Inženjerskogeološki model klizišta Sveti Martin pod Okićem

Šošić, Ivan

Master's thesis / Diplomski rad

2015

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:261579

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Diplomski studij geološkog inženjerstva

INŽENJERSKOGEOLOŠKI MODEL KLIZIŠTA SVETI MARTIN POD OKIĆEM

Diplomski rad

Ivan Šošić
GI 122

Zagreb, 2015.

Zahvale:

Dr. sc. Snježani Mihalić Arbanas,
Na vodstvu, pomoći, razumijevanju, strpljenju i savjetima tijekom izrade ovog rada

Sanji Bernat, mag. ing. geol.
Na velikodušnoj pomoći, korekcijama, ljubaznosti i strpljenju tijekom izrade ovog rada

Martinu Krkaču, dipl. ing. geol.
Na tehničkoj podršci, korisnim savjetima i pomoći tijekom izrade ovog rada

Mojoj obitelji
Na stvarima čije bi nabrajanje trajalo u nedogled, te ne bi stalo u ovu opasku

Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet Diplomski rad

INŽENJERSKOGEOLOŠKI MODEL KLIZIŠTA SVETI MARTIN POD OKIĆEM

IVAN ŠOŠIĆ

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo
Pierottijeva 6, 10002 Zagreb

Sažetak

Inženjerskogeološki model klizišta Sveti Martin pod Okićem interpretiran je na temelju geotehničkog istraživanja u okviru kojega je provedeno detaljno inženjerskogeološko istraživanje. Inženjerskogeološko istraživanje sastojalo se od detaljnog inženjerskogeološkog kartiranja, determinacije jezgre devet istraživačkih bušotina i interpretacije dobivenih podataka. Detaljnim inženjerskogeološkim kartiranjem su dobiveni podaci o značajkama površinskih naslaga i naslaga podloge, hidrogeološkim i geomorfološkim uvjetima, aktivnim geomorfološkim procesima. Na temelju prikupljenih podataka izrađena je inženjerskogeološka karta klizišta u detaljnom mjerilu. Determinacijom i interpretacijom jezgri bušotina dobiveni su podaci o razini podzemne vode i litološkom sastavu na lokaciji klizišta, a rezultati su prikazani na presjecima bušotina i prognoznim inženjerskogeološkim profilima klizišta. Inženjerskogeološki model određen je na temelju geometrije klizišta i značajki klizišta koje uključuju tip klizanja obzirom na mehanizam pokreta, vidljive dijelove klizišta, aktivnost klizišta, materijale klizišta i uzrok klizanja. Pri interpretaciji inženjerskogeološkog modela istraživana je i prethodna oborina.

Ključne riječi: geotehničko istraživanje, detaljno inženjerskogeološko kartiranje, inženjerskogeološki model, klizište, Sveti Martin pod Okićem.

Diplomski rad sadrži: 35 stranica, 13 priloga, 8 tablica, 15 slika i 16 referenca

Jezik izvornika: hrvatski

Diploski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta,
Pierottijeva 6, Zagreb

Voditelj: Dr. sc. Snježana Mihalić Arbanas, izvanredna profesorica

Pomoć pri izradi: Sanja Bernat, mag. ing. geol.
Martin Krkač, dipl. ing. geol.

Ocjenjivači: Dr. sc. Snježana Mihalić Arbanas, izvanredna profesorica RGNF-a
Dr. sc. Andrea Bačani, redovita profesorica RGNF-a
Dr. sc. Davor Pavelić, redoviti profesor RGNF-a

Datum obrane: 19. lipanj 2015.

University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Master'sThesis

ENGINEERING GEOLOGICAL MODEL OF THE SVETI MARTIN POD OKIĆEM LANDSLIDE

IVAN ŠOŠIĆ

Thesis completed in: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Institute of Geology and Geological Engineering,
Pierottijeva 6, 10 002 Zagreb

Abstract Engineering geological model of the Sveti Martin pod Okićem landslide was interpreted on the basis of geotechnical research within which has been conducted detailed engineering geological research. Engineering geological research was consisted of detailed engineering geological mapping, determination of the nine exploration borehole cores and interpretation of the data harvested. The purpose of detailed engineering geological mapping was to collect data about superficial depositsand base rocks, hydrogeological and geomorphologic conditions and active geomorphologic processes and phenomena. Based on collected data, detailed engineering geological map of the landslide was created. Determination and interpretation of the borehole cores gave insight into groundwater level and lithological composition of the landslide area, and the results are presented in the form of borehole logs and engineering geological cross-sections of landslide. Engineering geological model of the Sveti Martin pod Okićem landslide is defined by landslide geometry and landslide characteristics including slope movement type, visibility of the landslide features, landslide activity, landslide material and cause of the sliding. While interpretation of engineering geological model of the landslide previous rainfall was considered and researched.

Keywords: geotechnical research, detailed engineering geological mapping, engineering geological model, landslide, Sveti Martin pod Okićem

Thesis contains: 35 pages, 13 attachents, 8 tables, 15 figures and 16 references.

Original in: Croatian

Thesis deposited in: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: Associate Professor Snježana Mihalić Arbanas, PhD
Technical support and assistance: Sanja Bernat, Mag. Ing, Research Assisstant, Martin Krkač, PhD, Research Assistant

Reviewers: Associate Professor Snježana Mihalić Arbanas, PhD
Full Professor Andrea Bačani, PhD
Full Professor Davor Pavelić, PhD

Date of defense: 19 June 2015

SADRŽAJ:

1. UVOD 1
2. PRIRODNE ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA 2
2.1 GEOGRAFSKE I GEMORFOLOŠKE ZNAČAJKE 2
2.2 GEOLOŠKA GRAĐA 4
2.3 SEIZMIČKE ZNAČAJKE PODRUČJA 7
2.4 HIDROLOŠKE I HIDROGEOLOŠKE ZNAČAJKE 9
3. METODE INŽENJERSKOGEOLOŠKOG ISTRAŽIVANJA I REZULTATI 10
3.1 DETALJNO INŽENJERSKOGEOLOŠKO KARTIRANJE 11
3.2 GEOTEHNIČKI ISTRAŽIVAČKI RADOVI 14
3.3 LABORATORIJSKA ISPITIVANJA 16
3.4 PRETHODNA OBORINA 18
4. INTERPRETACIJA INŽENJERSKOGEOLOŠKOG MODELA KLIZIŠTA 22
4.1ZNAČAJKE KLIZIŠTA 22
4.2 INŽENJERSKOGEOLOŠKE JEDINICE 24
5. DISKUSIJA 29
6. ZAKLJUČAK 31
7. LITERATURA 33
PRILOZI 35

Popis slika:

Slika 2.1 Satelitska snimka šire okolice istraživanog područja (GoogleEarth)..... 2
Slika 2.2 Položaj klizišta Sv. Martin-groblje na isječku Hrvatske osnovne karte (HOK) originalnog mjerila 1:5.000. 3
Slika 2.3 Položaj mjesnog groblja Sv. Martin pod Okićem i dio padine na kojem su zabilježeni procesi klizanja (fotografirano 27.6.2014). 4
Slika 2. 4 Isječak Osnovne geološke karte, List Zagreb originalnog mjerila 1:100.000 (ŠIKIĆ i dr., 1972)..... 5
Slika 2.5 Karta poredbenih vršnih ubrzanja temeljnog tla agr (temeljno tlo tipa A): (a) s vjerojatnosti premašaja 10% u 10 godina za poredbeno povratno razdoblje TNCR = 95 god. (b) s vjerojatnosti premašaja 10% u 50 godina za poredbeno povratno razdoblje TNCR = 4..... 8

Slika 3. 1Klizište 1 (uokvireno bijelom linijom) aktivirano 4. travnja 2013. godine (fotografirano 4.3.2014): (a) pogled na klizište; (b) pogled na gornji dio klizišta i oštećene grobove; (c) oštećenja na grobovima..... 12
Slika 3. 2 Klizište 2 (uokvireno bijelom linijom) aktivirano tijekom travnja 2013. Godine (fotografirano 27.6.2014). 13
Slika 3. 3Klizište 2 (snimljeno 27.6.2014.): (a) pogled na krunu klizišta, odnosno glavnu pukotinu; (b) oštećeni grobovi ispod glavne pukotine. 13
Slika 3.4 Srednje mjesečne oborine na kišomjernoj postaji Rakov Potok za 2013. i za razdoblje od 1991. do 2013. godine. 19
Slika 3.5 Dnevna i kumulativna oborina na postaji Rakov Potok za period od 1. siječnja do 7. travnja 2013. Datum aktiviranja klizišta je 4. 4. 2013. i prikazan je crvenom točkom..... 20
Slika 3.6 Tromjesečna prethodna oborina za ožujak za razdoblje od 1991. do 2013. godine 21
Slika 3.7 Mjesečne oborine i tromjesečne kumulativne oborine na postaji Rakov Potok za razdoblje travanj 2012.–ožujak 2013..... 20

Popis tablica

Tablica 2.1 Inženjerskogeološke jedinice prikazane s obzirom na genezu. 7

Tablica 3.1 Osnovni podaci o geotehničkim istraživačkim radovima. 14
Tablica 3.2 Osnovni podaci o istražnim bušotinama na području klizišta Sveti Martin pod Okićem 15
Tablica 3.3 Osnovni podaci o geomehaničkim laboratorijskim ispitivanjima tla. 16
Tablica 3.4 Rezultati ispitivanja fizičkih svojstava materijala tla na klizištu Sv Martin-groblje. 17
Tablica 3.5 Rezultati ispitivanja mehaničkih svojstava materijala tla na klizištu Sv Martin-groblje. 17
Tablica 3.6 Mjesečne količine oborine na postaji Rakov Potok u razdoblju 1991.-2011. 18

Tablica 4.1Inženjerskogeološke jedinice: inženjerskogeološki tipovi pokrivača i podloge. 26

Popis priloga

Prilog 1/1	Presjek bušotine B1
	Fotografija jezgre bušotine
Prilog 1/2	Presjek bušotine B2
	Fotografija jezgre bušotine
Prilog 1/3	Presjek bušotine B3
	Fotografija jezgre bušotine
Prilog 1/4	Presjek bušotine B4
	Fotografija jezgre bušotine
Prilog 1/5	Presjek bušotine B5
	Fotografija jezgre bušotine
Prilog 1/6	Presjek bušotine B6
	Fotografija jezgre bušotine
Prilog 1/7	Presjek bušotine B7
	Fotografija jezgre bušotine
Prilog 1/8	Presjek bušotine B8
	Fotografija jezgre bušotine
Prilog 1/9	Presjek bušotine B9
	Fotografija jezgre bušotine
Prilog 2	Inženjerskogeološki profili M 1:250: uzdužni presjeci klizišta 2-2`, 3-3` i 4-4`
Prilog 3	Inženjerskogeološki profili M 1:250: poprečni presjek klizišta 1-1`
Prilog 4	Inženjerskogeološka karta M 1:250
Prilog 5	Terminologija za opis inženjerskog tla prema preporukama USBR (2001)

1. UVOD

Klizanje je kretanje mase stijena ili tla niz padinu pod utjecajem gravitacije. Posljedica klizanja su klizišta koja predstavljaju ozbiljan problem jer uzrokuju ekonomske i socijalne gubitke, na privatnim ili javnim dobrima (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008).

Međunarodno prihvaćene klasifikacije klizišta prihvaćene su devedesetih godina od strane IGS UNESCO-ove radne skupine za svjetski inventar klizišta (*eng. International Geotehnical Societies' UNESCO Working Party on World Landslide Inventory – WP/WLI*), a objedinjene su u Višejezičnom rječniku klizišta (WP/WLI, 1993). Ovim klasifikacijama obuhvaćena je nomenklatura za opis klizišta kojom se preporučuje terminologija za: (i) značajke klizišta; (ii) dimenzije klizišta; (iii) stanje, raspodjelu i vrste aktivnosti klizišta; (iv) vrste klizišta s obzirom na mehanizam pokreta. Značajke klizišta, njegova aktivnost, mehanizam pokreta i značajke materijala utvrđuju se detaljnim inženjerskogeološkim istraživanjima.

U ovom radu opisana su inženjerskogeološka istraživanja klizišta koja su provedena u sklopu geotehničkih istraživanja za projekt sanacije klizišta Sveti Martin pod Okićem. Podaci su prikupljeni geodetskim snimanjem klizišta, detaljnim inženjerskogeološkim kartiranjem klizišta, istraživačkim bušenjem i laboratorijskim ispitivanjem uzoraka. Istraživanja klizišta provedena su u svibnju i lipnju 2014. godine, a sastojala su se od terenskog prikupljanja i kabinetske obrade podataka. Pri izradi inženjerskogeološkog modela klizišta kao podloga je korištena postojeća dokumentacija (Osnovna geološka karta iz 1972. godine; ŠIKIĆ i dr. 1972), geodetski snimak klizišta u mjerilu 1:200 iz svibnja 2014. tvrtke *GEO-BIM d.o.o.* i rezultati laboratorijskih ispitivanja tvrtke *Geokon-Zagreb d.d.*

Cilj inženjerskogeološkog istraživanja bio je odrediti vrstu materijala/mase tla i definirati njihovu prostornu raspodjelu koja je poslužila za interpretaciju inženjerskogeološkog modela klizišta. Ovi podaci se koriste kao ulazni podaci za analize stabilnosti i projektiranje mjera sanacije.

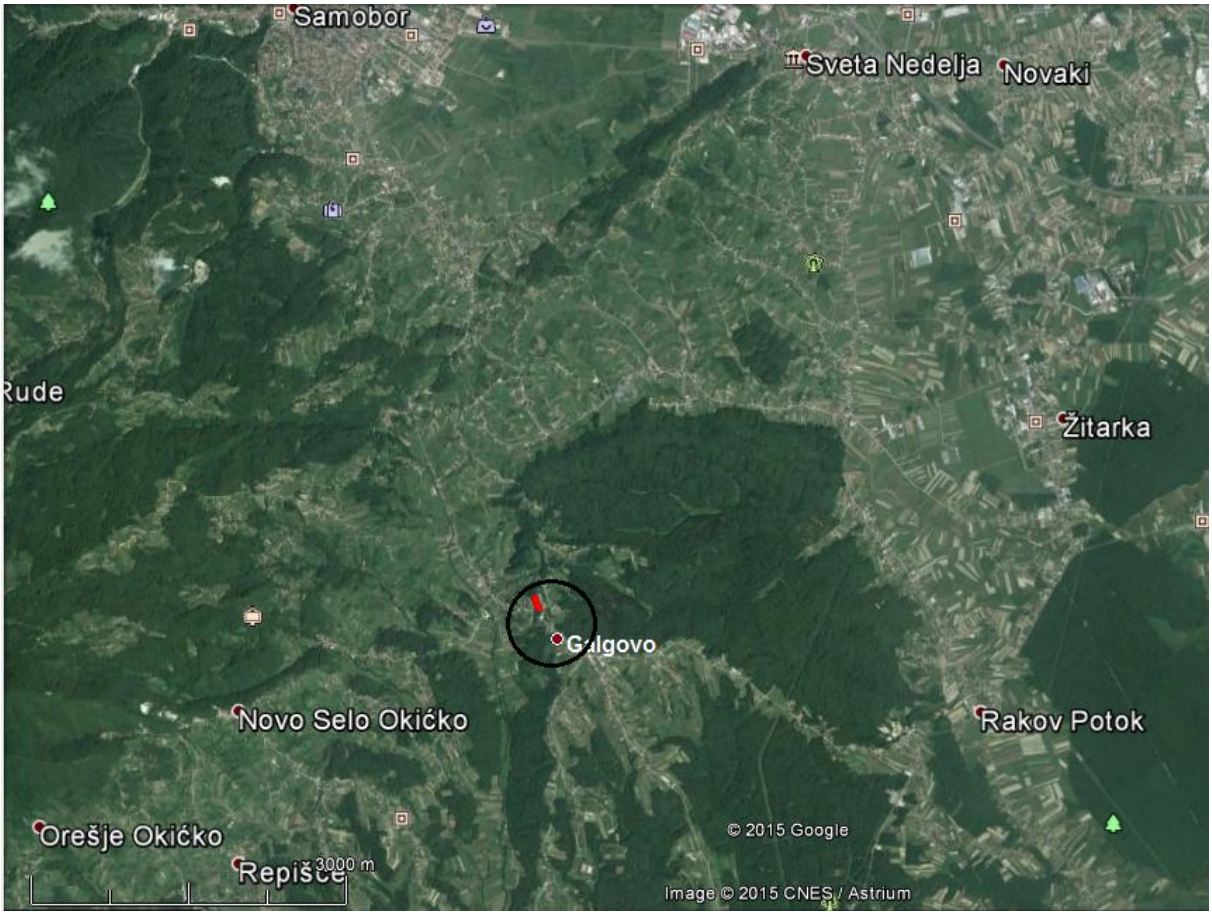
Naselje Sveti Martin pod Okićem nalazi se 6,2 km jugoistočno od grada Samobora. Klizište Sveti Martin pod Okićem reaktivirano je 4. travnja 2013. godine uslijed ekstremnih oborina u sjeverozapadnoj Hrvatskoj (BERNAT i dr., 2013). Klizanje se dogodilo na padini ispod izgrađenog groblja. Gornji dio klizišta zahvatio je nekoliko grobova u zapadnom rubnom dijelu groblja, te su zbog toga započeta geotehnička istraživanja i izrada projekta sanacije klizišta.

2. PRIRODNE ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

2.1 GEOGRAFSKE I GEMORFOLOŠKE ZNAČAJKE

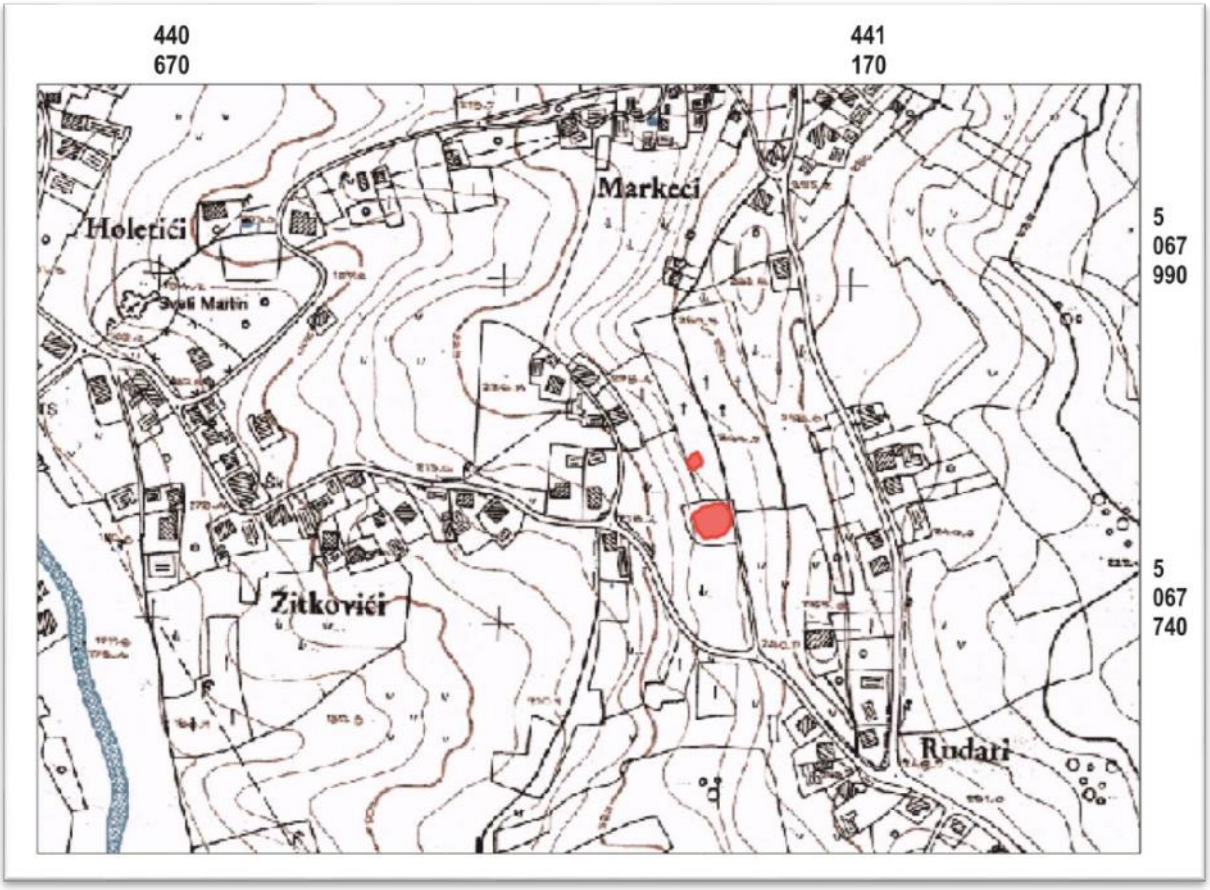
Naselje Sveti Martin pod Okićem nalazi se u sjeverozapadnom dijelu Hrvatske u blizini naselja Galgovo (slika 2.1). Površina naselja je 1,3 km^2, a smješteno je oko 6 km južno od Samobora i oko 20 km zapadno od Zagreba. Prema popisu stanovništva iz 2011. godine Sveti Martin pod Okićem ima 258 stanovnika, te 78 obiteljskih kućanstava (www.dzs.hr).

Administrativno područje Samobora prostire se na području dvije subgeomorfološke regije: Samoborska zavala s nizinom Save i gorskog masiva Žumberačke gore u kojoj se nalazi i naselje Sveti Martin pod Okićem.



Slika 2.1 Satelitska snimka šire okolice istraživanog područja (GoogleEarth)

Klizište Sv. Martin-groblje smješteno je u slivu potoka Konščica, na padini generalnog pružanja sjever-sjeverozapad-jug-jugoistok, a koja je nagnuta prema zapadu-jugozapadu (slika 2.2). Dio padine na kojemu je aktivirano veće klizište i manja lokalna nestabilnost pokosa, nalazi se na nadmorskoj visini od 235 do 240 mn.m., a predstavlja gornji dio padine (slika 2.3.) ukupne duljine 540 m. Vrh padine je na 255 mn.m., a padina završava s potokom Konščica u podnožju koji se nalazi na 175 mn.m.



Slika 2.2 Položaj klizišta Sv. Martin-groblje na isječku Hrvatske osnovne karte (HOK) originalnog mjerila 1:5.000.

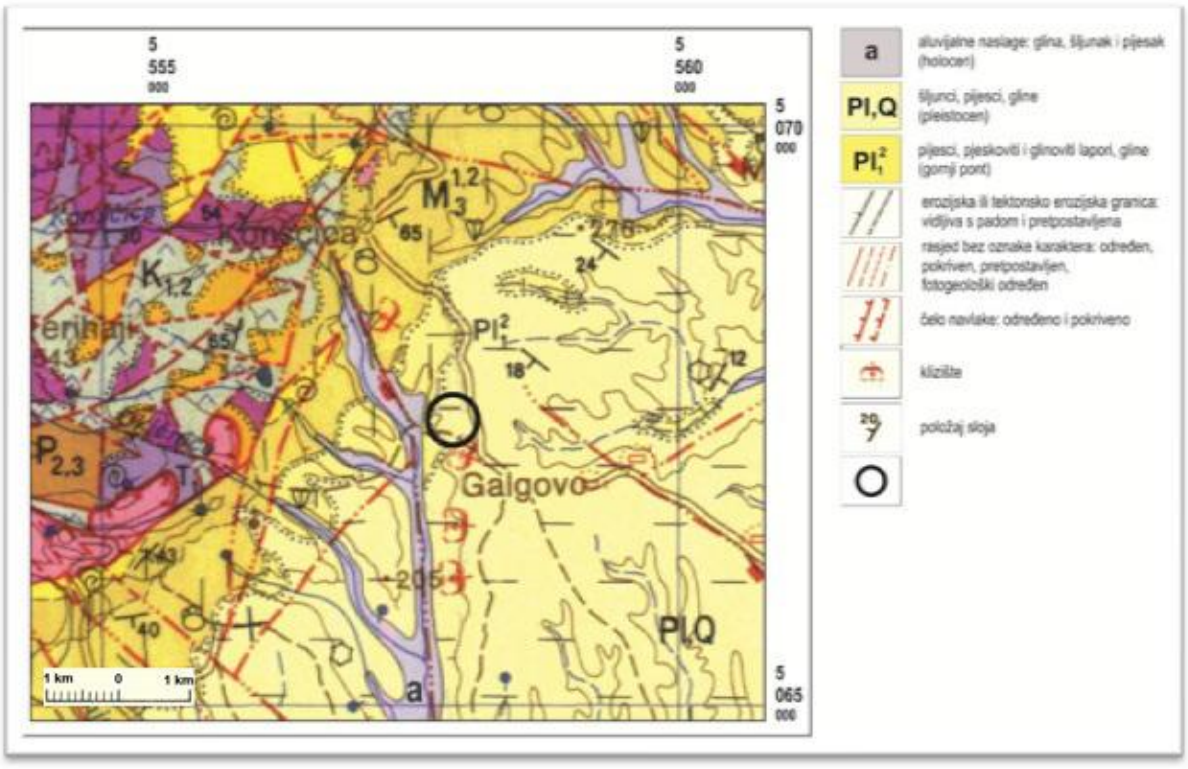
Predmetna klizišta smještena su na gornjem dijelu padine ispod izgrađenog dijela mjesnog groblja Sv. Martin pod Okićem. Prosječni nagib terena ispod groblja, na dijelu padine na kojemu su nastala klizišta je 15-20°. Originalnu morfologiju terena na ovom dijelu padine nije moguće pretpostaviti zbog višegodišnjeg nasipavanja. Na dijelu padine na kojemu su nastala klizišta nema izgrađenih objekata (slika 2.3.), izuzev nekoliko grobova koji su oštećeni formiranjem čeone pukotine klizišta. Iznad klizišta padina je u potpunosti izgrađena i modificirana nasipavanjima, usijecanjima i gradnjom grobova.



Slika 2.3 Položaj mjesnog groblja Sv. Martin pod Okićem i dio padine na kojem su zabilježeni procesi klizanja (fotografirano 27.6.2014).

2.2 GEOLOŠKA GRAĐA

Geološkim kartiranjem i uvidom u Osnovnu geološku kartu M 1:100 000 (OGK), list Zagreb (ŠIKIĆ i dr., 1972; ŠIKIĆ i dr., 1979) utvrđeno je da matičnu stijenu na širem istraživanom području čine dva stratigrafska člana: šljunci, pijesci i gline pleistocenske starosti (Pl,Q, nova oznaka Q_1) i pijesci, pjeskoviti i glinoviti lapori i gline gornjeg ponta (Pl_1^2, nova oznaka M_7^2). Naslage pleistocenske starosti transgresivno naliježu na naslage gornjeg ponta (M_7^2). Na slici 2.4 prikazan je isječak OGK šire okolice predmetne lokacije klizišta Sv. Martin-groblje. Iz isječka OGK je vidljivo da u blizini istraživane lokacije postoji nekoliko registriranih klizišta.



Slika 2. 4 Isječak Osnovne geološke karte, List Zagreb originalnog mjerila 1:100.000 (ŠIKIĆ i dr., 1972).

Osnovna značajka pleistocenskih naslaga (Pl,Q, nova oznaka Q_1) je nepravilna izmjena slabo sortiranih do nesortiranih glinovitih prahova, pjeskovitih glina, pijesaka i šljunaka. Naslage pleistocena su slatkovodni fluvijalno-jezerski sedimenti, koji leže diskordantno na različitim članovima tercijara, mezozoika i paleozoika. Gline formiraju tanje proslojke ili leće. Šljunci su pretežno nesortirani, sastoje se od valutica različitih stijena najčešćeg promjera do 5 cm. Rjeđe su pojave valutica promjera 5-20 cm. Valutice su mjestimice uložene u glinom onečišćene, nevezane, krupnozrne pijeske. Za levantske naslage može se pretpostaviti da im maksimalna debljina u razmatranom području ne prelazi 150 metara.

Naslage gornjeg ponta (Pl_1^2, nova oznaka M_7^2) zastupljene su u facijesu Rhomboidea-naslaga i taložene su u sredini s brakičnim obilježjima, kontinuirano na naslagama donjeg ponta (M_7^1). U starijem, odnosno donjem dijelu, ove naslage pretežno se sastoje od glinovito-pjeskovitih lapora i glina. Djelomično prekrivena zona gornjopontskih naslaga se prema jugozapadu proteže jugoistočnim obroncima Žumberka od sela Gorice do Pribića. U mlađem (gornjem) dijelu postupno se pojavljuju slabo vezani do nevezani glinoviti pijesci i prahovi. Nevezani sedimenti su predstavljeni žućkastim do crvenkasto smeđim pijescima, prahovitim pijescima i pjeskovitim prahovima, s vrlo malom količinom glinovite komponente. Unutar

pijesaka mogući su i tanki proslojci vapnenačkih pješčenjaka i prahova, kao i tanke leće i ulošci sitnozrnatih pjeskovitih šljunaka. Debljina gornjopontskih naslaga varira u rasponu od 100 do 400 metara.

Područje Žumberka i Samoborskog gorja karakterizirano je vrlo složenom geološkom građom. Cijeli taj prostor je kroz geološku prošlost bio izložen dinamičnim geotektonskim kretanjima koji su uzrokovali pojavu različitih taložnih okoliša. Uslijed toga, nastajale su stijene različitog petrografskog sastava i litoloških karakteristika. Aktivna tektonika dodatno je utjecala na složenu strukturno-geološku građu područja.

Strukturno-geološka građa šire okolice istraživane lokacije je relativno složena, a karakterizirana je s nekoliko rasjeda koji se nalaze nedaleko od predmetnog klizišta u Sv. Martinu pod Okićem.

Naslage matične stijene u inženjerskom smislu predstavljaju inženjersko tlo, jer su izgrađene od dobro graduiranog pijeska, glinovitog/prahovitog pijeska, pijeska s glinom/prahom. Matična stijena prekrivena je površinskim naslagama, koje na klizištu Sv. Martin-groblje sačinjavaju: antropogene naslage nasipi (Q_{ut}), deluvijalne ili padinske naslage (Q_d),koluvijalne naslage (Q_{ka}) i trošni sedimenti pleistocenske starosti (Q_1). Površinske naslage predstavljaju inženjersko tlo.

Na području klizišta Sv. Martin-groblje, naslage matične stijene i površinske naslage podijeljene su u sedam inženjerskogeoloških jedinica prikazanih u tablici 2.1. Prahoviti pijesak, pjeskoviti prah i prah s pijeskom pleistocenske starosti i dobro graduirani pijesak, glinoviti/prahoviti pijesak i pijesak s glinom/prahom gornjopontske starosti smatraju se matičnom stijenom, odnosno podlogom. Trošni sediment pleistocenske starosti (Q_1), koluvijalne i deluvijalne naslage (Q_{ka}/Q_d) i umjetne tvorevine - nasip (Q_{ut}) smatraju se pokrivačem.

Tablica 2.1 Inženjerskogeološke jedinice prikazane s obzirom na genezu.

<table>
<tr><th colspan="3">GENEZA (STRATIGRAFSKI SIMBOL)</th><th>VRSTA MATERIJALA</th></tr>
<tr><td rowspan="5">POKRIVAČ, POVRŠINSKE NASLAGE</td><td>TRANSPORTIRANO TLO: UMJETNE NASLAGE (Q_{ut})</td><td>NASIP</td><td>sitnozrnasto tlo</td></tr>
<tr><td rowspan="2">TRANSPORTIRANO TLO: KOLUVIJALNE/DELUVIJALNE NASLAGE (Q_{ka}/Q_d)</td><td>KOLUVIJ AKTIVNOG KLIZIŠTA</td><td>glina visoke plastičnosti</td></tr>
<tr><td>DELUVIJ</td><td>sitnozrnasto tlo niske plastičnosti sa ili bez tragova šljunka</td></tr>
<tr><td rowspan="2">TROŠNI SEDIMENT: PLEISTOCENSKE NASLAGE (Q_1)</td><td rowspan="3">NETRANSPORTIRANO INŽENJERSKO TLO</td><td>glina visoke plastičnosti</td></tr>
<tr><td>glina niske plastičnosti, glina s pijeskom, glina sa šljunkom, podređeno glina visoke plastičnosti</td></tr>
<tr><td>PODLOGA, POVRŠINSKE NASLAGE</td><td>SLABO TROŠNI SEDIMENT: PLEISTOCENSKE NASLAGE (Q_1)</td><td>prahoviti pijesak, pjeskoviti prah, prah s pijeskom</td></tr>
<tr><td>PODLOGA, MATIČNA STIJENA</td><td>SLABO TROŠNI DO SVJEŽI SEDIMENT: GORNJO PONTSKE NASLAGE (M_7^2)</td><td>dobro graduirani pijesak, glinoviti/prahoviti pijesak, pijesak s glinom/prahom</td></tr>
</table>

2.3 SEIZMIČKE ZNAČAJKE PODRUČJA

Na području Grada Samobora seizmička aktivnost je pojačana što je posljedica intenzivnih tektonskih pokreta u području planina Žumberka i Medvednice. Predmetna lokacija nalazi se 6,2 km jugoistočno od Samobora, kao što je prikazano na slici 2.1.

Kartama potresnih područja Republike Hrvatske za povratna razdoblja od T_p= 95 i 475 godina prikazana su potresom prouzročena horizontalna poredbena vršna ubrzanja temeljnog tla tipa A. Vrijednosti prikazane na karti odgovaraju ubrzanjima koja se u prosjeku premašuju tijekom povratnog razdoblja od 475 godina. Ubrzanja su izražena u jedinicama gravitacijskog

ubrzanja g (1 g = 9,81 m/s^2). Iznosi poredbenih vršnih ubrzanja na karti prikazani su izolinijama s rezolucijom 0,02 g. Numerički navedene vrijednosti odnose se na prostor između dvije susjedne izolinije. Povratna razdoblja imaju smisla za procjenu ukupnog broja potresa koji se mogu očekivati tijekom nekog duljeg razdoblja (HERAK i dr., 2011).

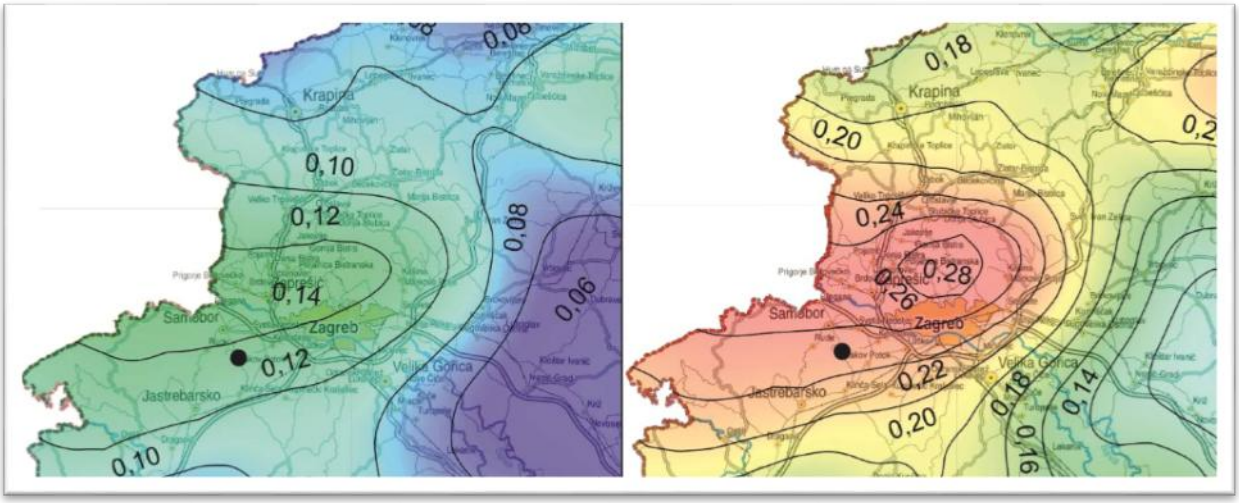
Vrijednost poredbenih vršnih ubrzanja temeljnog tla a_{gR} (za temeljno tlo tipa A), s vjerojatnosti premašaja 10% u 10 godina za poredbeno povratno razdoblje TN_{CR}=95 za predmetnu lokaciju prikazani su na slici 2.5a i s vjerojatnosti premašaja 10% u 50 godina za poredbeno povratno razdoblje TN_{CR}=475 godina prikazani su na slici 2.5b izraženo u jedinicama gravitacijskog ubrzanja, g.

Za potrebe definiranja elastičnih i projektnih spektara pri proračunu konstrukcije na potres, koristi se vrijednost ag projektnog ubrzanja u tlu razreda A. Ta vrijednost je dana izrazom: ag = agR * γI

gdje je:

-γI - faktor važnosti građevine čije su vrijednosti dane u HRN EN 1998-1:2008 i kreću se od 1,40, za građevine čije bi funkcioniranje neposredno nakon potresa bilo od vitalne važnosti (bolnice, vatrogasne postaje, energetska postrojenja itd.) do vrijednosti od 0,80 za građevine maloga utjecaja na javnu sigurnost

-agR - poredbeno maksimalno ubrzanje u tlu razreda A



Slika 2.5 Karta poredbenih vršnih ubrzanja temeljnog tla agr (temeljno tlo tipa A): (a) s vjerojatnosti premašaja 10% u 10 godina za poredbeno povratno razdoblje TNCR = 95 god. (b) s vjerojatnosti premašaja 10% u 50 godina za poredbeno povratno razdoblje TNCR = 4

2.4 HIDROLOŠKE I HIDROGEOLOŠKE ZNAČAJKE

Samoborsko područje pripada umjerenoj kontinentalnoj klimi sa srednjom godišnjom količinom oborina oko 1.000 mm. Naselje Sveti Martin pod Okićem nema vlastitu kišomjernu postaju, a njemu najbliža je kišomjerna postaja Rakov Potok koja je od predmetnog klizišta udaljena oko 4,5 km. Prema meteorološkoj postaji Samobor srednja godišnja temperatura iznosi 10,9 °C. Najhladniji mjesec je siječanj s prosječnom temperaturom 0,5 °C, a najtopliji mjesec je srpanj s prosječnom temperaturom 21,3 °C (ČMELIK i dr., 2008.). Kišni maksimum je u rujnu i listopadu, a najmanje oborina je u siječnju, veljači i ožujku.

U bližoj okolici klizišta Sv. Martin-groblje nalazi se jedan stalni vodotok. Potok Konščica udaljen je oko 480 m zračne udaljenosti od klizišta i hipsometrijski je položen približno 60 metara niže od klizišta. Zbog opisanog relativnog položaja klizišta u odnosu na navedeni površinski vodotok, potok Konščica nema utjecaja na aktiviranje klizišta. Prilikom detaljnog inženjerskogeološkog kartiranja u lipnju 2014. godine, na istraživanoj lokaciji nisu registrirane pojave vlaženja u zoni klizišta iz razloga što je u vrijeme istraživanja klizišta bilo sušnije vremensko razdoblje.

Hidrogeološki uvjeti na području istraživanja uvjetovani su litološkom građom, strukturnim odnosima i stupnjem trošnosti. Površinske naslage u podlozi, odnosno dobro graduirani pijesak, glinoviti/prahoviti pijesak, pijesak s glinom/prahom gornjeg ponta i prahoviti pijesak, pjeskoviti prah i prah s pijeskom pleistocenske starosti su dobro propusne naslage prema hidrogeološkim karakteristikama. Međutim, klizište je formirano u površinskim naslagama pokrivača, koje osim trošnog sedimenta koji se sastoji od praha s pijeskom, praha niske do visoke plastičnosti, obuhvaća i transportirano tlo (nasip), što sve uzrokuje povećanu propusnost pokrivača, lokalnog karaktera.

3. METODE INŽENJERSKOGEOLOŠKOG ISTRAŽIVANJA I REZULTATI

Istraživanjem klizišta utvrđuju se inženjerskogeološki uvjeti u podzemlju i njihove značajke na lokacijama istraživačkih radova, a na temelju dobivenih podataka provodi se analiza stabilnosti padine u svrhu sanacije klizišta. Istraživanje obuhvaća formuliranje istraživanja, prikupljanje podataka i interpretaciju podataka. Formuliranje istraživanja je neophodno radi postizanja potrebne kvalitete informacija u predvidivom vremenu i u okviru predviđenih financijskih sredstava. Tijekom formuliranja istraživanja definiraju se ciljevi istraživanja, veličina istraživanog područja i detaljnost i količina potrebnih podataka. Prikupljanje podataka za inžejnerskogeološko istraživanje obavlja se u kabinetu, ali i na terenu. U kabinetu se podaci prikupljaju iz već postojeće dokumentacije, sa svrhom stvaranja predodžbe o istraživanom terenu uglavnom radi kvalitetnijeg i racionalnijeg planiranja ostalih istraživačkih radova/postupaka. Terensko prikupljanje podataka obuhvaća inženjerskogeološko kartiranje i interpretaciju rezultata istraživačkog bušenja, *in situ* pokusa laboratorijskih analiza stijena i tala i geofizičkih ispitivanja. Interpretacijom se prikupljeni podaci transformiraju u informaciju korisnu za projekt. Prikupljanje podataka i njihova interpretacija često se obavljaju paralelno.

Metode istraživanja podzemlja mogu se podijeliti na izravne i neizravne. Izravne metode, kao što su istraživačko bušenje i istraživačke jame, omogućuju uzimanje uzoraka. Neizravnim metodama, kao što su geofizička ispitivanja, dobivaju se izmjerene vrijednosti pojedinih svojstava nekog materijala koje se kasnije mogu korelirati s drugim podacima kako bi se procijenila vrsta i stanje materijala.

Na klizištu Sv. Martin pod Okićem provedene su sljedeće vrste istraživanja kojima su dobiveni ulazni podaci inženjerskogeološkog modela klizišta: detaljno inženjerskogeološko kartiranje, geotehnički istraživački radovi, identifikacija i opis jezgre bušotina i laboratorijska ispitivanja uzoraka tla.

3.1 DETALJNO INŽENJERSKOGEOLOŠKO KARTIRANJE

Svrha inženjerskogeološkog kartiranja klizišta je dokumentiranje površinskih uvjeta kako bi se omogućila osnova za projiciranje podpovršinskih uvjeta (KEATON & DeGRAFF, 1996). Tijekom inženjerskogeološkog kartiranja prikupljaju se podaci o: značajkama stijena/tala, hidrogeološkim uvjetima, geomorfološkim uvjetima i geodinamičkim pojavama i procesima. Osnovna skupina podataka u svim tipovima inženjerskogeoloških kartiranja su značajke stijena/tala. Najveći broj podataka dobije se obilaskom terena i snimanjem izdanaka. Ako izdanci nisu vidljivi za tu se svrhu mogu načiniti posebni istraživački iskopi i bušotine.

Tijekom travnja 2014. godine provedeno je detaljno inženjerskogeološko kartiranje na klizištu Sv. Martin pod Okićem u svrhu dobivanja podataka o površinskim naslagama, geomorfološkim uvjetima, geodinamičkim pojavama i procesima te hidrogeološkim uvjetima na temelju kojih je izrađena inženjerskogeološka karta klizišta Sv. Martin pod Okićem (prilog 4). Kao topografska podloga za inženjerskogeološko kartiranje korištena je posebna geodetska podloga snimljena u lipnju 2014. godine (GEO-BIM, 2014). Od aktivnih geomorfoloških i geodinamičkih procesa zabilježeno je klizanje. Unutar klizišta Sv. Martin pod Okićem i u njegovoj bližoj okolici nema pojava površinske vode niti područja povećane vlažnosti.

Klizište Sv. Martin pod Okićem aktivirano je 4. travnja 2013. godine, a približno isto vrijeme aktivirana je i manja lokalna nestabilnost pokosa. Oba klizišta su manjih dimenzija i aktivirana su na padini ispod groblja. Klizište 1, površine 468 m^2 (slika 3.1) smješteno je nedaleko od ulaza na groblje, odnosno u južnom dijelu groblja ispod posljednjeg reda grobova. Na slici 3.1 prikazan je gornji dio klizišta 1 koji je oštetio nekoliko grobova. Približan iznos denivelacije pokrenute mase po glavnoj pukotini klizišta je oko 0,7 metara (slika 3.1a,b). Glavna pukotina formirana je u nasipu, a nasuti materijal također je vidljiv u gornjem dijelu klizišta. U gornjem dijelu pokrenute mase također je razvijena i sekundarna pukotina te je izraženo usijedanje. Zona akumulacije materijala i donji dio klizišta također su jasno izraženi. Završetak klizišta nalazi se izvan granica groblja, na privatnoj parceli. Desna (sjeverna) granica klizišta jasno je izražena, a prikazana je na slici 3.2b. Tijekom kartiranja klizišta u sušnom razdoblju, na površini klizišta nisu registrirane pojave vode ili zone povećane vlažnosti.



Slika 3. 1 Klizište 1 (uokvireno bijelom linijom) aktivirano 4. travnja 2013. godine (fotografirano 4.3.2014): (a) pogled na klizište; (b) pogled na gornji dio klizišta i oštećene grobove; (c) oštećenja na grobovima.

Klizište 2 (slika 3.2) je manje površine (72 m^2) i udaljeno je od klizišta 1 oko 30 m u pravcu sjevera, odnosno smješteno je u središnjem dijelu groblja, također zahvaćajući rubne redove groblja. Kruna klizišta, odnosno glavna pukotina, jasno su bile vidljive u vrijeme detaljnog kartiranja klizišta u lipnju 2014. godine. Slika 3.3a prikazuje glavnu pukotinu klizišta, po kojoj je također došlo do denivelacije terena do maksimalno cca 0,5 m, a slika 3.3b prikazuje gornji dio klizišta u zoni usjedanja, što je prouzročilo oštećivanje i propadanje grobova. Ostale granice klizišta slabije su izražene.



Slika 3. 2 Klizište 2 (uokvireno bijelom linijom) aktivirano tijekom travnja 2013. godine (fotografirano 27.6.2014).



Slika 3. 3 Klizište 2 (snimljeno 27.6.2014.): (a) pogled na krunu klizišta, odnosno glavnu pukotinu; (b) oštećeni grobovi ispod glavne pukotine.

Oba klizišta su formirana u nasutom materijalu. Aktiviranje oba klizišta zahvatilo je nekoliko grobova u gornjim dijelovima klizišta, tj. u zoni glavnih pukotina. Na detaljnoj inženjerskogeološkoj karti mjerila 1:250 (prilog 4) prikazane su utvrđene i geodetski snimljene granice klizišta.

3.2 GEOTEHNIČKI ISTRAŽIVAČKI RADOVI

Geotehnički istraživački radovi provedeni su kako bi se dobili detaljni podaci o geološkoj građi na samoj lokaciji klizišta, fizičko-mehaničkim svojstvima tla i pojavi i razini podzemne vode. U tablici 3.1 navedeni su osnovni podaci o geotehničkim istraživačkim radovima provedeni na lokaciji klizišta u razdoblju od 19. do 21. svibnja, a koji su se sastojali od istražnog bušenja, uzorkovanja, *in situ* pokusa i opisa jezgre bušotine. Istražno bušenje je provela tvrtka GEOservis A.S.d.o.o.

Tablica 3.1 Osnovni podaci o geotehničkim istraživačkim radovima.

VRSTE RADOVA	**OPIS**
Istraživačko bušenje	Izvedeno je 9 geotehničkih istraživačkih bušotina dubine 5,0-8,0 m. Garniturom za bušenje Kamaco 205 izvedeno je pet bušotina (B-1, B-2, B-3, B-4 i B-9) te je izbušeno ukupno 34,0 m uz kontinuirano jezgrovanje. Ostale bušotine (B-5, B-6, B-7 i B-8) izvedene su ručnom bušaćom garniturom uz kontinuirano jezgrovanje, ukupno 20,25 m. Jezgra je slagana u drvene sanduke i fotografirana, a fotografije jezgre prikazane su na prilozima 3/1-3/9. Koordinate istraživačkih bušotina geodetski su snimljene po izvedenom bušenju (tablica 3.2), a položaji svih bušotina prikazani su na inženjerskogeološkoj karti mjerila 1:250 (prilog 2).
Uzrokovanje	Uzimanje poremećenih (PU) uzoraka. Intervali jezgre iz kojih su uzeti uzorci prikazani su u inženjerskogeološkim presjecima bušotina (prilozi 3/1-3/9).
Kontinuirani geotehnički nadzor	Terenska identifikacija i klasifikacija i opis tla i stijene iz jezgre bušotina prema USCS (*eng. UnifiedSoilClassificationSystem*) geomehaničkoj klasifikaciji (ASTM, 1996; USBR, 2001). Rezultati identifikacije i opisa tla i stijene prikazani su na inženjerskogeološkim presjecima bušotina (prilozi 3/1-3/9).

Izvedeno je ukupno devet istraživačkih bušotina (tablica 3.2), od čega je pet bušotina izvedeno strojnim bušenjem, a četiri ručnim bušenjem. Dubine bušotina su od 5 do 8 m, a ukupna dubina izvedenog bušenja s jezgrovanjem je 54,25 m. Jezgra bušotina je slagana u sanduke i fotografirana, te su uzimani samo poremećeni uzorci za laboratorijska ispitivanja. Poremećeni uzorci se koriste za klasifikacijske testove te moraju biti reprezentativnog sastava, ali ne moraju imati očuvanu strukturu. Za inženjerskogeološku determinaciju i opis tla i jezgre bušotine korištena je USCS klasifikacija.

Tablica 3.2 Osnovni podaci o istražnim bušotinama na području klizišta Sveti Martin pod Okićem

OZNAKA BUŠOTINE	DATUM IZVOĐENJA	KOORDINATE BUŠOTINA			DUBINA BUŠOTINE (m)	SPP (kom)
		X	Y	UŠĆE BUŠOTINE Z (m n.m)		
B – 1	19.5.2014.	441060.02	5067826.63	235,19	8	2
B – 2	19.5.2014.	441056.57	5067842.89	234,2	8	2
B – 3	19.5.2014.	441053.18	5067860	236,53	8	2
B – 4	20.5.2014.	441080.76	5067829.26	240,14	5	1
B – 5	20.5.2014.	441066.94	5067845.07	237,87	5,25	1
B – 6	21.5.2014.	441047.93	5067825.19	231,42	5	1
B – 7	20.5.2014.	441047.8	5067840.92	231,88	5	1
B – 8	21.5.2014.	441045.42	5067858.55	233,75	5	1
B – 9	21.5.2014.	441050.38	5067869.99	238,13	5	1

3.3 LABORATORIJSKA ISPITIVANJA

Laboratorijska ispitivanja na uzorcima tla provedena su u geomehaničkom laboratoriju tvrtke Geokon-Zagreb d.d. u lipnju 2014. godine. Ispitivanja su provedena samo na poremećenim uzorcima jer se metodom bušenja s isplakom teško dobivaju neporemećeni uzorci, a uzorci dobiveni ručnim bušenjem su manje ili više poremećeni.

Na reprezentativnim poremećenim uzorcima tla izvršena su ispitivanja navedena u tablici 3.3. Rezultati laboratorijskih ispitivanja fizičkih svojstava prikazani su u tablici 3.4. Ispitivanja parametara čvrstoće tla izravnim posmikom provedena su na ukupno tri uzorka iz bušotina B-1 (2,0-2,3 m), B-2 (3,0-3,2 m) i B-3 (2,4-2,6 m). Rezultati laboratorijskih ispitivanja mehaničkih svojstava su prikazani u tablicama 3.4 i 3.5.

Tablica 3.3 Osnovni podaci o geomehaničkim laboratorijskim ispitivanjima tla.

Vrste ispitivanja	**Oznaka**	**Jedinice**	**Norma**
Prirodna vlažnost	W_0	%	BS 1377 Part 2:1990:3.
Granica tečenja	W_l	%	BS 1377 Part 2:1990:4.5.
Granica plastičnosti	W_p	%	BS 1377 Part 2:1990:5.3.
Granulometrijski sastav	-	%	BSCS geom. sustav
Izravni posmik - kohezija - kut unutarnjeg trenja	 C ϕ	 4. kN/m^2 °	 5. BS 1377 Part 2:1990:4.

Tablica 3.4 Rezultati ispitivanja fizičkih svojstava materijala tla na klizištu Sv Martin-groblje.

BUŠOTINA	DUBINA	VLAŽNOST	ATTERBERGOVE GRANICE		INDEKSI		PRIRODNA GUSTOĆA	GUSTOĆA SUHIH ČESTICA	SPEC. GUSTOĆ
		W_0	W_l	W_p	Ip	Ic	ρ	ρ_d	ρ_s
		%	%	%	%		g/m^3	g/m^3	g/m^3
B-1	2,0-2,3	27,75	69,04	24,11	24,93	0,92	1,97	1,54	2,73
B-1	5,5-5,75	13,99	26,65	19,95	10,70	1,18	1,99	1,74	2,67
B-3	3,55-3,75	21,68	41,16	18,00	23,17	0,84	2,07	1,70	2,68
B-4	3,0-3,2	24,94	53,13	20,40	32,73	0,86	1,99	1,60	2,76
B-7	4,0-4,1	22,35	30,37	17,22	13,14	0,61	2,00	1,63	2,69
B-8	2,4-2,6	20,69	24,75	18,02	6,73	0,60	1,94	1,60	2,71
B-9	3,25-3,45								

Tablica 3.5 Rezultati ispitivanja mehaničkih svojstava materijala tla na klizištu Sv Martin-groblje.

BUŠOTINA	DUBINA	IZRAVNI POSMIK	
		c	φ
		kPa	°
B-1	2,0-2,3	62,70	7,10
B-4	3,0-3,2	18,20	19,90
B-8	2,4-2,6	4,20	27,80

3.4 PRETHODNA OBORINA

Zbog povezanosti oborina s velikim brojem pokrenutih klizišta, kao i potreba za predviđanjem aktiviranja klizišta, kako bi se povećala sigurnost ljudi i njihove imovine, te kako bi se općenito smanjile posljedice od klizanja, uobičajena su istraživanja o utjecaju prethodne oborine na pokretanje klizišta. Studije se temelje na prikupljanju i analizi podataka o povijesnim klizištima aktiviranim u kišnom dijelu godine i meteorološkim podacima iz tog razdoblja (BAUM & GODT, 2009).

Klizište Sv. Martin pod Okićem je aktivirano zbog ekstremnih oborina u proljeće 2013. U tom razdoblju u kontinentalnom dijelu Hrvatske zabilježena je (re)aktivacija preko 900 plitkih klizišta (BERNAT i dr., 2013). Većina aktiviranih klizišta dogodila se u sjeverozapadnom dijelu Hrvatske. Podaci za analizu oborina su uzeti s kišomjerne postaje Rakov Potok budući da je to najbliža postaja predmetnom klizištu Sv. Martin pod Okićem.

Tablica 3.6. prikazuje mjesečne oborine mjerene na kišomjernoj stanici Rakov Potok za razdoblje od 1. siječnja 1991. do ožujka 2013. godine. Iz podataka o oborinama vidljivo je da godišnja oborina varira u rasponu od 632,3 do1225,2 mm, a srednja godišnja oborina je 1000,2 mm.

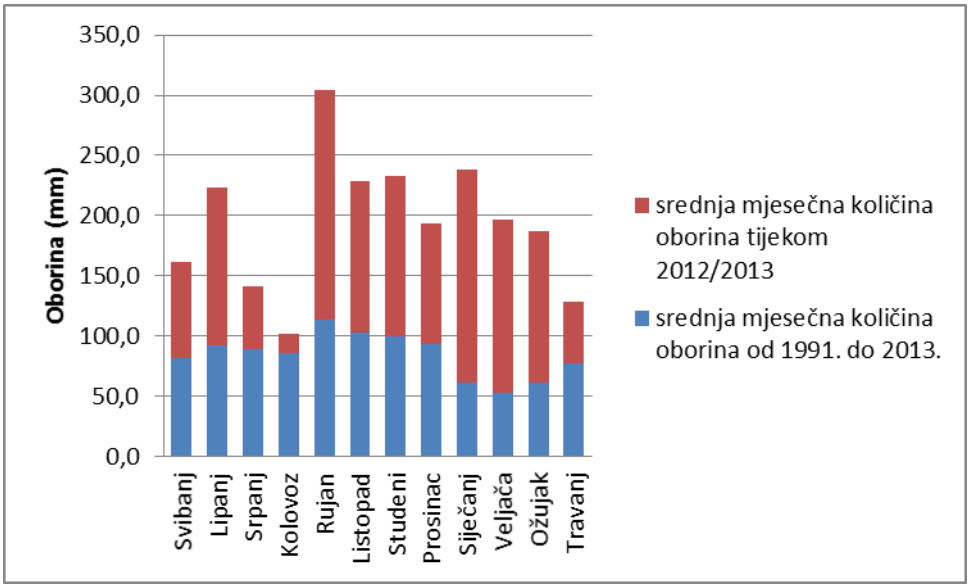
Tablica 3.6 Mjesečne količine oborine na postaji Rakov Potok u razdoblju 1991.-2011.

Godina	MJESEČNE OBORINE												God.
	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Lispopad	Studeni	Prosinac	suma
1991	48,9	36,4	41,8	52,3	120,8	43,0	83,6	92,8	68,2	109,0	171,9	18,5	**887,2**
1992	29,4	44,2	103,2	31,3	24,5	110,2	70,0	4,6	44,0	219,0	130,3	105,9	**916,6**
1993	9,3	3,4	43,0	88,1	33,2	101,1	49,0	87,0	156,9	135,0	187,2	144,2	**1037,4**
1994	36,8	45,6	43,4	134,7	62,4	202,1	66,2	156,5	44,9	107,4	42,4	136,9	**1079,3**
1995	88,8	76,4	87,1	44,2	93,7	110,3	89,7	167,6	169,0	5,6	66,1	121,7	**1120,2**
1996	78,8	56,3	18,8	97,6	99,9	64,6	112,4	117,8	155,7	89,2	148,9	94,4	**1134,4**
1997	66,2	38,7	25,1	81,6	56,6	114,2	86,7	77,0	42,5	67,8	116,0	115,3	**887,7**
1998	26,2	2,0	62,2	73,9	97,5	73,5	149,5	73,6	192,5	149,8	88,3	64,9	**1053,9**
1999	57,2	101,0	41,8	75,6	175,7	46,7	201,1	108,8	84,3	103,4	87,7	126,4	**1209,7**
2000	18,3	30,3	52,5	45,8	50,1	65,3	86,3	1,2	87,0	165,7	130,5	141,6	**874,6**
2001	126,6	21,5	119,6	134,4	46,3	119,5	56,4	12,3	236,8	7,4	130,1	41,9	**1052,8**
2002	31,8	67,0	43,8	178,8	121,6	117,1	84,0	94,5	109,3	108,8	83,8	102,6	**1143,1**
2003	102,0	40,4	10,2	31,1	34,0	40,5	63,7	64,8	136,7	122,4	66,9	37,8	**750,5**
2004	78,0	70,5	93,8	138,3	53,9	111,7	79,4	83,7	86,7	185,7	54,0	61,9	**1097,6**
2005	33,7	85,8	52,6	80,6	74,9	113,7	201,8	202,5	109,3	39,0	100,1	121,4	**1215,4**
2006	49,5	50,2	75,5	128,7	111,0	37,6	84,0	192,3	80,3	27,6	70,2	46,0	**952,9**
2007	83,0	49,9	95,2	3,1	128,8	122,6	84,5	88,3	161,4	145,2	72,5	69,8	**1104,3**
2008	10,9	12,4	124,8	42,1	73,3	74,7	99,3	64,8	50,0	92,4	80,2	117,7	**842,6**
2009	113,2	49,7	48,0	59,8	38,6	66,1	80,4	79,9	17,2	99,4	94,0	99,8	**846,1**
2010	102,5	99,9	65,2	80,5	137,6	135,9	48,2	70,9	218,4	53,8	130,5	81,8	**1225,2**
2011	20,3	15,2	36,9	61,7	51,0	79,4	87,6	26,6	54,7	105,1	3,0	90,8	**632,3**
2012	25,7	67,0	1,3	57,2	80,2	130,5	51,7	16,1	190,8	126,0	133,0	100,2	**979,7**
2013	176,5	144,3	126,2										

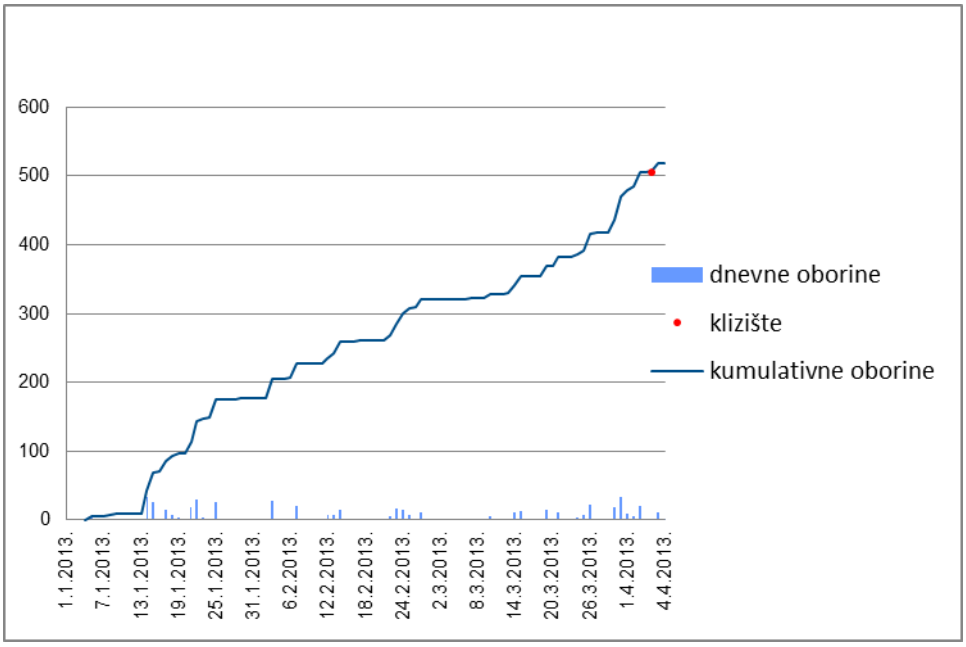
Zbroj dnevnih količina oborina predstavlja mjesečnu oborinu na nekoj kišomjernoj postaji. Usporedbom mjesečnih količina oborina za 2013. godinu i srednje količine oborine za pojedini mjesec za period od 1991. do 2012. (slika 3.4) može se vidjeti da je količina oborina od rujna 2012. do travnja 2013. dva do tri puta viša nego mjesečni prosjeci u protekle 22 godine. Prema slici 3.4 najviše mjesečne oborine su od rujna do prosinca, a najniže u siječnju, veljači i ožujku.

Tromjesečna prethodna oborina za razdoblje koje je prethodilo aktiviranju klizišta iznosi 447 mm (slika 3.5), što je najveća tromjesečna prethodna oborina za ožujak za razdoblje od 1991. do 2013. godine (slika 3.6).

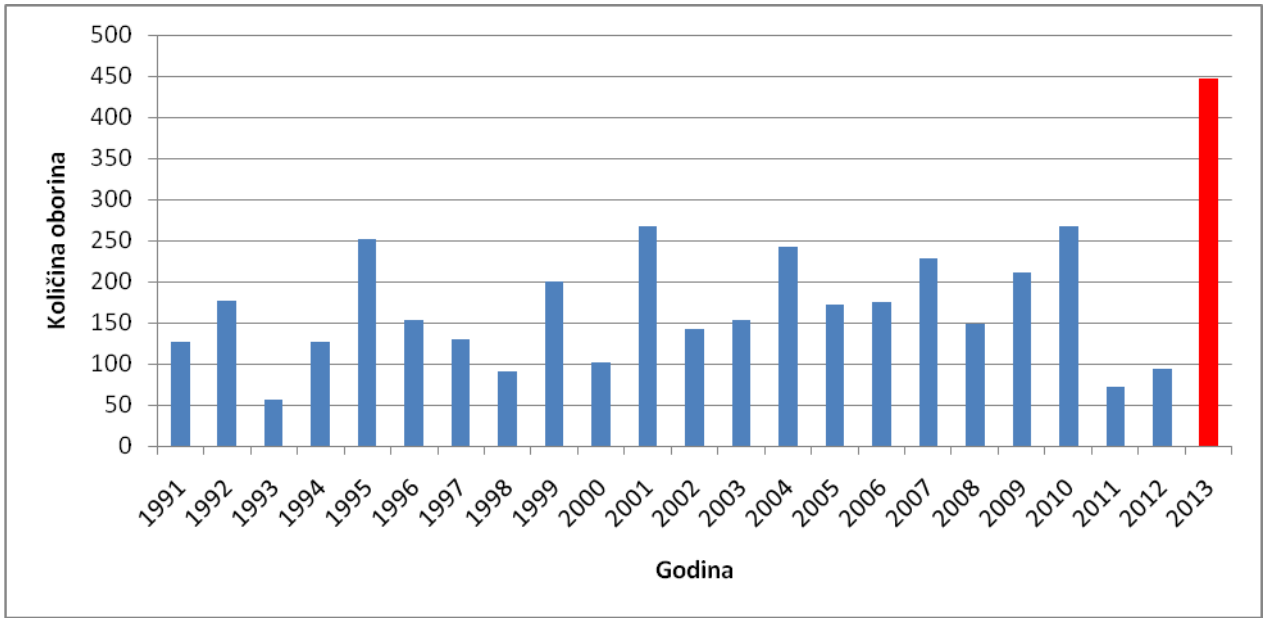
Na slici 3.7 prikazane su mjesečne oborine i tromjesečne kumulativne oborine za razdoblje od travnja 2012. godine do ožujka 2013. Crvena linija prikazuje prosječnu tromjesečnu količinu oborina kroz to vremensko razdoblje. Tromjesečna kumulativna oborina za tri mjeseca koja su prethodila aktiviranju klizišta bila je iznad prosjeka.



Slika 3.4 Srednje mjesečne oborine na kišomjernoj postaji Rakov Potok za 2013. i za razdoblje od 1991. do 2013. godine.

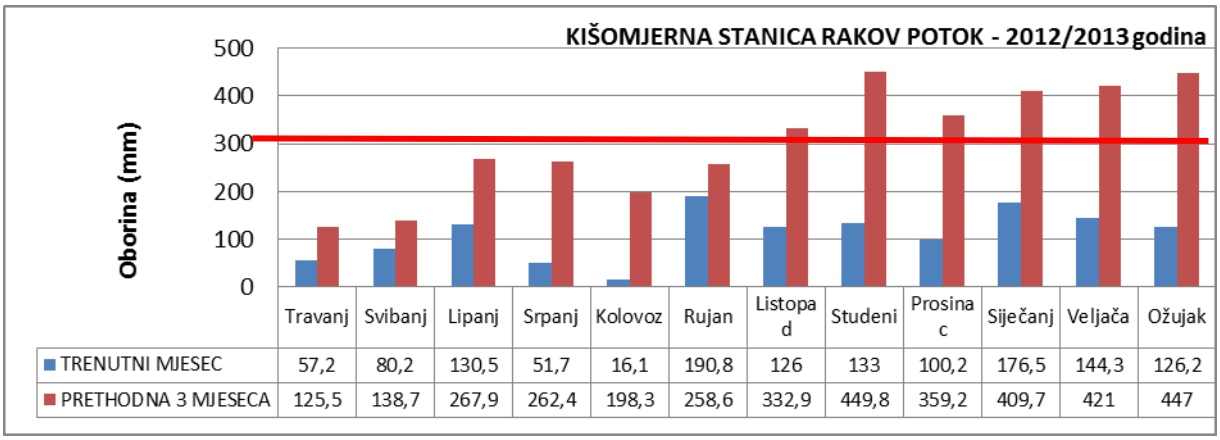


Slika 3.5 Dnevna i kumulativna oborina na postaji Rakov Potok za period od 1. siječnja do 7. travnja 2013. Datum aktiviranja klizišta je 4. 4. 2013. i prikazan je crvenom točkom.



Slika 3.6 Tromjesečna prethodna oborina za ožujak za razdoblje od 1991. do 2013. godine

Tablica 3.6 prikazuje podatke o dnevnim količinama oborina. U njoj nema podataka o visini snijega, te nema podataka kada je snijeg otopljen. Dugotrajne oborine nakon sušnog razdoblja uzrokuju naglo dizanje razine podzemne vode u padini, promjenu hidrauličkog gradijenta i povećanje brzine toka, te može doći do trošenja i odnošenja materijala koji izgrađuje padinu.



Slika 3.7 Mjesečne oborine i tromjesečne kumulativne oborine na postaji Rakov Potok za razdoblje travanj 2012. – ožujak 2013.

4. INTERPRETACIJA INŽENJERSKOGEOLOŠKOG MODELA KLIZIŠTA

Inženjerskogeološki model klizišta definiran je pomoću geometrije koja je prikazana na inženjerskogeološkoj karti mjerila 1:250 (prilog 4), na tri uzdužna (prilog 2) i jednom poprečnom profilu (prilog 3) i značajki klizišta koje uključuju tip klizanja s obzirom na mehanizam pokreta, vidljivost dijelova klizišta, aktivnost klizišta i materijale klizišta. Aktivnost klizišta obuhvaća stanje aktivnosti koje obuhvaća vrijeme kretanja, raspodjelu aktivnosti koja opisuje smjer kretanja klizišta i stil aktivnosti koji ukazuje na tip ili kombinaciju tipova kretanja prema njihovom mehanizmu.

Uzroci klizanja pretpostavljeni su na temelju inženjerskogeoloških uvjeta na području klizišta, a pri tome se razlikuju preduvjeti klizanja i inicijatori klizanja.

4.1 ZNAČAJKE KLIZIŠTA

Na istraživanom području unutar groblja u naselju Sveti Martin pod Okićem identificirana su dva klizišta u neizgrađenom dijelu groblja koja su nastala kao rezultat nestabilnosti pokosa u nasutom materijalu, a u čijem gornjem dijelu se nalaze grobovi koji su oštećeni aktiviranjem klizišta. Slijedi detaljniji opis oba klizišta, nazvana klizište Sv Martin-groblje 1 i klizište Sv Martin-groblje 2, koja su aktivirana 4. travnja 2013. godine.

KLIZIŠTE 1

1) ZNAČAJKE KLIZIŠTA:
   a) *Tip klizanja s obzirom na mehanizam pokreta*: rotacijsko klizanje u inženjerskom tlu.
   b) *Dimenzije klizišta*: duljina klizišta iznosi oko 28 m; širina pokrenute mase je oko 23 m; približna dubina pokrenute mase jednaka je dubini klizne plohe koja iznosi oko 3,7 m.
   c) *Vidljivi dijelovi klizišta*:jasno izražena čeona pukotina klizišta i nožica klizišta sa završetkom klizišta. Desni bok klizišta je jasno vidljiv, dok lijevi bok nije potpuno jasno izražen.
   d) *Stanje aktivnosti klizišta*: trenutačno neaktivno, što znači da se klizište kretalo u posljednjih 12 mjeseci, ali se trenutno ne kreće.
   e) *Distribucija aktivnosti klizanja*: krećuće, jer se pokrenuti materijal kontinuirano kreće bez vidljive promjene plohe sloma i volumena pokrenutog materijala.

f) *Stil klizanja*: pojedinačno, što znači da je došlo do pojedinačnog kretanja pokrenutog materijala.

2) MATERIJALI KLIZANJA: klizanje u nasipu i u trošnim sedimentima pleistocenske starosti kojeg čine gline visoke plastičnosti.
3) UZROCI KLIZANJA

Preduvjeti klizanja (faktori koji su padinu doveli u stanje granične ravnoteže) su: materijali visoke plastičnosti; trošni materijali podloge; hidrološki događaji (obilna oborina i topljenje snježnog pokrivača). Važan preduvjet klizanja je povećani dotok vode iz hispometrijski viših dijelova u zoni iznad klizišta. Naime, morfologija i građa terena je takva da se oborinska voda zbog loše drenaže intenzivnije infiltrirala u podzemlje u zoni iznad klizišta. Procijeđena oborinska voda nakuplja se unutar nasipa te se procjeđuje po granici nasipa i trošnih sedimenata pleistocenske starosti izgrađenih od glina visoke plastičnosti.

Inicijator klizanja je kritična prethodna kumulativna oborina.

KLIZIŠTE 2

1) ZNAČAJKE KLIZIŠTA:
   a) *Tip klizanja s obzirom na mehanizam pokreta*: rotacijsko klizanje u inženjerskom tlu.
   b) *Dimenzije klizišta*: duljina klizišta iznosi oko 10 m; širina pokrenute mase je oko 9 m; približna dubina pokrenute mase jednaka je dubini klizne plohe koja iznosi oko 1,6 m.
   c) *Vidljivi dijelovi klizišta*: jasno izražena čeona pukotina klizišta, dok nožica i završetak klizišta te lijevi i desni bok klizišta nisu jasno izraženi.
   d) *Stanje aktivnosti klizišta*: trenutačno neaktivno, što znači da se klizište kretalo u posljednjih 12 mjeseci, ali se trenutno ne kreće.
   e) *Distribucija aktivnosti klizanja*: krećuće, jer se pokrenuti materijal kontinuirano kreće bez vidljive promjene plohe sloma i volumena pokrenutog materijala.
   f) *Stil klizanja*: pojedinačno, što znači da je došlo do pojedinačnog kretanja pokrenutog materijala.
2) MATERIJALI KLIZANJA: klizanje u nasipu kojeg čini sitnozrnasto tlo.
3) UZROCI KLIZANJA

Preduvjeti klizanja (faktori koji su padinu doveli u stanje granične ravnoteže) su: materijali visoke plastičnosti; trošni materijali podloge; hidrološki događaji (obilna oborina i topljenje

snježnog pokrivača). Važan preduvjet klizanja je povećani dotok vode iz hispometrijski viših dijelova u zoni iznad klizišta. Naime, morfologija terena je takva da se oborinska voda zbog loše drenaže intenzivnije infiltrirala u podzemlje u zoni iznad klizišta. Procjeđivanje oborinskih voda kroz nasip do slabo propusne podloge nasipa, izgrađene od glina visoke plastičnosti pleistocenske starosti, prouzročilo je povišenje saturiranosti nasipa i lokalni slom uz njegov rubni dio.

Inicijator klizanja je kritična prethodna kumulativna oborina.

4.2 INŽENJERSKOGEOLOŠKE JEDINICE

U sklopu inženjerskogeoloških istraživanja izdvojene su inženjerskogeološke jedinice koje odgovaraju rangu inženjerskogeoloških tipova. U skladu s preporukama međunarodnog društva za inženjersku geologiju za opis i klasifikaciju stijena i tala (IAEG, 1981), kriterij homogenosti za izdvajanje ovih jedinica bilo je fizičko stanje litološkog tipa (litološki sastav, struktura i stupanj trošnosti). Primarni izvor podataka na osnovi kojih su izdvojene jedinice na inženjerskogeološkim profilima (prilozi 2/1, 2/2, 2/3 i 3) bila je inženjerskogeološka determinacija i interpretacija jezgri bušotina (prilozi 1/1-1/9), *in situ* ispitivanja, laboratorijski pokusi i detaljno inženjerskogeološko kartiranje.

Inženjerskogeološkom determinacijom i interpretacijom obuhvaćeno je svih devet istraživačkih bušotina na temelju kojih je utvrđena detaljna geološka građa na lokaciji klizišta, a to su kronostratigrafska pripadnost, strukturno-geološke značajke, fizička, mehanička i hidraulička svojstva. Položaji svih istraživačkih bušotina prikazani su na inženjerskogeološkoj karti mjerila 1:250 (prilog 1). Rezultati inženjerskogeološke determinacije prikazani su za svaku bušotinu zasebno u obliku inženjerskogeoloških presjeka i fotografija jezgre bušotina (prilozi 2/1-2/9). Uz opis značajki stijena/tala iz jezgre bušotina, na presjecima bušotina označena je i interpretacija geneze probušenih naslaga, odnosno pripadnost inženjerskogeološkim tipovima. Identifikacija i opis tla načinjeni su prema USCS geomehaničkoj klasifikaciji, odnosno prema preporukama USBR (2001). Terminologija za opis fizičkih svojstava materijala inženjerskog tla dana je u dodatku I.

Na istraživanom području izdvojeno je ukupno sedam inženjerskogeoloških tipova, čije osnovne značajke su navedene u tablici 4.2. Prostorna distribucija svih inženjerskogeoloških tipova po dubini prikazana je na tri uzdužna presjeka klizišta, inženjerskogeološki profili 2-2', 3-3' i 4-4' (prilog 2/1) i na inženjerskogeološkom profilu 1-1' (prilog 3) u mjerilu 1:250, a na

inženjerskogeološkoj karti mjerila 1:250 (prilog 4) dane su oznake samo onih tipova pokrivača koji se pojavljuju na površini terena. Ispod pokrivača, nalaze se tipovi tla koji pripadaju površinskim naslagama pleistocenske starosti i matičnoj stijeni gornjopontske starosti.

Izdvojene inženjerskogeološke jedinice prikazane su na prilozima pomoću boja iz inženjerskogeološke klasifikacije stijena/tala iz *Uputa za izradu osnovne inženjerskogeološke karte SFRJ mjerila 1:100.000* (ANON., 1988). Prema toj klasifikaciji sve stijene/tla svrstavaju se u četiri glavne skupine stijena/tala, koje se na inženjerskogeološkim kartama i profilima označavaju odgovarajućim bojama: (I) nevezane stijene (pijesak, šljunak) sivom bojom; (II) vezane neokamenjene stijene (prah, glina) žutom bojom; (III) vezane slabo okamenjene stijene smeđom bojom; i (IV) vezane dobro okamenjene stijene nijansama zelene boje.

Inženjerskogeološki tipovi pokrivača i matične stijene prisutni na području klizišta Sv. Martin-groblje, pripadaju ***nevezanim i vezanim neokamenjenim stijenama (odnosno inženjerskom tlu)***, pa su stoga prikazani žutom i sivom bojom, a navedeni su u tablici 4.1. Tamnije nijanse žute i sive boje označavaju tla s višim vrijednostima konzistencije, odnosno relativne gustoće. Iznimku predstavljaju koluvijalni materijali obojani nijansama crvene boje u svrhu naglašavanja njihove geneze.

Opisi svake pojedine inženjerskogeološke jedinice dani su u nastavku, grupirani prema genezi, idući od mlađih prema starijima.

(001) NASIP: mješavina sitnozrnastog i krupnozrnastog tla (Q_{ut}) nastao je nasipavanjem u zoni ispod groblja. Nasip je probušen u bušotinama *B-1*(0-0,50 m) i *B-5* (0-1,8 m). Približna ukupna debljina nasipa na istraživanoj lokaciji je oko 0,5-2,0 m. Nasip se sastoji od sitnozrnastog i podređeno krupnozrnastog tla, odnosno glina niske plastičnosti s oko 5-20% pijeska i šljunka (CL). Nasip je vlažan, relativno homogen i srednje žućkasto sive do tamno sivkasto smeđe boje. Iz nasipa nisu vađeni uzorci za laboratorijska ispitivanja.

Tablica 4.1 Inženjerskogeološke jedinice: inženjerskogeološki tipovi pokrivača i podloge.

geneza/stratigrafski simbol		inženjerskogeološki tip	geomeh. simbol/ *simbol za trošnost*	fizička svojstva
POKRIVAČ, POVRŠINSKE NASLAGE***	TRANSPORTIRANO TLO: UMJETNE NASLAGE (**Q_{ut}**)	(001) NASIP:sitnozrnasto tlo	/	/
	TRANSPORTIRANO TLO: KOLUVIJALNE NASLAGE (**Q_{ka}**)	(002a) KOLUVIJ AKTIVNOG KLIZIŠTA: nasip	CH	/
		(002b) KOLUVIJ AKTIVNOG KLIZIŠTA: glina visoke plastičnosti	CH	/
	TROŠNI SEDIMENT: PLEISTOCENSKE NASLAGE (**Q_1**)	(021) INŽENJERSKO TLO: glina visoke plastičnosti	*CW:* CH	$24,94<w_0<27,75$ tvrdo** $0,86<I_c<0,92$ $24,93<I_p<32,73$ $1,97<\rho_0<1,99$ g/cm^3 $1,54<\rho_d<1,60$ g/cm^3 $2,73<\rho_s<2,76$ g/cm^3 $18,2<c<62,7$ kPa $7,1<\varphi<19,9°$ SPP=30 N
		(022) INŽENJERSKO TLO: glina niske plastičnosti, glina s pijeskom, glina sa šljunkom, podređeno glina visoke plastičnosti	*CW:* CL	/
PODLOGA, POVRŠINSKE NASLAGE	SLABO TROŠNI SEDIMENT: PLEISTOCENSKE NASLAGE (**Q_1**)	(121) INŽENJERSKO TLO: prahoviti pijesak, pjeskoviti prah, prah s pijeskom	*SW:* SM, ML	$13,99<w_0<21,68$ plastično, tvrdo do vrlo tvrdo* $0,60<I_c<1,18$ $6,73<I_p<23,17$ $1,94<\rho_0<2,07$ g/cm^3 $1,60<\rho_d<1,74$ g/cm^3 $2,67<\rho_s<2,71$ g/cm^3 c=4,2 kPa $\varphi=27,8°$ SPP=5-11 N
PODLOGA, MATIČNA STIJENA	SLABO TROŠNI DO SVJEŽI SEDIMENT: GORNJOPONTSKE NASLAGE (**M^2_7**)	(131) INŽENJERSKO TLO: dobro graduirani pijesak, glinoviti/prahoviti pijesak, pijesak s glinom/prahom	*SW-F:* SW, SC/SM, SP-SC / SP-SM	$w_0=22,35$ plastično* $I_c=0,61$ $I_p=13,14$ $\rho_0=2,00$ g/cm^3 $\rho_d=1,63$ g/cm^3 $\rho_s=2,69$ g/cm^3 SPP=22-32 N

**Deluvij nije izdvajan kao zasebna jedinica na inženjerskogeološkim presjecima, već je samo naznačen kao površinski dio izdvojenih inženjerskogeoloških tipova*

***U tablici 4.2 korištena je klasifikacija tla prema indeksu konzistencije iz USBR (2001): VRLO MEKO Ic<0,25; MEKO Ic=0,25-0,50; PLASTIČNO Ic= 0,50-0,75; TVRDO Ic=0,75-1,00; VRLO TVRDO Ic>1,00.*

****Definicija površinskih naslaga prema 'RockClassificationScheme, Vol 4,– Superficial' (McMILLAN & POWELL, 1999).*

(001) UMJETNE TVOREVINE – NASIP: glina niske plastičnosti i niske žilavosti, plastične konzistencije. Materijal je homogen i vlažan, srednježućkasto smeđe boje. Sitnozrno tlo s tragovima pijeska i šljunka maksimalne veličine 2 cm, poluuglatih do poluzaobljenih zrna. Ovaj materijal nabušen je u bušotini B-5 od površine do dubine 1,8 m i vjerojatno predstavlja nasip od iskopa grobova.

(002a) KOLUVIJ AKTIVNOG KLIZIŠTA: nasip (Q_{ka}) probušen je u bušotini B-4 (0-2,2 m). Materijal tla nasipa unutar klizišta je heterogen i maksimalne debljine je do 2,2 m. Pokrenuti materijal nasipa se sastoji od tamno smeđe do zagasito žućkasto zelene gline niske plastičnosti s oko 10% krupnozrnastog tla, plastične konzistencije i vlažan. Iz nasipa nisu vađeni uzorci za laboratorijska ispitivanja.

(002b) KOLUVIJ AKTIVNOG KLIZIŠTA: glina visoke plastičnosti, (Q_{ka}) probušen je u bušotini B-1 (0,0-1,5 m). Koluvij sadrži oko 100% sitnozrnastog tla, srednje plastičnosti i srednje do visoke žilavosti. Tlo je vlažno, heterogeno, tamno žućkasto narančaste do srednje žućkasto smeđe boje. Na dubini od 1,25 do 1,55 m nalaze se tanki pjeskoviti proslojci tamnije smeđe boje po kojima se procjeđuje podzemna voda. U ovoj jedinici dominira CH materijal. Iz koluvija nisu vađeni uzorci za laboratorijska ispitivanja.

(021) INŽENJERSKO TLO: glina visoke plastičnosti (Q_1) probušeno je u bušotinama B-1 (1,5-3,4 m), B-4 (2,2-3,7 m) i B-5 (3,4-5,25 m). Materijal sadrži oko 100% sitnozrnaste frakcije, srednje do visoke plastičnosti i srednje do visoke žilavosti, te mjestimično tragove pijeska i šljunka Tlo je plastične do tvrde konzistencije, heterogeno (laminirano) te blijedo maslinaste do tamnožućkasto narančaste boje i vlažno. U ovoj jedinici dominira CH materijal. Na temelju dva uzoraka uzetih za laboratorijska ispitivanja dobivene su sljedeće vrijednosti fizičkih svojstava: vlažnost (w_0) iznosi 24,94-27,75%, indeks plastičnosti (I_p) je 24,93-32,73% i indeks konzistencije (I_c) 0,86-0,92. Vrijednost gustoće tla je 1,97-1,99 g/m^3, gustoća suhih čestica je 1,54-1,6 g/m^3, a specifična gustoća je 2,73-2,76 g/m^3. Izravni posmik izveden je na dva uzorka; kohezija iznosi 18,2-62,7 kPa, a kut unutrašnjeg iznosi 7,1-19,9°. Broj udaraca SPP-a je 30 udaraca nožem.Granulometrijski sastav određen na jednom uzroku (18% pijeska, 28% praha i 54% gline) pripada visoko plastične gline s povećanim udjelom pijeska.

(022) INŽENJERSKO TLO: glina niske plastičnosti, glina s pijeskom, glina sa šljunkom, podređeno glina visoke plastičnosti (Q_1) probušeno je u bušotinama B-2 (0,0-3,5 m), B-3 (2,3-3,1 m), B-5 (1,8-3,4 m), B-6 (0,0-0,6 m), B-7 (0,0-2,4 m), B-8 (0,0-0,75) i B-9 (0,0-2,0 m). Materijal sadrži oko 70-95% sitnozrnastog tla, niske do visoke plastičnosti i niske do

visoke žilavosti, oko 5-20% sitnog pijeska i oko 5-15% odlomaka veličine šljunka, poluuglatih do poluzaobljenih i trošnih, srednje čvrstih do čvrstih maksimalne veličine 8 cm. Tlo je srednje žućkasto smeđe do tamno žućkasto smeđe boje, meke do tvrde konzistencije i vlažno. U bušotini B-2 prevladava glina s pijeskom, dok u bušotini B-3 prevladava glina sa šljunkom, ali sveukupno gledano u ovoj jedinici dominiraju CL i MH/CL materijali, te podređeno CH materijali. Iz ove inženjerskogeološke jedinice nisu vađeni uzorci za laboratorijska ispitivanja.

(121) INŽENJERSKO TLO: prahoviti pijesak, pjeskoviti prah, prah s pijeskom (Q_1) probušeno je u bušotinama B-1 (3,4-5,8 m), B-2 (3,5-6,5 m), B-3 (2,75-6,0 m), B-4 (3,5-5,0 m), B-6 (0,6-3,15 m), B-7 (2,4-3,1 m), B-8 (0,75-3,2 m) i B-9 (2,0-5,0). Ova jedinica predstavlja slabo trošni sediment koji pripada vrsti materijala inženjersko tlo. Materijal sadrži oko 20-80% sitnozrnastog tla, niske plastičnosti i niske žilavosti, oko 20-80% sitnog pijeska. Tlo je srednje žućkasto smeđe boje, plastične do tvrde konzistencije i vlažno. Udio pijeska raste s dubinom. U ovoj jedinici dominiraju SM i ML materijali. Na temelju četiri uzorka uzetih za laboratorijska ispitivanja dobivene su sljedeće vrijednosti fizičkih svojstava: vlažnost (w_0) iznosi 13,99-21,68%, indeks plastičnosti (I_p) je 6,73-23,17% i indeks konzistencije (I_c) 0,60-1,18. Vrijednost gustoće tla je 1,94-2,07 g/m^3, gustoća suhih čestica je 1,60-1,74 g/m^3, a specifične gustoće je 2,67-2,71 g/m^3. Izravni posmik je izveden na jednom uzorku; kohezija iznosi 4,2 kPa, a kut unutrašnjeg trenja iznosi 27,8°. Broj udaraca SPP-a je 5 do 11 udaraca nožem. Granulometrijski sastav određen na četiri uzroka (33-57% pijeska, 26-41% praha i 15-25% gline) smatra se reprezentativnim za ovaj interval.

(131) INŽENJERSKO TLO: dobro graduirani pijesak, glinoviti/prahoviti pijesak, pijesak s glinom/prahom (M^2_7) probušen je u sljedećim bušotinama: B-1 (5,8-8,0 m), B-2 (6,5-8,0m), B-3 (6,0-8,0 m), B-6 (3,15-5,0 m), B-7 (3,1-5,0 m) i B-8 (3,2-5,0 m). Ova jedinica predstavlja slabo trošni do svježi sediment koji pripada vrsti materijala inženjersko tlo. U jezgri bušotina identificiran je dobro graduirani pijesak i glinoviti/prahoviti pijesak i pijesak s glinom/prahom. Materijal sadrži 65-95% sitnog do srednjeg pijeska i oko 5-25% sitnozrnastog tla niske plastičnosti i niske žilavosti. Tlo je heterogeno, vlažno i tamno žućkasto narančaste do tamno žućkasto smeđe boje. Na temelju jednog uzorka iz bušotine B-7, uzetog za laboratorijska ispitivanja dobiveni su sljedeći rezultati fizičkih svojstava tala: vlažnost (w_0) iznosi 22,35%, indeks plastičnosti (I_p) je 13,14% i indeks konzistencije (I_c) 0,61. Vrijednost prirodne gustoće tla je 2,00 g/cm^3, gustoća suhih čestica je 1,63 g/cm^3, a specifične gustoće je 2,69 g/cm^3. Broj udaraca SPP-a je 22-32 udaraca nožem. Granulometrijski sastav

određen na jednom uzroku (70% pijeska, 15% praha i 16% gline) smatra se reprezentativnim za ovaj interval.

5. DISKUSIJA

Geotehničkim istraživanjima provedenim tijekom svibnja 2013. godine prikupljeni su podaci za interpretaciju inženjerskogeološkog modela klizišta Sv. Martin po Okićem reaktiviranog 4.4.2013. godine. Inženjerskogeološki model klizišta Sveti Martin pod Okićem nastao je kao rezultat programa istraživanje koje uključuje detaljno geodetsko snimanje površine 119 x 116 m; detaljno inženjerskogeološko kartiranje; 9 bušotina ukupne dubine 54,25 m; 26 uzoraka za laboratorijska ispitivanja.

Detaljnim geodetskim snimanjem u potpunosti su obuhvaćena oba klizišta, prostor između njih, te dio padine s grobovima koji se nalazi ispod staze pa je površina obuhvata snimanja veća od površine klizišta. Detaljno inženjerskogeološko kartiranje provedeno je na cijeloj površini geodetskog snimka.

Inženjerskogeološki model prezentiran je detaljnom kartom klizišta, jednim inženjerskogeološkim profilom duž poprečnog presjeka klizišta i tri inženjerskogeološka profila duž uzdužnog presjeka klizišta. Inženjerskogeološkim modelom klizišta definirana je geometrija klizišta, položaj klizišta u prostoru u odnosu na okolne elemente, materijali od kojih je klizište izgrađeno i pojava vode u njima. Na interpretiranom prognoznim inženjerskogeološkim profilima izdvojene su istovrsni materijali inženjerskih tala u obliku inženjerskogeoloških jedinica koje su istovrsne s obzirom na fizičko-mehanička svojstva tala. Prostorna raspodjela inženjerskogeoloških tipova po dubini, na temelju interpretacije jezgri bušotina bazira se na korelaciji inženjerskih tipova materijala. Ovaj model može se koristiti za definiranje geotehničkog modela klizišta za analize stabilnosti.

Najvažniji elementi prognoznog inženjerskogeološkog modela prezentiranog poprečnim presjekom klizišta 1-1' su sljedeći. Na ovom presjeku debljina nasipa doseže do 0,5 m i on je pokrenut klizanjem. Klizanjem je pokrenuta i glina visoke plastičnosti do dubine 1,5 m. Osim nasipa od površinskih naslaga na profilu su izdvojene koluvijalne, pleistocenske naslage. Deluvij je označen kao površinski dio izdvojenih inženjerskogeoloških tipova. Unutar koluvijalnih naslaga izdvojena su dva inženjerska tipa (inženjerski tip 002a i 002b) zbog razlike u fizičko-mehaničkim svojstvima materijala. Na nepokrenutom dijelu terena nalazi se rezidualno tlo, nastalo trošenjem matične stijene. Podlogu klizišta čini jedan inženjerski tip i to slabo trošni do svježi sediment (inženjerski tip 131).

Klizna ploha je razvijena na granici između inženjerskogeološke jedinice 002b i inženjerskogeoloških jedinica 021 i 022 a te jedinice sutrošne pleistocenske naslage koluvija aktivnog klizišta i inženjersko tlo (gline visoke i niske plastičnosti). Nije zabilježena pojava podzemne vode iako je materijal u jezgrama bušotina okarakteriziran kao vlažan.

Elementi prognoznog inženjerskogeološkog modela prikazani na uzdužnom presjeku 2-2' su sljedeći. Debljina nasipa varira od 0,5 do 2,2 m i pokrenut je klizanjem. Klizanjem je pokrenuta i glina visoke plastičnosti do dubine 1,5 m. Od površinskih naslaga prisutne su joškoluvijalne i pleistocenske naslage. Unutar koluvijalnih naslaga izdvojena su dva inženjerska tipa (inženjerski tip 002a i inženjerski tip 002b) zbog razlike u fizičko-mehaničkim svojstvima materijala. Na nepokrenutom dijelu ispod koluvijalnih naslaga nalazi se rezidualno tlo, nastalo trošenjem matične stijene (inženjerski tip 121). U podlozi se nalaze slabo trošne do svježe gornjopontske naslage (inženjerski tip 131).

Granica inženjerskogeološke jedinice 002b (koluvija aktivnog klizišta) s inženjerskogeološkim jedinicama 021 i 022 (pleistocenske naslage inženjerskog tla) čini kliznu plohu. Na inženjerskogeološkom presjeku prikazana je pojava podzemne vode izmjerena 20.5.2014., a koja je u to vrijeme registrirana u slabo trošnom sedimentu i koluvijalnim naslagama. Pretpostavlja se da je u vrijeme nastanka klizišta razina podzemne vode bila još viša zbog obilnijih oborina.

Prognozni inženjerskogeološki model na presjeku 3-3' prikazuje prostornu raspodjelu naslaga. Naslage pokrivača su deblje na istočnoj strani klizišta, a debljina im iznosi otprilike 5,5 m. Postupno se smanjuju prema zapadnoj strani klizišta gdje im debljina iznosi oko 0,5 m što je dubina na kojoj se nalazi materijal podloge.

Elementi prognoznog iženjerskogeološkog modela prezentiranog poprečnim presjekom 4-4' su sljedeći. Debljina nasipa iznosi do oko 0,7 m što je ujedno i dubina klizne plohe klizišta 2. Klizna ploha nalazi se između inženjerskogeološke jedinice 002a (koluvij aktivnog klizišta) i inženjerskogeoloških jedinica 001 (umjetnih naslaga nasipa) i 022 (trošnog sedimenta pleistocenskih naslaga). Debljina površinskih naslaga je veća prema istočnoj strani presjeka (desno) i iznosi oko 6,5 m, a smanjuje se prema zapadu gdje iznosi oko 0,5 m što je dubina do materijala podloge.

6. ZAKLJUČAK

Model klizišta Sveti Martin pod Okićem interpretiran je na temelju podataka prikupljenih geotehničkim istraživanjem, detaljnim inženjerskogeološkim kartiranjem klizišta, laboratorijskim ispitivanjima na uzorcima iz bušotina i opažanjem razine podzemne vode. S obzirom na manifestacije klizišta na mjesnom groblju Sveti Martin pod Okićem mogu se izdvojiti dva dijela, a to su dva zasebna klizišta razvijena unutar materijala nasipa. Datum aktiviranja oba klizišta je 4.4. 2013. godine. Klizišta su razmaknuta oko 30 m. Geometrija oba klizišta objedinjena je na inženjerskogeološkoj karti mjerila 1:500, na jednom poprečnom i tri uzdužna profila. Klizišta su okarakterizirana kao rotacijska klizišta.

Veće klizište, nazvano Sveti Martin pod Okićem 1, nalazi se na padini ispod groblja. Došlo je do sloma po glavnoj pukotini i sekundarnim pukotinama i rotacijskom kretanju pokrenute mase, a u gornjem dijelu klizišta je izraženo usijedanje. Pri pokretanju klizišta oštećeno je nekoliko grobova. Klizište Sveti Martin pod Okićem 1 ima duljinu oko28 m, maksimalna širina pokrenute mase je oko 23 m, a dubina pokrenute mase je 3,7 m.Od vidljivih dijelova klizišta jasno su izraženi čeona pukotina, nožica klizišta sa završetkom klizišta i desni bok klizišta, dok lijevi bok nije potpuno jasno izražen. Prema stanju aktivnosti klizište je trenutačno neaktivno, prema distribuciji aktivnosti krećuće, a prema stilu klizanja pojedinačno.

Klizište nazvano Sveti Martin pod Okićem 2, nalazi se u središnjem dijelu groblja. Glavna pukotina, po kojoj je došlo do sloma, je jasno vidljiva, dok su ostale pukotine slabo izražene. Pri pokretanju klizišta došlo je do rotacijskog kretanja i usijedanja materijala, te oštećenja grobova u gornjem dijelu klizišta. Manje klizište, nazvano Sveti Martin pod Okićem 2 dugačko je oko 10 m, širina pokrenute mase je oko 9 m, a dubina 1,6 m. Od vidljivih dijelova klizišta jasno je izražena čeona pukotina, dok nožica, završetak i bokovi klizišta nisu jasno izraženi. Prema stanju aktivnosti klizište je trenutačno neaktivno, prema distribuciji aktivnosti krećuće, a prema stilu klizanja pojedinačno.

Klizišta su pokrenuta u nasutom materijalu. Na temelju istraživačkih radova u ispitivanom području izdvojeno je sedam inženjerskogeoloških tipova. Pokrivač čine umjetne naslage (Q_{ut}), koluvijalne naslage (Q_{ka}) i trošne pleistocenske naslage (Q_1). Slabo trošne pleistocenske naslage (Q_1) čine podlogu, a matičnu stijenu čini slabo trošni do svježi sediment gornjopontskih (M^2_7) naslaga. Rezultati inženjerskogeološke determinacije, opisi značajki tala

i pripadnost inženjerskogeološkim tipovima prikazana je inženjerskogeološkim presjecima i fotografijama jezgre bušotina.

Preduvjeti klizanja su materijali visoke plastičnosti i hidrološki događaji. S obzirom na stanje i raspored aktivnosti bilo je nužno poduzeti mjere sanacije radi sprječavanja daljnjeg oštećenja gospodarskih objekata.

7. LITERATURA

ANON., (1988): Uputa za izradu osnovne inženjerskogeološke karte SFRJ mjerila 1:100.000. Savezni geološki zavod SFRJ, Beograd.

ASTM (1996): ASTM D2487-11 Standard Practice for ClassificationofSoils for EngineeringPurposes (Unified Soil Classification System).

BAUM, R. L., GODT, J. W. (2010): Early warning of rainfall-induced shallow landslides. Landslides, 7:259–272.

BERNAT, S. (2011): Inženjerskogeološki model klizišta Juradi u Istri, Diplomski rad; Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

BERNAT, S., MIHALIĆ ARBANAS, S., KRKAČ, M. (2013): Inventory of precipitation triggered landslides in the winter of 2013 in Zagreb (Croatia, Europe). U: Proceedings of the 3rd World Landslide Forum, Landslide Science for a Safer Geoenvironment, Volume 2: Methods of Landslide Studies, Sassa, K., Canuti, P., Yin, Y. (ur), 829-836.

ČMELIK, Z., MIROŠEVIĆ, N., HUSINJAK S. (2008): Regionalizcija voćarske i vinogradarske proizvodnje u Zagrebačkoj županiji, Agronomski Fakultet u Zagrebu, 13 str.

GEO-BIM (2014): Geodetski elaborat klizišta Sv. Martin pod Okićem. Arhiv Grada Samobora, Samobor.

HERAK i dr. (2011) Karte potresnih područja Republike Hrvatske za povratna razdoblja od T_p= 95 i 475 godina. Geofizički odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

HIGHLAND, L. M.,BOBROWSKY P. (2008): The Landslide Handbook – A Guide to Understanding Landslides, U.S. GeologicalSurvey, Reston, Virginia.

IAEG (1981): Rock and soil description and classification for engineering geological mapping. Report by the IAEG Commission on Engineering Geological Mapping. Bull IAEG, 24:235 274.

KEATON, J. R., DeGRAFF, J. V. (1996): Surface Observation and Geologic Mapping. U: Landslides – Investigation and Mitigation, Turner, A. K., Schuster, R. L. (Eds), Transportaiton Research Board, Special report 247, National Academy Press, Washington D.C. 178-230.

McMILLAN, A.A., POWELL, J.H. (1999): BGS Rock Classification Scheme, Volume 4,Classification of artificial (man-made) ground and natural superficial deposits applications to geological maps and data sets in the UK. Research Report number RR 99-04. British Geological Survey.

ŠIKIĆ, K., BASCH, O., ŠIMUNIĆ, A. (1972): Osnovna geološka karta, list Zagreb mjerila 1:100 000. Institut za geološka istraživanja, Zagreb.

ŠIKIĆ, K., BASCH, O., ŠIMUNIĆ, A. (1979): Osnovna geološka karta, 1:100 000, tumač za list Zagreb.- Savezni geološki zavod, Beograd.

USBR (2001): Engineering Geology Field Manual, 2nd ed., Vol. 1. U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation.

WP/WLI (INTERNATIONAL GEOTEHNICAL SOCIETIES' UNESCO WORKING PARTY ON WORLD LANDSLIDE INVENTORY) (1993): Multilingual landslide glossary. Tha Canadian Geotehnical Society, BiTech Publisher Ltd., Richmond Canada.

Web izvori:
www.dzs.hr

PRILOZI

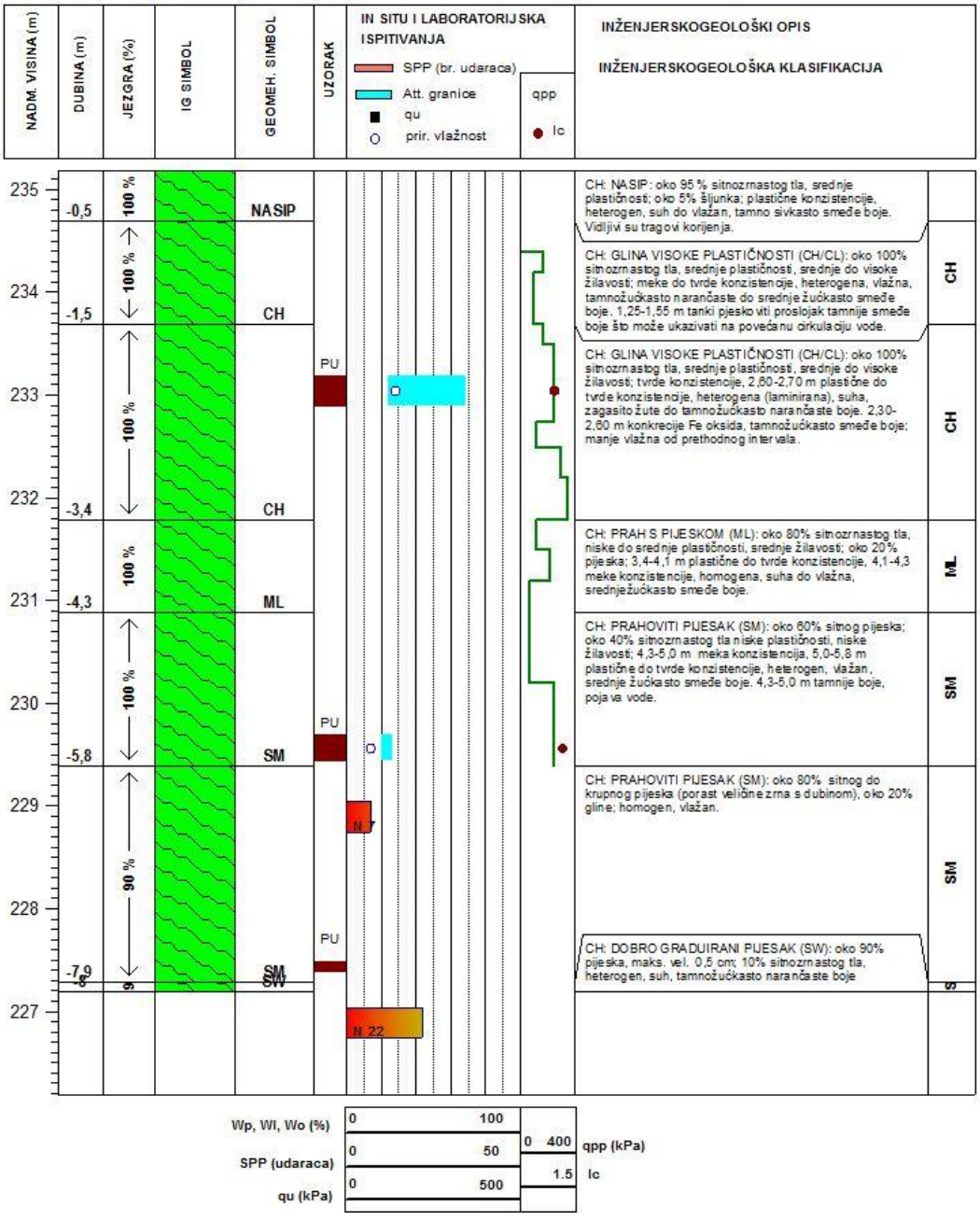
LOG BUŠOTINE B-1

RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

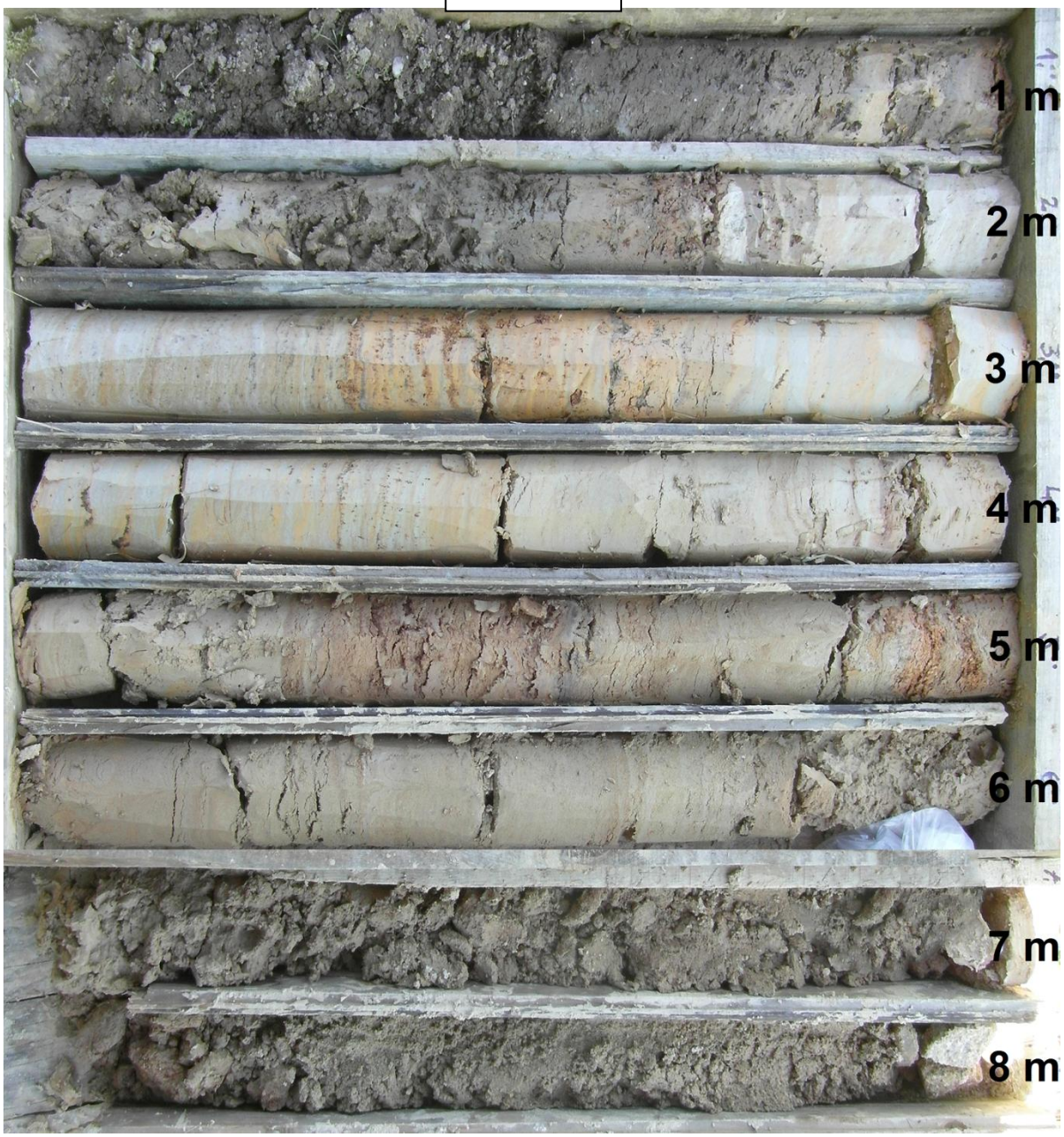
PROJEKT:	Projekt sanacije klizišta				
INVESTITOR:	Grad Samobor	IZVOĐAČ:	RGNF	NADZOR:	S. Mihalić
OBJEKT:	Klizište	DATUM:	19.5.2014.	IG DETERMINACIJA:	I. Šošić
LOKACIJA:	Sv.Martin pod Okićem	NADM. VISINA:	235,19 m	IG INTERPRETACIJA:	I. Šošić
GEOTEHNIČAR:	Ž. Arbanas	KOORDINATE:	x: 441060.02	y: 5067826.63	

INŽENJERSKOGEOLOŠKI PRESJEK BUŠOTINE: **B-1** DUBINA: 9.00 m MJERILO: 1:50 **PRILOG: 1**

NAPOMENA: napomena



B-1



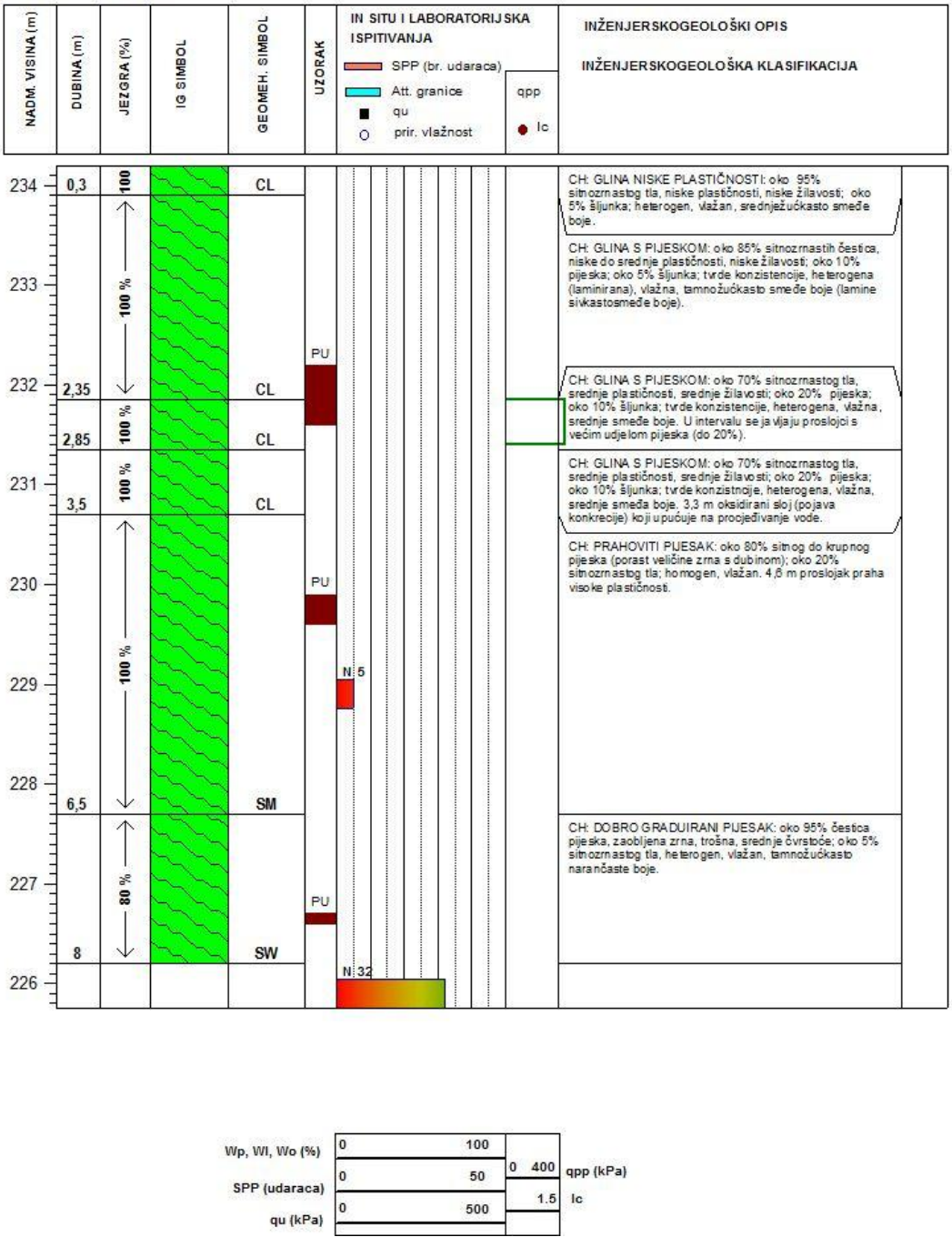
LOG BUŠOTINE B-2

RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

PROJEKT:	Projekt sanacije klizišta				
INVESTITOR:	Grad Samobor	IZVOĐAČ:	RGNF	NADZOR:	S. Mihalić
OBJEKT:	Klizište	DATUM:	19.5.2014.	IG DETERMINACIJA:	I. Šošić
LOKACIJA:	Sv.Martin pod Okićem	NADM. VISINA:	234,2 m	IG INTERPRETACIJA:	I. Šošić
GEOTEHNIČAR:	Ž. Arbanas	KOORDINATE:	x: 441056.57	y: 5067842.89	

INŽENJERSKOGEOLOŠKI PRESJEK BUŠOTINE: **B-2** DUBINA: 8,45 m MJERILO: 1:50 **PRILOG: 1**

NAPOMENA: napomena



B-2



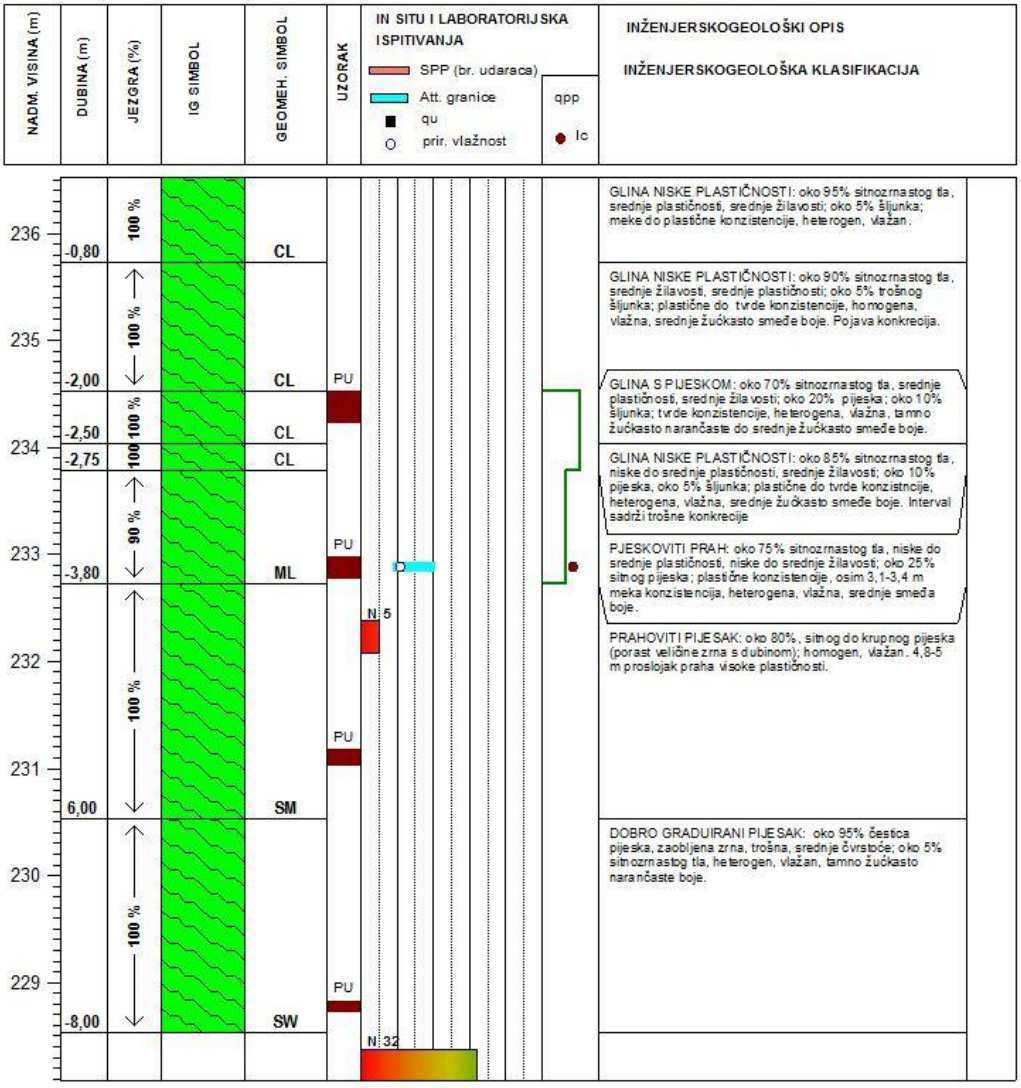
LOG BUŠOTINE B-3

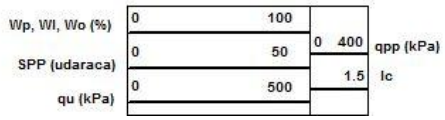
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

PROJEKT:	Projekt sanacije klizišta				
INVESTITOR:	Grad Samobor	IZVOĐAČ:	RGNF	NADZOR:	S. Mihalić
OBJEKT:	Klizište	DATUM:	19.5.2014.	IG DETERMINACIJA:	I. Šošić
LOKACIJA:	Sv.Martin pod Okićem	NADM. VISINA:	236,53 m	IG INTERPRETACIJA:	I. Šošić
GEOTEHNIČAR:	Ž. Arbanas	KOORDINATE:	x: 441053.18	y: 5067860	

INŽENJERSKOGEOLOŠKI PRESJEK BUŠOTINE: **B-3** DUBINA: 8,45 m MJERILO: 1:50 **PRILOG: 1**

NAPOMENA: napomena





B-3



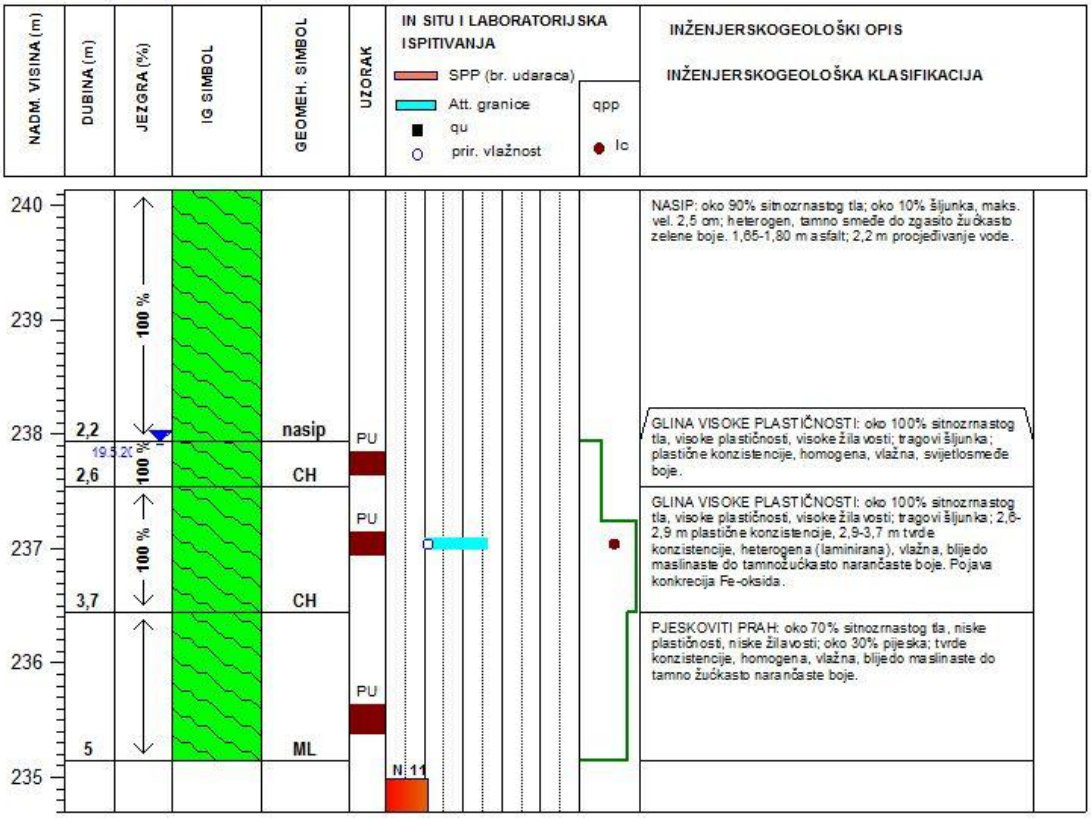
LOG BUŠOTINE B-4

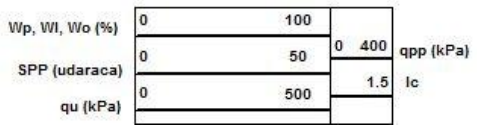
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

PROJEKT:	Projekt sanacije klizišta				
INVESTITOR:	Grad Samobor	IZVOĐAČ:	RGNF	NADZOR:	S. Mihalić
OBJEKT:	Klizište	DATUM:	20.5.2014.	IG DETERMINACIJA:	I. Šošić
LOKACIJA:	Sv.Martin pod Okićem	NADM. VISINA:	240,14 m	IG INTERPRETACIJA:	I. Šošić
GEOTEHNIČAR:	Ž. Arbanas	KOORDINATE:	x: 441080.76	y: 5067829.26	

INŽENJERSKOGEOLOŠKI PRESJEK BUŠOTINE: **B-4** DUBINA: 5.45 m MJERILO: 1:50 **PRILOG: 1**

NAPOMENA: napomena





B-4



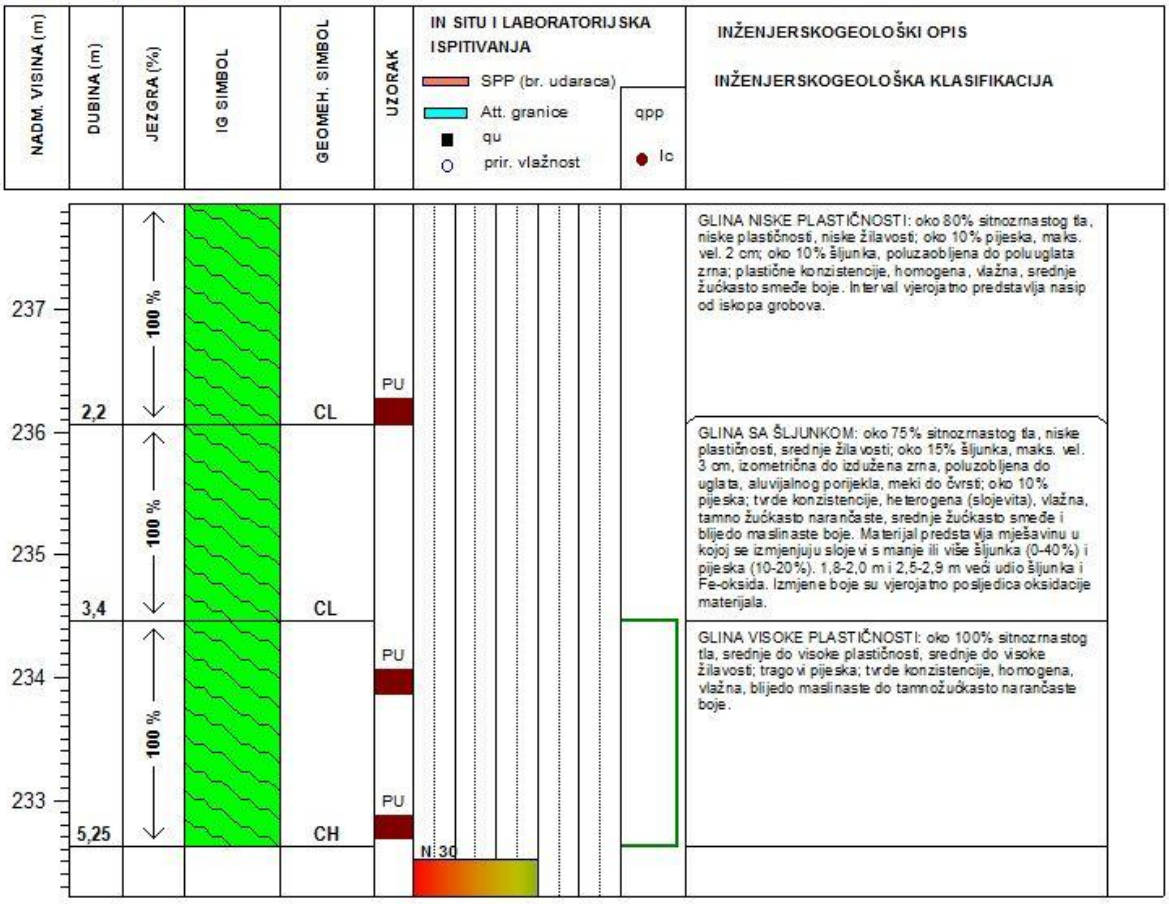
LOG BUŠOTINE B-5

RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

PROJEKT:	Projekt sanacije klizišta				
INVESTITOR:	Grad Samobor	IZVOĐAČ:	RGNF	NADZOR:	S. Mihalić
OBJEKT:	Klizište	DATUM:	20.5.2014.	IG DETERMINACIJA:	I. Šošić
LOKACIJA:	Sv.Martin pod Okićem	NADM. VISINA:	237,87 m	IG INTERPRETACIJA:	I. Šošić
GEOTEHNIČAR:	Ž. Arbanas	KOORDINATE:	x: 441066.94	y: 5067845.07	

INŽENJERSKOGEOLOŠKI PRESJEK BUŠOTINE: B-5 DUBINA: 5,45 m MJERILO: 1:50 **PRILOG: 1**

NAPOMENA: napomena



Wp, Wl, Wo (%)	0 — 100	0 — 400	qpp (kPa)
SPP (udaraca)	0 — 50	1.5	Ic
qu (kPa)	0 — 500		

B-5



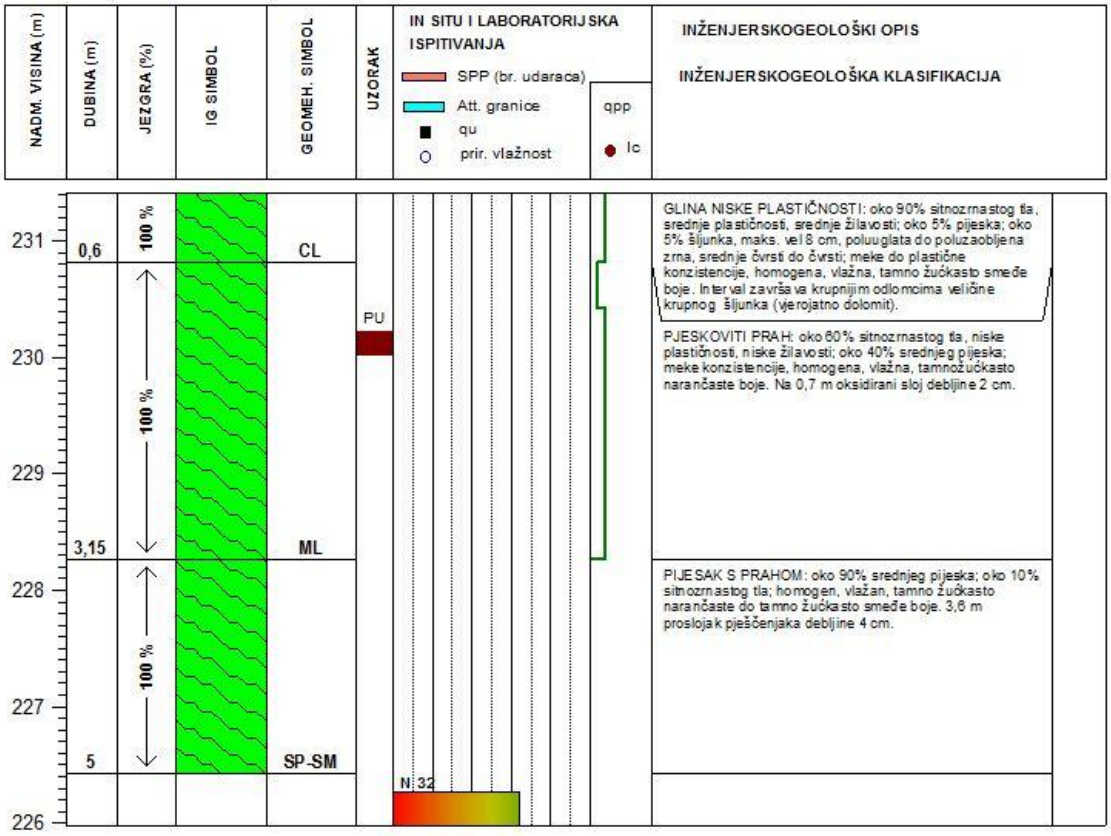
LOG BUŠOTINE B-6

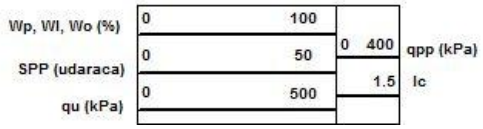
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

PROJEKT:	Projekt sanacije klizišta				
INVESTITOR:	Grad Samobor	IZVOĐAČ:	RGNF	NADZOR:	S. Mihalić
OBJEKT:	Klizište	DATUM:	21.5.2014.	IG DETERMINACIJA:	I. Šošić
LOKACIJA:	Sv.Martin pod Okićem	NADM. VISINA:	231,42 m	IG INTERPRETACIJA:	I. Šošić
GEOTEHNIČAR:	Ž. Arbanas	KOORDINATE:	x: 441047.93	y: 5067825.19	

INŽENJERSKOGEOLOŠKI PRESJEK BUŠOTINE: **B-6** DUBINA: 5,45 m MJERILO: 1:50 **PRILOG: 1**

NAPOMENA: napomena





B-6



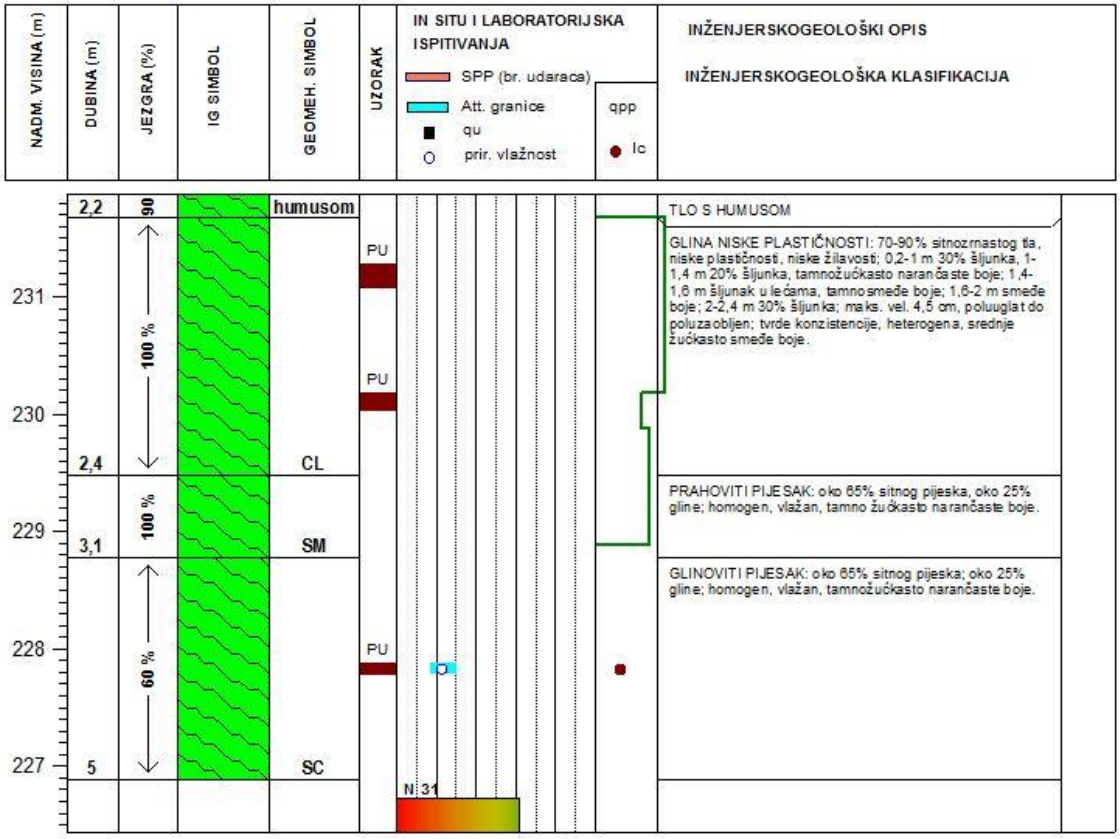
LOG BUŠOTINE B-7

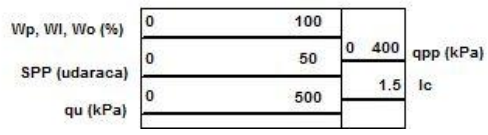
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

PROJEKT:	Projekt sanacije klizišta				
INVESTITOR:	Grad Samobor	IZVOĐAČ:	RGNF	NADZOR:	S. Mihalić
OBJEKT:	Klizište	DATUM:	20.5.2014.	IG DETERMINACIJA:	I. Šošić
LOKACIJA:	Sv.Martin pod Okićem	NADM. VISINA:	231,88 m	IG INTERPRETACIJA:	I. Šošić
GEOTEHNIČAR:	Ž. Arbanas	KOORDINATE:	x: 441047.93	y: 5067825.19	

INŽENJERSKOGEOLOŠKI PRESJEK BUŠOTINE: **B-7** DUBINA: 5,45 m MJERILO: 1:50 **PRILOG: 1**

NAPOMENA: napomena





B-7



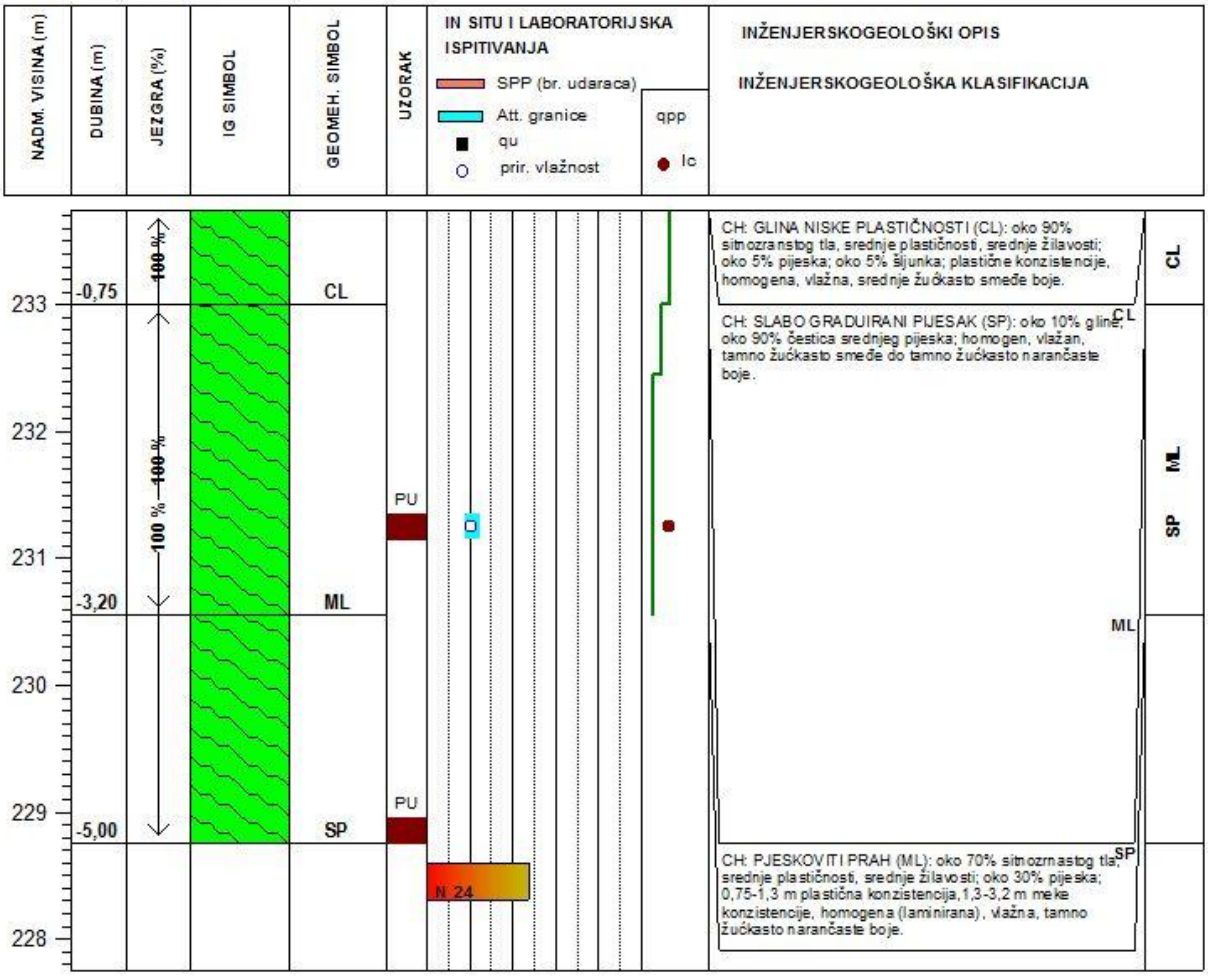
LOG BUŠOTINE B-8

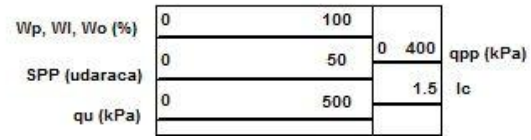
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

PROJEKT:	Projekt sanacije klizišta				
INVESTITOR:	Grad Samobor	IZVOĐAČ:	RGNF	NADZOR:	S. Mihalić
OBJEKT:	Klizište	DATUM:	21.5.2014.	IG DETERMINACIJA:	I. Šošić
LOKACIJA:	Sv.Martin pod Okićem	NADM. VISINA:	233,75 m	IG INTERPRETACIJA:	I. Šošić
GEOTEHNIČAR:	Ž. Arbanas	KOORDINATE:	x: 441047.93	y: 5067825.19	

INŽENJERSKOGEOLOŠKI PRESJEK BUŠOTINE: **B-8** DUBINA: 6.00 m MJERILO: 1:50 **PRILOG: 1**

NAPOMENA: napomena





B-8



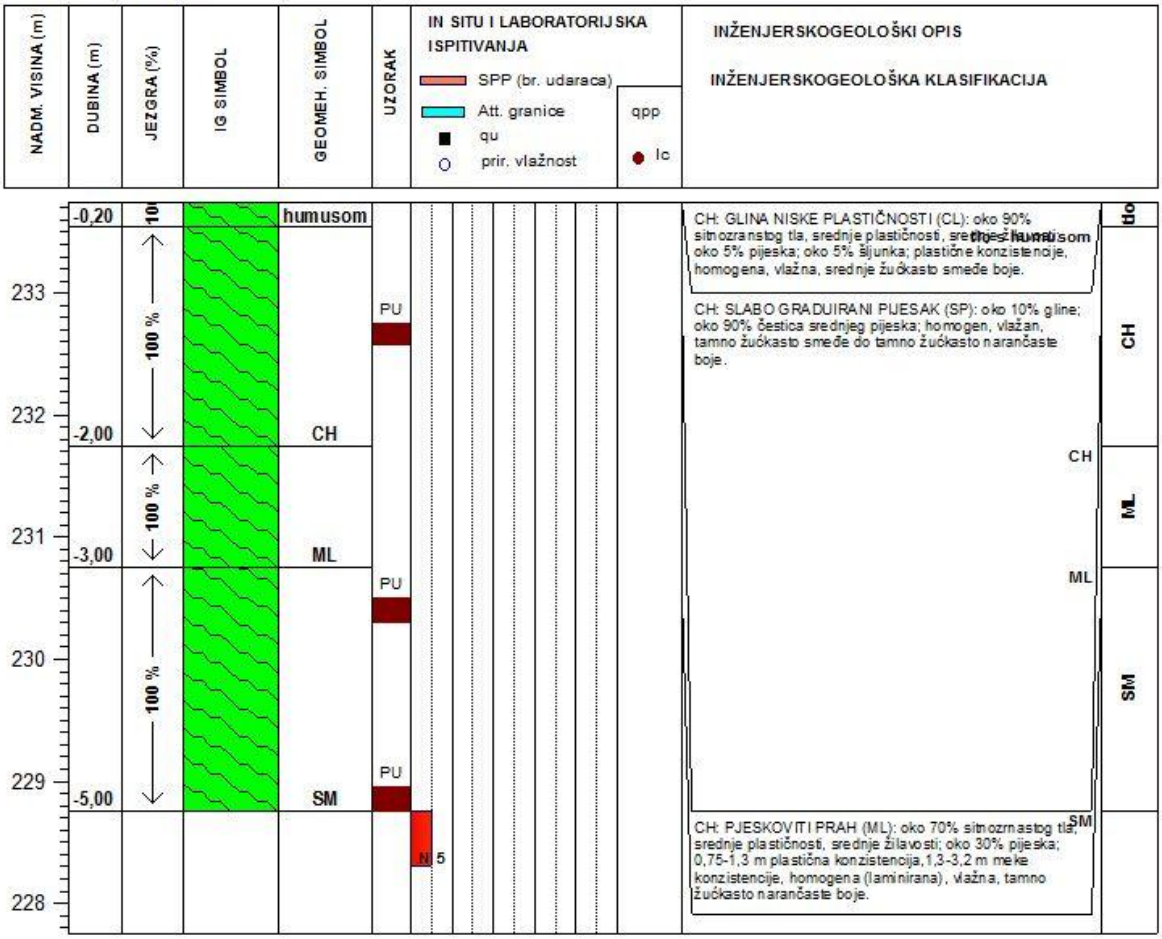
LOG BUŠOTINE B-9

RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

PROJEKT:	Projekt sanacije klizišta				
INVESTITOR:	Grad Samobor	IZVOĐAČ:	RGNF	NADZOR:	S. Mihalić
OBJEKT:	Klizište	DATUM:	20.5.2014.	IG DETERMINACIJA:	I. Šošić
LOKACIJA:	Sv.Martin pod Okićem	NADM. VISINA:	238,13 m	IG INTERPRETACIJA:	I. Šošić
GEOTEHNIČAR:	Ž. Arbanas	KOORDINATE:	x: 441047.93	y: 5067825.19	

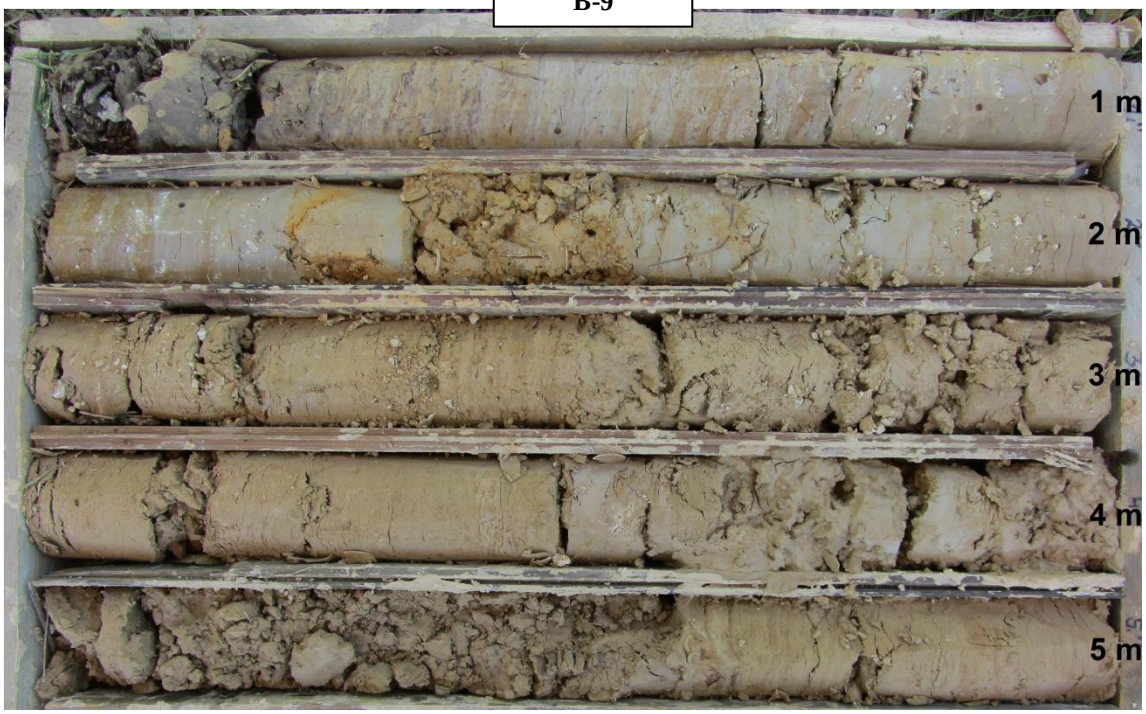
INŽENJERSKOGEOLOŠKI PRESJEK BUŠOTINE: **B-9** DUBINA: 6.00 m MJERILO: 1:50 **PRILOG: 1**

NAPOMENA: napomena

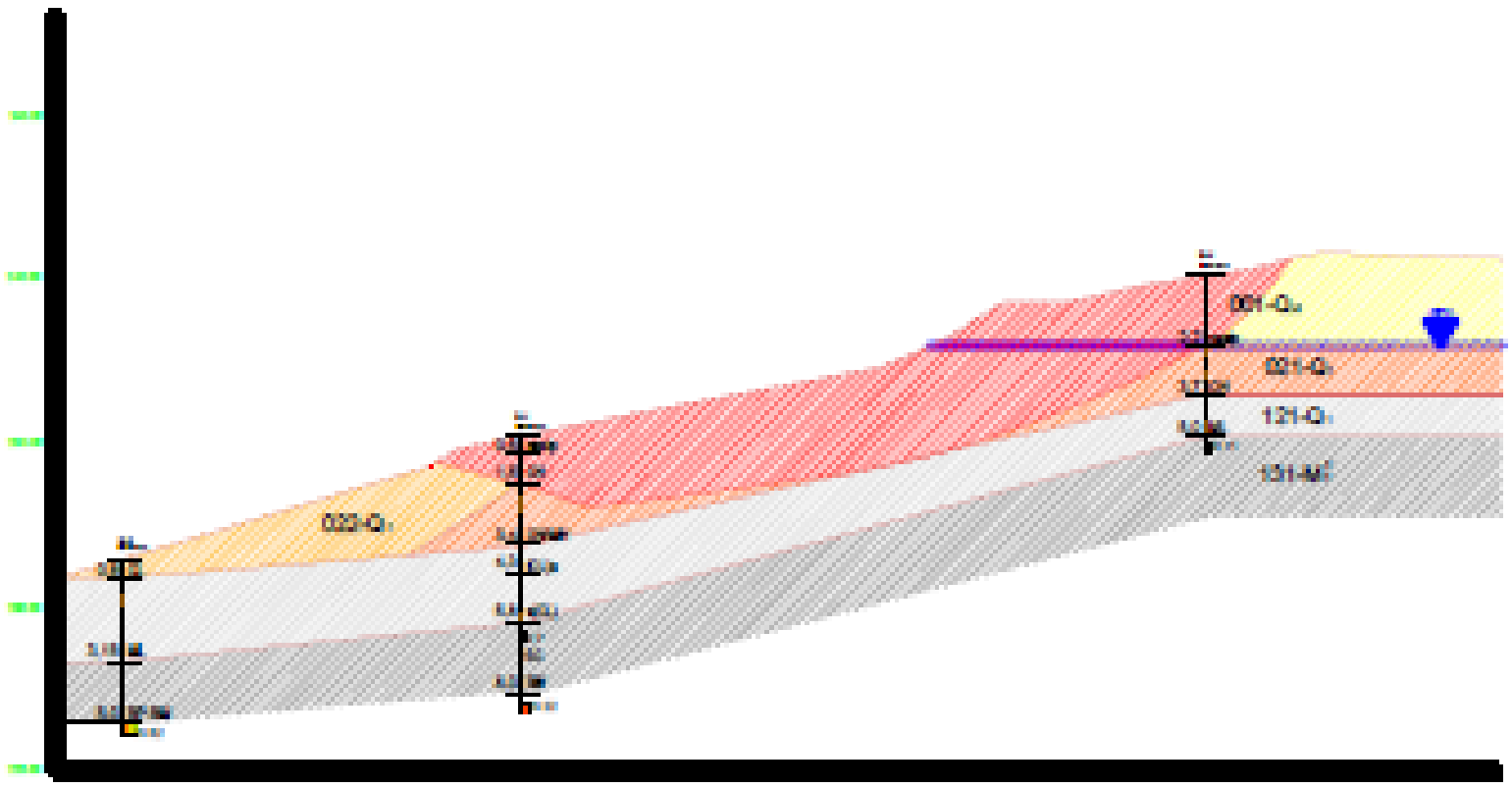


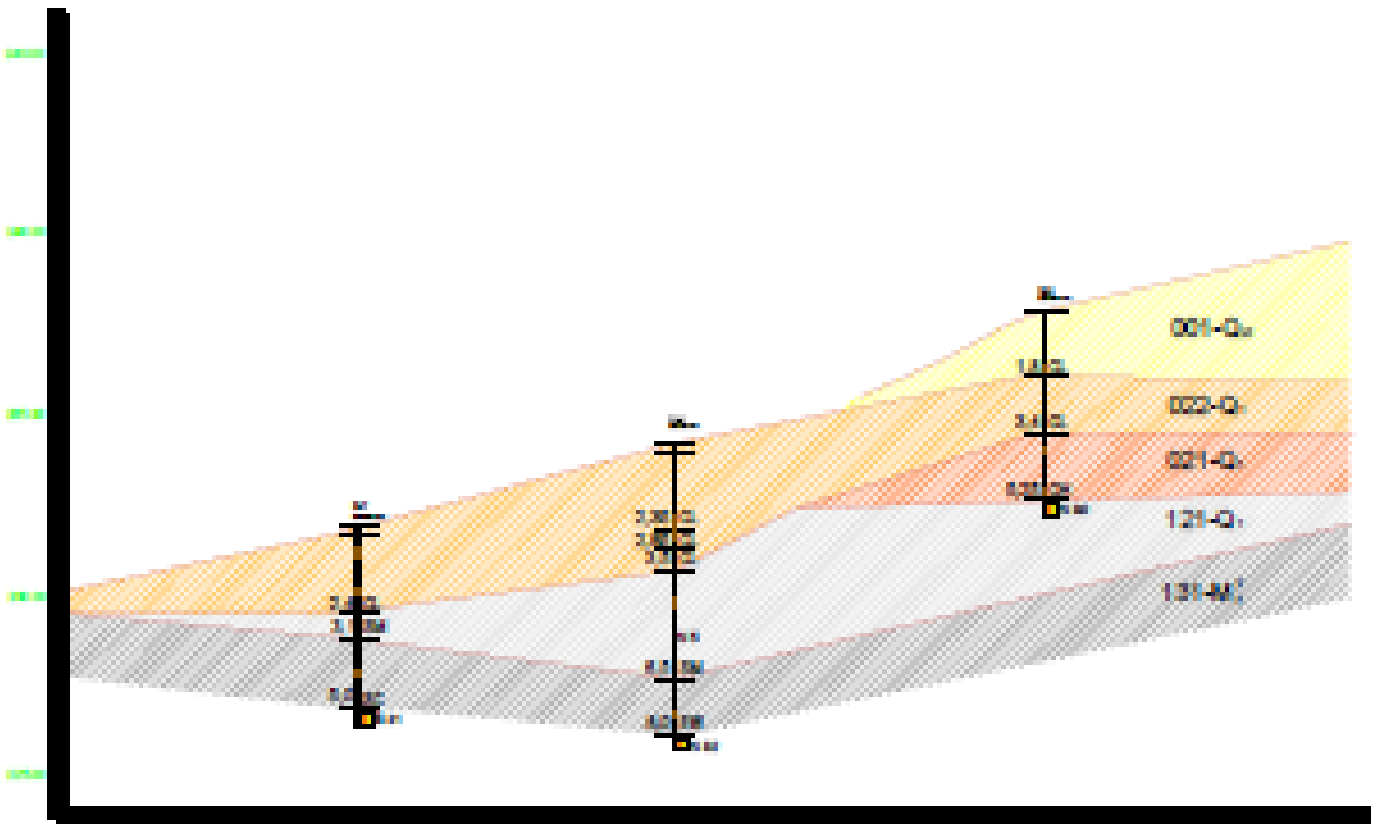
Wp, Wl, Wo (%)	0 — 100		
SPP (udaraca)	0 — 50	0 — 400	qpp (kPa)
qu (kPa)	0 — 500	1.5	Ic

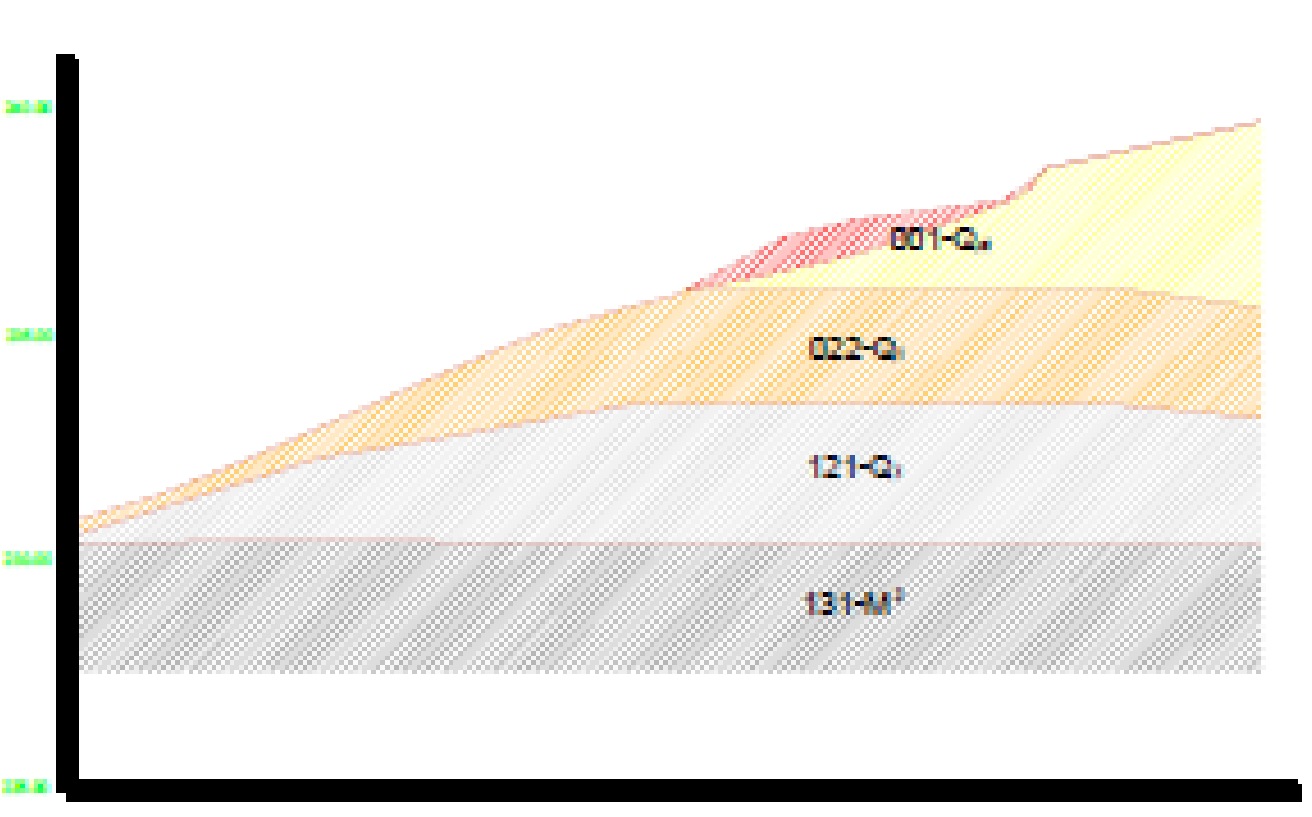
B-9



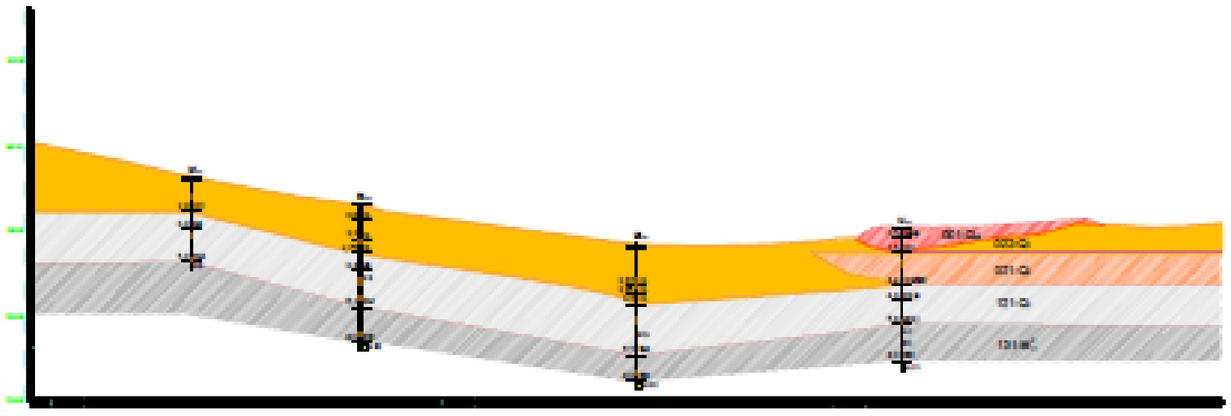
PRILOG 2: UZDUŽNI PRESJECI KLIZIŠTA

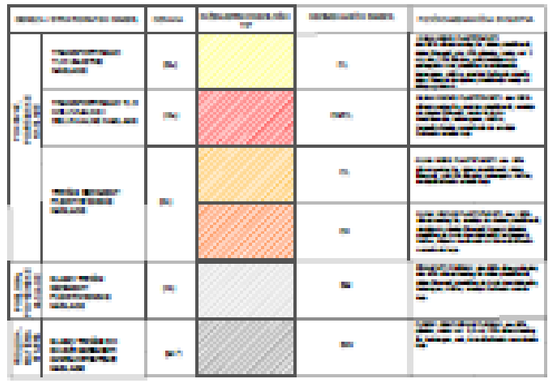






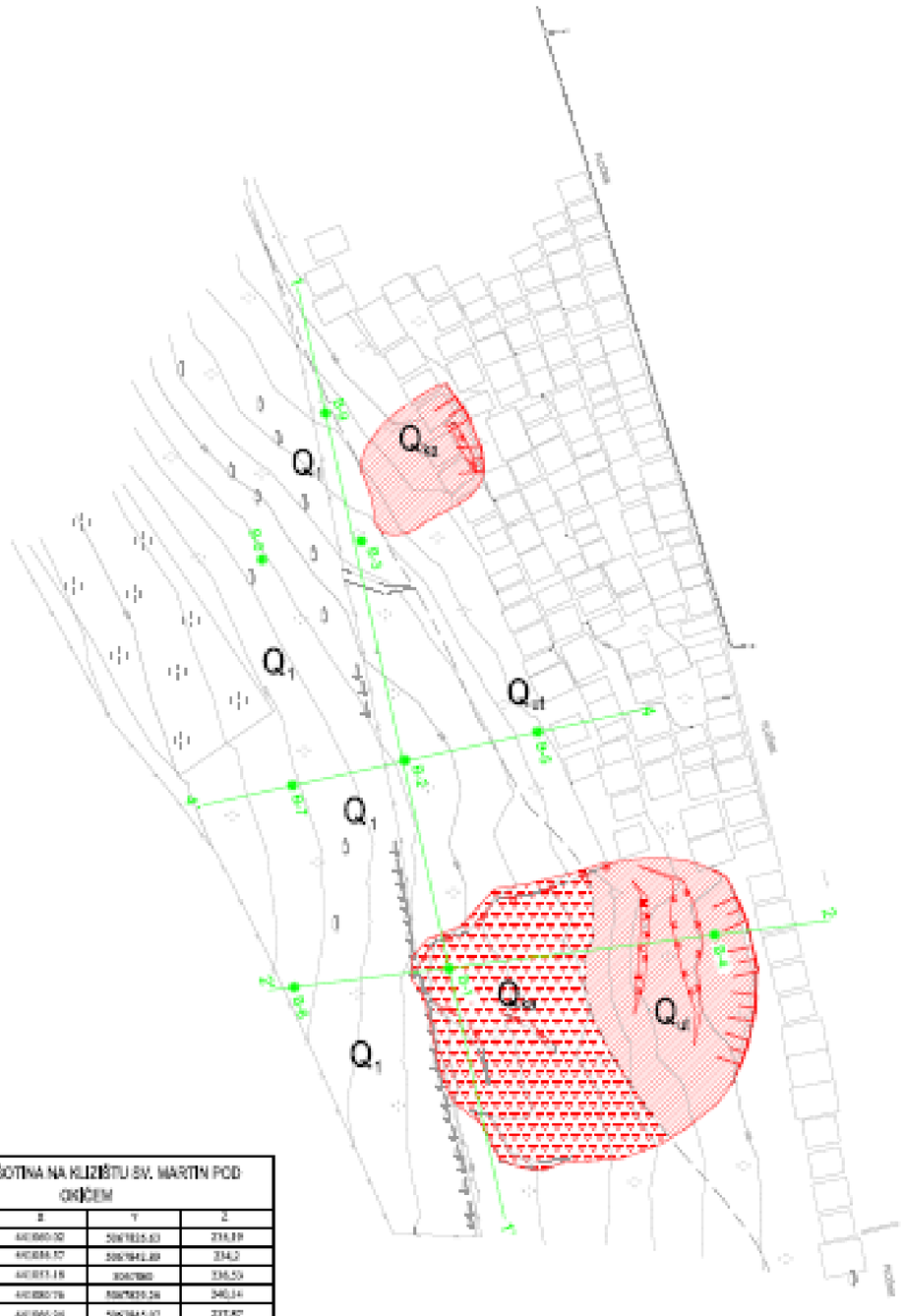
PRILOG 3: POPREČNI PRESJEK KLIZIŠTA







62



LEGENDA

GENEZA I STATIGRAFSKI SIMBOL			OZNAKA	INŽENJERSKOGEOLOŠKI OPIS	GEOMORFOLOŠKI SIMBOL	POVIJESNO-RAZVOJNA EVOLUCIJA
POVRŠINSKI NASLAGE (POKRIVAČ)	NOVIJE NASLAGE	Qa	001	[illegible]		
	KOLUVIJALNE NASLAGE	Qk	003a	KOLUVIJ AKTIVNO KLIZIŠTA [illegible]	Qk	
			003b	KOLUVIJ NEAKTIVNO SLIJEGANJE [illegible]	Qk	
	TROŠNA STIJENSKA MASA	Qt	021	[illegible]	Qt	[illegible]
			022	[illegible]	Qt	

ISTRAŽIVAČKI RADOVI

- ISTRAŽIVAČKA BUŠOTINA
- INŽENJERSKOGEOLOŠKI PROFIL

AKTIVNI GEOMORFOLOŠKI PROCESI

- PRETPOSTAVLJENA GRANICA INŽENJERSKOGEOLOŠKIH JEDINICA
- ČELO KLIZIŠTA
- GRANICA KLIZIŠTA
- PRETPOSTAVLJENA GRANICA KLIZIŠTA
- GEODETSKI OMEĐENA PUKOTINA (svibanj, 2015)
- POKRENUTA MASA U KOLUVIJU
- KOLUVIJ DIJELOM ORGANIZIRANE POVRŠINE TEČENJA

POPIS BUŠOTINA NA KLIZIŠTU SV. MARTIN POD OKIĆEM

BUŠOTINA	X	Y	Z
B-1	6459660,00	5067833,63	233,89
B-2	6459686,57	5067840,89	234,2
B-3	6459711,15	5067860	236,59
B-4	6459730,76	5067835,56	240,14
B-5	6459690,56	5067845,97	237,87
B-6	6459647,95	5067833,19	233,62
B-7	6459647,5	5067840,02	233,88
B-8	6459641,42	5067839,53	233,25
B-9	6459630,18	5067849,99	238,15

Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo

DIPLOMSKI RAD

PROJEKT: SANACIJA KLIZIŠTA SV. MARTIN POD OKIĆEM

VRSTA ISTRAŽIVANJA: GEOTEHNIČKI ISTRAŽNI RADOVI
DETALJNA INŽENJERSKOGEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA

PROJEKTANT	MENTORICA	IZRADIO
Prof. Z. Arbanas, dipl. ing. geol.	Dr. sc. S. Mihalić Arbanas, dipl. ing. geol.	Ivan Šolić
DATUM: svibanj, 2015.	MJERILO: 1 : 250	PRILOG BR. 4

Terminologija za opis inženjerskog tla prema preporukama USBR (2001)

OPIS TLA		
	PLASTIČNOST MATERIJALA TLA	
	Neplastično	3 mm valjčić se ne može napraviti pri bilo kojoj vlažnosti.
	Niska	Valjčić se jedva napravi, a grumenje se ne može napraviti kada vlažnost padne ispod granice plastičnosti.
	Srednja	Valjčić se lako napravi, ali nije potrebno mnogo vremena da se dostigne granica plastičnosti. Grumenje se ne može ponovno valjati nakon što je dostignuta granica plastičnosti. Grumenje se lomi.
	Visoka	Potrebno je mnogo vremena valjanja i gnječenja da bi se postigla granica plastičnosti. Valjak se ne može valjati nekoliko puta nakon što se dostigne granica plastičnosti. Grumenje se može formirati i mijesiti bez drobljenja i kada je vlažnost manja od granice plastičnosti.
	ŽILAVOST MATERIJALA TLA	
	Niska	Potreban je mali pritisak za valjanje valjčića blizu granice plastičnosti. Valjčići i grumenje su slabi i mekani.
	Srednja	Srednji pritisak je potreban za valjanje valjčića blizu granice plastičnosti. Valjčići i grumenje imaju srednju stišljivost.
	Visoka	Značajan pritisak je potreban za valjanje valjčića blizu granice plastičnosti. Valjčići i grumenje imaju vrlo visoku stišljivost.
	KONZISTENCIJA TLA	
	Vrlo meko	Palac penetrira u tlo više od 25 mm.
	Meko	Palac penetrira u tlo oko 25 mm.
	Plastično	Palac penetrira u tlo oko 5 mm.
	Tvrdo	Palac se ne može utisnuti u tlo, dok se nokat može utisnuti.
	Vrlo tvrdo	Nokat se ne može utisnuti u tlo.
	STRUKTURA MASE TLA	
	Laminirana	Izmjena slojeva različitog materijala, ili boje, u slojevima tanjim od 6 mm.
	Homogena	Ista boja, tekstura i struktura u cijelom sloju.
	VLAŽNOST MASE TLA	
	Suho	Nedostatak vlage, prašnjavo, suho na opip.
	Vlažno	Vlažno, ali bez vidljive vode.
	Mokro	Vidljiva je slobodna voda, obično ispod razine podzemne vode.
	REAKCIJA S HCl-om	
	Nema	Nema vidljive reakcije.
	Slaba	Slaba reakcija sa mjehurićima koji se polako stvaraju.
	Snažna	Snažna reakcija sa mjehurićima koji se odmah stvaraju.