

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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:788058>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-11**



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 pojam 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 programskog 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

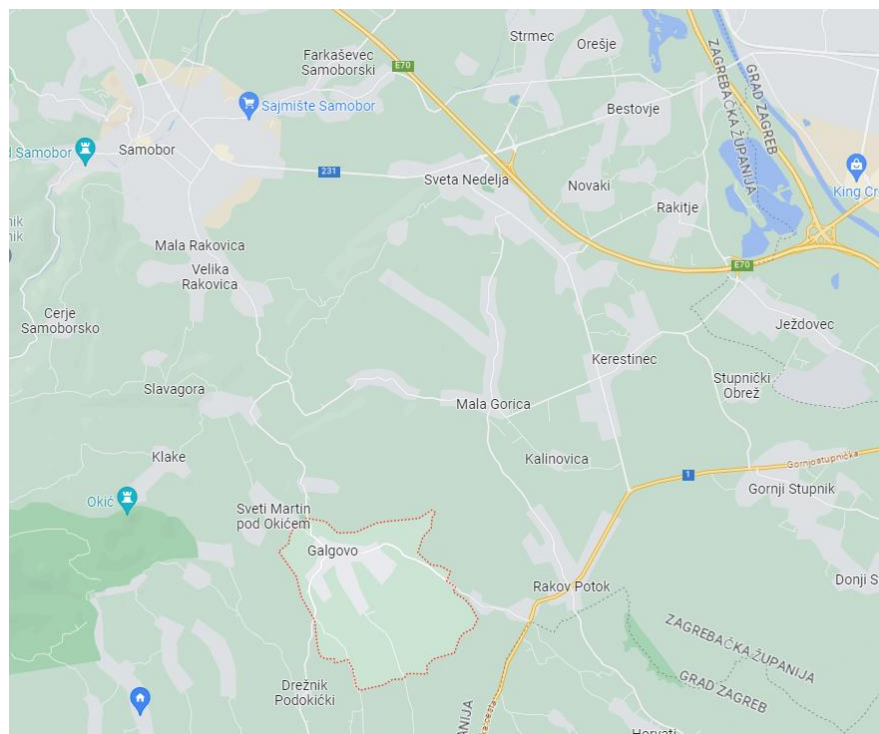
POPIS TABLICA

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 bušotinu 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 bušotinu 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

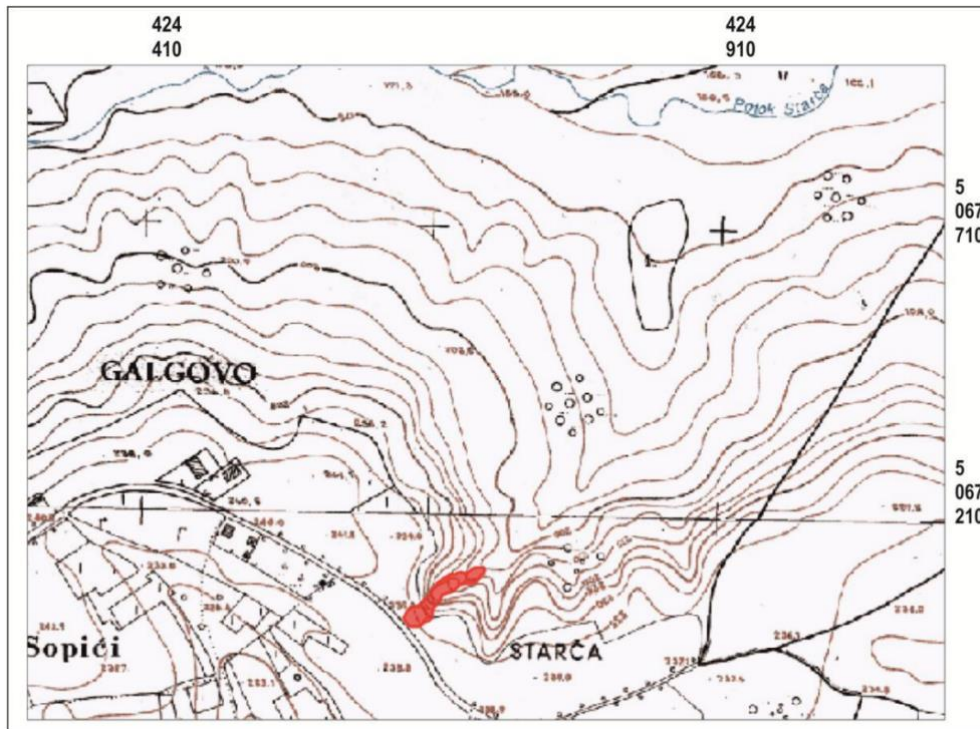
1. UVOD

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 ošteti 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.

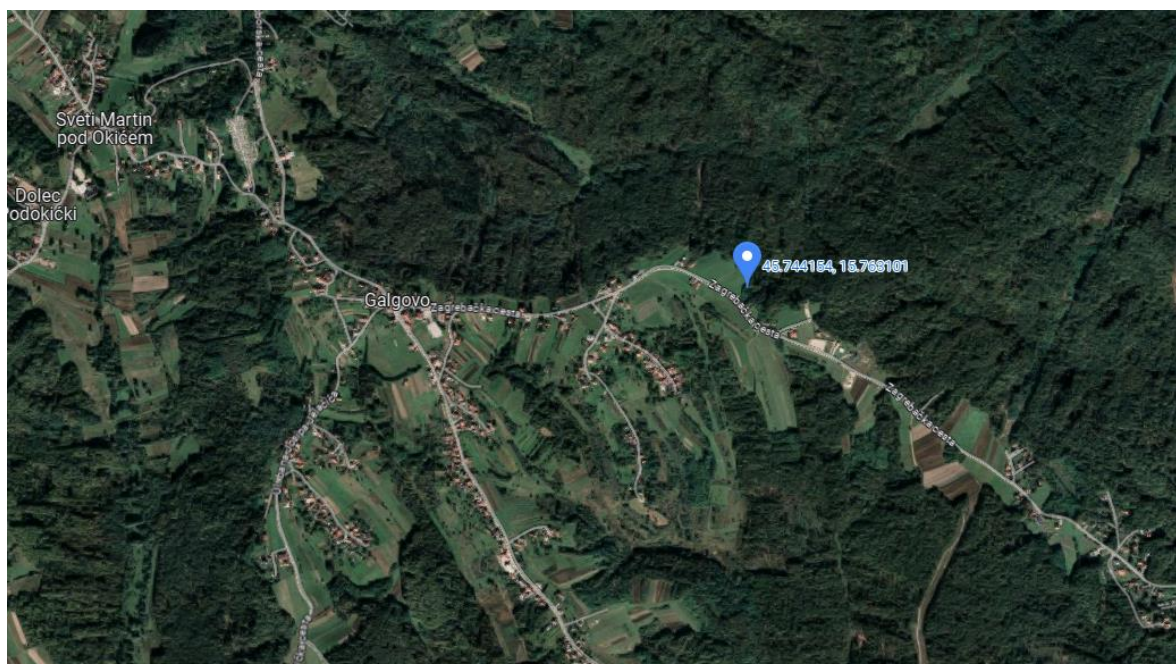
Geotehnički istražni radovi sprovedeni su radi utvrđivanja značajki klizišta i uvjeta temeljnog tla, a cilj istražnih radova je prikladno projektirati sanacijsko rješenje na datom klizištu. Rezultati provedenih istražnih radova dati su u Geotehničkom elaboratu. Temeljem datih rezultata geotehničkih istraživanja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

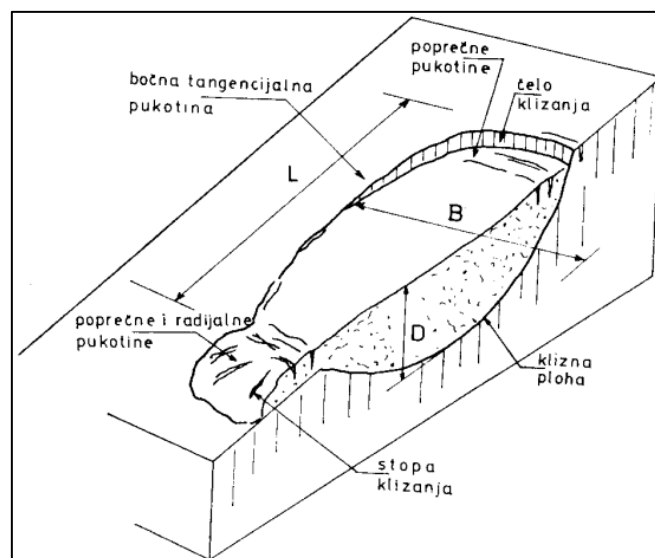


Slika 3. Koordinate položaja klizišta (Google maps, 2023)

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 prašnasti 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:

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

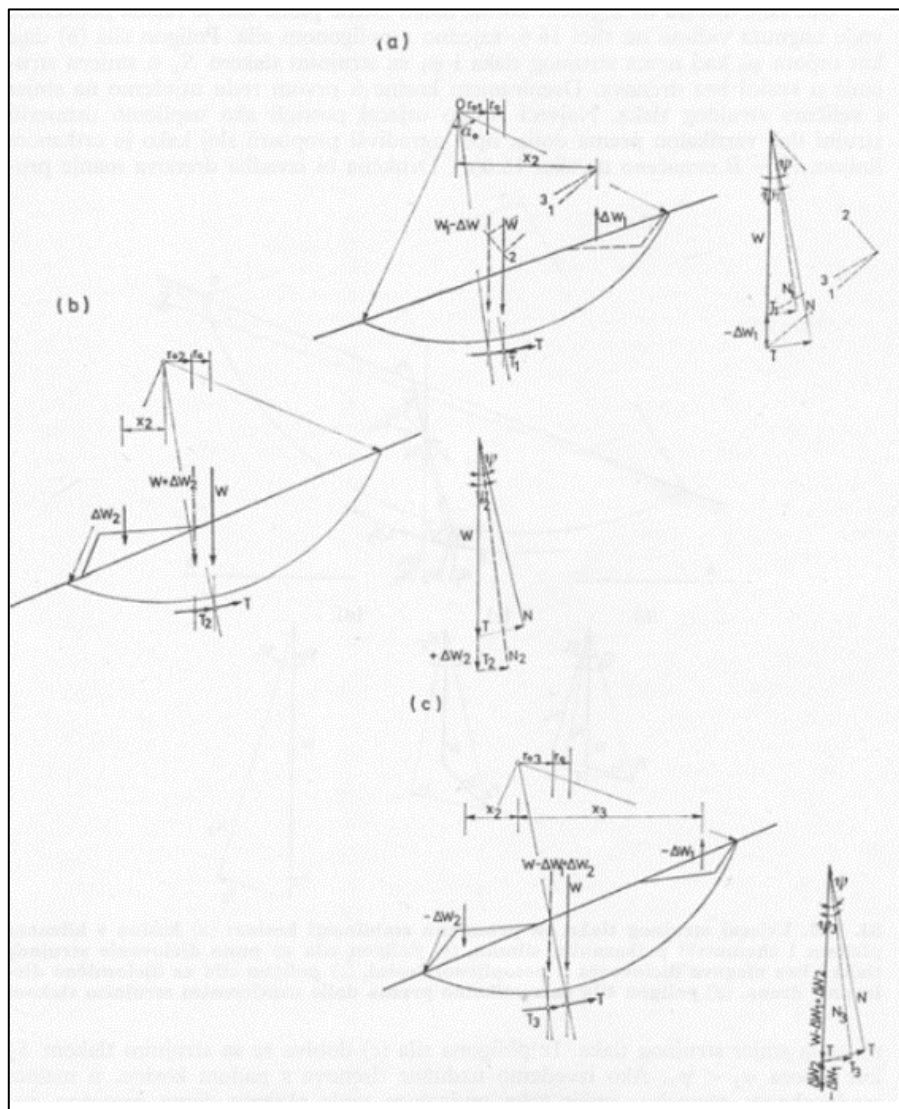
Gdje je: F_s - faktor sigurnosti kosine

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 kontinuuma. 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 cjelovitosti niti jednu od temeljnih jednadžbi mehanike kontinuuma. 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.

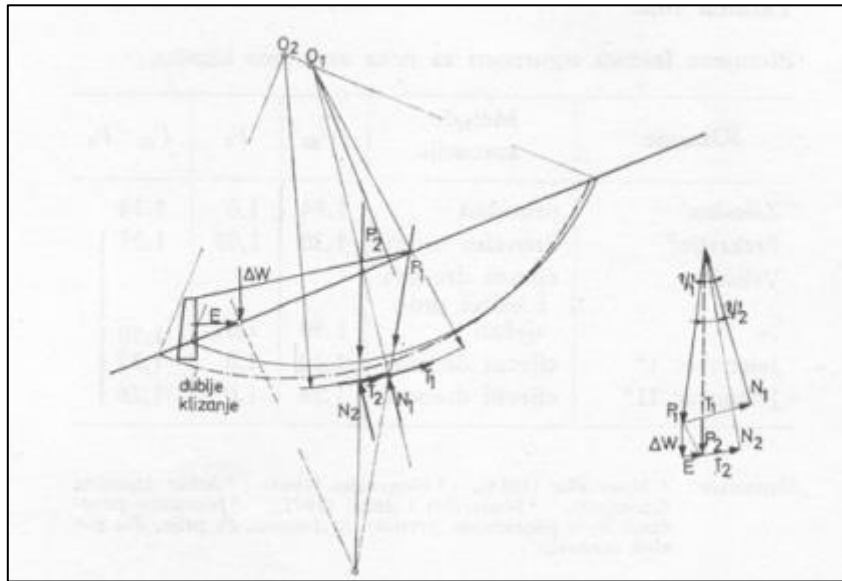
2.2 Mjere sanacije

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).

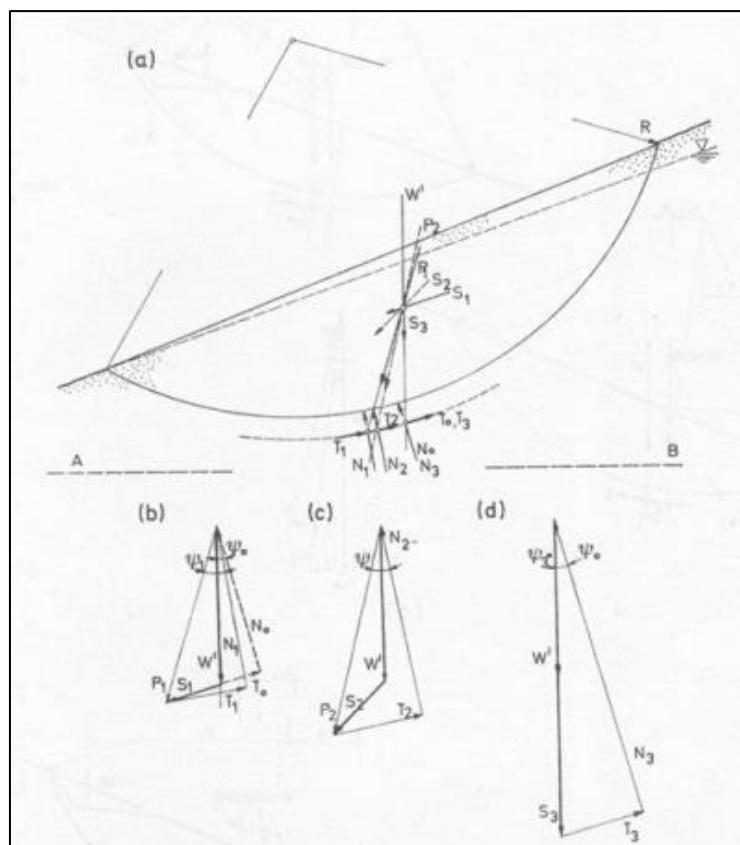


Slika 5. Mjere za smanjenje tangencijalnih naprezanja u zoni sloma (Nonveiller. 1979)

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)

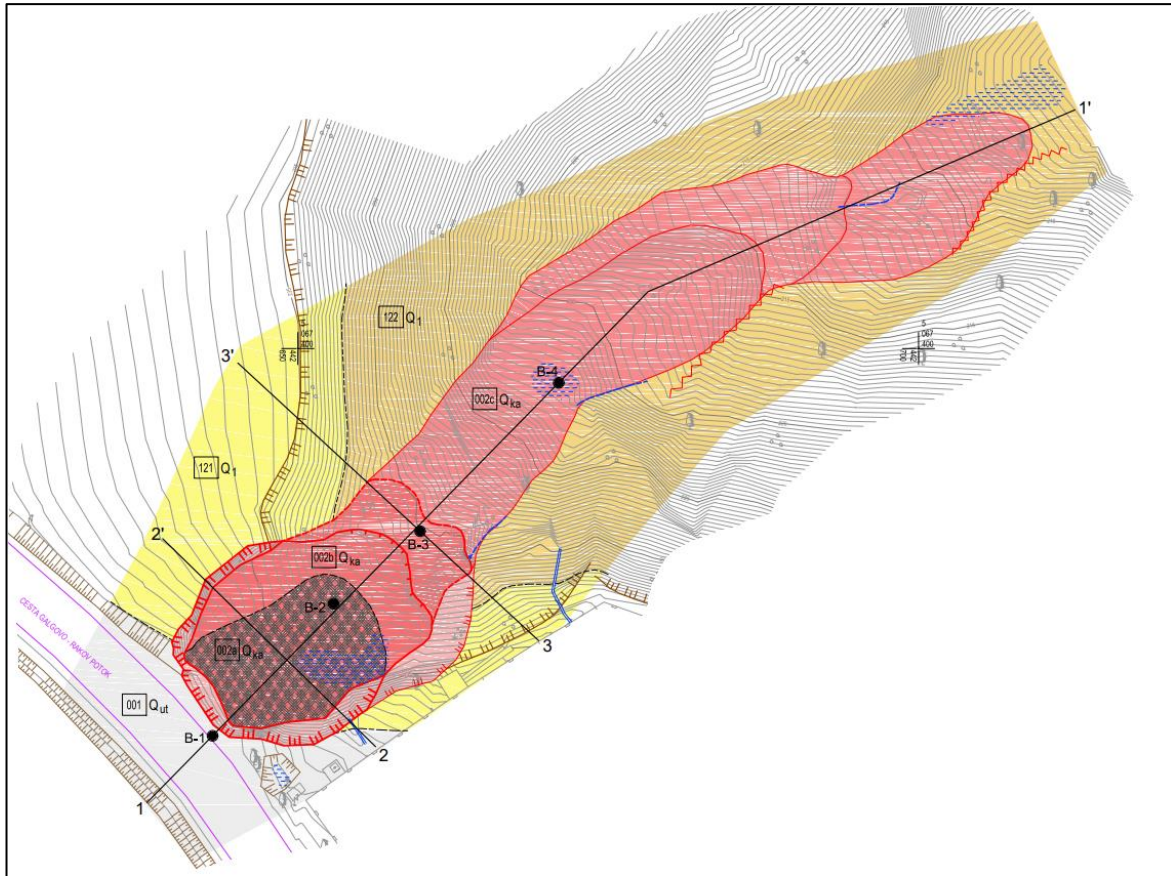
Da bi se postiglo povećanje čvrstoće na plohi sloma potrebno je opteretiti donji dio kliznog tijela, pogotovo kod nekoherentnih materijala. Povećanje efektivnih naprezanja također povoljno utječe na povećanje čvrstoće materijala, a da bi se to postiglo, porne pritiske je potrebno smanjiti. Na raspolaganju 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 zatrpavala 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 odvođe 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 bušotina
- 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 bušotina koje je provodio Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

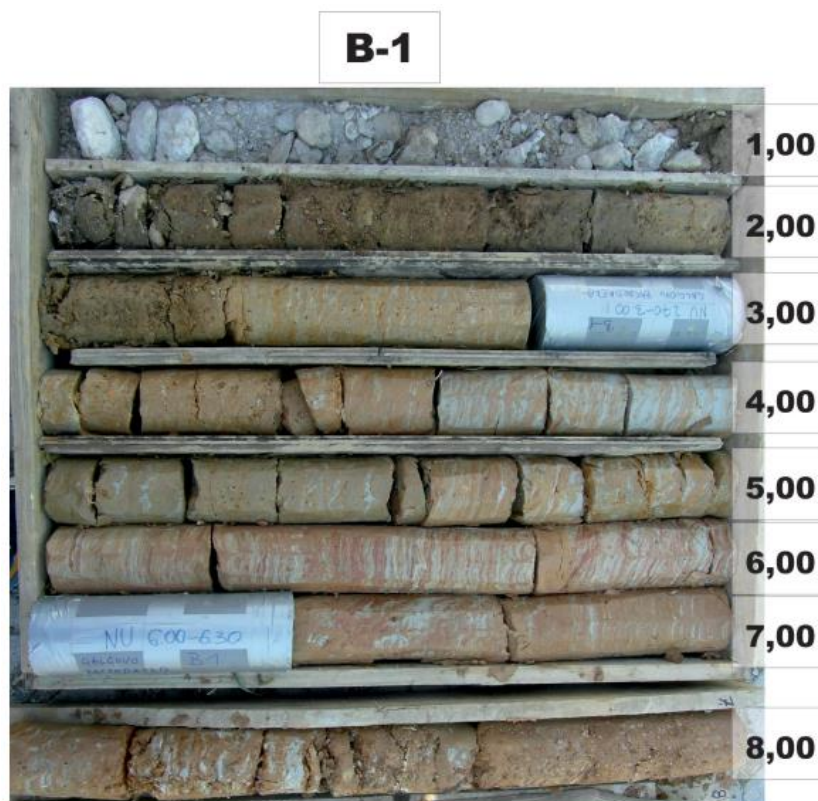
Tokom geotehničkih istražnih radova izvedene su 4 geotehničke istražne bušotine na dubinama od 5,0 do 9,0 metara. Koordinate i detalji bušenja dati su tabličnom prikazu (Tablica 1). Jedna bušotina (B-1) (Slika 9), izvedena je garniturom za bušenje Kamaco 205 te je izbušena na dubini 8,0 metara uz kontinuirano 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 (mnm)		
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 lokacija.



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

Tablica 2. Inženjerskogeološki profil bušotine B-1


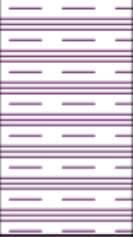




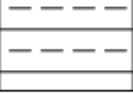
NADM. VISINA (m)	DUBINA (m)	JEZGRA (%)	IG SIMBOL	GEOMEH. SIMBOL	INŽENJERSKOGEOLOŠKI OPIS INŽENJERSKOGEOLOŠKA KLASIFIKACIJA
239	1,00	70%			Nasip: mješavina sitnozrnastog tla i krupnozrnastog tla s blokovima veličine preko profila bušenja, sive boje.
238	2,25	100%		CL	GLINA NISKE PLASTIČNOSTI: oko 95%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

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		90%			GLINA S PIJESKOM: oko 75% sitnozrnastog tla, srednje plastičnosti, srednje žilavosti; oko 15% pijeska; oko 10% trošnog šljunka, maks. vel. 3cm, poluuglatog, aluvijalnog porijekla; homogena, vlažna, tamno žućkasto narančaste boje s izmjenama blijedo maslinaste boje; nema reakcije sa HCl-om.	002B-Qka
232	2,30			CL		
231	3,10	90%			PJESKOVITA GLINA SA ŠLJUNKOM: oko 50% sitnozrnastog tla, niska plastičnost, niska žilavost; oko 35% pijeska; oko 15% šljunka, zaobljen do poluuglati, maks. vel. 3 cm; tvrde konzistencije, homogena, vlažna, tamno žućkasto narančaste do srednje žućkasto smeđe boje.	122-Q1
230		90%			PJESKOVITA GLINA SA ŠLJUNKOM: oko 50% sitnozrnastog tla, niska plastičnost, niska žilavost; oko 35% pijeska; oko 15% šljunka, zaobljen do poluuglati, maks. vel. 3 cm; tvrde konzistencije, homogena, vlažna, tamno žućkasto narančaste do srednje žućkasto smeđe boje.	
227	6,75			CL		123-Q1
226	7,75	60%			GLINOVITI PIJESAK: oko 80% uglavnom sitnog pijeska; oko 20% sitnozrnastog tla niske plastičnosti; tragovi šljunka; žućkasto narančaste boje.	
	8,30	90%			PJESKOVITA GLINA SA ŠLJUNKOM: oko 50% sitnozrnastog tla, niska plastičnost, niska žilavost; oko 35% pijeska; oko 15% šljunka, zaobljen do poluuglati, maks. vel. 3 cm; tvrde konzistencije, homogena, vlažna, tamno žućkasto narančaste do srednje žućkasto smeđe boje.	122
225	9,00	60%			GLINOVITI ŠLJUNAK S PIJESKOM: oko 40% sitnog do krupnog šljunka, čvrst, zaobljen do poluuglat; oko 30% sitnog pijeska; oko 30% sitnozrnastog tla niske plastičnosti, tamno žućkasto narančaste do srednje žućkasto smeđe boje.	123-Q1
				GC		

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					2,50		90%		ML	PRAH SA ŠLJUNKOM: oko 80% sitnozrnatog tla, niske plastičnosti, srednje žilavosti; oko 20% šljunka, maks. vel. 3 cm, uglati; plastične do meke konzistencije, heterogen, smeđe boje.
228										
227	6,00	80%		CL	GLINA SA ŠLJUNKOM: oko 70% sitnozrnatog tla, niske plastičnosti, srednje žilavosti; oko 30% šljunka, maks. vel. 3 cm; tragovi pijeska; plastične konzistencije, heterogena, izmjenjena smeđe i srednje žućkasto smeđe boje. Intervali od 4,8-5,1 m i 5,6-5,9 m sadrže veći udio pijeska.	122-Q1				
226					225					

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	2,80	90%		CH	GLINA SA ŠLJUNKOM: oko 80% sitnozrnatog tla, visoke plastičnosti, niske žilavosti, oko 20% sitnog do krupnog šljunka, čvrsti, zaobljeni do poluuglat, maks. vel. 2 cm; meke konzistencije, homogena, vlažno, smeđe boje.
221					002c-Qka
220	5,00	70%		GC	ŠLJUNKOVITA GLINA S PIJESKOM: oko 50% sitnozrnatog tla, niske plastičnosti, niske žilavosti, oko 30% šljunka maks. vel. 3 cm zaobljeni do poluuglat; oko 20% pijeska; tvrde konzistencije, homogena, vlažna, tamno žućkasto narančaste do srednje žućkasto smeđe boje.
219					122-Q1
218					

3.2 Rezultati laboratorijskih ispitivanja

Određivanje vlažnosti uzoraka 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 uzoraka 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: _____			

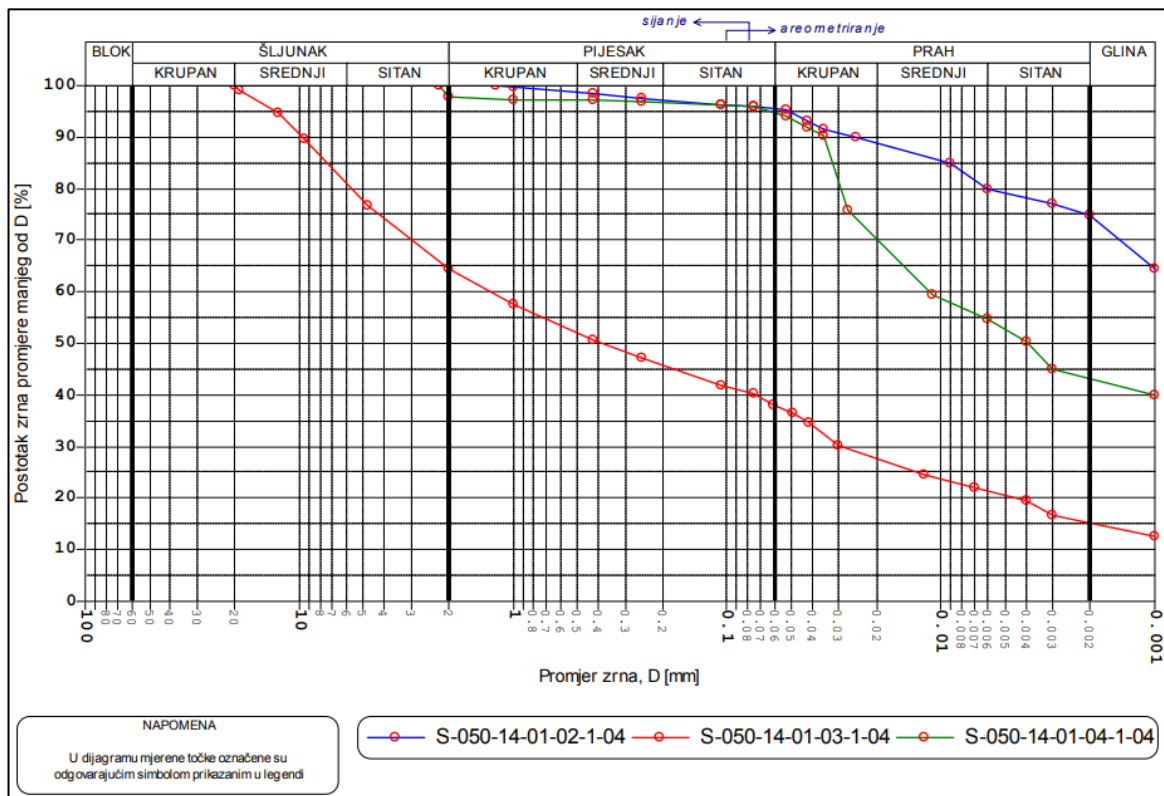
Određivanje zapreminske težine uzoraka tla provedeno je za bušotine B-1 i B-3, na dvije različite dubine za svaku od bušotina (Tablica 8).

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)	Datum ispitivanja uzorka: 23.6.2014
Dubina (m): 6,00-6,30	Datum zaprimanja uzorka: 23.6.2014	
Zapreminska vlažna (g/cm³): 1,97	Zapreminska suha (g/cm³): 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/cm³): 2,05	Zapreminska suha (g/cm³): 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)	Datum ispitivanja uzorka: 23.6.2014
Dubina (m): 1,70-1,90	Datum zaprimanja uzorka: 23.6.2014	
Zapreminska vlažna (g/cm³): 2,02	Zapreminska suha (g/cm³): 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/cm³): 1,94	Zapreminska suha (g/cm³): 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)

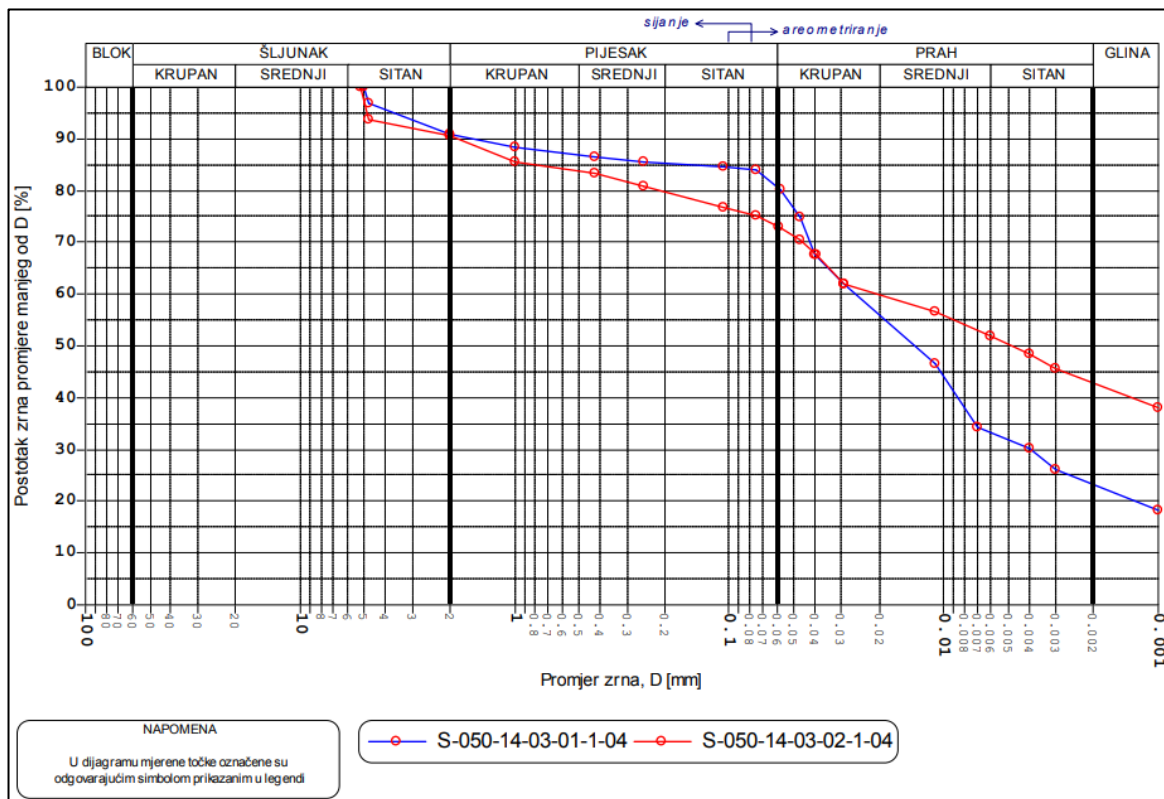


Tablica 10. Granulometrijski sastav tla bušotine B-1 (Geokon-Zagreb, 2014)

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	tvrdća zrna	G _s	uređaj za dispaciju	disp. trajanje (min)		
B-1	6,00-6,30	S-050-14-01-02-1-04	1,2	oblo	tvrd i postojano	2,74	mješalica	15		
B-1	7,20-7,35	S-050-14-01-03-1-04	20,0	oštro	tvrd 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)

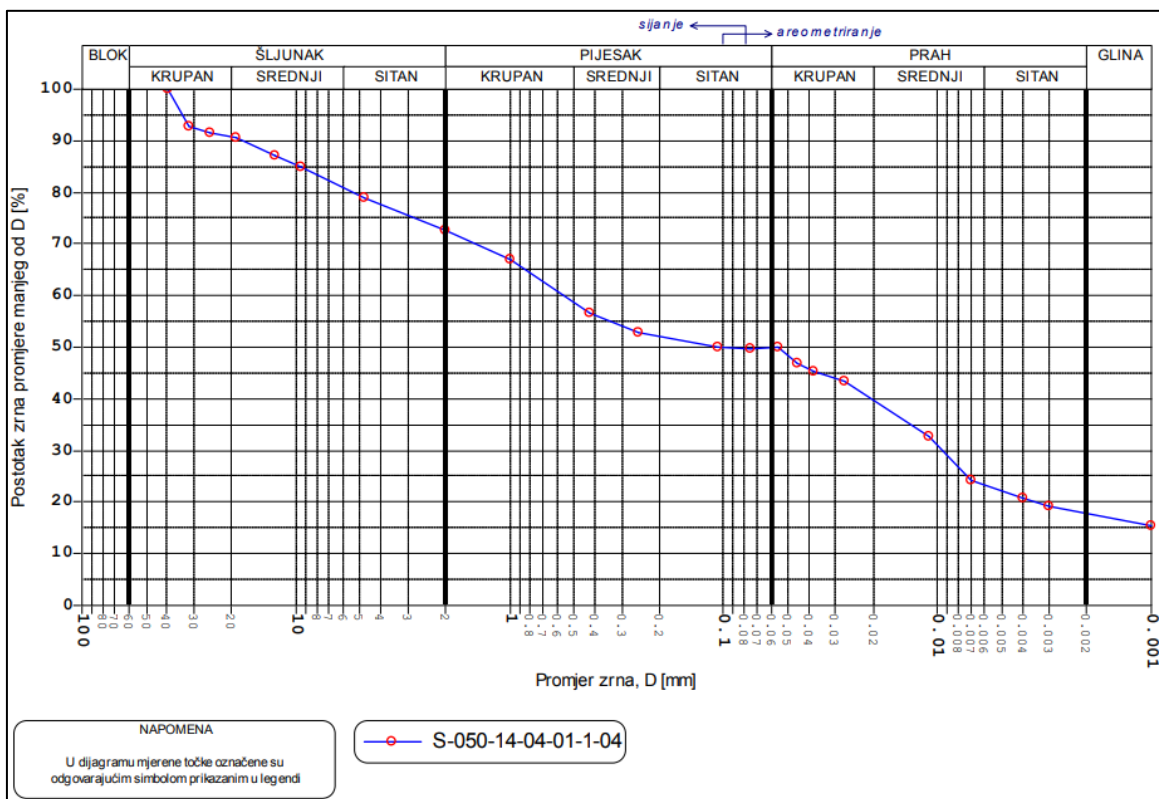


Tablica 12. Granulometrijski sastav tla bušotine B-3 (Geokon-Zagreb, 2014)

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 postoјano	2,75	mješalica	15		
B-3	4,40-4,50	S-050-14-03-02-1-04	5,2	oblo	tvrdi i postoјano	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)

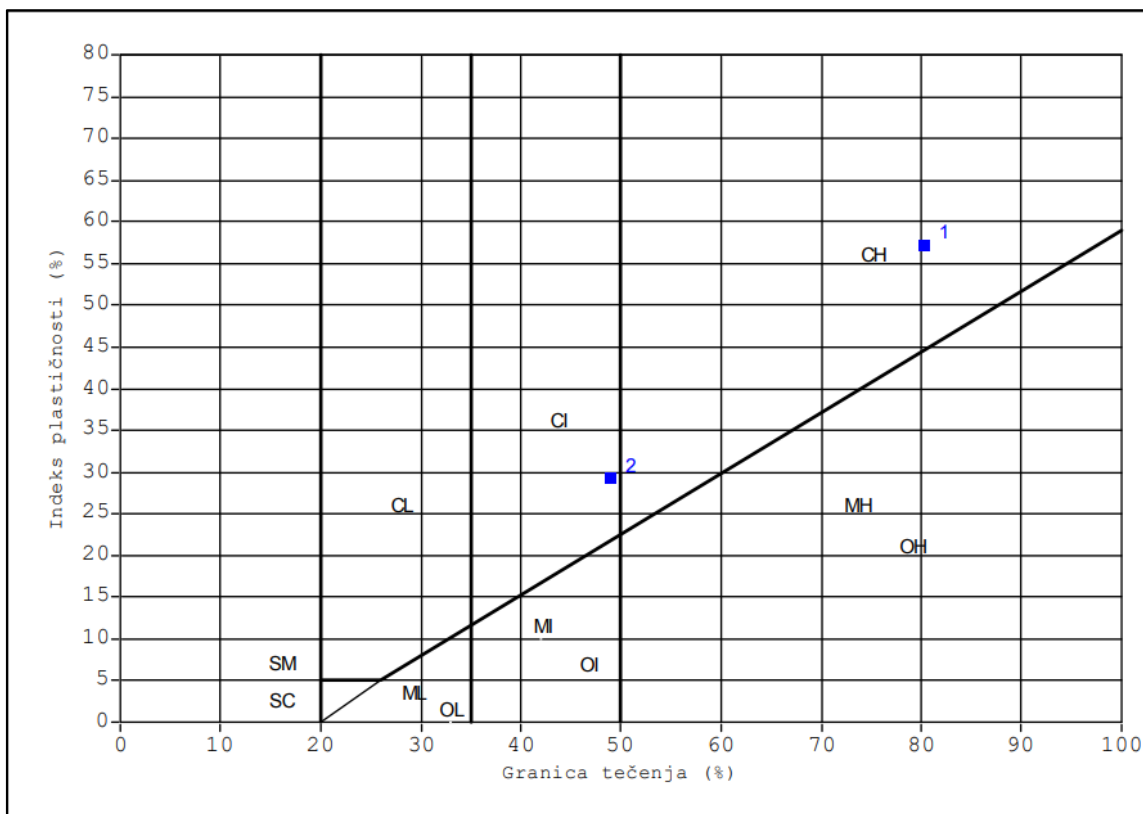


Tablica 14. Granulometrijski sastav tla bušotine B-4 (Geokon-Zagreb, 2014)

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	tvrdća zrna	Gs	uređaj za dispaciju	disp. trajanje (min)		
B-4	4,20-4,30	S-050-14-04-01-1-04	39,3	oštro	tvrdi 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)

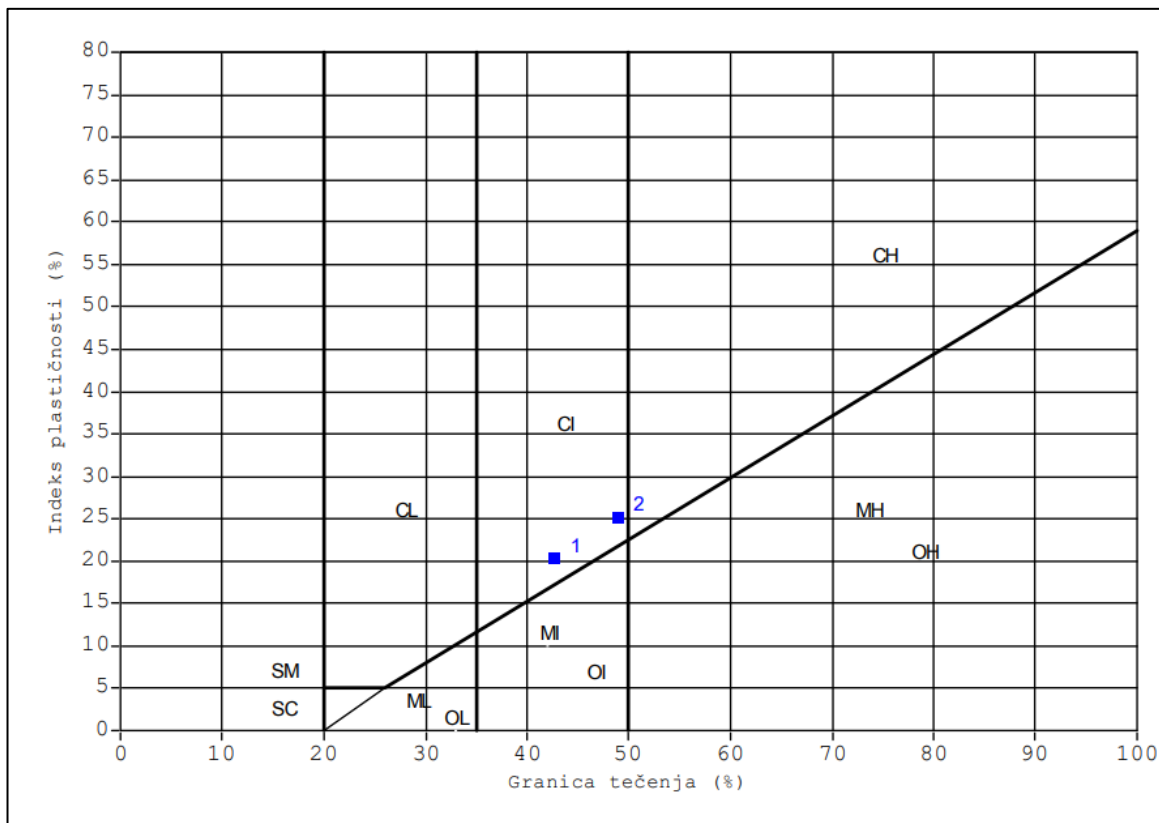
rbr.	bušotina/jama/ stacionaža	dubina / kota (m)	oznaka JLO ispitivanja	simbol	wl (%)	wp (%)	IP (%)	os (%)	pv / ps	rv / mv	ru / mu
1	B-1	6,00-6,30	S-050-14-01-02-1-05	CH	80,15	22,89	57,26	0,00	pv	rv	mv
2	B-1	2,70-3,00	S-050-14-01-04-1-05	CI	48,84	19,63	29,21	0,00	pv	rv	mv

LEGENDA:

CH - Glina anorganska visoke plastičnosti **MH** - Prah visoke plastičnosti **CI** - Glina anorganska srednje plastičnosti **MI** - Prah srednje plastičnosti
CL - Glina anorganska niske plastičnosti **ML** - Prah niske plastičnosti **OH** - Glina organska visoke plastičnosti **SM** - Prašnasti pijesak
OI - Glina organska srednje plastičnosti **SC** - Zaglinjeni pijesak **OL** - Glina organska niske plastičnosti
OS - % ostatka na situ No.40(0,425mm) % **pv** - priprema u prirodno vlažnom stanju **ps** - priprema u suhom stanju
rv - ručno rolni valjčići **mv** - mehanički rolni valjčići **ru** - ručni casag. uređaj **mu** - mehanički casag. uređaj

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)

rbr.	bušotina/jama/ stacionaža	dubina / kota (m)	oznaka JLO ispitivanja	simbol	wl (%)	wp (%)	IP (%)	os (%)	p _v / p _s	r _v / m _v	ru / mu
1	B-3	1,70-1,90	S-050-14-03-01-1-05	CI	42,57	22,15	20,42	0,00	p _v	r _v	m _v
		Konkrekcije do 5 mm									
2	B-3	4,40-4,50	S-050-14-03-02-1-05	CI	48,77	23,43	25,34	0,00	p _v	r _v	m _v
		Konkrekcije do 5 mm									

LEGENDA:

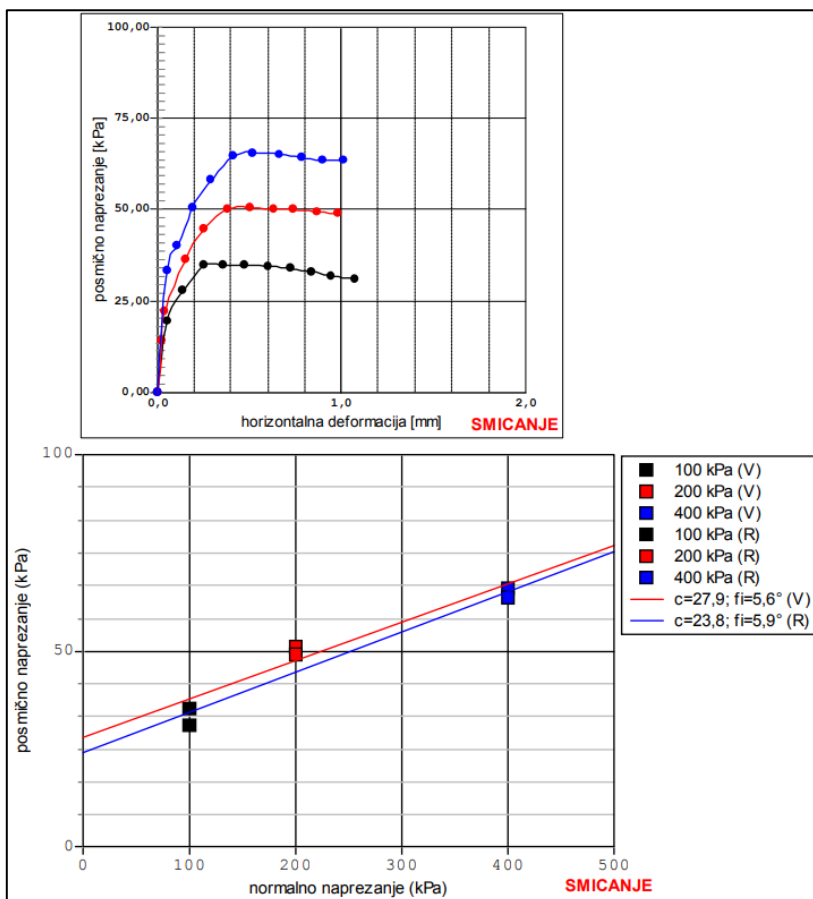
CH - Glina anorganska visoke plastičnosti **MH** - Prah visoke plastičnosti **CI** - Glina anorganska srednje plastičnosti **MI** - Prah srednje plastičnosti
CL - Glina anorganska niske plastičnosti **ML** - Prah niske plastičnosti **OH** - Glina organska visoke plastičnosti **SM** - Prašnasti pijesak
OI - Glina organska srednje plastičnosti **SC** - Zaglinjeni pijesak **OL** - Glina organska niske plastičnosti
OS - % ostatka na situ No.40(0,425mm) % **p_v** - priprema u prirodno vlažnom stanju **p_s** - priprema u suhom stanju
r_v - ručno rolani valjčići **m_v** - mehanički rolani valjčići **ru** - ručni časag. uređaj **mu** - mehanički časag. uređaj

Određivanje čvrstoće tla uređajem za direktan posmik rađeno je za bušotinu 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				Dubina: 6,00-6,30		
Oznaka ispitivanja: S-050-14-01-02-1-06			Oznaka seta: S-DS-03		Datum ispitivanja: 1.7.2014	
Vrsta uzorka: neporemećen			Opis materijala: Glina narančasto-sive boje			
Wp: 22,89	Wl: 80,15	Simbol klasifikacije: CH	G: n/a	S: n/a	M: n/a	C: n/a
Napomena:						
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	početna visina / širina (mm)	uzorak potopljen/ ako DA σ_v (kPa)
1	100	27,3 / 31,6	1,98 / 1,51	2,02 / 1,54	25,1 / 59,8	DA/100
2	200	27,3 / 30,0	1,99 / 1,53	2,06 / 1,59	25,1 / 59,8	DA/200
3	400	27,3 / 29,7	1,99 / 1,53	2,09 / 1,61	25,2 / 59,9	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)



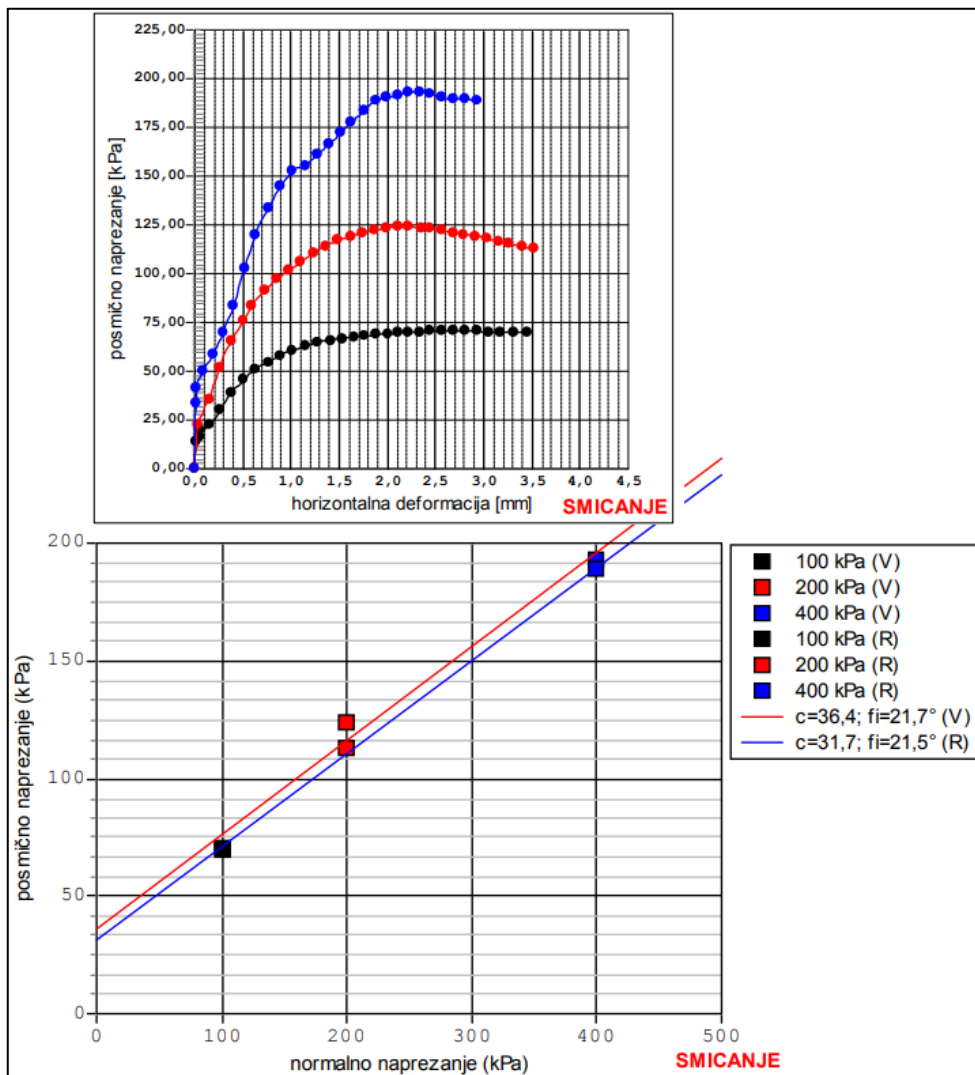
Tablica 21. Izvještaj određivanja čvrstoće tla izravnim smicanjem za uzorak gline smeđe boje sa sivim prosljocima i oksidima iz bušotine B-1 (Geokon-Zagreb, 2014)

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: Glina smeđe boje,sivi prosljoci,oksidi			
Wp: 19,63	Wl: 48,84	Simbol klasifikacije: CI	G: n/a	S: n/a	M: n/a C: n/a
Napomena:					

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	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 prosljocima 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 PLASTIČNOSTI	INDEKS KONZISTENCIJE	SIMBOL	
		m	w [%]	gs [g/cm ³]	gd [g/cm ³]	gw [g/cm ³]	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											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							Cl
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							Cl
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							Cl
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 m	DIREKTNO SMICANJE		PRITISNA ČVRSTOĆA		STIŠLJIVOSTI TLA				VDP IZ STIŠLJIVOSTI			PROCTOROV POKUS		SIMBOL			
			STANDARDNO		REVERSN0		qu [kPa]	ε [%]	σ ₅₀	σ ₁₀₀	σ ₂₀₀	σ ₄₀₀	σ ₁₀₀	σ ₂₀₀	σ ₄₀₀		k [cm/s]	w _{max} (kN/m ³)	w _{opt} (%)
			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														Cl	

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 provedli 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:

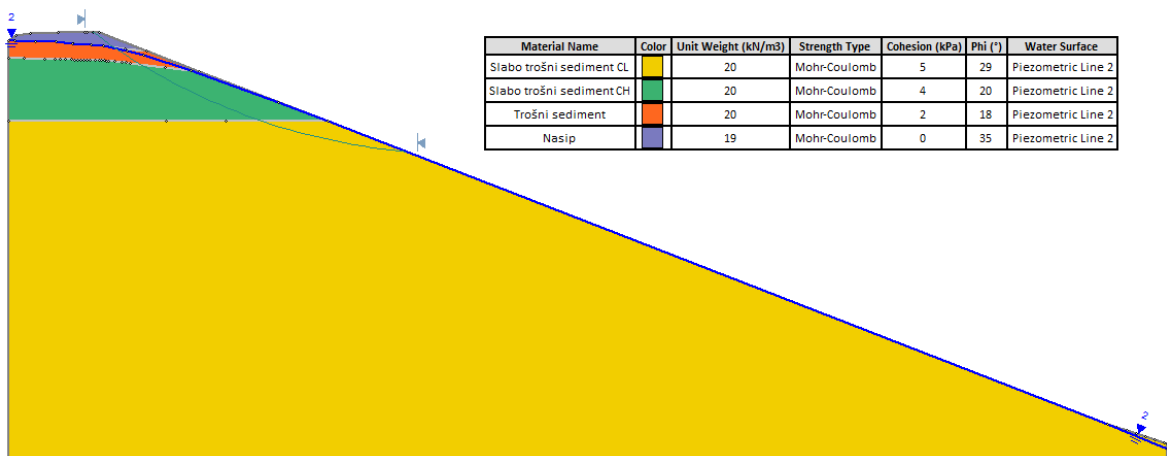
Model: Mohr-Coulomb

Jedinična težina: 20 kN/m³

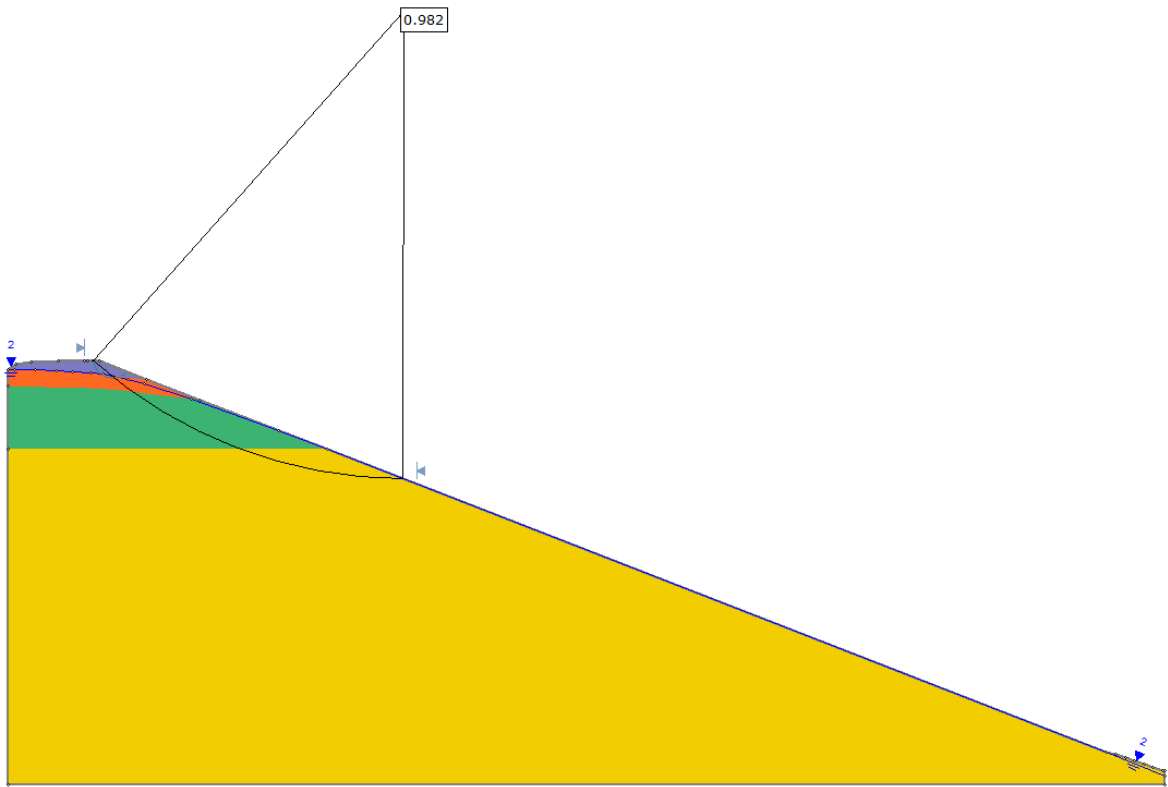
Kohezija: 5 kN/m²

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 izveden je zemljani nasip do razine prometnice. Razina podzemne vode pilotske stijene spuštana 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/m^3

Kohezija: 0 kN/m^2

Kut unutarnjeg trenja: 35°

Materijal 2

Trošni sediment:

Model: Mohr-Coulomb

Jedinična težina: 20 kN/m^3

Kohezija: 2 kN/m^2

Kut unutarnjeg trenja: 18°

Materijal 3

Slabo trošni sediment, CH:

Model: Mohr-Coulomb

Jedinična težina: 20 kN/m^3

Kohezija: 4 kN/m^2

Kut unutarnjeg trenja: 20°

Materijal 4

Slabo trošni sediment, CL:

Model: Mohr-Coulomb

Jedinična težina: 20 kN/m^3

Kohezija: 5 kN/m^2

Kut unutarnjeg trenja: 29°

Materijal 5

Zemljani nasip:

Model: Mohr-Coulomb

Jedinična težina: 19 kN/m^3

Kohezija: 3 kN/m^2

Kut unutarnjeg trenja: 25°

Materijal 6

Gabionski potporni zid:

Model: Mohr-Coulomb

Jedinična težina: 19 kN/m^3

Kohezija: 50 kN/m^2

Kut unutarnjeg trenja: 45°

Materijal 7

Koluvij:

Model: Mohr-Coulomb

Jedinična težina: 19 kN/m^3

Kohezija: 2 kN/m^2

Kut unutarnjeg trenja: 25°

Materijal 7

Pilot:

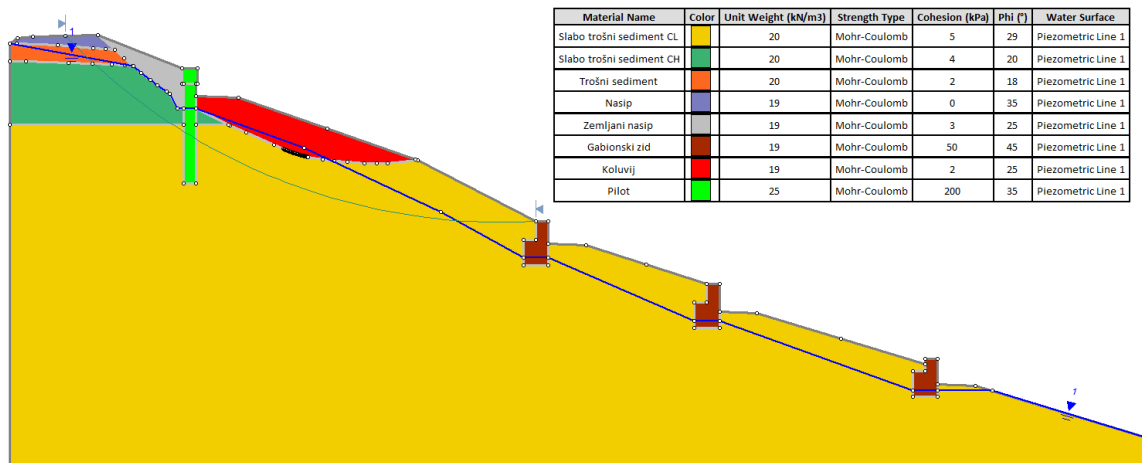
Model: Mohr-Coulomb

Jedinična težina: 25 kN/m^3

Kohezija: 200 kN/m^2

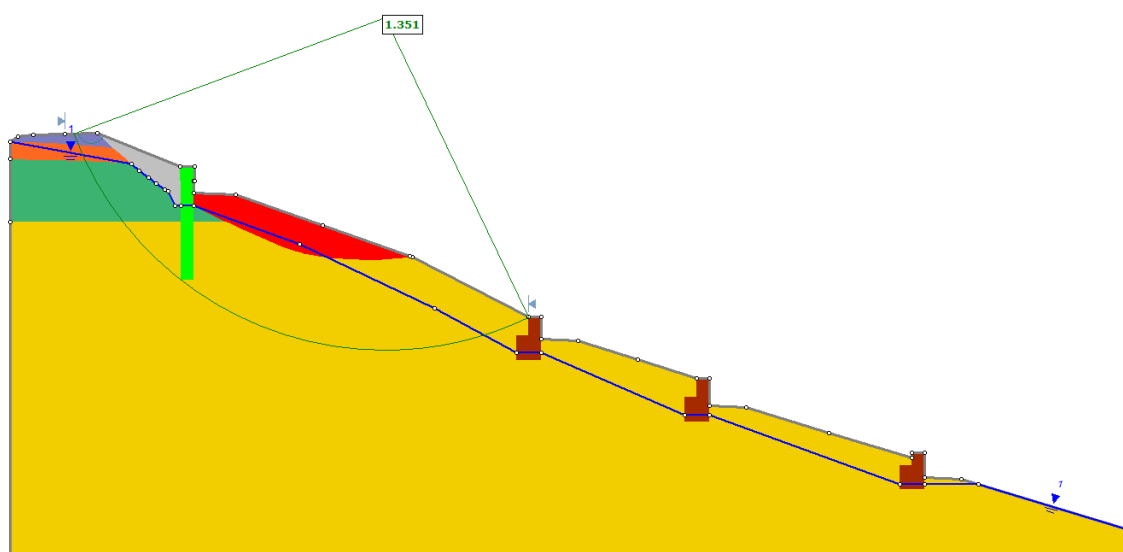
Kut unutarnjeg trenja: 35°

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 daljnjeg 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 nesanimiranog stanja. Međutim, kako je model idealiziran zbog zahtjevnosti geološke građe terena, prihvatilo 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%2F1211yydn>, 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

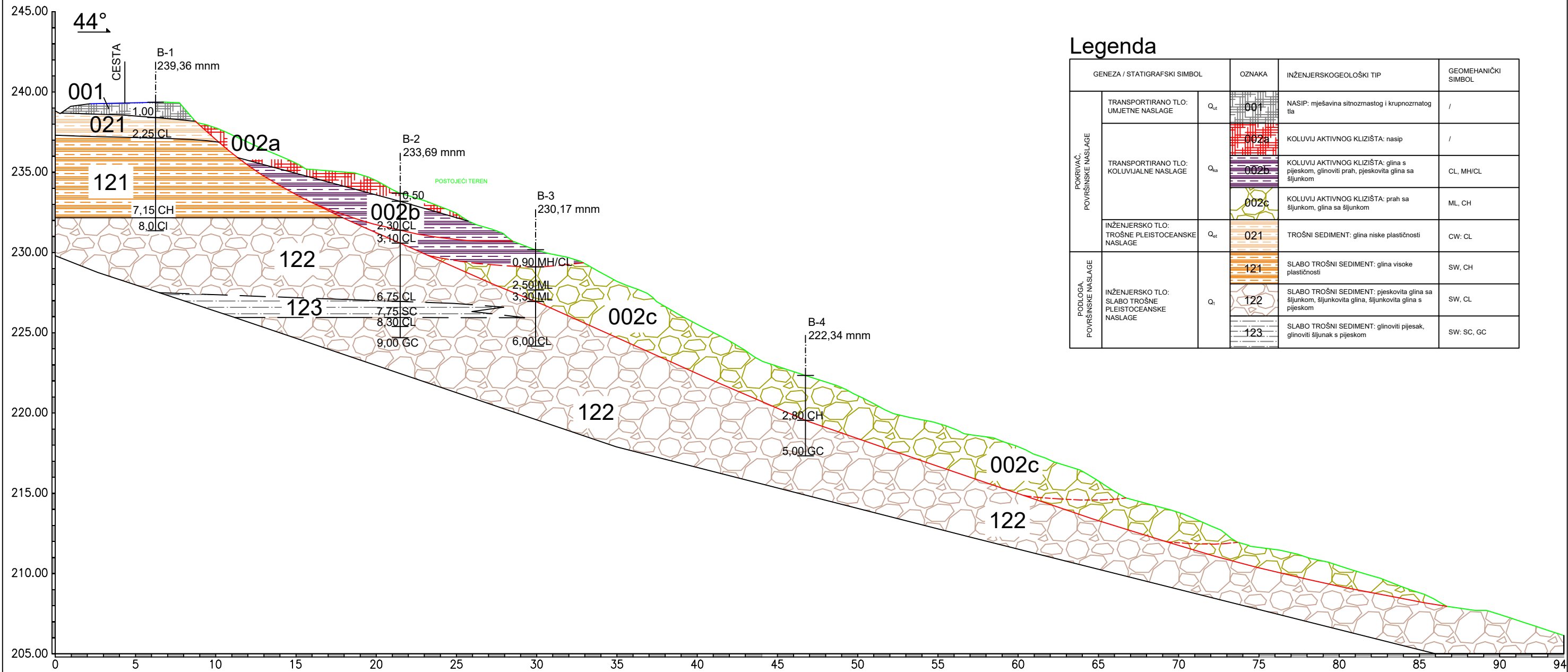
	ISTRAŽIVAČKA BUŠOTINA		ISPUST OTPADNIH VODA
	INŽENJERSKOGEOLOŠKI PROFILI		ZONA POVEĆANE VLAŽNOSTI
	PRETPOSTAVLJENA GRANICA INŽENJERSKOGEOLOŠKOG TIPA		POVREMENI TOK
	ČELO KLIZIŠTA REAKTIVIRANOG 4.4.2013.		UMJETNI ZASJEK
	GRANICA REAKTIVIRANOG KLIZIŠTA		VRH STRMOG DIJELA PADINE
	PRETPOSTAVLJENA GRANICA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

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

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

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

INŽENJERSKOGEOLOŠKI UZDUŽNI PROFIL KLIZIŠTA M1:250



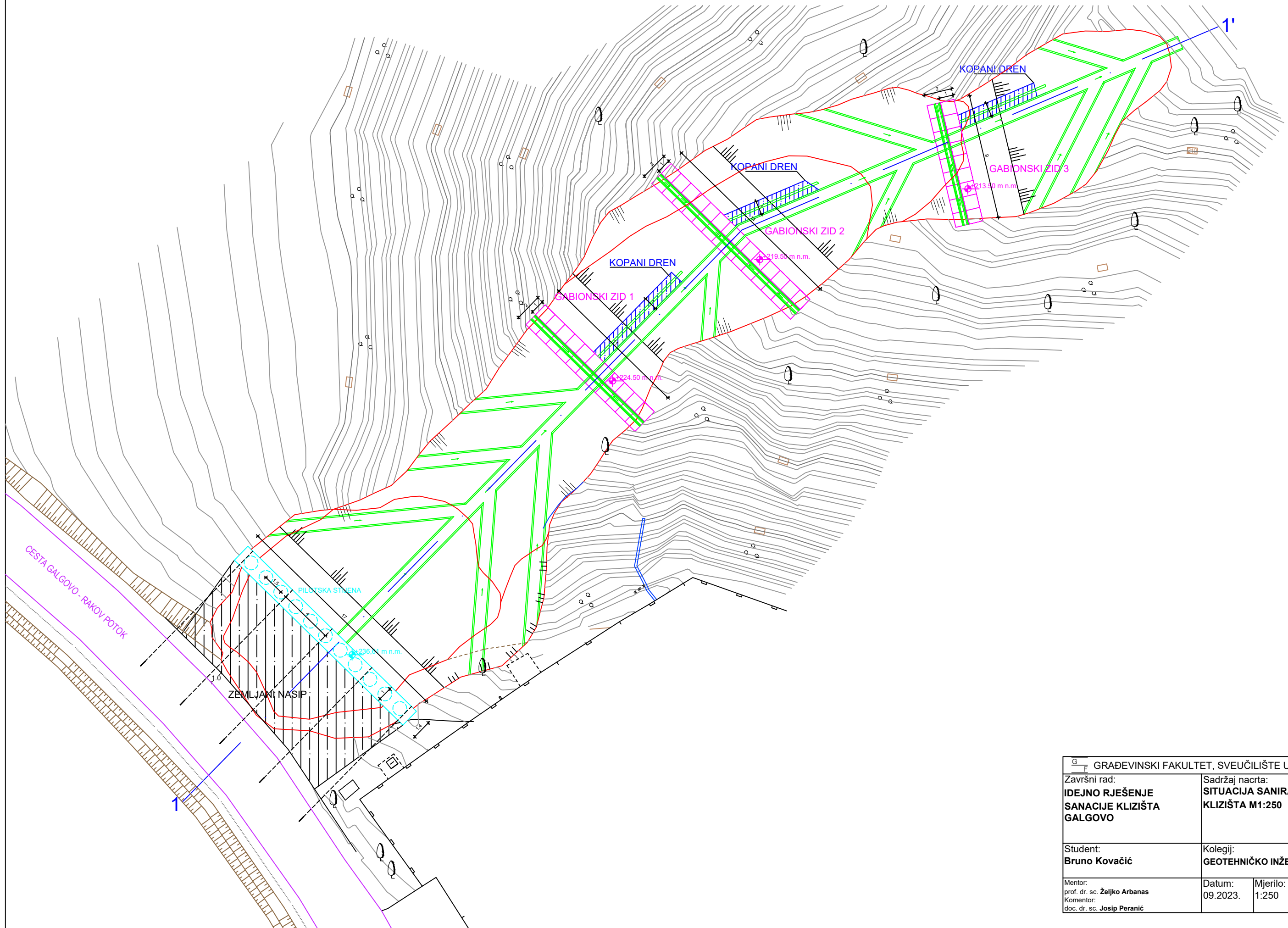
Legenda

GENEZA / STATIGRAFSKI SIMBOL		OZNAKA	INŽENJERSKOGEOLOŠKI TIP	GEOMEHANIČKI SIMBOL	
POKRIVAČ POVRŠINSKE NASLAGE	TRANSPORTIRANO TLO: UMJETNE NASLAGE	Q_{ut}	001	NASIP: mješavina silnozrnastog i krupnozrnatog tla	/
	TRANSPORTIRANO TLO: KOLUVIJALNE NASLAGE	Q_{sa}	002a	KOLUVIJ AKTIVNOG KLIZIŠTA: nasip	/
			002b	KOLUVIJ AKTIVNOG KLIZIŠTA: glina s pijeskom, glinoviti prah, pjeskovita glina sa šljunkom	CL, MH/CL
			002c	KOLUVIJ AKTIVNOG KLIZIŠTA: prah sa šljunkom, glina sa šljunkom	ML, CH
INŽENJERSKO TLO: TROŠNE PLEISTOCEANSKE NASLAGE	Q_{et}	021	TROŠNI SEDIMENT: glina niske plastičnosti	CW: CL	
PODLOGA POVRŠINSKE NASLAGE	INŽENJERSKO TLO: SLABO TROŠNE PLEISTOCEANSKE NASLAGE	Q_t	121	SLABO TROŠNI SEDIMENT: glina visoke plastičnosti	SW, CH
			122	SLABO TROŠNI SEDIMENT: pjeskovita glina sa šljunkom, šljunkovita glina, šljunkovita glina s pijeskom	SW, CL
			123	SLABO TROŠNI SEDIMENT: glinoviti pijesak, glinoviti šljunak s pijeskom	SW: SC, GC

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

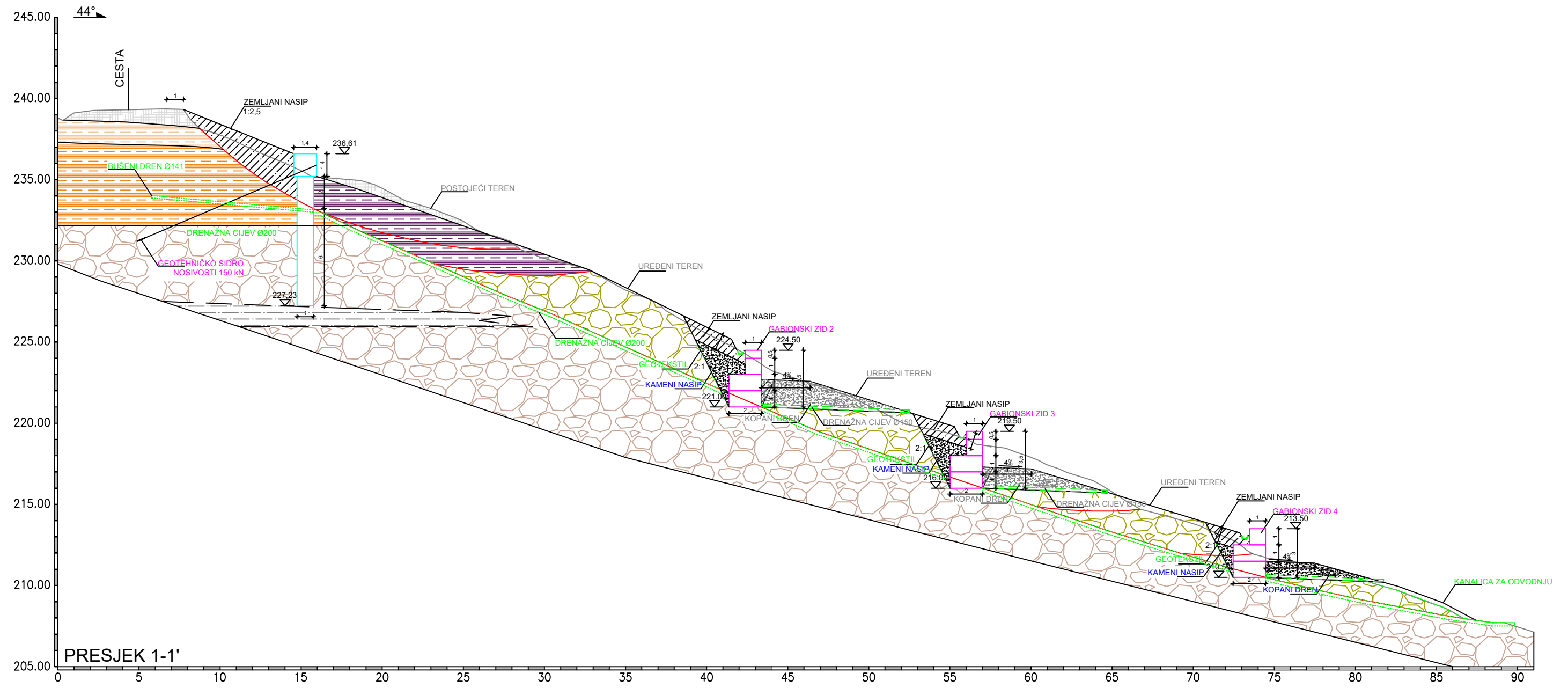
$\frac{G}{F}$ GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI			
Završni rad: IDEJNO RJEŠENJE SANACIJE KLIZIŠTA GALGOVO		Sadržaj nacрта: INŽENJERSKOGEOLOŠKI UZDUŽNI PROFIL KLIZIŠTA M1:250	
Student: Bruno Kovačić		Kolegij: GEOTEHNIČKO INŽENJERSTVO	
Mentor: prof. dr. sc. Željko Arbanas Komentor: doc. dr. sc. Josip Peranić	Datum: 09.2023.	Mjerilo: 1:250	List: 2


SITUACIJA SANIRANOG KLIZIŠTA M1:250



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

UZDUŽNI PRESJEK SANIRANOG KLIZIŠTA M1:250



 GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI			
Završni rad: IDEJNO RJEŠENJE SANACIJE KLIZIŠTA SALGOVO		Sadržaj nacрта: UZDUŽNI PRESJEK 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: 4