HCl-om.	
232						
2,30				CL	PJESKOVITA GLINA SA ŠLJUNKOM: oko 50% sitnozrnatog tla, niska plastičnost, niska žilavost; oko 35% pijeska; oko 15% šljunka, zaobljen do poluuuglati, maks. vel. 3 cm; tvrde konzistencije, homogena, vlažna, tamno žučkasto narančaste do srednje žučkasto smeđe boje.	002B-Qka
231				CL		
3,10					PJESKOVITA GLINA SA ŠLJUNKOM: oko 50% sitnozrnatog tla, niska plastičnost, niska žilavost; oko 35% pijeska; oko 15% šljunka, zaobljen do poluuuglati, maks. vel. 3 cm; tvrde konzistencije, homogena, vlažna, tamno žučkasto narančaste do srednje žučkasto smeđe boje.	
230						
229						
228						
227	6,75			CL	GLINOVITI PIJESAK: oko 80% uglavnom sitnog pijeska; oko 20% sitnozrnatog tla niske plastičnosti; tragovi šljunka; žučkasto narančaste boje.	122-Q1
226	7,75			SC	PJESKOVITA GLINA SA ŠLJUNKOM: oko 50% sitnozrnatog tla, niska plastičnost, niska žilavost; oko 35% pijeska; oko 15% šljunka, zaobljen do poluuuglati, maks. vel. 3 cm; tvrde konzistencije, homogena, vlažna, tamno žučkasto narančaste do srednje žučkasto smeđe boje.	123-Q1
8,30				CL		
225	8,30				GLINOVITI ŠLJUNAK S PIJESKOM: oko 40% sitnog do krupnog šljunka, čvrst, zaobljen do poluuuglati; oko 30% sitnog pijeska; oko 30% sitnozrnatog tla niske plastičnosti, tamno žučkasto narančaste do srednje žučkasto smeđe boje.	123-Q1
9,00				GC		122

B-3



Slika 11. Jezgra bušotine B-3 (Geotehnički elaborat, 2014)

Tablica 4. Inženjerskogeološki profil bušotine B-3

NADM. VISINA (m)	DUBINA (m)	JEZGRA (%)	IG SIMBOL	GEOMEH. SIMBOL	INŽENJERSKOGEOLOŠKI OPIS INŽENJERSKOGEOLOŠKA KLASIFIKACIJA	
230	0,90	90% →		MH/CL	HUMUS GLINOVITI PRAH: 100% sitnozrnatog tla, niske plastičnosti, srednje žilavosti; oko 5% šljunka; plastične konzistencije, heterogeno, tamno žućkasto narančaste do srednje žućkasto smeđe boje.	002b-Qka
229		*		ML	PRAH SA ŠLJUNKOM: oko 80% sitnozmatog tla, niske plastičnosti, srednje žilavosti, oko 20% šljunka, maks. vel. 3 cm, uglati; plastične do meke konzistencije, heterogen, smeđe boje.	
228	2,50	*		ML	PRAH SA ŠLJUNKOM: oko 80% sitnozmatog tla, srednje žilavosti, srednje plastičnosti; oko 20% šljunka, maks. vel. 3 cm, zaobljen do poluuuglat; meke konzistencije, heterogen, smeđe boje. Na 2,4 m i 2,9 m proslojak s korjenjem.	002c-Qka
227	3,30	90% *		ML	GLINA SA ŠLJUNKOM: oko 70% sitnozrnatog tla, niske plastičnosti, srednje žilavosti; oko 30% šljunka, maks. vel. 3 cm; tragovi pjeska; plastične konzistencije, heterogena, izmjena smeđe i srednje žućkasto smeđe boje. Intervali od 4,8-5,1 m i 5,6-5,9 m sadrže veći udio pjeska.	122-Q1
226				CL		
225						
224	6,00	↓				

B-4



Slika 12. Jezgra bušotine B-4 (Geotehnički elaborat, 2014)

Tablica 5. Inženjerskogeološki profil bušotine B-4

NADM. VISINA (m)	DUBINA (m)	JEZGRA (%)	IG SIMBOL	GEOMEH. SIMBOL	INŽENJERSKOGEOLOŠKI OPIS INŽENJERSKOGEOLOŠKA KLASIFIKACIJA	
222						
221						
220						
219	2,80	90%	CH		GLINA SA ŠLJUNKOM: oko 80% sitnozrnatog tla, visoke plastičnosti, niske žilavosti, oko 20% sitnog do krupnog šljunka, čvrsti, zaobljen do polugušči, maks. vel. 2 cm; meke konzistencije, homogena, vlažna, smeđe boje.	002c-Qka
218	5,00	70%	GC		ŠLJUNKOVITA GLINA S PIJESKOM: oko 50% sitnozrnatog tla, niske plastičnosti, niske žilavosti, oko 30% šljunka maks. vel. 3 cm zaobljen do polugušči; oko 20% pijeska; tvrde konzistencije, homogena, vlažna, tamno žučkasto narančaste do srednje žučkasto smeđe boje.	122-Q1

3.2 Rezultati laboratorijskih ispitivanja

Određivanje vlažnosti uzorka tla provedeno je za bušotine B-1 i B-3, na dvije različite dubine za svaku od bušotina (Tablica 6).

Tablica 6. Izvještaj određivanja vlažnosti uzorka tla (Geokon-Zagreb, 2014)

Objekt: Klizište			
Oznaka bušotine/jame/stacionaže: S-050-14-01 (B-1)			
Oznaka ispitivanja: S-050-14-01-02-1-01	Norma: HRN U.B1 012 (1979)	Dubina (m): 6,00-6,30	Datum zaprimanja uzorka: 18.6.2014 Datum ispitivanja uzorka: 19.6.2014
Masa posude (g): 34,86	Masa vlažna (g): 187,07	Masa suha (g): 154,88	Vlažnost (%): 26,82
Oznaka ispitivanja: S-050-14-01-04-1-01	Norma: HRN U.B1 012 (1979)	Dubina (m): 2,70-3,00	Datum zaprimanja uzorka: 18.6.2014 Datum ispitivanja uzorka: 19.6.2014
Masa posude (g): 35,99	Masa vlažna (g): 194,34	Masa suha (g): 165,38	Vlažnost (%): 22,38
Oznaka bušotine/jame/stacionaže: S-050-14-03 (B-3)			
Oznaka ispitivanja: S-050-14-03-01-1-01	Norma: HRN U.B1 012 (1979)	Dubina (m): 1,70-1,90	Datum zaprimanja uzorka: 18.6.2014 Datum ispitivanja uzorka: 19.6.2014
Masa posude (g): 34,79	Masa vlažna (g): 190,62	Masa suha (g): 162,24	Vlažnost (%): 22,27
Oznaka ispitivanja: S-050-14-03-02-1-01	Norma: HRN U.B1 012 (1979)	Dubina (m): 4,40-4,50	Datum zaprimanja uzorka: 18.6.2014 Datum ispitivanja uzorka: 19.6.2014
Masa posude (g): 33,74	Masa vlažna (g): 183,57	Masa suha (g): 151,00	Vlažnost (%): 27,78

Određivanje specifične težine uzorka tla provedeno je za bušotine B-1 i B-3, na dvije različite dubine za svaku od bušotina (Tablica 7).

Tablica 7. Izvještaj određivanja specifične težine uzorka tla (Geokon-Zagreb, 2014)

Objekt: Kliziste			
Oznaka bušotine/jame/stacionaže: S-050-14-01 (B-1)			
Oznaka ispitivanja: S-050-14-01-02-1-02	Norma: HRN U.B1 014 (1988)	Dubina (m): 6,00-6,30	Datum zaprimanja uzorka: 23.6.2014 Datum ispitivanja uzorka: 26.6.2014
			Dmax (mm): Specifična (g/cm³): 2,65
Napomena:			
Oznaka ispitivanja: S-050-14-01-04-1-02	Norma: HRN U.B1 014 (1988)	Dubina (m): 2,70-3,00	Datum zaprimanja uzorka: 23.6.2014 Datum ispitivanja uzorka: 26.6.2014
			Dmax (mm): Specifična (g/cm³): 2,67
Napomena:			
Oznaka bušotine/jame/stacionaže: S-050-14-03 (B-3)			
Oznaka ispitivanja: S-050-14-03-01-1-02	Norma: HRN U.B1 014 (1988)	Dubina (m): 1,70-1,90	Datum zaprimanja uzorka: 23.6.2014 Datum ispitivanja uzorka: 26.6.2014
			Dmax (mm): Specifična (g/cm³): 2,68
Napomena:			
Oznaka ispitivanja: S-050-14-03-02-1-02	Norma: HRN U.B1 014 (1988)	Dubina (m): 4,40-4,50	Datum zaprimanja uzorka: 23.6.2014 Datum ispitivanja uzorka: 26.6.2014
			Dmax (mm): Specifična (g/cm³): 2,64
Napomena:			

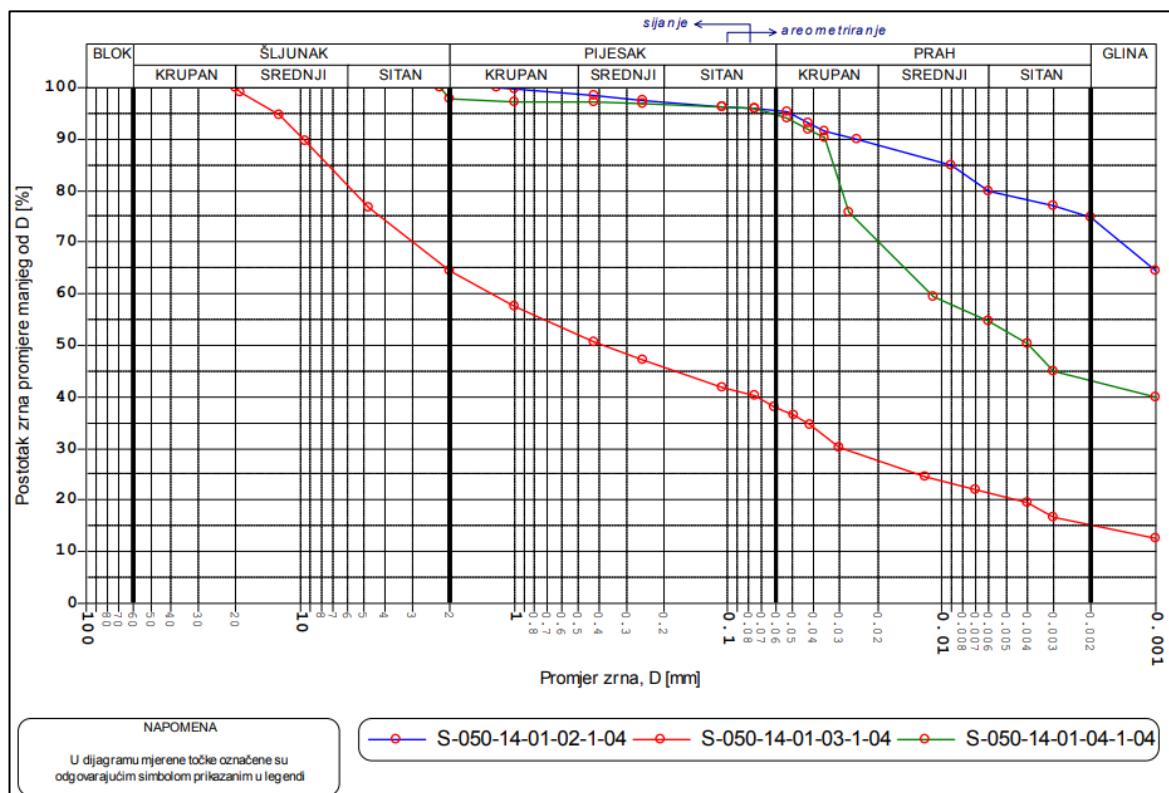
Određivanje zapreminske težine uzorka tla provedeno je za bušotine B-1 i B-3, na dvije različite dubine za svaku od bušotina (Tablica 8).

Tablica 8. Izvještaj određivanja zapreminske težine uzorka tla (Geokon-Zagreb, 2014)

Objekt: Kliziste			
Oznaka bušotine/jame/stacionaže: S-050-14-01 (B-1)			
Oznaka ispitivanja: S-050-14-01-02-1-03	Norma: HRN U.B1 016 (1968)	Dubina (m): 6,00-6,30	Datum zaprimanja uzorka: 23.6.2014 Datum ispitivanja uzorka: 23.6.2014
Zapreminska vlažna (g/cm ³): 1,97	Zapreminska suha (g/cm ³): 1,55		
Oznaka ispitivanja: S-050-14-01-04-1-03 Norma: HRN U.B1 016 (1968)			Datum ispitivanja uzorka: 23.6.2014
Dubina (m): 2,70-3,00	Datum zaprimanja uzorka: 23.6.2014		
Zapreminska vlažna (g/cm ³): 2,05	Zapreminska suha (g/cm ³): 1,68		
Oznaka bušotine/jame/stacionaže: S-050-14-03 (B-3)			
Oznaka ispitivanja: S-050-14-03-01-1-03	Norma: HRN U.B1 016 (1968)	Dubina (m): 1,70-1,90	Datum ispitivanja uzorka: 23.6.2014
Zapreminska vlažna (g/cm ³): 2,02	Zapreminska suha (g/cm ³): 1,65		
Oznaka ispitivanja: S-050-14-03-02-1-03 Norma: HRN U.B1 016 (1968)			Datum ispitivanja uzorka: 23.6.2014
Dubina (m): 4,40-4,50	Datum zaprimanja uzorka: 23.6.2014		
Zapreminska vlažna (g/cm ³): 1,94	Zapreminska suha (g/cm ³): 1,52		

Određivanje granulometrijskog sastava tla provedeno je za bušotinu B-1 (Tablica 9), a detalj sastava dat je u tablici ispod (Tablica 10).

Tablica 9. Izvještaj ispitivanja granulometrijskog sastava tla bušotine B-1 (Geokon-Zagreb, 2014)

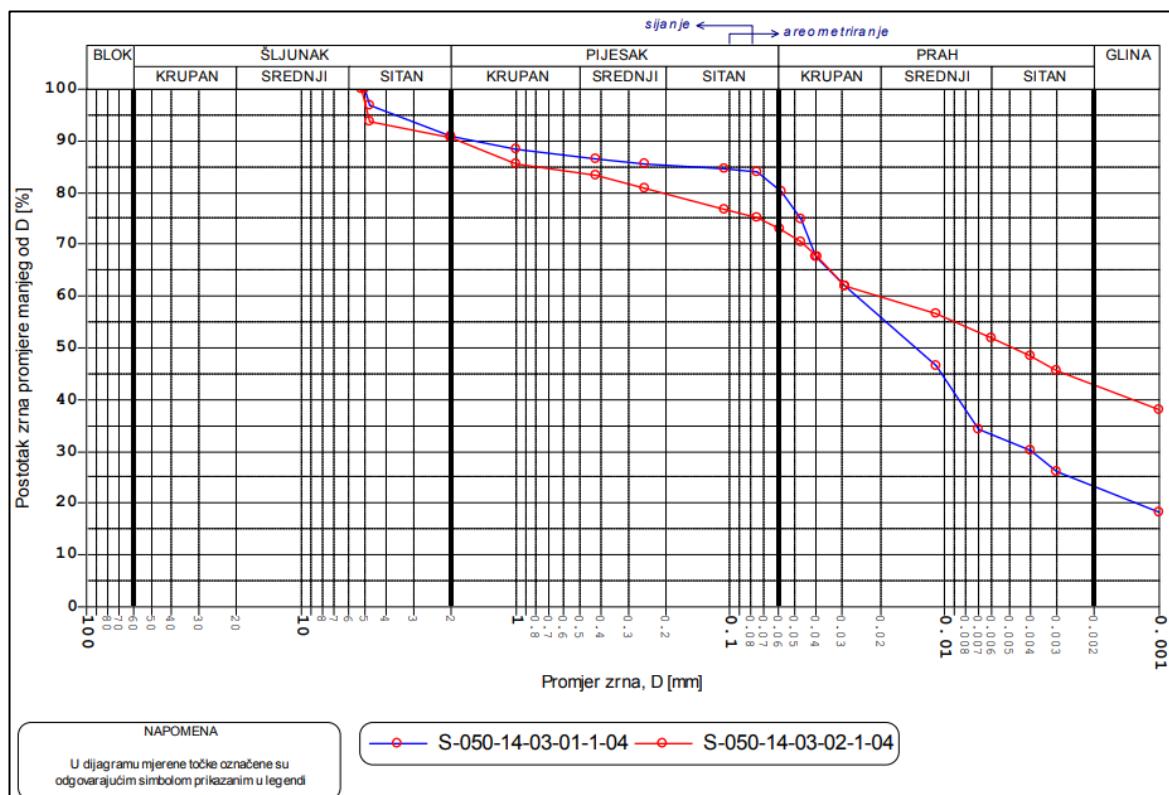


Tablica 10. Granulometrijski sastav tla bušotine B-1 (Geokon-Zagreb, 2014)

poslovni zadatak / pokus	D60	D30	D10	Cu	Cc	G(%)	S(%)	M(%)	C(%)	VDP
S-050-14-01-02-1-04	ništa	ništa	ništa	ništa	ništa	n/a	4,6	20,7	74,7	0,000E+00
S-050-14-01-03-1-04	1,292	0,029	ništa	ništa	ništa	35,6	26,4	23,4	14,6	1,431E-06
S-050-14-01-04-1-04	0,011	ništa	ništa	ništa	ništa	2,1	3,1	52,4	42,4	0,000E+00
opisna oznaka bušotina/jama/stacionaža	dubina / kota (m)	oznaka JLO ispitivanja		Dmax (mm)	oblik zrna	tvrdoća zrna	Gs	uredaj za dispaciju	disp. trajanje (min)	
B-1	6,00-6,30	S-050-14-01-02-1-04		1,2	oblo	tvrdo i postojano	2,74	mješalica	15	
B-1	7,20-7,35	S-050-14-01-03-1-04		20,0	oštro	tvrdo i postojano	2,73		0	
B-1	2,70-3,00	S-050-14-01-04-1-04		2,2	oblo	mekano	2,76	mješalica	15	

Određivanje granulometrijskog sastava tla provedeno je za bušotinu B-3 (Tablica 11), a detalj sastava dat je u tablici ispod (Tablica 12).

Tablica 11. Izvještaj ispitivanja granulometrijskog sastava bušotine B-3 (Geokon-Zagreb, 2014)

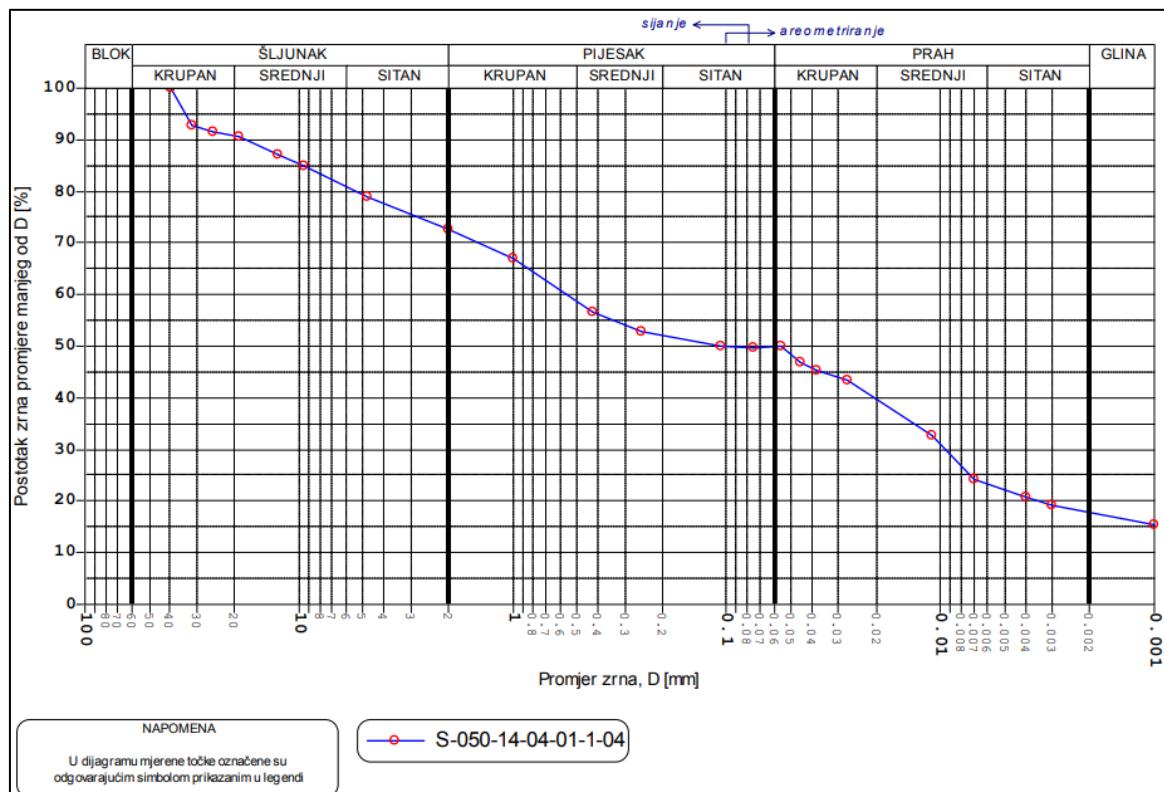


Tablica 12. Granulometrijski sastav tla bušotine B-3 (Geokon-Zagreb, 2014)

poslovni zadatak / pokus	D60	D30	D10	Cu	Cc	G(%)	S(%)	M(%)	C(%)	VDP
S-050-14-03-01-1-04	0,026	0,004	ništa	ništa	ništa	9,2	10,1	58,5	22,2	7,986E-08
S-050-14-03-02-1-04	0,021	ništa	ništa	ništa	ništa	9,4	17,6	31,1	41,9	0.000E+00
opisna oznaka bušotina/jama/stacionaža	dubina / kota (m)	oznaka JLO ispitivanja	Dmax (mm)	oblik zrna	tvrdća zrna	Gs	uređaj za dispaciju	disp. trajanje (min)		
B-3	1,70-1,90	S-050-14-03-01-1-04	5,0	oblo	tvrdi i postojano	2,75	mješalica	15		
B-3	4,40-4,50	S-050-14-03-02-1-04	5,2	oblo	tvrdi i postojano	2,78	mješalica	15		

Određivanje granulometrijskog sastava tla provedeno je za bušotinu B-4 (Tablica 13), a detalj sastava dat je u tablici ispod (Tablica 14).

Tablica 13. Izvještaj ispitivanja granulometrijskog sastava bušotine B-4 (Geokon-Zagreb, 2014)

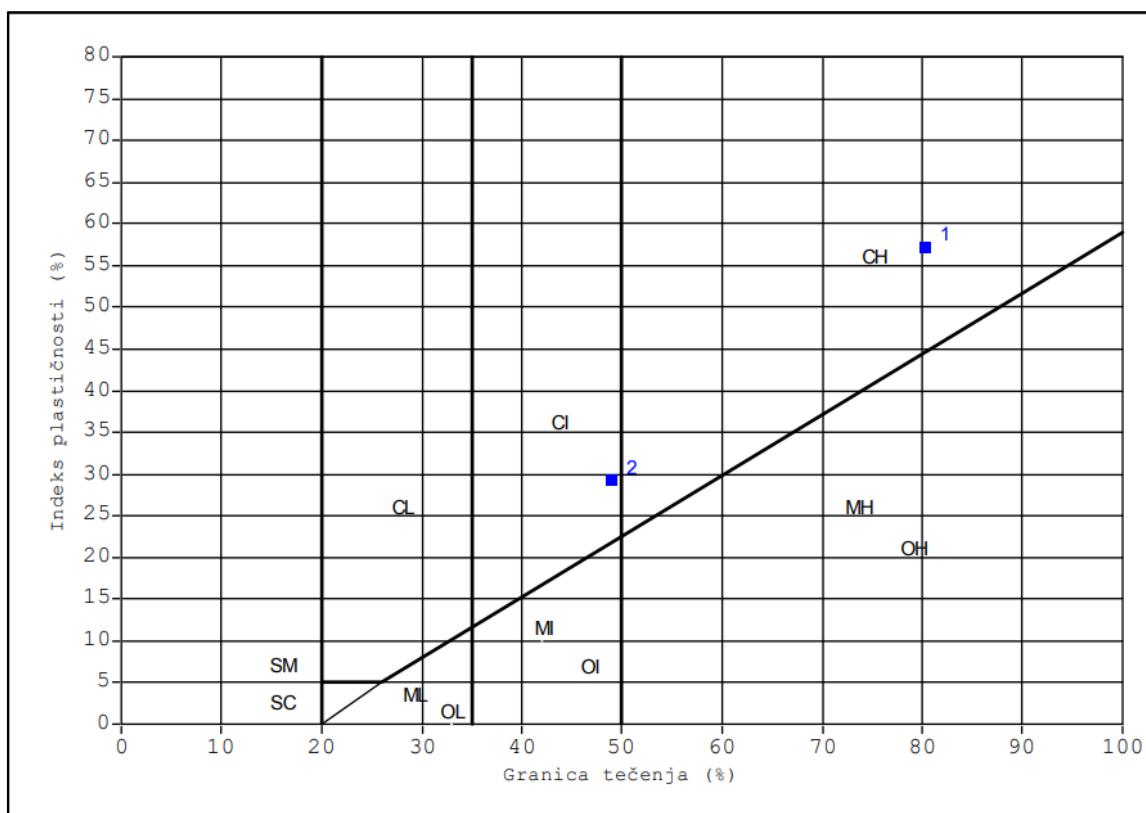


Tablica 14. Granulometrijski sastav tla bušotine B-4 (Geokon-Zagreb, 2014)

poslovni zadatak / pokus	D60	D30	D10	Cu	Cc	G(%)	S(%)	M(%)	C(%)	VDP
S-050-14-04-01-1-04	0,562	0,009	ništa	ništa	ništa	27,5	22,7	32,5	17,4	7,963E-07
opisna oznaka bušotina/jama/stacionaža	dubina / kota (m)	oznaka JLO ispitivanja	Dmax (mm)	oblik zrna	tvrdoča zrna	Gs	uredaj za dispaciju	disp. trajanje (min)		
B-4	4,20-4,30	S-050-14-04-01-1-04	39,3	oštro	tvrdo i postojano	2,79	mješalica	15		

Određivanje konzistentnih stanja (Atterbergovih granica) provedeno je za bušotinu B-1 na dvije različite dubine (Tablica 15) te su detalji dati u tablici ispod (Tablica 16).

Tablica 15. Izvještaj određivanja konzistentnih stanja (Atterbergove granice) za bušotinu B-1 (Geokon-Zagreb, 2014)



Tablica 16. Određivanje konzistentnih stanja bušotine B-1 (Geokon-Zagreb, 2014)

LEGENDA:

CH - Gлина anorganska visoke plastičnosti

CL - Gлина anorganska visoke plastičnosti

OI - Glina organska srednje plastičnosti

OS - % ostatka na situ No.40(0,425mm) %

rv - ručno rolani valičići **mv** - mehanički

IV - ručno rotacijská valjacia

MH - Prah visoke plastičnosti **CI** - Glina anorganska srednje plastičnosti

ML - Prah niske plastičnosti **OH** - Glina organska visoke plastičnosti

ME - Glini niske plastičnosti **CH** - Glini organska visoke plastičnosti
SC - Zaglinjeni pijesak **OL** - Glini organska niske plastičnosti

pv - priprema u prirodno vlažnom stanju **ps** - priprema u suhom stanju

pv - priprema u prirodno vlažnom stanju
rolani valičići **ru** - ručni casaq, uređaj

rolani valjciči **fu** - ruchi casag. uređaj **mu** - mehanicki casag. uređ

i MI - Prah srednje plastičnosti

SM - Prašinasti pjesak

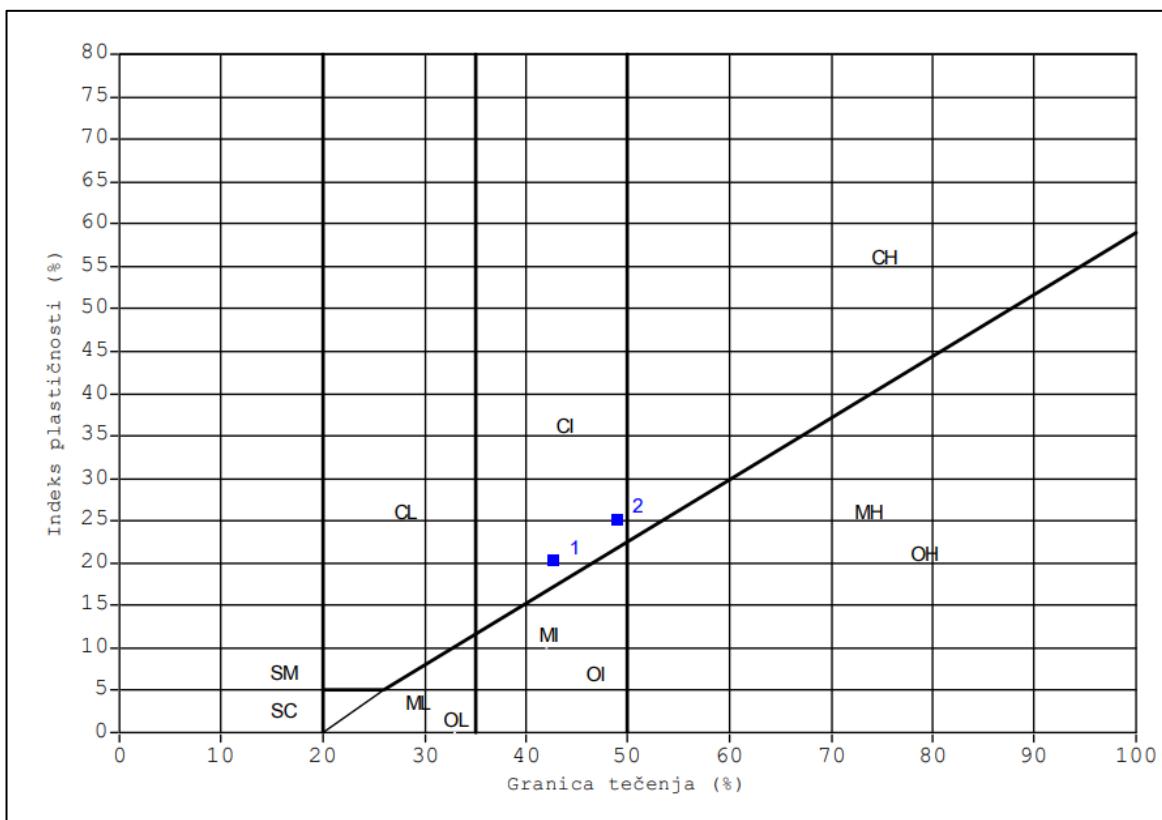
SM - Finansasti pjesak

nju

10

Određivanje konzistentnih stanja (Atterbergovih granica) provedeno je za bušotinu B-3 na dvije različite dubine (Tablica 17) te su detalji dati u tablici ispod (Tablica 18).

Tablica 17. Izvještaj određivanja konzistentnih stanja (Atterbergove granice) za bušotinu B-3 (Geokon-Zagreb, 2014)



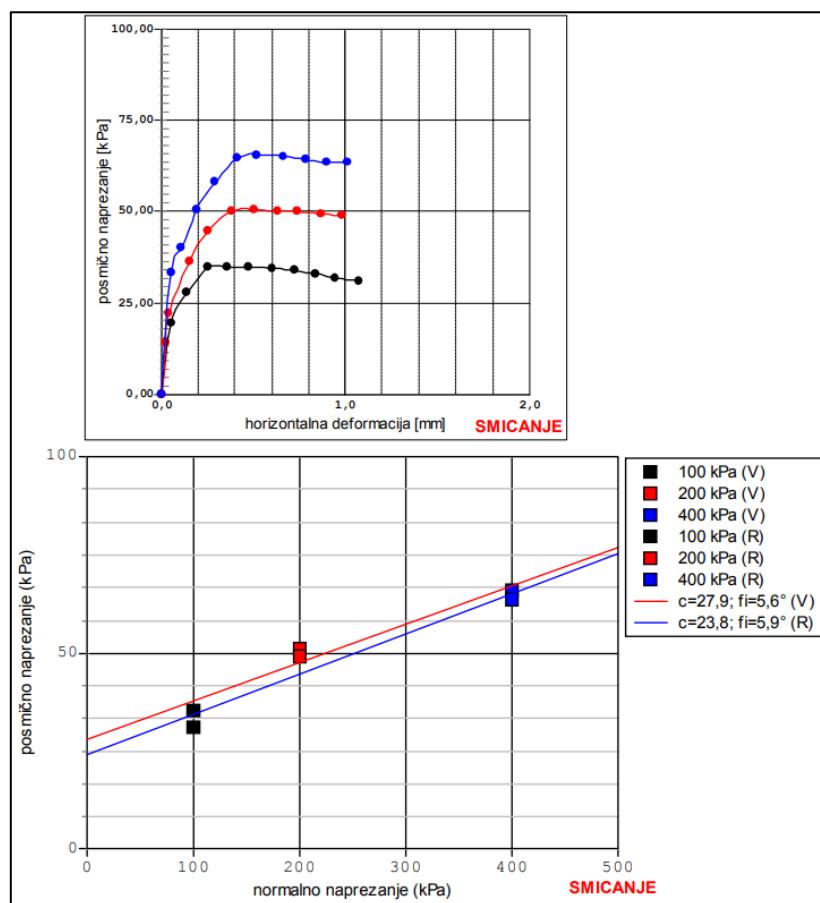
Tablica 18. Određivanje konzistentnih stanja bušotine B-3 (Geokon-Zagreb, 2014)

Određivanje čvrstoće tla uređajem za direktni posmik rađeno je za buštinu B-1 na dvije različite dubine (Tablica 20) i (Tablica 22). Dubine za koje se vršilo ispitivanje su 6,00-6,30 m (Tablica 20) i 2,70-3,00 m (Tablica 22). Detalji ispitivanja priloženi su u tablicama ispod (Tablica 19) za dubinu 6,00-6,30 m i (Tablica 21) za dubinu 2,70-3,00 m.

Tablica 19. Izvještaj određivanja čvrstoće tla izravnim smicanjem za uzorak gline narančasto-sive boje iz bušotine B-1 (Geokon-Zagreb, 2014)

Objekt: Klizište	Oznaka bušotine/jame/stacionaže: B-1	Oznaka ispitivanja: S-050-14-01-02-1-06	Oznaka seta: S-DS-03	Datum ispitivanja: 1.7.2014
Vrsta uzorka: neporemećen	Opis materijala: Glini narađasto-sive boje			
Wp: 22,89	WL: 80,15	Simbol klasifikacije: CH	G: n/a	S: n/a
Napomena:			M: n/a	C: n/a
točka	σ_v (kPa)	w (%) poč.stanje/konač.stanje	ρ/ρ_d (g/cm ³) poč.stanje	ρ/ρ_d (g/cm ³) konač.stanje
1	100	27,3 / 31,6	1,98 / 1,51	2,02 / 1,54
2	200	27,3 / 30,0	1,99 / 1,53	2,06 / 1,59
3	400	27,3 / 29,7	1,99 / 1,53	2,09 / 1,61
početna visina / širina (mm)			uzorak potopljen/ako DA σ_v (kPa)	
			DA/100	
			DA/200	
			DA/400	
točka	brzina smicanja (mm/min)	σ_v (kPa)	τ_1 (kPa)	horiz. def. pri slomu (mm)
1	0,06	100	35,3	0,3
2	0,06	200	50,9	0,43
3	0,06	400	65,8	0,48

Tablica 20. Izvještaj određivanja čvrstoće tla izravnim smicanjem za uzorak gline narančasto-sive boje iz bušotine B-1 (Geokon-Zagreb, 2014)



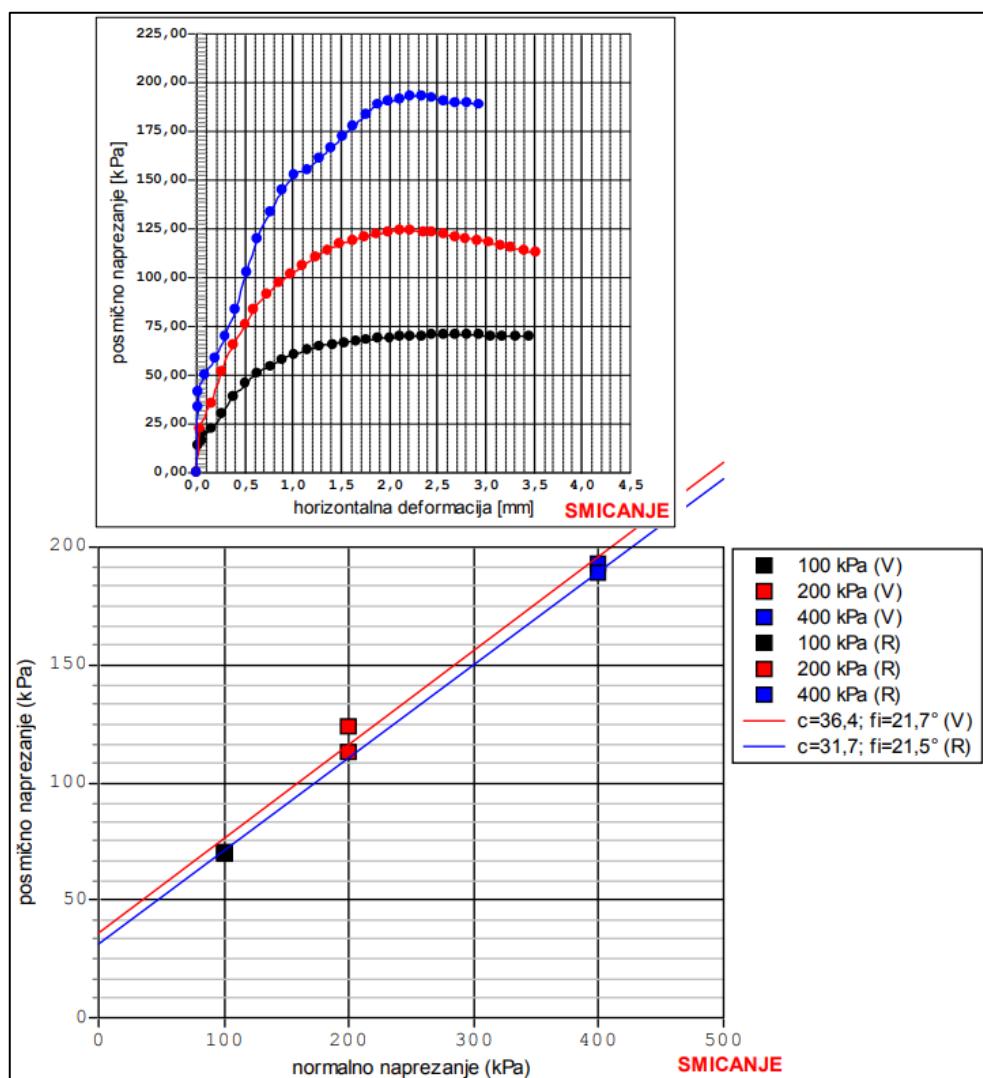
Tablica 21. Izvještaj određivanja čvrstoće tla izravnim smicanjem za uzorak gline smeđe boje sa sivim proslojcima i oksidima iz bušotine B-1 (Geokon-Zagreb, 2014)

Objekt: Klizište	Oznaka bušotine/jame/stacionaže: B-1	Dubina: 2,70-3,00
Oznaka ispitivanja: S-050-14-01-04-1-06	Oznaka seta: S-DS-03	Datum ispitivanja: 2.7.2014
Vrsta uzorka: neporemećen	Opis materijala: Gлина смеђе боје, сиви прослојци, оксиди	
Wp: 19,63	Symbol klasifikacije: CI	G: n/a
WL: 48,84		S: n/a
Napomena:		M: n/a
		C: n/a

točka	σ_v (kPa)	w (%) poč. stanje/ konač. stanje	p/p_d (g/cm ³) poč. stanje	p/p_d (g/cm ³) konač. stanje	početna visina / širina (mm)	uzorak potopljen/ ako DA σ_v (kPa)
1	100	24,1 / 26,0	2,02 / 1,60	2,07 / 1,65	22,5 / 60,0	DA/100
2	200	24,1 / 25,6	2,01 / 1,60	2,14 / 1,71	22,7 / 60,0	DA/200
3	400	24,1 / 23,6	2,02 / 1,63	2,24 / 1,81	22,6 / 60,0	DA/400

točka	brzina smicanja (mm/min)	σ_v (kPa)	τ_1 (kPa)	horiz. def. pri slomu (mm)
1	0,06	100	70,9	2,82
2	0,06	200	124,3	2,18
3	0,06	400	193,2	2,27

Tablica 22. Izvještaj određivanja čvrstoće tla izravnim smicanjem za uzorak gline smeđe boje sa sivim proslojcima i oksidima iz bušotine B-1 (Geokon-Zagreb, 2014)



Vlažnost, specifične težine, zapreminske težine, granulometrijski sastav i granice plastičnosti ispitivanih materijala uzoraka dobivene su za bušotine B-1, B-3 i B-4 te su prikazane u obliku tablice fizikalnih svojstava materijala priložene ispod (Tablica 23). Dubine ispitivanih uzoraka iz bušotina također su navedene u tablici koja je priložena ispod (Tablica 23).

Tablica 23. Fizikalna svojstva materijala iz bušotina B-1, B-3 i B-4 (Geokon-Zagreb, 2014)

NARUČITELJEVA OZNAKA UZORKA	OZNAKA UZORKA	DUBINA	PRIRODNA VLAGA	SPECIFIČNA TEŽINA	ZAPREMINSKA TEŽINA	GRANULOMETRIJSKI SASTAV					GRANICE PLASTIČNOSTI		INDEKS PLASTIČ- NOSTI	INDEKS KONZISTEN- CIJE	SIMBOL	
		m	w [%]	gs [g/cm³]	gd [g/cm³]	gw [g/cm³]	G [%]	S [%]	M [%]	C [%]	M + C [%]	wL [%]	wP [%]	IP [%]	Ic	
B-1	S-050-14-01-02	6,00-6,30	26,82	2,65	1,55	1,97		4,60	20,70	74,70		80,15	22,89	57,26	0,93	CH
B-1	S-050-14-01-03	7,20-7,35					35,60	26,40	23,40	14,60						
B-1	S-050-14-01-04	2,70-3,00	22,38	2,67	1,68	2,05	2,10	3,10	52,40	42,40		48,84	19,63	29,21	0,91	CI
B-3	S-050-14-03-01	1,70-1,90	22,27	2,68	1,65	2,02	9,20	10,10	58,50	22,20		42,57	22,15	20,42	0,99	CI
B-3	S-050-14-03-02	4,40-4,50	27,78	2,64	1,52	1,94	9,40	17,60	31,10	41,90		48,77	23,43	25,34	0,83	CI
B-4	S-050-14-04-01	4,20-4,30					27,50	22,70	32,50	17,40						

Kohezija i kut unutarnjeg trenja materijala dobiveni su za bušotinu B-1 na dvije različite dubine i priloženi su u tablici mehaničkih svojstava materijala iz bušotine B-1 (Tablica 24).

Tablica 24. Mehanička svojstva materijala iz bušotine B-1 (Geokon-Zagreb, 2014)

NARUČITELJEVA OZNAKA UZORKA	OZNAKA UZORKA	DUBINA	DIREKTNO SMICANJE				PRITISNA ČVRSTOĆA	STIŠLJIVOSTI TLA				VDP IZ STIŠLJIVOSTI				PROCTOROV POKUS	SIMBOL
			STANDARDNO		REVERSNO			σ_{50}	σ_{100}	σ_{200}	σ_{400}	σ_{100}	σ_{200}	σ_{400}			
			m	c [kPa]	ϕ [°]	c [kPa]	ϕ [°]										
B-1	S-050-14-01-02	6,00-6,30	27,9	5,60													CH
B-1	S-050-14-01-04	2,70-3,00	36,40	21,70													CI

4. ANALIZE STABILNOSTI

4.1 Povratne analize stabilnosti – postojeće stanje

Povratne analize stabilnosti su one koje služe utvrđivanju parametara materijala kada je klizište nastalo. Nakon što su se proveli geotehnički istražni radovi, utvrdili inženjerskogeološki i geotehnički profili na lokaciji klizišta, pristupilo se provođenju geostatičkih analiza stabilnosti padine. Analize su se provodile računalnim programom Slide2 iz računalnog programskog paketa Rocscience. Proračuni stabilnosti vršeni su po Bishopu i Spenceru za kružnu kliznu plohu.

Povratne geostatičke analize rađene su sa parametrima tla za stanje padine koje je prethodilo klizanju prema podacima u presjeku 1-1:

Materijal 1

Nasip:

Model: Mohr-Coulomb

Jedinična težina: 19 kN/m³

Kohezija: 0 kN/m²

Kut unutarnjeg trenja: 35°

Materijal 2

Trošni sediment:

Model: Mohr-Coulomb

Jedinična težina: 20 kN/m³

Kohezija: 2 kN/m²

Kut unutarnjeg trenja: 18°

Materijal 3

Slabo trošni sediment, CH:

Model: Mohr-Coulomb

Jedinična težina: 20 kN/m³

Kohezija: 4 kN/m²

Kut unutarnjeg trenja: 20°

Materijal 4

Slabo trošni sediment, CL:

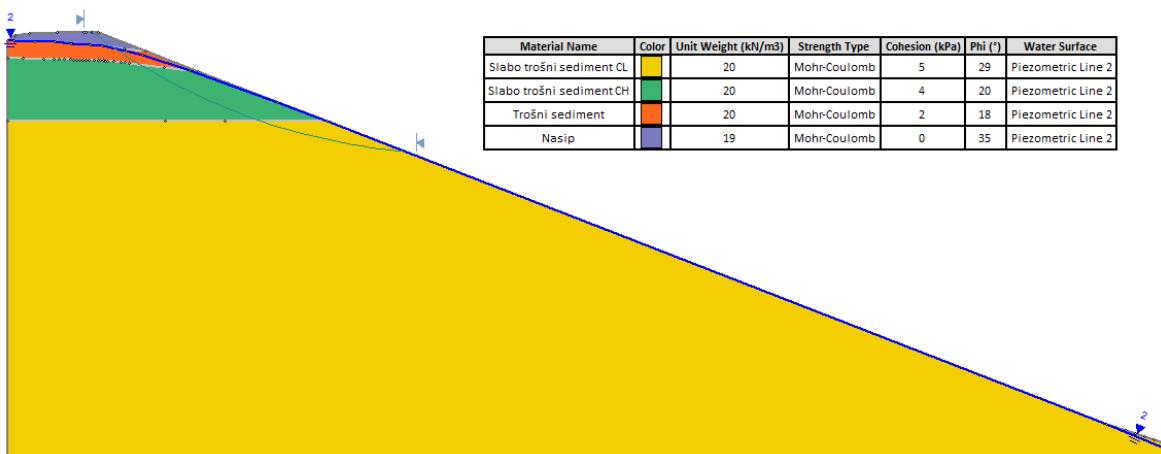
Model: Mohr-Coulomb

Jedinična težina: 20 kN/m³

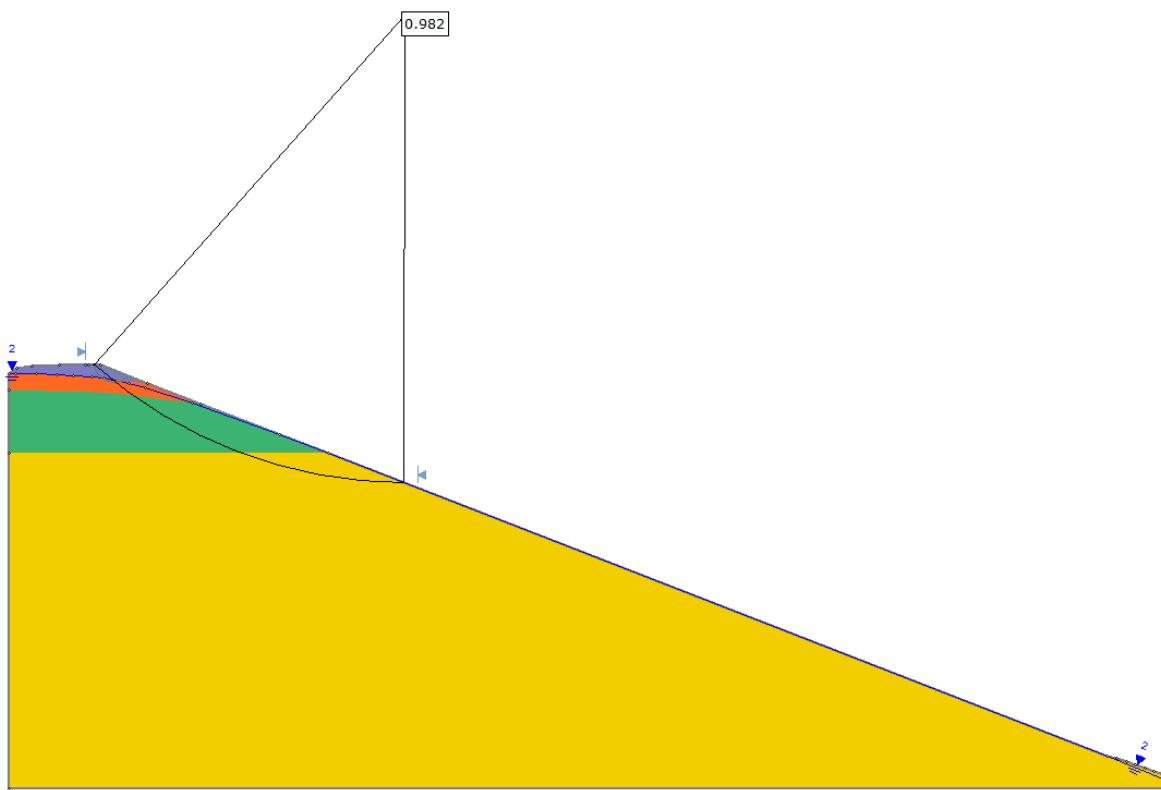
Kohezija: 5 kN/m²

Kut unutarnjeg trenja: 29°

Povratne analize stabilnosti rađene su za geometriju kosine i geotehnički model kako je prikazano ispod (Slika 13), dok je na sljedećoj slici (Slika 14) dobivena klizna ploha faktora sigurnosti, $F_s = 0,982$ koji je prešao granicu stabilnosti i došlo je do kretanja materijala u kosini.



Slika 13. Geotehnički model na presjeku 1-1



Slika 14. Klizna ploha na presjeku 1-1

4.2 Analize stabilnosti – sanirano stanje

Izvedbom pilotske stijene i gabionskih zidova u tijelu klizišta pridržan je pokrenuti materijal kliznog tijela. Iza pilotske stijene i iznad klizne mase izведен je zemljani nasip do razine prometnice. Razina podzemne vode pilotske stijene spuštena je pomoću bušenih drenova, nagnutih pod 5° , duljine 10 m. Pilotska stijena pridržana je pomoću geotehničkih sidara duljine 12 mn na razmaku 4 m. Dodatno snižavanje razine podzemne vode cijele padine postiže se sa dodatna tri reda gabionskih zidova u kombinaciji s kopanim drenovima ispred njih u donjem dijelu starog klizišta. Kroz čitavu padinu proteže se sustav drenaže tipa riblja kost.

Povratne geostatičke analize rađene su za sanirano stanje kosine putem sljedećih parametara iz presjeka 1-1:

Materijal 1

Nasip:

Model: Mohr-Coulomb

Jedinična težina: 19 kN/m³

Kohezija: 0 kN/m²

Kut unutarnjeg trenja: 35°

Materijal 2

Trošni sediment:

Model: Mohr-Coulomb

Jedinična težina: 20 kN/m³

Kohezija: 2 kN/m²

Kut unutarnjeg trenja: 18°

Materijal 3

Slabo trošni sediment, CH:

Model: Mohr-Coulomb

Jedinična težina: 20 kN/m³

Kohezija: 4 kN/m²

Kut unutarnjeg trenja: 20°

Materijal 4

Slabo trošni sediment, CL:

Model: Mohr-Coulomb

Jedinična težina: 20 kN/m³

Kohezija: 5 kN/m²

Kut unutarnjeg trenja: 29°

Materijal 5

Zemljani nasip:

Model: Mohr-Coulomb

Jedinična težina: 19 kN/m³

Kohezija: 3 kN/m²

Kut unutarnjeg trenja: 25°

Materijal 6

Gabionski potporni zid:

Model: Mohr-Coulomb

Jedinična težina: 19 kN/m³

Kohezija: 50 kN/m²

Kut unutarnjeg trenja: 45°

Materijal 7

Koluvij:

Model: Mohr-Coulomb

Jedinična težina: 19 kN/m³

Kohezija: 2 kN/m²

Kut unutarnjeg trenja: 25°

Materijal 7

Pilot:

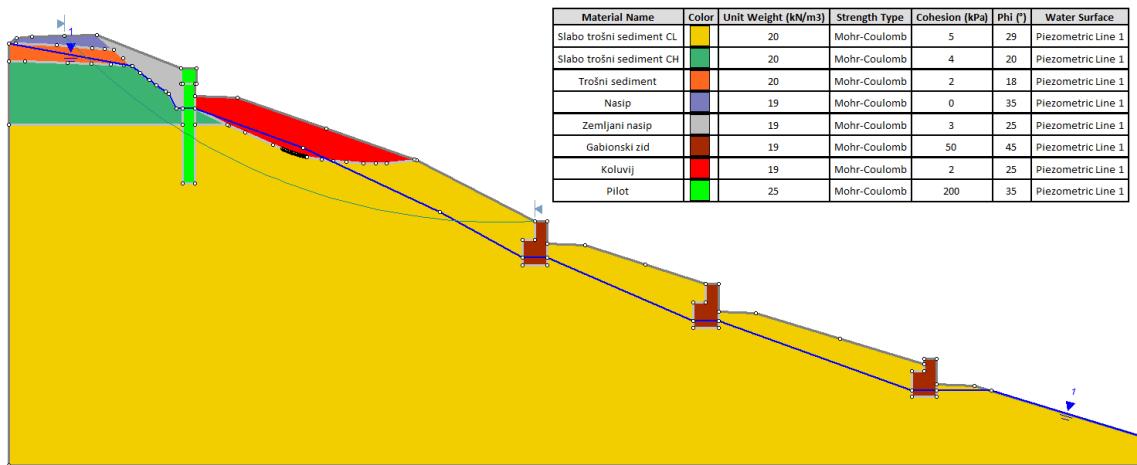
Model: Mohr-Coulomb

Jedinična težina: 25 kN/m³

Kohezija: 200 kN/m²

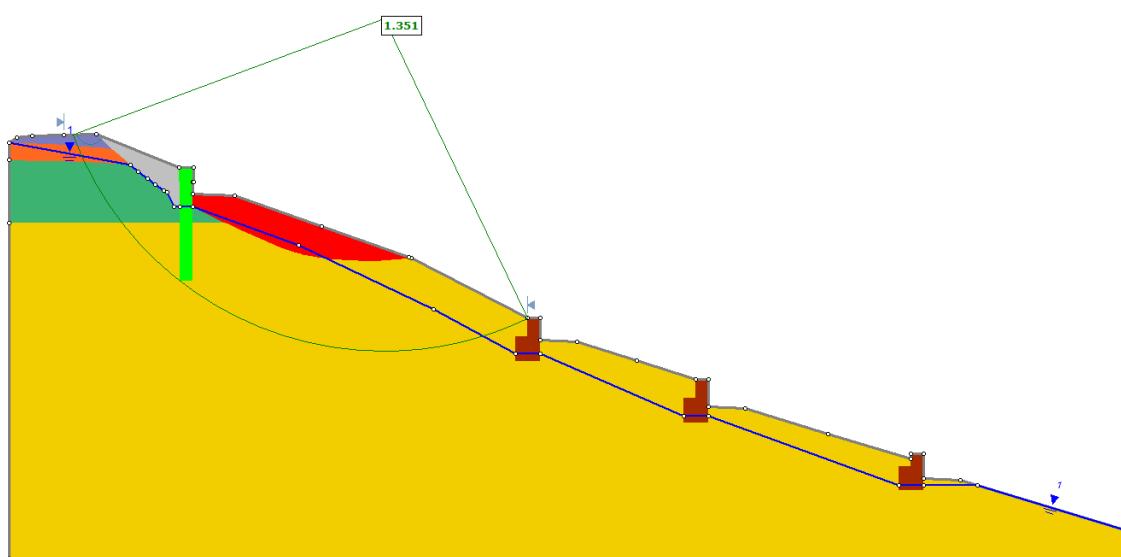
Kut unutarnjeg trenja: 35°

Geotehnički model koji se koristio za proračun na presjeku 1-1 prikazan je niže na slici (Slika 15).



Slika 15. Geotehnički model kosine s mjerama sanacije na presjeku 1-1

Nakon saniranja kosine izvedbom pilotske stijene i gabiona u kombinaciji sa mjerama odvodnje za snižavanje razine podzemne vode, dobio se zadovoljavajući faktor sigurnosti ($F_s=1,351$). Tim faktorom sigurnosti postiže se zaustavljanje daljnog klizanja kosine. Kritična klizna ploha s faktorom sigurnosti priložena je niže (Slika 16).



Slika 16. Kritična klizna ploha za saniranu kosinu na presjeku 1-1

5. ZAKLJUČAK

Klizišta na područjima Žumberačkog i Samoborskog gorja su česta pojava iz razloga složene geološke građe. Na modelu koji se koristio u analizama stabilnosti valja napomenuti kako je kvaliteta stijenskih masa i njihovih parametara čvrstoće bila idealizirana zbog toga što na području obavljanja istražnih radova parametri i kvaliteta mase rastu s dubinom profila, što govori da ti parametri nisu posebno uneseni u model pa globalna stabilnost padine nije bila provjeravana.

Metoda sanacije pilotskom stijenom na mjestu pojave reaktiviranog klizišta bila je odabrana iz razloga što su piloti prikladni za plitka klizišta, a njihova izuzetno visoka čvrstoća dala je garanciju zaštite od narednih pojava klizanja. Pilotska stijena je postavljena na 6 metara dubine u odnosu na liniju klizanja materijala, dok promjer iznosi $\phi 100$ cm što je u analizama stabilnosti dalo zadovoljavajuće faktore sigurnosti. Pilotska stijena pridržana je geotehničkim sidrima duljine 12 m i nosivosti 150 kN na razmaku 4 m. Odvodnja je postignuta pomoću bušenih drenova, duljine 10 m, nagnutih pod 5° .

Sanacija gabionima korisna je kako u pogledu stabilnosti, tako i u estetskom i ekološkom smislu. Odlikuju se svojim poroznim svojstvima, a nakon što prođe određeni vremenski period, kroz gabione raste zelenilo iz pokosa, što daje estetski prirodan izgled.

Klizna ploha koja je dobivena nakon sanacije prolazi nešto dublje u odnosu na onu s početka analize i nesaniranog stanja. Međutim, kako je model idealiziran zbog zahtjevnosti geološke građe terena, prihvatio se odabir takve plohe uz solidan faktor sigurnosti koji bi trebao garantirati stabilnost takve kosine.

Nedavna seizmička dešavanja na teritoriju Republike Hrvatske srećom nisu aktivirala puno klizišta. Razlog tomu je bio period bez oborina, što je držalo razine podzemnih voda u razumnim i sigurnim granicama. Svakako treba pobliže posvetiti pozornost klizištima na područjima oko prostora Grada Zagreba i Sisačko-Moslavačke županije nakon serije potresa.

Klizišta prikazuju razornu moć prirode i izazivaju veliku materijalnu štetu. Kod izrade ovog rada došlo se do zaključka kako je geotehnika prava forenzika i često bude teško predvidjeti kretanje, odnosno ponašanje tla i stijenskih masa.

6. LITERATURA

Arbanas, Ž., Klizište Galgovo-Zagrebačka cesta (Grad Samobor), Glavni geotehnički projekt sanacije, br. 361-03/14-02/17

Arbanas, Ž., Temeljenje I, Građevinski fakultet u Rijeci, n.d.

Cruden, D.M., Bulletin of the international Association of Engineering geology, 43, Paris, 1991.

Google maps,

<https://www.google.com/maps/place/Galgovo/@45.7718528,15.7590789,12.99z/data=!4m6!3m5!1s0x4765cd4858ef1d6f:0xca2bfadabb64a976!8m2!3d45.7438881!4d15.7490112!16s%2Fg%2F121lyydn>, 13.05.2023.

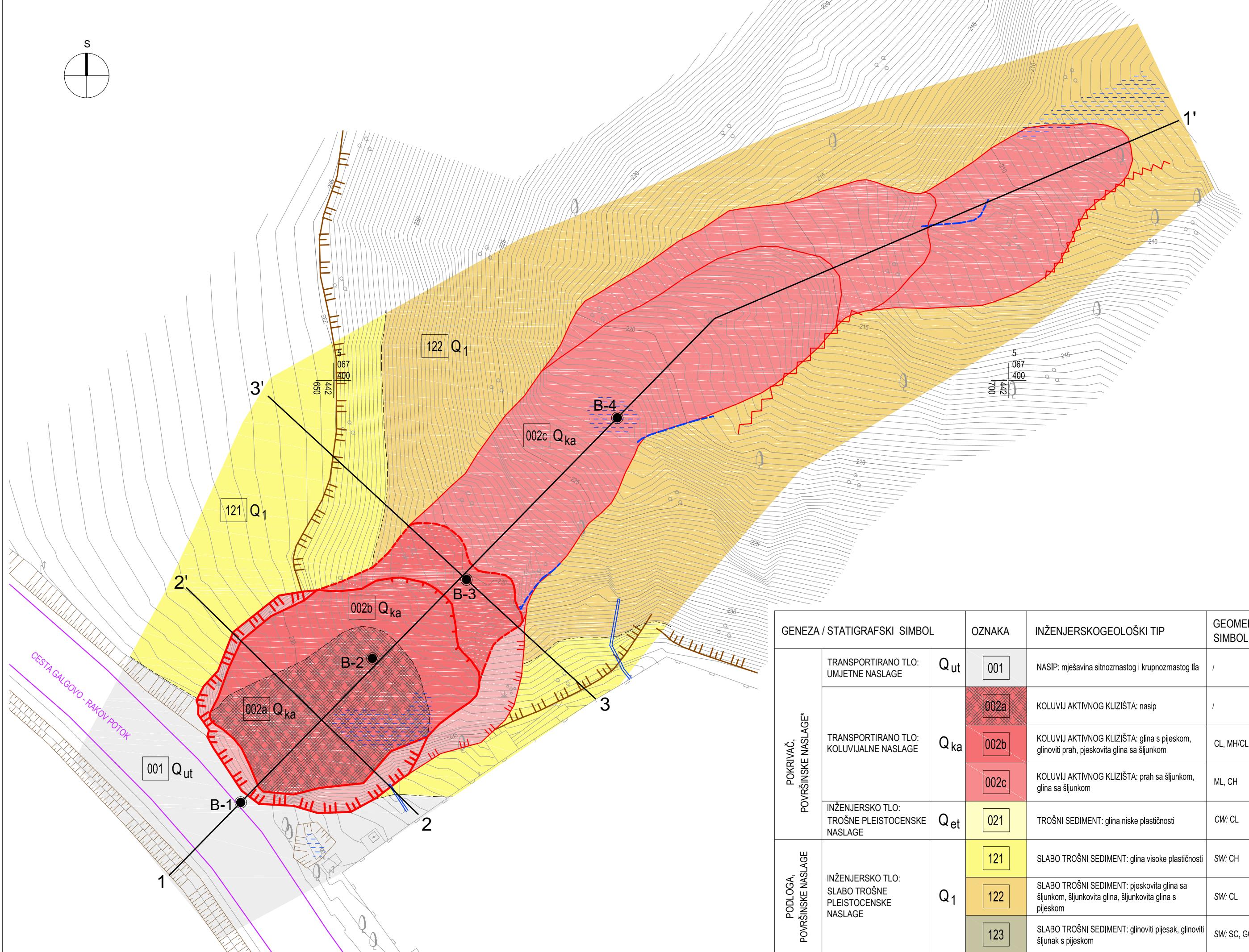
Nonveiller, E., MEHANIKA TLA i TEMELJENJE GRAĐEVINA, Školska knjiga, Zagreb, 1979.

7. PRILOZI

1. INŽENJERSKOGEOLOŠKA SITUACIJA KLIZIŠTA – M 1:250
2. INŽENJERSKOGEOLOŠKI UZDUŽNI PROFIL KLIZIŠTA – M 1:250
3. SITUACIJA SANIRANOG KLIZIŠTA – M 1:250
4. UZDUŽNI PRESJEK SANIRANOG KLIZIŠTA – M 1:250

INŽENJERSKOGEOLOŠKA SITUACIJA KLIZIŠTA

M1:250



LEGENDA

B-1 ●	ISTRAŽIVAČKA BUŠOTINA	ISPUST OTPADNIH VODA
1—1'	INŽENJERSKOGEOLOŠKI PROFILI	ZONA POVEĆANE VLAŽNOSTI
		POVREMENI TOK
	PREPOSTAVLJENA GRANICA INŽENJERSKOGEOLOŠKOG TIPA	UMJETNI ZASJEK
	ČELO KLIZIŠTA REAKTIVIRANOG 4.4.2013.	VRH STRMOG DIJELA PADINE
	GRANICA REAKTIVIRANOG KLIZIŠTA	RUB CESTE
	PREPOSTAVLJENA GRANICA REAKTIVIRANOG KLIZIŠTA	
	GEDETSKI SNIMLJENA PUKOTINA (lipanj, 2014)	
	GLAVNA PUKOTINA STAROG KLIZIŠTA	
	GRANICA STAROG KLIZIŠTA	
	JARUGA	

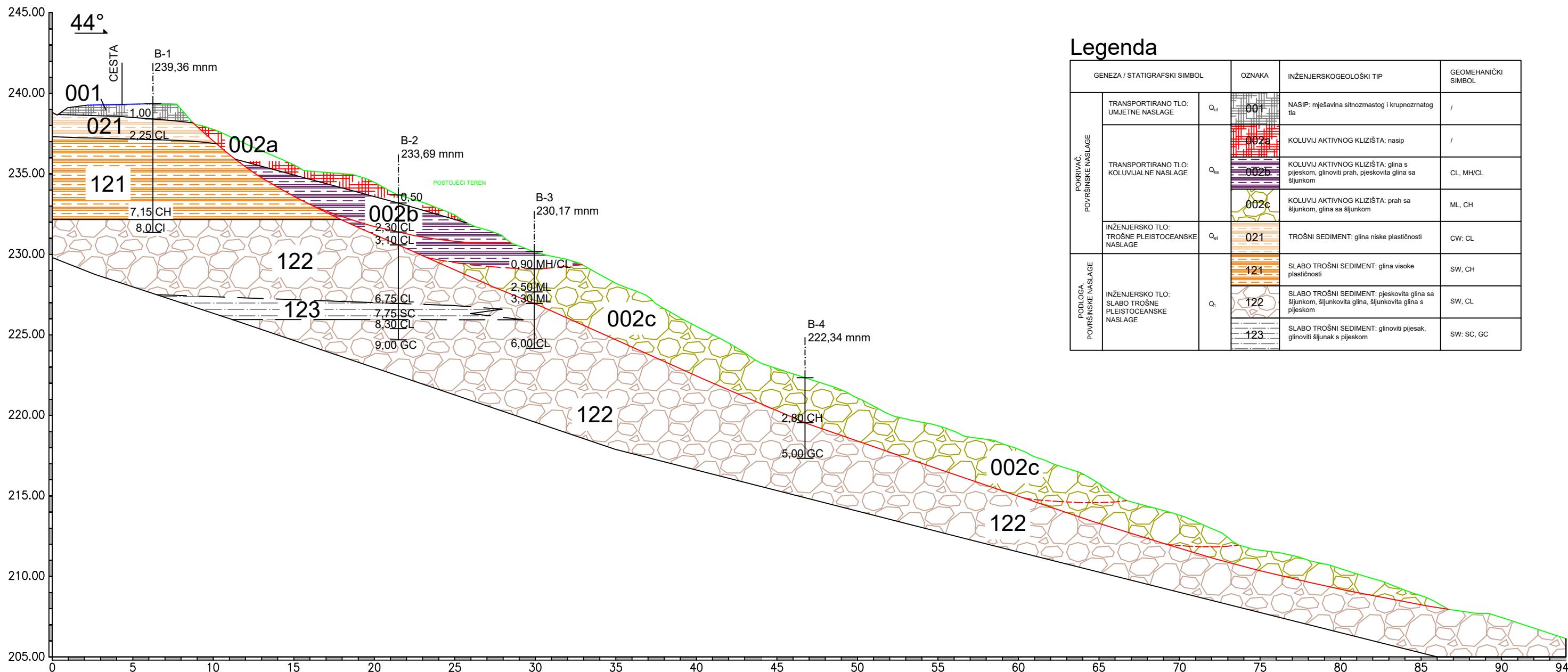
Preuzeto iz Geotehnickog elaborata: Inženjerskogeološka situacija klizišta, 2014, Arbanas, Ž.

POKRIVAČ, POVRŠINSKE NASLAGE*	GENEZA / STATIGRAFSKI SIMBOL		OZNAKA	INŽENJERSKOGEOLOŠKI TIP	GEOMEHANIČKI SIMBOL	FIZIČKO - MEHANIČKA SVOJSTVA
	TRANSPORTIRANO TLO: UMJETNE NASLAGE	Q _{ut}				
PODLOGA, POVRŠINSKE NASLAGE	TRANSPORTIRANO TLO: KOLUVIJALNE NASLAGE	Q _{ka}	001	NASIP: mješavina sitnozrnastog i krunozrnastog lla	/	/
			002a	KOLUVIJ AKTIVNOG KLIZIŠTA: nasip	/	/
			002b	KOLUVIJ AKTIVNOG KLIZIŠTA: glina s pjeskom, glinoviti prah, pjeskovita glina sa šljunkom	CL, MH/CL	/
POKRIVAČ, POVRŠINSKE NASLAGE*	INŽENJERSKO TLO: TROŠNE PLEISTOCENSKE NASLAGE	Q _{et}	002c	KOLUVIJ AKTIVNOG KLIZIŠTA: prah sa šljunkom, glina sa šljunkom	ML, CH	w _o =22,27; plastično do tvrdio; l _c =0,99; l _b =20,42; ρ _d =2,02 g/cm ³ ; ρ _e =1,65 g/cm ³ ; ρ _s =2,68 g/cm ³
			021	TROŠNI SEDIMENT: glina niske plastičnosti	CW: CL	/
			121	SLABO TROŠNI SEDIMENT: glina visoke plastičnosti	SW: CH	22,38<w _o <26,82; plastično do tvrdio; 0,91<l _c <0,93; 29,21<l _b <57,26; 1,97<ρ _d <2,05 g/cm ³ ; 1,55<ρ _e <1,68 g/cm ³ ; 2,65<ρ _s <2,67 g/cm ³ ; 27,9<c<36,4 kN/m ² ; 5,6<φ<21,9
PODLOGA, POVRŠINSKE NASLAGE	INŽENJERSKO TLO: SLABO TROŠNE PLEISTOCENSKE NASLAGE	Q ₁	122	SLABO TROŠNI SEDIMENT: pjeskovita glina sa šljunkom, šljunkovita glina, šljunkovita glina s pjeskom	SW: CL	w _o =27,78; plastično; l _c =0,83; l _b =25,34; ρ _d =1,94 g/cm ³ ; ρ _e =1,52 g/cm ³ ; ρ _s =2,64 g/cm ³ ; SPP= 31-50 Š
			123	SLABO TROŠNI SEDIMENT: glinoviti pjesak, glinoviti šljunak s pjeskom	SW: SC, GC	SPP=30 Š

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU	GRAD SAMOBOR
Rudarsko-geološko-naftni fakultet	Trg kralja Tomislava 5, HR-10430 Samobor
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo	
INVESTITOR	PROJEKT
GRAD SAMOBOR	SANACIJA KLIZIŠTA
	GRAĐEVINSKI PROJEKT, GEOTEHNIČKI ELABORAT
RAZINA PROJEKTA	GLAVNI PROJEKT
LOKACIJA	GALGOVO, ZAGREBAČKA UI. (GRAD SAMOBOR)
VRSTA ISTRAŽIVANJA	INŽENJERSKOGEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA
SADRŽAJ PRILOGA	INŽENJERSKOGEOLOŠKA KARTA KLIZIŠTA
PROJEKTANT	IZRADILI
Prof. dr. Ž. ARBANAS, dipl.ing.aefid.	S. BERNAT, mag.ing.geol. M. KRKAČ, dipl.ing.geol.
DATUM rujan, 2014.	MJERILO 1:250
	PRILOG BR. 2

S. Mihalić

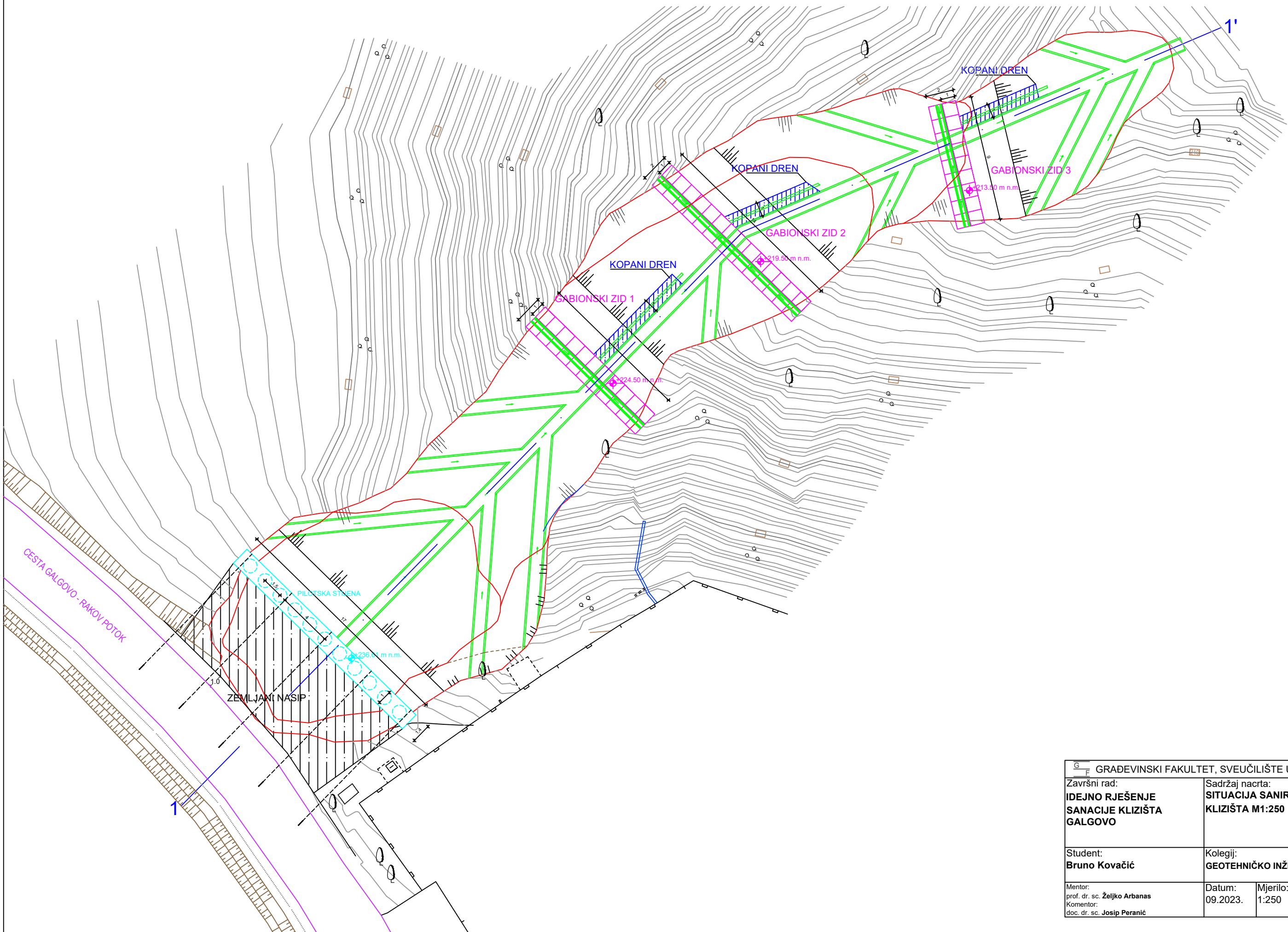
INŽENJERSKOGEOLOŠKI UZDUŽNI PROFIL KLIZIŠTA M1:250



Preuzeto iz Geotehničkog elaborata: Inženjerskogeološki uzdužni profil klizišta M1:250, 2014, Arbanas, Ž.

GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJEKI		Sadržaj nacrta: INŽENJERSKOGEOLOŠKI UZDUŽNI PROFIL KLIZIŠTA M1:250
Završni rad: IDEJNO RJEŠENJE SANACIJE KLIZIŠTA GALGOVO		
Student: Bruno Kovačić	Kolegij: GEOTEHNIČKO INŽENJERSTVO	
Mentor: prof. dr. sc. Željko Arbanas Komentor: doc. dr. sc. Josip Peranić	Datum: 09.2023.	Mjerilo: 1:250
	List: 2	

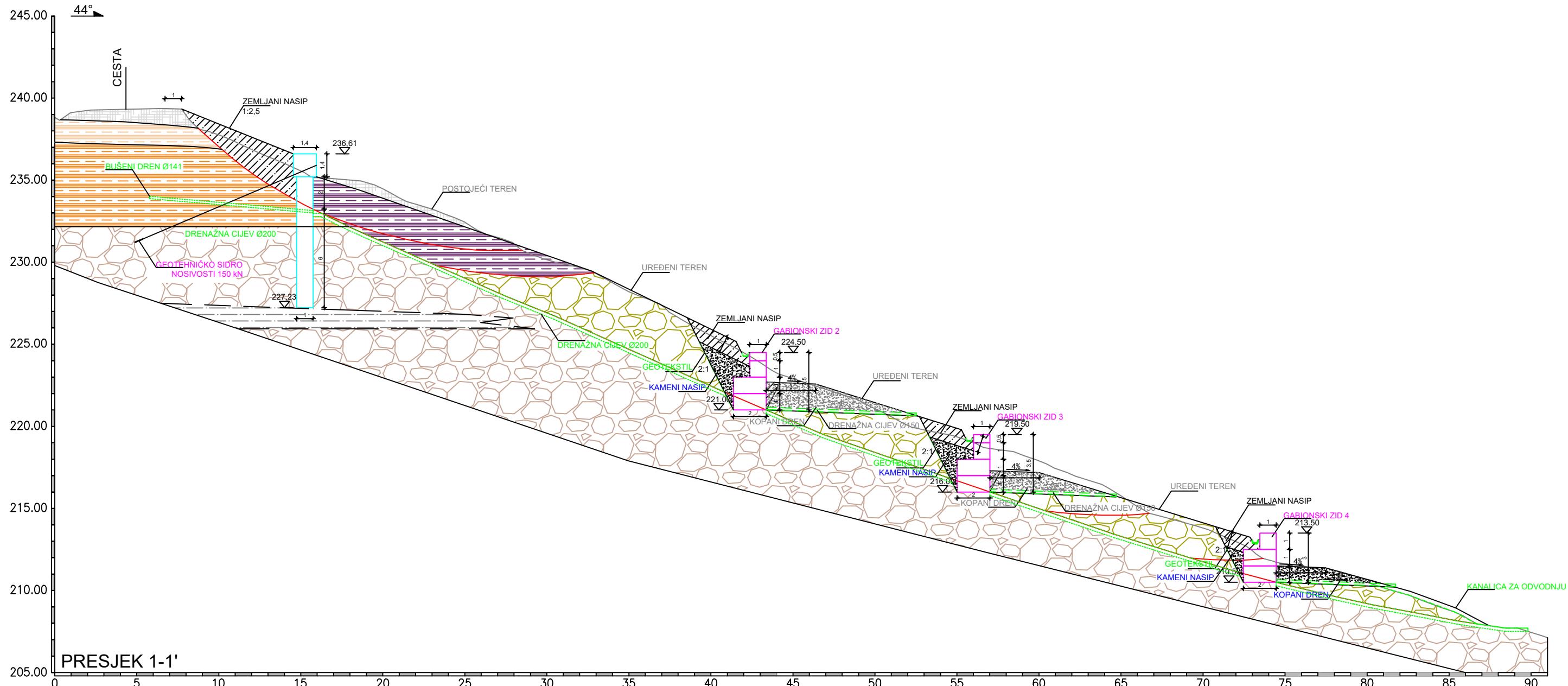
SITUACIJA SANIRANOG KLIZIŠTA M1:250



GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI	
Završni rad: IDEJNO RJEŠENJE SANACIJE KLIZIŠTA GALGOVO	Sadržaj nacrta: SITUACIJA SANIRANOG KLIZIŠTA M1:250
Student: Bruno Kovačić	Kolegij: GEOTEHNIČKO INŽENJERSTVO
Mentor: prof. dr. sc. Željko Arbanas Komentor: doc. dr. sc. Josip Peranić	Datum: 09.2023. Mjerilo: 1:250 List: 3

UZDUŽNI PRESJEK SANIRANOG KLIZIŠTA

M1:250



GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI	
Završni rad:	Sadržaj nacrta:
IDEJNO RJEŠENJE	UZDUŽNI PRESJEK
SANACIJE KLIZIŠTA	SANIRANOG KLIZIŠTA
GALGOVO	M1:250
Student:	Kolegij:
Bruno Kovačić	GEOTEHNIČKO INŽENJERSTVO
Mentor: prof. dr. sc. Željko Arbanas Komentor: doc. dr. sc. Josip Peranić	Datum: 09.2023. Mjerilo: 1:250 List: 4