Inženjerskogeološki modeli klizišta u naselju Cerina (Grad Samobor)

Živković, Hrvoje

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:169:510648

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-23**

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 MODELI KLIZIŠTA U NASELJU CERINA (GRAD SAMOBOR)

Diplomski rad

Hrvoje Živković

GI 178

Zagreb, 2015.

Zahvala

Izv. prof. dr. sc. Snježani Mihalić Arbanas

na vodstvu i savjetima tijekom izrade ovoga rada

Sanji Bernat, mag. ing. geol.

na pomoći i savjetima tijekom izrade ovoga rada

Dr. sc. Martinu Krkaču

na tehničkoj podršci tijekom izrade ovoga rada

mojoj obitelji i prijateljima

na bezuvjetnoj potpori tijekom mog studiranja.

Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Diplomski rad

INŽENJERSKOGEOLOŠKI MODELI KLIZIŠTA U NASELJU CERINA (GRAD SAMOBOR)

HRVOJE ŽIVKOVIĆ

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Sažetak

Inženjerskogeološki modeli tri klizišta u naselju Cerina pokraj Samobora interpretirani su na temelju geotehničkog istraživanja u okviru kojega je provedeno detaljno inženjerskogeološko istraživanje. Inženjerskogeološko istraživanje sastojalo se od inženjerskogeološkog kartiranja u detaljnom mjerilu, determinacije jezgri šest istraživačkih bušotina, te interpretacije svih provedenih istraživanja. Na temelju detaljnog inženjerskogeološkog kartiranja izrađena je inženjerskogeološka karta koja prikazuje granice tri. Kartiranjem su također dobiveni podaci o geomorfološkim uvjetima i drugim aktivnim geomorfološkim procesima, zatim o geološkoj građi i značajkama stijena i tala, te o hidrogeološkim uvjetima. Determinacijom i interpretacijom istraživačkih bušotina bušenih na području klizišta utvrđena je detaljna geološka građa terena koja je prikazana u presjecima bušotina. Na temelju detaljnog inženjerskogeološkog istraživanja, geotehničkih istraživanja, laboratorijskih ispitivanja uzoraka uzetih iz šest istraživačkih bušotina interpretirani su inženjerskogeološki modeli klizišta Cerina 1, Cerina 2 i Cerina 3. Inženjerskogeološki modeli klizišta definirani su geometrijom i značajkama klizišta koje uključuju tip klizanja s obzirom na mehanizam pokreta, uzrok klizanja, vidljivost dijelova klizišta, te aktivnost i materijale klizišta. Na osnovi analize hidroloških podataka o prethodnoj oborini interpretirana je oborina koja je pokrenula klizišta.

Ključne riječi: inženjerskogeološko istraživanje, geotehničko istraživanje, inženjerskogeološki model, klizište, Samobor.

Diplomski rad sadrži: 43 stranice, 14 tablica, 15 slika, 11 priloga i 24 reference.

Jezik izvornika: hrvatski

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

Voditelj: Izv. prof. dr. sc. Snježana Mihalić Arbanas, RGNF

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

Ocjenjivači: Izv. prof. dr. sc. Snježana Mihalić Arbanas, RGNF
Prof. dr. sc. Andrea Bačani, RGNF
Prof. dr. sc. Željko Arbanas, GFR

Datum obrane: 20.11.2015.

University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

Master's Thesis

Engineering Geological Models of Landslides in the Cerina Settlement (City of Samobor)

HRVOJE ŽIVKOVIĆ

Thesis completed in: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Department of Geology and Geological Engineering
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract

Engineering geological models of three landslides in the Cerina settlement near Samobor were interpreted on the basis of geotechnical (site) investigation which included engineering geological investigation. Engineering geological investigation encompassed engineering geological mapping in detailed scale, determination of six borehole cores and interpretation of all conducted researches. Detailed engineering geological mapping resulted in landslide map with landslide contours of three landslides. Engineering geological mapping aslo resulted in data collection related to geomorphological conditions and other active geomorphological processes, geological settings and soils and rock characteristics as well as hydrogeological conditions. Determination and interpretation of exploration boreholes gave insight into detailed geological settings which are presented on borehole logs. Engineering geological models of Cerina 1, Cerina 2 and Cerina 3 landslides were interpreted on the basis of detailed engineering geological investigation, site investigation and laboratory testing of samples from six boreholes. Engineering geological models of landslides are defined by geometry and landslide features which include type of slides by movement mechanism, landslide cause, visibility of landslide fatures, landslide activity and materials of landslides. Precipitation was interpreted as landslide trigger, based on analysis of antecedent precipitation from hydrological data.

Keywords: Engineering geological model, landslides, engineering geological explorations, geotechnical explorations, Samobor

Thesis contains: 43 pages, 14 tables, 15 figures, 11 enclosures and 24 references.

Original in: Croatian

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

Supervisor: PhD Snježana Mihalić Arbanas, Assistant Professor

Technical support and assistance: Sanja Bernat, MEng.
PhD Martin Krkač, MEng.

Reviewers: PhD Snježana Mihalić Arbanas, Assistant Professor
PhD Andrea Bačani, Full Professor
PhD Željko Arbanas, Full Professor

Date of defense: November 20, 2015

SADRŽAJ

POPIS SLIKA ---------- **vii**
POPIS TABLICA ----------**viii**
POPIS PRILOGA ---------- **ix**

1 UVOD 1
2 PRIRODNE ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA 3
2.1 Geomorfološki uvjeti i aktivni geomorfološki procesi 3
2.2 Geološke značajke 5
2.3 Hidrološki i hidrogeološki uvjeti 9
2.4 Seizmičke značajke područja 15
3 INŽENJERSKOGEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA 17
3.1 Detaljno inženjerskogeološko kartiranje 18
3.2 Istraživačko bušenje 22
4 INŽENJERSKOGEOLOŠKI MODELI KLIZIŠTA 26
4.1 Značajke klizišta u naselju Cerina 28
4.2 Inženjerskogeološke jedinice 31
5. DISKUSIJA 38
6. ZAKLJUČAK 40
LITERATURA 41
PRILOZI

POPIS SLIKA

Slika 1.1 Tipovi uzročnika (faktora) klizanja. (MIHALIĆ, 2007) 1
Slika 2.1 Geografski položaj naselja Cerina (preuzeto s Googla Earth-a). 3
Slika 2.2 Položaj tri istraživana klizišta (Cerina 1, Cerina 2 i Cerina 3) na lokalnoj cesti Dragonoš-Smerovišće na isječku Hrvatske osnovne karte (HOK) originalnog mjerila 1:5.000. 4
Slika 2.3 Isječak Osnovne geološke karte (OGK), list Zagreb (ŠIKIĆ i dr. 1977) s prikazom položaja klizišta Cerina (crno zaokruženo). Originalno mjerilo OGK je 1:100.000. 6
Slika 2.4 Usporedba prosječnih mjesečnih oborina na meteorološkoj postaji Rude za 12 mjeseci koji su prethodili aktiviranju klizišta s prosječnim mjesečnim oborinama za razdoblje 1991.-2014. 11
Slika 2.5 Grafički prikaz tromjesečnih oborina (za razdoblje od siječnja do ožujka) za meteorološku stanicu Rude. Crvena linija prikazuje tromjesečnu oborinu za 2013. godinu. 11
Slika 2.6 Grafički prikaz dnevnih i kumulativnih oborina za meteorološku stanicu Rude za razdoblje od 1. ožujka do 30. travnja 2014. godine. Crna točka označava kumulativnu oborinu na datum aktiviranja klizišta. 12
Slika 2.7 Grafički prikaz regionalnih graničnih vrijednosti oborina iznad kojih dolazi do pokretanja klizišta koje su definirali CLARIZIA i dr. (1996) i GUZZETI i dr. (2007, 2008). Crna točka označava vrijednosti oborina koje su prouzročile aktiviranje klizišta Cerina 1, Cerina 2 i Cerina 3. 13
Slika 2.8 Karta poredbenih vršnih ubrzanja temeljnog tla a_{gr} (temeljno tlo tipa A): (a) s vjerojatnosti premašaja 10% u 10 godina za poredbeno povratno razdoblje TNCR = 95 god (Herak i dr. , 2011); (b) s vjerojatnosti premašaja 10% u 50 godina za poredbeno povratno razdoblje TNCR = 4 (HERAK i dr., 2011). 15
Slika 3.1 Klizište Cerina 1: (a) pogled na čeonu pukotinu klizišta (fotografirano 4.2.2014.); (b) položaj čeone pukotine klizišta s denivelacijom od 0,2 m (fotografirano 25.9.2014.). 19
Slika 3.2 Klizište Cerina 1: (a) pogled na izvedeni gabionski zid visine 3 m koji je izgrađen u siječnju 2015. kao privremena mjera sanacije (fotografirano 31.1.2015.); (b) asfaltirana prometnica na lokaciji Cerina 1 (fotografirano 30.4.2015.). 19
Slika 3.3 Klizište Cerina 2: (fotografirano 2.4.2014.): (a) pogled na čeonu pukotinu nastalu u nasutom materijalu; (b) pogled na gornji dio pokrenute mase i kliznu masu. 20
Slika 3.4 Granice plastičnih stanja (KVASNIČKA i DOMITROVIĆ, 2007) 24
Slika 4.1 Dijelovi klizišta (WP/WLI, 1993). 26

POPIS TABLICA

Tablica 2-1 Inženjerskogeološke jedinice prikazane s obzirom na genezu, poredane od najmlađih prema starijima. 7
Tablica 2-2 Klasifikacija trošnosti stijenskog materijala (ISRM, 1981 preuzeto iz ARBANAS et al., 2008). 8
Tablica 2-3 Mjesečne oborine za razdoblje od siječnja 1991. do prosinca 2014. godine izražene u mm mjerene na meteorološkoj postaji Rude. 10
Tablica 3-1 Osnovni podaci o geotehničkim istraživačkim radovima provedenim na klizištima Cerina 1, Cerina 2 i Cerina 3. 23
Tablica 3-2 Osnovni podaci o istraživačkim bušotinama izbušenim 15-20.12.2015. 23
Tablica 3-3 Osnovni podaci o geomehaničkim laboratorijskim ispitivanjima tla. 25
Tablica 3-4 Rezultati ispitivanja fizičkih svojstava materijala tla na tri klizišta na lokaciji Cerina. 25
Tablica 4-1 Terminologija za opis stanja aktivnosti klizišta s pripadajućim definicijama (WP/WLI, 1993) 27
Tablica 4-2 Terminologija za opis distribucije aktivnosti klizanja s pripadajućim definicijama (WP/WLI, 1993). 27
Tablica 4-3 Terminologija za opis stilova aktivnosti klizanja s pripadajućim definicijama (WP/WLI, 1993). 28
Tablica 4-4 Terminologija za opis inženjerskog tla prema preporukama USBR (2001). 32
Tablica 4-5 Terminologija za opis stijene prema preporukama USBR (2001). 33
Tablica 4-6 Inženjerskogeološke jedinice: inženjerskogeološki tipovi POKRIVAČA i PODLOGE na klizištima Cerina 1, Cerina 2 i Cerina 3. 35

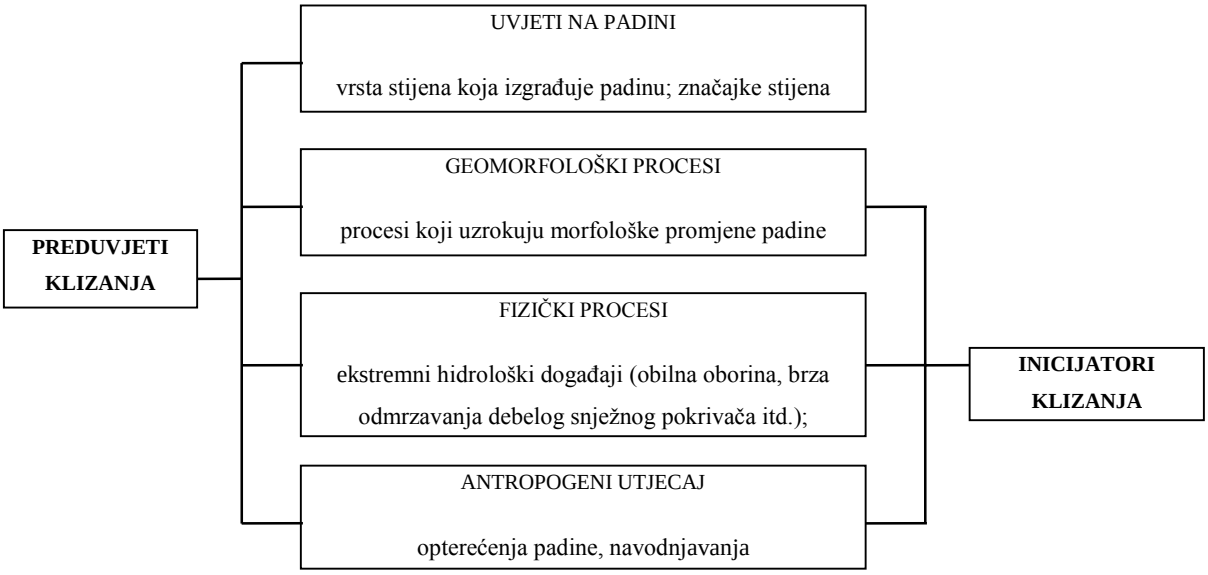
POPIS PRILOGA

Prilog 1/1	Inženjerskogeološka karta M 1:250 klizišta Cerina 1 i 2
Prilog 1/2	Inženjerskogeološka karta M 1:250 klizišta Cerina 3
Prilog 2/1	Presjek bušotine A-1
	Fotografija jezgre bušotine A-1
Prilog 2/2	Presjek bušotine A-2
	Fotografija jezgre bušotine A-2
Prilog 2/3	Presjek bušotine A-3
	Fotografija jezgre bušotine A-3
Prilog 2/4	Presjek bušotine B-1
	Fotografija jezgre bušotine B-1
Prilog 2/5	Presjek bušotine B-2
	Fotografija jezgre bušotine B-2
Prilog 2/6	Presjek bušotine A-4
	Fotografija jezgre bušotine A-4
Prilog 3/1	Inženjerskogeološki profil 1-1' i 2-2' M 1:250, uzdužni i poprečni presjek klizišta Cerina 1
Prilog 3/2	Inženjerskogeološki profili 3-3' i 4-4' M 1:250, uzdužni i poprečni presjek klizišta Cerina 2
Prilog 3/3	Inženjerskogeološki profil 5-5' M 1:250, uzdužni presjek klizišta Cerina 3

1 UVOD

Klizanje je kretanje mase stijena ili tla niz padinu pod utjecajem gravitacije (CRUDEN, 1991), te obuhvaća sve pokrete na padinama, neovisno o mehanizmu pokreta (VARNES, 1984). Klizanje na padini se može pojaviti kao prirodni proces, ali uzrok klizanja može biti i ljudska aktivnost. Klizanje je razoran i nepredvidiv prirodni proces, te može predstavljati veliku opasnost za ljude i materijalna dobra.

Najčešći je slučaj da je klizanje inicirano samo jednim procesom, ali je predisponirano brojnim preduvjetima i procesima (MIHALIĆ, 2007). S obzirom na brzinu utjecaja na stabilnost kosina, destabilizirajući procesi se mogu svrstati u one koji sporo djeluju (npr. trošenje, erozija) i one koji brzo djeluju (npr. potresi). Prilikom istraživanja uzroka klizanja (slika 1.1), pažnju je nužno posvetiti svim procesima koji su izazvali promjene uvjeta na padini. Iako spori procesi djeluju duže vrijeme na način da umanjuju odnos posmične čvrstoće materijala koji izgrađuju padinu i posmičnih naprezanja, klizanje iniciraju procesi s brzim djelovanjem.



Slika 1.1 Tipovi uzročnika (faktora) klizanja. (MIHALIĆ, 2007)

Uslijed velikih oborina i otapanja snijega dolazi do pojačane infiltracije vode u tlo, te tlo ili stijena postaju sve više zasićeniji vodom, pri čemu se povećavaju porni tlakovi što uzrokuje smanjenje posmične čvrstoće materijala od kojih je padina izgrađena. Pojačana infiltracija

vode u tlo i zasićenje tla dovodi i do povećanja njegove težine što pojačava posmična naprezanja, te destabilizira padinu.

Klizišta mogu imati različite dimenzije, a njihova sanacija je najčešće skupa. Značajke klizišta, aktivnost i mehanizam pokreta, te karakteristike tla ili stijene u kojima je klizište nastalo utvrđuju se provođenjem detaljnih inženjerskogeoloških istraživanja. Detaljna inženjerskogeološka istraživanja sastoje se od terenskog prikupljanja podataka i kabinetske obrade i interpretacije podataka (MIHALIĆ ARBANAS i ARBANAS, 2014). Terenska istraživanja uključuju inženjerskogeološko kartiranje, te determinaciju jezgre bušotina i odabir uzoraka za laboratorijska ispitivanja. Kabinetske analize i interpretacije prikupljenih podataka provode se s ciljem dobivanja uvida u prostorni raspored inženjerskih vrsta tala i stijena (tzv. inženjerskogeoloških jedinica) i određivanje položaja i geometrije klizne plohe (CORNFORTH, 2005).

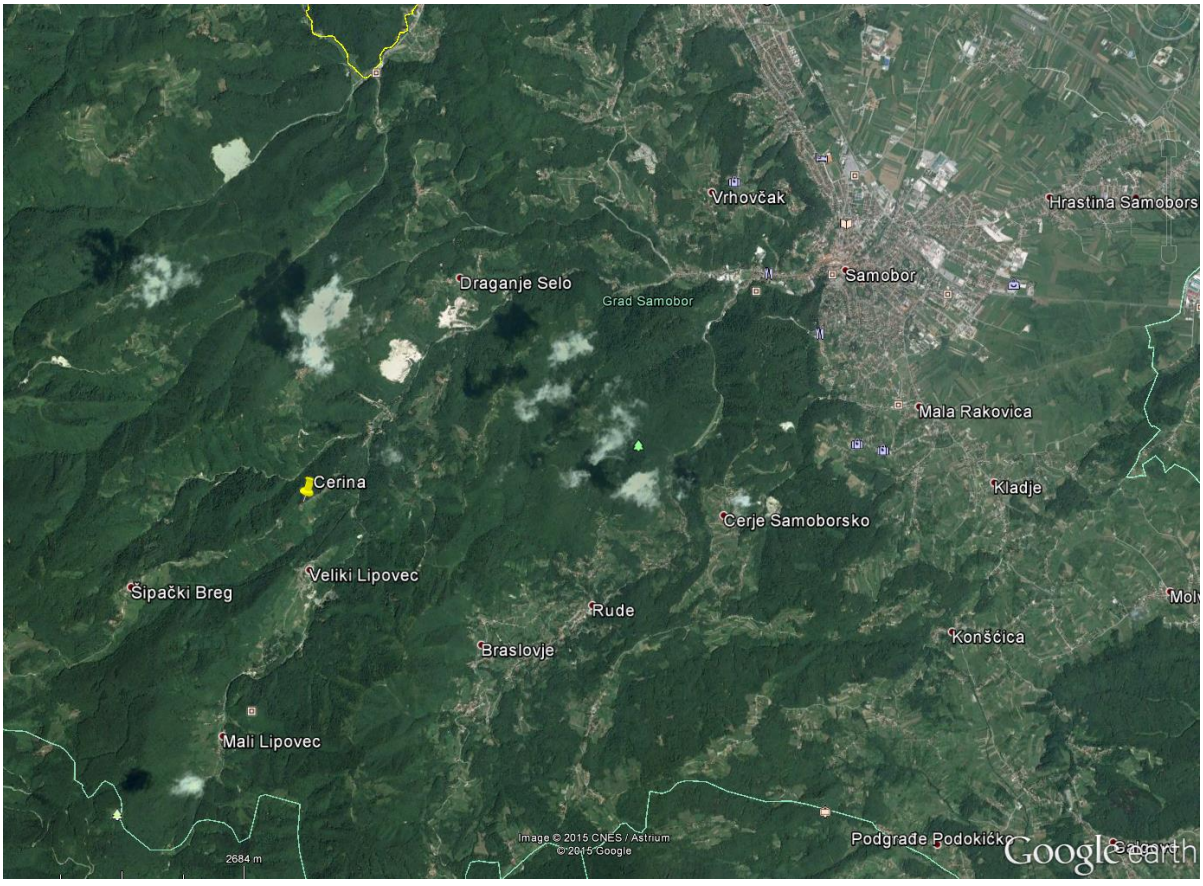
U ovom radu prikazana su inženjerskogeološka istraživanja tri klizišta u naselju Cerina nedaleko od Samobora, nazvana klizišta Cerina 1, Cerina 2 i Cerina 3. Ova istraživanja su provedena u sklopu geotehničkih istraživanja za projekt sanacije navedenih klizišta u Cerini. Inženjerskogeološka istraživanja su provedena u razdoblju od prosinca 2014. godine do ožujka 2015. godine, a njihov cilj bio je odrediti prostorni raspored, vrstu i karakteristike stijena i tla u klizištu i u njegovoj podlozi. Podaci su prikupljeni geodetskim snimanjem tri klizišta, detaljnim inženjerskogeološkim kartiranjem, istraživačkim bušenjem šest bušotina uz determinaciju jezgri bušotina i laboratorijskim ispitivanjem uzoraka iz bušotina. Na osnovi analize ovih podataka interpretirani su inženjerskogoeloški modeli tri klizišta u Cerini.

Tri klizišta aktivirana su u ožujku 2013. godine u naselju Cerina, kojim prolazi lokalna prometnica Dragonoš-Cerina-Smerovišće. Klizanje tla uzrokovalo je oštećenja na dionici prometnice približne ukupne duljine 300 metara. Budući da funkcioniranje ove prometnice neophodno za promet kroz naselje, poduzete su hitne mjere sanacije koje su se sastojale od zatrpavanja udubljenja na oštećenim rubovima prometnice i od izgradnje gabionskog zida na jednom klizištu, na kojemu je cesta bila najviše oštećena klizanjem. Provedene mjere predstavljaju privremeno rješenje do izgradnje trajnih građevina sanacije, za koje su provedena geotehnička istraživanja s detaljnim inženjerskogeološkim istraživanjima na osnovi kojih je u rujnu 2015. izrađen projekt sanacije dva klizišta.

2 PRIRODNE ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

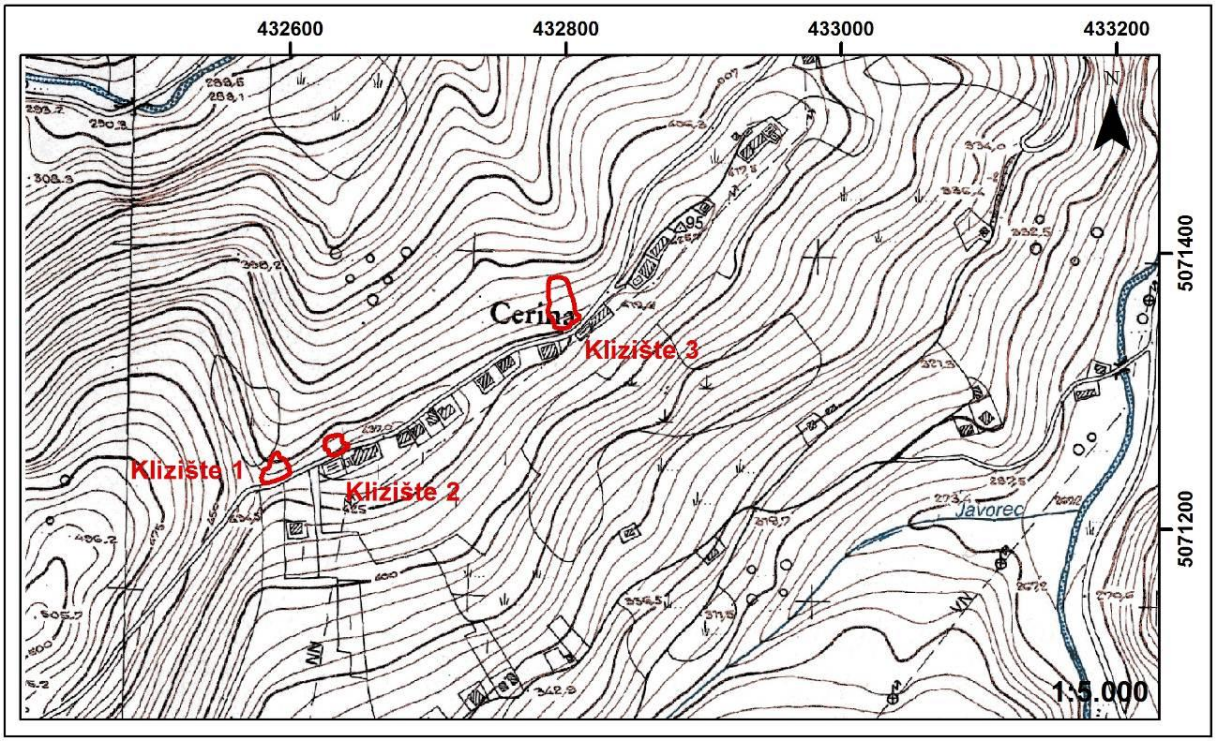
2.1 Geomorfološki uvjeti i aktivni geomorfološki procesi

Na cesti Dragonoš-Smerovišće, u naselju Cerina, koje se nalazi oko 6,5 kilometara jugozapadno od Samobora (slika 2.1), aktivirana su tri klizišta u ožujku 2013. godine. Naselje Cerina smješteno je na nadmorskoj visini od oko 430 m n.m. Predmetna klizišta su aktivirana na dijelu padine ispod prometnice koja prolazi kroz samo naselje, na dionici približne ukupne duljine oko 300 metara. U podnožju padine nagnute prema SZ nalazi se potok Jarak, a u podnožju padine nagnute prema JI nalazi se potok Cerinski vrh. Potok Jarak je na nadmorskoj visini od 300 m n.m. i udaljen je od predmetne prometnice oko 290 m zračne linije, dok je potok Cerinski vrh na nadmorskoj visini od oko 320 m n.m., a od prometnice je udaljen oko 370 m zračne linije. Predmetna dionica prometnice smještena je na hrptu pružanja JZ-SI, a na slici 2.1 prikazan je položaj sva tri istraživana klizišta. Predmetna klizišta nastala su na padini omeđenoj s dvije jaruge, a smještena su na hrptu brda po kojem prolazi prometnica.



Slika 2.1 Geografski položaj naselja Cerina (preuzeto s Googla Earth-a).

Kut nagiba terena ispod ceste, na dijelu padine na kojemu su nastala klizišta je oko 25-35°. U zoni oko ceste i u gornjem dijelu istraživane padine, morfologija je u potpunosti modificirana višestrukim nasipavanjima. Na dijelu padine na kojemu su nastala klizišta nema izgrađenih objekata (slika 2.2). Karakteristični presjeci opisane padine prikazani su na pet prognoznih inženjerskogeološka profila mjerila 1:250, odnosno na tri uzdužna presjeka klizišta 1-1' i 3-3' 5-5' i na dva poprečna presjeka klizišta 2-2' i 4-4' (prilog 3/1, 3/2 i 3/3).



Slika 2.2 Položaj tri istraživana klizišta (Cerina 1, Cerina 2 i Cerina 3) na lokalnoj cesti Dragonoš-Smerovišće na isječku Hrvatske osnovne karte (HOK) originalnog mjerila 1:5.000.

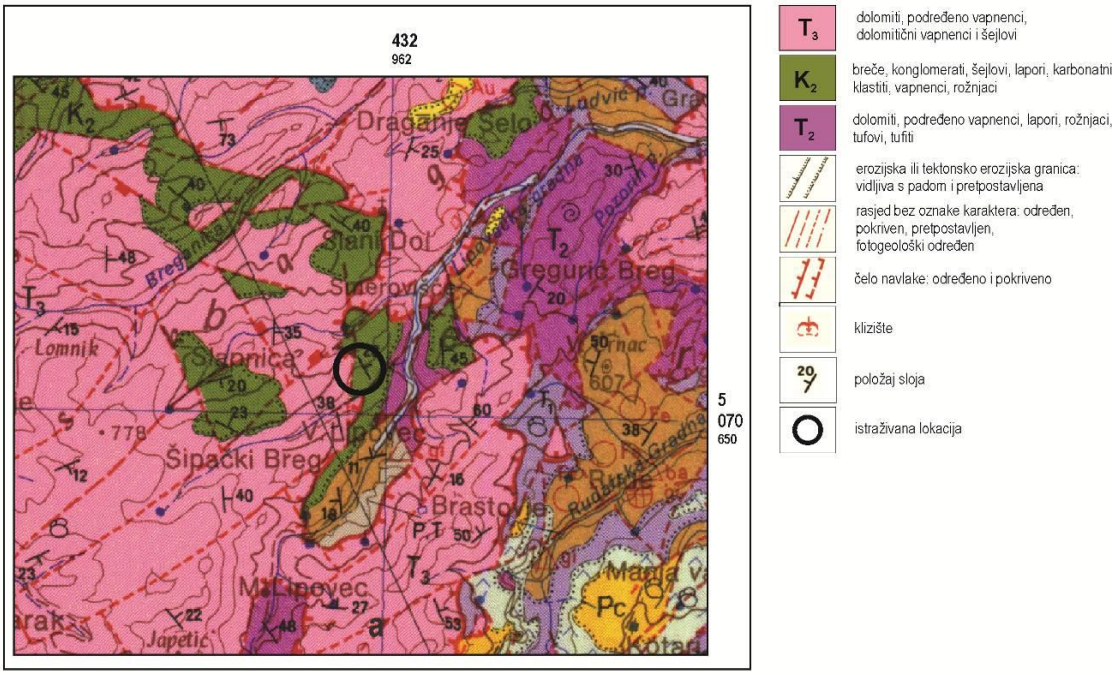
Na jugozapadnom dijelu istraživane prometnice (klizište Cerina 1) došlo je do klizanja nasipa ispod ceste u širini od 26 m, površina klizišta je 100 m^2. Na ovoj lokaciji prometnica je vrlo uska jer se nalazi na samom hrptu brda širine oko 4,5 m. Drugo istraživano klizište Cerina 2 smješteno je oko 30 m sjeveroistočno od klizišta Cerina 1. Klizište Cerina 2, površine 170 m^2, također je smješteno ispod predmetne prometnice. Klizište Cerina 3 je veće površine (595 m^2) i udaljeno je od klizišta Cerina 2 oko 185 m u pravcu sjeveroistoka, odnosno smješteno je na sjeveoristočnom dijelu istraživane dionice prometnice. Kod klizišta Cerina 1 i Cerina 2 došlo je do oštećivanja prometnice uslijed denivelacije gornjeg dijela pokrenute mase po

glavnoj pukotini koja se nalazi na cesti. Neposredno nakon klizanja, glavna pukotina i gornji dio pokrenute mase oba klizišta zatrpani su nasipom. Kruna klizišta, odnosno čelo klizišta Cerina 1, jasno je bilo vidljivo prije privremene sanacije koja je provedena u zimi 2014. godine. Na klizištu Cerina 2 kruna klizišta bila je vidljiva i u vrijeme detaljnog kartiranja klizišta u travnju 2015. Klizište Cerina 3 nastalo je u nasipu uz prometnicu, a u trenutku kartiranja u travnju 2015. godine jasno su bili izraženi svi elementi klizišta. Sva tri klizišta nastala su uz prometnicu, a prostiranje čeonih pukotina prikazano je na inženjerskogeološkoj karti mjerila 1:250 (prilog 1/1 i 1/2).

2.2 Geološke značajke

Geološkom kartiranjem na terenu te uvidom u Osnovnu geološku kartu M 1:100.000 (OGK), list Zagreb (ŠIKIĆ i dr. 1977) utvrđeno je da matičnu stijenu na istraživanoj lokaciji predstavljaju dva stratigrafska člana (Slika 2.3): dolomiti, podređeno vapnenci i šejlovi trijaske starosti (T_3) i breče, konglomerati, šejlovi, lapori, karbonatni klastiti, vapnenci i rožnjaci kredne starosti (K_2). Naslage kredne starosti diskordantno naliježu na naslage gornjeg trijasa (T_3).

Gornjotrijaski dolomiti su najznačajniji litološki element u strukturnoj građi Samoborskog područja. Debljina slojeva gornjotrijaskih dolomita varira od 5 cm do 1 metar. Količina $CaCO_3$ rijetko prelazi 10%. Boje su svijetlosive do tamnosive, što ovisi o udjelu glinovite komponente. Najmlađi dio gornjotrijaskih naslaga sastoji se od izmjene dolomita, sivih i dolomitiziranih vapnenaca. Gornjokredni karbonatni klastiti naliježu transgresivno na razvedeni paleoreljef gornjotrijaskih dolomita, jurskih vapnenaca i rožnjaka. Dio intraformacijskih breča nastao je podmorskim urušavanjem i klizanjem, dok su kalkareniti, biokalkareniti i kvarckalkareniti turbiditnog podrijetla. Izvori krupnijeg detritusa dijelom su bila intrabazenska izdignuta područja koja nisu zahvaćena početnom transgresijom. Sav ostali detritus donesen je turbiditnim tokovima i strujama iz rubnih predjela karbonatne platforme. Maksimalna debljina gornjokrednih naslaga može se procijeniti na nekoliko stotina metara (ŠIKIĆ i dr. 1979).



Slika 2.3 Isječak Osnovne geološke karte (OGK), list Zagreb (ŠIKIĆ i dr. 1977) s prikazom položaja klizišta Cerina (crno zaokruženo). Originalno mjerilo OGK je 1:100.000.

Na širem istraživanom području Žumberka i Samoborskog gorja prevladava velika tektonska poremećenost tako da su nagibi slojeva strmi, a stijene trošne i tektonski poremećene, te je geološka građa ovoga područja vrlo složena. Ovaj je prostor kroz svoju geološku povijest bio izložen mnogim dinamičnim geotektonskim pokretima, što je uzrokovalo promjene taložnih okoliša, a samim time i nastajanje stijena različitog petrografskog sastava i litoloških svojstava. Na isječku OGK vidljivo je da nedaleko od istraživane lokacije postoji rasjedni kontakt između trijaskih i krednih naslaga. Naslage matične stijene i pokrivača prikazane su s obzirom na genezu u tablici 2-1. Naslage matične stijene u inženjerskom smislu predstavljaju stijenu, jer su izgrađene od šejlova i pješčenjaka. Matična stijena prekrivena je površinskim naslagama, koje na predmetnoj lokaciji Cerina čine: antropogene naslage - nasipi (Q_{ut}), koluvijalne naslage (Q_{ka}) i rezidualno tlo (Q_{rt}) nastalo trošenjem matične stijene. Površinske naslage predstavljaju inženjersko tlo. Matičnu stijenu na ovom području predstavlja izmjena pješčenjaka i šejlova koji u inženjerskom smislu čine stijenu. Klasifikacija trošnosti stijenskog materijala prikazana je u tablici 2-2.

Tablica 2-1 Inženjerskogeološke jedinice prikazane s obzirom na genezu, poredane od najmlađih prema starijima.

GENEZA (STRATIGRAFSKI SIMBOL)			**VRSTA MATERIJALA**
POKRIVAČ, POVRŠINSKE NASLAGE	TRANSPORTIRANO TLO: UMJETNE NASLAGE (Q_{ut})	NASIP	mješavina sitnozrnastog i krupnozrnastog tla
	TRANSPORTIRANO TLO: KOLUVIJALNE NASLAGE (Q_k)	KOLUVIJ AKTIVNOG KLIZIŠTA	nasip, sitnozrnasto tlo s odlomcima
	REZIDUALNO TLO (ELUVIJ): REZIDUALNO TLO, POTPUNO DO JAKO TROŠNA STIJENA (Q_{et})	INŽENJERSKO TLO	glina niske plastičnosti, glina visoke plastičnosti, prah niske plastičnosti s odlomcima
PODLOGA, MATIČNA STIJENA	TROŠNA STIJENA: JAKO DO SREDNJE TROŠNA STIJENA (T_3)	IZMJENA MEKE I TVRDE STIJENE	šejl i pješčenjak, mjestimično s blokovima dolomita, vapnenca i breče

Tablica 2-2 Klasifikacija trošnosti stijenskog materijala (ISRM, 1981 preuzeto iz ARBANAS i dr., 2008).

POJAM	**SIMBOL**	**OPIS**	**STUPANJ TROŠNOSTI**
Svježe	F	Nema tragova trošenja, moguća mala promjena boje nadiskontinuitetima blizu površine.	I
Slabo trošno	SW	Promjena boje upućuje na trošenje stijenskog materijala, a diskontinuiteti su nešto slabiji nego u svježem stanju.	II
Srednje trošno	MW	Manje od pola stijenskog materijala je raspadnuto i/ili dezintegririano u tlo.	III
Jako trošno	HW	Više od pola stijenskog materijala je raspadnuto i/ili dezintegrirano u tlo.	IV
Potpuno trošno	CW	Sav stijenski materijal je raspadnut i/ili dezintegriran u tlo. Originalna struktura je i dalje većinom intaktna.	V
Rezidualno tlo	RS	Sav stijenski materijal pretvoren je u tlo. Originalna struktura više ne postoji. Velika promjena u volumenu, ali tlo nije značajno transportirano.	VI

2.3 Hidrološki i hidrogeološki uvjeti

Saturacija padine vodom glavni je uzrok nastajanja klizišta, a događa se pri ekstremnim količinama oborina, brzom topljenju snijega, promjenama u razini podzemne vode, te vode u jezerima i kanalima (LYNN i BOBROWSKI, 2008.). Oborinska voda ulazi u propusne naslage jednom brzinom, a izlazi drugom. Ako je ulazna brzina veća nego izlazna, saturiranost materijala se povećava, a time i porni tlakovi koji kada dostignu graničnu vrijednost uzrokuju destabilizaciju padine. Pri kratkotrajnim intenzivnim oborinama najčešće nastaju plitka klizišta u dobro propusnim materijalima, dok pri dugotrajnim oborinama, osim plitkih klizišta, nastaju i duboka klizišta u nepropusnim ili slabo propusnim materijalima.

Meteorološka postaja Rude nalazi se 3,3 kilometra sjeveroistočno od klizišta u Cerini, te su mjerni podaci te postaje relevantni za područje naselja Cerina. Tablica 2-3. prikazuje mjesečne oborine za razdoblje od 32 godine izmjerene na meteorološkoj postaji Rude.

Iz podataka o oborinama za razdoblje od siječnja 1991. do srpnja 2013. godine, s izuzetkom za razdoblje od siječnja do lipnja 1995. i od kolovoza do listopada 2000. godine, za koju ne postoje podaci, vidljivo je sljedeće:

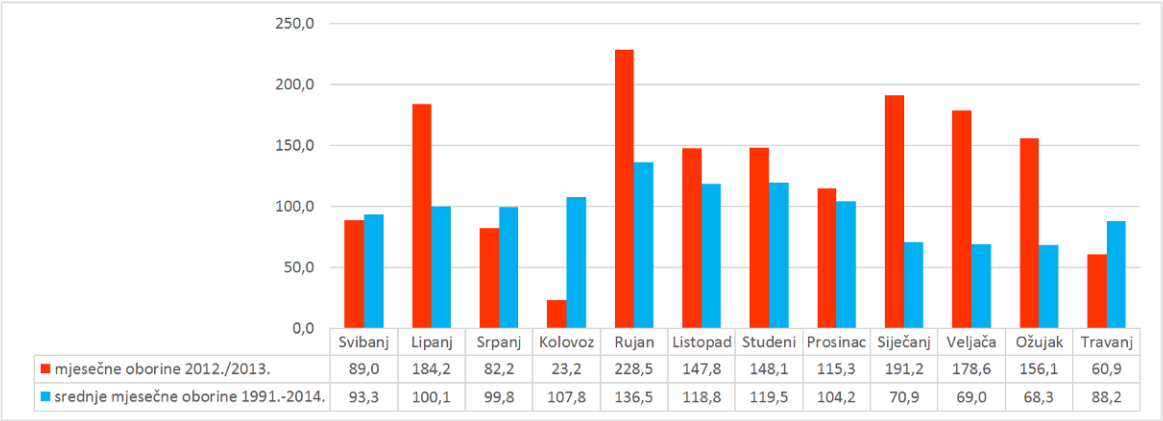
- godišnja oborina varira u rasponu 619,20 – 1.403,20 mm;
- prosječna godišnja oborina za razdoblje od 32 godine iznosi 1.020,9 mm;
- ukupna oborina od siječnja do travnja 2013. godine je 482,9 mm.

Slika 2.4 prikazuje prosječne mjesečne oborine za 12 mjeseci koji su prethodili aktiviranju klizišta koje se uspoređuju se s prosječnim mjesečnim oborinama za iste mjesece tijekom razdoblja od 23 analizirane godine (1991.-2014.). Vidi se da je u razdoblju od siječnja 2013. do ožujka 2013. prosječna mjesečna oborina 2-2,5 puta viša nego uobičajene prosječne mjesečne oborine.

Tromjesečna oborina za razdoblje koje je prethodilo aktiviranju klizišta (siječanj, veljača, ožujka) iznosila je 525,9 mm (slika 2.5) što znači da je u tri mjeseca prije aktiviranja klizišta palo više od pola prosječne godišnje oborine.

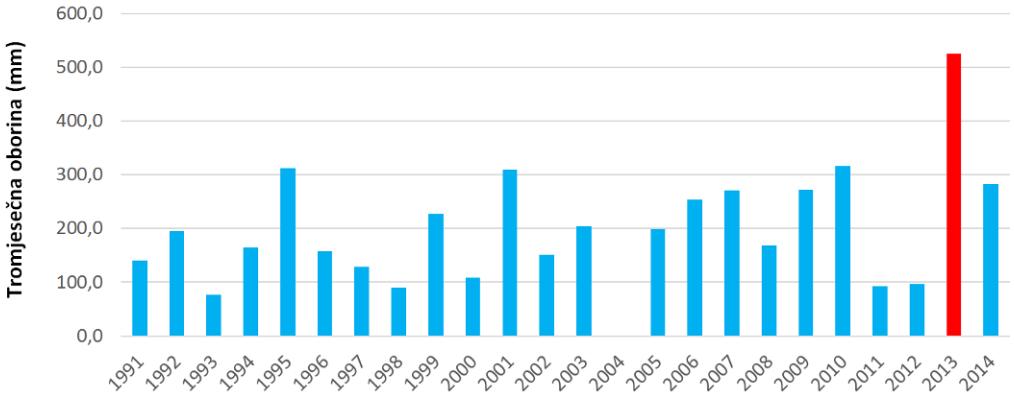
Tablica 2-3 Mjesečne oborine za razdoblje od siječnja 1991. do prosinca 2014. godine izražene u mm izmjerene na meteorološkoj postaji Rude.

GOD.	MJESEČNE OBORINE (mm)												GODIŠNJA OBORINA
	siječanj	veljača	ožujak	travanj	svibanj	lipanj	srpanj	kolovoz	rujan	listopad	studeni	prosinac	
1991	60,7	29,4	50,3	62,6	149,3	62,0	76,7	111,0	66,0	116,0	163,0	31,2	978,2
1992	47,9	50,1	97,0	42,4	39,9	149,3	100,5	16,8	52,2	221,8	156,8	134,8	1.109,5
1993	21,0	1,9	53,8	103,8	47,3	108,7	40,8	101,0	139,3	159,4	219,4	156,2	1.152,6
1994	51,6	61,6	51,6	147,4	70,9	240,6	90,3	185,9	70,6	124,1	45,4	121,2	1.261,2
1995	112,0	90,8	109,8	53,2	119,8	111,5	168,2	180,1	179,8	5,2	61,5	153,0	1.344,9
1996	72,0	69,3	16,4	97,2	98,0	79,5	81,4	143,6	170,4	118,8	161,5	91,4	1.199,5
1997	62,8	37,1	28,5	106,2	71,2	120,0	94,4	75,8	47,7	47,8	140,7	152,9	985,1
1998	25,4	2,2	62,4	66,2	87,8	82,6	149,3	92,5	263,6	156,4	112,7	77,3	1.178,4
1999	52,6	125,0	49,2	109,9	201,2	44,1	200,3	86,7	120,9	147,4	127,0	158,1	1.422,4
2000	16,0	33,0	59,3	40,8	52,6	60,1	111,9	1,1	72,2	278,9	138,0	150,3	1.014,2
2001	155,4	26,9	127,3	155,3	61,6	122,4	46,7	20,4	233,8	17,2	127,2	55,9	1.150,1
2002	34,5	78,7	38,3	205,5	111,7	102,2	91,3	141,8	137,9	123,0	82,1	154,3	1.301,3
2003	121,3	71,4	12,3	38,1	33,8	36,8	94,3	47,6	135,1	123,3	66,1	41,2	821,3
2004	93,0	89,7	-	-	-	93,5	83,8	142,7	85,3	218,3	56,3	62,7	
2005	44,7	97,7	57,3	85,7	87,4	69,0	204,2	249,0	131,8	52,6	142,6	132,8	1.354,8
2006	56,8	95,2	101,8	167,2	123,8	46,9	65,4	238,4	94,9	44,6	90,0	55,3	1.180,3
2007	82,8	65,2	122,9	2,3	126,6	92,5	87,4	81,3	179,8	162,1	73,9	90,9	1.167,7
2008	12,2	17,3	138,9	49,5	59,8	144,5	120,8	110,4	51,7	79,8	94,4	133,2	1.012,5
2009	132,3	56,0	84,6	77,7	38,9	58,1	73,7	123,2	42,0	99,9	102,2	116,9	1.005,5
2010	115,4	114,2	87,3	84,0	161,9	143,9	91,2	99,0	222,2	85,4	160,9	94,0	1.459,4
2011	22,8	21,5	48,6	55,3	63,2	62,6	82,3	18,4	45,0	136,3	1,7	89,9	647,6
2012	21,8	74,4	0,7	91,2	89,0	184,2	82,2	23,2	228,5	147,8	148,1	115,3	1.206,4
2013	191,2	178,6	156,1	60,9	114,0	67,4	43,5	155,4	173,6	30,3	287,0	30,1	1.488,1
2014	96,5	169,4	16,7	125,4	136,3	120,6	115,3	142,0	331,8	153,8	109,6	102,9	1.620,3
										srednja godišnja oborina			1.176,6



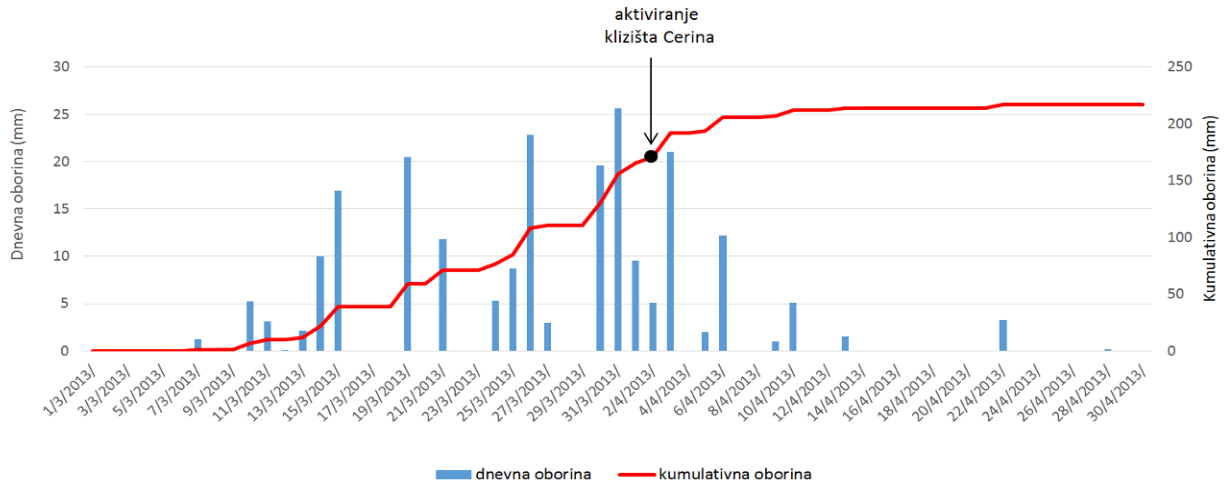
	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studeni	Prosinac	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj
mjesečne oborine 2012./2013.	89,0	184,2	82,2	23,2	228,5	147,8	148,1	115,3	191,2	178,6	156,1	60,9
srednje mjesečne oborine 1991.-2014.	93,3	100,1	99,8	107,8	136,5	118,8	119,5	104,2	70,9	69,0	68,3	88,2

Slika 2.4 Usporedba prosječnih mjesečnih oborina na meteorološkoj postaji Rude za 12 mjeseci koji su prethodili aktiviranju klizišta s prosječnim mjesečnim oborinama za razdoblje 1991.-2014.



Slika 2.5 Grafički prikaz tromjesečnih oborina (za razdoblje od siječnja do ožujka) za meteorološku stanicu Rude. Crvena linija prikazuje tromjesečnu oborinu za 2013. godinu.

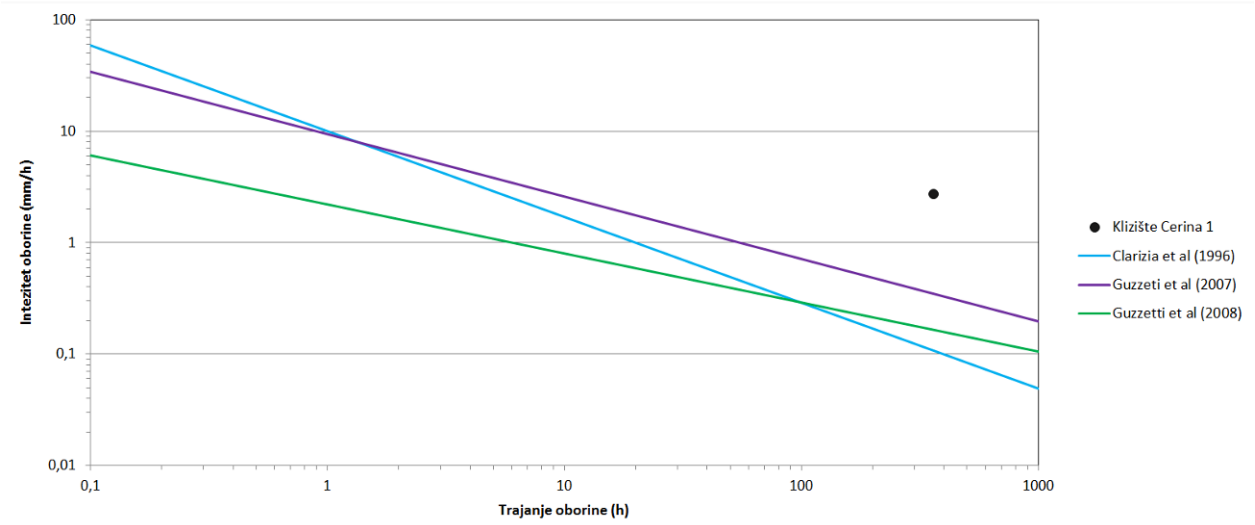
Iz podataka o dnevnim oborinama za meteorološku stanicu Rude vidljivo je da na dan aktiviranja klizišta kumulativna oborina za 15 dana iznosi 131,9 mm (slika 2.6), što je gotovo isto kao prosječna mjesečna oborina za ožujak.



Slika 2.6 Grafički prikaz dnevnih i kumulativnih oborina za meteorološku stanicu Rude za razdoblje od 1. ožujka do 30. travnja 2014. godine. Crna točka označava kumulativnu oborinu na datum aktiviranja klizišta.

Empirijske granične vrijednosti mogu definirati uvjete oborina koji će, kada oborina postigne ili premaši taj iznos, vjerojatno izazvati klizišta (REICHENBACH i dr., 1998). Granične vrijednosti se mogu definirati kroz statističke analize prethodnih oborinskih događaja koji su doveli do klizanja. One se mogu odrediti za različito velika područja istraživanja, na globalnoj, nacionalnoj, regionalnoj ili lokalnoj razini, a također se razlikuju i vrste informacija o oborinama koje se koriste kao ulazni podaci za ove analize (GUZZETTI i dr., 2007, 2008). Kako bi se odredio oborinski događaj pri kojem je došlo do pokretanja klizišta potrebno je znati vrijeme pokretanja klizišta i količinu oborine koja je pala na tom području. Da bi se što bolje predvidjelo nastajanje klizišta potrebno je raspolagati informacijama o graničnoj količini oborine koja će uz date uvjete propusnosti materijala inicirati nastajanje klizišta. Izbor reprezentativne kišomjerne postaje za rekonstrukciju oborinskog događaja koji je uzrokovao (re)aktivaciju klizanja, načinjen je na temelju sljedećih kriterija: (i) geografskoj udaljenosti između kišomjerne postaje i klizišta, (ii) usporedbi između nadmorske visine kišomjerne postaje i klizišta te (iii) drugih topografskih i morfoloških karakteristika. Trajanje oborina (D) određuje se kao vrijeme proteklo između početka oborine i vremena aktiviranja klizišta. Usvojeno je da su dva oborinska događaja odvojena kada postoji minimalno razdoblje bez oborine. Razdoblje od četiri dana bez oborine je određeno za kasnu jesen i zimu (listopad-travanj), a razdoblje od dva dana bez za preostali dio godine (svibanj-rujan). Kada je oborinski događaj identificiran, može se izračunati trajanje oborine -

D [h], kumulativna oborina - E [mm], te intenzitet oborina - I [mm/ h-1] (GARIANO i dr., 2012). Glavne karakteristike oborine su intenzitet i trajanje oborine. Intenzitet oborine je definiran kao količina pale oborine unutar određenog vremenskog perioda. Uz trajanje i intenzitet oborine veliki utjecaj na infiltraciju i otjecanje ima prethodna oborina koja utječe na povećanje vlažnosti u površinskom sloju padine (GUZZETI, 2007). S obzirom na regionalne granične vrijednosti koje su definirali CLARIZIA i dr. (1996) i GUZZETI i dr. (2007, 2008), vidljivo je da su oborinski uvjeti prilikom pokretanja klizišta na lokaciji Cerina bili iznad graničnih vrijednosti (slika 2.7) te je time potvrđeno da je inicijator klizanja u ovom slučaju bila intenzivna oborina.



Slika 2.7 Grafički prikaz regionalnih graničnih vrijednosti oborina iznad kojih dolazi do pokretanja klizišta koje su definirali CLARIZIA i dr. (1996) i GUZZETI i dr. (2007, 2008). Crna točka označava vrijednosti oborina koje su prouzročile aktiviranje klizišta Cerina 1, Cerina 2 i Cerina 3.

Svi navedeni podaci ukazuju na to da su vremenske prilike u vrijeme aktiviranja klizišta Cerina 1, 2 i 3 (ožujak 2013.) bile ekstremne i da je uslijed toga došlo do pokretanja klizišta.

U bližoj okolici klizišta u naselju Cerina nalaze se dva stalna vodotoka. Potok Jarak smješten je na oko 290 m zračne udaljenosti od klizišta, a hipsometrijski je položen približno 300 metara niže od klizišta. Potok Cerinski vrh udaljen je od klizišta oko 370 m zračne udaljenosti, a nalazi se približno 100 m hipsometrijski niže. Zbog opisanog relativnog položaja klizišta u odnosu na navedene površinske vodotoke, potok Jarak i Cerinski Vrh nemaju

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.

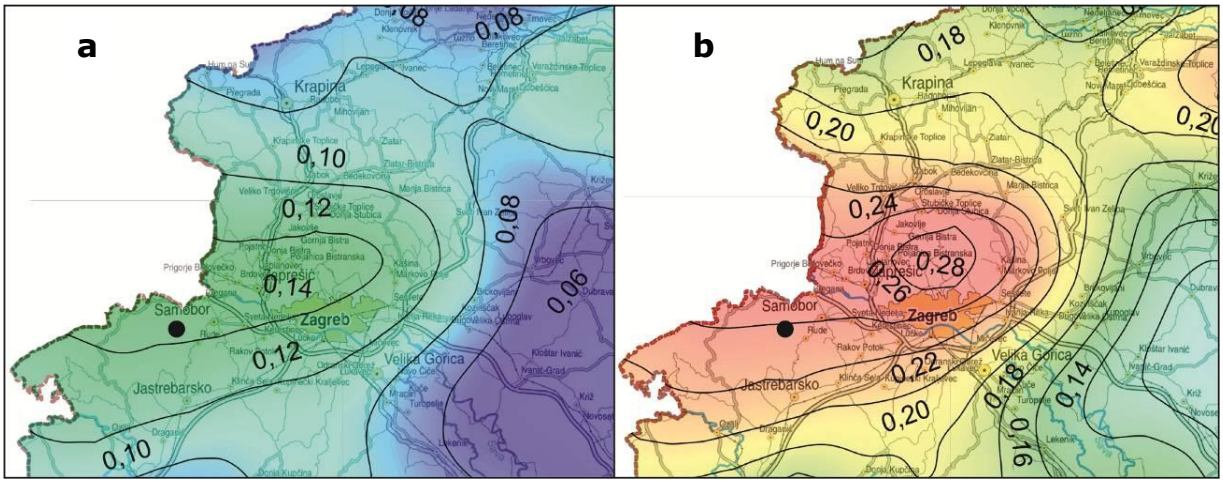
Hidrogeološki uvjeti na području istraživanja uvjetovani su litološkom građom, strukturnim odnosima i stupnjem trošnosti. Matična stijena, izmjena šejlova i pješčenjaka, gornjotrijaske starosti su vodonepropusne do slabopropusne naslage prema hidrogeološkim karakteristikama. Međutim, klizište je formirano u površinskim naslagama koje, osim transportiranog tla (padinskih naslaga) također obuhvaćaju potpuno do jako trošnu matičnu stijenu i rezidualno tlo. Visok stupanj raspucanosti i trošnosti površinskih naslaga u zoni jako trošne do potpuno trošne matične stijene uzrok je povećane propusnosti lokalnog karaktera.

Tijekom istraživačkog bušenja šest bušotina maksimalne dubine do 8,0 m nije zabilježena pojava podzemne vode. Vjerojatno je da je u trenutku nastanka klizanja, s obzirom na prethodne kumulativne oborine razina podzemne vode bila viša.

2.4 Seizmičke značajke područja

Na području Grada Samobora seizmička aktivnost je pojačana što je posljedica intenzivnih tektonskih pokreta u zoni koja se proteže od granice sa Slovenijom zapadno od Karlovca, preko Žumberačkog gorja i Medvednice sve do Kalnika i zapadnoga dijela Bilogore.

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 2.8a, a s vjerojatnosti premašaja 10% u 50 godina za poredbeno povratno razdoblje TN_{CR}=475 godina prikazani su na slici 2.8b izraženo u jedinicama gravitacijskog ubrzanja, *g*.



Slika 2.8 Karta poredbenih vršnih ubrzanja temeljnog tla a_{gr} (temeljno tlo tipa A): (a) s vjerojatnosti premašaja 10% u 10 godina za poredbeno povratno razdoblje TNCR = 95 god (Herak i dr. , 2011); (b) s vjerojatnosti premašaja 10% u 50 godina za poredbeno povratno razdoblje TNCR = 4 (HERAK i dr., 2011).

Za potrebe definiranja elastičnih i projektnih spektara pri proračunu konstrukcije na potres, koristi se vrijednost a_g projektnog ubrzanja u tlu razreda A.

Ta vrijednost je dana izrazom: $a_g = a_{gR} * \gamma_I$ gdje je:

- γ_I - 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

- a_{gR} - poredbeno maksimalno ubrzanje u tlu razreda A

Na temelju karte poredbenih vršnih ubrzanja temeljnog tla a_{gr} za poredbeno povratno razdoblje TN_{CR} = 475 god. usvaja se vrijednost poredbenog maksimalnog ubrzanja u tlu razreda A od a_{gR}=0,24 g.

3 INŽENJERSKOGEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA

Inžernjerskogeološkim istraživanjima klizišta dolazi se do podataka o uvjetima u podzemlju na istraživanoj lokaciji, te se dobiveni podaci koriste za izradu inženjerskogeološkog modela klizišta te potom za analize stabilnosti kosina unutar projekta sanacije klizišta. Prije početka geotehničkih istraživanja i detaljnih inženjerskogeoloških istraživanja, potrebno je obaviti preliminarna inženjerskogeološka istraživanja u svrhu dobivanja osnovnih podataka o geološkoj građi područja, koje uključuju vrste stijena i geološke strukture važne za interpretaciju prognoznih profila podzemlja na istraživanoj lokaciji, a na temelju kojih je moguće odrediti vrste i količine daljih istraživanja koja je potrebno provesti (BLYTH i FREITAS, 1984).

Detaljna inženjerskogeološka istraživanja provode se na terenu i u kabinetu. Terenska istraživanja se sastoje od inženjerskogeološkog kartiranja topografskoj podlozi detaljnog mjerila koja je dobivena geodetskim snimanjem, čiji je obuhvat utvrđen preliminarnim istraživanjima. Na terenu se također provodi determinacija jezgri bušotina, koja se sastoji od identifikacije tla i stijena i inženjerskog opisa svih materijala jezgre pri istraživačkom bušenju.

Kabinetska istraživanja uključuju pregled postojeće dokumentacije o istraživanom području, te analizu i interpretaciju podataka dobivenih terenskim istraživanjima i laboratorijskim pokusima. Konačni rezultat kabinetskih radova je dokumentacija istraživačkih radova (inženjerskogeološki presjeci istraživačkih bušotina) te interpretacija inženjerskogeološkog modela istraživane lokacije prikazana na uzdužnim i poprečnim presjecima klizišta i detaljnoj inženjerskogeološkoj karti klizišta i neposredne okolice. Inženjerskogeološka istraživanja koja rezultiraju interpretacijom inženjerskogeološkog modela podzemlja na istraživanoj lokaciji su neophodna kao podloga za izradu reprezentativnih geotehničkih modela za daljnje statičke analize koje provode geotehničari. (ORTOLAN, 2013).

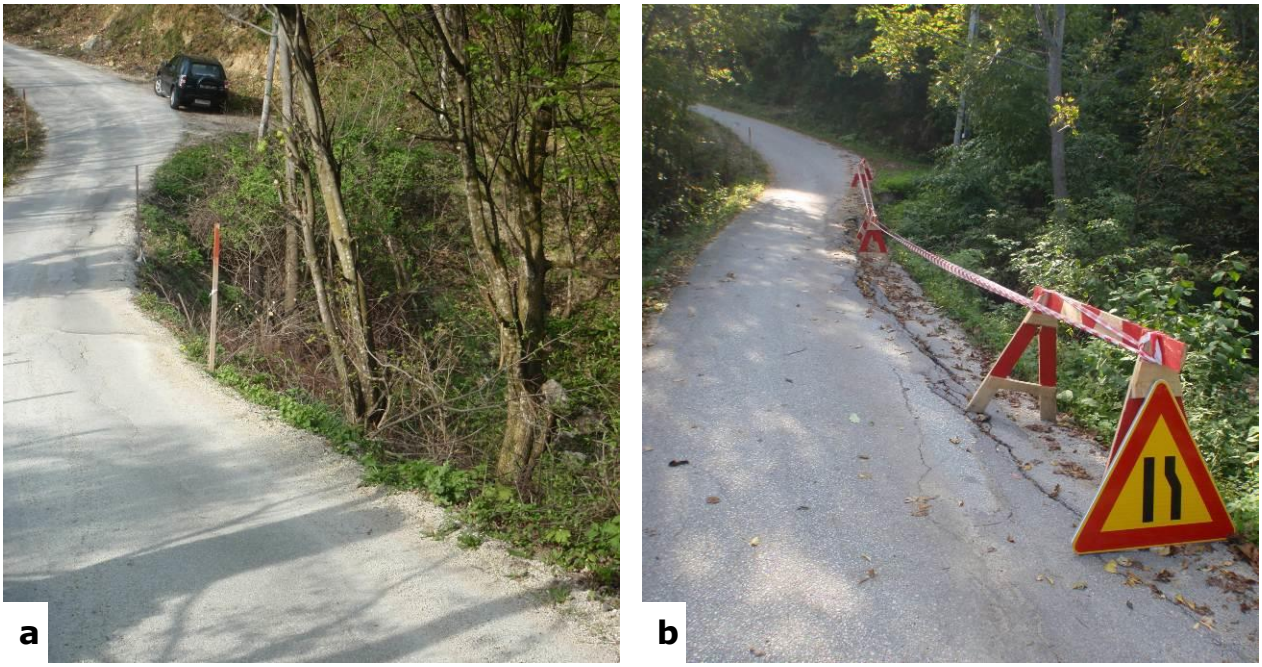
Na istraživanoj dionici u naselju Cerina provedene su sljedeće vrste istraživanja: detaljno inženjerskogeološko kartiranje, istraživačko bušenje, identifikacija i inženjerski opis jezgre bušotina te laboratorijska ispitivanja uzoraka tla i trošne stijene.

3.1 Detaljno inženjerskogeološko kartiranje

Detaljno inženjerskogeološko kartiranje se zasniva na principima geološkog kartiranja, a kao rezultat nastaju inženjerskogeološke karte koje predstavljaju specijalne tipove geoloških karata. Inženjerskogeološko kartiranje u fazi preliminarnih istraživanja sastoji se od kartiranja šireg područja istraživanja, te detaljnog inženjerskogeološkog kartiranja same lokacije. Detaljnim inženjerskogeološkim kartiranjem područja klizišta Cerina 1, Cerina 2 i Cerina 3 obuhvaćeno je područje ukupne veličine od oko 1000 m^2. Postupak detaljnog kartiranja klizišta sastoji se od bilježenja podataka o značajkama klizišta i stijena na terenu s ucrtavanjem podataka na kartu. Najveći broj podataka dobiva se obilaskom terena i snimanjem izdanaka, a kao izvor podataka prilikom detaljnog kartiranja klizišta, nužan je i geodetski snimak terena s točno ucrtanim položajima pojedinih dijelova klizišta (MIHALIĆ, 2007.).

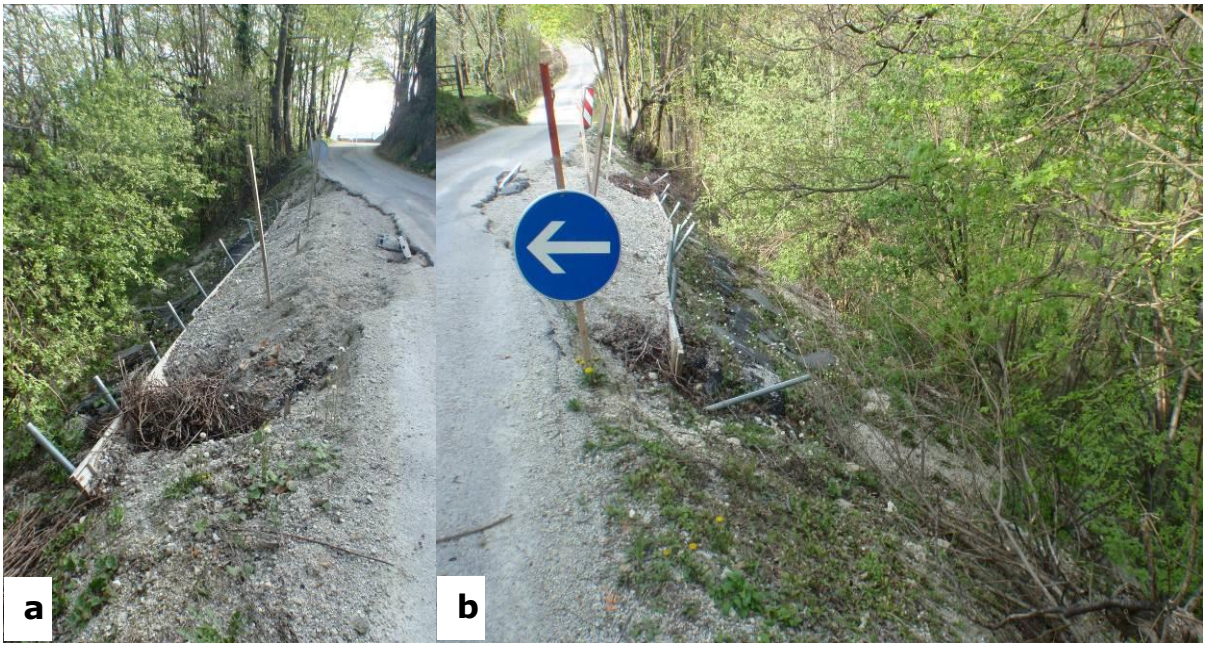
Obilazak klizišta i detaljno inženjerskogeološko kartiranje klizišta provedeno je u više navrata: u travnju 2014., u rujnu 2014., u siječnju 2015. i travnju 2015. godine, a sve u svrhu prikupljanja podataka o naslagama unutar tijela klizišta i u njegovoj okolici, značajkama klizišta, te pojavama površinske i podzemne vode. Kao topografska podloga za inženjerskogeološko kartiranje korištena je posebna geodetska podloga snimljena u studenom 2014. godine (GEO-BIM, 2014) i u travnju 2015. godine (GEO-BIM, 2015). Geodetsko snimanje provedeno je u dva navrata samo na području klizišta Cerina 1. Prvo snimanje je napravljeno za potrebe provođenja privremenih mjera sanacije (gradnju gabionskog potpornog zida). Drugim snimanjem su obuhvaćena sva tri klizišta. Inženjerskogeološka karta klizišta Cerina 1, Cerina 2 i Cerina 3 mjerila 1:250 dana je u prilozima 1/1 i 1/2.

Na slici 3.1 prikazan je gornji dio klizišta Cerina 1 koji je oštetio rub prometnice. Približan iznos denivelacije pokrenute mase po glavnoj pukotini klizišta je nekoliko desetaka centimetara (slika 3.1a,b). Glavna pukotina formirana je u nasipu, a radi se o klizištu manjih dimenzija. Tijekom siječnja 2015. provedene su privremene mjere sanacije u sklopu kojih je izveden gabionski zid visine 3 m (slika 3.2a), a potom je u travnju asfaltiran dio prometnice iznad klizišta (slika 3.2b).



Slika 3.1 Klizište Cerina 1: (a) pogled na čeonu pukotinu klizišta (fotografirano 4.2.2014.); (b) položaj čeone pukotine klizišta s denivelacijom od 0,2 m (fotografirano 25.9.2014.).

Slika 3.2 Klizište Cerina 1: (a) pogled na izvedeni gabionski zid visine 3 m koji je izgrađen u siječnju 2015. kao privremena mjera sanacije (fotografirano 31.1.2015.); (b) asfaltirana prometnica na lokaciji Cerina 1 (fotografirano 30.4.2015.).



Slika 3.3 Klizište Cerina 2: (fotografirano 2.4.2014.): (a) pogled na čeonu pukotinu nastalu u nasutom materijalu; (b) pogled na gornji dio pokrenute mase i kliznu masu.

Na slici 3.3 prikazan je gornji dio klizišta Cerina 2 koji je oštetio rub prometnice. Približan iznos denivelacije pokrenute mase po glavnoj pukotini klizišta nije moguće odrediti jer je rub prometnice nasipavan u sklopu privremenih mjera sanacije (slika 3.1a,b). Oba boka klizišta jasno su izražena, a u cijelom gornjem dijelu klizišta vidljiv je nasuti materijal.

Na slici 3.4 prikazano je klizište Cerina 3 u nasipu na lokalnoj cesti Dragonaš-Smerovišće u naselju Cerina. Slika 3.4 prikazuje glavnu pukotinu klizišta, po kojoj je također došlo do denivelacije terena do maksimalno cca 0,5 m.

Klizišta Cerina 1 i Cerina 2 formirana su u nasutom materijalu, dok je kod klizišta Cerina 3 samo gornji dio klizišta u nasipu, a klizanjem je zahvaćena i trošna stijena u podlozi. Aktiviranjem klizišta na predmetnim lokacijama oštećeni su rubovi prometnice na dvije lokacije, te nasip ceste. Na detaljnoj inženjerskogeološkoj karti mjerila 1:250 (prilozi 1/1 i 1/2) prikazane su pouzdano utvrđene i geodetski snimljene granice klizišta. Tijekom kartiranja klizišta na površini nisu registrirane pojave vode ili zone povećane vlažnosti.

Slika 3.4 Klizište Cerina 3: (fotografirano 31.1.2014.): pogled na čeonu pukotinu i zonu usijedanja.

3.2 Istraživačko bušenje

Istraživačka bušotina je zajednički naziv za različite istraživačke objekte načinjene raznim metodama bušenja, a sa svrhom dobivanja uvida u stijene/tla (vađenjem jezgre) u podzemlju i uzimanje uzoraka materijala. Uzorci tla i stijena su potrebni kako bi se odredila fizička i mehanička svojstva u geomehaničkom laboratoriju. Uzorci mogu biti poremećeni (za potrebe klasifikacijskih ispitivanja) i neporemećeni, ako treba odrediti svojstva koja su ovisna o strukturi tla, kao što su vodopropusnost, deformabilnost i čvrstoća. Svrha istraživanja i vrsta potrebnih podataka uvjetuje tehniku bušenja, ali i raspored i dubinu bušenja. Broj i razmak bušotina treba omogućiti praćenje bočnih i vertikalnih promjena inženjerskogeoloških uvjeta (vrsta tla i stijena, diskontinuiteta, razine podzemne vode i sl.). Raspored bušotina i njihova dubina moraju osigurati podatke na osnovi kojih će biti moguće interpretirati inženjerskogoeloški model. U okviru inženjerskogeološke determinacije jezgre bušotine detaljno se opisuju značajke stijena i tala, vrste stijena/tla, značajke materijala i značajke mase stijene/tla.

Tijekom istraživačkog bušenja potrebno je provoditi ekonomski isplative penetracijske pokuse u bušotini koji daju uvid u neka mehanička svojstva ispitivanog materijala. Standardni penetracijski pokus (SPP) se izvodi u bušotini i mjeri se broj udaraca koji je potreban da cilindar standardnih dimenzija uđe u tlo 30 cm. Cilindar se postavlja na dno bušotine, a preko šipki je spojen s površinom. Na najvišoj je šipki "nakovanj" na koji pada malj od 64 kg s visine od 76 cm (FHA, 1997). Za očekivati je da broj udaraca raste s porastom čvrstoće tla. Moguće je korelirati broj udaraca (N) i neka važnija mehanička svojstva, posebno za krupnozrnasta tla, koja nije jednostavno ispitivati u laboratoriju zbog nemogućnosti vađenja neporemećeni uzoraka. Prilikom istraživačkih bušenja na klizištima u Cerini rezultati standardnog penetracijskog pokusa su pogrešno zapisivani, tako da ti rezultati nisu bili vjerodostojni za upotrebu pri interpretaciji inženjerskogeološkog modela Cerina.

Geotehnički istraživački radovi provedeni su od 15. do 20.12.2014., a sastojali su se od istraživačkog bušenja koje je provela tvrtka GeoServis AS d.o.o. i inženjerske identifikacije i opisa jezgre bušotina koje je proveo Rudarsko-geološko-naftni fakultet u Zagrebu. U tablici 3-1 prikazani su osnovni podaci o navedenim geotehničkim istraživačkim radovima, a u tablici 3-2 osnovni podaci o istraživačkim bušotinama izbušenim 15-20.12.2015 . Tijekom izvođenja

ovih radova praćena je razina podzemne vode. Rezultati istraživačkog bušenja prikazani su na inženjerskogeološkim presjecima bušotina (prilozi 2/1-2/6).

Tablica 3-1 Osnovni podaci o geotehničkim istraživačkim radovima provedenim na klizištima Cerina 1, Cerina 2 i Cerina 3.

VRSTE RADOVA	**OPIS**
Istraživačko bušenje	Izvedeno je 6 geotehničkih istraživačkih bušotina dubine 8,0-8,3 m. Garniturom za bušenje Kamaco 205 izvedeno je šest bušotina (A-1, A-2, A-3, A-4, B-1, B-2) te je izbušeno ukupno 48,3 m uz kontinuirano jezgrovanje. Jezgra je slagana u drvene sanduke i fotografirana, a fotografije jezgre prikazane su na prilozima 3/1-3/6. 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 2/1 i 2/2).
Uzrokovanje	Uzimanje poremećenih (PU) uzoraka. Intervali jezgre iz kojih su uzeti uzorci prikazani su u inženjerskogeološkim presjecima bušotina (prilozi 3/1-3/6).
Kontinuirani geotehnički nadzor	Terenska identifikacija i klasifikacija i opis tla i stijene iz jezgre bušotina prema USCS (*eng. Unified Soil Classification System*) geomehaničkoj klasifikaciji (USBR, 2001). Rezultati identifikacije i opisa tla i stijene prikazani su na inženjerskogeološkim presjecima bušotina (prilozi 3/1-3/6).

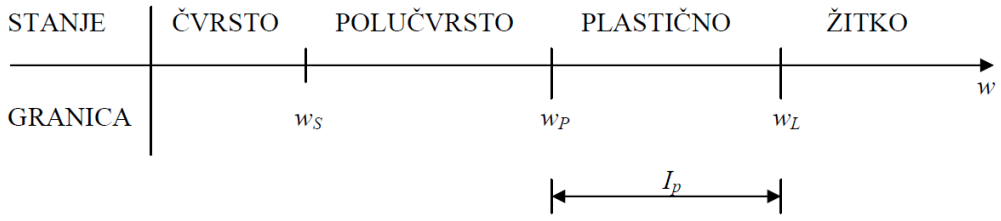
Tablica 3-2 Osnovni podaci o istraživačkim bušotinama izbušenim 15-20.12.2015.

OZNAKA BUŠOTINE	**DATUM BUŠENJA**	**KOORDINATE BUŠOTINA**			**DUBINA BUŠOTINE (m)**	**SPP (kom)**
		X	**Y**	**UŠĆE BUŠTINE Z (mnm)**		
A-1	18.12.2014.	432577,73	5071231,40	434,5	8,0	3
A-2	17.12.2014.	432589,65	5071233,99	432,8	8,0	3
A-3	16.12.2014.	432597,10	5071237,92	432,6	8,0	3
A-4	19.12.2014.	432799,03	5071344,28	424,0	8,0	3
B-1	20.12.2014.	432629,55	5071253,56	434,6	8,0	3
B-2	15.12.2014.	432577,73	5071231,40	434,5	8,3	2

3.3 Laboratorijska ispitivanja

Granulometrijski sastav uzorka tla je pokazatelj relativnog udjela svih frakcija tla izraženog u postotku mase. Već se samo na temelju granulometrijskog sastava moguće je odrediti neke fizičke karakteristike tla, kao primjerice vodopropusnost, stišljivost, kapilarnost, filtarska svojstva, osjetljivost na smrzavanje, nosivost, podložnost eroziji itd. Postupci za određivanje granulometrijskog sastava su sijanje za čestice veće od 0,074 mm, i areometriranje za čestice manje od 0,074 mm. Za sijanje se koristi garnitura sita koja se sastoji od više sita standardnih dimenzija, čiji se otvori smanjuju na svakom sljedećem situ (gledano odozgo prema dolje). Sita s uzorkom se tresu 10 – 15 minuta, nakon čega se važe ostatak uzorka na situ. Areometriranje je metoda određivanja granulometrijskog sastava tla za materijal koji sadrži zrna manja od 0,074 mm, odnosno frakcije praha i gline, budući da tako sitne čestice nije moguće sijati (nisu vidljive prostim okom). Kod postupka areometriranja, veličina i postotak pojedinih frakcija određuju se neizravno, mjerenjem gustoće suspenzije u određenim vremenskim intervalima (KVASNIČKA i DOMITROVIĆ, 2007). Budući da se fizička svojstva sitnozrnastih tala mijenjaju se s promjenom vlažnosti, kod sitnozrnastih tala se ispituju granice plastičnosti, koje je na temelju iskustva, postavio švedski geokemičar Albert Atterberg, početkom dvadesetog stoljeća. Granice plastičnih stanja su granica stezanja (w_s), granica plastičnosti (w_p) i granica tečenja (w_l) (slika 3.4). Poznavanjem Attebergovih granica koherentan materijal se klasificira u određene skupine prema plastičnosti. Za klasificiranje materijala potrebno je odrediti indeks plastičnosti (I_p), koji je definiran jednadžbom:

$$I_p = w_l - w_P$$



Slika 3.4 Granice plastičnih stanja (KVASNIČKA i DOMITROVIĆ, 2007)

Laboratorijska ispitivanja tla i meke stijene na 12 uzoraka uzetih iz šest bušotina na klizištima Cerina 1, 2 i 3 provedena su u geomehaničkom laboratoriju Građevinskog fakulteta u Rijeci u siječnju 2015. godine. Na reprezentativnim poremećenim uzorcima tla i meke

stijene 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 nisu mogla biti provedena s obzirom da su svi uzorci bili poremećeni, ali i zbog velikog udjela odlomaka stijene u uzorcima tla i nemogućnosti ugradnje u aparat za izravni posmik.

Tablica 3-3 Osnovni podaci o geomehaničkim laboratorijskim ispitivanjima tla.

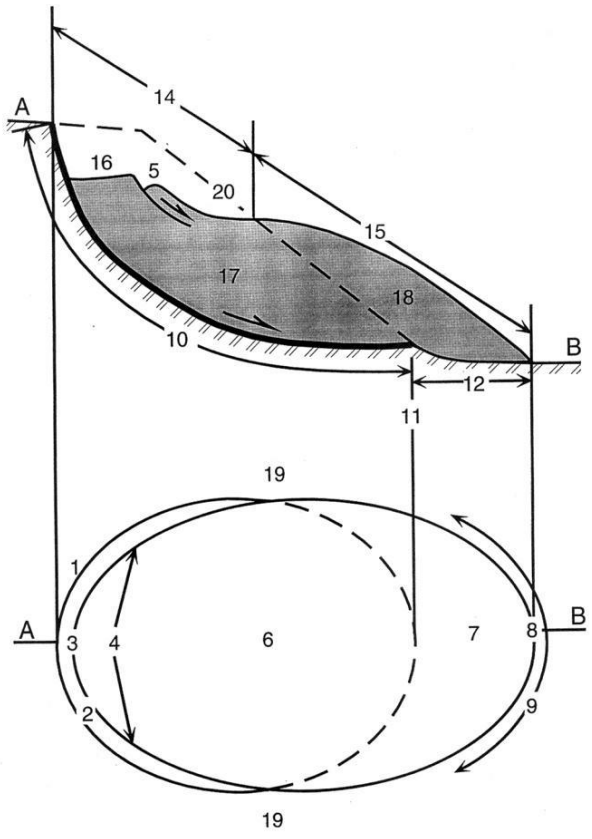
VRSTE ISPITIVANJA	**OZNAKA**	**JEDINICA**	**NORMA**
granica tečenja	w_l	%	BS 1377:1990 Dio 2,Točka 4.5
granica plastičnosti	w_p	%	BS 1377:1990 Dio 2,Točka 5
granulometrijski sastav	-	%	CEN ISO/TS 17892-4:2004/AC

Tablica 3-4 Rezultati ispitivanja fizičkih svojstava materijala tla na tri klizišta na lokaciji Cerina.

BUŠOTINA	**DUBINA**	**ATTERBERGOVE GRANICE**		**INDEKS PLASTIČNOSTI**	**GRANULOMETRIJSKI SASTAV**		
		w_l	**w_p**	**I_p**	**G**	**S**	**M+C**
		%	**%**	**%**	**%**	**%**	**%**
A-1	4,15-4,30	53,0	28,0	25,0	12,33	80,62	7,05
A-1	6,7-6,85	42,0	22,0	22,0	3,49	87,84	8,67
A-2	3,2-3,35	47,0	22,0	22,0	1.42	85,64	12,95
A-2	4,2-4,35	37,0	17,0	17,0	10,37	82,26	7,37
A-3	3,65-3,8	40,0	20,0	20,0	2,28	82,78	14,93
A-3	6,4-6,55	40,0	21,0	21,0	13,71	77,20	9,09
A-4	1,7-1,8	50,0	23,0	23,0	2,17	82,22	15,61
A-4	5,3-5,4	30,0	11,0	11,0	18,48	73,62	7,9
B-1	3,43-3,63	32,0	15,0	15,0	32,17	52,03	13,39
B-1	5,35-5,45	29,0	12,0	12,0	36,12	52,72	11,16
B-2	3,7-3,85	38,0	16,0	16,0	3,49	79,53	16,97
B-2	5,0-5,15	50,0	26,0	26,0	20,84	72,98	6,18

4 INŽENJERSKOGEOLOŠKI MODELI KLIZIŠTA

Prilikom opisa modela klizišta potrebno je definirati značajke stijena i tala, što uključuje vrste stijena, strukturno – geološke značajke, te trošnost i raspucanost stijenske mase, geodinamičke pojave, hidrogeološke i geomorfološke uvjete. Također potrebno je opisati vidljive dijelove klizišta (slika 4.1), koji su utvrđeni prilikom terenskog istraživanja klizišta, i utvrditi dimenzije klizišta iz interpretiranog modela klizišta. Kod određivanja dimenzija klizišta mjere se ukupna duljina klizišta, dimenzije pokrenute mase i plohe sloma. Na osnovi poznatog oblika klizišta i njegovih dimenzija moguće je procijeniti volumen klizišta, što se koristi prilikom projektiranja mjera sanacije (MIHALIĆ, 2007).



1- Kruna (čelo) klizišta
2- Glavna pukotina
3- Vrh klizišta
4- Prednja strana klizišta
5- Sekundarne škrape
6- Glavno tijelo klizišta
7- Stopa (podnožje) klizišta
8- Dno klizišta
9- Završetak klizišta
10- Ploha sloma
11- Završetak plohe sloma
12- Ploha separacije
13- Pokrenuti materijal
14- Zona usijedanja
15- Zona akumulacije
16- Usijedanje
17- Usjednuta masa
18- Akumulacija
19- Bokovi klizišta
20- Originalna površina tla

Slika 4.1 Dijelovi klizišta (WP/WLI, 1993).

Aktivnost klizišta je širok pojam jer obuhvaća stanje aktivnosti (tablica 4-1) koje opisuje vrijeme kretanja, zatim distribuciju aktivnosti (tablica 4-2) koja opisuje smjer kretanja klizišta kao i stil aktivnosti (tablica 4-3) koji ukazuje na tip ili kombinaciju tipova kretanja prema njihovom mehanizmu (WP/WLI, 1993).

Tablica 4-1 Terminologija za opis stanja aktivnosti klizišta s pripadajućim definicijama (WP/WLI, 1993).

BR.	NAZIV	DEFINICIJA
1	aktivno	klizište u pokretu
2	trenutačno neaktivno	klizište koje se kretalo u posljednjih 12 mjeseci, ali se trenutačno ne kreće
3	reaktivirano	aktivno klizište koje je prije bilo neaktivno
4	neaktivno	klizište koje se nije pokretalo posljednjih 12 mjeseci. Neaktivna klizišta se dijele na: privremeno umirena (5), trajno umirena (6), stabilizirana (7) i reliktna (8)
5	privremeno umireno	neaktivno klizište (4) koje se može reaktivirati zbog istih ili nekih drugih uzroka
6	trajno umireno	neaktivno klizište (4) koje više nije pod utjecajem uzroka klizanja
7	stabilizirano	neaktivno klizište (4) zaštićeno mjerama sanacije
8	reliktno	neaktivno klizište (4) koje je bilo aktivno u klimatskim i geomorfološkim uvjetima koji više ne vladaju

Tablica 4-2 Terminologija za opis distribucije aktivnosti klizanja s pripadajućim definicijama (WP/WLI, 1993).

BR.	NAZIV	DEFINICIJA
1	progresivno	ploha sloma se proširuje u smjeru kretanja
2	retrogresivno	ploha sloma se proširuje u smjeru obrnutom od kretanja pokrenutog materijala
3	povećavajuće	ploha sloma se proširuje u dva ili više smjerova
4	umanjujuće	volumen pokrenutog materijala se smanjuje
5	ograničeno	nema vidljivu plohu sloma već samo ožiljak vidljiv u stopi pokrenute mase
6	krečuće	pokrenuti materijal se kontinuirano kreće bez vidljive promjene plohe sloma i volumena pokrenutog materijala
7	proširujuće	ploha sloma se proširuje u zoni jednog ili oba boka klizišta

Tablica 4-3 Terminologija za opis stilova aktivnosti klizanja s pripadajućim definicijama (WP/WLI, 1993).

BR.	NAZIV	DEFINICIJA
1	kompleksno	sastoji se od najmanje dva tipa kretanja (odron, prevtranje, klizanje, širenje, tečenje) koja se nastavljaju jedno na drugo
2	mješovito	sastoji se od najmanje dva tipa kreanja koja se odvijaju simultano u različitim dijelovima pokrenute mase
3	sukcesivno	dva ili više susjednih klizišta, istog tipa kretanja, ali po odvojenim plohama sloma i sa zasebnim pokrenutim masama
4	pojedinačno	pojedinačno kretanje pokrenutog materijala
5	višestruko	opetovani razvoj istog tipa kretanja

Inženjerskogeološki modeli klizišta u naselju Cerina definirani su s geometrijom klizišta prikazanom na inženjerskogeološkim kartama mjerila 1:250 (prilozi 1/1, 1/2) i na tri uzdužna i dva poprečna presjeka (prilozi 3/1, 3/2, 3/3), te opisanim značajkama klizišta s obzirom na mehanizam pokreta, materijalima klizišta i aktivnosti klizišta.

4.1 Značajke klizišta u naselju Cerina

Na istraživanoj lokaciji dionice ceste Dragonoš-Smerovišće koja se nalazi na vrhu padine identificirana su dva klizišta koja su oštetila prometnicu s nasipom u podlozi, te jedno klizište koje je oštetilo samo nasip uz prometnicu. Ova tri klizišta aktivirana su 2.travnja 2013. godine, a u nastavku teksta detaljno je opisano svako pojedino klizište .

Klizište Cerina 1 nalazi se na jugozapadnom dijelu istraživane dionice ceste, a njegova širina na prometnici iznosi 26 metara. Približna duljina klizišta je 5 metara dok je njegova dubina oko 1 m. Ovo je plitko rotacijsko klizište u nasipu ceste kojeg čini mješavina sitnozrnastog i krupnozrnastog tla. Klizište je više puta nasipavano kako bi se omogućio promet na suženom dijelu ceste čija širina iznosi oko 4,5 metara. Za potrebe privremenog proširenja ceste, 2014. godine napravljen je gabionski zid neposredno uz cestu, a u gornjem dijelu predmetnog klizišta. Prilikom kartiranja klizišta utvrđena je jasno izražena čeona pukotina na cesti, dok bokovi i nožica klizišta nisu bili vidljivi. Prema stanju aktivnosti klizišta radi se o trenutačno neaktivnom klizištu, što znači da se klizište kretalo u posljednjih 12

mjeseci, ali se trenutno ne kreće. Starije klizište je privremeno umireno što znači da se radio o neaktivnom klizište koje se može reaktivirati zbog istih ili nekih drugih uzroka. Prema distribuciji aktivnosti klizanja, klizište Cerina 1 je krečuće, jer se pokrenuti materijal kontinuirano kreće bez vidljive promjene plohe sloma i volumena pokrenutog materijala, dok je prema stilu klizanja pojedinačno, što znači da je došlo do pojedinačnog kretanja pokrenutog materijala. Preduvjeti klizanja, odnosno faktori koji su padinu doveli u stanje granične ravnoteže, su trošni materijali podloge, te morfologija i građa terena koja 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 rezidualnog tla izgrađenog od gline niske plastičnosti. Inicijator klizišta je ekstremni hidrološki događaji pri kojem se u tlo infiltrirala veća količina vode.

Klizište Cerina 2 nalazi se 30 metara sjeveroistočno od klizišta Cerina 1 i površine je oko 170 m^2. Duljina klizišta je oko 14 m, širina pokrenute mase je oko 15 m, a približna dubina pokrenute mase jednaka je dubini klizne plohe koja iznosi oko 1,7 m. Klizište Cerina 2 je pokrenuto u gornjem dijelu starijeg klizišta, približnih dimenzija 27x20 m i dubine klizne plohe oko 3 m. Ovo klizište je također plitko rotacijsko nastalo u nasipu sastavljenom od mješavine sitnozranstog i krupnozrnastog materijala, te zbog toga granice klizišta nisu u potpunosti jasno izražene. Jasno su bile vidljive čeona pukotina klizišta te nožica i završetak klizišta, dok lijevi i desni bok klizišta nisu bili jasno izraženi. Trenutno je klizište neaktivno, što znači da se nije kretalo u zadnjih 12 mjeseci, ali s obzirom na postojanje starijeg klizišta na istoj lokaciji moguće je pretpostaviti kako bi se klizište moglo iznova aktivirati pri ponovljenim uvjetima i inicijatorima nastanka klizišta. Prema distribuciji aktivnosti klizanja, klizište je krečuće, jer se pokrenuti materijal kontinuirano kreće bez vidljive promjene plohe sloma i volumena pokrenutog materijala, a prema stilu klizanja, radi se o višestrukom klizanje, što znači da je došlo do opetovanog razvoja istog tipa kretanja. Preduvjeti klizanja su trošni materijali podloge, te morfologija i građa terena koja 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 gline niske do visoke plastičnosti s odlomcima stijene, odnosno rezidualnog tla koje predstavlja koru trošenja, prouzročilo je povišenje saturiranosti nasipa i lokalni slom uz njegov rubni dio. Inicijator

klizanja je kritična prethodna kumulativna oborina koja je prouzročila ekstremno procjeđivanje oborinske vode u podzemlje.

Klizište Cerina 3 je površinom veće (595m^2) od druga dva klizišta, a smješteno je 185 m sjeveroistočno od klizišta Cerina 2. Duljina klizišta iznosi oko 38 m, širina pokrenute mase je oko 20 m, a približna dubina pokrenute mase jednaka dubini klizne plohe koja iznosi oko 2,7 m. Kao i prethodna dva klizišta i ovo klizište je plitko rotacijsko, ali uz nasip klizanjem je zahvaćena i matična stijena koju predstavlja izmjena potpuno trošnog do jako trošnog šejla i pješčenjaka. Zbog veće dubine klizne plohe jasno su izražene granice klizišta, čeona pukotina klizišta te lijevi i desni bok klizišta, te nožica i završetak klizišta. Klizište je trenutačno neaktivno, što znači da se klizište kretalo u posljednjih 12 mjeseci, ali se trenutno ne kreće. Prema distribuciji aktivnosti klizanja, klizište je krečuće, jer se pokrenuti materijal kontinuirano kreće bez vidljive promjene plohe sloma i volumena pokrenutog materijala, a prema stilu klizanja je pojedinačno jer je došlo do pojedinačnog kretanja pokrenutog materijala. Preduvjeti klizanja su materijali visoke plastičnosti; trošni materijali podloge; morfologija padine. 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 izmjene potpuno trošnog do jako trošnog šejla i pješčenjaka gornjotrijaske starosti, prouzročilo je povišenje saturiranosti nasipa i lokalni slom uz njegov rubni dio. Inicijator klizanja je kao i kod prethodno opisanih klizišta, kritična prethodna kumulativna oborina koja je uzrokovala ekstremnu infiltraciju oborinske vode u podzemlje.

4.2 Inženjerskogeološke jedinice

S obzirom na razinu 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 (prilog 3/1, 3/2 i 3/3) bila je inženjerskogeološka determinacija i interpretacija materijala iz jezgre bušotina (prilozi 2/1-2/6), laboratorijski pokusi i detaljno inženjerskogeološko kartiranje.

Inženjerskogeološkom determinacijom i interpretacijom obuhvaćeno je 6 istraživačkih bušotina (ukupne duljine 48,30 m), na temelju kojih je utvrđena detaljna geološka građa na lokaciji tri klizišta (kronostratigrafska pripadnost; strukturno-geološke značajke; fizička i mehanička svojstva). Položaji svih istraživačkih bušotina prikazani su na inženjerskogeološkim kartama mjerila 1:250 (prilog 1/1 i 2/2). Rezultati inženjerskogeološke determinacije prikazani su za svaku bušotinu zasebno u obliku inženjerskogeoloških presjeka i fotografija jezgre bušotina (prilozi 2/1-2/6). Uz opis značajki stijena/tala iz jezgre bušotina, na presjecima bušotina označena je i interpretacija geneze izbušenih naslaga, odnosno pripadnost inženjerskogeološkim tipovima.

Identifikacija i opis tla izrađeni su prema USCS geomehaničkoj klasifikaciji, odnosno prema preporukama USBR (2001). Terminologija za opis fizičkih svojstava materijala inženjerskog tla i stijene dana je u tablici 4-4 i tablici 4-5.

Na istraživanom području izdvojena su ukupno četiri inženjerskogeološka tipa, čije osnovne značajke su navedene u tablici 4-6. Prostorna distribucija svih inženjerskogeoloških tipova po dubini prikazana je na tri uzdužna presjeka klizišta Cerina 1, Cerina 2 i Cerina 3, odnosno na inženjerskogeološkim profilima 1-1', i 3-3' i 5-5' (prilog 3/1, 3/2 i 3/3) i na dva poprečna presjeka klizišta, odnosno inženjerskogeološkim profilima 2-2' i 4-4' (prilog 3/1 i 3/2) u mjerilu 1:250. Na inženjerskogeološkoj karti mjerila 1:250 (prilog 1/1 i 1/2) dane su oznake samo onih tipova pokrivača koji se pojavljuju na površini terena. Ispod pokrivača, nalazi se matična stijena gornjotrijaske 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.

Tablica 4-4 Terminologija za opis inženjerskog tla prema preporukama USBR (2001).

OPIS TLA	PLASTIČNOST MATERIJALA TLA	
	ne pokazuje značajke	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
	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.
	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.

Nastavak tablice 4-4 Terminologija za opis inženjerskog tla prema preporukama USBR (2001).

	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.

Tablica 4-5 Terminologija za opis stijene prema preporukama USBR (2001).

OPIS STIJENE	OPIS SLOJEVITOSTI	
	Masivno	> 3 m
	Vrlo debelo	1-3 m
	Debelo	300-1000 mm
	Srednje debelo	100-300 mm
	Tanko	30 – 100 mm
	Vrlo tanko	10 – 30 mm
	Laminirano	< 10 mm
	TVRDOĆA/ČVRSTOĆA STIJENE	
	Ekstremno čvrsto (H1)	Jezgra, odlomak ili izdanak se ne može grebati nožem; može se okrhnuti s ponavljajućim, snažnim udarcima čekića.
	Vrlo čvrsto (H2)	Ne može se grebati nožem. Jezgra ili odlomak lomi se snažnim, ponavljajućim, udarcima čekića.
	Čvrsto (H3)	Može se grebati nožem, vrlo snažnim pritiskom. Snažan udarac čekićem može slomiti uzorak.
	Srednje čvrsto (H4)	Može se grebati nožem, laganim ili srednjim pritiskom. Uzorka se lomi srednje snažnim udarcem čekića.
	Srednje meko (H5)	Može se nožem napraviti brazda duboka 2 mm, sa srednjim ili snažnim pritiskom. Uzorak se lomi slabim udarcem čekića ili snažnim pritiskom
	Meko (H6)	Može se nožem napraviti brazda laganim pritiskom, može se grebati noktom. Uzorak se lomi slabim ili snažnim pritiskom ruke.
	Vrlo meko (H7)	Uzorak se može lagano brazdati noktom, te se može napraviti otisak prstom. Slama se slabim pritiskom ruke.

Nastavak tablice 4-5 Terminologija za opis stijene prema preporukama USBR (2001).

	OPIS TROŠNOSTI	
	Svježe (W1)	/
	Svježe do slabo trošno (W2)	/
	Slabo trošno (W3)	/
	Slabo trošno do srednje trošno (W4)	/
	Srednje trošno (W5)	/
	Srednje trošno do intenzivno trošno (W6)	/
	Intenzivno trošno (W7)	/
	Intenzivno trošno do razgrađeno (W8)	/
	Razgrađeno (W9)	/

Inženjerskogeološki tipovi pokrivača prisutni na istraživanom području, pripadaju nevezanim i vezanim neokamenjenim stijenama (odnosno inženjerskom tlu), pa su stoga prikazani žutom i sivom bojom, a navedeni su u tablici 4-6. 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. Inženjerskogeološki tipovi matične stijene pripadaju u vezane slabo i dobro okamenjene stijene (šejl i pješčenjak), zbog čega su prikazane nijansama smeđe i žutozelene boje, a navedeni su u tablici 4-6.

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

Tablica 4-6 Inženjerskogeološke jedinice: inženjerskogeološki tipovi POKRIVAČA i PODLOGE na klizištima Cerina 1, Cerina 2 i Cerina 3.

GENEZA/STRATIGRAFSKI SIMBOL		**INŽENJERSKOGEOLOŠKI TIP**	**GEOMEH. SIMBOL/ SIMBOL ZA TROŠNOST**	**FIZIČKA SVOJSTVA**
POKRIVAČ, POVRŠINSKE NASLAGE	TRANSPORTIRANO TLO: UMJETNE NASLAGE (**Q_{ut}**)	(001) NASIP: mješavina sitnozrnastog i krupnozrnastog tla	CL, ML, GP	/
	TRANSPORTIRANO TLO/ STIJENA: KOLUVIJALNE NASLAGE (**Q_k**)	(002) KOLUVIJ AKTIVNOG KLIZIŠTA: nasip, sitnozrnato tlo s odlomcima	CL, ML, GP	/
	REZIDUALNO TLO: POTPUNO TROŠNA STIJENA (**Q_{et}**)	(041) INŽENJERSKO TLO: glina niske plastičnosti s odlomcima, glina visoke plastičnosti, prah niske plastičnosti s odlomcima, glina sa šljunkom i pijeskom	CL, CH, ML	$32,0<w_l<53,0$ $17,0<w_p<28,0$ $15,0<I_p<25,0$ SPP=39->50 Š
PODLOGA, MATIČNA STIJENA	TROŠNA STIJENA: JAKO DO SREDNJE TROŠNA STIJENA (**T_3**)	(111) IZMJENA MEKE I TVRDE STIJENE**:** šejl i pješčenjak, mjestimično s blokovima dolomita, vapnenca i breče	/	$29,0<w_l<50,0$ $17,0<w_p<27,0$ $11,0<I_p<26,0$ SPP>50 Š

(001) NASIP, mješavina sitnozrnastog i krupnozrnastog tla (Q_{ut}), nastao je nasipavanjem prilikom izgradnje prometnice, ali i prilikom hitnih mjera sanacija uslijed klizanja. Nasip je probušen u bušotinama A-1 (0-3,25 m), A-2 (0-2,8 m), A-3 (0-2,65 m), A-4 (0-0,9 m), B-1 (0-2,75 m) i B-2 (0-2.5 m). Približna ukupna debljina nasipa na istraživanoj lokaciji je između 0,9 i 3,25 m. Nasip se sastoji od sitnozrnastog i podređeno krupnozrnastog tla, odnosno glina niske plastičnosti (CL) s oko 20-50% pijeska i šljunka, osim na lokaciji bušotine B-2 gdje se nasip sastoji od 90% šljunka i 10% sitnozrnatstog tla. Nasip je vlažan i heterogen te sivkasto narančaste do tamno žućkasto smeđe. Iz nasipa nisu vađeni uzorci za laboratorijska ispitivanja.

(002) KOLUVIJ AKTIVNOG KLIZIŠTA (Q_k) nije probušen tijekom istraživačkog bušenja, ali je utvrđen prilikom detaljnog inženjerskogeološkog kartiranja klizišta na Cerina 1, Cerina 2 i Cerina 3. S obzirom da su klizišta nastala u nasipu ceste i inženjerskom tlu koje predstavlja koru trošenja, opis koluvija je isti kao za naslage nasipa (oznake 001) i inženjersko tlo (oznake 041).

(041) INŽENJERSKO TLO, koje se sastoji od gline niske plastičnosti s odlomcima (Q_1), probušeno je u bušotinama A-1 (3,25-5 m), A-2 (2,8-4,75 m), A-3 (2,65-3,6 m), B-1 (2,75-5,0 m) i B-2 (2,5-3,2 m, 3,6-5,3 m). Materijal sadrži oko 80% sitnozrnastog tla, niske do srednje plastičnosti i srednje do visoke žilavosti, i oko 10-20% uglatih odlomaka stijene veličine sitnog do krupnog šljunka. Tlo je tamno žućkasto narančaste do tamno žućkasto smeđe boje, meke konzistencije i vlažno. U intervalu bušotine B-1 (2,75-5,0 m) registriran je šljunkoviti prah niske plastičnosti, a u bušotini B-2 (2,5-3,2 m) glina sa šljunkom i pijeskom. Na temelju četiri uzoraka uzetih za laboratorijska ispitivanja dobiven je indeks plastičnosti (I_p) koji iznosi 15-25%. Granulometrijski sastav određen na sva četiri uzroka (1-32% šljunka, 52-85% pijeska i 7-13% sitnozrnastog tla, praha i gline) nije reprezentativan jer je prilikom terenskog opisa jezgre utvrđen manji udio pijeska. Povećani udio pijeska dobiven laboratorijskim ispitivanjima uzoraka vjerojatno je posljedica razlamanja trošnih odlomaka pješčenjaka prilikom pripreme uzorka za sijanje. Broj udaraca SPP-a je od 39 do više od 50 udaraca šiljkom.

(111) IZMJENA MEKE I TVRDE STIJENE, šejla i pješčenjaka, mjestimično s blokovima dolomita, vapnenca i breče (T_3) probušene su u bušotinama A-1 (5,0-8,0 m), A-2 (4,75-8,0 m), A-3 (3,6-8,0 m), A-4 (0,9-8,0 m), B-1 (5,0-8,0 m), B-2 (6,5-8,3 m). Ova jedinica predstavlja izmjenu potpuno do jako trošnog šejla i trošnog do svježeg pješčenjaka. Materijal sadrži oko 50-60% sitnozrnastih čestica srednje do visoke plastičnosti i srednje do visoke žilavosti, i oko 40-50% poluuglatih do uglatih odlomaka trošnog šejla i pješčenjaka. Struktura je slojevita do blokovita, boja svjetlo maslinasto siva do zagasito žućkasta, a vlažnost visoka. Pješčenjak je svjež do trošan (W3-W5), dok je šejl intenzivno trošan do potpuno trošan (W7-W8). U bušotini A-4 unutar izmjene šejla i pješčenjaka probušeni su blokovi trošnog, razlomljenog i čvrstog do vrlo čvrstog dolomita (H2-H3), te po pukotinama trošne, srednje čvrste breče (H3-H4). U bušotini B-2 probušeni su blokovi srednje trošnog vrlo čvrstog vapnenca (H2). Na temelju četiri uzoraka uzetih za laboratorijska ispitivanja dobiven je indeks plastičnosti (I_p) koji iznosi 11-26%. Granulometrijski sastav određen na sva četiri uzroka (2-

36% šljunka, 52-83% pijeska i 6-17% praha i gline) nije reprezentativan zbog povećanog udjela pijeska. Naime, prilikom terenskog opisa jezgre registrirana je znatno manji udio pijeska nego granulometrijskim analizama u laboratoriju. Razlog je vjerojatno razlamanje trošnih odlomaka pješčenjaka prilikom pripreme uzorka za sijanje. Broj udaraca SPP-a je veći od 50 udaraca šiljkom.

5. DISKUSIJA

Inženjerskogeološki model klizišta je rezultat geotehničkih istraživanja i podloga je za geotehničko modeliranje i analize stabilnosti padina. Zadatak inženjerskog geologa je provođenje inženjerskogeoloških, odnosno geotehničkih istraživanja koja daju informacije o vrstama geoloških materijala, njihovim fizičko-mehaničkim svojstvima i aktivnim geomorfološkim procesima koji se odvijaju na istraživanom području. Svrha detaljnih inženjerskogeoloških istraživanja je, na temelju prikupljenih podataka, izraditi reprezentativan inženjerskogeološki model.

U Republici Hrvatskoj ne postoji posebno ovlaštenje za vođenje geotehničkih istraživačkih radova, tako da to uobičajeno rade projektanti, odnosno inženjeri građevinarstva, a ne inženjerski geolozi koji bi trebali imati ključnu ulogu u geotehničkim istraživanjima. Naime, određivanje rasporeda i količine istraživačkih radova trebali bi provoditi inženjerski geolozi jer oni na temelju podataka prikupljenih istraživačkim radovima interpretiraju inženjerskogeološki model klizišta. Iz tog razloga je neophodna dobra komunikacija između projektanta i inženjerskog geologa pri donošenju odluka o vrstama, količini i rasporedu istraživačkih radova, te pri izvedbi radova, ali i nakon završetka istraživanja, prilikom izrade geotehničkog modela na temelju inženjerskogeološkog modela. Naime, iz jednog prognoznog inženjerskogeološkog modela, zbog nepouzdanosti interpretacije, moguće je izvesti više različitih geotehničkih modela.

Inženjerskogeološki model je prognoznog karaktera jer se temelji na interpretaciji relativno malog broja podataka koji daju direktan uvid u podzemlje, a najčešće je to samo istraživačko bušenje s vađenjem uzoraka za laboratorijsko ispitivanje. Količina podataka prikupljenih geotehničkim istraživanjima najčešće je ograničena nedostatkom financijskih sredstava, vremena za provođenje istraživanja, te mogućnostima provedbe istraživanja. Zbog ograničenosti financijskih sredstava za istraživačko bušenje često nije moguće izraditi pristupni put za dopremu bušačke garniture u tijelo klizišta, te se zbog toga bušenje mora provoditi izvan granica klizišta. Osim na raspored bušotina, visoka cijena bušenja utječe i na broj i dubinu bušotina.

Inženjerskogeološki modeli tri klizišta u naselju Cerina interpretirani su na temelju podataka dobivenih geodetskim snimanjem, odnosno detaljnim inženjerskogeološkim kartiranjem terena, istraživačkim bušenjem šest bušotina (ukupno 48 metara dubine) s

uzorkovanjem, te na temelju podataka dobivenih laboratorijskim ispitivanjem na 12 uzoraka. Od toga su na klizištu Cerina 1 izvedene tri istraživačke bušotine, na klizištu Cerina 2 dvije bušotine te na klizištu Cerina 3 samo jedna bušotina. Unatoč relativno malom broju bušotina na pojedinom klizištu, dobiveni su reprezentativni inženjerskogeološki modeli koje je moguće koristiti kao podloge za analize stabilnosti na predmetnim kosinama. Naime, izvedbom istraživačkih bušotina na prometnici, iznad krune klizišta, dobiven je uvid u podzemlje na mjestima na kojima je planirana izgradnja potpornih građevina u svrhu sanacije klizišta.

Prilikom istraživačkog bušenja i detaljnog inženjerskogeološkog kartiranja koje je provedeno u više navrata, nisu zabilježene pojave podzemne vode, kao ni znakovi vlaženja. Analizom meteoroloških uvjeta u vrijeme aktiviranja klizišta, utvrđeno je da je inicijator klizanja na predmetnoj lokaciji kritična prethodna kumulativna oborina koja je uzrokovala ekstremnu infiltraciju vode u podzemlje.

6. ZAKLJUČAK

Inženjerskogeološki modeli tri klizišta u naselju Cerina interpretirani su na temelju podataka dobivenih detaljnim inženjerskogeološkim kartiranjem klizišta, geotehničkim istraživačkim radovima, te laboratorijskom analizom uzoraka izvađenih iz šest istraživačkih bušotina.

Geometrija klizišta prikazana je na inženjerskogeološkoj karti mjerila 1:500, te s tri uzdužna presjeka klizišta Cerina 1, Cerina 2 i Cerina 3 i s dva inženjerskogeološka presjeka paralelna s poprečnim presjekom klizišta Cerina 1 i Cerina 2. Klizišta Cerina 1 i Cerina 2 su plitka rotacijska klizišta nastala u nasipu sastavljenom od mješavine krupnozrnastog i sitnozrnastog tla. Klizište Cerina 3, koje je također plitko rotacijsko klizište, ali površinom veće od klizišta Cerina 1 i Cerina 2, uz nasip zahvaća i gornji dio matične stijene koju ovdje predstavlja izmjena šejla i pješčenjaka. Granice klizišta jasne su samo mjestimično kod klizišta Cerina 1 i Cerina 2, dok su granice klizišta Cerina 3 jasno izražene što je posljedica nešto dublje klizne plohe (2,7 m). Sva tri istraživana klizišta trenutno su neaktivna što znači da su se ova klizišta kretala u posljednjih 12 mjeseci, ali se za vrijeme inženjerskogeoloških istraživanja nisu kretala. Na temelju istraživačkih radova razdvojena su četiri inženjerskogeološka tipa. Unutar površinskih naslaga i naslaga matične stijene napravljena je podjela inženjerskogeoloških jedinica. Kao površinske naslage ili pokrivač izdvojene su umjetne naslage, odnosno nasip (Q_{ut}), zatim koluvijalne naslage aktivnog klizišta (Q_k) te rezidualno tlo, koje predstavlja potpuno trošnu matičnu stijenu (Q_{et}). Matičnom stijenom smatra se srednje do jako trošna izmjena šejla i pješčenjaka gornjeg trijasa (T_3). Preduvjeti za nastanak klizišta na predmetnoj lokaciji su materijali visoke plastičnosti, trošni materijali podloge, morfologija padine, te povećani dotok vode iz hipsometrijski viših dijelova padine. Analizom oborina s meteorološke postaje Rude, utvrđeno je da je inicijator klizanja ekstremna količina oborina zabilježena u prva tri mjeseca 2013. godine. Kumulativna oborina za siječanj, veljaču i ožujak na mjernoj postaji Rude iznosila je 525,9 mm, što je više od pola prosječne godišnje oborine. Takvi ekstremni hidrološki uvjeti doveli su do procjeđivanja kroz površinske naslage do slabopropusne matične stijene na klizištu Cerina 3, odnosno kod klizišta Cerina 1 i Cerina 2 do slabopropusnih glina niske do visoke plastičnosti, te je zbog prevelike saturiranosti nasipa došlo do klizanja površinskog materijala.

LITERATURA

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

ARBANAS, Ž., GROŠIĆ, M., BRIŠKI, G. (2008): Behavior of Engineered Slopes in Flysch.- Proc. of the 1st Southern Hemisphere International Rock Mechanics Symposium SHIRMS 2008, 16.-19. September 2008, Perth, Australia. In. Potvin, Y. et al. (eds). Australian Centre for Geomechanics, 2008. pp 493-504.

BLYTH, F.G.H, FREITAS M.H. (1984): A Geology for Engineers, Imperial College of Science and Technology, London

CLARIZIA, M., GULLA, G., SORBINO, G., (1996): Sui meccanismi di innesco dei soil slip. International Conference Prevention of Hydrogeological Hazards: the Role of Scientific Research. L'Artistica Savigliano pub, 1, str. 585-597.

CORNFORTH, H. (2005): Landslides in Practice - Investigations, Analyses and Remedial/ Preventative Options in Soils, John Wiley and Sons, Inc., Hoboken, New Yersey

CRUDEN, D.M. (1991): A simple definition of a landslide. Bulletin of Engineering Geology and the Environment. 43, str. 27-29.

FHA (1997): Geotechnical Engineering Notebook, Geotehnical Guideline No. 15–Geotehnical "Differing Site Conditions". U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration.

GARIANO, S. L., IOVINE, G., BRUNETTI M. T., PERUCCACCI, S., LUCIANI S., BARTOLINI D., PALLADINO, M., VESSIA, G., VIERO, A., VENNARI, C., ANTRONICO, L., DEGANUTTI, A. M., LUINO, F., PARISE, M., TERRANOVA, O. G., AND GUZZETTI, F. (2012): Populating a catalogue of rainfall events that triggered shallow landslides in Italy. Rendiconti Online della Società Geologica Italiana, 21, str. 396–398.

GUZZETTI, F., PERUCCACCI, S., ROSSI, M., STARK, C.P. (2007): Rainfall thresholds for the initiation of landslides in central and southern Europe. Meteorology and Atmospheric Physics, 98, str. 239-267.

GUZZETTI, F., PERUCCACCI, S., ROSSI, M., STARK, C.P. (2008): The rainfall intensity–duration control of shallow landslides and debris flows: an update. Landslides, 5, str. 3–17.

HERAK, M., ALLEGRETTI, I., HERAK, D., IVANČIĆ, I., KUK, V., MARIĆ, K., MARKUŠIĆ, S., SOVIĆ, I. (2011): Karta potresnih područja Republike Hrvatske. Karta i tumač. Zagreb: Državna geodetska uprava.

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

LYNN, M., BOBROWSKI, P. (2008): The Landslide Handbook - A Guide to Understanding Landslides, U.S. Geological Survey, Reston, Virginia: 2008.

MIHALIĆ ARBANAS, S., ARBANAS, Ž. (2014): Handbook of Research on Advancements in Environmental Engineering Landslides – A Guide to Researching Landslide Phenomena and Processes, IGI Global, Hershey: 2015.

ORTOLAN, Ž. (2013): Osnovni naglasci iz sadržaja uvodnog izlaganja - Uloga inženjerske geologije u geotehnici, Zagreb

REICHENBACH, P., CARDINALI, M., DE VITA, P., GUZZETI, F., (1998): Hydrological thresholds for landslides and floods in the Tiber River Basin (Central Italy). Environm. Geol., 35(2-3), str. 146-159.

ŠIKIĆ, K., BASCH, O. I ŠIMUNIĆ, A. (1977): Osnovna geološka karta 1:100 000, list Zagreb L 38– 80. Institut za geološka istraživanja Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd.

ŠIKIĆ, K., BASCH, O. I ŠIMUNIĆ, A. (1979): Tumač Osnovne geološke karte, list Zagreb 1:100 000. Institut za geološka istraživanja Zagreb, Savezni geološki zavod, 1–75, Beograd.

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

VARNES, D.J. (1984): Landslide hazard zonation: a review of principlesand practice. Paris: UNESCO.

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

NEOBJAVLJENI RADOVI I DOKUMENTACIJA

GEO-BIM (2014): Geodetski situacijski nacrt klizišta Cerina, Smerovišće-cesta-Dragonoš.

GEO-BIM (2015): Geodetski situacijski nacrt klizišta Cerina, Smerovišće-cesta-Dragonoš

KVASNIČKA, P. i DOMITROVIĆ, D. (2007): Mehanika tla, Interna skripta RGN fakulteta, Zagreb

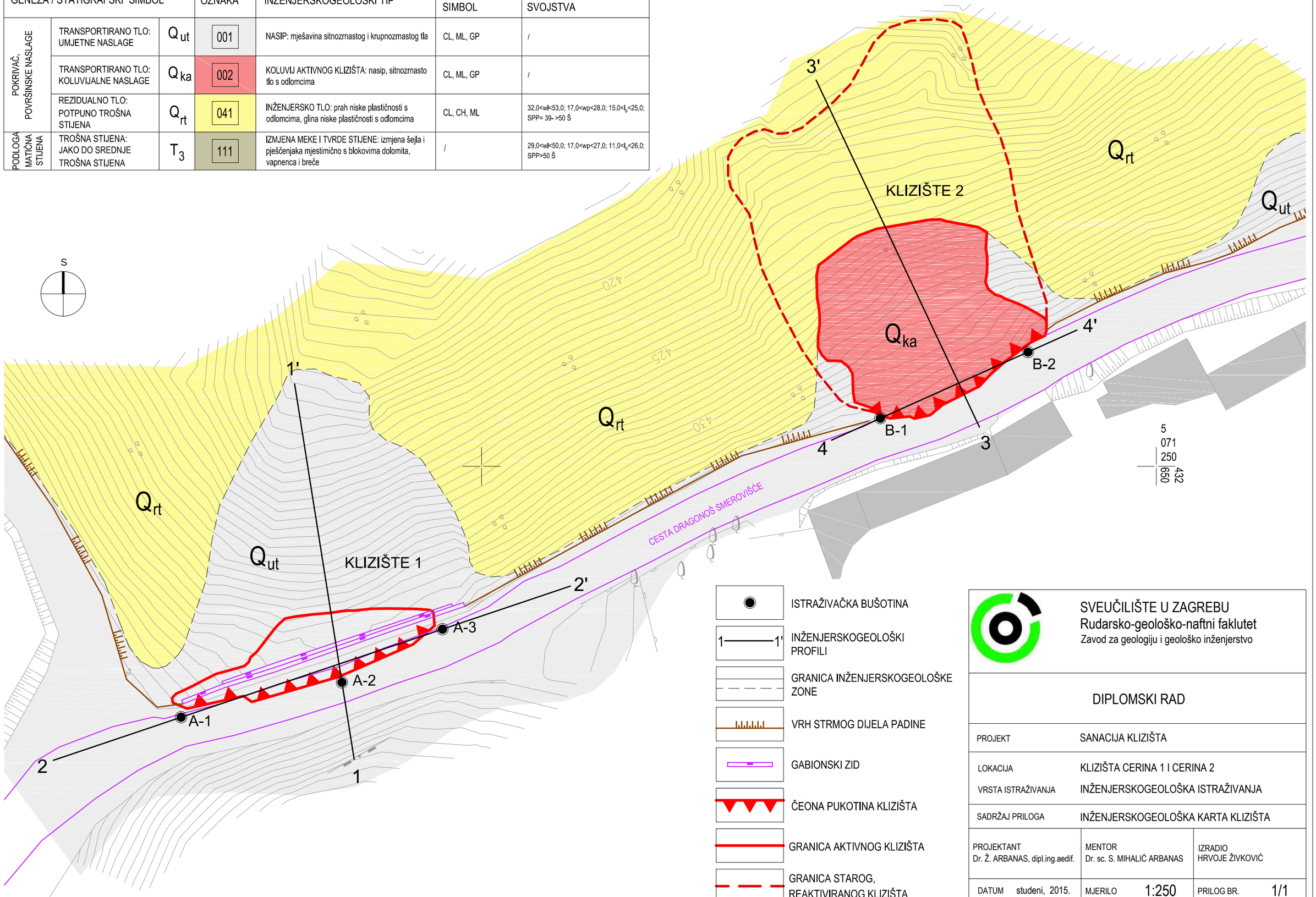
MIHALIĆ, S. (2007): Osnove inženjerske geologije, Interna skripta RGN fakulteta, Zagreb

WWW IZVORI

URL: https://www.google.com/earth/

LEGENDA

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	CL, ML, GP	/
	TRANSPORTIRANO TLO: KOLUVIJALNE NASLAGE	Q_{ka}	002	KOLUVIJ AKTIVNOG KLIZIŠTA: nasip, sitnozrnasto tlo s odlomcima	CL, ML, GP	/
	REZIDUALNO TLO: POTPUNO TROŠNA STIJENA	Q_{rt}	041	INŽENJERSKO TLO: prah niske plastičnosti s odlomcima, glina niske plastičnosti s odlomcima	CL, CH, ML	32,0<wl<53,0; 17,0<wp<28,0; 15,0<I_p<25,0; SPP= 39- >50 Š
PODLOGA MATIČNA STIJENA	TROŠNA STIJENA: JAKO DO SREDNJE TROŠNA STIJENA	T_3	111	IZMJENA MEKE I TVRDE STIJENE: izmjena šejla i pješčenjaka mjestimično s blokovima dolomita, vapnenca i breče	/	29,0<wl<50,0; 17,0<wp<27,0; 11,0<I_p<26,0; SPP>50 Š



ISTRAŽIVAČKA BUŠOTINA

1——1' INŽENJERSKOGEOLOŠKI PROFILI

GRANICA INŽENJERSKOGEOLOŠKE ZONE

VRH STRMOG DIJELA PADINE

GABIONSKI ZID

ČEONA PUKOTINA KLIZIŠTA

GRANICA AKTIVNOG KLIZIŠTA

GRANICA STAROG, REAKTIVIRANOG KLIZIŠTA

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
Rudarsko-geološko-naftni faklutet
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo

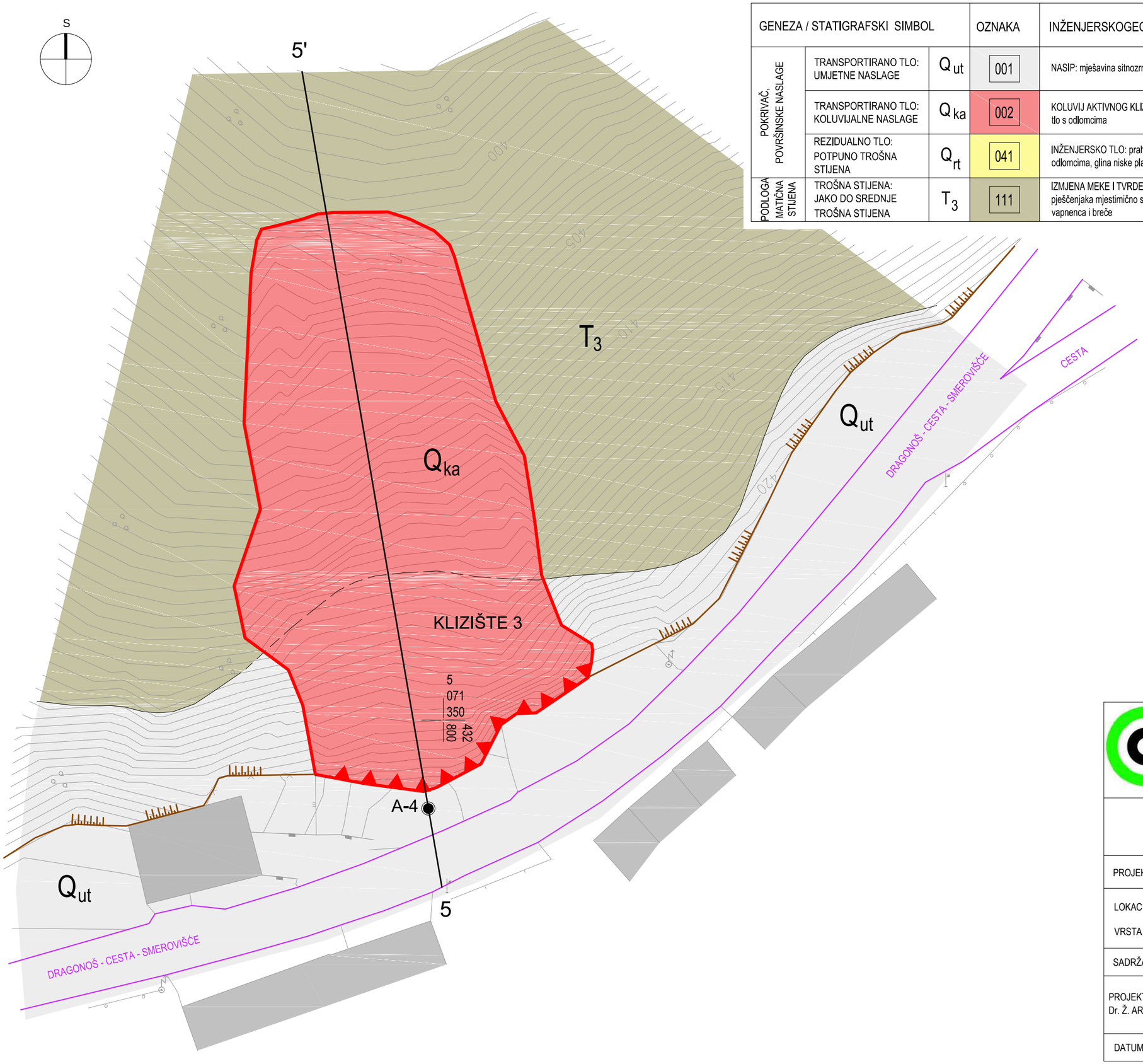
DIPLOMSKI RAD

PROJEKT	SANACIJA KLIZIŠTA
LOKACIJA	KLIZIŠTA CERINA 1 I CERINA 2
VRSTA ISTRAŽIVANJA	INŽENJERSKOGEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA
SADRŽAJ PRILOGA	INŽENJERSKOGEOLOŠKA KARTA KLIZIŠTA

PROJEKTANT	MENTOR	IZRADIO
Dr. Ž. ARBANAS, dipl.ing.aedif.	Dr. sc. S. MIHALIĆ ARBANAS	HRVOJE ŽIVKOVIĆ
DATUM studeni, 2015.	MJERILO 1:250	PRILOG BR. 1/1

LEGENDA

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	CL, ML, GP	/
	TRANSPORTIRANO TLO: KOLUVIJALNE NASLAGE	Q_{ka}	002	KOLUVIJ AKTIVNOG KLIZIŠTA: nasip, sitnozrnasto tlo s odlomcima	CL, ML, GP	/
	REZIDUALNO TLO: POTPUNO TROŠNA STIJENA	Q_{rt}	041	INŽENJERSKO TLO: prah niske plastičnosti s odlomcima, glina niske plastičnosti s odlomcima	CL, CH, ML	32,0<wl<53,0; 17,0<wp<28,0; 15,0<I_p<25,0; SPP= 39- >50 Š
PODLOGA MATIČNA STIJENA	TROŠNA STIJENA: JAKO DO SREDNJE TROŠNA STIJENA	T_3	111	IZMJENA MEKE I TVRDE STIJENE: izmjena šejla i pješčenjaka mjestimično s blokovima dolomita, vapnenca i breče	/	29,0<wl<50,0; 17,0<wp<27,0; 11,0<I_p<26,0; SPP>50 Š



ISTRAŽIVAČKA BUŠOTINA

1——1' INŽENJERSKOGEOLOŠKI PROFILI

GRANICA INŽENJERSKOGEOLOŠKE ZONE

VRH STRMOG DIJELA PADINE

GABIONSKI ZID

ČEONA PUKOTINA KLIZIŠTA

GRANICA AKTIVNOG KLIZIŠTA

GRANICA STAROG, REAKTIVIRANOG KLIZIŠTA

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
Rudarsko-geološko-naftni faklutet
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo

DIPLOMSKI RAD

PROJEKT	SANACIJA KLIZIŠTA
LOKACIJA	KLIZIŠTA CERINA 3
VRSTA ISTRAŽIVANJA	INŽENJERSKOGEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA
SADRŽAJ PRILOGA	INŽENJERSKOGEOLOŠKA KARTA KLIZIŠTA

PROJEKTANT	MENTOR	IZRADIO
Dr. Ž. ARBANAS, dipl.ing.aedif.	Dr. sc. S. MIHALIĆ ARBANAS	HRVOJE ŽIVKOVIĆ

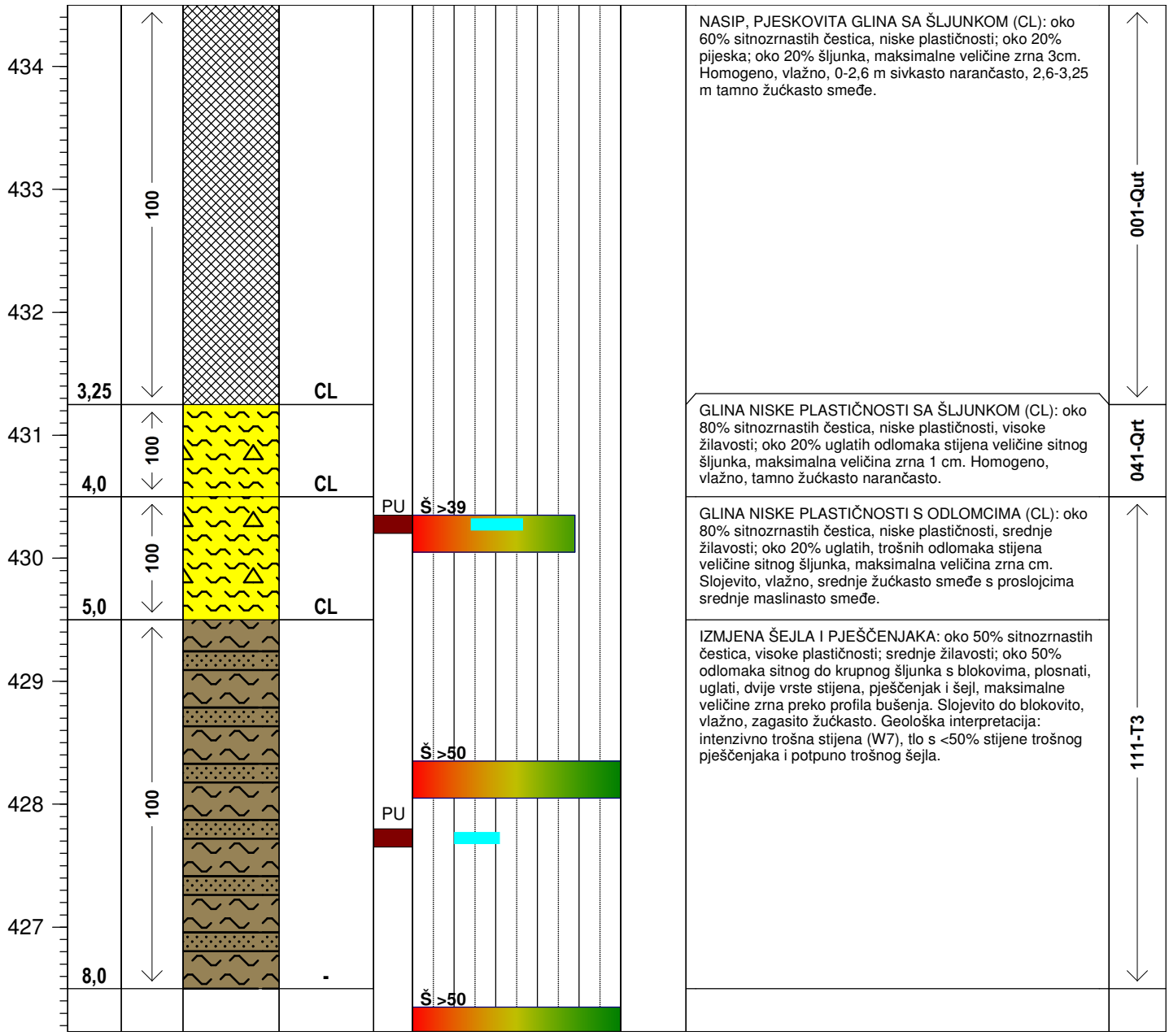
DATUM	studeni, 2015.	MJERILO	1:250	PRILOG BR.	1/2

RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET **DIPLOMSKI RAD**

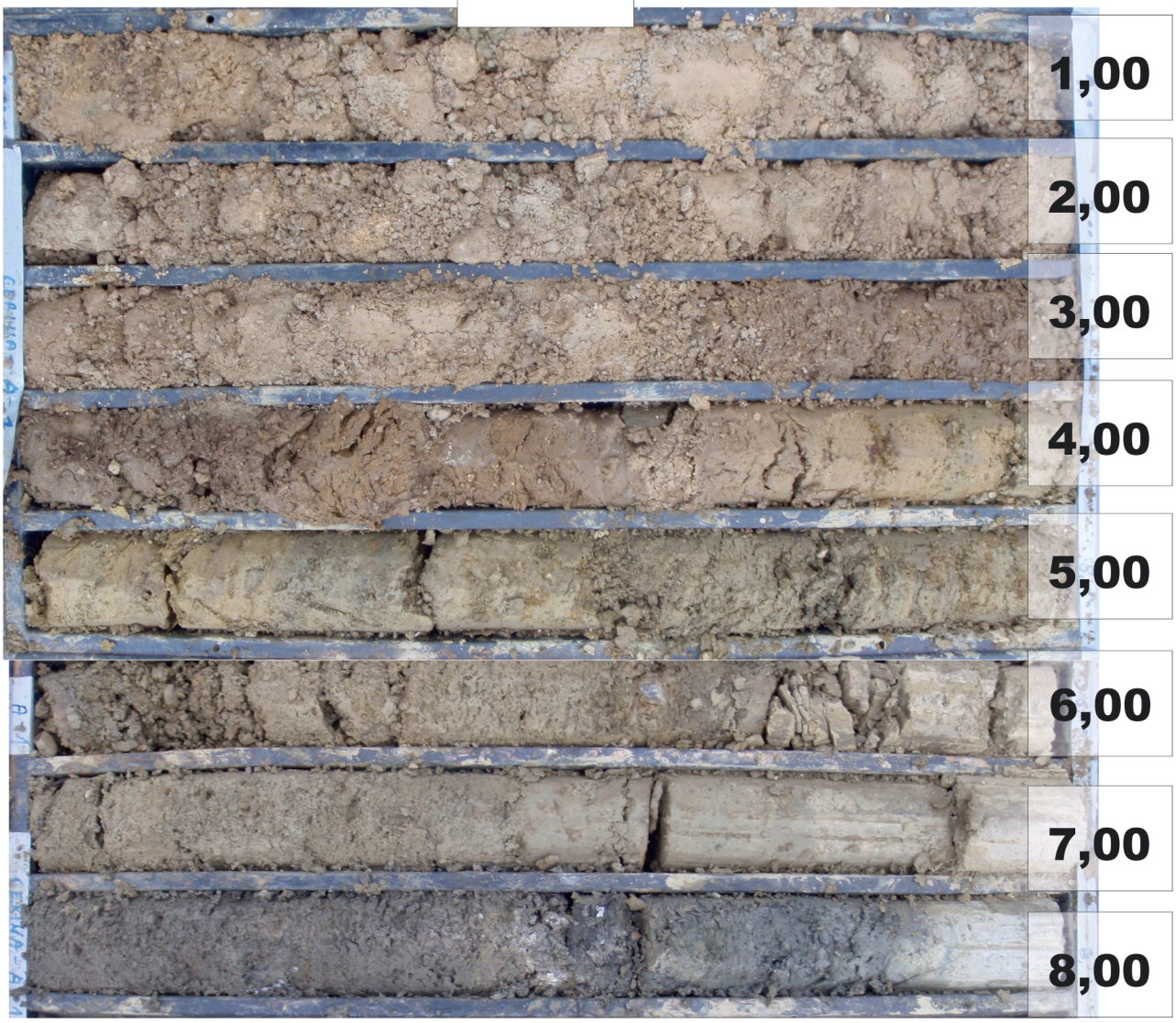
PROJEKT:	Sanacija klizišta	**MENTOR:**	S. Mihalić A.	**IG DETERMINACIJA:**	H. Živković
OBJEKT:	Klizište	**DATUM:**	18.12.2014.	**IG INTERPRETACIJA:**	H. Živković
LOKACIJA:	Cerina	**NADM. VISINA:**	434,5		
PROJEKTANT:	Ž. Arbanas	**KOORDINATE:**	**x:** 432577,73	**y:**	5071231,40

INŽENJERSKOGEOLOŠKI PRESJEK BUŠOTINE A-1 **DUBINA:** 8,0 m **MJERILO:** 1:50 **PRILOG: 2/1**

NAPOMENA: napomena



A-1

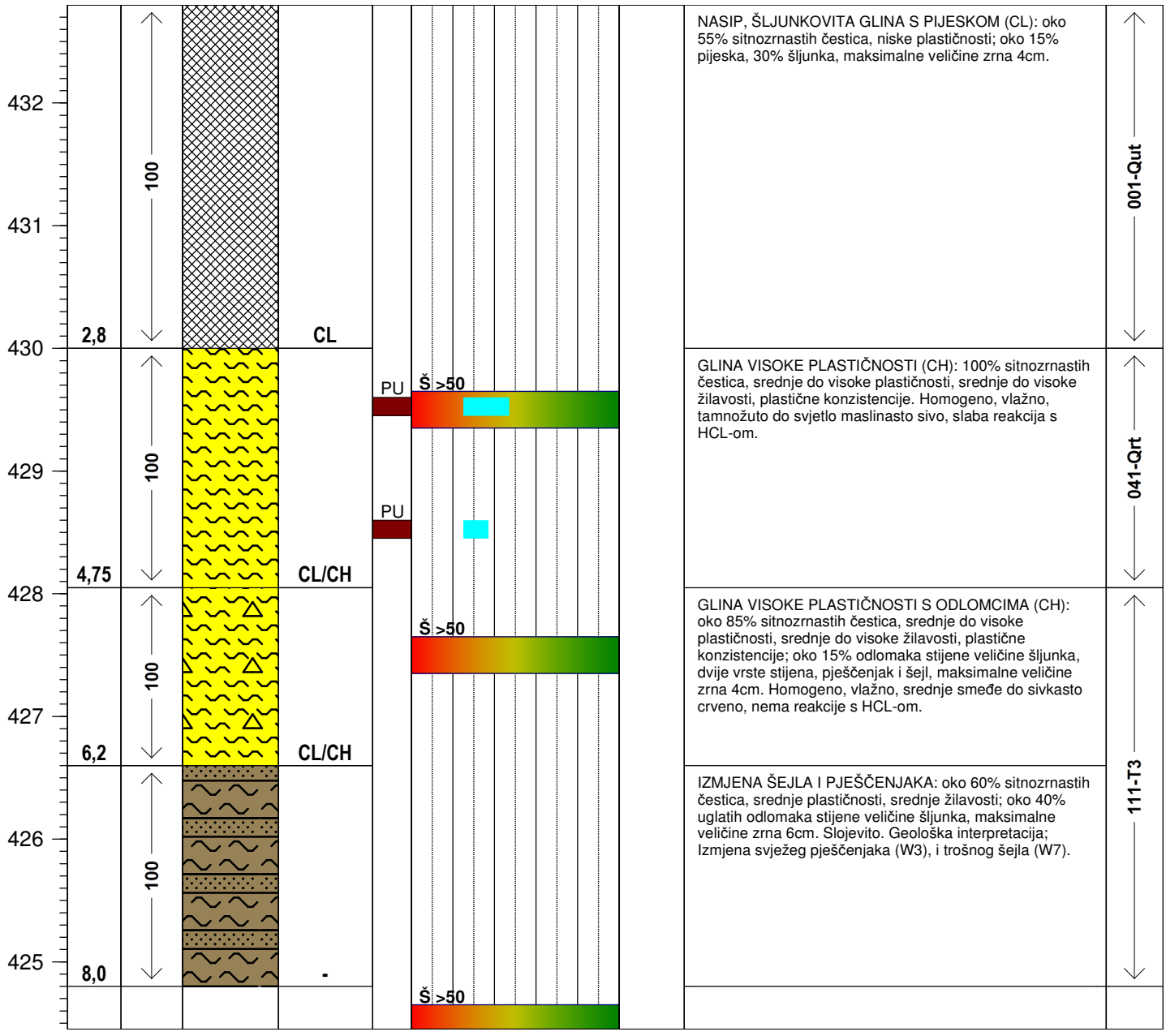


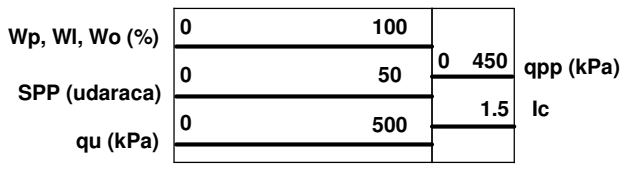
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET **DIPLOMSKI RAD**

PROJEKT:	Sanacija klizišta	**MENTOR:**	S. Mihalić A.	**IG DETERMINACIJA:**	H. Živković
OBJEKT:	Klizište	**DATUM:**	17.12.2014.	**IG INTERPRETACIJA:**	H. Živković
LOKACIJA:	Cerina	**NADM. VISINA:**	432,8		
PROJEKTANT:	Ž. Arbanas	**KOORDINATE:**	**x:** 432589,65	**y:**	5071233,99

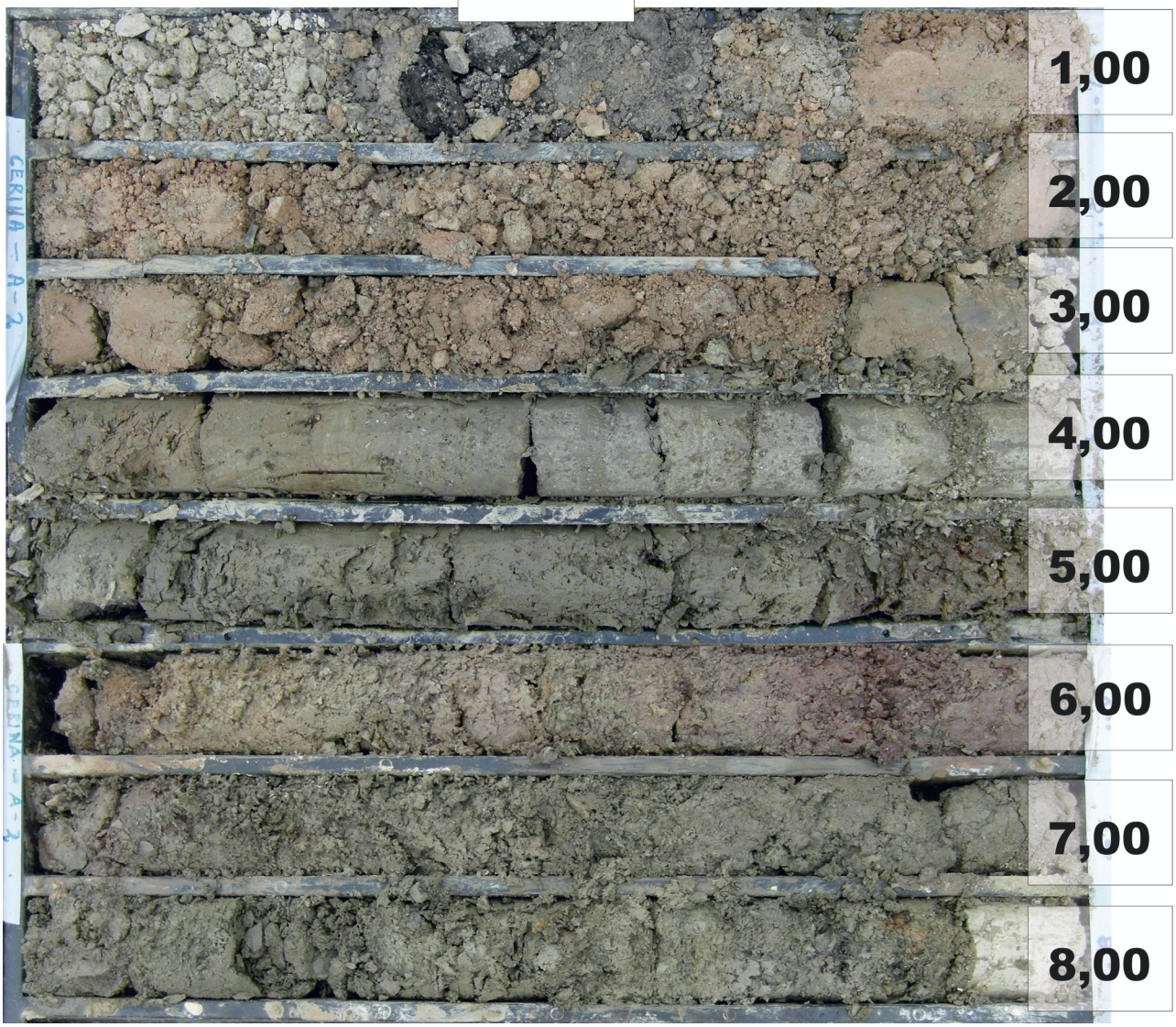
INŽENJERSKOGEOLOŠKI PRESJEK BUŠOTINE A-2 **DUBINA:** 8,0 m **MJERILO:** 1:50 **PRILOG:** 2/2

NAPOMENA: napomena





A-2

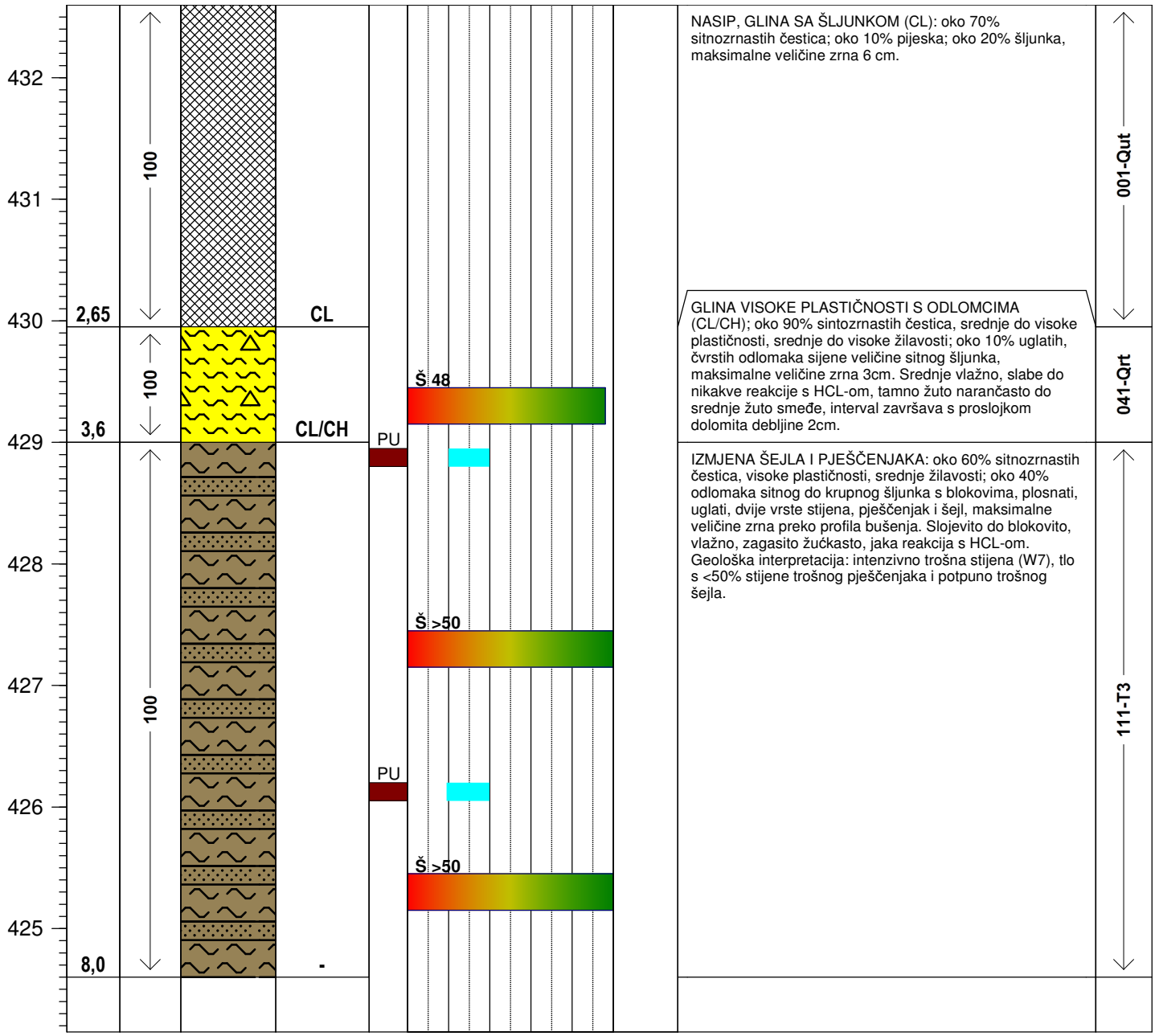


RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET **DIPLOMSKI RAD**

PROJEKT:	Sanacija klizišta	**MENTOR:**	S. Mihalić A.	**IG DETERMINACIJA:**	H.Živković
OBJEKT:	Klizište	**DATUM:**	16.12.2014.	**IG INTERPRETACIJA:**	H.Živković
LOKACIJA:	Cerina	**NADM. VISINA:**	432.6		
PROJEKTANT:	Ž. Arbanas	**KOORDINATE:**	**x:** 432597,10	**y:** 5071237,92	

INŽENJERSKOGEOLOŠKI PRESJEK BUŠOTINE A-3 **DUBINA:** 8,0 m **MJERILO:** 1:50 **PRILOG:** 2/3

NAPOMENA: napomena



Wp, Wl, Wo (%)	0 — 100	0 — 450	**qpp (kPa)**
SPP (udaraca)	0 — 50	1.5	**Ic**
qu (kPa)	0 — 500		

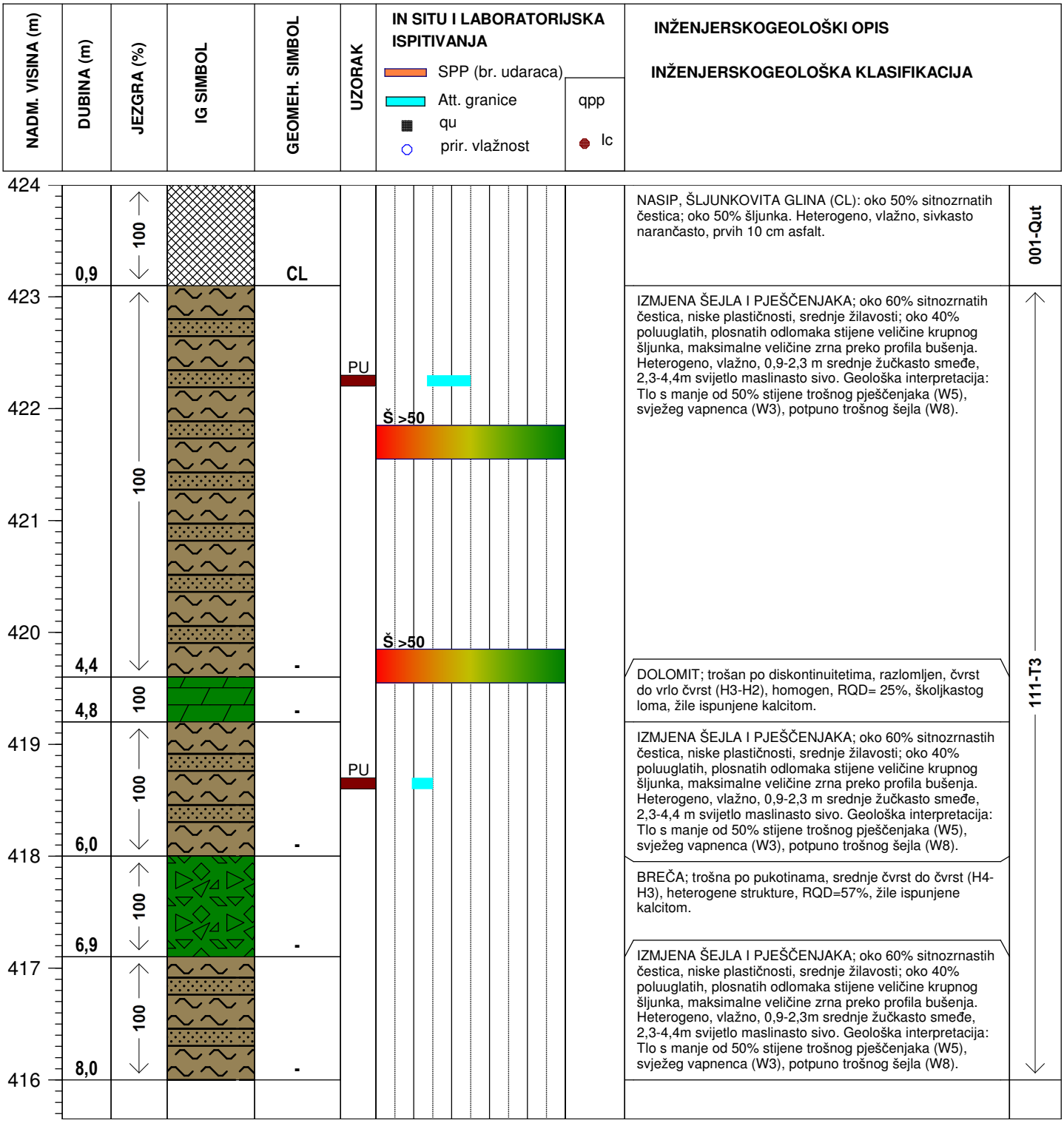
A-3

RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET **DIPLOMSKI RAD**

PROJEKT:	Sanacija klizišta	**MENTOR:**	S. Mihalić A.	**IG DETERMINACIJA:**	H. Živković
OBJEKT:	Klizište	**DATUM:**	19.12.2014.	**IG INTERPRETACIJA:**	H. Živković
LOKACIJA:	Cerina	**NADM. VISINA:**	424.0		
PROJEKTANT:	Ž. Arbanas	**KOORDINATE:**	**x:** 432799,03	**y:** 5071344,28	

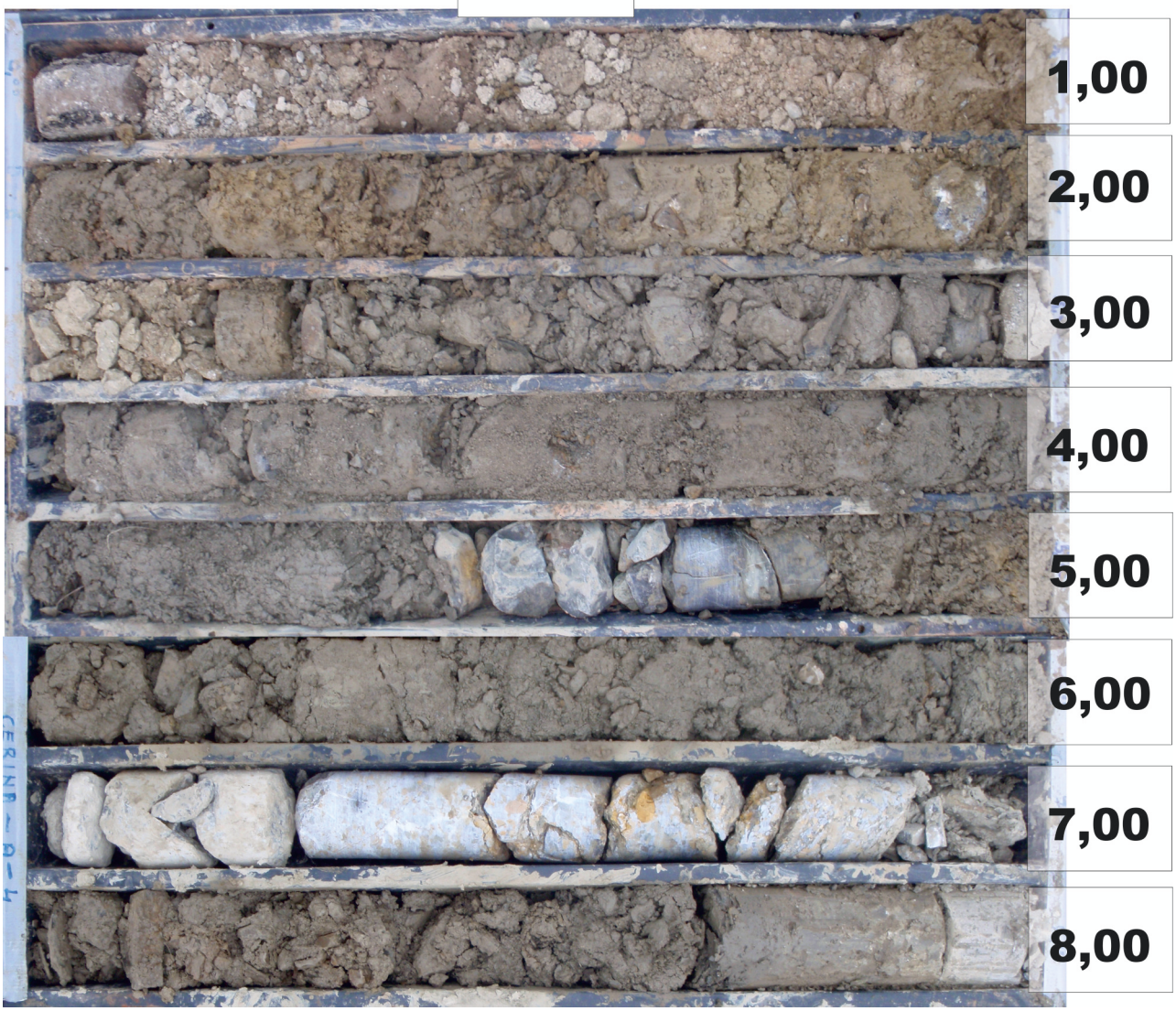
INŽENJERSKOGEOLOŠKI PRESJEK BUŠOTINE A-4 **DUBINA:** 8,0 m **MJERILO:** 1:50 **PRILOG:** 2/4

NAPOMENA: napomena



Wp, Wl, Wo (%)	0 — 100	0 — 450	**qpp (kPa)**
SPP (udaraca)	0 — 50	1.5	**Ic**
qu (kPa)	0 — 500		

A-4

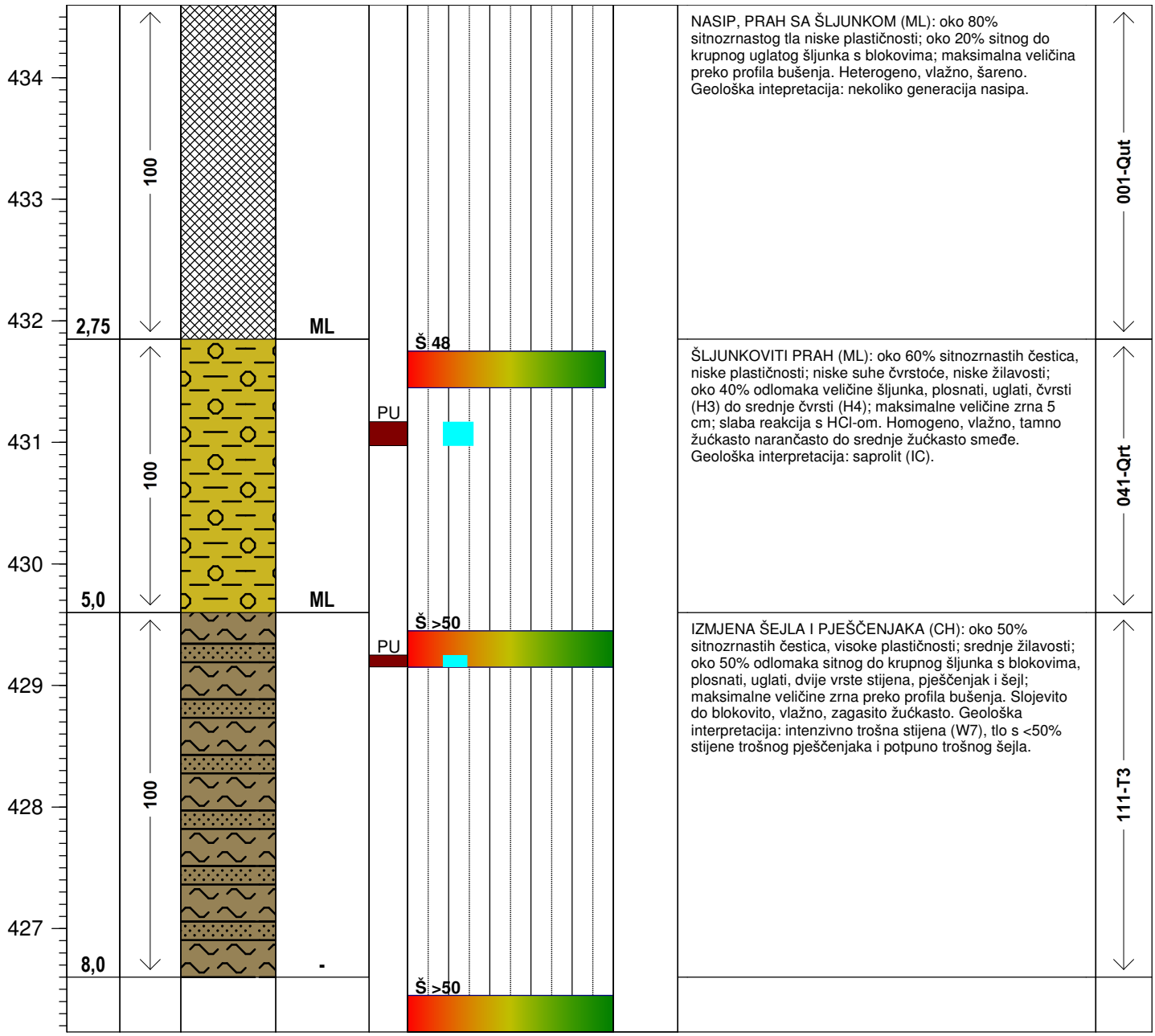


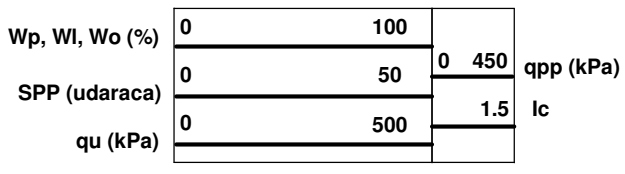
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET **DIPLOMSKI RAD**

PROJEKT:	Sanacija klizišta	**MENTOR:**	S. Mihalić A.	**IG DETERMINACIJA:**	H. Živković
OBJEKT:	Klizište	**DATUM:**	20.12.2014.	**IG INTERPRETACIJA:**	H. Živković
LOKACIJA:	Cerina	**NADM. VISINA:**	434.6		
PROJEKTANT:	Ž. Arbanas	**KOORDINATE:**	**x:** 432629,55	**y:** 5071253,56	

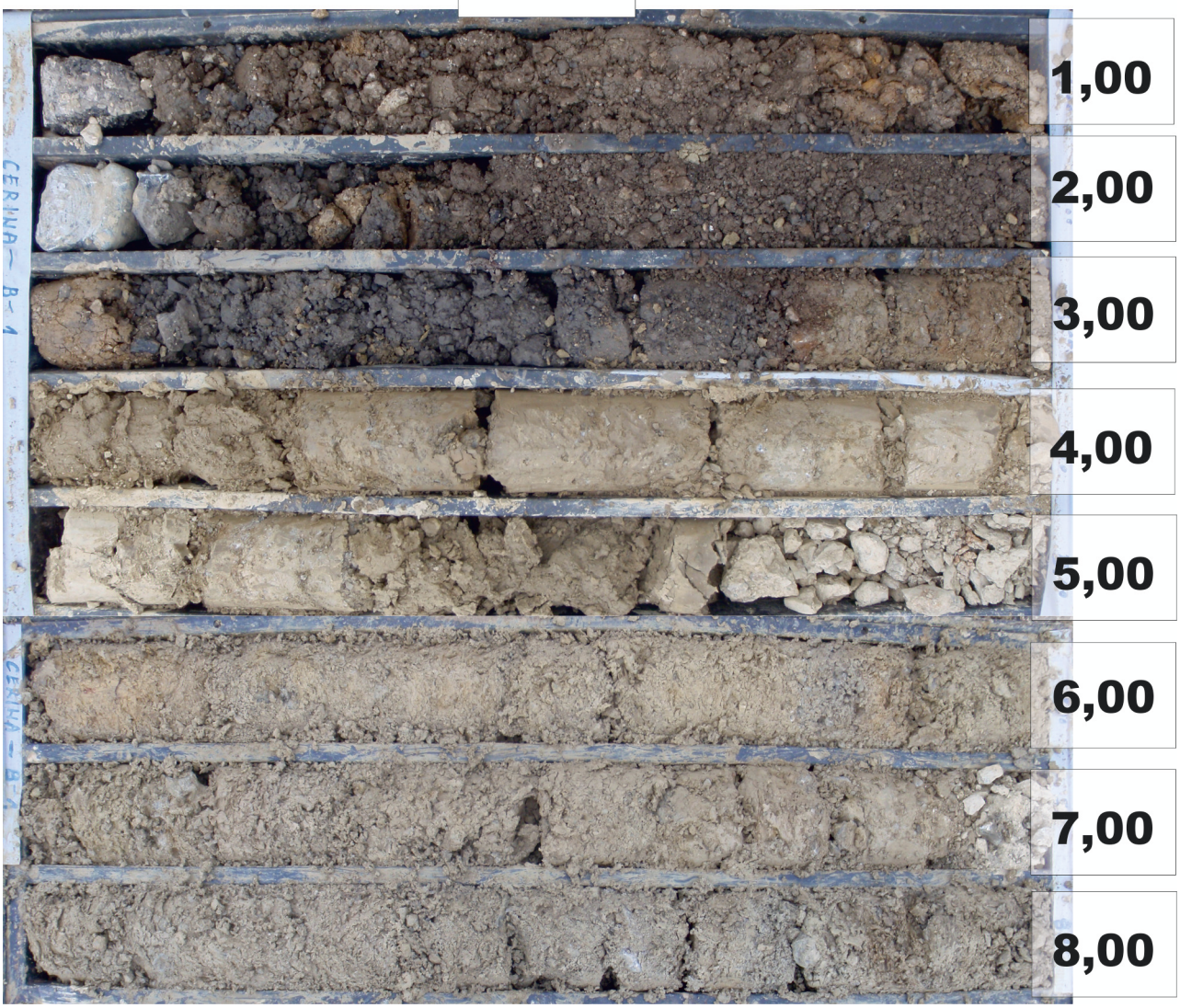
INŽENJERSKOGEOLOŠKI PRESJEK BUŠOTINE B-1 **DUBINA:** 8,0 m **MJERILO:** 1:50 **PRILOG:** 2/5

NAPOMENA: napomena





B-1

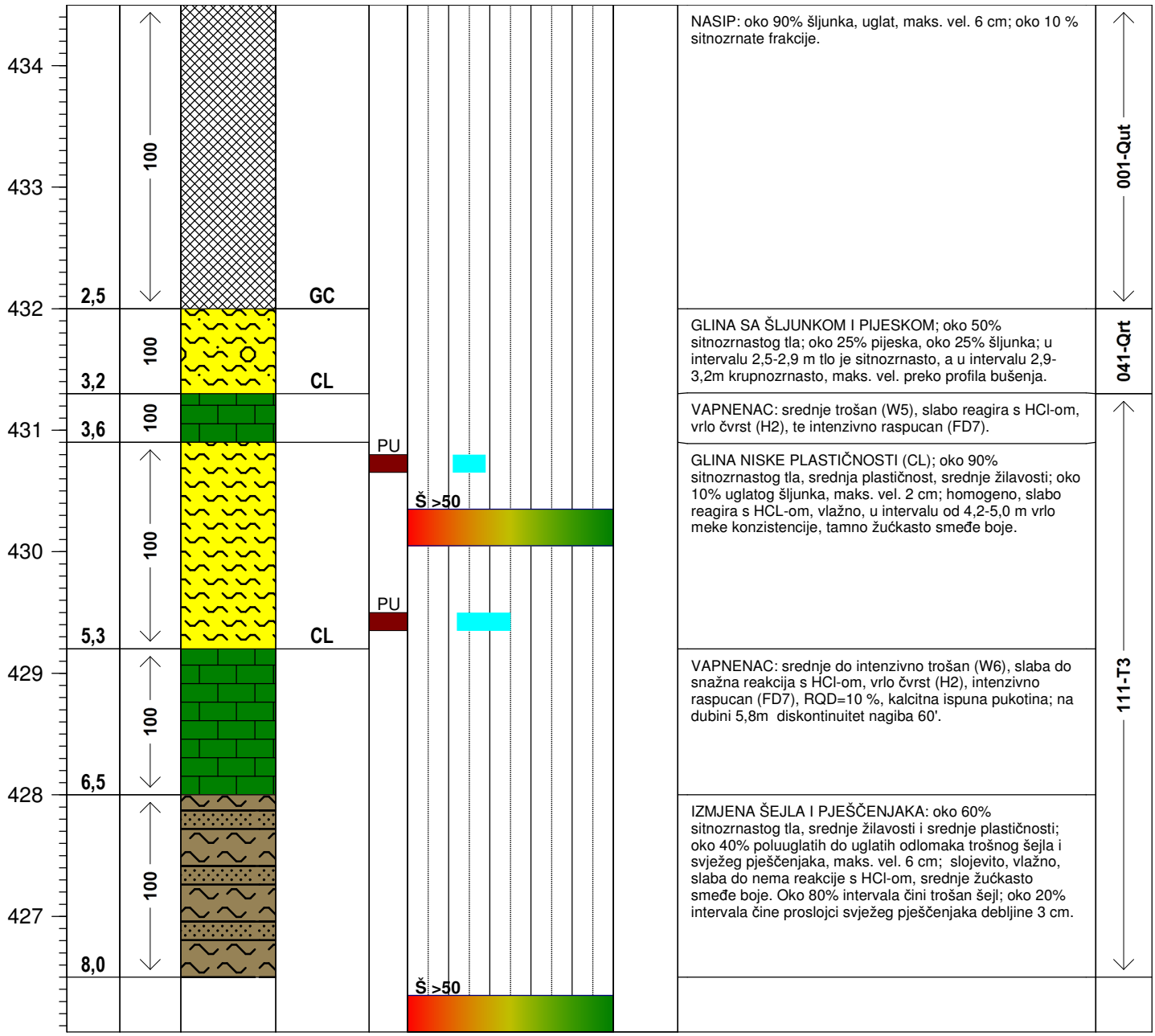


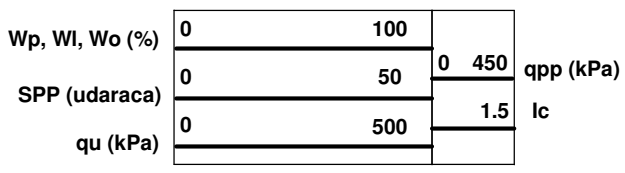
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET **DIPLOMSKI RAD**

PROJEKT:	Sanacija klizišta	**MENTOR:**	S. Mihalić A.	**IG DETERMINACIJA:**	H. Živković
OBJEKT:	Klizište	**DATUM:**	15.12.2014.	**IG INTERPRETACIJA:**	H. Živković
LOKACIJA:	Cerina	**NADM. VISINA:**	434.5		
PROJEKTANT:	Ž. Arbanas	**KOORDINATE:**	**x:** 432577,73	**y:**	5071231,40

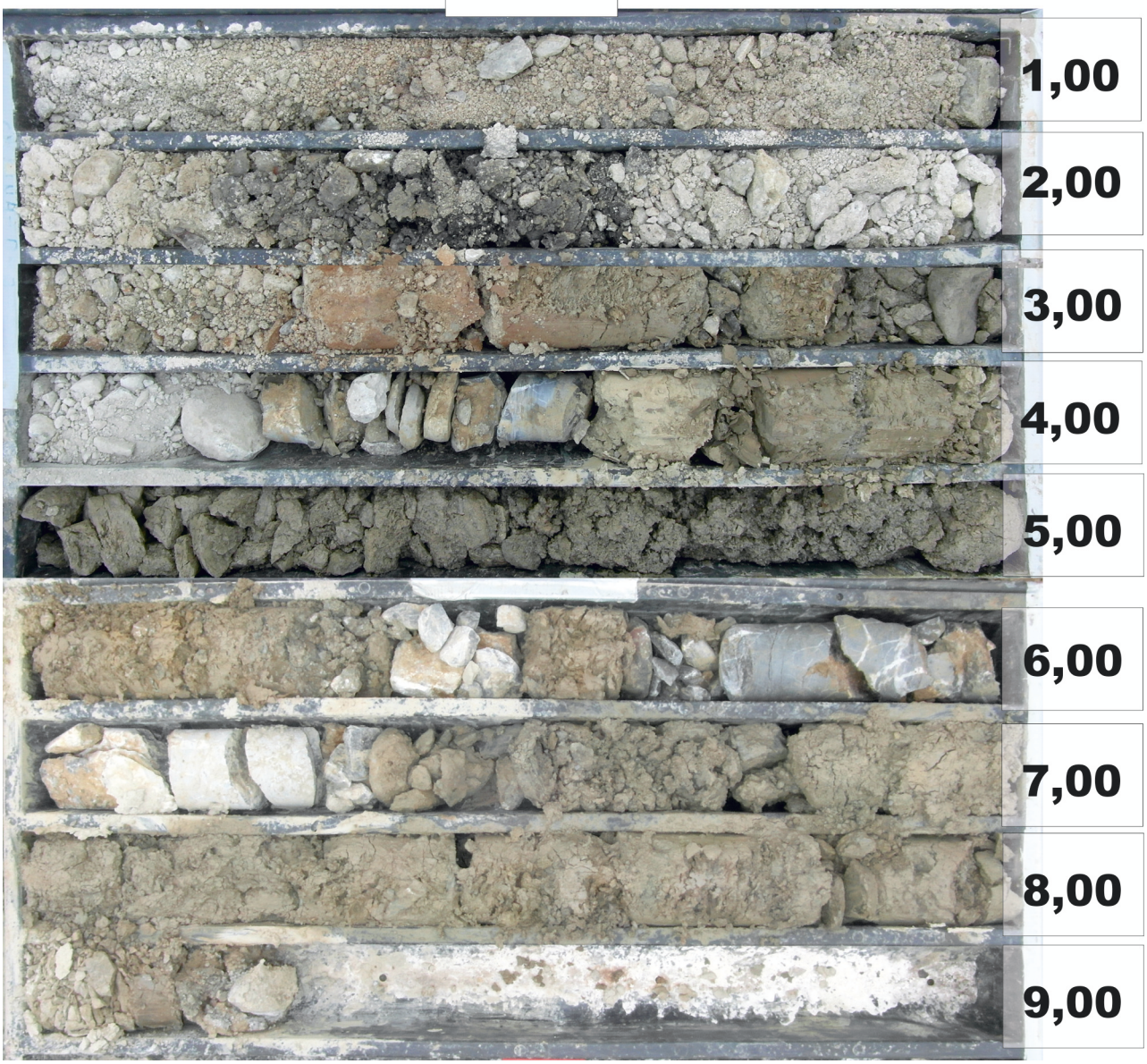
INŽENJERSKOGEOLOŠKI PRESJEK BUŠOTINE B-2 **DUBINA:** 8,0 m **MJERILO:** 1:50 **PRILOG:** 2/6

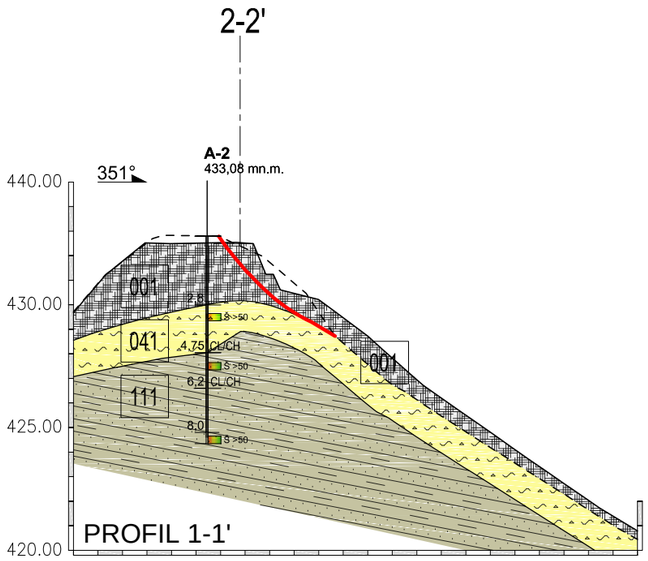
NAPOMENA: napomena



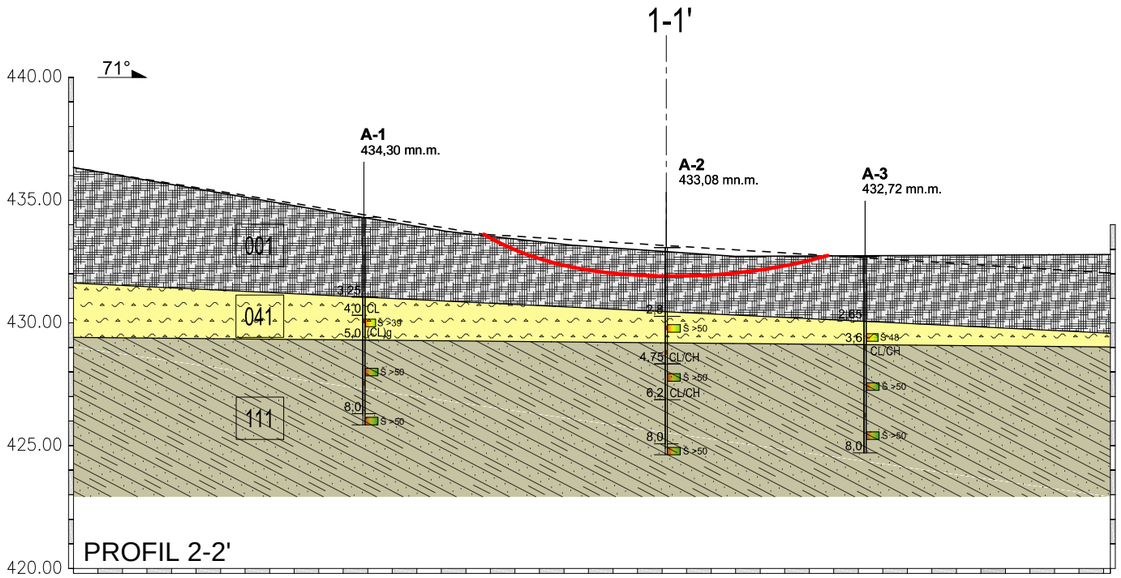


B-2





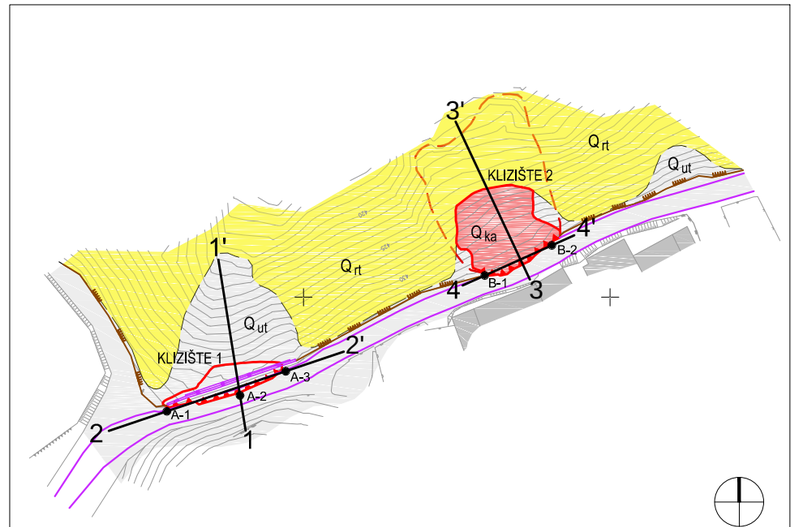
PROFIL 1-1'



PROFIL 2-2'

LEGENDA

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	CL, ML, GP	/
	TRANSPORTIRANO TLO: KOLUVIJALNE NASLAGE	Q_{ka}	002	KOLUVIJ AKTIVNOG KLIZIŠTA: nasip, sitnozrnasto tlo s odlomcima	CL, ML, GP	/
	REZIDUALNO TLO: POTPUNO TROŠNA STIJENA	Q_{rt}	041	INŽENJERSKO TLO: prah niske plastičnosti s odlomcima, glina niske plastičnosti s odlomcima	CL, CH, ML	32,0<wl<53,0; 17,0<wp<28,0; 15,0<I_p<25,0; SPP=39->50 Š
PODLOGA MATIČNA STIJENA	TROŠNA STIJENA: JAKO DO SREDNJE TROŠNA STIJENA	T_3	111	IZMJENA MEKE I TVRDE STIJENE: izmjena šejla i pješčenjaka mjestimično s blokovima dolomita, vapnenca i breče	/	29,0<wl<50,0; 17,0<wp<27,0; 11,0<I_p<26,0; SPP>50 Š



SITUACIJA, MJ 1:1.000

GRANICA INŽENJERSKOGEOLOŠKOG TIPA TLA

KLIZNA PLOHA

PRETPOSTAVLJENA KLIZNA PLOHA

B-1 OZNAKA BUŠOTINE

1-1' OZNAKA INŽENJERSKOGEOLOŠKOG PROFILA

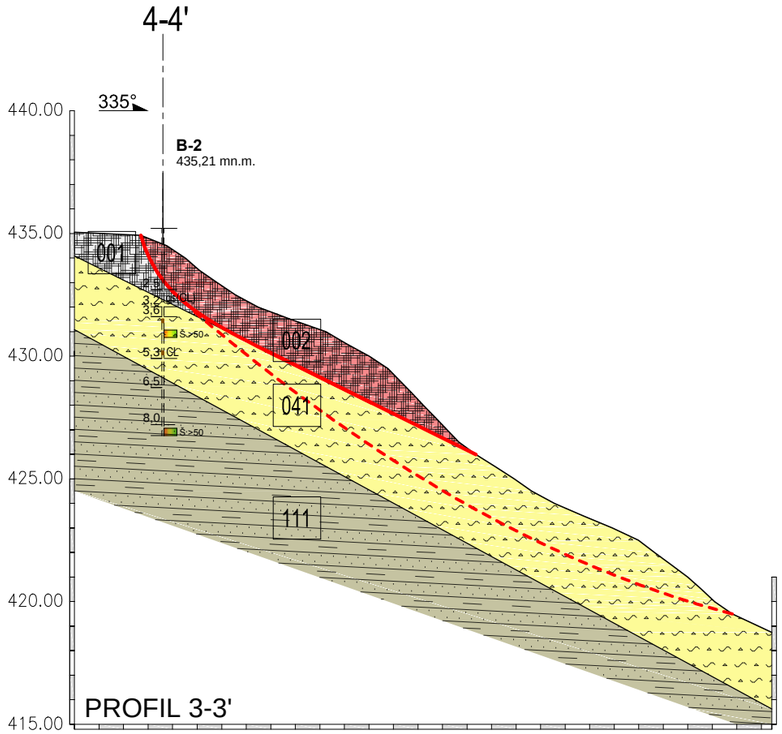
POVRŠINA TERENA PRIJE PRIVREMENE SANACIJE

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
Rudarsko-geološko-naftni faklutet
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo

DIPLOMSKI RAD

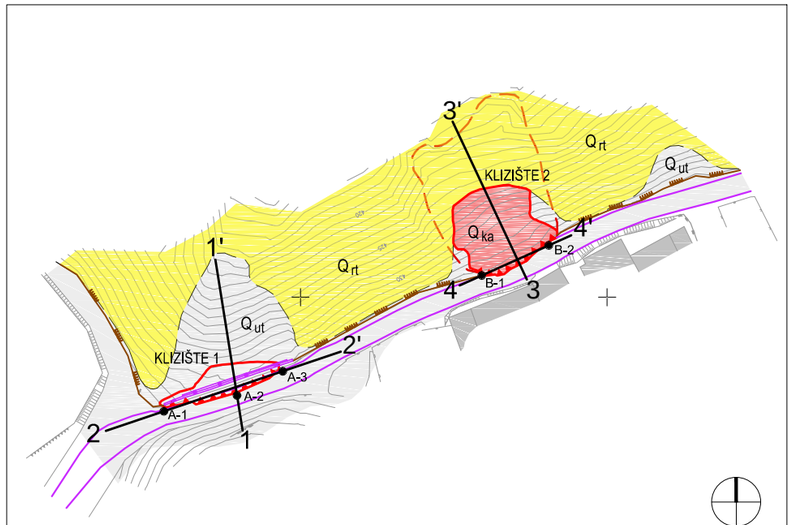
PROJEKT	SANACIJA KLIZIŠTA
LOKACIJA	KLIZIŠTA CERINA 1
VRSTA ISTRAŽIVANJA	INŽENJERSKOGEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA
SADRŽAJ PRILOGA	INŽENJERSKOGEOLOŠKI PROFILI 1-1' I 2-2'

PROJEKTANT	MENTOR	IZRADIO
Dr. Ž. ARBANAS, dipl.ing.aedif.	Dr. sc. S. MIHALIĆ ARBANAS	HRVOJE ŽIVKOVIĆ
DATUM studeni, 2015.	MJERILO 1:250	PRILOG BR. 3/1

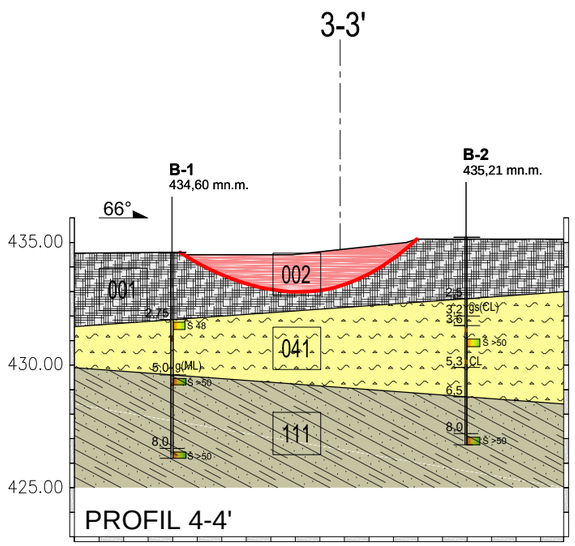


LEGENDA

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	CL, ML, GP	/
	TRANSPORTIRANO TLO: KOLUVIJALNE NASLAGE	Q_{ka}	002	KOLUVIJ AKTIVNOG KLIZIŠTA: nasip, sitnozrnasto tlo s odlomcima	CL, ML, GP	/
	REZIDUALNO TLO: POTPUNO TROŠNA STIJENA	Q_{rt}	041	INŽENJERSKO TLO: prah niske plastičnosti s odlomcima, glina niske plastičnosti s odlomcima	CL, CH, ML	32,0<wl<53,0; 17,0<wp<28,0; 15,0<I_p<25,0; SPP=39->50 Š
PODLOGA MATIČNA STIJENA	TROŠNA STIJENA: JAKO DO SREDNJE TROŠNA STIJENA	T_3	111	IZMJENA MEKE I TVRDE STIJENE: izmjena šejla i pješčenjaka mjestimično s blokovima dolomita, vapnenca i breče	/	29,0<wl<50,0; 17,0<wp<27,0; 11,0<I_p<26,0; SPP>50 Š



SITUACIJA, MJ 1:1.000



GRANICA INŽENJERSKOGEOLOŠKOG TIPA TLA

KLIZNA PLOHA

PRETPOSTAVLJENA KLIZNA PLOHA

B-1 OZNAKA BUŠOTINE

1-1' OZNAKA INŽENJERSKOGEOLOŠKOG PROFILA

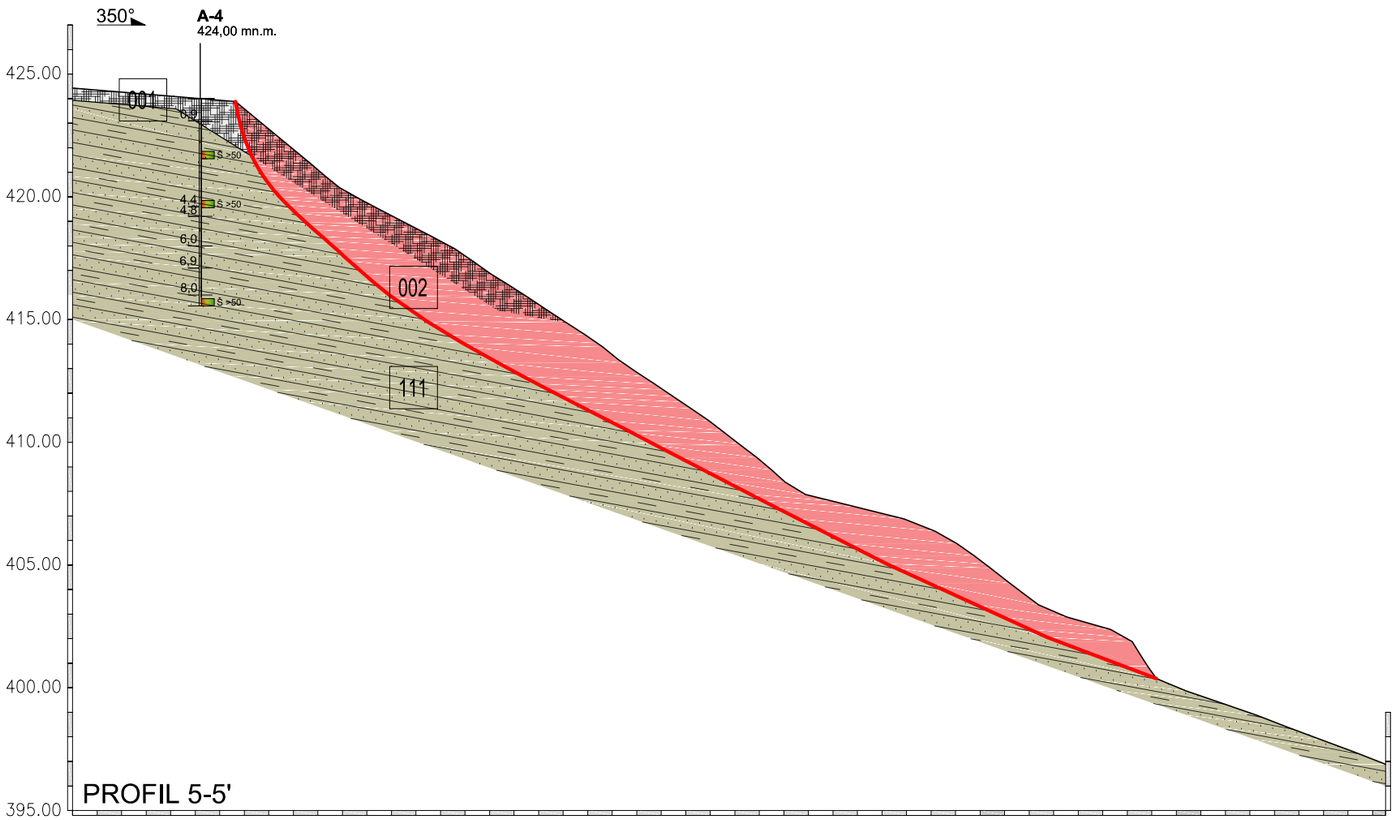
POVRŠINA TERENA PRIJE PRIVREMENE SANACIJE

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
Rudarsko-geološko-naftni faklutet
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo

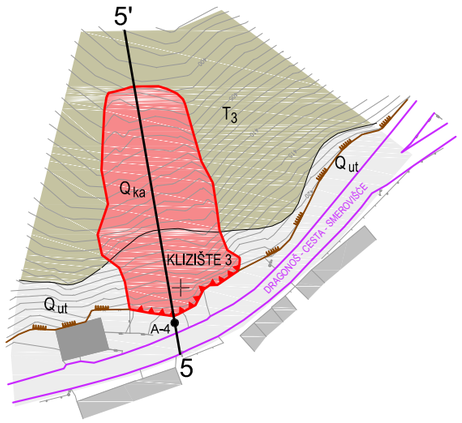
DIPLOMSKI RAD

PROJEKT	SANACIJA KLIZIŠTA
LOKACIJA	KLIZIŠTA CERINA 2
VRSTA ISTRAŽIVANJA	INŽENJERSKOGEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA
SADRŽAJ PRILOGA	INŽENJERSKOGEOLOŠKI PROFILI 3-3' I 4-4'

PROJEKTANT	MENTOR	IZRADIO
Dr. Ž. ARBANAS, dipl.ing.aedif.	Dr. sc. S. MIHALIĆ ARBANAS	HRVOJE ŽIVKOVIĆ
DATUM studeni, 2015.	MJERILO 1:250	PRILOG BR. 3/2



PROFIL 5-5'



SITUACIJA, MJ 1:1.000

GRANICA INŽENJERSKOGEOLOŠKOG TIPA TLA

KLIZNA PLOHA

PRETPOSTAVLJENA KLIZNA PLOHA

B-1 OZNAKA BUŠOTINE

1-1' OZNAKA INŽENJERSKOGEOLOŠKOG PROFILA

POVRŠINA TERENA PRIJE PRIVREMENE SANACIJE

LEGENDA

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	CL, ML, GP	/
	TRANSPORTIRANO TLO: KOLUVIJALNE NASLAGE	Q_{ka}	002	KOLUVIJ AKTIVNOG KLIZIŠTA: nasip, sitnozrnasto tlo s odlomcima	CL, ML, GP	/
	REZIDUALNO TLO: POTPUNO TROŠNA STIJENA	Q_{rt}	041	INŽENJERSKO TLO: prah niske plastičnosti s odlomcima, glina niske plastičnosti s odlomcima	CL, CH, ML	32,0<wl<53,0; 17,0<wp<28,0; 15,0<I_p<25,0; SPP=39->50 Š
PODLOGA MATIČNA STIJENA	TROŠNA STIJENA: JAKO DO SREDNJE TROŠNA STIJENA	T_3	111	IZMJENA MEKE I TVRDE STIJENE: izmjena šejla i pješčenjaka mjestimično s blokovima dolomita, vapnenca i breče	/	29,0<wl<50,0; 17,0<wp<27,0; 11,0<I_p<26,0; SPP>50 Š

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
Rudarsko-geološko-naftni faklutet
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo

DIPLOMSKI RAD

PROJEKT	SANACIJA KLIZIŠTA
LOKACIJA	KLIZIŠTA CERINA 3
VRSTA ISTRAŽIVANJA	INŽENJERSKOGEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA
SADRŽAJ PRILOGA	INŽENJERSKOGEOLOŠKI PROFILI 5-5'

PROJEKTANT	MENTOR	IZRADIO
Dr. Ž. ARBANAS, dipl.ing.aedif.	Dr. sc. S. MIHALIĆ ARBANAS	HRVOJE ŽIVKOVIĆ
DATUM studeni, 2015.	MJERILO 1:250	PRILOG BR. 3/3