Inženjerskogeološki model klizišta Trstenik (Grad Zagreb)

Bagarić, Josip

Master's thesis / Diplomski rad

2018

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:169:655003

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

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







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Diplomski studij geološkog inženjerstva

INŽENJERSKOGEOLOŠKI MODEL KLIZIŠTA TRSTENIK (GRAD ZAGREB)

Diplomski rad

Josip Bagarić

GI294

Zagreb, 2018.

Sveučilište u Zagrebu Diplomski rad

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

INŽENJERSKOGEOLOŠKI MODEL KLIZIŠTA TRSTENIK (GRAD ZAGREB)

JOSIP BAGARIĆ

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo

Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

Zadatak diplomskog rada bila je interpretacija inženjerskogeološkog modela klizišta Trstenik te analiza uzroka koji su doveli do njegove aktivacije. Inženjerskogeološki model interpretiran je isključivo na temelju podataka inženjerskogeološkog kartiranja. Klizište Trstenik je translacijsko klizište, ukupne duljine 250 m, širine 70 m i interpretirane dubine od 5,5 m. Determinacijom i interpretacijom materijala na izdancima je utvrđeno da istraživanu lokaciju izgrađuju srednje trošni tortonski lapori u podlozi te trošni lapori i koluvijalne naslage na površini. Obzirom na vrste materijala i položaj slojevitosti pretpostavljeno je da je do klizanja došlo na granici srednje trošnih i trošnih lapora. Analiza uzroka klizanja provedena je na podacima o oborinama s meteoroloških stanica Čučerje, Kašina i Zagreb-Rim. Klizište je aktivirano 13.02.2014. Analizom su obuhvaćene mjesečne oborine, koje su za siječanj 2014. iznosile od 22 do 36% više od prosjeka, a za veljaču od 148 do 171% više od prosjeka. Analizom su obuhvaćene i prethodne oborine, koje su uspoređene s regionalnim graničnim vrijednostima.

Ključne riječi: inženjerskogeološki model, inženjerskogeološko kartiranje, klizište, Trstenik, lapor, oborina

Diplomski rad sadrži: 42 stranice, 7 tablica, 25 slika, 3 priloga i 29 referenci

Jezik izvornik: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Voditelj: Doc. dr. sc. Martin Krkač, UNIZG-RGNF

Ocjenjivači: Doc. dr. sc. Martin Krkač, UNIZG-RGNF

Prof. dr. sc. Snježana Mihalić Arbanas, UNIZG-RGNF

Prof. dr. sc. Željko Arbanas, UNIRI-GF

Datum obrane: 14. rujna 2018

University of Zagreb Master's Thesis

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

ENGINEERING GEOLOGICAL MODEL OF THE TRSTENIK LANDSLIDE (CITY OF ZAGREB)

JOSIP BAGARIĆ

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

The aim of the thesis was the interpretation of the Trstenik landslide engineering geological model, as well as the analysis of its causes. The engineering geological model is interpreted on the basis of engineering geological mapping. Trstenik landslide is a translational landside with a total length of 250 m, width of 70 m, and interpreted depth of 5.5 m. Determination and interpretation of the material on the outcrops showed different types of engineering geological units, medium weathered tortonian marl in the substrate and weathered marl and colluvial on the surface. Given the type of the material and the bedding orientation, it was assumed that sliding occurred at the boundary of medium weathered and weathered marl. The analysis of the cause of the landslide was carried out on the precipitation data from the meteorological stations of Čučerje, Kašina and Zagreb-Rim. The landslide was activated on 13th February 2014. The analysis showed that monthly precipitation in January 2014 was 22 to 36% higher than the average, while in February it was 148 to 171% higher than the average. The analysis also include previous precipitation which are compared with regional boundary values.

Keywords: engineering geological model, engineering geological mapping, landslide, Trstenik, marl, precipitation

Thesis contains: 42 pages, 7 tables, 25 figures, 3 enclosures and 29 references

Original in: Croatian

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

Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Supervisor: PhD Martin Krkač, Assistant Professor UNIZG-RGNF

Reviewers: PhD Martin Krkač, Assistant Professor UNIZG-RGNF

PhD Snježana Mihalić Arbanas, Full Professor UNIZG-RGNF

PhD Željko Arbanas, Full Professor UNIRI-GF

Date of defense: September 14th, 2018

SADRŽAJ

POPIS SLIKA ---------- II

POPIS TABLICA ---------- IV

POPIS PRILOGA ---------- V

1. UVOD 1

2. PRIRODNE ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOGA TERENA 2

2.1. Geografske i geomorfološke značajke 2

2.2. Geološka građa 3

2.3. Seizmičke značajke 6

2.4. Hidrološke i hidrogeološke značajke 8

3. TEORIJSKE OSNOVE 11

4. METODE INŽENJERSKOGEOLOŠKIH ISTRAŽIVANJA I REZULATI 19

4.1. Detaljno inženjerskogeološko kartiranje 20

4.2 Analiza oborina 25

5. INTERPRETACIJA INŽENJERSKOGEOLOŠKOG MODELA KLIZIŠTA 30

5.1. Značajke klizišta 30

5.2. Inženjerskogeološke jedinice 31

6. DISKUSIJA 37

7. ZAKLJUČAK 39

8. LITERATURA 40

POPIS SLIKA

Slika 2.1. Prikaz položaja klizišta Trstenik na digitalnom ortofoto snimku iz 2011. godine unutar granica Grada Zagreba (www.dgu.hr) 2
Slika 2.2. Isječak iz Osnovne geološke karte SFRJ – List Ivanić Grad originalnog mjerila M 1:100.000 (BASCH, 1981) s prikazom položaj klizišta Trstenik (crveni poligon) 4
Slika 2.3. Pogled na profil lapora na klizištu Trstenik (fotografirano 12. travnja 2018) 5
Slika 2.4. Karta poredbenih vršnih ubrzanja temeljnog tla a_{gR} (temeljno tlo tipa A): (a) s vrijednosti premašaja 10% u 10 godina za poredbeno povratno razdoblje TN_{CR} = 95 godina, (b) s vrijednosti premašaja 10% u 50 godina za poredbeno povratno razdoblje TN_{CR} = 475 godina (HERAK i dr. 2012) 7
Slika 2.5. Prikaz položaj meteoroloških stanica Čučerje, Kašina i Zagreb-Rim na digitalnom ortofoto snimku iz 2011. godine unutar granica Grada Zagreba (www.dgu.hr), crvena točka na karti označava klizište Trstenik 8
Slika 2.6. Prikaz i usporedba minimalnih, prosječnih i maksimalnih oborina za sve tri meteorološke stanice 9
Slika 2.7. Pojava vlaženja na terenu (fotografirano 31. ožujka 2017) 10
Slika 3.1. Osnovni tipovi klizanja (CRUDEN i VERNES, 1996) 11
Slika 3.2. Shematizirani prikaz translacijskog klizišta (www.wsgs.wyo.gov) 12
Slika 3.3. Dijelovi klizišta (WP/WLI, 1993) 13
Slika 3.4. Primjer promjena faktora sigurnosti s vremenom (WP/WLI, 1995) 16
Slika 3.5. Uzročnici klizanja (MIHALIĆ, 2007) 17
Slika 3.6. Grafički prikaz regionalnih graničnih vrijednosti koje su definirali CAINE (1980), CLARIZIA i dr. (1996), GUZZETTI i dr. (2007) i GUZZETTI i dr. (2008) 18
Slika 4.1. Pogled na čeonu pukotinu klizišta i otvorenu kliznu plohu (fotografirano 12. travnja 2018) 21
Slika 4.2. Stopa klizišta (fotografirano 12. travnja 2018) 22
Slika 4.3. Pogled na dio klizišta na kojem se nalazi dezintegrirana masa (fotografirano 12. travnja 2018) 23
Slika 4.4. Otvorena pukotina (fotografirano 12. travnja 2018) 23
Slika 4.5. Najahivanje (fotografirano 12. travnja 2018) 24
Slika 4.6. Jaruga (fotografirano 12. travnja 2018) 24

Slika 4.7. Usporedba prosječnih mjesečnih oborina za razdoblje od siječnja 1981. godine do prosinca 2017. godine s oborinama iz 2014. godine za meteorološke stanice Čučerje, Kašina i Zagreb-Rim 26
Slika 4.8. Grafički prikaz dnevnih i kumulativnih oborina za meteorološku stanicu Čučerje za razdoblje od 1. siječnja do 28. veljače 2014. godine. Oborina označena crvenom bojom označava dan aktiviranja klizišta Trstenik..... 27
Slika 4.9. Grafički prikaz dnevnih i kumulativnih oborina za meteorološku stanicu Kašina za razdoblje od 1. siječnja do 28. veljače 2014. godine. Oborina označena crvenom bojom označava dan aktiviranja klizišta Trstenik..... 27
Slika 4.10. Grafički prikaz dnevnih i kumulativnih oborina za meteorološku stanicu Zagreb-Rim za razdoblje od 1. siječnja do 28. veljače 2014. godine. Oborina označena crvenom bojom označava dan aktiviranja klizišta Trstenik 28
Slika 4.11. Grafički prikaz regionalnih graničnih vrijednosti koje su definirali CAINE (1980), CLARIZIA i dr. (1996), GUZZETTI i dr. (2007) i GUZZETTI i dr. (2008). Označene točke su analizirane oborine s meteoroloških stanica Čučerje, Kašina i Zagreb-Rim za različite oborinske događaje..... 29
Slika 5.1. Pogled na opisivani izdanak (fotografirano 12. travnja 2018) 35

POPIS TABLICA

Tablica 2.1. Inženjerskogeološke jedinice prikazane obzirom na genezu, poredane od najmlađih prema najstarijim 5
Tablica 3.1. Terminologija za opis stanja aktivnosti klizišta (WP/WLI, 1993) 14
Tablica 3.2. Terminologija za opis distribucije aktivnosti klizanja (WP/WLI, 1993) 14
Tablica 3.3. Terminologija za opis stilova aktivnosti klizanja (WP/WLI, 1993)..... 14
Tablica 5.1. Terminologija za opis inženjerskog tla prema preporukama USBR (2001) ... 32
Tablica 5.2. Terminologija za opis stijene prema preporukama USBR (2001) 33
Tablica 5.3. Inženjerskogeološke jedinice na klizištu Trstenik..... 34

POPIS PRILOGA

PRILOG 1	Inženjerskogeološka karta M 1:500
PRILOG 2	Inženjerskogeološki profil M 1:500, uzdužni presjek klizišta 1–1'
PRILOG 3	Inženjerskogeološki profili M 1:500, poprečni presjek klizišta 2–2' i poprečni presjek klizišta 3–3'

1. UVOD

Klizanje je kretanje mase stijena ili tla niz padinu pod utjecajem gravitacije (CRUDEN, 1991) i obuhvaća pokrete na padini neovisno o mehanizmu pokreta (VERNES, 1984). Procesom klizanja nastaje geomorfološka pojava koja se naziva klizištem. Klizišta mogu prouzrokovati značajne štete te samim time predstavljaju veliku opasnost kako za ljudske živote, tako i za materijalna dobra.

U ovom diplomskom radu opisano je istraživanje klizišta Trstenik u Gradu Zagrebu. Istraživanje je obuhvatilo inženjerskogeološko kartiranje terena te analizu oborina koje su uzrokovale klizište. Inženjerskogeološko kartiranje terena provedeno 12. travnja 2018. godine, sa svrhom izrade detaljne inženjerskogeološke karte klizišta. Na temelju rezultata kartiranja interpretiran je inženjerskogeološki model klizišta. Budući da na klizištu nisu napravljene istraživačke bušotine, niti je provedeno bilo kakvo drugo istraživanje podzemlja, debljine i vrste naslaga u podzemlju su pretpostavljene. Prilikom istraživanja analizirane su i oborine s meteoroloških stanica Čučerje, Kašina i Zagreb-Rim u svrhu analize uzroka klizanja.

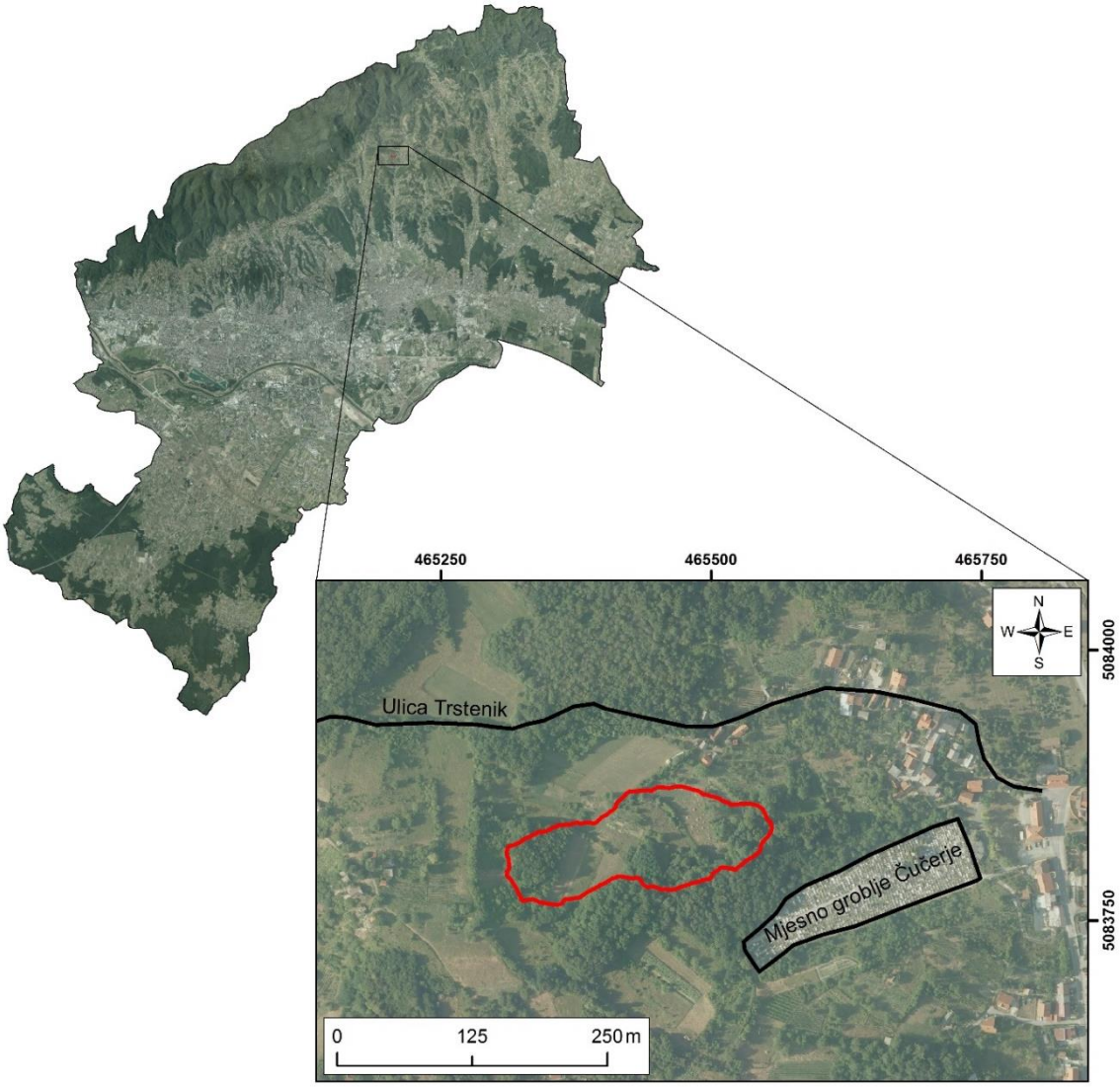
Klizište Trstenik aktivirano je 13. veljače 2014. na nenaseljenom dijelu padine, u naselju Čučerje. Uzrok klizanja je intenzivna oborina, koja je u razdoblju kada je aktivirano klizište bila vrlo obilna. Općenito, razdoblje od početka 2013. godine do rujna 2014. godine u Gradu Zagrebu predstavlja vrlo vlažno razdoblje, tijekom kojega je zabilježeno 170 slučajeva aktiviranja klizišta (www.tportal.hr).

Na temelju inženjerskogeološkog istraživanja, klizište Trstenik interpretirano je kao blokovsko, translacijsko klizište. Ovaj tip klizišta tipičan je za područja izgrađena od stijena s izraženom slojevitošću te se na području Grada Zagreba pojavljuje vrlo rijetko. Primjer sličnog klizišta je klizište Brus u Istri, aktivirano 2005. godine u flišu. Maksimalni pomak klizišta Trstenik iznosio je oko 60 metara pri čemu je nakon klizanja ostala otkrivena klizna ploha. Ukupna površina klizišta iznosi oko 17.100 m^2, dok maksimalna interpretirana dubina iznosi oko 5,5 metara.

2. PRIRODNE ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOGA TERENA

2.1. Geografske i geomorfološke značajke

Naselje Čučerje u kojem se nalazi istraživano klizište Trstenik nalazi se na sjeveroistočnom dijelu Grada Zagreba, u gradskoj četvrti Gornja Dubrava (slika 2.1). Površina naselja je oko 10,39 km^2. Prema zadnjem popisu stanovništva iz 2011.godine naselje je imalo 2.542 stanovnika (www.zagreb.hr). Naselje Čučerje nalazi se u dolini istoimenog potoka.



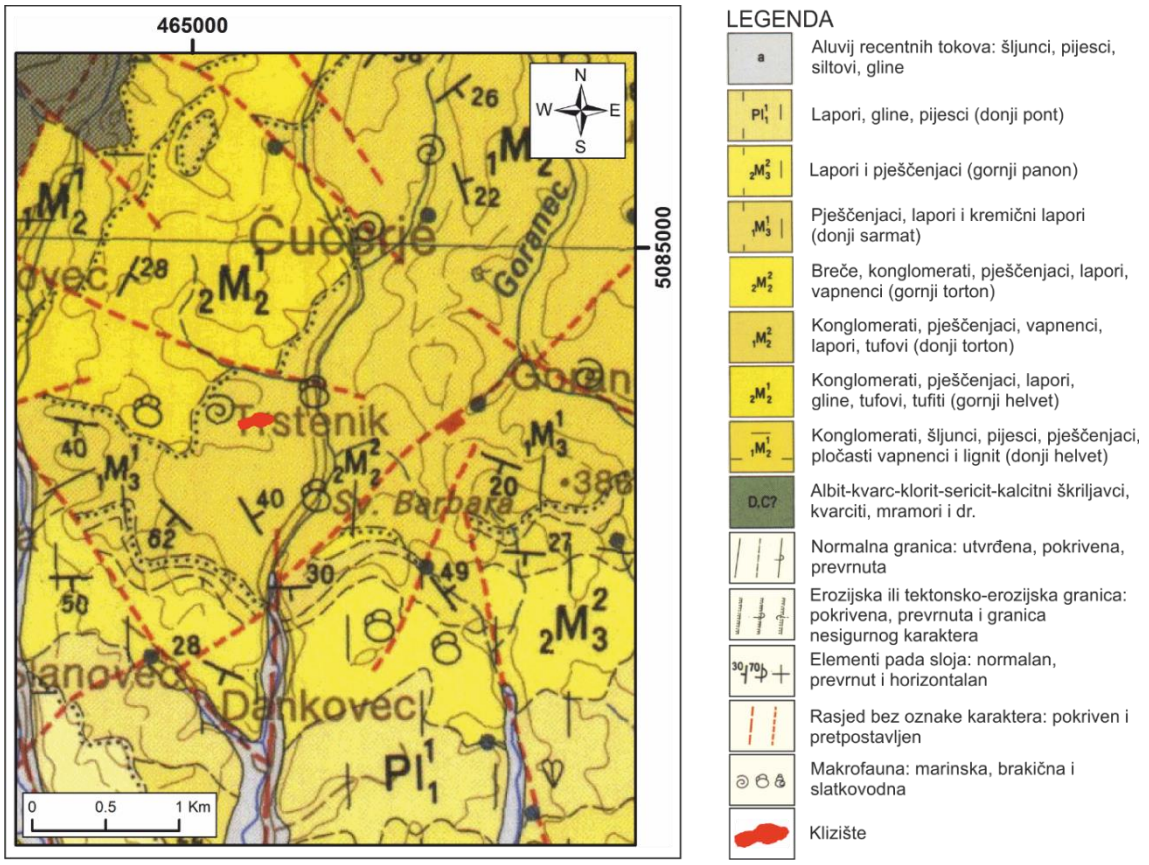
Slika 2.1. Prikaz položaja klizišta Trstenik na digitalnom ortofoto snimku iz 2011. godine unutar granica Grada Zagreba (www.dgu.hr)

Padina na kojoj se nalazi klizište smještena je južno od ulice Trstenik na udaljenosti od oko 80 metara te 60 metara sjeverozapadno od mjesnog groblja Čučerje. Promatrana padina nagnuta je prema istoku s nagibom od 12° do 23°. Ukupna duljina promatrane padine iznosi oko 700 metara, a relativna visinska razlika između vrha i dna padine iznosi oko 125 metara, pri čemu se dno padine nalazi na nadmorskoj visini od 221 m n. m.. Klizište je nastalo na središnjem dijelu padine, na nadmorskoj visini od 322 m n. m. do 263 m n. m.. Prosječni nagib terena na dijelu padine na kojem je nastalo klizište iznosi oko 16°. Na dijelu padine na kojem je nastalo klizište nalazi se šuma i livada te nema izgrađenih objekata, tek se na udaljenosti od oko 30 metara sjeverno od stope klizišta nalaze dvije obiteljske kuće koje nisu nastradale.

2.2. Geološka građa

Uvidom u Osnovnu geološku kartu SFRJ – list Ivanić Grad M 1:100.000 (BASCH, 1981) vidljivo je da šire područje istraživanja pretežito izgrađuju pješčenjaci i lapori miocenske starosti (slika 2.2). Strukturno–geološka građa šireg područja istraživanoga terena je složena uslijed brojnih rasjedanja tijekom geološke prošlosti. Rasjedi na ovom dijelu terena su prikazani bez oznake karaktera te su uglavnom pretpostavljeni jer se nisu mogli sa sigurnošću utvrditi. Teren je ispresijecan rasjedima koje možemo podijeliti u dva seta, jedan set rasjeda se pruža u smjeru SI–JZ, dok se drugi set rasjeda pruža u smjeru SZ–JI. Upravo zbog ovakve strukturno–geološke građe terena moguće je pretpostaviti jaču raspucanost terena.

Dio terena na kojem se pojavilo klizište izgrađen je od donjetortonskih naslaga koji su transgresivno istaloženi na sedimentima gornjeg helveta. Prema BASCH (1983) donjetortonski sedimenti, u svom sastavu za razliku od helvetski sedimenata, sadrže značajnu količinu karbonatne komponente, to je karakteristika koja se zadržava i kasnije u vrijeme taloženja gornjetortonskih naslaga. U slijedu donjetortonskih sedimenata međusobno se bočno i vertikalno izmjenjuju konglomerati, vapnenački pješčenjaci, vapnenci, laporoviti vapnenci, lapori i tufiti.



Slika 2.2. Isječak iz Osnovne geološke karte SFRJ – List Ivanić Grad originalnog mjerila M 1:100.000 (BASCH, 1981) s prikazom položaj klizišta Trstenik (crveni poligon)

Najzastupljeniji član donjetortonskih naslaga su različiti lapori, unutar kojih se, u odnosu na sadržaj karbonatne komponente, mogu pratiti prijelazi od lapora, vapnenačkih lapora i laporovitih vapnenaca sve do vapnenaca. To su sitnozrnate, neuslojene ili mjestimično centimetarski do decimetarski uslojene stijene, žućkaste ili svijetlosive boje, koje mjestimično postupno prelaze u krupnozrnije biokalkarenite. U pojedinim dijelovima lapori su pjeskoviti.

Na području klizišta Trstenik načinjena je i podjela inženjerskogeoloških jedinica. Matična stijena je izgrađena od donjotortonskih naslaga, izgrađenih od lapora srednje trošnosti i srednje čvrstoće ($_1M_2^2$), dok su površinske naslage izgrađene od trošnih naslaga donjeg tortona ($_1M_2^2$) te koluvijalnih naslaga trenutačno neaktivnog klizišta. Koluvijalne naslage dijele se na dva dijela. U gornjem dijelu klizišta nalaze se koluvijalne naslage koje predstavljaju blokovite trošne naslage donjeg tortona (Q_{k1}) koje su klizanjem u većoj mjeri ostale neporemećene, dok se u donjem dijelu klizišta nalaze koluvijalne naslage koje

predstavljaju potpuno dezintegrirane, uslijed procesa klizanja, trošne naslage donjeg tortona (Q_{k2}).

Tablica 2.1. Inženjerskogeološke jedinice prikazane obzirom na genezu, poredane od najmlađih prema najstarijim

GENEZA/STRATIGRAFSKA OZNAKA			INJŽENJERSKOGEOLOŠKI TIP
POVRŠINSKE NASLAGE	Transportirane naslage: koluvijalne naslage (Q_{k1})	Inženjersko tlo	Blokoviti trošni lapori u izmjeni s prahovima niske plastičnosti
	Transportirane naslage: koluvijalne naslage (Q_{k2})		Dezintegrirani trošni lapori u izmjeni s prahovima niske plastičnosti
	Trošne naslage: tortonske naslage ($_1M_2^2$)		Trošni lapori u izmjeni s prahovima niske plastičnosti
MATIČNA STIJENA	Srednje trošne naslage: tortonske naslage ($_1M_2^2$)	Čvrsto tlo/meka stijena	Lapori, srednje trošnosti i srednje čvrstoće

Otvoreni presjek, izdanak lapora na klizištu Trstenik prikazan je na slici 2.3. Na slici se vidi izmjena trošnih lapora u izmjeni s prahovima i laporima srednje trošnosti. Lapori u izmjeni s prahovima tamnije su boje, dok su srednje trošni lapori svjetlije boje.



Slika 2.3. Pogled na profil lapora na klizištu Trstenik (fotografirano 12. travnja 2018)

2.3. Seizmičke značajke

Na području Grada Zagreba seizmička aktivnost je pojačana, što je posljedica intenzivnih tektonskih pokreta u području planina Žumberak i Medvednice. Na slici 2.4 prikazan je isječak karte potresnih područja Republike Hrvatske izrađena u mjerilu 1:800.000 (HERAK i dr. 2012) s označenom lokacijom klizišta Trstenik.

Vrijednosti 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 istraživano klizište prikazani su na slici 2.4a. Vjerojatnosti premašaja 10% u 50 godina za poredbeno povratno razdoblje TN_{CR} = 475 godina prikazani su na slici 2.4b.

Vrijednosti poredbenih vršnih ubrzanja izražene su u jedinicama gravitacijskog ubrzanja, g (g = 9,81 m/s^2). Iznosi poredbenih vršnih ubrzanja na karti prikazani su izolinijama s rezolucijom 0,02 g. Numerički navedene vrijednosti odnose se na prostor između dvije susjedne izolinije.

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

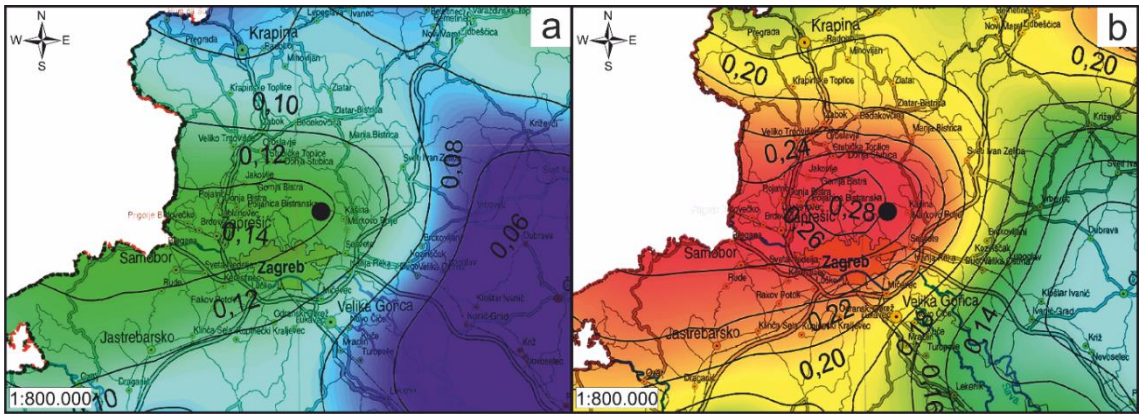
Vrijednost a_g projektnog ubrzanja u tlu razreda A dana je izrazom:

$$a_g = a_{gR} \cdot \gamma_I \qquad (2\text{-}1)$$

gdje je:

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

γ_I – faktor važnosti građevine čije su vrijednosti dane u HRN EN 1998-1:2011 (HZN, 2011) i kreću se od 1,40 za građevine bi funkcioniranje neposredno nakon potresa bilo od vitalne važnosti (bolnice, vatrogasne postaje, energetska postrojenja i dr.) do 0,80 za građevine malog utjecaja na javnu sigurnost.



Slika 2.4. Karta poredbenih vršnih ubrzanja temeljnog tla a_{gR} (temeljno tlo tipa A): (a) s vrijednosti premašaja 10% u 10 godina za poredbeno povratno razdoblje TN_{CR} = 95 godina, (b) s vrijednosti premašaja 10% u 50 godina za poredbeno povratno razdoblje TN_{CR} = 475 godina (HERAK i dr. 2012)

Na temelju karte poredbenih vršnih ubrzanja temeljnog tla a_{gR} za poredbeno povratno razdoblje TN_{CR} = 95 godina, usvaja se vrijednost poredbenog maksimalnog ubrzanja u tlu razreda A od a_{gR} = 0,14 g, a za poredbeno povratno razdoblje TN_{CR} = 475 godina, usvaja se vrijednost poredbenog maksimalnog ubrzanja u tlu razreda A od a_{gR} = 0,26 g.

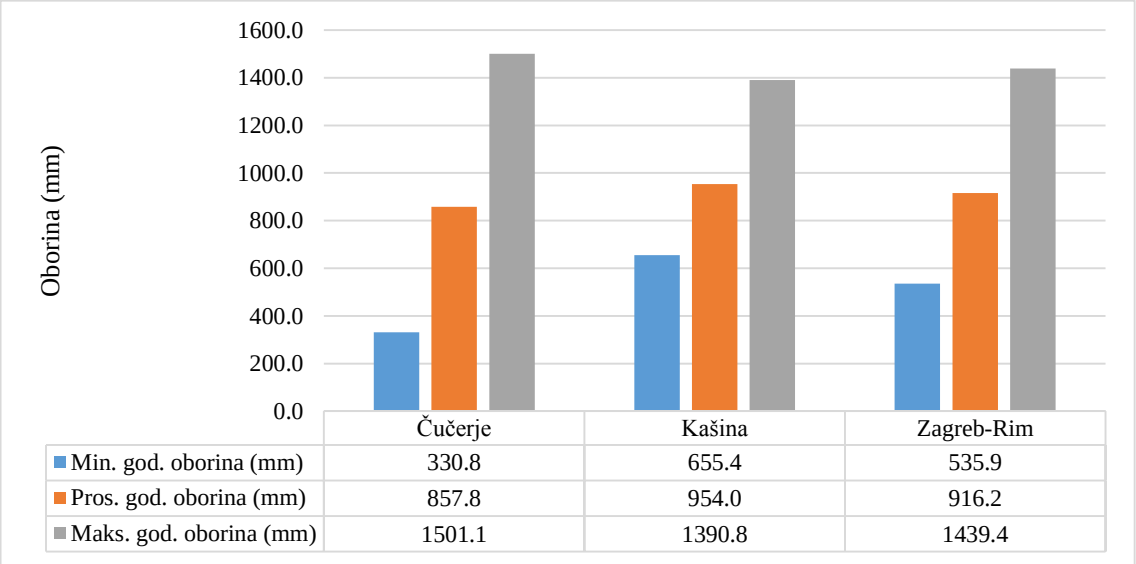
2.4. Hidrološke i hidrogeološke značajke

Hidrološka svojstva na istraživanoj lokaciji određena su na temelju podataka s triju meteoroških stanica, meteoroloških stanica Čučerje, Kašina i Zagreb-Rim. Ove tri meteorološke stanice odabrane su zato što se nalaze na relativno maloj zračnoj udaljenosti od samog klizišta (slika 2.5) te na sličnoj nadmorskoj visini, u podsljemenskoj zoni, iz čega se može zaključiti da su morfološki uvjeti na terenu na kojem se nalaze vrlo slični. Iz svega navedenog dolazimo do zaključka da su u vrijeme aktiviranja klizišta na sve tri stanice vladali slični meteorološki uvjeti.



Slika 2.5. Prikaz položaj meteoroloških stanica Čučerje, Kašina i Zagreb-Rim na digitalnom ortofoto snimku iz 2011. godine unutar granica Grada Zagreba (www.dgu.hr), crvena točka na karti označava klizište Trstenik

Na slici 2.6. prikazana je usporedba minimalnih, prosječnih i srednjih godišnjih oborina za razdoblje od siječnja 1981. godine do prosinca 2017. godine za sve tri meteorološke stanice. Na svim meteorološkim stanicama vladali su slični uvjeti, te je na svim trima stanicama 2014. godina zabilježena kao godina s najvećom količinom oborina. Sivi stupac na slici 2.6 označava maksimalnu godišnju oborinu, koja je za od 45,79 do 74,99% veća od prosječne.



	Čučerje	Kašina	Zagreb-Rim
Min. god. oborina (mm)	330.8	655.4	535.9
Pros. god. oborina (mm)	857.8	954.0	916.2
Maks. god. oborina (mm)	1501.1	1390.8	1439.4

Slika 2.6. Prikaz i usporedba minimalnih, prosječnih i maksimalnih oborina za sve tri meteorološke stanice

Općenito razdoblje u kojem pada najveća količina kiše na području Grada Zagreba je ljeto. U ljetnim mjesecima, srpnju i rujnu, prosječno padne najveća količina kiše, što je bio slučaj i u 2014. godini. No velika je razlika ukoliko velike količine kiše padnu u ljetnim mjesecima i u zimskim mjesecima. Velike količine kiše koje padnu u zimskim mjesecima imaju veći utjecaj na razvoj klizišta, kao što je bio slučaj i te 2014. godine kada je aktivirano klizište Trstenik.

Cijeli istraživani teren kao što je vidljivo na isječku geološke karte (slika 2.2) izgrađen je od lapora. Lapori su općenito materijali slabe propusnosti, stoga je nakon obilnih kiša moguće zadržavanje vode na površini terena i površinsko otjecanje. Ukoliko na terenu postoje pukotine moguće i procjeđivanje vode dublje u podzemlje. Tijekom detaljnog inženjerskogeološkog kartiranja klizišta uočena je pojava vlaženje na pojedinim dijelovima klizišta (slika 2.7) te pojava površinskog toka uz desni bok klizišta.



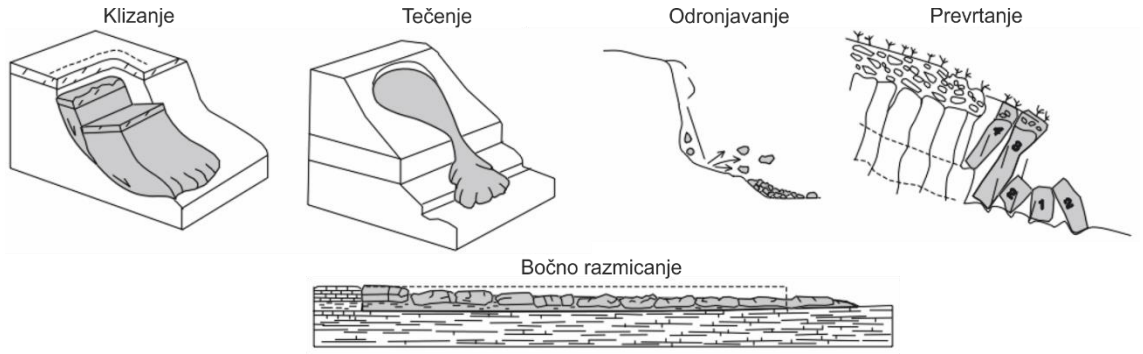
Slika 2.7. Pojava vlaženja na terenu (fotografirano 31. ožujka 2017)

3. TEORIJSKE OSNOVE

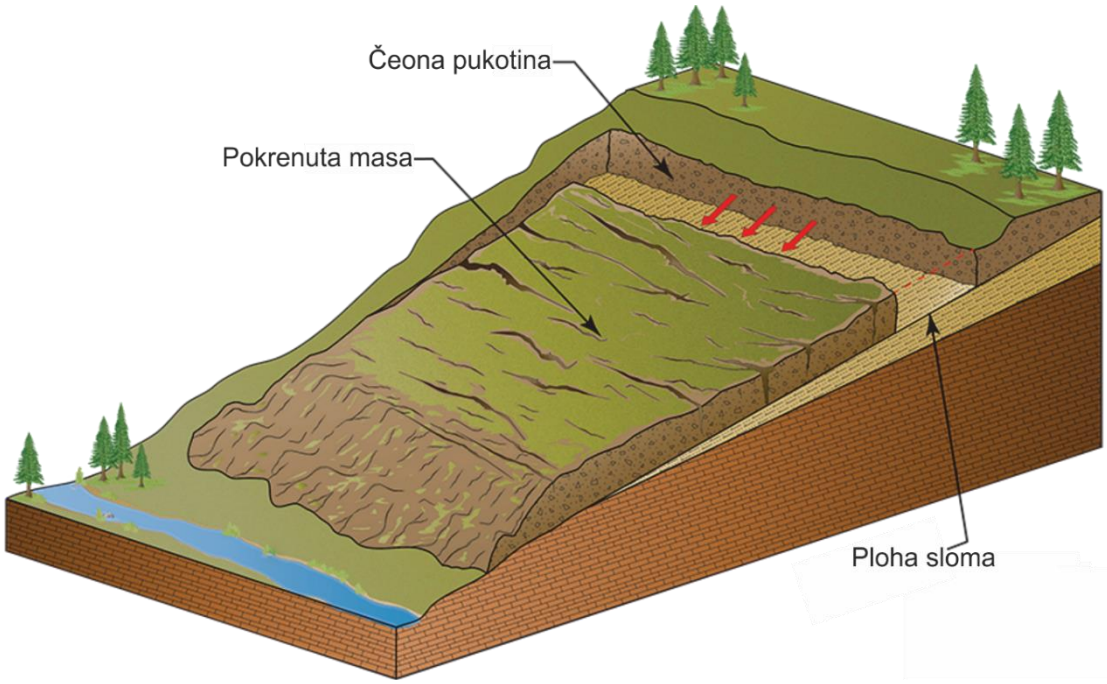
Nestabilnosti padina te njihovo klizanje prirodna su pojava koja ima veliki značaj u oblikovanju reljefa. Kako bi se na vrijeme uočila potencijalna opasnost od nastanka klizišta potrebna su brojna istraživanja. U procesu istraživanja klizišta sudjeluje velik broj stručnjaka iz različitih znanstvenih disciplina.

Najčešći aktivni geomorfološki procesi koji se pojavljuju na padinama su klizanja tla ili stijena. Pojave nastale procesima klizanja nazivamo klizištima. Pojava klizišta na nekom području uvjetovana je s mnogo faktora kao što su: geološka građa (litološki sastav, slojevitost, prisutnost pukotina i dr.), geomorfološka građa terena (nagib padine), hidrogeološki uvjeti (razina podzemne vode), meteorološki uvjeti (količina padalina), antropogenih utjecaja (zasjecanje nožice padine, natapanje zemljišta, sječa šuma i dr.).

Pod terminom klizišta razlikujemo pet osnovnih tipova pokreta mase stijena ili tla niz padinu, a to su klizanje, tečenje, odronjavanje, prevrtanje i bočno razmicanje (slika 3.1). Klizna ploha za mehanizam klizanja može biti kao što je prikazano na slici 3.1 rotacijska, ili kao što je prikazano na slici 3.2 translacijska.



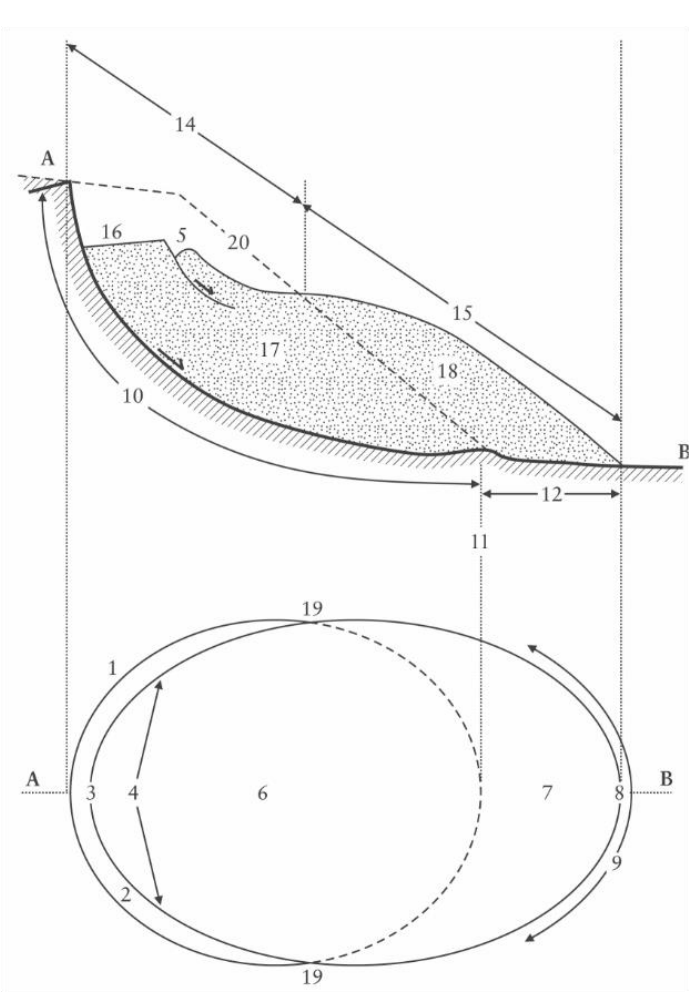
Slika 3.1. Osnovni tipovi klizanja (CRUDEN i VERNES, 1996)



Slika 3.2. Shematizirani prikaz translacijskog klizišta (www.wsgs.wyo.gov)

Prilikom opisa modela klizišta potrebno je definirati značajke stijena ili tla, što uključuje vrstu stijena, strukturno–geološke značajke, trošnost i raspucanost stijenske mase, hidrogeološke te geomorfološke uvjete na padini. Prilikom opisa klizišta potrebno je opisati vidljive dijelove klizišta, koji su utvrđeni prilikom terenskog istraživanja klizišta te utvrditi dimenzije klizišta (slika 3.3). Pri određivanju 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).

Inženjerskogeološkim istraživanjem klizišta nastoje se utvrditi uvjeti u podzemlju i njihove značajke na lokacijama istraživačkih radova te se ti podaci kasnije koriste prilikom izrade inženjeskogeoloških profila klizišta. Na temelju inženjerskogeoloških profila rade se analize stabilnosti kosina prilikom projekta sanacije klizišta.



1 - Kruna (čelo) klizišta
2 - Glavna pukotina
3 - Vrh klizišta
4 - Prednja strana klizišta
5 - Sekundarne škrape
6 - Glavno tijelo klizišta
7 - Stopa 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 terena

Slika 3.3. Dijelovi klizišta (WP/WLI, 1993)

Pod pojmom aktivnosti klizišta nalazi se vrlo široki pojam koji obuhvaća stanje aktivnosti, koje opisuje vrijeme kretanja (tablica 3.1), distribuciju aktivnosti, koja opisuje smjer kretanja klizišta (tablica 3.2) te stil aktivnosti, koji ukazuje na tip ili kombinaciju tipova kretanja (tablica 3.3) prema njihovu mehanizmu (WP/WLI, 1993).

Tablica 3.1. Terminologija za opis stanja aktivnosti klizišta (WP/WLI, 1993)

R. BR.	NAZIV	DEFINICIJA
1.	Aktivno	Klizište u pokretu
2.	Trenutačno neaktivno	Klizište koje se kretalo u posljednjih 12 mjeseci, ali se trenutno ne kreće
3.	Reaktivirano	Aktivno klizište koje je prije bilo neaktivno
4.	Neaktivno	Klizište koje se nije pokrenulo posljednjih 12 mjeseci. Neaktivno klizišta se dijele na umirena, trajno umirena, stabilizirana i reliktna
5.	Privremeno umireno	Neaktivno klizište koje se može reaktivirati zbog istih ili nekih drugih uzroka
6.	Trajno umireno	Neaktivno klizište koje više nije pod utjecajem uzroka klizanja
7.	Stabilizirano	Neaktivno klizište zaštićeno mjerama sanacije
8.	Reliktno	Neaktivno klizište koje je bilo aktivno u klimatskim i geomorfološkim uvjetima koji više ne vladaju

Tablica 3.2. Terminologija za opis distribucije aktivnosti klizanja (WP/WLI, 1993)

R. 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 3.3. Terminologija za opis stilova aktivnosti klizanja (WP/WLI, 1993)

R. BR.	NAZIV	DEFINICIJA
1.	Kompleksno	Sastoji se od najmanje dva tipa kretanja koja se nastavljaju jedno na drugo
2.	Mješovito	Sastoji se od najmanje dva tipa kretanja 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

Stabilnost padine se definira pomoću faktora sigurnosti. Opća definicija faktora sigurnosti proizlazi iz odnosa posmične čvrstoće materijala, prema posmičnom naprezanju uzduž potencijalne klizne plohe (KVASNIČKA i DOMITROVIĆ, 2007). Jednadžba za izračun faktora sigurnosti glasi:

$$F_s = \frac{\tau_f}{\tau_d} \tag{3-1}$$

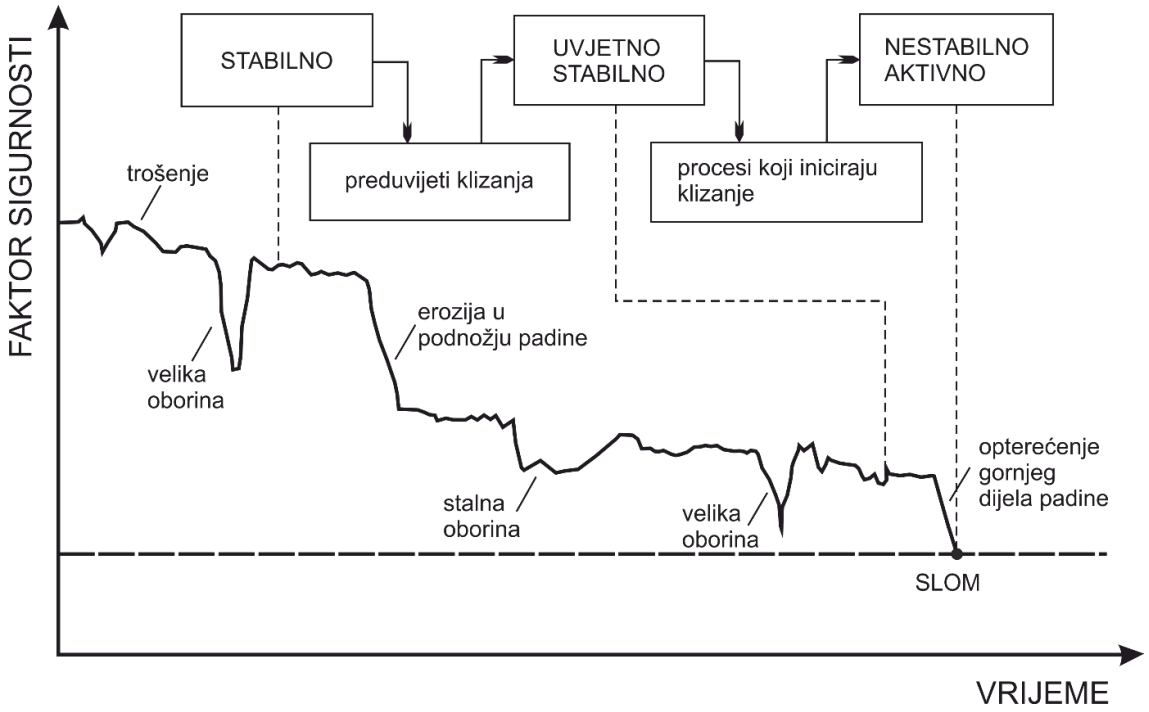
Ukoliko je faktor sigurnosti veći od 1, tada je padina stabilna jer je posmična čvrstoća materijala veća od posmičnih naprezanja. Preporuča se da faktor sigurnosti bude veći od 1,4 (SOKOLIĆ, 2007).

Uzroke klizanja prema Terzaghiju (1950) dijelimo u dvije grupe:

1. Vanjski uzroci uslijed kojih se povećavaju posmična naprezanja, kao što su npr. geometrijske promjene padine, opterećenje vrha padine, rasterećenje nožice padine, promjene razine podzemne vode, vibracije i dr.

2. Unutarnji uzroci zbog kojih se smanjuje posmična čvrstoća (erozija, procjeđivanje i dr.)

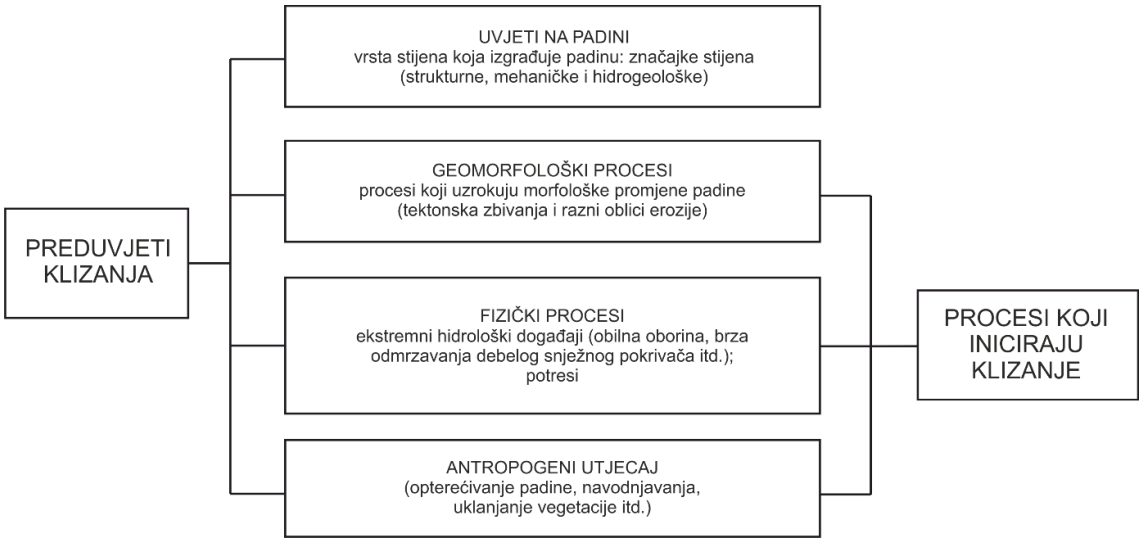
Neki od ovih uzroka mogu utjecati i na posmična naprezanja i na posmičnu čvrstoću. Posmična čvrstoća i posmična naprezanja nisu statične te se mijenjaju kako se mijenjaju uvjeti na padini, samim time se mijenja i odnos tih sila, što znači da se faktor sigurnosti povećava ili smanjuje. Na slici 3.4 prikazano je kako se faktor sigurnosti mijenja u vremenu pod utjecajem sezonskih promjena vremena (WP/WLI, 1995).



Slika 3.4. Primjer promjena faktora sigurnosti s vremenom (WP/WLI, 1995)

Pomoću faktora sigurnosti razlikujemo stabilne i nestabilne padine, međutim korisnije bi bilo promatrati padine kao stabilne, granično stabilne i aktivno nestabilne. Pod stabilne padine spadaju one padine koje imaju veliki faktor sigurnosti te se mogu oduprijeti silama koje ju destabiliziraju. Granično stabilne su one padine koje će doživjeti slom u trenutku kada destabilizirajuće sile dosegnu određenu razinu aktivnosti. Pod aktivno nestabilne padine spadaju one padine kod kojih destabilizirajuće sile uzrokuju kontinuirano ili povremeno kretanje (MIHALIĆ, 2007).

Uzročnike klizanja (slika 3.5) možemo klasificirati i na preduvjete i inicijatore. Preduvjeti klizanja (engl. preparatory causal factors) čine padinu osjetljivom na klizanje, ali ga ne iniciraju, već samo dovode padinu u stanje granične ravnoteže. Inicijatori (engl. triggering causal factors) su procesi koji iniciraju kretanje, jer padinu iz granično stabilnog stanja dovode u aktivno nestabilno stanje.

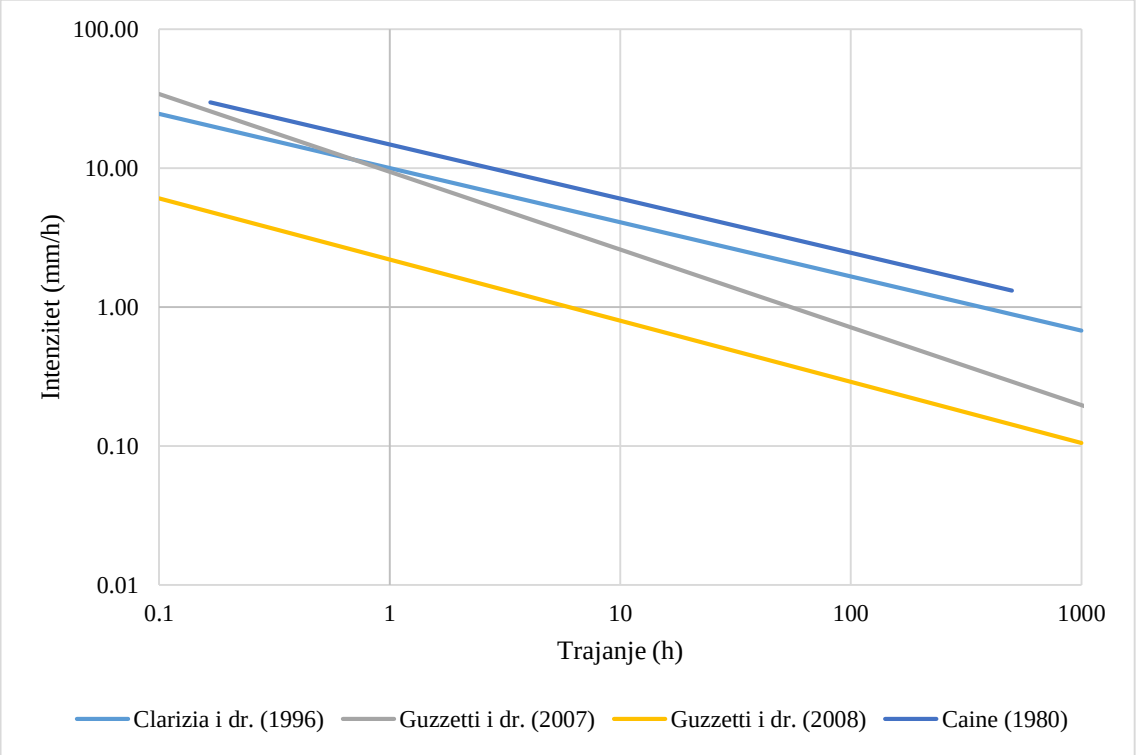


Slika 3.5. Uzročnici klizanja (MIHALIĆ, 2007)

Pri izradi ovog diplomskog rada su osim inženjerskogeoloških istraživanja, napravljene i analize oborina koje su uzrokovale klizište. Saturacija padine vodom jedan je od glavnih uzročnika nastajanja klizišta, a događa se pri ekstremnim količinama oborina, brzom topljenju snijega, promjenama u razini podzemne vode te promjenama u razini vode u jezerima i kanalima (HIGHLAND i BOBROWSKI, 2008). Pojačanom infiltracijom vode u podzemlje porni tlakovi se povećavaju, kada porni tlakovi dosegnu graničnu vrijednost uzrokuju destabilizaciju padine. Pri kratkotrajnim intenzivnim oborinama najčešće nastaju plitka klizišta, dok duboka klizišta češće nastaju pri dugotrajnim oborinama.

Zbog povezanosti oborina s velikim brojem pokrenutih klizišta često se istražuje utjecaj prethodnih oborina na pokretanje klizišta. Istraživanja se temelje na prikupljanju i analizi podataka o povijesnim klizištima aktiviranim u kišnom dijelu godine i meteorološkim podacima iz tog razdoblja (BAUM i GODT, 2009). Granične vrijednosti oborina koje mogu dovesti do klizanja, mogu se odrediti za različite veličine područja istraživanja, pa tako postoje granične vrijednosti za globalnu, nacionalnu, regionalnu i lokalu razinu (GUZZETTI i dr., 2007). Kako bi se odredio oborinski događaj pri kojem je došlo do pokretanja klizišta, potrebno je znati vrijeme pokretanja klizišta te količinu i trajanje oborine koja je pala na tom području. Različiti oborinski događaji prikazuju se u obliku točaka na grafu (slika 3.6), a definirane krivulje su granične vrijednosti za pojedine regije. Intenzitet oborine se računa kao količina oborine u mm, pale u određenom razdoblju, podijeljena s promatranim razdobljem u satima. Ukoliko se neki oborinski događaj, odnosno njegov

intenzitet trajanja nalazi na grafu iznad određene regionalne vrijednosti, to znači da bi taj događaj trebao uzrokovati nastanak klizišta.



Slika 3.6. Grafički prikaz regionalnih graničnih vrijednosti koje su definirali CAINE (1980), CLARIZIA i dr. (1996), GUZZETTI i dr. (2007) i GUZZETTI i dr. (2008)

4. METODE INŽENJERSKOGEOLOŠKIH ISTRAŽIVANJA I REZULATI

Prikupljanje podataka prilikom inženjerskogeološkog istraživanja provodi se u kabinetu i na terenu. U prvoj fazi istraživanja se u kabinetu, iz već postojećih dokumenata, prikupljanu podaci o istraživanome terenu. Svrha pregleda postojećih dokumenata je stvaranje predodžbe o istraživanome terenu, radi kvalitetnijeg i racionalnijeg planiranja istraživačkih radova (TURNER i McGUFFEY, 1996).

Druga faza istraživanja sastoji se od terenskog istraživanja inženjerskog geologa odnosno inženjerskogeološkog kartiranja terena. Ukoliko se radi o istraživanju pojedinačne lokacije kao što je slučaj s klizištem Trstenik, kartiranje se radi na topografskoj podlozi detaljnog mjerila, a uglavnom se radi na posebnim geodetskim podlogama. Posebne geodetske podloge dobiju se geodetskim snimanjem terena čiji je obuhvat određen već ranije spomenutim preliminarnim istraživanjima. Zadatak inženjerskog geologa na terenu je također i determinacija jezgre bušotine, koja se sastoji od identifikacije tla i stijena te inženjerskog opisa svih materijala jezgre pri istraživačkom bušenju.

Kabinetska istraživanja koja se provode po dolasku s terena, uključuju interpretaciju podataka dobivenih terenskim istraživačkim radovima i laboratorijskim pokusima. Konačni rezultat kabinetskih radova je dokumentacija istraživačkih radova i interpretacija inženjerskogeološkog modela istraživanog terena, koja se prikazuje pomoću uzdužnih i poprečnih inženjerskogeoloških profila te detaljne inženjerskogeološke karte istraživanog terena.

Karakteristični uzdužni i poprečni presjeci klizišta Trstenik prikazani su na prognoznim inženjerskogeološkim profilima, uzdužnom inženjerskogeološkom profilu 1–1 te dvama poprečnim inženjerskogeološkim profilima 2–2 i 3–3. Karakteristični presjeci napravljeni su na temelju inženjerskogeološke karte klizišta.

4.1. Detaljno inženjerskogeološko kartiranje

Detaljno inžanjeskogeološko kartiranje sastavni je dio terenskog inženjerskogeološkog istraživanja. Svrha inženjerskogeološkog kartiranja klizišta je dokumentiranje površinskih uvjeta kako bi se omogućila osnova za projiciranje podpovršinskih uvjeta (KEATON i DeGRAFF, 1996). Kao rezultat detaljnog inženjerskogeološkog kartiranja nastaju specijalne geološke karte detaljnog mjerila koje se nazivaju inženjerskogeološkim kartama.

Inženjerskogeološkim kartiranjem prikupljaju se podaci o značajkama stijena/tala, hidrogeološkim uvjetima, geološkim, geomorfološkim te geodinamičkim uvjetima. Prikupljeni podaci prikazuju se simbolima na geodetskoj podlozi, odnosno karti. Prilikom kartiranja važno je dokumentirati površinske naslage i pojave osnovne stijene te sve vidljive dijelove klizišta. Najveći dio podataka dobiva se obilaskom terena te snimanjem izdanaka, no ukoliko izdanci nisu vidljivi u tu svrhu potrebno je napraviti istraživački iskop ili bušotinu. Kao izvor podataka prilikom detaljnog inženjerskogeološkog kartiranja klizišta nužan je geodetski snimak terena s točno ucrtanim položajima pojedinih dijelova klizišta. Na geodetskom snimku krupnog mjerila moguće je vidjeti i pojedine veće pukotine što može pomoći prilikom kartiranja i snalaženja na terenu. Kod kartiranja aktivnih klizišta pojedini dijelovi klizišta se jasnije uočavaju, dok se na umirenim klizištima neki dijelovi klizišta teže uočavaju zbog vegetacije i modificiranja pukotina trošenjem (KEATON i DeGRAFF, 1996).

Detaljno inženjerskogeološko kartiranje klizišta Trstenik provedeno je 12. travnja 2018. godine u svrhu prikupljanja podataka o naslagama koje izgrađuju klizno tijelo te okolni teren, značajkama klizišta te pojavama površinske vode. Kao podloga za inženjerskogeološko kartiranje korištena je prethodno snimljena posebna geodetska podloga mjerila M 1:500. Inženjerskogeološka karta klizišta Trstenik mjerila M 1:500 dana je u prilogu 1. Detaljnim inženjerskogeološkim kartiranjem područja klizišta Trstenik u Čučerju obuhvaćeno je područje veličine od oko 17.100 m^2.

Svi elementi klizišta prikazani na inženjerskogeološkoj karti u prilogu 1 bili su dobro vidljivi na terenu te su prikazani i na slikama. Čeona pukotina visine oko 3 metra, kod koje dolazi do trošenja vidljiva je na slici 4.1. Bokovi klizišta prikazani su na inženjerskogeološkoj karti klizišta. U stopi klizišta (slika 4.2) došlo je do akumulacije materijala u visini oko 1,5 metara. Otvorena klizna ploha (slika 4.1) površine oko 2.500 m^2 razvila se po plohi slojevitosti, na kliznoj plohi je izmjeren položaj slojevitosti 91/16, koji je bio povoljan za pojavu ovog tipa klizanja. Pojava ovakvih tipova klizišta, koja se razvijaju po plohi diskontinuiteta, odnosno translacijskih klizišta, vrlo su rijetka na području Grada Zagreba.



Slika 4.1. Pogled na čeonu pukotinu klizišta i otvorenu kliznu plohu (fotografirano 12. travnja 2018)



Slika 4.2. Stopa klizišta (fotografirano 12. travnja 2018)

Klizno tijelo sastoji se od dva dijela, jednog dijela koji je ostao u obliku blokovite mase i samo je otklizao niz padini, i drugog dijela, koji se nalazi u obliku dezintegrirane mase (slika 4.3). U tijelu klizišta nalazi se veliki broj otvorenih pukotina, od kojih su neke duboke i do jednog metra (slika 4.4). Kartiranje klizišta bilo je otežano zbog velikog broja pukotina te guste vegetacije. Vegetacija je na nekim dijelovima, poglavito u središnjem dijelu klizišta vrlo gusta, te nije moguće pristupiti tom dijelu klizišta. Ovo klizište posebno je zanimljivo zbog najahivanja (slika 4.5), na uzdužnom profilu mogu se jasno vidjeti tri najahivanja. Tijekom kartiranja klizišta na površini terena uočena je pojava vlaženja (slika 2.7) te povremenih površinskih tokova. Uz desni bok klizišta uočena je jaruga, dubine oko 3 metra (slika 4.6).



Slika 4.3. Pogled na dio klizišta na kojem se nalazi dezintegrirana masa (fotografirano 12. travnja 2018)



Slika 4.4. Otvorena pukotina (fotografirano 12. travnja 2018)



Slika 4.5. Najahivanje (fotografirano 12. travnja 2018)



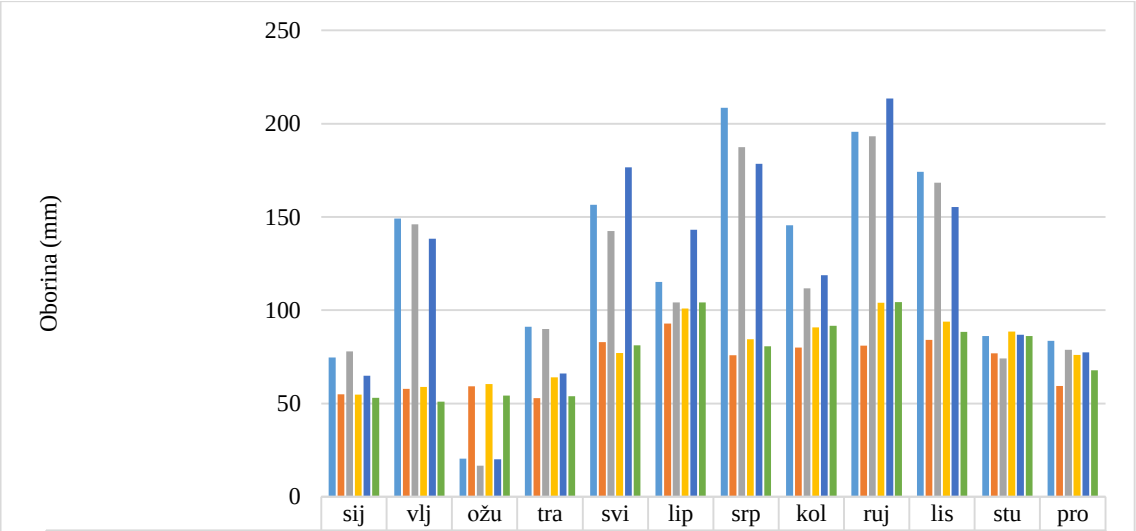
Slika 4.6. Jaruga (fotografirano 12. travnja 2018)

4.2 Analiza oborina

Analize oborina provedene su u odnosu na aktiviranje samog klizišta Trstenik, koje se dogodilo 13. veljače 2014. godine. Analize su provedene na podacima o oborinama za razdoblje od siječnja 1981 godine do prosinca 2017. godine, za meteorološke stanice Čučerje, Kašina i Zagreb-Rim. Iz podataka za 2014. godinu dobiveni su sljedeći podaci:

- Ukupna oborina za klizištu najbližu meteorološku stanicu, meteorološku stanicu Čučerje pala u razdoblju od 1. siječnja 2014. godine do 13. veljače 2014. godine iznosi 167,1 mm. Dan prije aktiviranja klizišta, 12. veljače 2014. godine palo je 55,4 mm kiše
- Ukupna oborina za meteorološku stanicu Kašina pala u razdoblju u od 1. siječnja 2014. godine do 13. veljače 2014 godine iznosi 163,2 mm. Dan prije aktiviranja klizišta, 12. veljače 2014. godine palo je 51,3 mm kiše
- Ukupna oborina za meteorološku stanicu Zagreb-Rim pala u razdoblju od 1. siječnja 2014. godine do 13. veljače 2014 godine iznosi 152 mm. Dan prije aktiviranja klizišta, 12. veljače 2014. godine palo je 59,6 mm kiše

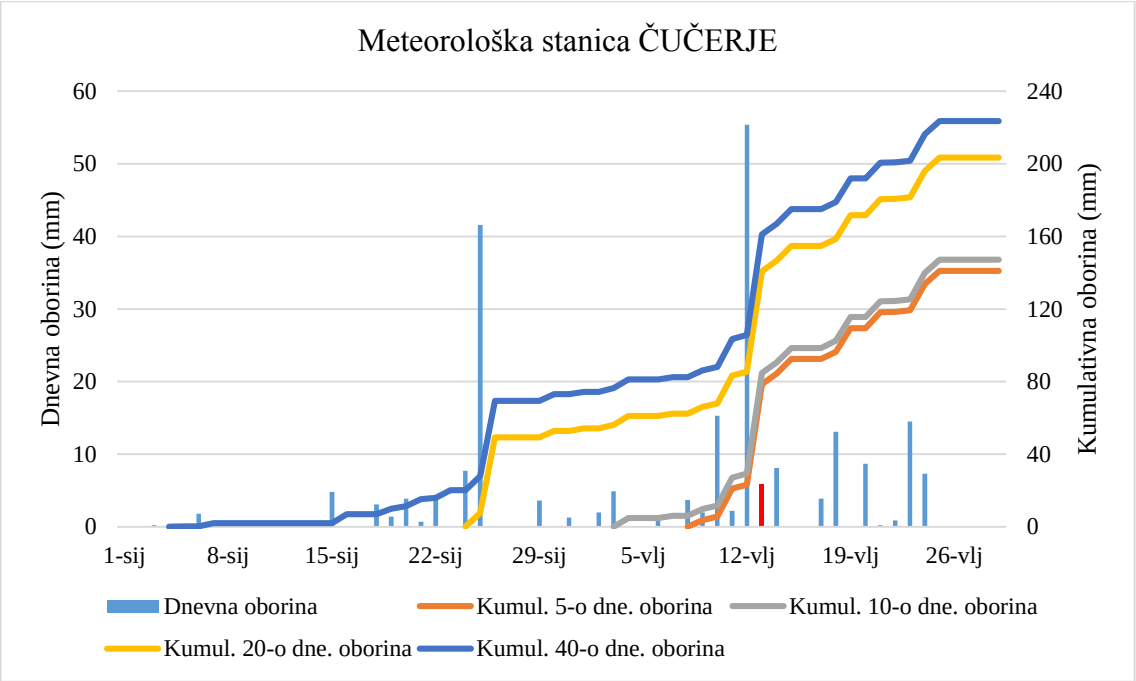
Na slici 4.7. prikazana je usporedba prosječni mjesečnih oborina mjerenih na meteorološkim stanicama Čučerje, Kašina i Zagreb-Rim za razdoblje od siječnja 1981. godine do prosinca 2017. godine s oborinama iz 2014. godine, godine kada je aktivirano klizište. Iz slike, odnosno grafa jasno je uočljivo kako je 2014. godina, bila ekstremna godina, što se tiče količine oborina. U veljači, mjesecu kada je aktivirano klizište Trstenik oborina je bila 148 do 171% veća prosjeka, odnosno palo je 87,41 do 92,37 mm više kiše od prosjeka koji padne u veljači za promatrano razdoblje na svim trima meteorološkim stanicama.



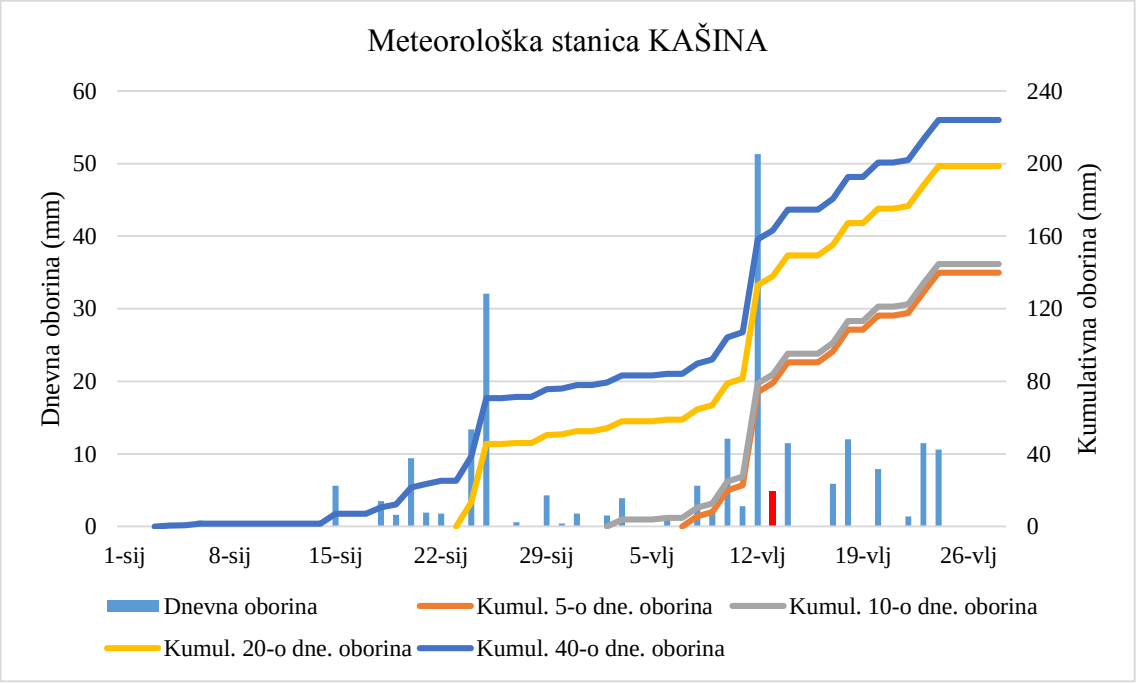
	sij	vlj	ožu	tra	svi	lip	srp	kol	ruj	lis	stu	pro
Čučerje (2014)	74.6	149.2	20.5	91.1	156.6	115.2	208.6	145.5	195.7	174.3	86.2	83.6
Čučerje (1981-2017)	54.9	57.8	59.3	52.9	82.9	92.8	75.9	80.0	81.1	84.0	76.8	59.5
Kašina (2014)	77.9	146.1	16.6	90	142.4	104.1	187.4	111.7	193.3	168.4	74.2	78.7
Kašina (1981-2017)	54.7	58.9	60.5	64.1	77.0	101.0	84.5	90.8	104.0	93.9	88.6	76.1
Zagreb-Rim (2014)	64.9	138.4	20.1	66	176.6	143.1	178.5	118.7	213.5	155.3	86.9	77.4
Zagreb-Rim (1981-2017)	53.0	51.0	54.2	53.8	81.2	104.2	80.6	91.6	104.3	88.3	86.1	67.8

Slika 4.7. Usporedba prosječnih mjesečnih oborina za razdoblje od siječnja 1981. godine do prosinca 2017. godine s oborinama iz 2014. godine za meteorološke stanice Čučerje, Kašina i Zagreb-Rim

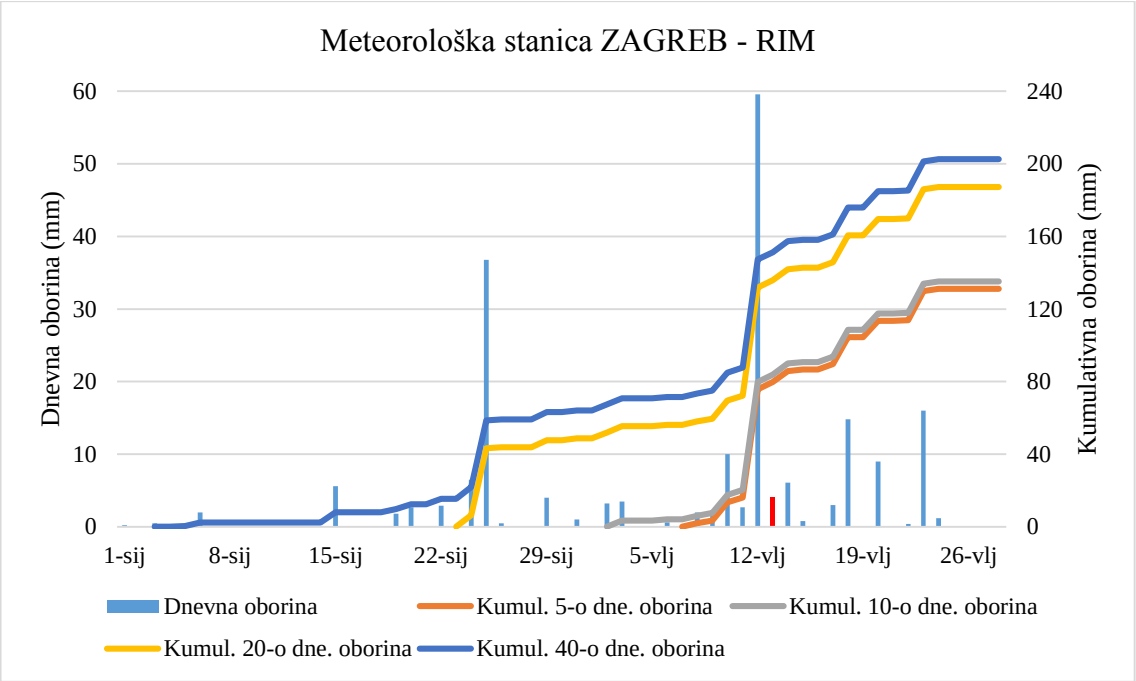
Pomoću podataka o dnevnim oborinama za meteorološku stanicu Čučerje napravljena je krivulja kumulativnih oborina za razdoblje od 5, 10, 20 i 40 dana prije aktiviranja klizišta. Iz krivulje kumulativne oborine (slika 4.8) vidljivo je da je na dan aktiviranja klizišta Trstenik, 13. veljače 2014. godine, kumulativna oborina za razdoblje od 5 dana prije aktiviranja klizišta iznosila 84,4 mm, a za razdoblje od 10 dana kumulativna oborina bila je vrlo slična onoj za razdoblje od 5 dana i iznosila je 90,5 mm. Kumulativne oborine za razdoblja od 20 i 40 dana dosta su velike te iznose 146,7 mm, odnosno 166,9 mm. Promatrajući prosječne oborine za mjesec veljaču od 1981. godine do 2017. godine, vidljivo je da je prosječna oborina koja padne u veljači na meteorološkoj stanici Čučerje iznosi 57,8 mm. Samim time može se vidjeti da je u razdoblju od 5 dana prije aktiviranja klizišta palo 46,02% više kiše nego što padne prosječno u cijeloj veljači. Slični rezultati dobiveni su i za ostale dvije meteorološke stanice, meteorološku stanicu Kašina (slika 4.9) i Zagreb-Rim (slika 4.10), kod kojih je kumulativna oborina za razdoblje od 5 dana prije aktiviranja klizišta za 34,13, odnosno 56,47% veća od prosjeka za cijelu veljaču.



Slika 4.8. Grafički prikaz dnevnih i kumulativnih oborina za meteorološku stanicu Čučerje za razdoblje od 1. siječnja do 28. veljače 2014. godine. Oborina označena crvenom bojom označava dan aktiviranja klizišta Trstenik



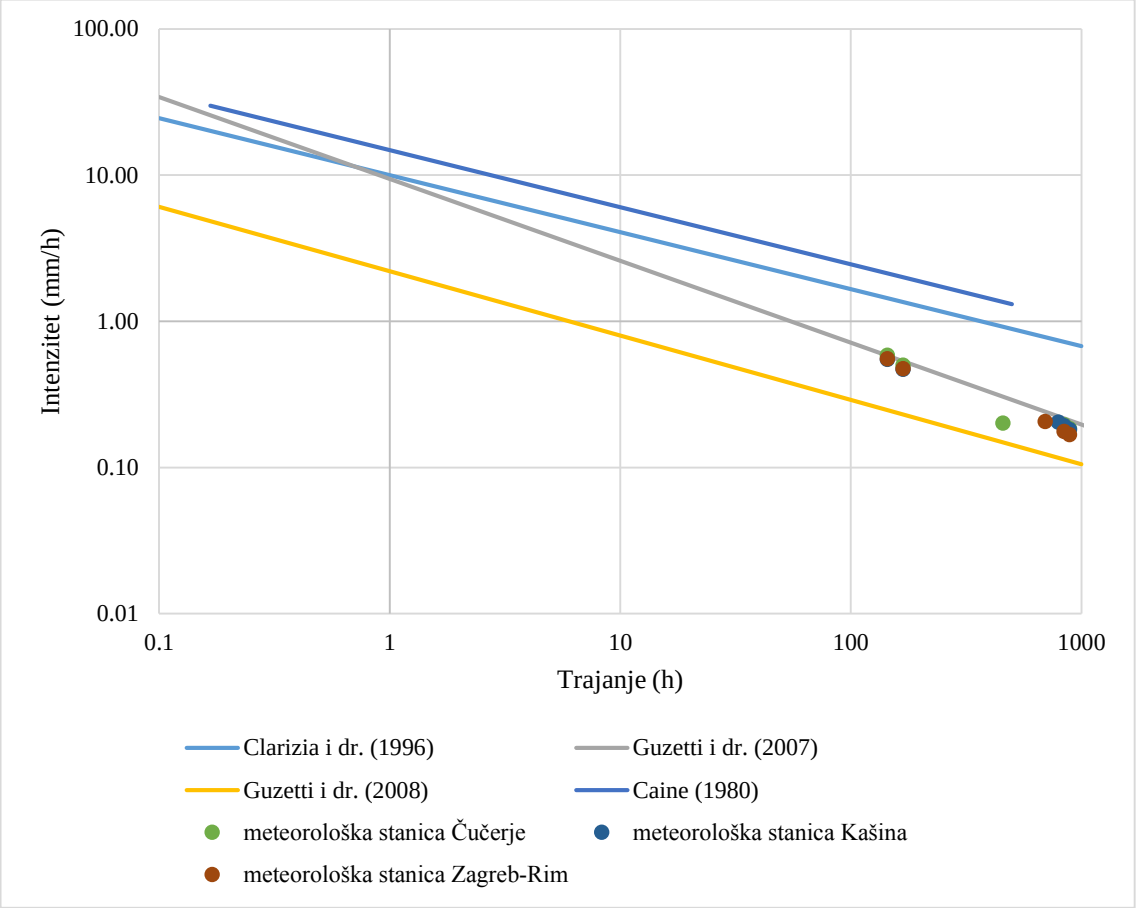
Slika 4.9. Grafički prikaz dnevnih i kumulativnih oborina za meteorološku stanicu Kašina za razdoblje od 1. siječnja do 28. veljače 2014. godine. Oborina označena crvenom bojom označava dan aktiviranja klizišta Trstenik



Slika 4.10. Grafički prikaz dnevnih i kumulativnih oborina za meteorološku stanicu Zagreb-Rim za razdoblje od 1. siječnja do 28. veljače 2014. godine. Oborina označena crvenom bojom označava dan aktiviranja klizišta Trstenik

Izbor reprezentativnih kišomjernih stanica za rekonstrukciju oborinskog događaja koji je aktivirao klizište napravljen je na temelju: geografske udaljenosti između stanica i klizišta, usporedbe između nadmorske visine stanica i klizišta te drugih morfoloških karakteristika. Trajanje oborine određuje se kao vrijeme proteklo između početka oborine i aktiviranja klizišta. Pri analizi u ovom diplomskom radu napravljena je podjela na pet oborinskih događaja. Oborinski događaji predstavljaju ukupnu količinu oborine pale u nekom vremenskom razdoblju pri čemu je početak i kraj, odnosno trajanje tog razdoblja, definirano određenim brojem dana bez oborine (KRKAČ, 2015). Primjerice ako je broj dana bez oborine definiran kao tri, oborinski događaj predstavlja razdoblje oborina koje započinje dnevnom oborinom prije koje najmanje četiri dana nije bilo druge dnevne oborine, a završava dnevnom oborinom nakon koje najmanje četiri dana nije bilo nove dnevne oborine (KRKAČ, 2015). Analizirane su oborine za razdoblja tijekom kojih nije bilo prekida oborine duljeg od jednog, tri, pet i sedam dana. Prvi oborinski događaj, je kiša bez prestanka padanja od aktiviranja klizišta i ona je na svim stanicama trajala 6 dana.

Obzirom na regionalne granične vrijednosti koje su definirali GUZZETTI i dr (2008), vidljivo je da su oborinski uvjeti prilikom pokretanja klizišta Trstenik bili iznad graničnih vrijednosti (slika 4.11) te je time potvrđeno da je inicijator klizanja na ovom klizištu prema GUZZETTI i dr (2008) bila intenzivna oborina, dok su za ostale regionalne krivulje oborinski uvjeti prilikom aktiviranja klizišta bili ispod graničnih vrijednosti.



Slika 4.11. Grafički prikaz regionalnih graničnih vrijednosti koje su definirali CAINE (1980), CLARIZIA i dr. (1996), GUZZETTI i dr. (2007) i GUZZETTI i dr. (2008). Označene točke su analizirane oborine s meteoroloških stanica Čučerje, Kašina i Zagreb-Rim za različite oborinske događaje

5. INTERPRETACIJA INŽENJERSKOGEOLOŠKOG MODELA KLIZIŠTA

Inženjerskogeološki model klizišta definiran je pomoću geometrije klizišta prikazane na inženjerskogeološkoj karti mjerila M 1:500, vidljive u prilogu 1. Model klizišta također je definiran i pomoću značajki koje uključuju tip klizanja obzirom na mehanizam klizanja, vidljivost dijela klizišta, aktivnost klizišta te materijale koji izgrađuju klizište.

5.1. Značajke klizišta

Na istraživanome području Čučerja u blizini ulice Trstenik identificirano je trenutno neaktivno klizište, koje je nastalo kao rezultat nestabilnosti pokosa uslijed obilnih oborina 2014. godine, koje su pogodile kontinentalni dio Republike Hrvatske. Klizište se nalazi na nenaseljenom dijelu padine, tek se ispod stope klizišta nalaze dvije obiteljske kuće. Prema tipu klizanja, obzirom na mehanizam pokreta klizište je identificirano kao blokovsko, translacijsko klizište. Duljina klizišta iznosi oko 250 m, dok je prosječna širina klizišta oko 70 m. Površina klizišta iznosi oko 17.100 m^2. Pretpostavljena dubina pokrenute mase je oko 5,5 m. Od vidljivih dijelova klizišta, dobro se vide čeona pukotina, stopa klizišta, bokovi klizišta te otvorena klizna ploha. Prema raspodijeli aktivnosti promatrano klizište je identificirano kao krečuće. Prema stilu klizanja klizište je identificirano kao pojedinačno, zato što ima samo jedan mehanizam pokreta. Klizanjem su obuhvaćeni trošni lapori, koji kližu po matičnoj stijeni koju izgrađuju lapori srednje trošnosti. Preduvjeti klizanja na klizištu Trstenik, odnosno faktori koji su padinu doveli do stanja granične ravnoteže su geološka građa terena, odnosno trošni površinski materijali te morfologija terena. Inicijator klizanja na klizištu Trstenik je ekstremni hidrološki događaj, odnosno prethodna kumulativna oborina na dan 13. veljače. 2014. godine.

5.2. Inženjerskogeološke jedinice

Obzirom na razinu provedenih 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 te stupanj trošnosti). Primarni izvor podataka na osnovi kojih su izdvojene jedinice na inženjerskogeološkim profilima bila je inženjerskogeološka interpretacija izdanka tla/stijene na terenu (slika 5.1)

Identifikacija i opis tla izrađeni su prema USCS geomehaničkoj klasifikaciji, odnosno prema preporukama USBR (2001). Terminologija za opis fizičkih svojstava materijala inženjerskog tla dana je u tablici 5.1.

Na istraživanome području izdvojena su ukupno četiri inženjerskogeološka tipa, čije su osnovne značajke navedene u tablici 5.3. Pretpostavljena prostorna distribucija svih inženjerskogeoloških tipova prikazana je na inženjerskogeološkim profilima koji se nalaze u prilozima 2 i 3. Na detaljnoj inženjerskogeološkoj karti mjerila M 1:500 (prilog 1) prikazani su inženjerskogeološki tipovi koji se pojavljuju na površini terena.

Izdvojene inženjerskogeološke jedinice prikazane su na prilozima pomoću boja iz inženjerskogeološke klasifikacije stijena/tala iz uputa za izradu osnovne inženjerskogeološke karte SFRJ mjerila M 1:100.000 (ANON, 1988). Prema ovoj klasifikaciji sve stijene/tla se svrstavaju u četiri glavne skupine, koje se na inženjerskogeološkim kartama te profilima, označavaju odgovarajućim bojama: (I) nevezane stijene (pijesci, šljunci) sivom bojom, (II) vezane ne okamenjene stijene (prahovi, gline) žutom bojom, (III) vezane slabo okamenjene stijene smeđom bojom, (IV) vezane dobro okamenjene stijene se prikazuju nijansama zelene boje.

Tablica 5.1. Terminologija za opis inženjerskog tla prema preporukama USBR (2001)

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

Tablica 5.2. Terminologija za opis stijene prema preporukama USBR (2001)

OPIS STIJENE	OPIS SLOJEVITOSTI	
	Masivno	> 3 m
	Vrlo debelo	1 – 3 m
	Debelo	0,3 – 1 m
	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 čekićem
	Vrlo čvrsto (H2)	Ne može se grebati nožem. Jezgra ili odlomak lomi se snažnim, ponavljajućim udarcima čekićem
	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. Uzorak se lomi srednje snažnim udarcem čekićem
	Srednje meko (H5)	Može se napraviti brazda duboka 2 mm, sa srednji ili snažnim pritiskom. Uzorak se lomi slabim udarcem čekićem ili snažnim pritiskom ruke
	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. Uzorak se slama slabim pritiskom ruke
	GUSTOĆA DISKONTINUITETA	
	Neraspucano (FD0)	Bez pukotina
	Vrlo slabo raspucano (FD1)	Jezgra većinom u komadima većim od 1 m
	Slabo do vrlo slabo raspucano (FD2)	
	Slabo raspucano (FD3)	Jezgra većinom u komadima 0,3 do 1 m s nekoliko komada duljine manje od 0,3 m ili većim od 1 m
	Srednje do slabo raspucano (FD4)	
	Srednje raspucano (FD5)	Jezgra većinom u komadima 100 do 300 mm, većina komada je duljine 200 mm
	Intenzivno do srednje raspucano (FD6)	
	Intenzivno raspucano (FD7)	Prosječna duljina komada jezgre je 30 do 100 mm s nekoliko raspucanih intervala. Jezgra većinom u komadima manjim od 100 mm
	Vrlo intenzivno do intenzivno raspucano (FD8)	
	Vrlo intenzivno raspucano (FD9)	Jezgra većinom u odlomcima s nekoliko kraćih komada
	OPIS TROŠNOSTI	
	Svježe (W1)	/
	Svježe do slabo trošno (W2)	/
	Slabo trošno (W3)	/
	Slabo do srednje trošno (W4)	/
	Srednje trošno (W5)	/
	Srednje do intenzivno trošno (W6)	/
	Intenzivno trošno (W7)	/
	Intenzivno trošno do razgrađeno (W8)	/
	Razgrađeno (W9)	/

Inženjerskogeološki tipovi koji se nalaze na istraživanome području pripadaju laporima, koji se mogu opisati kao čvrsto tlo/meka stijena. Lapori na ovom području su različite trošnosti, pa tako matičnu stijenu izgrađuju lapori srednje trošnosti, dok površinske naslage izgrađuju trošni lapori u izmjeni s prahovima niske plastičnosti.

Tablica 5.3. Inženjerskogeološke jedinice na klizištu Trstenik

GENEZA/STRATIGRAFSKA OZNAKA			INJŽENJERSKOGEOLOŠKI TIP
POVRŠINSKE NASLAGE	Transportirane naslage: Koluvijalne naslage (Q_{k1})	Inženjersko tlo	(01) KOLUVIJALNE NASLAGE: blokoviti trošni lapori u izmjeni s prahovima niske plastičnosti
	Transportirane naslage: Koluvijalne naslage (Q_{k2})		(02) KOLUVIJALNE NASLAGE: dezintegrirani trošni lapori u izmjeni s prahovima niske plastičnosti
	Trošne naslage: Tortonske naslage ($_1M_2^2$)		(03) INŽENJERSKO TLO: trošni lapori u izmjeni s prahovima niske plastičnosti
MATIČNA STIJENA	Trošni sediment: Tortonske naslage ($_1M_2^2$)	Čvrsto tlo/meka stijena	(11) ČVRSTO TLO/MEKA STIJENA: lapori, srednje trošnosti i srednje čvrstoće

Na slici 5.1. prikazan je pogled na izdanak pomoću kojeg je napravljen opis inženjerskogeoloških jedinica. Na slici se vidi da se od površine do dubine od oko 10-ak cm nalazi pedološko tlo, pedološko tlo zbog svoje male debljine nije uzeto kao važno za daljnja razmatranja.



Slika 5.1. Pogled na opisivani izdanak (fotografirano 12. travnja 2018)

Opisi svake pojedine inženjerskogeološke jedinice, grupirani prema genezi, idući od mlađih prema starijima.

(01) INŽENJERSKO TLO: blokoviti trošni lapori u izmjeni s prahovima niske plastičnosti. Tlo je vlažno i krute je konzistencije. Tlo je nastalo trošenjem lapora koji se nalaze u podlozi. Prilikom klizanja trošni lapori su ostali u blokovitom obliku.

(02) INŽENJERSKO TLO: dezintegrirani trošni lapori u izmjeni s prahovima niske plastičnosti. Tlo je vlažno i krute je konzistencije. Tlo je nastalo trošenjem lapora koji se nalaze u podlozi. Prilikom klizanja trošni lapori su se u potpunosti dezintegrirali.

(03) INŽENJERSKO TLO: trošni lapori u izmjeni s prahovima niske plastičnosti. Tlo je vlažno i krute je konzistencije. Nastalo je trošenjem lapora koji se nalaze u podlozi. Na terenu je vrlo teško napravljen valjčić pa je stoga zaključeno da se radi o prahu niske plastičnosti. Tlo je homogeno te je sivožute boje. Uzorak tla je pokapan s HCl-om i bila je vidljiva reakcija. Unutar ovog inženjerskogeološkog tipa izmjerena su tri seta diskontinuteta. Dva seta diskontinuiteta su subvertikalna s pružanjem 70–250, odnosno 160–340, dok je treći set diskontinuiteta zapravo slojevitost, s izmjerenim položajem sloja 91/16. Svi diskontinuiteti imaju slična svojstva. Diskontinuiteti su ravni do blago hrapavi, presvučeni željezovitim oksidima, gustoća diskontinuiteta je intenzivno do srednje raspucano (FD6), odnosno ukoliko bi se vadila jezgra dobili bi se komadi jezgre od 3 cm do 20 cm. Diskontinuiteti su srednje do velike postojanosti, zijev diskontinuiteta je zatvoren do blago otvoren te su diskontinuiteti srednje do intenzivno trošni (W6).

(11) ČVRSTO TLO/MEKA STIJENA: Lapor, sitnozrnati, tanko do debelo slojevit, sa slojevima debljine 3 do 25 cm. Lapore je moguće grebati nožem srednjim pritiskom te se uzorak lomi srednje snažnim udarcem čekićem, stoga se po čvrstoći svrstava u stijene srednje čvrstoće (H4). Lapori su srednje trošni (W5). Uzorak je pokapan s HCl-om i bila je vidljiva reakcija. Ovaj inženjerski geološki tip sadrži ista tri seta diskontinuiteta kao i tip 03, samo što su diskontinuiteti u ovom tipu manje trošni.

6. DISKUSIJA

Inženjerski geolog ima za zadatak provedbu inženjerskogeoloških, odnosno geotehničkih istraživanja koje daju informacije o vrstama geoloških materijala koji se nalaze na površini i ispod površine te o aktivnim geomorfološkim procesima koji se odvijaju na padini. Svrha detaljnih inženjerskogeoloških istraživanja je na temelju prikupljenih podataka napraviti reprezentativni inženjerskogeološki model. Inženjerskogeološki model klizišta predstavlja krajnji rezultat detaljnih inženjerskogeoloških istraživanja, koja se provode u okviru geotehničkih istraživanja. Svrha izrade inženjerskogeološkog modela klizišta je izrada prognoznih profila klizišta, koji služe kao podloga za geotehničko projektiranje mjera sanacije.

Inženjerskogeološki model klizišta prognoznog je karaktera te se temelji na određenom broju podataka, ovisno o novčanim sredstvima, vremenu kojem imamo za istraživanje i važnosti sanacije klizišta. Ukoliko je vrlo važna sanacija klizišta i postoje novčana sredstva, može se naručiti veći broj istraživanja, koji će nam pomoći pri izradi inženjerskogeološkog modela. Uobičajena istraživanja koja se provode prilikom izrade inženjerskogeološkog modela klizišta su geofizička istraživanja te istraživačke bušotine, ova istraživanja nam pomažu da bolje shvatimo odnose materijala u podzemlju. Točnost inženjerskogeološkog modela klizišta ovisi, kako o financijskim sredstvima i količini podataka, tako i o iskustvu samog interpretatora.

Inženjerskogeološki model klizišta Trstenik interpretiran je samo na temelju podataka dobivenih geodetskim snimanjem terena te na podacima detaljnog inženjerskogeološkog kartiranja. Na klizištu nisu bili provedeni istraživački radovi, samim time inženjerskogeološki model klizišta je prognoznog karaktera. Na klizištu Trstenik nisu provedena nikakva dodatna istraživanja, osim inženjerskogeoloških, jer je vjerojatno pretpostavljeno da klizište nikoga ne ugrožava.

Analizom oborina utvrđeno je da je inicijator klizišta Trstenik bila intenzivna oborina. Količina oborine pala u veljači 2014. godine na meteorološkoj stanici Čučerje iznosila je 149,2 mm, na meteorološkoj stanici Kašina 146,1 mm te na meteorološkoj stanici Zagreb-Rim 138,4 mm. Uspoređujući količine oborina iz 2014. godine s oborinama za razdoblje od 1981. godine do 2017. godine, vidimo da je u veljači 2014. godine palo oko 2,6 puta više oborine od prosjeka, koji iznosi za sve tri stanice od 51,0 do 58,9 mm.

Vrlo vjerojatno je jedan od razloga pojave klizišta pojačana infiltracija oborine u podzemlje, koja je povećala porne tlakove, pri čemu je došlo do smanjenja posmične čvrstoće materijala. Drugi mogući razlog pojave klizišta je povećanje težine gornjih slojeva uslijed povećanja vlažnosti materijala pri čemu je došlo do povećanog naprezanja u padini.

Preduvjeti za nastanak ovog klizišta bili su vrsta materijala te položaj diskontinuiteta. Ovaj teren izgrađen je od trošnih lapora, koji su kada su saturirani vodom vrlo pogodni za razvoj klizišta. Položaj slojeva, izmjerene orijentacije 91/16, je praktički paralelan s površinom terena zbog čega je bio mogući nastanak translacijskog klizišta. Dva subvertikalna seta diskontinuiteta omogućila su nastanak čeone i bočnih pukotina. Inicijator klizanja na ovom klizištu bila je intenzivna oborina koja je u veljači 2014. godine bila oko 160% veća od prosjeka. Ovakva blokovska, translacijska klizišta vrlo su rijetka u Zagrebu.

7. ZAKLJUČAK

Inženjerskogeološkim istraživanjima u travnju 2018. godine prikupljeni su podaci pomoću kojih je napravljena interpretacije inženjerskogeološkog modela klizišta Trstenik. Klizište Trstenik aktivirano je 13. veljače 2014. godine, uslijed velikih količina oborine koje su u tom razdoblju pogodile kontinentalni dio Republike Hrvatske.

Klizište Trstenik klasificirano je kao blokovsko, translacijsko klizište maksimalne duljine oko 250 metara i prosječne širine oko 70 metara. Procijenjena maksimalna dubina pokrenute mase je oko 5,5 metara. Od vidljivih dijelova klizišta jasno su vidljivi čeona pukotina, stopa klizišta, pukotine, bokovi klizišta, te otvorena klizna ploha. Prema stanju aktivnosti analizirano klizište je klasificirano kao trenutno neaktivno, prema raspodijeli kao krečuće, a prema stilu je klasificirano kao pojedinačno. Preduvjeti klizanja na klizištu Trstenik su materijali od kojih je izgrađena padina, odnosno lapori, koji su u blizini površine trošni, te nepovoljni položaj slojeva, koji je izmjeren i iznosi 91/16. Inicijator klizanja bio je ekstremni hidrološki događaj, odnosno kritična prethodna kumulativna oborina koja je na meteorološkoj stanici Čučerje, za razdoblje od 5 dana iznosila 84,4 mm, a za razdoblje od 40 dana je iznosila 161,1 mm.

Na temelju inženjerskogeološkog istraživanja izdvojena su ukupno četiri inženjerskogeološka tipa. Unutar površinskih naslaga i naslaga matične stijene načinjena je podjela inženjerskogeoloških jedinica. Matičnu stijenu izgrađuju lapori srednje trošnosti, odnosno tortonske naslage ($_1M_2^2$), dok se površinske naslage izgrađuju trošni lapori tortona ($_1M_2^2$) u izmjeni s prahovima niske plastičnosti te koluvijane naslage, koje su na klizištu nalaze u dva oblika, u blokovitom obliku (Q_{k1}) te u potpuno dezintegriranom obliku (Q_{k2}).

Klizište Trstenik nalazi se na nenaseljenom dijelu padine, no uvijek postoji opasnost od reaktiviranja klizišta te bi ga bilo potrebno u budućnosti detaljnije istražiti i pronaći način za sanaciju klizišta, pošto se na padini u neposrednoj blizini klizišta nalaze naseljeni objekti, koji bi bili u opasnosti ukoliko dođe do reaktiviranja klizišta. Detaljnim istraživanjem ovog klizišta, odnosno geotehničkim i geofizičkim istraživanjima, mogao bi se dobiti veći broj podataka. Pomoću dobivenih podataka mogli bi potvrditi točnost ovog inženjerskogeološkog modela, ili ispravili neke pogreške. Nakon što bi se ovaj model potvrdio ili prepravio, mogao bi se koristiti za daljnje definiranje geotehničkog modela klizišta, odnosno analize stabilnosti i računanja faktora sigurnosti.

8. LITERATURA

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

BASCH, O., 1981. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. List Ivanić Grad L33 – 81. Institut za geološka istraživanja Zagreb (1969 – 1976). Beograd: Savezni geološki zavod Beograd

BASCH, O., 1983. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000.Tumač za list Ivanić Grad L33 – 81. Institut za geološka istraživanja Zagreb (1969 – 1976). Beograd: Savezni geološki zavod Beograd

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

CAINE, N., 1980. The rainfall intensity – duration control of shallow landslide and debris flows. Geografiska Annaler, Series A, Physical Geography (1/2): p. 23 – 27

CLARIZIA, M., GULLÀ, G., SORBINO, G., 1996. Sui meccanismi di innesco dei soil slip. Int. Conf. Prevention of Hydrogeological Hazards. The Role of Scientific Research, Vol. 1, Alba L' Artistica Savigliano pub, p. 585 – 597

CRUDEN, D. M., 1991. A simple definition of landslide. Bulletin of Engineering Geology and the Environment. 43. p. 27 – 29

CRUDEN, D. M., I VARNES, D.J., 1996., 9. Landslide types and processes, in Turner, A. Keith, and Schuster, Robert L. Eds. Landslides–Investigation and mitigation: Transportation Research Board, Special report no. 247, National Research Council, National Academy Press, Washington, D.C., p. 36–75

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: p. 239 – 267

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

HERAK, M., ALLEGRETTI, I., HERAK, D., IVANČIĆ, I., KUK, V., MARIĆ, K., MARKUŠIĆ, S., SOVIĆ, I., 2012. Karte potresnih područja Republike Hrvatske za povratna razdoblja od Tp = 95 i 475 godina. Zagreb: Geofizički odsjek, Prirodoslovno-Matematički fakultet, Sveučilišta u Zagrebu

HIGHLAND, L. M., BOBROWSKI, P., 2008. The landslide Handbook – A guide to Understanding Landslides, U.S. Geological Survey, Reston, Virginia

HZN, 2011. Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija – 1. dio: Opća pravila, potresna djelovanja i pravila za zgrade (EN 1988-1:2004+AC:2009)

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

KEATON, J. R. i DeGRAFF, J. V., 1996. Surface Observation and Geologic Mapping. Landslides – Investigation and Mitigation, Transportation Research Board, Special report 247, Turner, Schuster. National Academy Press. Washington D.C., p. 178 – 230

KRKAČ, M., 2015. Fenomenološki model gibanja klizišta Kostanjek na osnovi praćenja parametara klizanja, doktorski rad

KVASNIČKA, P. i DOMITROVIĆ, D., 2007. *Mehanika tla*. Interna skripta RGN fakulteta. Zagreb

MIHALIĆ, S. 2007. *Osnove inženjerske geologije*. Interna skripta RGN fakulteta. Zagreb.

SOKOLIĆ, Ž., 2007. *Osiguranje stabilnosti padina*. Pozvano predavanje, dani ovlaštenih inženjera građevinarstva 2007

TERZAGHI, K., 1950. Mechanism of landslides. Application of Geology to Engineering Practice. New York: Geological Society of America. p. 83 – 123

TURNER, A. K. i McGUFFEY, V. C., 1996. Organization of Investigation Process. Landslides – Investigation and Mitigation, Transportation Research Board, Special report 247, Turner, Schuster. National Academy Press. Washington D.C., p. 121 – 128

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

VERNES, D. J., 1984. Landslide hazard zonation: a review of principles and 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

WP/WLI (INTERNATIONAL GEOTEHNICAL SOCIETIES' UNESCO WORKING PARTY ON WORLD LANDSLIDE INVENTORY), 1995. A suggested method for describing the rate of movement of a landslide. Bulletin of International Association of Engineering Geology. 52 p. 75 – 78

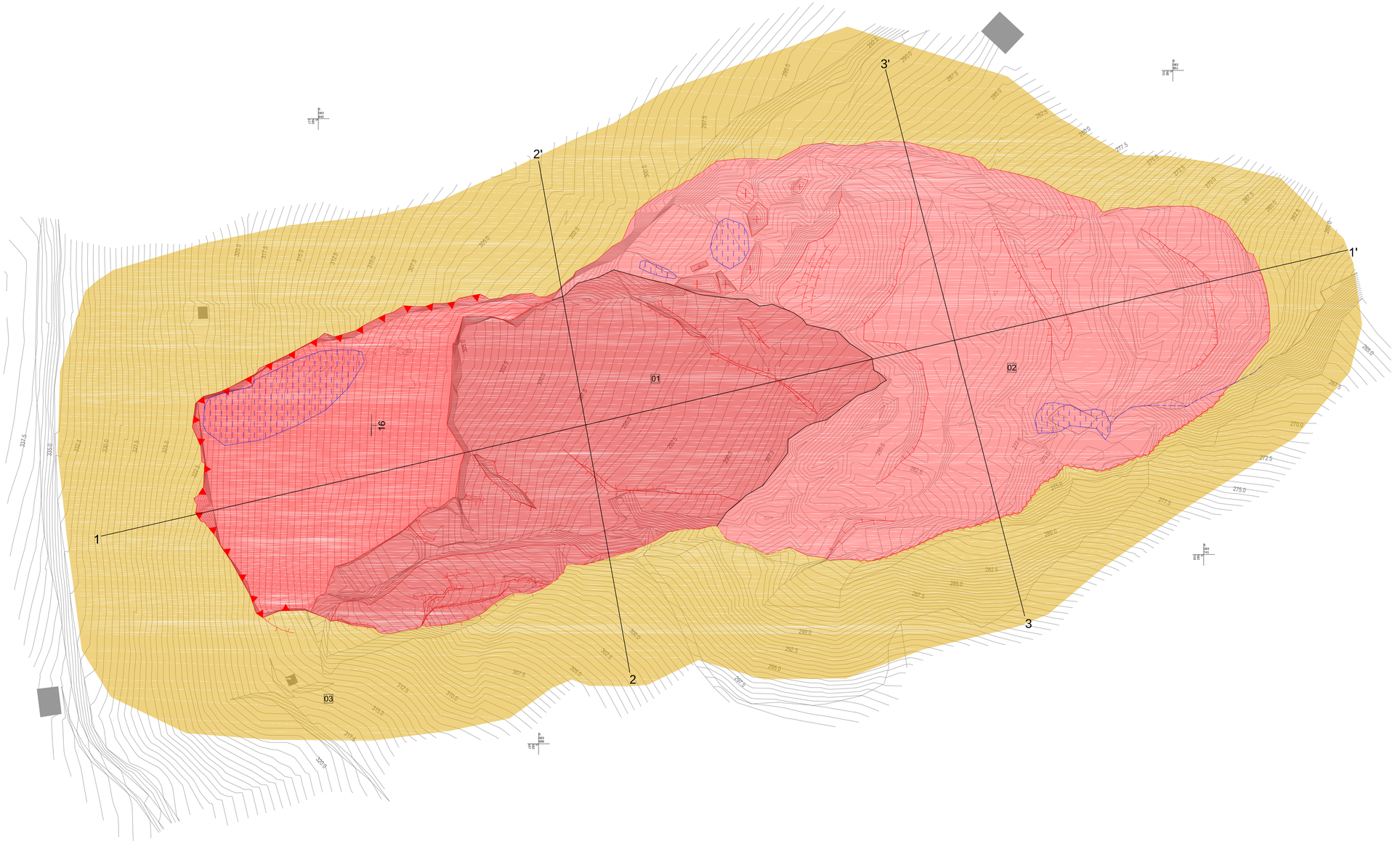
WEB IZVORI:

URL: https://www.zagreb.hr/2-mjesni-odbor-cucerje/14726 (10. travnja 2018)

URL: http://www.geoportal.dgu.hr/ (15. travnja 2018)

URL: http://www.wsgs.wyo.gov/hazards/landslides (20. svibnja 2018)

URL: https://www.tportal.hr/vijesti/clanak/raste-broj-klizista-u-zagrebu-pazite-gdje-kupujete-kucu-20140917/ (28. srpnja 2018)



GENEZA/STRATIGRAFSKA OZNAKA			OZNAKA	INŽENJERSKOGEOLOŠKI TIP
POVRŠINSKE NASLAGE	KOLUVIJALNE NASLAGE	Q_{k1}	01	KOLUVIJALNE NASLAGE: blokoviti trošni lapori u izmjeni s prahovima niske plastičnosti
		Q_{k2}	02	KOLUVIJALNE NASLAGE: dezintegrirani trošni lapori u izmjeni s prahovima niske plastičnosti
	TORTONSKE NASLAGE	$_1M_2^2$	03	MJEŠAVINA SITNOZRNATOG TLA I LAPORA: trošni lapori u izmjeni s prahovima niske plastičnosti
MATIČNA STIJENA	TORTONSKE NASLAGE	$_1M_2^2$	11	MATIČNA STIJENA: lapori, srednje trošnosti i srednje čvrstoće

GEODINAMIČKI SIMBOLI

- ČEONA PUKOTINA S VIDLJIVIM DIJELOM KLIZNE PLOHE
- PUKOTINA
- NAJAHIVANJE
- STOPA
- JARUŽENJE
- GRANICA KLIZIŠTA
- PRETPOSTAVLJENA PUKOTINA
- PRETPOSTAVLJENA GRANICA KLIZIŠTA
- OTVORENA PUKOTINA

HIDROGEOLOŠKI SIMBOLI

- POVRŠINSKA VODA (VLAŽENJE)
- POVREMENI TOK

GEOLOŠKI SIMBOLI

- 16 — POLOŽAJ SLOJA

OSTALI SIMBOLI

- 1 — 1' — INŽENJERSKOGEOLOŠKI PROFIL

RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo

DIPLOMSKI RAD

LOKACIJA	TRSTENIK, ČUČERJE, GRAD ZAGREB
VRSTA SADRŽAJA	INŽENJERSKOGEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA
SADRŽAJ PRILOGA	INŽENJERSKOGEOLOŠKA KARTA KLIZIŠTA TRSTENIK

IZRADIO	MENTOR
JOSIP BAGARIĆ univ.bacc.ing.geol	Doc. dr. sc. MARTIN KRKAČ

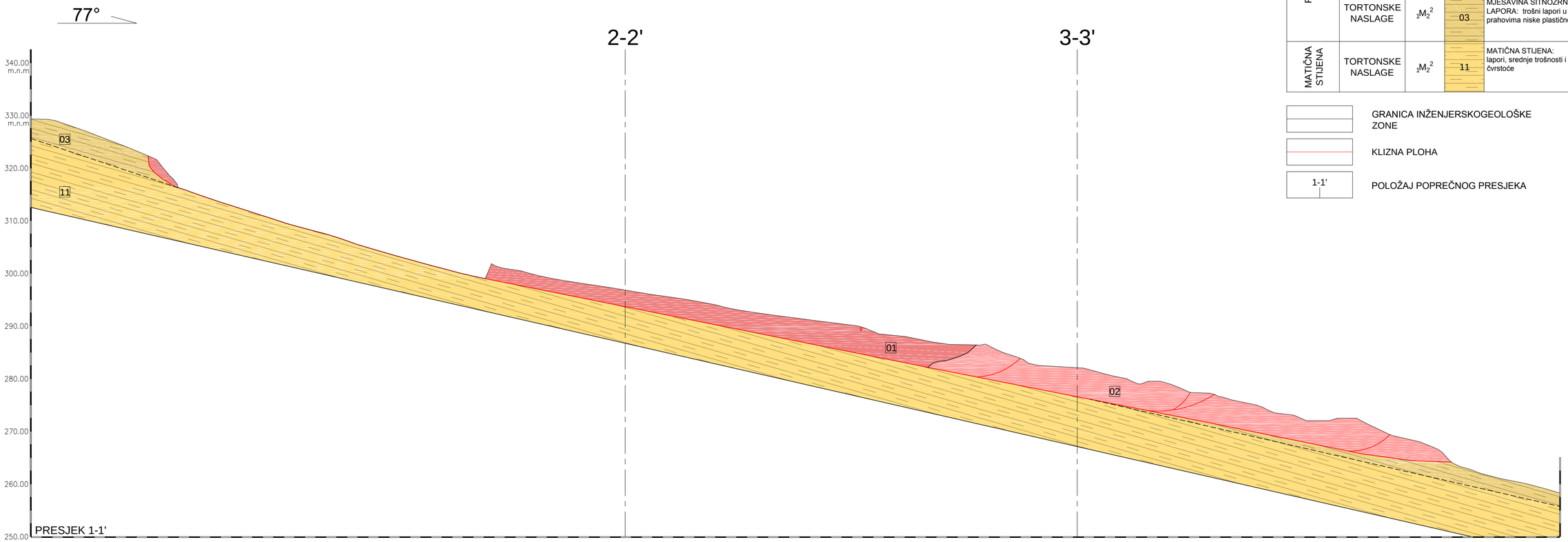
DATUM	MJERILO	PRILOG BR.
rujan, 2018.	1:500	1

GENEZA/STRATIGRAFSKA OZNAKA			OZNAKA	INŽENJERSKOGEOLOŠKI TIP
POVRŠINSKE NASLAGE	KOLUVIJALNE NASLAGE	Q_{k1}	01	KOLUVIJALNE NASLAGE: blokoviti trošni lapori u izmjeni s prahovima niske plastičnosti
		Q_{k2}	02	KOLUVIJALNE NASLAGE: dezintegrirani trošni lapori u izmjeni s prahovima niske plastičnosti
	TORTONSKE NASLAGE	$_1M_2^2$	03	MJEŠAVINA SITNOZRNATOG TLA I LAPORA: trošni lapori u izmjeni s prahovima niske plastičnosti
MATIČNA STIJENA	TORTONSKE NASLAGE	$_1M_2^2$	11	MATIČNA STIJENA: lapori, srednje trošnosti i srednje čvrstoće

GRANICA INŽENJERSKOGEOLOŠKE ZONE

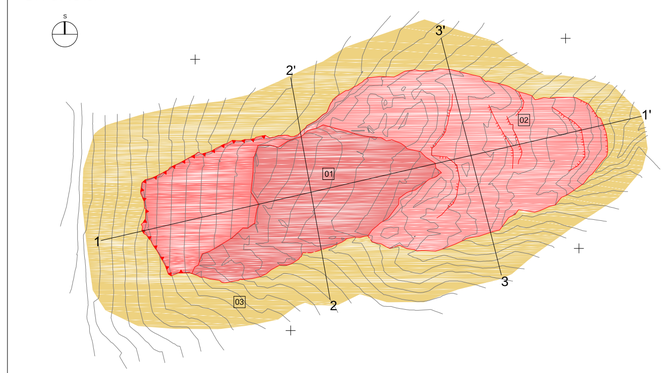
KLIZNA PLOHA

1-1' POLOŽAJ POPREČNOG PRESJEKA



PRESJEK 1-1'

SITUACIJA



RGNF

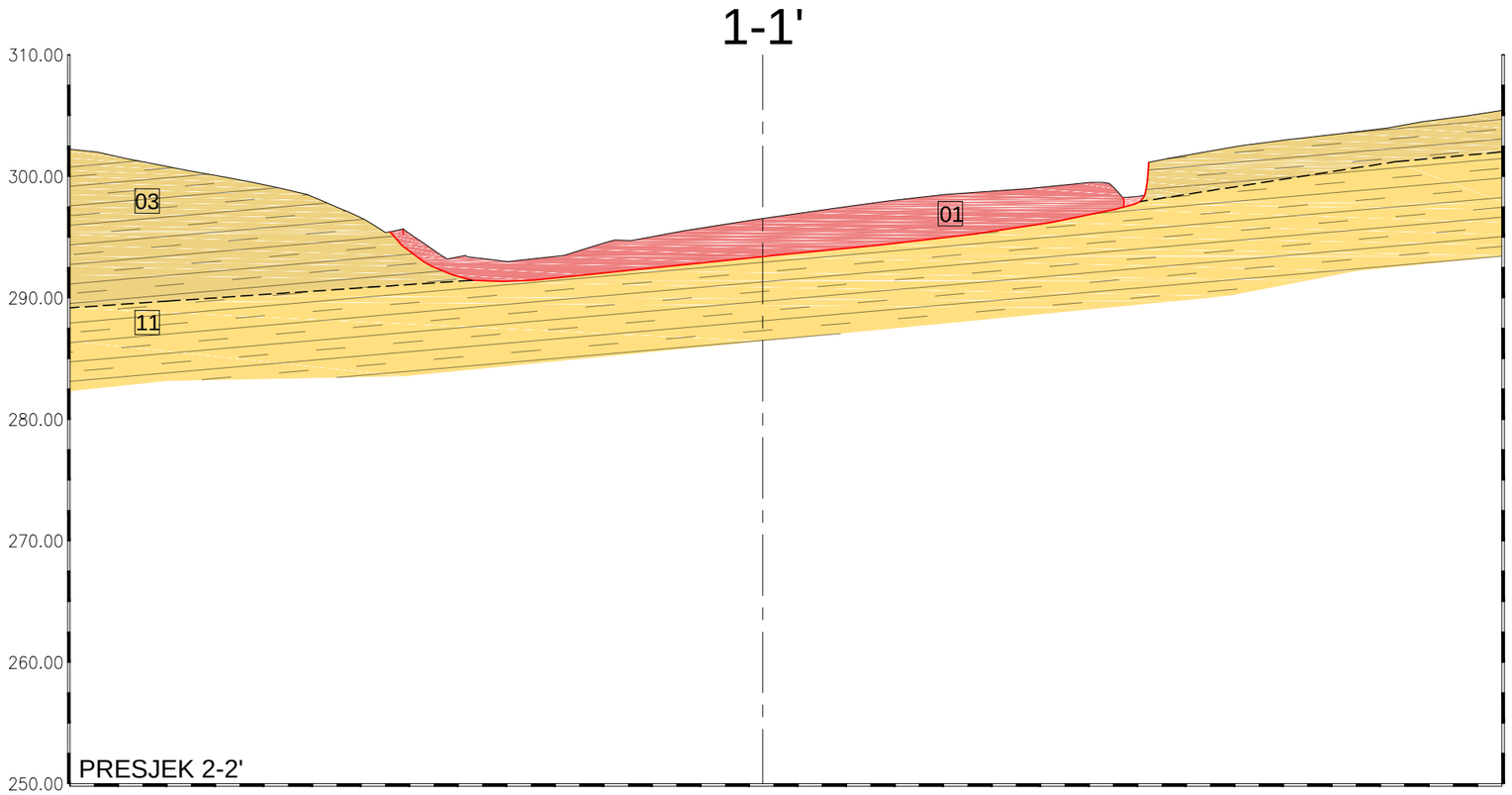
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo

DIPLOMSKI RAD

LOKACIJA	TRSTENIK, ČUČERJE, GRAD ZAGREB
VRSTA SADRŽAJA	INŽENJERSKOGEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA
SADRŽAJ PRILOGA	INŽENJERSKOGEOLOŠKI UZDUŽNI PROFIL 1-1'

IZRADIO	MENTOR
JOSIP BAGARIĆ, univ.bacc.ing.geol	Doc. dr. sc. MARTIN KRKAČ

DATUM	MJERILO	PRILOG BR.
rujan, 2018.	1:500	2

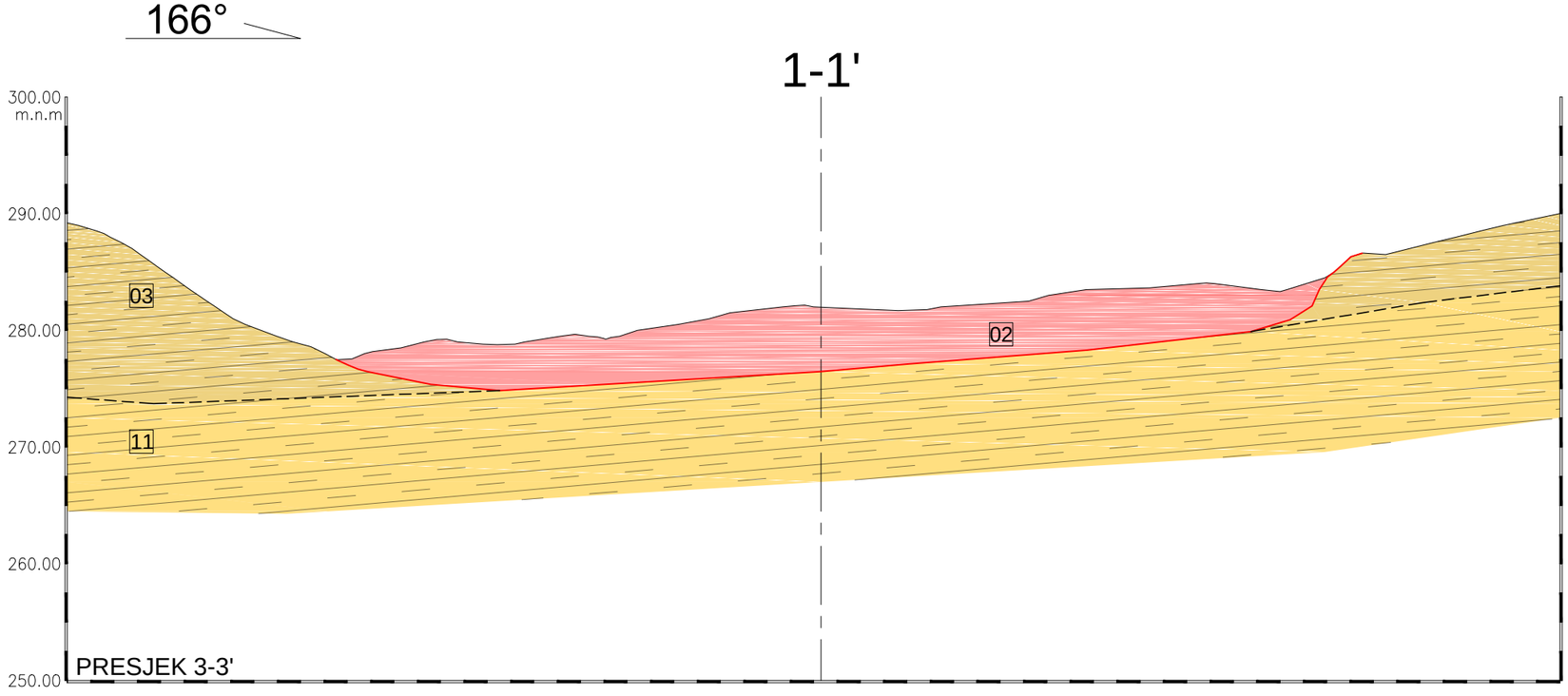


GENEZA/STRATIGRAFSKA OZNAKA			OZNAKA	INŽENJERSKOGEOLOŠKI TIP
POVRŠINSKE NASLAGE	KOLUVIJALNE NASLAGE	Q_{k1}	01	KOLUVIJALNE NASLAGE: blokoviti trošni lapori u izmjeni s prahovima niske plastičnosti
		Q_{k2}	02	KOLUVIJALNE NASLAGE: dezintegrirani trošni lapori u izmjeni s prahovima niske plastičnosti
	TORTONSKE NASLAGE	$_1M_2^2$	03	MJEŠAVINA SITNOZRNATOG TLA I LAPORA: trošni lapori u izmjeni s prahovima niske plastičnosti
MATIČNA STIJENA	TORTONSKE NASLAGE	$_1M_2^2$	11	MATIČNA STIJENA: lapori, srednje trošnosti i srednje čvrstoće

GRANICA INŽENJERSKOGEOLOŠKE ZONE

KLIZNA PLOHA

1-1' POLOŽAJ POPREČNOG PRESJEKA



RGNF

RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo

DIPLOMSKI RAD

LOKACIJA	TRSTENIK, ČUČERJE, GRAD ZAGREB
VRSTA SADRŽAJA	INŽENJERSKOGEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA
SADRŽAJ PRILOGA	INŽENJERSKOGEOLOŠKI POPREČNI PROFIL 2-2´ INŽENJERSKOGEOLOŠKI POPREČNI PROFIL 3-3´

IZRADIO	MENTOR
JOSIP BAGARIĆ, univ.bacc.ing.geol	Doc. dr. sc. MARTIN KRKAČ

DATUM	MJERILO	PRILOG BR.
rujan, 2018.	1:500	3