

# Inženjerskogeološko istraživanje klizišta Pantovčak u Zagrebu

---

**Lončar, Anđela**

**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:169:111729>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-04**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



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

**INŽENJERSKOGEOLOŠKO ISTRAŽIVANJE KLIZIŠTA PANTOVČAK U**  
**ZAGREBU**  
**Diplomski rad**

**Anđela Lončar**  
**GI 271**

**Zagreb, 2018**

## INŽENJERSKOGEOLOŠKO ISTRAŽIVANJE KLIZIŠTA PANTOVČAK U ZAGREBU

ANDELA LONČAR

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

### Sažetak

Tema diplomskog rada je inženjerskogeološko istraživanje klizišta Pantovčak u Zagrebu, s ciljem definiranja inženjerskogeološkog modela. U okviru istraživanja provedeno je detaljno inženjerskogeološko kartiranje i determinacija jezgre dobivene istraživačkim bušenjem, a pri interpretaciji inženjerskogeološkog modela klizišta korišteni su i rezultati in situ ispitivanja (standardni penetracijski pokus), geofizičkih ispitivanja (geoelektrična tomografija i plitka seizmička refleksija), laboratorijskih ispitivanja fizičkih i mehaničkih svojstava tla te geotehničkog monitoringa, odnosno mjerenja razine vode i praćenja pomaka tla inklinometrom. Determinacijom i interpretacijom jezgre istraživačkih bušotina utvrđeno je da istraživanu lokaciju izgrađuje sedam inženjerskogeoloških tipova podijeljenih na naslage koje čine osnovnu masu tla i površinske naslage. Naslage osnovne mase tla čine slabo trošni do svježi sedimenti gornjeg pontaa, dok površinske naslage čine kora trošenja gornjopontskih i pliokvartarnih naslaga te koluvijalne i umjetne naslage. Zbog malih pomaka klizišta te zbog modifikacije terene uzrokovane antropogenim utjecajem, inženjerskogeološkim kartiranjem je tek pretpostavljena granica klizišta na površini terena. Klizište Pantovčak je interpretirano je kao trenutačno neaktivno, rotacijsko klizište, s maksimalnom dubinom klizne plohe od 9,7 m. Maksimalna duljina klizišta iznosi 103 metra, a širina 131 metar. Inženjerskogeološki model klizišta Pantovčak prezentiran je detaljnom inženjerskogeološkom kartom mjerila 1:500 te s tri inženjerskogeološka profila mjerila 1:500.

Ključne riječi: klizište, inženjerskogeološko kartiranje, determinacija jezgre, inženjerskogeološke jedinice, inženjerskogeološki model

Diplomski rad sadrži: 42 str., 12 tablica, 15 slika, 25 referenci

Jezik izvornika: hrvatski

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

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

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

Prof. dr. sc. Snježana Mihalić Arbanas, RGNF

Prof. dr. sc. Željko Arbanas, GF (UNIRI)

Datum obrane: 19. siječnja, 2018. godine

## **ENGINEERING GEOLOGICAL MODEL OF THE PANTOVČAK LANDSLIDE IN ZAGREB**

ANDELA LONČAR

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

### Abstract

The aim of the thesis is engineering geological investigation of the Pantovčak landslide and determination of engineering geological model. Engineering geological model was interpreted based on results of engineering geological mapping, determination and interpretation of five borehole cores, in-situ investigation (standard penetration test), geophysical investigation (geoelectric tomography and seismic refraction), laboratory research of physical and mechanical features of the soil and geotechnical monitoring, i.e. groundwater level and inclinometric measurements. The determination and interpretation of borehole cores on the site gave an insight into the geological structure on the location of the landslide. In total, seven Engineering geological were determined, divided into the bedrock and surface deposits. Bedrock deposits are made of fresh to slightly weathered Late Pontian sediments, whereas surface deposits are made of weathered Plio-quaternary and Late Pontian sediments, as well as artificial and colluvial deposits. Due to small landslide displacements and modifications of the terrain done by antropogenic influence, the surface contours of the landslide are mostly assumed. The Pantovčak landslide is interpreted as currently inactive, rotational landslide with depth of the sliding surface at 9,7 meters. Maximum length of the landslide is 103 m, and maximum width is 131 m. The Engineering geological model of Pantovčak landslide is presented with engineering geological map at a scale of 1:500 and three engineering geological profiles at a scale of 1:500.

Keywords: landslide, engineering geological mapping, core determination, engineering geological units, engineering geological model

Thesis contains: 42 pages, 12 tables, 15 pictures, 25 references

Original in: Croatian

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

Supervisor: PhD Martin Krkač, Assistant Professor

Ocjenjivači: PhD Martin Krkač, Assistant Professor

PhD Snježana Mihalić Arbanas, Full Professor

PhD Željko Arbanas, Full Professor

Date of defense: January 19th, 2018

## SADRŽAJ

1	UVOD .....	1
2	PRIRODNE ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA .....	2
2.1	Geografske i geomorfološke značajke .....	2
2.2	Geološke značajke .....	4
2.1	Seizmičke značajke područja .....	6
3	METODE I REZULTATI INŽENJERSKOGEOLOŠKOG ISTRAŽIVANJA .....	9
3.1	Detaljno inženjerskogeološko kartiranje .....	9
3.2	Geotehnički istražni radovi .....	12
3.3	Geofizički istražni radovi .....	15
3.4	Laboratorijska ispitivanja .....	20
3.5	Monitoring klizišta .....	24
4	INTERPRETACIJA INŽENJERSKOGEOLOŠKOG MODELA KLIZIŠTA .....	27
4.1	Značajke klizišta .....	28
4.2	Inženjerskogeološke jedinice .....	30
5	DISKUSIJA .....	35
6	ZAKLJUČAK .....	37
7	LITERATURA .....	38

## POPIS SLIKA

Slika 2.1 Položaj istraživanog klizišta prikazan na DOF snimku, M 1:5000. ....	2
Slika 2.2 Položaj istraživanog klizišta prikazan na uvećanom isječku HOK (mjerilo 1:3000). ....	3
Slika 2.3 Isječak iz Osnovne geološke karte SFRJ M 1:100.000 – list Zagreb i Ivanić Grad (modificirano prema Šikić i dr., 1972) s prikazom istraživane lokacije. ....	5
Slika 3.1 Lokacije oštećenja zabilježene inženjerskogeološkim kartiranjem (preuzeto s <a href="https://earth.app.goo.gl/ySW9">https://earth.app.goo.gl/ySW9</a> ). ....	10
Slika 3.2 Klizište Pantovčak (fotografirano 12.04.2017.): puknuće betonskog zida (a); betonski zid pričvršćen željeznom konstrukcijom (b); "pijano" drveće (c); vlažno tlo (d). ....	11
Slika 3.3 Mjerenje razine podzemne vode u bušotini B-3. ....	14
Slika 3.4 Ugradnja inklinometra u bušotinu B-4. ....	14
Slika 3.5 Položaji izvedenih refrakcijskih i geoelektričnih profila. ....	16
Slika 3.6 Geoelektrični profili izvedeni na istraživanoj lokaciji (Institut IGH d.d., 2017) .....	17
Slika 3.7 Dubinski seimički presjek REF_PANT_02. ....	18
Slika 3.8 Dubinski seimički presjeci REF_PANT_01-05 (gore) i REF_PANT_03-04 (dolje). ....	19
Slika 3.9 Rezultati inklinometarskih mjerenja u bušotini B-4 (Geokon – Zagreb d.d., 2017) .....	25
Slika 3.10 Rezultati inklinometarskih mjerenja u bušotini B-4 (Geokon – Zagreb d.d., 2017). ....	26
Slika 4.1 Vidljivi dijelovi klizišta (WP/WLI, 1993). ....	27
Slika 4.2 Tipovi uzročnika klizanja (Mihalić, 2007). ....	30

## POPIS TABLICA

Tablica 2-1. Inženjerskogeološke jedinice na području klizišta Pantovčak, prikazane s obzirom na genezu, poredane od najmlađih prema najstarijima. ....	6
Tablica 3-1 Osnovni podaci o istražnim bušotinama na području klizišta Pantovčak. ..	13
Tablica 3-2 Rezultati geoelektričnih ispitivanja (Institut IGH d.d., 2017). ....	18
Tablica 3-3 Rezultati laboratorijskih ispitivanja uzoraka iz bušotina B-1, B-2 i B-3, klizište Pantovčak (Geokon – Zagreb d.d., 2017).....	21
Tablica 3-4 Tablica 3 3 Rezultati laboratorijskih ispitivanja uzoraka iz bušotina B-4 i B-5, klizište Pantovčak (Geokon – Zagreb d.d., 2017).....	22
Tablica 3-5 Pokusi u edometru (Geokon – Zagreb d.d., 2017).....	23
Tablica 3-6 Rezultati ispitivanja u bušotinama B-3 i B-4 (Institut IGH d.d., 2017). ....	23
Tablica 3-7 Klizište Pantovčak – osnovni podaci po piezometru i podacima mjerenja razine podzemne vode u razdoblju 2. veljače – 28. veljače 2017. godine (Geokon – Zagreb d.d., 2017.).....	24
Tablica 4-1 Terminologija za opis stanja aktivnosti klizišta s pripadajućim definicijama (WP/WLI, 1993). ....	28
Tablica 4-2 Terminologija za opis distribucije aktivnosti klizanja s pripadajućim definicijama (WP/WLI, 1993). ....	29
Tablica 4-3 Terminologija za opis stilova aktivnosti klizanja s pripadajućim definicijama (WP/WLI, 1993). ....	29
Tablica 4-4 Inženjerskogeološke jedinice na klizištu Pantovčak. ....	32

## **POPIS PRILOGA**

Prilog 1	Inženjerskogeološka karta M 1:500
Prilog 2/1	Presjek bušotine B-1 Fotografija jezgre bušotine
Prilog 2/2	Presjek bušotine B-2 Fotografija jezgre bušotine
Prilog 2/3	Presjek bušotine B-3 Fotografija jezgre bušotine
Prilog 2/4	Presjek bušotine B-4 Fotografija jezgre bušotine
Prilog 2/5	Presjek bušotine B-5 Fotografija jezgre bušotine
Prilog 3	Inženjerskogeološki profil 1-1'
Prilog 4	Inženjerskogeološki profil 2-2'
Prilog 5	Inženjerskogeološki profil 3-3'



# 1 UVOD

Klizanje je kretanje mase stijena ili tla niz padinu zbog utjecanja gravitacije (CRUDEN & VARNES, 1996). Klizište se može pojaviti u bilo kojoj vrsti tla ili stijene kao dio prirodnih procesa u tlu, ali i kao rezultat ljudskog djelovanja, a posljedice klizanja mogu predstavljati opasnost za ljude te uzrokovati štetu materijalnih dobara.

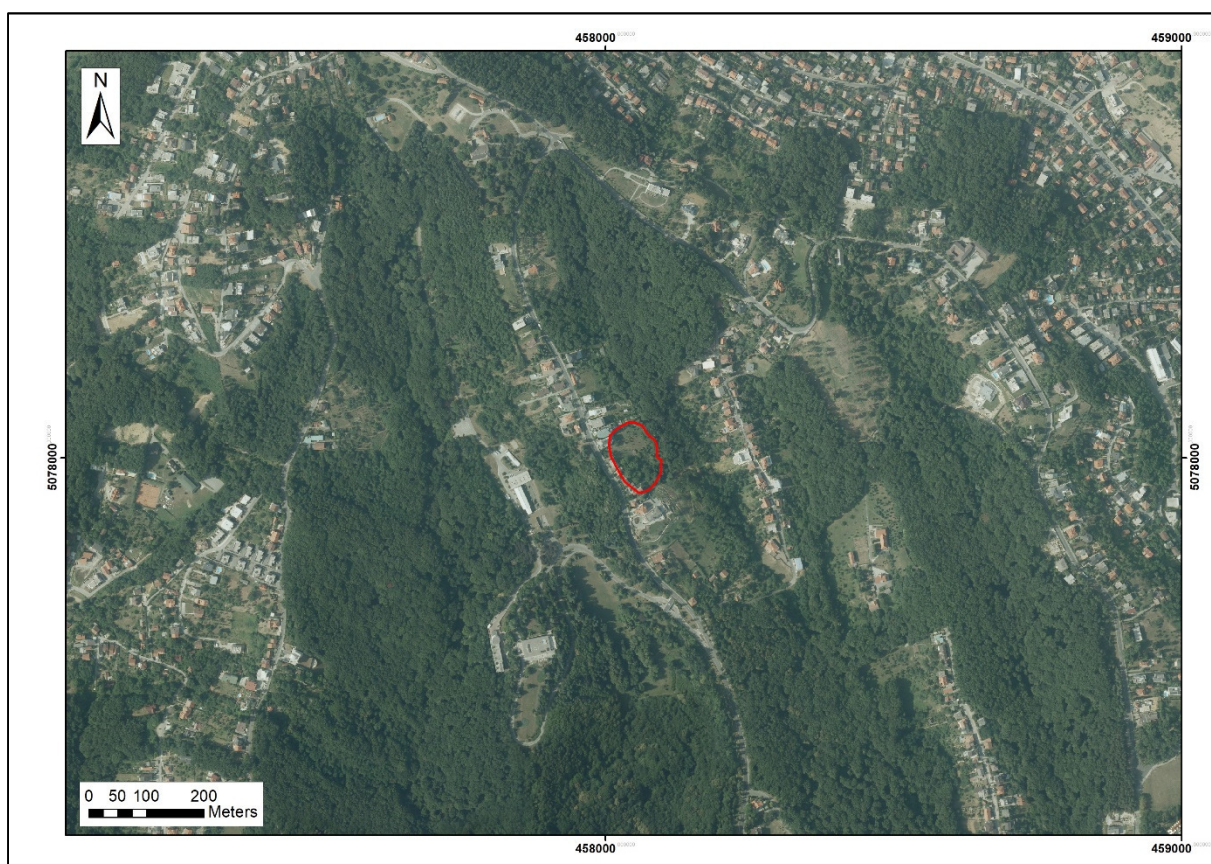
U podsljemenskoj Grada Zagreba nalaze se brojna klizišta, a jedno od njih je klizište Pantovčak, koje je aktivirano 2015. godine te ponovo reaktivirano 2016. godine. Prilikom aktivacije, odnosno reaktivacije klizišta, došlo je do pojave pukotina na samom terena, ali i na stambenim objektima. Nakon aktiviranja klizišta 2015. godine nije rađen projekt sanacije, a većinu štete nastale na objektima i u dvorištima sanirali su vlasnici parcela. Aktivacijom klizišta 2016. godine Grad Zagreb pristupa projektu sanacije klizišta kako bi se spriječila buduća oštećenja te opasnost za ljude i materijalna dobra. Kroz ovaj rad opisana su inženjerskogeološka istraživanja klizišta Pantovčak koja su provedena u okviru geotehničkih istraživanja za projekt sanacije.

Detaljnim inženjerskogeološkim istraživanjem klizišta utvrđuju se njegove značajke, odnosno dimenzije klizišta, stanje aktivnosti, mehanizam pokreta, kao i značajke tla/stijene koje klizu i u kojima je došlo do klizanja. Detaljna inženjerskogeološka istraživanja sastoje se od terenskog prikupljanja podataka i kabinetske obrade i interpretacije podataka (MIHALIĆ ARBANAS i ARBANAS, 2014). Istraživanja klizišta Pantovčak provedena su u razdoblju od siječnja do srpnja 2017. godine, a sastojala su se od detaljnog inženjerskogeološkog kartiranja, istraživačkog bušenja i determinacije jezgre, geofizičkih istraživanja, laboratorijskih i *in-situ* ispitivanja te geotehničkog monitoringa. Cilj istraživanja bio je odrediti inženjerskogeološki model klizišta, odnosno vrste materijala u klizištu, njihova svojstva te njihovu prostornu raspodjelu, položaj klizne plohe i granice klizišta na površini terena. Na temelju inženjerskogeološkog modela klizišta, definiranog inženjerskogeološkom kartom i inženjerskogeološkim profilima, izrađuju se analize stabilnosti te se projektiraju mjere sanacije.

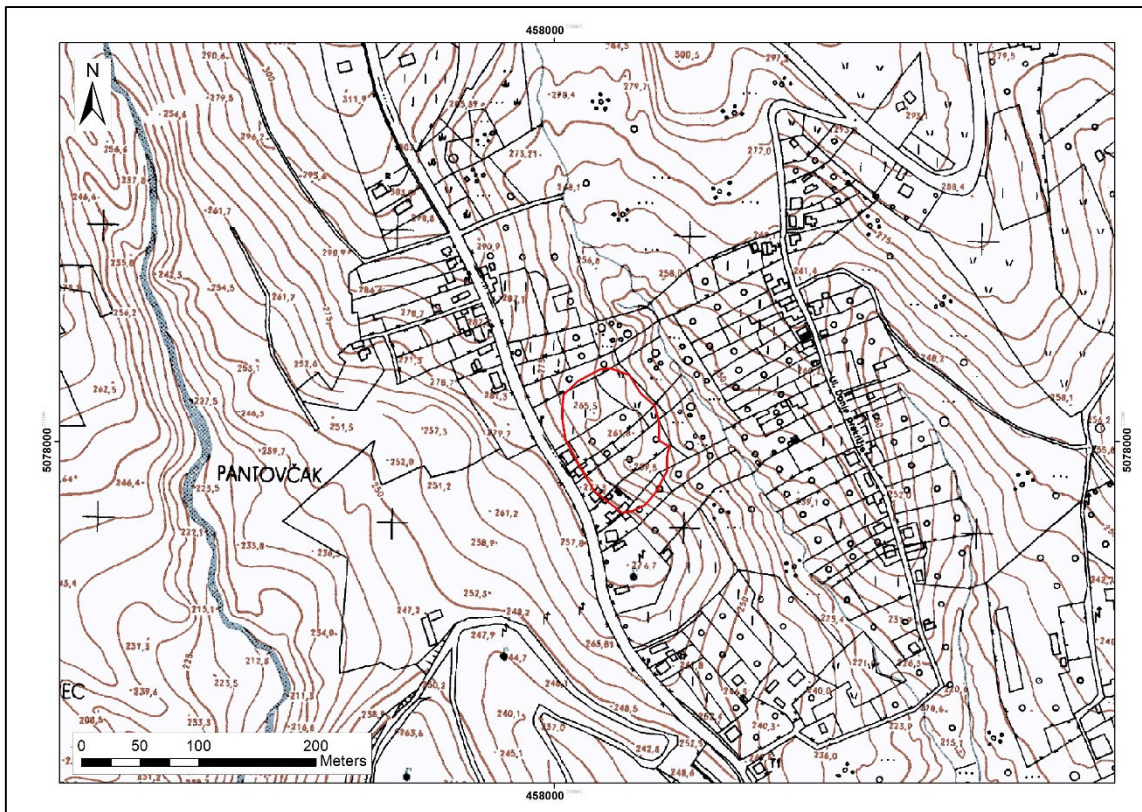
## 2 PRIRODNE ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

### 2.1 Geografske i geomorfološke značajke

Istraživano klizište nalazi se u podsljemenskoj zoni Grada Zagreba, u gradskoj četvrti Pantovčak, na padini neposredno (istočno) uz ulicu Pantovčak, između kućnih brojeva 262 i 270b. Klizište je prvi puta aktivirano 2015. godine, a drugi puta je reaktivirano 2016. godine, kada je počelo ugrožavati sigurnost građevinskih objekata. Na slikama 2.1. i 2.2, odnosno na isječku digitalnog ortofoto snimka (DOF) i isječku Hrvatske osnovne karte (HOK), prikazan je geografski položaj klizišta Pantovčak.



Slika 2.1 Položaj istraživanog klizišta prikazan na DOF snimku, M 1:5000.



Slika 2.2 Položaj istraživanog klizišta prikazan na uvećanom isječku HOK (mjerilo 1:3000).

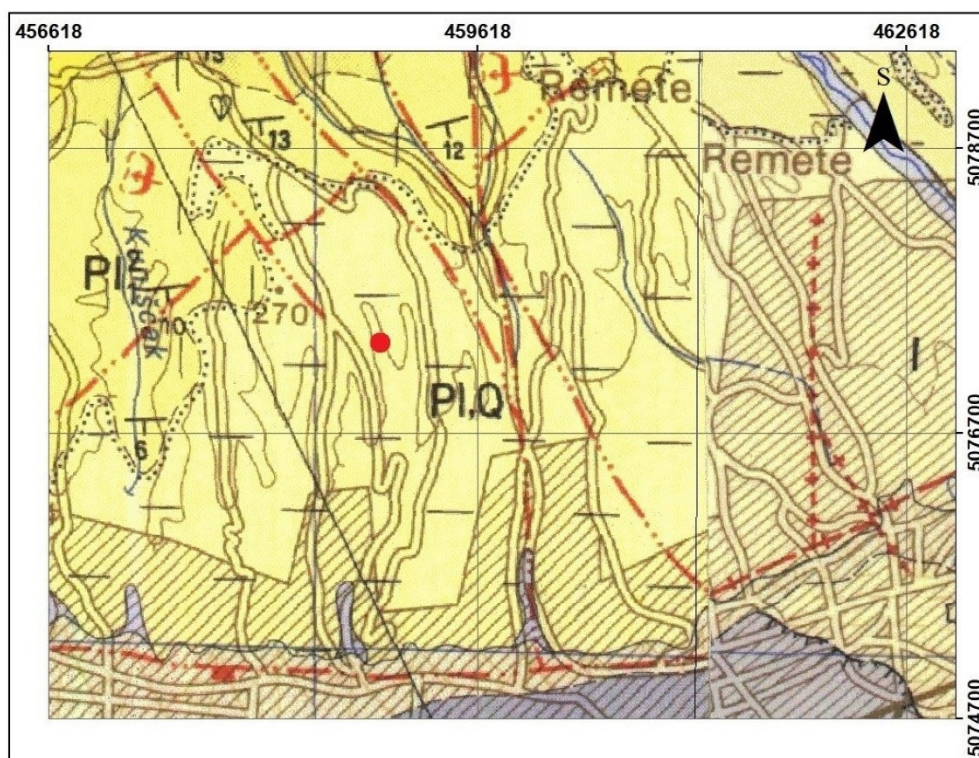
Padina na kojoj se nalazi istraživano klizište nagnuta je u smjeru istoka-sjeveroistoka. Sa zapadne strane padina je omeđena ulicom Pantovčak, a s istočne strmom padinom na dnu koje je jaruga. Dno padine nalazi se na nadmorskoj visini od približno 240,0 m n.m., dok se vrh padine nalazi na visini od otprilike 277,0 m n.m. Visinska razlika između dna i vrha padine iznosi otprilike 37 metara. Na istraživanoj lokaciji izmjenjuju se strmiji i blaže nagnuti dijelovi terena. Na vrhu padine, nagib neposredno uz cestu je blag, iza kojeg slijedi strmi nagib prema srednjem dijelu terena, pod kutom od otprilike 32°. Generalni nagib kroz srednji dio terena je 19°, nakon čega opet slijedi strmi nagib od oko 35°, sve do jaruge u dnu. Na desnom boku klizišta, ispod objekta na adresi Pantovčak 262, teren je dosta nepravilan zbog nasipavanja padine.

## 2.2 Geološke značajke

Prema Osnovnoj geološkoj karti SFRJ M 1:100.000 – list Zagreb (Šikić i dr., 1972) i pripadajućem tumaču lista Zagreb (Šikić i dr., 1972), ustanovljeno je da je šire područje istraživanja izgrađeno od naslaga pliokvartarne ( $Q_1$ , stara oznaka PIQ) i gornjopontske ( $M_7^2$ , stara oznaka  $Pl_1^2$ ) starosti (slika 2.3). Prema Šikić i dr., (1972), pliokvartarne naslage su zastupljene su u obliku slatkovodnih, proluvijalnih i fluvijalno-jezerskih sedimenata molasnog tipa, koji leže diskordantno na različitim članovima tercijara, mezozoika i paleozoika. Ishodišni materijal za njihov nastanak su kompleks niskometamornih stijena koje grade jezgru planine Medvednice. Gornja granica im nije definirana te postoji mogućnost kontinuiranog prijelaza u donji pleistocen. Obuhvaćaju facijes šljunaka, šljunaka s lećama pijesaka, pijeske s lećama šljunaka, glinovito-pjeskovite, glinovite i pjeskovite siltove te gline. Rjeđe se mogu naći ulošci pješčenjaka i konglomerata. Gline formiraju tanje proslojke ili leće. Šljunci su pretežno nesortirani, sastoje se od valutica različitih stijena najčešćeg promjera do 5 cm. Pretpostavlja se da maksimalna debljina ovih naslaga u području podsljemenske zone iznosi do 150 m.

Naslage gornjeg ponta razvijene su u facijesu tzv. „Rhomboidea“ naslaga, a obuhvaćaju pijeske ili pjeskovite i glinovite lapore koji prelaze u glinovite pijeske ili prahovi, s udjelom glinovite komponente do otprilike 13%. Od nevezanih sedimenata prevladavaju pijesci, prahoviti pijesci ili pjeskoviti prahovi s malim udjelom gline. Unutar pijesaka, mjestimično se nalaze proslojci vapnenačkog pješčenjaka ili vapnenački prahovnjaci. Vezivo je kalcit, a čestice kvarca su visoko zastupljene u detritusu.

Prema OGK (Šikić i dr., 1972), na širem području istraživanja nalaze se rasjedi, koji s obzirom na pravac pružanja mogu biti podijeljeni u dvije grupe: rasjedi s pravcem pružanja SZ – JI te na njih približno okomiti rasjedi s pravcem pružanja SI – JZ. Približno okomit odnos između pravaca upućuje na snažnu tektonsku aktivnost tokom geološke prošlosti (Šikić i dr., 1972). Naslage pliokvartara i gornjeg ponta na istraživanom području su blago nagnute, nagiba između  $6^\circ$  i  $13^\circ$ , generalno u smjeru juga.



	proluvij; šljunci, pijesci, gline		šljunci, pijesci, gline (nova oznaka: Q <sub>1</sub> )
	aluvij šljunci, pijesci		pijesci, pjeskoviti i glinoviti lapori, gline (nova oznaka: M <sub>7</sub> <sup>2</sup> )
	erozijska ili tektonsko erozijska granica		element pada sloja, normalan, prevrnut, horizontalan
	rasjed bez oznake karaktera promatran, prekriven		veće klizište
	brakična makrofauna		istraživano klizište

Slika 2.3 Isječak iz Osnovne geološke karte SFRJ M 1:100.000 – list Zagreb i Ivanić Grad (modificirano prema Šikić i dr., 1972) s prikazom istraživane lokacije.

Istraživanu lokaciju izgrađuje sedam inženjerskogeoloških tipova podijeljenih na naslage koje čine osnovna masu tla i površinske naslage (tablica 2-1). Svježe do slabo trošne naslage gornjeg pontaa ( $M_7^2$ ) čine osnovnu masu tla te u inženjerskom smislu predstavljaju tvrdo tlo. Pokrivač čine površinske naslage, odnosno kora trošenja pliokvartarnih naslaga ( $Q_1$ ) i naslaga gornjeg pontaa ( $M_7^2$ ), koluvijalne naslage ( $Q_k$ ) te umjetne tvorevine ( $Q_{ut}$ ), odnosno nasip.

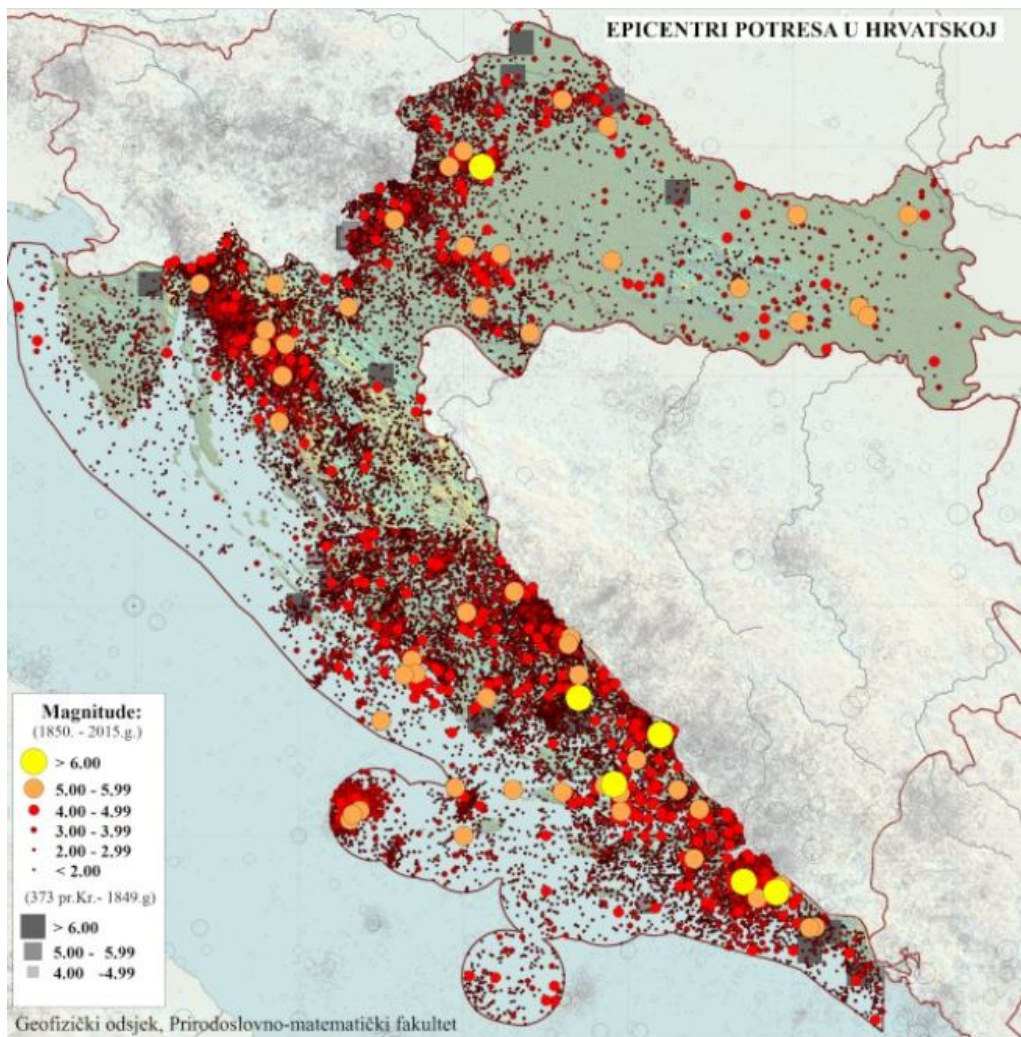
Tablica 2-1. Inženjerskogeološke jedinice na području klizišta Pantovčak, prikazane s obzirom na genezu, poredane od najmlađih prema najstarijima.

GENEZA/STRATIGRAFSKI SIMBOL		VRSTA MATERIJALA	
POVRŠINSKE NASLAGE (POKRIVAČ)	TRANSPORTIRANO TLO: UMJETNE NASLAGE ( $Q_{ut}$ )	NASIP	mješavina umjetnih naslaga i krupnozrnastog materijala
	TRANSPORTIRANO TLO: KOLUVIJ ( $Q_k$ )	INŽENJERSKO TLO	glina niske plastičnosti, glinoviti šljunak, pjeskovita glina, glina s pijeskom
		INŽENJERSKO TLO	glina, prah, glinoviti prah
	TROŠNI SEDIMENT: PLIOKVARTAR ( $Q_1$ )	INŽENJERSKO TLO	glina niske plastičnosti
		INŽENJERSKO TLO	glina niske plastičnosti
TROŠNI SEDIMENT: GORNJI PONT ( $M_7^2$ )	INŽENJERSKO TLO	glinoviti prah, glina visoke i niske plastičnosti s proslojcima glinovitog pijeska	
OSNOVNA MASA TLA	SLABO TROŠNI DO SVJEŽI SEDIMENTI: GORNJI PONT ( $M_7^2$ )	INŽENJERSKO TLO	prah visoke plastičnosti, prah niske plastičnosti

## 2.1 Seizmičke značajke područja

Grad Zagreb nalazi se na kontaktu velikih tektonskih jedinica: na sjeverozapadu Alpe, na istoku Panonski bazen te na jugu Dinaridi. Uzročnici nastanka potresa su tektonski pokreti koji se događaju u regionalnom prostoru. U širem prostoru Grada Zagreba poznato je 7 seimičkih izvora i to su: *Medvednički seizmički izvor*, *Zagrebački seizmički izvor*, *Pokupljanski seizmički izvor*, *Bilogorski*, *Kalnički te seizmički izvor Ivanščica i Metlika* (PRELOGOVIĆ, 1988).

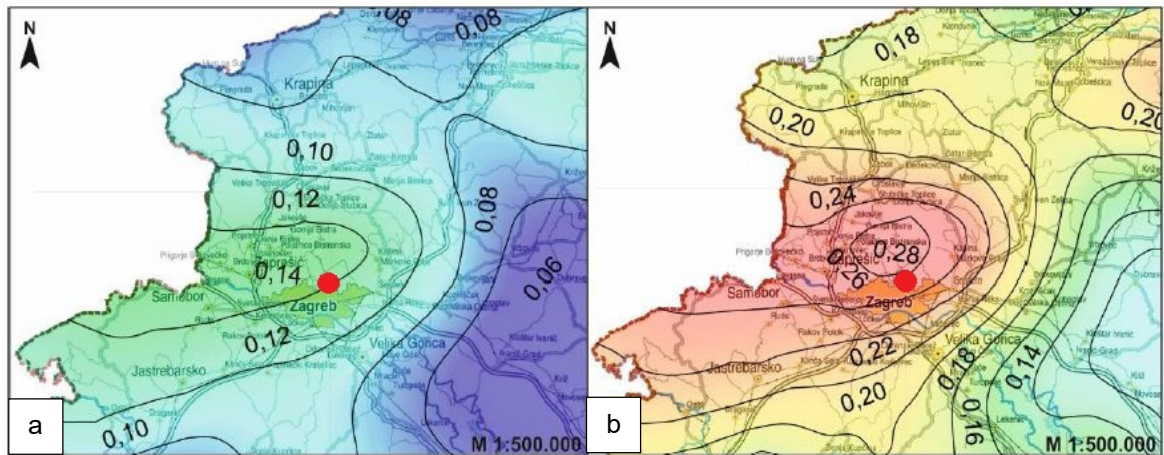
Za grad Zagreb najznačajniji su potresi u Medvedničkom seizmičkom izvoru, a žarišta tih potresa uglavnom su vezana za južne obronke Medvednice. Upravo u ovom dijelu, oko mjesta Kašina i Planine, je bilo i žarište najjačeg potresa, 9. studenog 1880., kada je maksimalni intezitet u epicentru u najbližoj okolici procijenjen na IX stupnjeva MCS (slika 2.4).



Slika 2.4 Epicentri potresa u Hrvatskoj ([https://www.pmf.unizg.hr/geof/seizmoloska\\_sluzba/o\\_seizmologiji](https://www.pmf.unizg.hr/geof/seizmoloska_sluzba/o_seizmologiji)).

Na slici 2.5 prikazan je dio karte potresnih područja Republike Hrvatske koja je izrađena u približnom mjerilu 1:800.000 (HERAK i dr., 2011), s označenom lokacijom klizišta Pantovčak. Vrijednosti prikazane na karti odgovaraju horizontalnim vršnim ubrzanjima tla tipa A<sup>1</sup> (agR) koja se u prosjeku premašuju tijekom povratnog razdoblja od 95 i 475 godina (T<sub>NCR</sub>). Ubrzanja su izražena u jedinicama gravitacijskog ubrzanja g (1g = 9,81 m/s<sup>2</sup>). Iznosi poredbenih vršnih ubrzanja na karti prikazani su izolinijama s rezolucijom 0,02 g.

<sup>1</sup> Temeljno tlo tipa A – stijena ili druga geološka formacija poput stijene, uključujući najviše 5 metara slabijeg materijala na površini



Slika 2.5 Karta poredbenih vršnih ubrzanja temeljnog tla  $a_{gR}$  (temeljno tlo tipa A) (Herak i dr., 2011): s vjerojatnosti promašaja 10% u 10 godina za poredbeno povratno razdoblje  $T_{NCR}=95$  god. (a); s vjerojatnosti promašaja 10% u 50 godina za poredbeno povratno razdoblje  $T_{NCR}=475$  god.

Vrijednost poredbenih vršnih ubrzanja temeljnog tla  $a_{gR}$  (za temeljno tlo tipa A), s vjerojatnosti promašaja 10% u 10 godina za poredbeno razdoblje  $T_{NCR}=95$  za promatrano područje prikazani su na slici 2.4a, a iznose 0,14 g. Vrijednost poredbenih vršnih ubrzanja temeljnog tla  $a_{gR}$  (za temeljno tlo tipa A), s vjerojatnosti promašaja 10% u 50 godina za poredbeno povratno razdoblja  $T_{NCR}=475$  za promatrano područje prikazani su na slici 2.4b, a iznose 0,26 g.



### **3 METODE I REZULTATI INŽENJERSKOGEOLOŠKOG ISTRAŽIVANJA**

Istraživanja pojedinačnih lokacija sastoje se od kabinetskih istraživanja, odnosno pregleda postojeće literature, terenskog istraživanja, odnosno prikupljanja podataka na terenu, te interpretacije modela na temelju dobivenih podataka. Metode terenskog istraživanja podzemlja mogu se podijeliti na izravne i neizravne. Izravne metode, poput istraživačkog bušenja i istraživačke jame, omogućuju uzimanje uzoraka. Neizravne metode, kao što su geofizička ispitivanja, daju izmjerene vrijednosti pojedinih svojstava nekog materijala koje se kasnije mogu korelirati s drugim podacima kako bi se procijenila vrsta i stanje materijala.

U okviru ovog diplomskog rada, na lokaciji klizišta Pantovčak urađena su detaljna istraživanja za fazu glavnog projekta, a to su: detaljno inženjerskogeološko kartiranje, istraživačko bušenje i *in-situ* ispitivanja (SPP), determinacija jezgri bušotina, geofizička istraživanja, laboratorijska ispitivanja te geotehnički monitoring. Na temelju postojeće literature i provedenih istraživanja interpretiran je inženjerskogeološki model klizišta Pantovčak.

#### **3.1 Detaljno inženjerskogeološko kartiranje**

Svrha inženjerskogeološkog kartiranja klizišta je dokumentiranje površinskih uvjeta kako bi se omogućila osnova za projiciranje potpovršinskih uvjeta (KEATON & DeGRAFF, 1996). Postupak detaljnog inženjerskogeološkog kartiranja sastoji se od bilježenja podataka o značajkama klizišta na terenu, a rezultat je inženjerskogeološka karta detaljnog mjerila. Detaljno inženjerskogeološko kartiranje područja klizišta Pantovčak provedeno je 12. travnja 2017. godine, čime je obuhvaćeno područje ukupne veličine od oko 1000 m<sup>2</sup>. Kartiranjem su dobiveni podaci o površinskim naslagama i geomorfološkim uvjetima na terenu na temelju kojih je izrađena inženjerskogeološka karta klizišta Pantovčak u mjerilu 1:500 (Prilog 1).

Na istraživanom području kartiranje je bilo otežano zbog guste vegetacije u donjem dijelu padine te slabo vidljivih značajki klizišta. Neka su oštećenja, nakon klizanja koje se dogodilo 2015. godine, vlasnici sanirali o vlastitom trošku. Promatranjem morfologije terena pri kartiranju, primijećeno je da značajke klizišta nisu na svim dijelovima jasno izražene iz razloga što novim klizanjem nije došlo do pomaka velikih razmjera. Na slici 3.1. pomoću Google Earth-a prikazane su lokacije oštećenja zabilježenih inženjerskogeološkim kartiranjem.



Slika 3.1 Lokacije oštećenja zabilježene inženjerskogeološkim kartiranjem (preuzeto s <https://earth.app.goo.gl/ySW9>).



Slika 3.2 Klizište Pantovčak (fotografirano 12.04.2017.): puknuće betonskog zida (a); betonski zid pričvršćen željeznom konstrukcijom (b); "pijano" drveće (c); vlažno tlo (d).

Na slici 3.2a vidljiva je djelomična sanacija puknutog betonskog zida ispod objekta na adresi Pantovčak 262, a puknuće je najvjerojatnije uzrokovano novim klizanjem. Na betonskoj ogradi ispod objekta na adresi Pantovčak 270 također se vidi napuknuti betonski zid pridržan metalnom konstrukcijom kroz koji prolazi pretpostavljena čeona pukotina (slika 3.2b). Na slici 3.2c prikazan je jedan od znakova klizanja terena, nagnuto, tj. „pijano“ drveće koje se nalazi u

središnjem dijelu klizišta. Ispod nožice klizišta te na boku klizišta, južno od objekta na adresi Pantovčak 262, zabilježena je pojava povremenog toka koji ovisi o promjenjivim klimatskim uvjetima. U blizini nema zabilježenog stalnog vodotoka. U blizini bušotine B-3, uz lijevi bok klizišta, zabilježeno je tlo povećane vlažnosti duž brazde, uzrokovano vjerojatno dreniranjem oborine niz padinu, prikazano na slici 3.2d. Na terenu su kartirane i pukotine koje na fotografijama ne dolaze do izražaja zbog vegetacije, ali su zabilježene na inženjerskogeološkoj karti mjerila 1:500 (Prilog 1).

### **3.2 Geotehnički istražni radovi**

Svrha geotehničkih istražnih radova na terenu je dobivanje uvida u prostorni položaj slojeva tla, njihovu debljinu, dubinu do razine podzemne vode te se izvode odgovarajuća terenska, odnosno *in-situ* ispitivanja.

Istraživačkim bušenjem dobiva se direktan uvid u vrste materijala u podzemlju. Izvedbom istraživačkog bušenja s jezgrovanjem dobiva se jezgra koja se slaže u sanduke s označenim dubinama, kako ne bi došlo do zabune pri interpretaciji. Inženjerski geolog, zadužen za nadzor na bušenju, radi determinaciju jezgre, opisuje značajke tla ili stijene te vrši ostale *in situ* pokuse, poput džepnog penetrometra ili džepne krilne sonde. Nakon izvedenih terenskih ispitivanja, potrebno je fotografirati jezgru iz ptičje perspektive te nakon toga odabrati reprezentativne uzorke koji se šalju na ispitivanja u geotehnički laboratorij. Ovisno o parametrima koji se žele odrediti laboratorijskim ispitivanjima, uzorci dobiveni istraživačkim bušenjem mogu biti poremećeni i neporemećeni. Iz poremećenih uzoraka dobivaju se klasifikacijska svojstva tla, a iz neporemećenih mehanička svojstva tla, kao što su čvrstoća i deformabilnost. Zadatak inženjerskog geologa je i pozicionirati bušotine tako da dubine bušotina i njihov međusobni raspored mogu pružiti podatke na osnovu kojih će se najpreciznije odrediti inženjerskogeološki model.

Bušenje izvode tvrtke registrirane za tu djelatnost. Bušaći koji izvode bušenje te *in situ* ispitivanja u bušotini, od kojih je najzastupljeniji standardni penetracijski pokus (SPP), prate promjene u jezgri te vode dnevnik bušenja.

Geotehnički istražni radovi na klizištu Pantovčak provedeni su u razdoblju od 16.1.2017. do 14.2.2017. godine, a sastojali su se od:

- determinacije jezgre,
- istražnog bušenja,
- uzorkovanja,
- *in situ* pokusa i
- ugradnje piezometra i inklinometara.

Istražno bušenje i standardni penetracijski pokus na istraživanoj lokaciji provela je tvrtka MKS INŽENJERING d.o.o., a *in situ* pokuse džepnim penetrometrom i džepnom krilnom sondom te ugradnju piezometra u bušotinu B-3 i inklinometara provela je tvrtka Geokon – Zagreb d.d. U okviru istraživanja izvedeno je 5 geotehničkih istražnih bušotina, od čega su četiri bušene strojno, a jedna je izvedena ručnim bušenjem. Dubine izvedenih istraživačkih bušotina su od 10,00 do 26,00 metara. Osnovni podaci o bušotinama prikazani su u tablici 3-1. Ukupno je izvedeno 96,00 metara s jezgrovanjem. Jezgra je slagana u drvene sanduke i fotografirana, a fotografije jezgre prikazane su u priložima 2/1 – 2/5. Za inženjerskogeološku determinaciju i opis tla iz jezgre bušotina korištena je klasifikacija za vizualno-manualnu determinaciju materijala, USCS (engl. *Unified Soil Clasification System*) geomehanička klasifikacija. Pri tom su uzimani poremećeni i neporemećeni uzorci tla. Poremećeni uzorci se uglavnom koriste za klasifikaciju i određivanje fizičkih svojstava tla, određivanje prirodne vlažnosti, graduiranosti i indeksa konzistencije materijala. Neporemećeni uzorci moraju biti uzeti i transportirani tako da sačuvaju početna svojstva, a koriste se za određivanje čvrstoće, krutosti, jedinične težine i propusnosti.

Tablica 3-1 Osnovni podaci o istražnim bušotinama na području klizišta Pantovčak.

OZNAKA BUŠOTINE	DATUM IZVOĐENJA	KOORDINATE BUŠOTINA			DUBINA BUŠOTINE (m)
		X	Y	UŠĆE BUŠOTINE, Z (m n.m.)	
B-1	13.02. - 14.02.2017	458037.12	5078064.98	264,90	10,00
B-2	16.01. - 24.01.2017.	458000.43	5077999.15	277,86	26,00
B-3	16.01. - 24.01.2017.	458094.33	5077974.33	257,90	20,00
B-4	06.02. - 09.02.2017.	458071.65	5078043.55	257,89	20,00
B-5	25.01. - 02.02.2017.	458040.43	5078024.63	264,03	20,00

U bušotinu B-3 ugrađen je piezometar, a u bušotine B-4 i B-5 ugrađeni su inklinometri. Na slici 3.5 može se vidjeti postupak mjerenja razine podzemne vode u bušotini B-3, a na slici 3.6. postupak ugradnje inklinometra u bušotinu B-4.



Slika 3.3 Mjerenje razine podzemne vode u bušotini B-3.



Slika 3.4 Ugradnja inklinometra u bušotinu B-4.

Položaj istraživačkih bušotina, piezometra te inklinometarskih cijevi prikazan je i na inženjerskogeološkoj karti 1:500 (Prilog 1). Rezultati istraživačkog bušenja, *in situ* pokusa te opis tla prikazani su na grafičkim prikazima presjeka bušotina u priložima 2/1 – 2/5.

### 3.3 Geofizički istražni radovi

Geofizički istražni radovi daju uvid u stanje naslaga na padini. Duž profila koji presijecaju širu lokaciju klizišta dobiveni su ulazni parametri za procjenu mogućnosti sanacije nestabilnosti i izradu detaljnih inženjerskogeoloških presjeka.

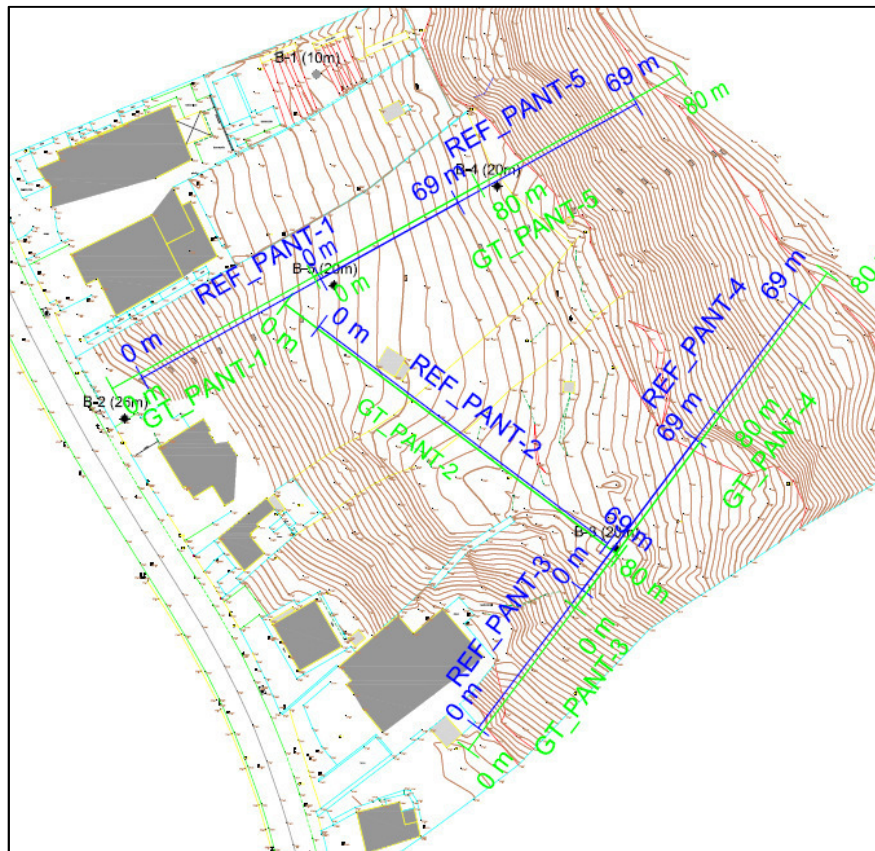
Odabir geofizičkih metoda ovisi o geološkoj građi terena i geotehničkoj prirodi problema vezanog uz projektne zahtjeve. Za klizište Pantovčak odabrane su sljedeće metode: (1) geoelektrična tomografija i (2) seizmička plitka refrakcijska geofizička istraživanja. Položaji izvedenih refrakcijskih i geoelektričnih profila prikazani su na slici 3.5. Smjerovi geofizičkih profila, njihov broj i duljine urađene su u skladu sa programom istražnih radova te dodatnim konzultacijama i preporukama geologa na terenu.

Terenska mjerenja izvršena su u veljači i ožujku 2017. godine, a terenske radove i obradu izvela je geofizička ekipa Odjela za geološko inženjerstvo i geofiziku, Zavoda za geotehniku Instituta IGH d.d. iz Zagreba.

Geoelektrična tomografija je metoda geoelektrične otpornosti koja omogućuje dobivanje slike potpovršinske raspodjele otpornosti mjerenjem na površini. Općenito, mjerenje se sastoji od niza električnih profiliranja izvedenih za različite dubinske zahvate, a terenska mjerenja mogu se izvesti i višeelektrodnim sustavima. Elektrode su uzemljene na jednakim udaljenostima duž profila, te spojene odgovarajućim kabelima i prijelaznim uređajima na instrument za mjerenje otpornosti (ŠUMANOVAC, 2007). Kako bi se dobile što bolje 2D slike potpovršinskih otpornosti te interpretiranog modela otpornosti, potrebno je imati što veći broj mogućih mjerenja te tako dobiti bolje dubinsko prekrivanje mjernim točkama postavljenih elektroda na površini.

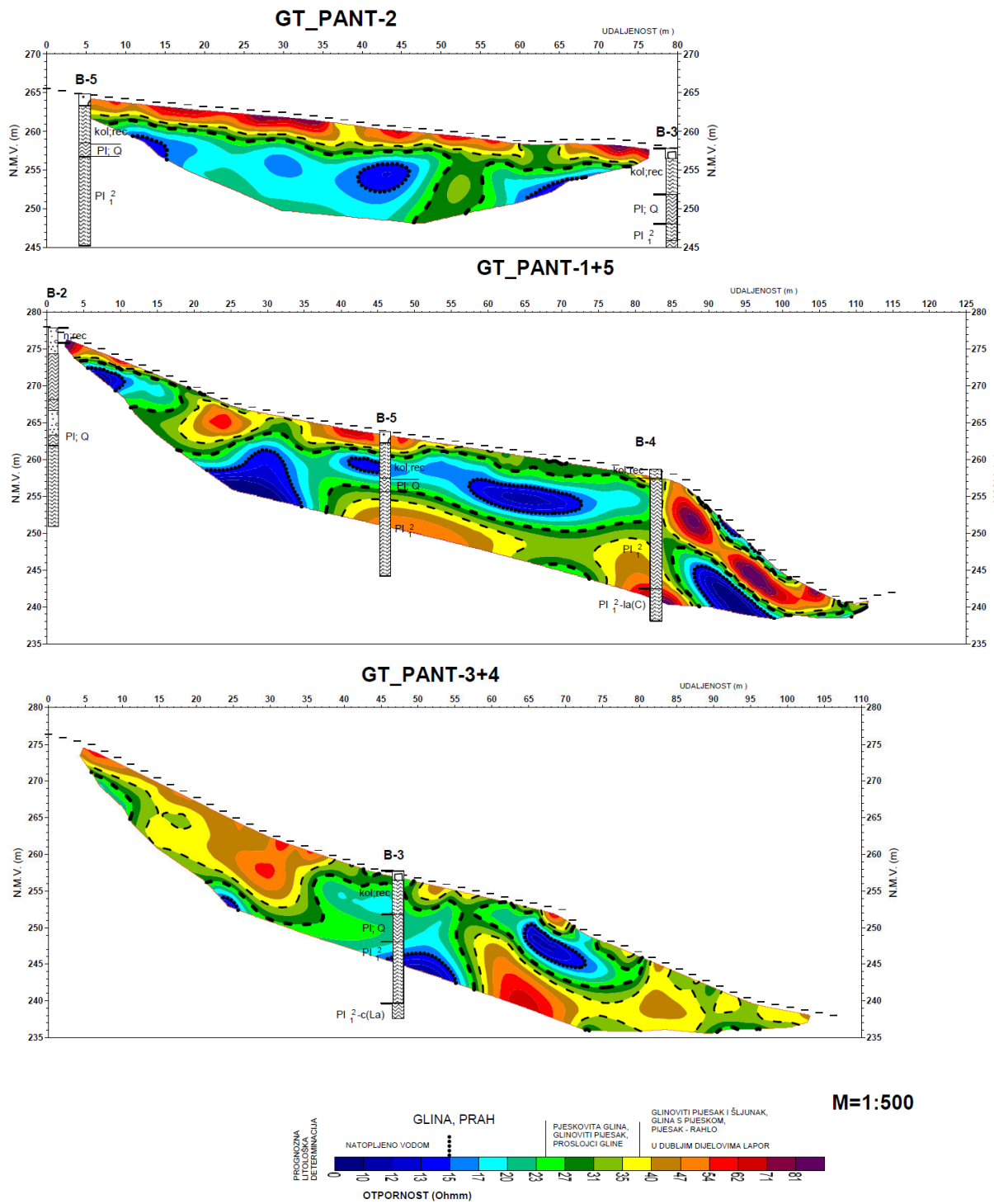
Na istraživanoj lokaciji klizišta u ulici Pantovčak, s ciljem utvrđivanja površinske i dubinske rasprostranjenosti naslaga, urađeno je pet profila geoelektrične tomografije (GT\_PANT-1, GT\_PANT-2, GT\_PANT-3, GT\_PANT-4 i GT\_PANT-5) duljine 80 metara. Urađeni su Wennerovim rasporedom elektroda s razmakom elektroda od 2 metra te dubinom interpretacije od 12 metara (Institut IGH d.d., 2017). Geoelektrični profili izvedeni na

istraživanj lokaciji prikazani su na slici 3.6. Rezultati geoelektričnih prikazivanja na istraživanj lokaciji dali su prognoznj litološkj determinaciju prikazanu u tablici 3-2.



Slika 3.5 Položaji izvedenih refrakcijskih i geoelektričnih profila.





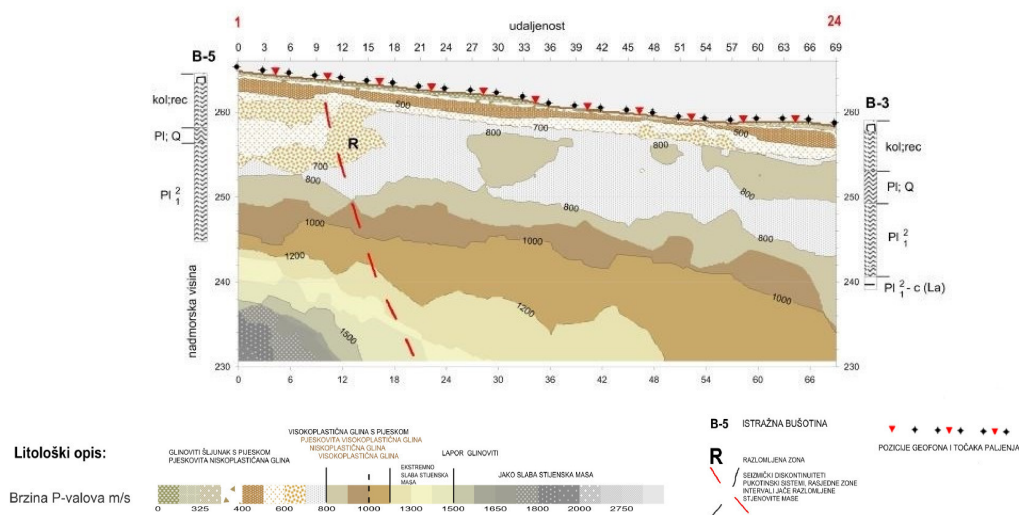
Slika 3.6 Geoelektrični profili izvedeni na istraživanoj lokaciji (Institut IGH d.d., 2017).

Tablica 3-2 Rezultati geoelektričnih ispitivanja (Institut IGH d.d., 2017).

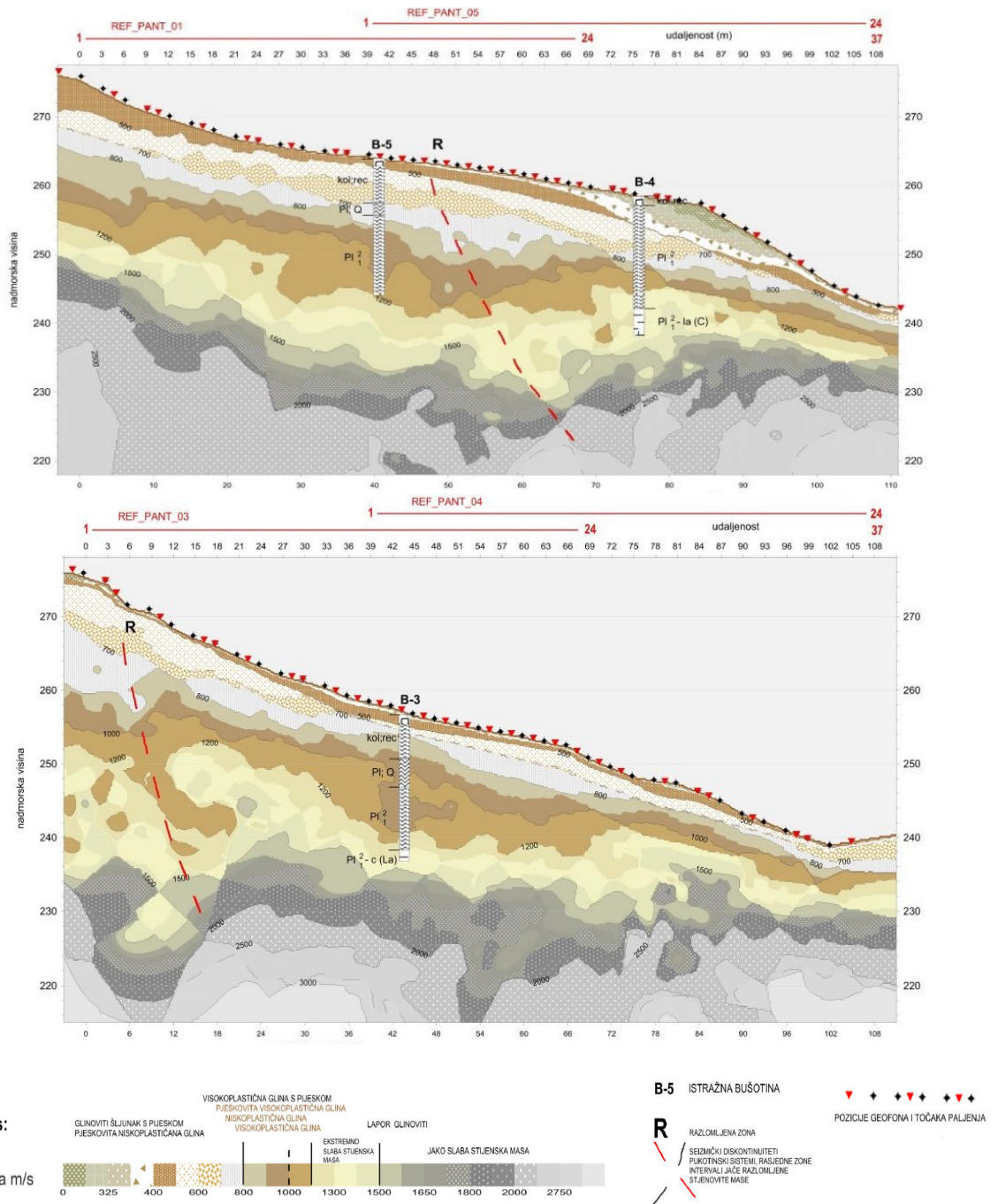
<b>Prognozna litološka determinacija</b>
GLINA, PRAH – otpornosti do 25 ohmm GLINA, PRAH natopljeni vodom – otpornosti manje od 15 ohmm
ORAH, PRAHOVIA GLINA, PRAHOVITI PIJESAK – otpornosti od 25 do 40 ohmm
PRAHOVITI I GLINOVITI PIJESAK, PIJESAK (RAHLO), U DUBLJIM DIJELOVIMA LAPOR – otpornosti veće od 34 ohmm

Prema ŠUMANOVAC (2007), refrakcijska se seizmika zasniva na određivanju brzina seizmičkih valova i lociranju značajnijih diskontinuiteta, a primjenjuje se za određivanje prostornog rasporeda i promjena u fizičko-mehaničkim karakteristikama stjenovite mase i materijala u podlozi. U inženjerskoj geologiji istražuju se debljine površinskih trošnih zona, a time i dubine do kompaktnih slojeva ili zdrave stijene (ŠUMANOVAC, 2007).

Na lokaciji klizišta urađeno je pet seizmičkih profila (REF\_PANT od 01 do 05), duljine 69 metara, koji su organizirani u tri seizmička profila. Seizmička refrakcijska ispitivanja urađena su duž jednog profila položenog približno paralelno sa smjerom ulice Pantovčak (REF\_PANT-02, duljine 69 m), prikazanog na slici 3.7 i dva seizmička profila, okomito na smjer ulice Pantovčak (REF\_PANT\_01-05, duljine 108 m i REF\_PANT\_03-04, duljine 102 m). Profili urađeni niz padinu, do dna jaruge, izmjereni su sa preklapanjem seizmičkih profila REF\_PANT\_01 i REF\_PANT\_05 te profila REF\_PANT\_03 i REF\_PANT\_04 (slika 3.8).



Slika 3.7 Dubinski seimički presjek REF\_PANT\_02.



Slika 3.8 Dubinski seimički presjeci REF\_PANT\_01-05 (gore) i REF\_PANT\_03-04 (dolje).

Na temelju provedenih geofizičkih istraživanja izdvojene su zone slabo zbijenih, rahlih naslaga glina, prahova i proslojaka pijesaka mjestimično do dubine 20-ak metara. Smjerovi i oblik osnovne mase tla upućuju na potencijalnu mogućnost pojave nestabilnosti na većim dubinama, poput slijeganja ili jačih pomaka uzrokovanih tektonskom aktivnošću (Institut IGH d.d, 2017).

### 3.4 Laboratorijska ispitivanja

Laboratorijska ispitivanja se izvode prema unaprijed utvrđenom programu koji je sastavni dio programa istražnih radova te se, prilikom preuzimanja uzoraka u laboratoriju, može dopuniti.

Laboratorijska ispitivanja na uzorcima iz bušotina klizišta Pantovčak provedena su u geomehaničkim laboratorijima tvrtki Geokon – Zagreb d.d. i Institut IGH d.d.

Prema programu geotehničkih istražnih radova tvrtke Geokon – Zagreb d.d., na reprezentativnim, poremećenim i neporemećenim uzorcima tla i stijena provedena su sljedeća ispitivanja:

- određivanje prirodne vlažnosti,
- određivanje Atterbergovih granica plastičnosti,
- određivanje granulometrijskog sastava tla,
- određivanje čvrstoće tla izravnim smicanjem,
- određivanje jednoosne čvrstoće,
- određivanje specifične težine tla,
- određivanje zapreminske težine tla,
- određivanje modula stišljivosti i koeficijenta vodopropusnosti u edometarskom uređaju.

Rezultati laboratorijskih ispitivanja prikazani su u tablicama 3-3, 3-4, 3-5 i 3-6.

Tablica 3-3 Rezultati laboratorijskih ispitivanja uzoraka iz bušotina B-1, B-2 i B-3, klizište Pantovčak (Geokon – Zagreb d.d., 2017).

BUŠOTINA	DUBINA (m)	w <sub>0</sub> (%)	w <sub>1</sub> (%)	w <sub>p</sub> (%)	c (kN/m <sup>2</sup> )	φ°	q <sub>u</sub> (kPa)	spec. gustoća (g/cm <sup>3</sup> )	GRANULOMETRIJSKI SASTAV (%)			
									G	S	M	C
B-1	0,40 - 0,50	22,43	38,38	20,02					18,10	14,70	50,50	16,70
	0,70 - 0,80	23,49	37,88	21,08					1,20	10,20	67,40	21,20
	1,50 - 1,60	20,60	36,95	18,46					10,60	17,50	45,20	26,70
	2,50 - 2,80	38,73	60,92	25,09	23,00	16,60			n/a	1,90	67,30	30,80
	3,40 - 3,50	33,68	50,80	21,89					n/a	20,00	62,80	17,20
	4,40 - 4,50	34,48	47,63	25,54					0,40	27,70	53,70	18,30
	6,20 - 6,30	46,08	56,95	22,95					n/a	3,70	71,70	24,60
	6,40 - 6,70	46,26	45,61	25,08	18,50	21,50			n/a	6,30	78,00	15,70
	6,40 - 6,40	37,85	50,34	24,25					n/a	7,30	72,80	19,90
	7,40 - 7,50	32,44	55,22	28,48					n/a	1,10	74,80	24,10
8,60 - 8,70	31,97	52,86	25,52					n/a	2,30	77,00	20,60	
9,50 - 9,60	31,53	43,51	23,06					n/a	6,10	81,00	12,90	
B-2	1,4 - 1,50	20,11	30,14	17,73					14,00	19,10	46,10	20,80
	1,90 - 2,00	28,51	47,65	22,87					5,30	17,60	45,80	31,30
	3,00 - 3,30	24,04	34,95	21,73	30,00	22,22		2,76	19,40	23,70	47,10	9,80
	6,25 - 6,35	28,50	33,75	21,28					19,90	21,50	38,20	20,40
	8,00 - 8,30	33,14	40,06	18,12				2,77	33,70	31,80	27,70	6,80
	9,60 - 9,70	29,81	34,87	20,72					4,80	24,70	48,70	22,30
	10,60 - 10,70	31,03	35,57	21,24					0,20	24,00	60,60	15,20
	11,00 - 11,45						142,00	2,76	0,20	20,70	55,40	23,60
	11,40 - 11,60	28,47	38,74	22,22					18,40	42,00	55,40	23,60
	14,15 - 14,35								34,10	30,50	29,30	6,10
	14,75 - 14,90	26,27	26,27	17,11					n/a	23,10	55,10	21,80
	15,55 - 15,75								24,40	25,60	42,30	7,70
	16,60 - 16,90	35,79	61,73	25,72	33,90	15,30	190,00	2,74	n/a	4,00	59,20	36,80
	18,30 - 18,40	33,86	56,94	22,58					0,20	12,10	58,00	29,70
	19,60 - 20,05	31,71	53,14	27,76			275,00	2,72	n/a	7,80	68,60	23,60
	19,70 - 19,80	34,20	57,39	23,6					n/a	6,5	65,8	27,7
	20,60 - 20,70	36,27	56,57	24,22					n/a	12,2	63,4	24,4
	21,00 - 21,15	32,16	50,84	23,71	31,7	22,5			n/a	34,5	52,1	13,4
	21,50 - 21,60	27,99	45,09	24,08					n/a	48,6	36,3	15,1
	21,70 - 21,80	36,70	60,57	29,39					n/a	3,60	65,60	30,80
21,90 - 22,00	27,60	42,29	23,39					n/a	42,80	42,00	15,20	
22,00 - 22,45	32,89	52,43	25,05					n/a	18,10	54,90	27,00	
22,30 - 22,40	32,05	56,11	23,78					n/a	5,00	63,90	31,10	
22,90 - 23,00	26,69	46,51	26,79					1,00	9,00	72,60	17,40	
23,80 - 23,90	26,33	48,20	26,27					n/a	10,90	70,20	18,90	
24,20 - 24,30	27,25	50,49	27,18					n/a	5,70	77,40	16,80	
25,80 - 25,90	26,28	50,84	24,26					n/a	5,40	71,80	22,80	
B-3	0,40 - 0,50								33,40	23,80	31,00	11,80
	2,50 - 2,60	24,01	33,20	19,19					10,00	17,40	55,30	17,30
	4,60 - 4,70	27,01	46,24	20,85					12,50	25,30	44,30	18,00
	6,00 - 6,30	35,40	61,81	21,36	21,50	20,40		2,72	0,30	15,60	63,70	20,40
	6,80 - 6,90	35,75	56,44	21,67					n/a	16,20	54,00	29,80
	9,60 - 9,70	34,00	57,79	23,93					n/a	5,00	62,20	32,80
	10,40 - 10,50	30,79	56,53	29,21					n/a	14,90	66,80	18,30
	12,10 - 12,20	33,69	61,82	27,88					2,90	37,50	45,80	13,70
	12,90 - 13,00	36,62	39,96	22,00					n/a	6,30	75,40	18,40
	13,70 - 13,80	54,69	61,30	23,49					n/a	2,20	70,40	27,40
	14,20 - 14,30	31,74	58,38	25,47					n/a	4,80	63,90	31,30
	15,60 - 15,70	32,82	55,76	27,50					n/a	5,70	73,10	21,20
	16,60 - 16,70	29,45	42,20	21,86					n/a	44,20	43,40	12,40
	17,70 - 17,80	29,18	49,35	25,61					n/a	3,80	77,70	18,50
	18,50 - 18,60	26,04	47,44	27,13					n/a	3,30	83,10	13,60
19,50 - 19,60	27,21	48,30	23,59					n/a	2,70	81,80	15,50	
20,00 - 20,45						287		2,74				

Tablica 3-4 Tablica 3 3 Rezultati laboratorijskih ispitivanja uzoraka iz bušotina B-4 i B-5, klizište Pantovčak (Geokon – Zagreb d.d., 2017).

BUŠOTINA	DUBINA (m)	w <sub>0</sub> (%)	w <sub>l</sub> (%)	w <sub>p</sub> (%)	c (kN/m <sup>2</sup> )	φ°	q <sub>u</sub> (kPa)	spec. gustoća (g/cm <sup>3</sup> )	GRANULOMETRIJSKI SASTAV (%)			
									G	S	M	C
<b>B-4</b>	0,50 - 0,60	24,04	36,72	19,90					5,60	19,50	51,30	23,60
	1,50 - 1,60	34,62	67,87	22,15					0,90	2,70	62,60	33,90
	2,50 - 2,60	28,41	53,95	23,32					n/a	10,70	70,60	18,70
	4,60 - 4,70	44,78	48,96	26,02					0,30	2,40	80,60	16,80
	3,60 - 3,70								0,10	32,80	58,30	8,80
	5,00 - 5,30	29,17	50,15		25,70	28,10	382,00	2,72	n/a	4,80	71,90	23,30
	6,10 - 6,20	29,35	44,99	25,69					n/a	4,00	80,50	15,40
	6,50 - 6,95	32,07	49,74	26,72			237,00	2,79	n/a	1,00	79,30	19,70
	9,40 - 9,50	33,54	45,52	27,68					n/a	4,60	85,00	10,40
	10,65 - 10,95	30,02	47,70	27,30				2,75	n/a	2,90	78,90	18,20
	12,30 - 12,45								16,10	49,60	23,90	10,50
	13,50 - 13,60	25,91	45,83	23,57					n/a	20,50	61,60	17,80
	15,00 - 15,45	31,20	45,08	25,49					n/a	6,70	84,00	9,30
	17,80 - 17,90	32,21	54,73	27,68				2,73	n/a	8,80	79,20	12,00
20,00 - 20,45						640	2,73					
<b>B-5</b>	1,40 - 1,50	21,41	37,99	20,52					0,30	11,40	61,30	27,00
	2,60 - 2,70	15,81	27,80	18,27					14,70	21,70	46,60	16,90
	3,40 - 3,50	28,08	47,72	22,19								
	4,60 - 4,70	37,78	61,67	21,55	32,40	14,90	113,00	2,77	45,30	24,50	21,10	9,10
	5,50 - 5,60	44,01	58,96	22,31					n/a	6,00	72,50	21,50
	6,50 - 6,60	47,88	59,10	23,35					n/a	3,70	71,90	24,40
	6,80 - 6,90	33,22	43,83	23,62					n/a	35,70	49,90	14,30
	7,40 - 7,50	42,75	59,44	22,84					n/a	4,70	65,20	30,10
	8,00 - 8,10	42,25	60,87	24,22					n/a	2,00	63,30	34,70
	8,50 - 8,60	43,39	76,58	25,95								
	8,70 - 9,00	31,10	49,52	27,00			116,00	2,78	n/a	8,80	69,60	21,60
	9,50 - 9,60	26,85	43,09	25,65								
	11,30 - 11,40	29,23	47,09	24,65					n/a	2,20	55,80	42,00
	13,30 - 13,40	32,76	42,79	23,51					n/a	8,80	67,00	24,20
	13,70 - 13,80	28,23	44,34	23,44					0,00	26,60	60,30	13,10
	15,50 - 15,60	33,59	41,75	23,39					n/a	13,30	74,70	12,00
	16,50 - 16,60	33,47	47,37	26,35					n/a	2,90	83,50	13,60
	17,30 - 17,40	30,73	45,95	26,10					0,00	13,80	72,60	13,50
	18,40 - 18,50	28,98	52,16	23,16					n/a	4,30	77,60	18,10
19,10 - 19,20	26,34	42,32	23,66					n/a	25,20	58,90	15,90	
19,80 - 19,90	23,94	42,26	20,53					n/a	20,40	62,10	17,50	

Tablica 3-5 Pokusi u edometru (Geokon – Zagreb d.d., 2017).

BUŠOTINA	DUBINA (m)	MODUL STIŠLJIVOSTI (MPa)				VODOPROPUSNOST (cm/s)		
		Srednji $\sigma_v$ (kPa)				101 kPa	199 kPa	395 kPa
		32	76	150	297			
<b>B-2</b>	3,00 - 3,30	5,6	5,5	5,3	6,1	$1,19 \cdot 10^{-6}$	$6,52 \cdot 10^{-7}$	$2,11 \cdot 10^{-7}$
	8,00 - 8,30	10,6	10,1	6,6	6,7	$1,20 \cdot 10^{-6}$	$6,60 \cdot 10^{-7}$	$2,14 \cdot 10^{-7}$
	16,60 - 16,90	6,6	6,1	8,1	7,7	$1,66 \cdot 10^{-6}$	$1,55 \cdot 10^{-6}$	$1,20 \cdot 10^{-6}$
<b>B-3</b>	6,00 - 6,30	6,2	5,7	10,3	11,7	$1,58 \cdot 10^{-6}$	$1,56 \cdot 10^{-6}$	$1,21 \cdot 10^{-6}$
<b>B-4</b>	5,00 - 5,30	4,8	5,6	9,7	12,7	$1,57 \cdot 10^{-6}$	$1,56 \cdot 10^{-6}$	$1,21 \cdot 10^{-6}$
	10,65 - 10,95	4,4	4,3	5,6	8,8	$2,30 \cdot 10^{-6}$	$1,73 \cdot 10^{-6}$	$5,80 \cdot 10^{-6}$
	17,80 - 17,90	7,2	9,4	10,6	17,4	$1,58 \cdot 10^{-6}$	$1,57 \cdot 10^{-6}$	$3,11 \cdot 10^{-7}$
<b>B-5</b>	4,60 - 4,90	4	3,2	3,9	5,2	$1,55 \cdot 10^{-6}$	$1,52 \cdot 10^{-6}$	$1,15 \cdot 10^{-6}$
	8,70 - 8,90	4,9	7,6	10	15,4	$1,66 \cdot 10^{-6}$	$7,77 \cdot 10^{-6}$	$6,88 \cdot 10^{-7}$

Geotehnički laboratorij Instituta IGH d.d. proveo je pokus određivanja sadržaja karbonata za bušotine B-3 i B-4 te jednoosne tlačne čvrstoće za bušotinu B-4 (tablica 3-6).

Tablica 3-6 Rezultati ispitivanja u bušotinama B-3 i B-4 (Institut IGH d.d., 2017).

BUŠOTINA	DUBINA (m)	CaCO <sub>3</sub> (%)	Q <sub>u</sub> (kPa)
<b>B-3</b>	10,40 - 10,50	7,04	
	12,10 - 12,20	7,2	
	12,90 - 13,00	4,16	
	13,70 - 13,80	10,46	
	14,20 - 14,30	9,02	
	16,60 - 16,70	5,39	
	17,70 - 17,80	6,99	
	19,90 - 20,00	15,79	
<b>B-4</b>	16,00 - 16,25	10,74	328
	16,70 - 16,80	9,63	
	19,30 - 19,55	6,07	228

Pri uzimanju neporemećenih uzoraka treba biti pažljiv jer stupanj poremećenosti uzorka i točnost rezultata izravno ovise o vještini osobe koja uzima uzorak te načinu transporta i očuvanja uzorka.

### 3.5 Monitoring klizišta

Geotehnički monitoring obuhvaća proces praćenja geotehničkih objekata, a glavna svrha monitoringa klizišta je praćenje pomaka i deformacija tla/stijene kako bi se izbjegle potencijalne opasnosti. Na temelju podataka dobivenih geotehničkim monitoringom može se odrediti oblik i dubina pokrenute mase te brzina i smjer kretanja pokrenute mase što ujedno omogućava pravovremeno upozorenje na opasnost (MIKKELSEN, 1996).

Na klizištu Pantovčak monitoring se vršio mjerenjem razine podzemne vode u piezometru u bušotini B-3 te inklinometarskih mjerenjima u bušotinama B-4 i B-5. Radove geotehničkog monitoringa u piezometru i inklinometrima obavila je tvrtka Geokon – Zagreb d.d. u razdoblju od 22.2. – 4.7.2017. godine. Položaj piezometra i inklinometara prikazan je na detaljnoj inženjerskogeološkoj karti mjerila 1:500 (Prilog 1). U tablici 3-7 prikazani su podaci o mjerenjima razine podzemne vode.

Tablica 3-7 Klizište Pantovčak – osnovni podaci po piezometru i podacima mjerenja razine podzemne vode u razdoblju 2. veljače – 28. veljače 2017. godine (Geokon – Zagreb d.d., 2017.).

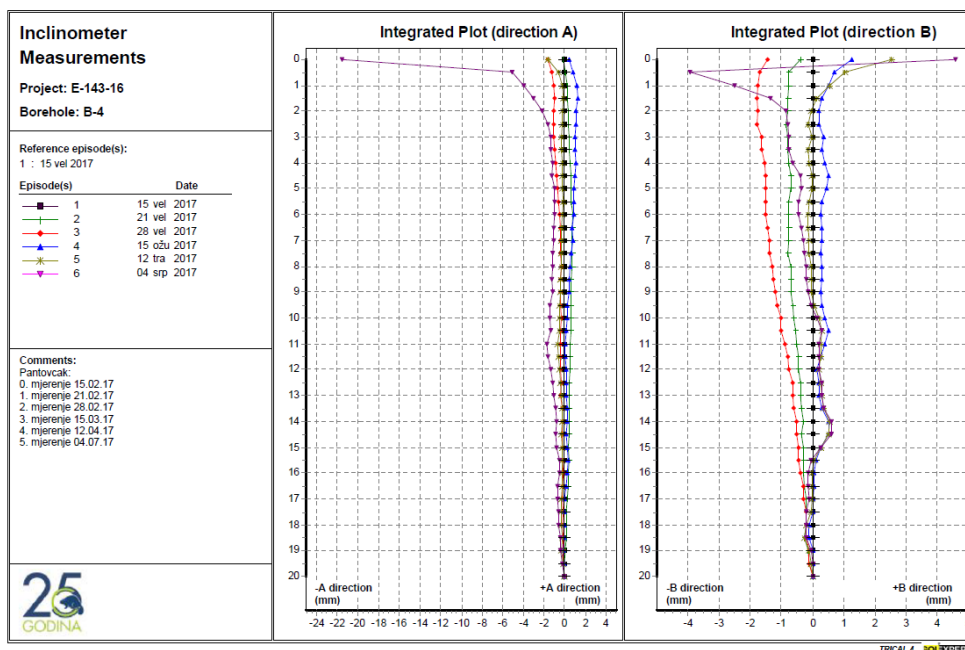
OZNAKA BUŠOTINE	DATUM MJERENJA	KOTA UŠĆA (m n.m.)	DUBINA DO RAZINE VODE OD UŠĆA (m)	RAZINA PODZEMNE VODE (m n.m.)
B-3	02.02.2017.	257,90	7,49	250,41
	03.02.2017.		7,45	250,45
	06.02.2017.		7,29	250,61
	07.02.2017.		7,29	250,61
	08.02.2017.		7,29	250,61
	09.02.2017.		7,28	250,62
	10.02.2017.		7,30	250,60
	13.02.2017.		7,30	250,60
	14.02.2017.		7,32	250,58
	17.02.2017.		7,13	250,77
	28.02.2017.		7,13	250,77

Mjerenje razine podzemne vode u piezometru ugrađenom u bušotinu B-3 u razdoblju od 2. veljače do 28. veljače 2017. godine pokazalo je varijacije dubine razine podzemne vode od 7,13 m (250,77 m n.m.) do 7,49 m (250,41 m n.m.). U razdoblju od 26 dana zabilježen je i rast i pad razine podzemne vode, koji je uglavnom povezan s oborinama kroz to razdoblje.

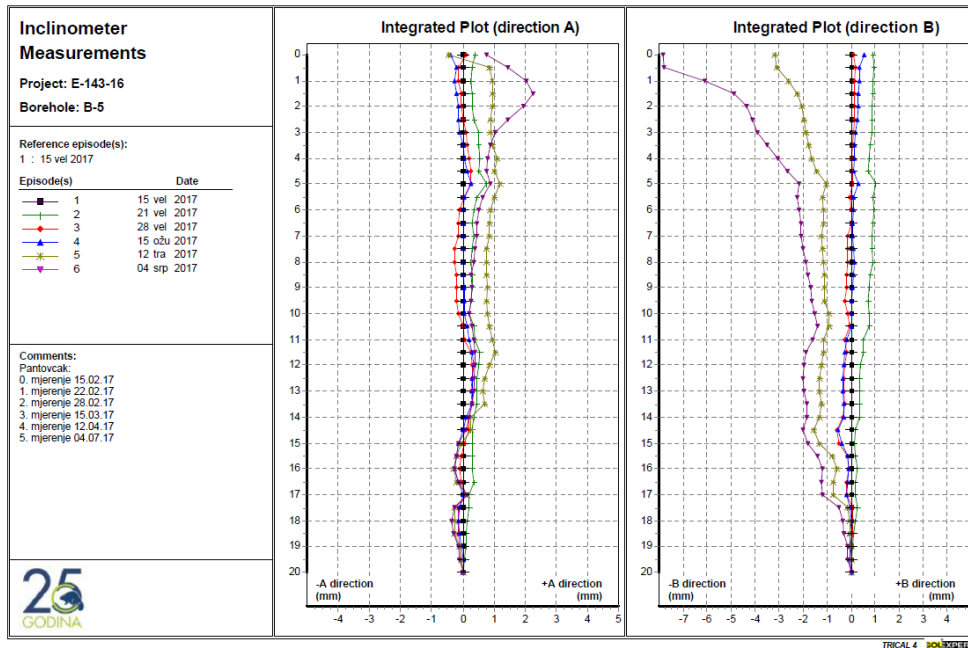


Inklinometarske cijevi za mjerenje pomaka u podzemlju postavljene su u bušotine B-4 i B-5 do dubine od 20 metara. Nulto mjerenje urađeno je 15. 2. 2017. godine. Nakon nultog mjerenja, obavljeno je još 5 mjerenja u razdoblju od veljače do srpnja 2017. Rezultati mjerenja prikazani su na slikama 3.9 i 3.10.

Pomaci zabilježeni unutar promatranog razdoblja pokazuju malo veće pomake u bušotini B-5, nego što su u B-4. Mjerenja su pokazala da su u obje bušotine pomaci manji od 1 cm. To može ukazivati na smirivanje klizanja, no ipak treba uzeti u obzir da su se mjerenja odvijala u razdoblju s vrlo malo oborina.



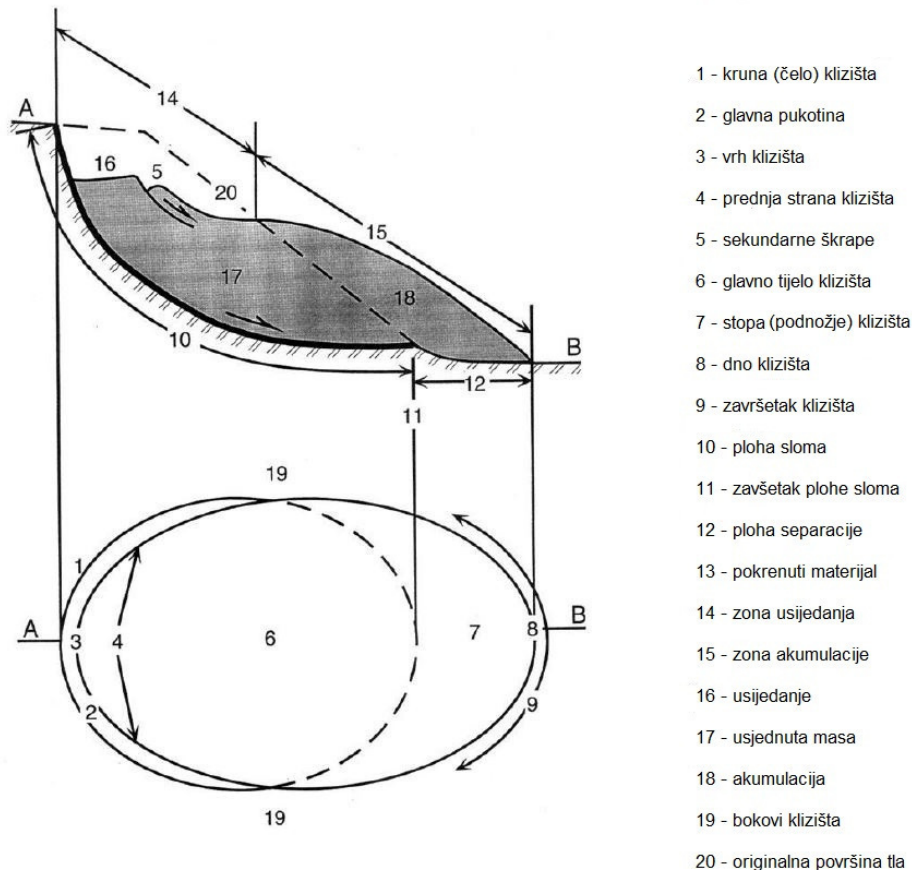
Slika 3.9 Rezultati inklinometarskih mjerenja u bušotini B-4 (Geokon – Zagreb d.d., 2017)



Slika 3.10 Rezultati inklinometarskih mjerenja u bušotini B-4 (Geokon – Zagreb d.d., 2017).

## 4 INTERPRETACIJA INŽENJERSKOGEOLOŠKOG MODELA KLIZIŠTA

Pri opisu inženjerskogeološkog modela klizišta, potrebno je opisati vidljive dijelove klizišta zabilježene kartiranjem na terenu (slika 4.1), odrediti dimenzije klizišta te definirati značajke stijena i tala (strukturne-geološke značajke, geodinamičke pojave, hidrogeološke uvjete, geomorfološke uvjete...).



Slika 4.1 Vidljivi dijelovi klizišta (WP/WLI, 1993).

Inženjerskogeološki model klizišta definiran je pomoću geometrije klizišta, prikazane na detaljnoj inženjerskogeološkoj karti mjerila 1:500 (Prilog 1), dva uzdužna presjeka (Prilozi 3-4), jednog poprečnog presjeka (Prilog 5) te značajki klizišta koje uključuju tip klizanja s obzirom na mehanizam pokreta, vidljivost dijelova klizišta, aktivnost klizišta i materijal klizišta. Uzroci klizanja pretpostavljeni su na temelju inženjerskogeoloških uvjeta na području klizišta, pri čemu se razlikuju preduvjeti i inicijatori klizanja.

## 4.1 Značajke 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).

U kvartu Pantovčak, Zagreb, na području od kućnog broja Pantovčak 262 do 270b identificirano je klizište koje nepovoljno utječe na stabilnost prirodne padine. Prema tipu klizanja, s obzirom na mehanizam pokreta, zaključeno je da se radi o rotacijskom tipu klizanja. Maksimalna duljina klizišta iznosi oko 103 metra, širina 131 m, a maksimalna dubina klizne plohe iznosi oko 9,7 m. Prema stanju aktivnosti, klizište Pantovčak je reaktivirano, a prema distribuciji aktivnosti klizanja ograničeno, što znači da nema potpuno razvijenu kliznu plohu. Prema stilu klizanja najvjerojatnije je pojedinačno, odnosno dolazi do pojedinačnog kretanja pokrenutog materijala. Terminologije za opis stanja aktivnosti klizišta, distribucije aktivnosti klizanja i stil klizanja prikazane su u tablicama 4-1, 4-2 i 4-3. Od vidljivih dijelova klizišta, jasno je izražen samo desni bok klizišta. Ostali dijelovi su zamaskirani jednim dijelom zbog vegetacije, a drugim dijelom zbog toga što su vlasnici parcela, nakon klizanja koje se dogodilo 2015. godine, sami sanirali većinu nastale štete, a novi pomaci, nastali nakon reaktivacije klizišta, nisu tako velikih razmjera da bi se jasno vidjele pukotine.

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

<b>AKTIVNOST KLIZIŠTA</b>	<b>DEFINICIJA</b>
aktivno	Klizište u pokretu.
trenutačno neaktivno	Klizište koje se kretalo u posljednjih 12 mjeseci, ali se trenutačno ne kreće.
reaktivirano	Aktivno klizište koje je prije bilo neaktivno.
neaktivno	Klizište koje se nije pokretalo posljednjih 12 mjeseci. Neaktivna klizišta se dijele na: privremeno umirena, trajno umirena, stabilizirana i reliktna.
privremeno umireno	Neaktivno klizište koje se može reaktivirati zbog istih ili nekih drugih uzroka.
trajno umireno	Neaktivno klizište koje više nije pod utjecajem uzroka klizanja.
reliktno	Neaktivno klizište koje je bilo aktivno u klimatskim i geomorfološkim uvjetima koji više ne vladaju.

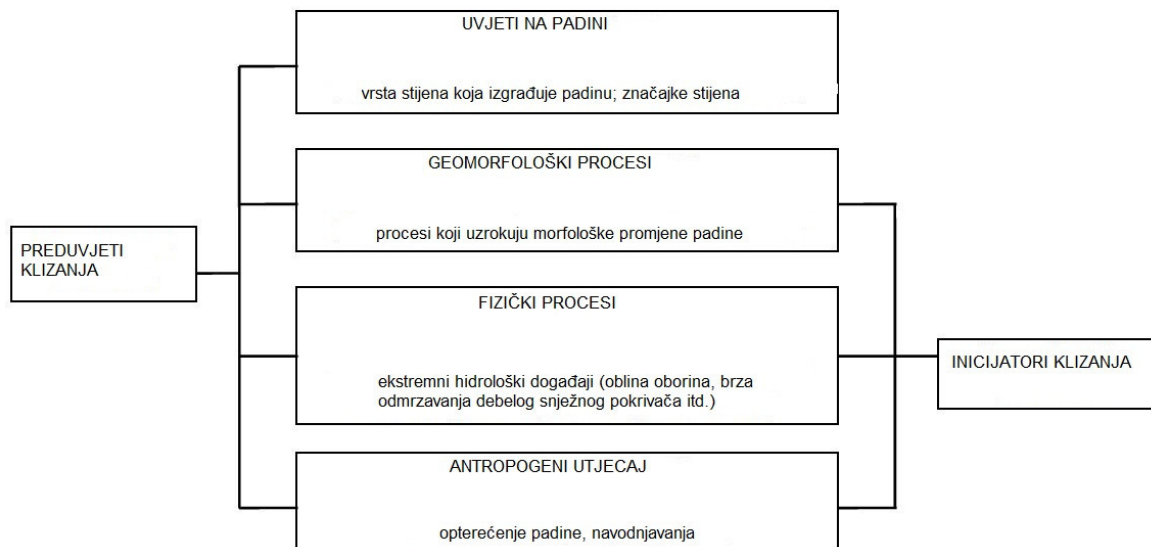
Tablica 4-2 Terminologija za opis distribucije aktivnosti klizanja s pripadajućim definicijama (WP/WLI, 1993).

<b>DISTRIBUCIJA AKTIVNOSTI</b>	<b>DEFINICIJA</b>
progresivno	Ploha sloma se proširuje u smjeru kretanja.
retrogresivno	Ploha sloma se proširuje u smjeru obrnutom od kretanja pokrenutog materijala.
povećavajuće	Ploha sloma se proširuje u dva ili više smjerova.
umanjujuće	Volumen pokrenutog materijala se smanjuje.
ograničeno	Nema vidljivu plohu sloma, već samo ožiljak vidljiv u stopi pokrenute mase.
krećuće	Pokrenuti materijal se kontinuirano kreće bez vidljive promjene plohe sloma i volumena pokrenutog materijala.
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).

<b>STIL AKTIVNOSTI KLIZANJA</b>	<b>DEFINICIJA</b>
kompleksno	Sastoji se od najmanje dva tipa kretanja (odron, prevrtanje, klizanje, širenje, tečenje) koja se nastavljaju jedno na drugo.
mješovito	Sastoji se od najmanje dva tipa kretanja koja se odvijaju simultano u različitim dijelovima pokrenute mase.
sukcesivno	Dva ili više susjednih klizišta, istog tipa kretanja, ali po odvojenim pahama sloma i sa zasebnim pokrenutim masama.
pojedinačno	Pojedinačno kretanje pokrenutog materijala.
višestruko	Opetovani razvoj istog tipa kretanja.

Prilikom istraživanja klizišta bitno je odrediti uzrok klizanja. Pritom je potrebno obratiti pozornost na sve procese koji su mogli utjecati na stabilnost padine. Procesu mogu biti spori, kao što je erozija, i brzi, poput potresa. Spori procesi djeluju sporije tako da umanjuju odnos posmične čvrstoće materijala koji izgrađuju padinu i posmičnih naprezanja, a brzi procesi uglavnom iniciraju samo klizanje. Uzroci se klasificiraju u dvije skupine: preduvjete i inicijatore klizanja (slika 4.2).



Slika 4.2 Tipovi uzročnika klizanja (Mihalić, 2007).

Preduvjeti klizanja su čimbenici koji padinu dovode u stanje granične ravnoteže, a na klizištu Pantovčak mogući preduvjeti klizanja su nepovoljno orijentirane naslage pliokvartarne starosti, nepovoljno orijentirana granica između pliokvartarnih naslaga i naslaga gornjeg pontaa, opterećenje vrha padine, smanjenje čvrstoće materijala uslijed trošenja pliokvartarnih i gornjopontskih naslaga, smanjenje vrijednosti parametara čvrstoće materijala u kliznoj plohi s vršnih na rezidualne nakon klizanja 2015. godine. Inicijatori su procesi koji iniciraju kretanje, jer padinu iz granično-stabilnog stanja dovode u aktivno nestabilno stanje (MIHALIĆ, 2007). Na istraživanoj lokaciji, najveću ulogu u iniciranju klizanja vjerojatno je imala velika količina oborina.

#### 4.2 Inženjerskogeološke jedinice

S obzirom na razinu inženjerskogeoloških istraživanja, prilikom istraživanja klizišta Pantovčak, 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; DEARMAN, 1991), kriterij homogenosti za izdvajanje ovih jedinica bilo je fizičko stanje litološkog tipa, tj. litološki sastav, struktura i stupanj trošnosti. Izdvojene jedinice na inženjerskogeološkim profilima (Prilozi 3-5) izdvojene su na temelju podataka dobivenih inženjerskogeološkim kartiranjem i inženjerskogeološkom determinacijom i interpretacijom jezgri bušotina (Prilozi 2/1 – 2/5), kao i interpretacijom *in situ* i laboratorijskih pokusa.

Inženjerskogeološkom determinacijom i interpretacijom obuhvaćeno je svih pet istraživačkih bušotina ukupne duljine 96,00 m, na temelju kojih su određena svojstva materijala i njihov prostorni raspored. Položaji istraživačkih bušotina prikazani su na inženjerskogeološkoj karti mjerila 1:500 (Prilog 1).

Identifikacija i opis tla načinjeni su prema USCS geomehaničkoj klasifikaciji, odnosno prema uputama USBR (2001). Objašnjenje korištenih pojmova za opis fizičkih svojstava materijala inženjerskog tla dana je u dodatku I.

Rezultati inženjerskogeološke determinacije/interpretacije prikazani su za svaku bušotinu zasebno u obliku inženjerskogeoloških presjeka bušotina, uz koje su prikazane i fotografije jezgri bušotina (Prilozi 2/1 – 2/5). Uz opis značajki materijala iz jezgre bušotina, na presjecima bušotina označena je i interpretacija geneze probušenih naslaga, tj. pripadnost inženjerskogeološkim tipovima i to: (01) umjetni nasip iznad čela klizišta; (02) koluvijalna masa klizišta izgrađena od sitnozrnastog materijala s različitim sadržajem krupnozrnatog materijala; (03) koluvijalna masa klizišta od sitnozrnatog materijala; (11) inženjersko tlo izgrađeno od gline, pjeskovite gline i gline sa šljunkom (pliokvartar); (12) inženjersko tlo izgrađeno od gline s pijeskom i šljunkom (pliokvartar); (13) inženjersko tlo izgrađeno mješavine sitnozrnastog materijala (gornji pont): (21) osnovna masa tla izgrađena dominantno od praha (gornji pont). Rezultati korelacije svih bušotina prikazani su na tri inženjerskogeološka profila mjerila 1:250 (Prilozi 3-5).

Osnovne značajke navedenih inženjerskogeoloških tipova prikazane su u tablici 4-4. Izdvojene inženjerskogeološke jedinice prikazane su na priložima 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 (prah, pijesak, šljunak) sivom bojom; (II) vezane neokamenjene stijene (gline i prahovi) žutom bojom; (III) vezane slabo okamenjene stijene smeđom bojom; (IV) vezane dobro okamenjene stijene nijansama zelene boje. Na području klizišta Pantovčak svi inženjerskogeološki tipovi pripadaju inženjerskom tlu (tablica 4-4) pa su stoga prikazani kombinacijama žute boje. Iznimku predstavljaju koluvijalni materijali obojani nijansama crvene boje u svrhu naglašavanja njihove geneze.

Tablica 4-4 Inženjerskogeološke jedinice na klizištu Pantovčak.

GENEZA/ STRATIGRAFSKI SIMBOL		INŽENJERSKO GEOLOŠKI TIP	GEOMEHANIČKI SIMBOL	FIZIČKA SVOJSTVA	
POVRŠINSKE NASLAGE (POKRIVAČ)	TRANSPORTIRANO TLO	UMJETNE NASLAGE ( $Q_{ut}$ )	01 NASIP: mješavina umjetnih naslaga i krupnozrnastog materijala	rastresito, krupnozrnasto i sitnozrnasto tlo	
		KOLUVIJ ( $Q_k$ )	02 INŽENJERSKO TLO: glina niske plastičnosti, glinoviti šljunak, pjeskovita glina, glina s pijeskom	CL, GC	15,81 < $w_o$ < 28,08 tvrd do vrlo tvrdo* 0,66 < $I_c$ < 1,26 9,54 < $I_p$ < 25,53
			03 INŽENJERSKO TLO: glina, prah, glinoviti prah	CH, MH, CL, MH/CH	28,41 < $w_o$ < 44,78; vrlo meko do tvrdo* 0,18 < $I_c$ < 0,87 17,84 < $I_p$ < 45,72
	KORA TROŠENJA	TROŠNI SEDIMENT PLIOKVARTAR A ( $Q_1$ )	11 INŽENJERSKO TLO : glina niske plastičnosti	CL	20,11 < $w_o$ < 29,81; meko do tvrdo* 0,32 < $I_c$ < 0,83 12,41 < $I_p$ < 22,87
			12 INŽENJERSKO TLO : glina niske plastičnosti	CL	28,47 < $w_o$ < 31,03; meko do tvrdo* 0,32 < $I_c$ < 0,62 14,33 < $I_p$ < 16,52
		TROŠNI SEDIMENT GORNJEG PONTA ( $M_7^2$ )	13 INŽENJERSKO TLO : glinoviti prah, glina visoke i niske plastičnosti s proslojcima glinovitog pijeska	CH, CL, MH/CH, MH, ML, ML/CL, SC	23,94 < $w_o$ < 54,69; meko do vrlo tvrdo* 0,35 < $I_c$ < 1,01 17,43 < $I_p$ < 50,63
	OSNOVNA MASA TLA	SLABO TROŠNI DO SVJEŽI SEDIMENTI GORNJEG PONTA ( $M_7^2$ )	21 INŽENJERSKO TLO: prah visoke plastičnosti, prah niske plastičnosti	MH, ML	26,04 < $w_o$ < 32,21; tvrd, vrlo tvrdo* 0,83 < $I_c$ < 1,05 20,31 < $I_p$ < 27,05

U tablici 4.1 je korištena klasifikacija tla prema indeksu konzistencije iz ANON. (1996): VRLO MEKO  $I_c < 0,25$ ; MEKO  $I_c = 0,25 - 0,50$ ; ČVRSTO  $I_c = 0,50 - 0,75$ ; KRUTO  $I_c = 0,75 - 1,00$ ; VRLO KRUTO ili TVRDO  $I_c > 1,00$ .



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

(01) UMJETNE TVOREVINE – NASIP: mješavina ovih materijala nastala je nasipavanjem terena za potrebe izvedbe građevina pri vrhu padine. Nasip je probušen u bušotini B-2 na dubini 0,00 do 1,25 m. Glavna značajka ovog sloja je heterogenost. Nasip se sastoji od mješavine umjetnog materijala (građevinskog otpada) te krupnozrnastog materijala. Dominira krupnozrnasto tlo, približnog sastava oko 70% slabo graduirani šljunak, 25% pijesak, 5% umjetni materijal (cigla). Nasip je srednje vlažan, rastresit, smeđe boje.

(02) KOLUVIJALNE NASLAGE: glina, pjeskovita glina, glina s pijeskom, glinoviti šljunak ( $Q_k$ ) probušene su u bušotinama B-1 (0,00 – 2,30 m), B-3 (0,00 – 5,90 m), B-4 (0,00 – 1,00 m) i B-5 (0,00 – 4,10 m). Materijal je homogen i predstavlja površinski materijal klizišta, sive do smeđe boje, srednje vlažan. U svim bušotinama dominantan materijal je glina, a na temelju 10 uzoraka, uzetih za laboratorijska ispitivanja, dobiveni su sljedeći rasponi fizičko-mehaničkih svojstava: vlažnost ( $w_0$ ) iznosi 15,8 – 28,08%, indeks plastičnosti ( $I_p$ ) je 9,54 – 25,53%, a indeks konzistencije ( $I_c$ ) iznosi 0,66 – 1,26.

(03) KOLUVIJALNE NASLAGE: prah i pjeskovita glina ( $Q_k$ ) probušeni su u bušotinama B-4 (1,00 – 12,30 m) i B-5 (4,10 – 6,30 m). U srednje vlažnoj heterogenoj masi, sive do smeđe boje, prevladavaju gline i prahovi u međusobnoj izmjeni. Odlomci tla su svježiji do trošni, različitih indeksa konzistencije, a uzorci materijala variraju od vrlo mekog do tvrdog. Na temelju 11 uzoraka, uzetih za ispitivanja u geomehaničkom laboratoriju, dobiveni su sljedeći rasponi fizičko-mehaničkih svojstava: vlažnost ( $w_0$ ) iznosi 28,41 – 44,78%, indeks plastičnosti ( $I_p$ ) 17,84 – 45,72%, a indeks konzistencije ( $I_c$ ) iznosi 0,18 – 0,87.

(11) TROŠNI SEDIMENT – Pliokvartarne naslage: glina niske plastičnosti ( $Q_1$ ) probušena je u bušotini B-2 na dubinama 1,25 – 1,75 m te 14,15 – 15,90 m. Tlo je meko do tvrdo, smeđe boje. U glinovitom tlu, na temelju ispitanih 11 uzoraka, određena je srednja vlažnost ( $w_0$ ) od 20,11 – 29,80%, indeksi konzistencije ( $I_c$ ) 0,32 – 0,83, a indeks plastičnosti ( $I_p$ ) 12,41 – 22,87%.

(12) TROŠNI SEDIMENT – PLIOKVARTARNE NASLAGE: glina niske plastičnosti ( $Q_1$ ) probušena je u bušotini B-2 na dubini 6,00 – 14,15 m. Materijal je svjež do trošan, meke do tvrde konzistencije, smeđe boje. Na temelju 3 uzorka, uzeta za laboratorijska ispitivanja, dobiveni su sljedeći rasponi fizičko-mehaničkih svojstava: vlažnost ( $w_0$ ) iznosi 28,47 – 31,00%, indeks plastičnosti ( $I_p$ ) je 14,33 – 16,52%, a indeks konzistencije ( $I_c$ ) iznosi 0,32 – 0,62.

(13) TROŠNI SEDIMENT – NASLAGE GORNJEG PONTA: glina, prah, glinoviti pijesak ( $M_7^2$ ) probušene su u bušotinama B-1 (2,30 – 10,00 m), B-2 (15,90 – 26,00 m), B-3 (5,90 – 18,30 m), B-4 (12,30 – 16,00), B-5 (6,30 – 20,00). Materijal je srednje vlažan, meke do vrlo tvrde konzistencije. U heterogenoj masi, sive do smeđe boje, prevladavaju slojevi gline i praha u međusobnoj izmjeni, uz prisutne proslojke glinovitog pijeska. U geomehničkom laboratoriju, na temelju 55 uzoraka, dobiveni su rasponi fizičko-mehaničkih svojstava, gdje vlažnost ( $w_0$ ) iznosi 23,94 – 54,69%, indeks plastičnosti ( $I_p$ ) iznosi 17,43 – 50,63%, a indeks konzistencije varira između 0,35 i 1,01.

(21) SLABO TROŠNI DO SVJEŽI SEDIMENT GORNJEG PONTA: prah visoke plastičnosti, prah niske plastičnosti ( $M_7^2$ ) probušen je u bušotinama B-3 (18,30 – 20,00 m) i B-4 (16,00 – 20,00 m). U srednje vlažnoj masi sive boje prevladava prah. Materijal je uglavnom svjež, tvrde do vrlo tvrde konzistencije. Na temelju 3 uzorka, uzeta za laboratorijska ispitivanja, dobiveni su sljedeći rasponi fizičko-mehaničkih svojstava: vlažnost ( $w_0$ ) iznosi 26,04– 32,21%, indeks plastičnosti ( $I_p$ ) je 20,31 – 27,05%, a indeks konzistencije ( $I_c$ ) iznosi 0,83 – 1,05.

## 5 DISKUSIJA

Inženjerskogeološki model klizišta je podloga za geotehničko modeliranje na temelju kojeg se pristupa projektu sanacije. Inženjerskogeološko kartiranje područja, terenska ispitivanja i kabinetski radovi, uz laboratorijska ispitivanja, ukazuju na sliku podzemlja. Pri izradi geotehničkih elaborata sudjeluju različite struke tako da je dobra komunikacija ključan čimbenik za dobivanje što preciznijeg prognoznog modela. Također, opseg i vrste istraživačkih radova za dobivanje prognoznog modela izravno ovise o veličini objekta, financijskim sredstvima i vremenskim rokovima.

Inženjerskogeološki model klizišta Pantovčak nastao je kao rezultat opsežnih istraživanja prateći program koji je uključivao: izradu detaljne geodetske podloge; detaljno inženjerskogeološko kartiranje; 5 bušotina s jezgrovanjem, ukupne dubine 96,00 m; 5 geoelektričnih profila (ukupne duljine 400 m) i 3 seizmička profila (ukupne duljine 279 m) te ispitivanje 93 uzorka u laboratoriju.

Geodetski snimak je obuhvatio područje od otprilike 1,5 ha, malo šire od pretpostavljenih granica klizišta. Na cijeloj površini geodetskog snimka provedeno je detaljno inženjerskogeološko kartiranje pri čemu granica klizišta gotovo u potpunosti pretpostavljena budući da su granice klizišta, zbog vrlo malih pomaka, vrlo slabo izražene. Također, većinu oštećenja su nakon prvog klizanja sanirali vlasnici parcela. Površinski veći geodetski snimak omogućio bi širi pregled situacije jer postoji mogućnost da na širem području postoje vidljivi tragovi klizanja. Zbog toga, bilo bi bolje da je geodetskim snimanjem obuhvaćeno malo veće područje koje bi možda dalo bolji uvid u situaciju, uzevši pri tom u obzir da se radi o reaktiviranom klizištu.

Kod klasifikacije tla, na terenu se fotografira jezgra te se vrši determinacija materijala, koja se kasnije provjeri i, po potrebi, ispravi na temelju laboratorijskih ispitivanja uzoraka uzetih na terenu. Tijekom interpretacije laboratorijskih rezultata primijećeno je da su kod nekih uzoraka različite vrste ispitivanja različito klasificirale materijale tj. da su se rezultati granulometrijskih ispitivanja znatno razlikovali od rezultata dobivenih ispitivanjem konzistentosti materijala. U tom slučaju, određivanje geomehničkih simbola i inženjerskogeoloških tipova rađeno je na temelju terenske identifikacije materijala i rezultata granulometrijskih ispitivanja iz razloga što su ta ispitivanja objektivnija od određivanja konzistentnosti materijala.

Uz opsežna terenska i laboratorijska istraživanja, na klizištu Pantovčak ugrađen je i sustav monitoringa. U bušotini B-3 ugrađen je piezometar za bilježenje oscilacija razine podzemne vode, a u bušotine B-4 i B-5 ugrađeni su inklinometri dubine do 20 m kako bi se pratili pomaci na klizištu. Mjerenja u piezometru nisu pokazivala velike oscilacije u razini podzemne vode, a mjerenjem u inklinometarskim cijevima nisu zabilježeni veći pomaci. Ti rezultati nisu neobični s obzirom da se monitoring vršio kroz sušno razdoblje. Kako se točno vrijeme nastanka klizišta ne zna, samim time se niti inicijator klizanja ne može sa sigurnošću odrediti. S obzirom na to, dugotrajniji geotehnički ali i hidrološki monitoring vjerojatno bi ukazao na točan inicijator klizanja. S dugotrajnijim razdobljem monitoringa vjerojatno bi i rezultati mjerenja inklinometrom mogli dati realniju sliku pomaka u tlu.

Kod hazardnih pojava, kao što su klizišta, jako je bitna uloga inženjerskog geologa. Inženjerski geolozi vrše istraživanja pomoću kojih se dobiju potrebne informacije o podzemlju na temelju kojih se mogu objasniti određeni geološki događaji i procesi. Iako su za izrade inženjerskogeoloških, odnosno geotehničkih elaborata u Republici Hrvatskoj ovlaštene inženjeri građevinarstva (projektanti), poželjno je da se kroz faze izrade elaborata uključe i inženjerski geolozi kako bi se dobili kvalitetni rezultati te samim time i najbolje rješenje kojim se pristupa projektu sanacije.

## 6 ZAKLJUČAK

Inženjerskogeološkim i geotehničkim istraživanjima provedenima u razdoblju od siječnja do srpnja 2017. prikupljeni su podaci za interpretaciju inženjerskogeološkog modela klizišta Pantovčak, reaktiviranog 2016. godine.

Na području klizišta Pantovčak, na temelju istraživačkih radova, izdvojeno je ukupno 7 inženjerskogeoloških tipova, podijeljenih na naslage koje čine osnovnu masu tla i površinske naslage, unutar kojih razlikujemo koru trošenja i transportirano tlo. Površinske naslage čine umjetne naslage – nasip ( $Q_{ut}$ ) izgrađene od mješavine umjetnog i prirodnog materijala; koluvijalne naslage ( $Q_k$ ), koje na manjim dubinama čini glina s većim udjelom krupnozrnatog materijala. Na većim dubinama, koluvijalne naslage izgrađene su od pretežno sitnozrnatog materijala, tek s mjestimično malim udjelom pijeska. U sklopu površinskih naslaga nalaze se i sedimenti pliokvartarnih šljunkovitih i pjeskovitih glina ( $Q_1$ ) i gornjeg pontaa ( $M_2^g$ ) izgrađenog od gline i praha s manjim postotkom pijeska. Osnovna masa tla izgrađena je od slabo trošnih do svježih naslaga praha gornjeg pontaa ( $M_2^g$ ).

Na temelju pet istraživačkih bušotina na istraživanoj lokaciji, izvedenih tijekom siječnja i veljače 2017. godine, izrađen je inženjerskogeološki model klizišta prezentiran detaljnom inženjerskogeološkom kartom u mjerilu 1:500 i tri inženjerskogeološka profila u mjerilu 1:500, dva uzdužna i jednim poprečnim. Maksimalna duljina klizišta je 103 metra, širina 131 metar, a maksimalna dubina klizne plohe iznosi 9,7 metara. Od vidljivih dijelova klizišta vidljiv je samo lijevi bok klizišta, dok su ostali dijelovi klizišta uglavnom maskirani, ali su na terenu i objektima vidljive pukotine koje ukazuju na klizište. Prema tipu klizanja, s obzirom na mehanizam pokreta, zaključeno je da klizište Pantovčak odgovara rotacijskom tipu klizanja, prema stanju aktivnosti je reaktivirano, prema distribuciji aktivnosti ograničeno te prema stilu klizanja pojedinačno.

Mogući preduvjeti klizanja su trošni i raspucani materijali nastali kao posljedica reliktnog klizanja, nepovoljna slojevitost pliokvartarnih naslaga te opterećenje vrha padine. Klizanje je najvjerojatnije inicirala velika količina oborina koja je 2014. godine zahvatila cijelu regiju.

## 7 LITERATURA

- ANON. (1988): Upute za izradu osnovne inženjerskogeološke karte SFRJ mjerila 1:100.000. Savezni geološki zavod, Beograd.
- BASCH, O. (1980): Osnovna geološka karta, list Ivanć Grad mjerila 1:100.000. Savezni geološki zavod, Beograd.
- BLYTH, F.G.H., FREITAS, M.H. (1984): Geology for Engineers, Imperial College of Science and Technology, London.
- CRUDEN, D. M., VARNES, D. J. (1996): Landslide types and processes. Landslides – Investigation and Mitigation, Transportation Research Board, Special report 247, Turner, Schuster, National Academy Press, Washington D.C., pp 36 – 75.
- HIGHLAND, L. M. & BOBROWSKY, P. (2008): The landslide handbook – A guide to understanding landslides: Reston, Virginia, U.S. Geological Survey Circular 1325, 129 p.
- IAEG (1981): Rock and soil description and classification for engineering geological mapping. Report byx the IAEG Commission on Engineering Geological Mapping. Bull IAEG, 24, pp 235 – 274.
- KEATON, J. R., & 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., pp 178 – 230.
- MIHALIĆ-ARBANAS, S., ARBANAS, Ž. (2014): Landslide and Flood Hazard Assesment, eBook Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta u Zagrebu i Građevinskog fakulteta u Rijeci.
- MIKKELSEN, P. E. (1996): Field Instrumentation. Landslides – Investigation and Mitigation, Transportation Research Board, Special report 247, Turner, Schuster, National Academy Press, Washington D.C., pp 278 – 316.
- ORTOLAN, Ž. (2013): Osnovni naglasci iz sadržaja uvodnog izlaganja – Uloga inženjerske geologije u geotehnici, Zagreb.

ŠIKIĆ, K., BASCH, O. I ŠIMUNIĆ, A. (1972): Osnovna geološka karta, list Zagreb mjerila 1:100.000. Institut za geološka istraživanja Zagreb.

ŠUMANOVAC, F. (2007): Geofizička istraživanja podzemnih voda, Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

USBR (2001): Engineering Geology Field Manual, 2nd ed., Vol1. U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation.

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

#### NEOBJAVLJENI RADOVI I DOKUMENTACIJA

GOKON-ZAGREB d.d. (2017): Izvješće o rezultatima laboratorijskih ispitivanja uzoraka tla klizišta Pantovčak u Zagrebu

INSTITUT IGH d.d. (2017): Izvješće o rezultatima geofizičkih istraživanja na klizištu Pantovčak u Zagrebu

INSTITUT IGH d.d. (2017): Izvještaj o ispitivanju čvrstoće stijene pri opterećenju u točki (point load test)

INSTITUT IGH d.d. (2017) Izvještaj o ispitivanju sadržaja CaCO<sub>3</sub>

INSTITUT IGH d.d. (2017) Izvještaj o ispitivanju jednoosne tlačne čvrstoće tla

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

#### WWW IZVORI

URL: [http://www.hgi-cgs.hr/zagreb\\_potresi.html](http://www.hgi-cgs.hr/zagreb_potresi.html)

URL: [https://www.pmf.unizg.hr/geof/seizmoloska\\_sluzba/o\\_seizmologiji](https://www.pmf.unizg.hr/geof/seizmoloska_sluzba/o_seizmologiji)

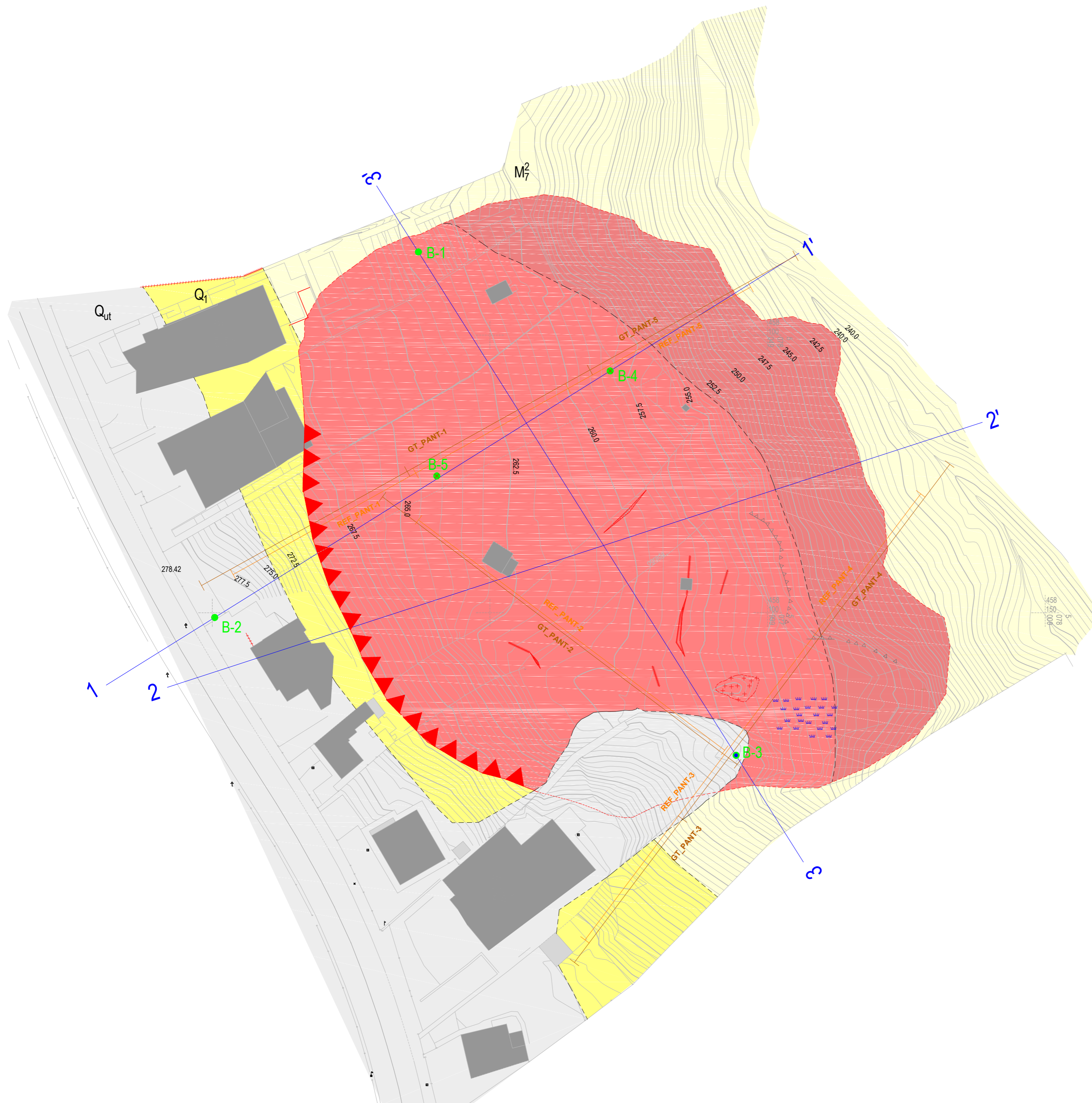
URL: <https://earth.app.goo.gl/ySW9>

URL: [https://www.pmf.unizg.hr/geof/seizmoloska\\_sluzba/o\\_seizmologiji](https://www.pmf.unizg.hr/geof/seizmoloska_sluzba/o_seizmologiji)

**DODATAK I.** Terminologija za opis inženjerskog tla prema preporukama USBR (2001)

<b>OPIS TLA</b>	<b>PLASTIČNOST MATERIJALA TLA</b>	
	Neplastično	3 mm valjčić se ne može napraviti pri bilo kojoj vlažnosti.
	Niska	Valjčić se jedva napravi, a grumenje se ne može napraviti kada vlažnost padne ispod granice plastičnosti.
	Srednja	Valjčić se lako napravi, ali nije potrebno mnogo vremena da se dostigne granica plastičnosti. Grumenje se ne može ponovno valjati nakon što je dostignuta granica plastičnosti. Grumenje se lomi.
	Visoka	Potrebno je mnogo vremena valjanja i gnječenja da bi se postigla granica plastičnosti. Valjak se ne može valjati nekoliko puta nakon što se dostigne granica plastičnosti. Grumenje se može formirati i mijesiti bez drobljenja i kada je vlažnost manja od granice plastičnosti.
	<b>ŽILAVOST MATERIJALA TLA</b>	
	Niska	Potrebna 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.
	<b>KONZISTENCIJA TLA</b>	
	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
	<b>STRUKTURA MASE TLA</b>	
	Laminirana	Izmjena slojeva različitog materijala ili boje u slojevima tanjim od 6 mm.
	Homogena	Ista boja, tekstura i struktura u cijelom sloju.
	<b>VLAŽNOST MASE TLA</b>	
	Suho	Nedostatak vlage, prašnjavo, suho na opip.
	Vlažno	Vlažno, ali bez vidljive vode.
	Mokro	Vidljiva je slobodna voda, obično ispod razine podzemne vode.
	<b>REKACIJA S HCl-om</b>	
	Nema	Nema vidljive reakcije.
	Slaba	Slaba reakcija s mjehurićima koji se polako stvaraju.
	Snažna	Snažna reakcija s mjehurićima koji se odmah stvaraju.





GENEZA/STRATIGRAFSKI SIMBOL	INŽENJERSKOGEOLOŠKI TIP	GEOMEHANIČKI SIMBOL	FIZIČKA SVOJSTVA	
POVRŠINSKE NASLAGE (POKRIVAC)	UMJETNE NASLAGE (Q <sub>ut</sub> )			
	KOLUVIJ (Q <sub>k</sub> )	INŽENJERSKO TLO: mješavina umjetnih naslaga i krupnozrnastog materijala		
		INŽENJERSKO TLO: glina niske plastičnosti, glinoviti šljunak, pjeskovita glina, glina s pjeskom	CL, GC	15,81 < w <sub>l</sub> < 28,08 vrdo do vrlo tvrdo 0,68 < I <sub>p</sub> < 1,26 9,54 < I <sub>L</sub> < 25,53
KORA TROŠENJA	TROŠNI SEDIMENT PLIOKVARTARA (Q <sub>1</sub> )	INŽENJERSKO TLO: glina niske plastičnosti	CH, MH, CL, MH/CH	28,41 < w <sub>l</sub> < 44,78 vrlo meko do tvrdo 0,18 < I <sub>p</sub> < 0,87 17,84 < I <sub>L</sub> < 45,72
		INŽENJERSKO TLO: glina niske plastičnosti	CL	20,11 < w <sub>l</sub> < 29,81 meko do tvrdo 0,32 < I <sub>p</sub> < 0,83 12,41 < I <sub>L</sub> < 22,87
	TROŠNI SEDIMENT GORNJEG PONTA (Q <sub>2</sub> )	INŽENJERSKO TLO: glinoviti praš, glina visoke i niske plastičnosti s prostojama glinovitog pijeska	CH, CL, MH/CH, MH, ML, MU/CL, SC	28,47 < w <sub>l</sub> < 31,03 meko do tvrdo 0,32 < I <sub>p</sub> < 0,62 14,33 < I <sub>L</sub> < 16,52
OSNOVNA MASA TLA	SLABO TROŠNI DO SVJEŽI SEDIMENTI GORNJEG PONTA (M <sub>7</sub> )	INŽENJERSKO TLO: praš visoke plastičnosti, praš niske plastičnosti	MH, ML	26,04 < w <sub>l</sub> < 32,21 vrdo, vrlo tvrdo 0,83 < I <sub>p</sub> < 1,05 20,31 < I <sub>L</sub> < 27,05

AKTIVNI GEOMORFOLOŠKI PROCESI

- ČELO AKTIVNOG KLIZIŠTA
- GRANICA AKTIVNOG KLIZIŠTA
- PRETPOSTAVLJENA GRANICA AKTIVNOG KLIZIŠTA
- LOKALNO UZDIGNUĆE

- HIDROGEOLOŠKI SIMBOLI
- TLO POVEĆANE VLAŽNOSTI

- GEOMORFOLOŠKI SIMBOLI
- STRMA PADINA
  - GEODETSKI SNIMljena PUKOTINA

- OSTALI SIMBOLI
- INŽENJERSKOGEOLOŠKI PROFIL

ISTRAŽIVAČKI RADOVI

- B-1 ISTRAŽIVAČKA BUŠOTINA
- INKLINOMETAR
- PIEZOMETAR
- GT\_PANT-1 GEOELEKTRIČNI PROFIL
- REF\_PANT-1 REFRAKCIJSKI PROFIL

- GEOLOŠKI SIMBOLI
- GRANICA INŽENJERSKOGEOLOŠKE ZONE



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

DIPLOMSKI RAD

PROJEKT SANACIJA KLIZIŠTA PANTOVČAK

VRSTA ISTRAŽIVANJA GEOTEHNIČKI ISTRAŽNI RADOVI  
DETALJNA INŽENJERSKOGEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA

SADRŽAJ PRILOGA INŽENJERSKOGEOLOŠKA KARTA

MENTOR Doc. dr. sc. Martin Krkač IZRADILA Anđela Lončar, univ.bacc.ing.geol.

DATUM 19.1.2018. MJERILO 1:500 PRILOG BR. 1

# DIPLOMSKI RAD

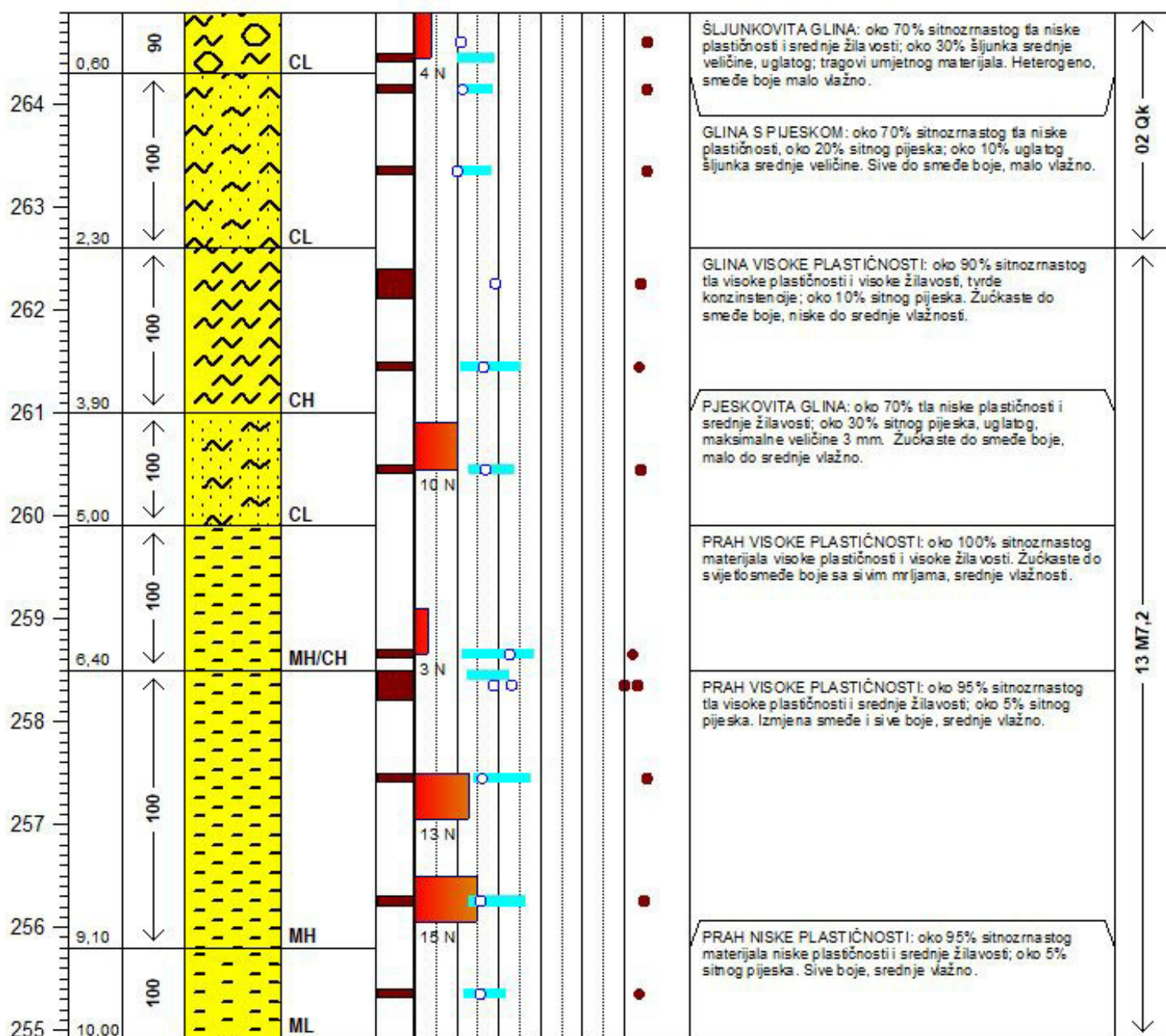


**INVESTITOR:** Grad Zagreb      **IZVOĐAČ:** MKS INŽENJERING d.o.o.      **NADZOR:** M. Krkač  
**OBJEKT:** Klizište      **DATUM:** 13.2.-14.2.2017.      **IG DETERMINACIJA:** A. Lončar  
**LOKACIJA:** Zagreb, Pantovčak      **NADM. VISINA:** 264,901 m n.m.      **IG INTERPRETACIJA:** A. Lončar  
**KOORDINATE:** x: 458037.12      y: 5078064.98

**INŽENJERSKOGEOLOŠKI PRESJEK BUŠOTINE B-1**

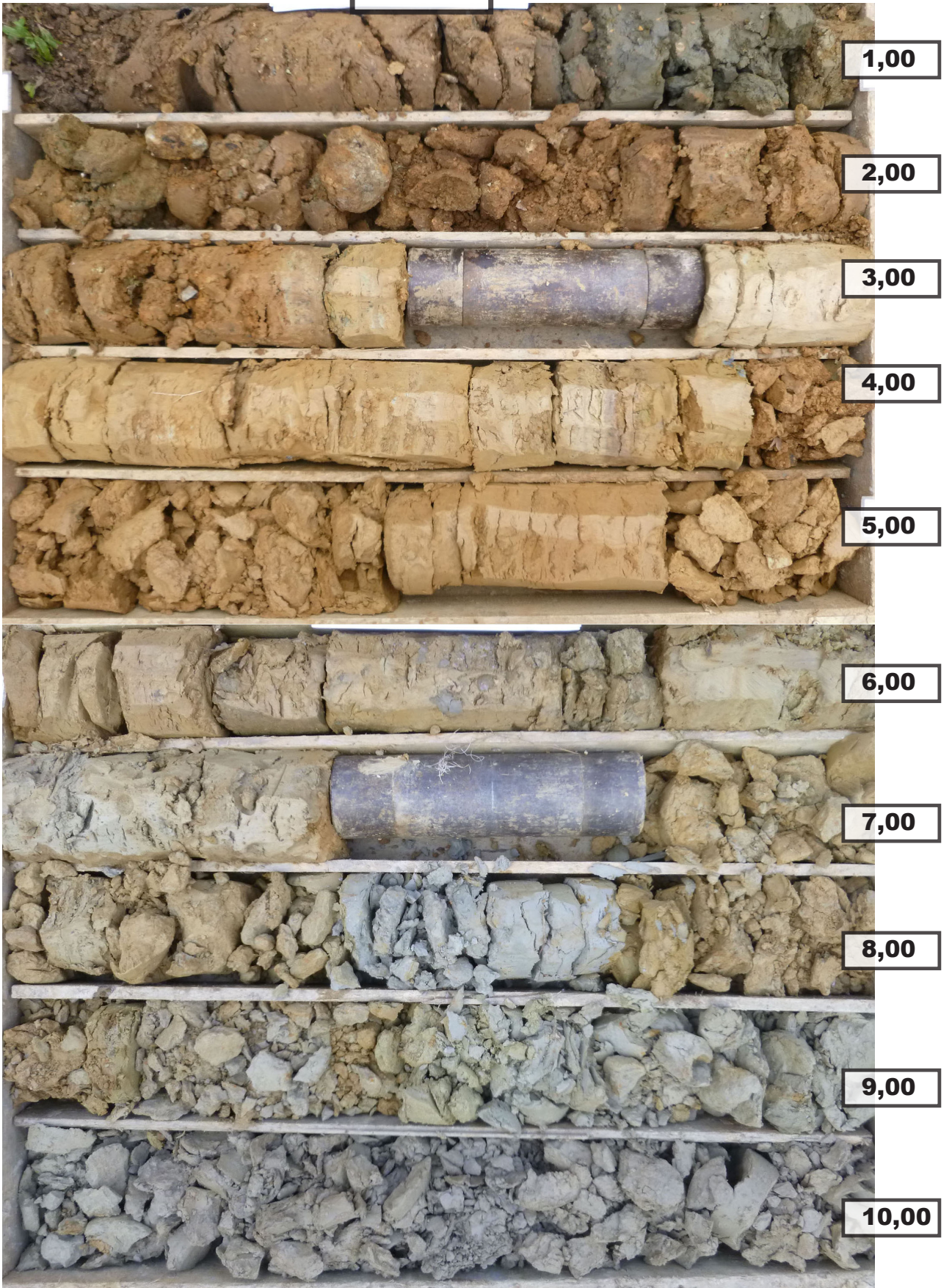
**DUBINA:** 10,00 m      **MJERILO:** 1:60      **PRILOG:** 2/1

NADM. VISINA (m)	DUBINA (m)	JEZGRA (%)	IG SIMBOL	GEOHEH. SIMBOL	UZORAK	IN SITU I LABORATORIJSKA ISPITIVANJA		INŽENJERSKOGEOLOŠKI OPIS	INŽENJERSKOGEOLOŠKA KLASIFIKACIJA
						SPP (br. udaraca)	Att. granice		
						■ qu	● qpp		
						○ prir. vlažnost	● lc		



Wp, Wl, Wo (%)	0	100		
SPP (udaraca)	0	50	0	400
qu (kPa)	0	600	2.5	lc

**B-1**



# DIPLOMSKI RAD

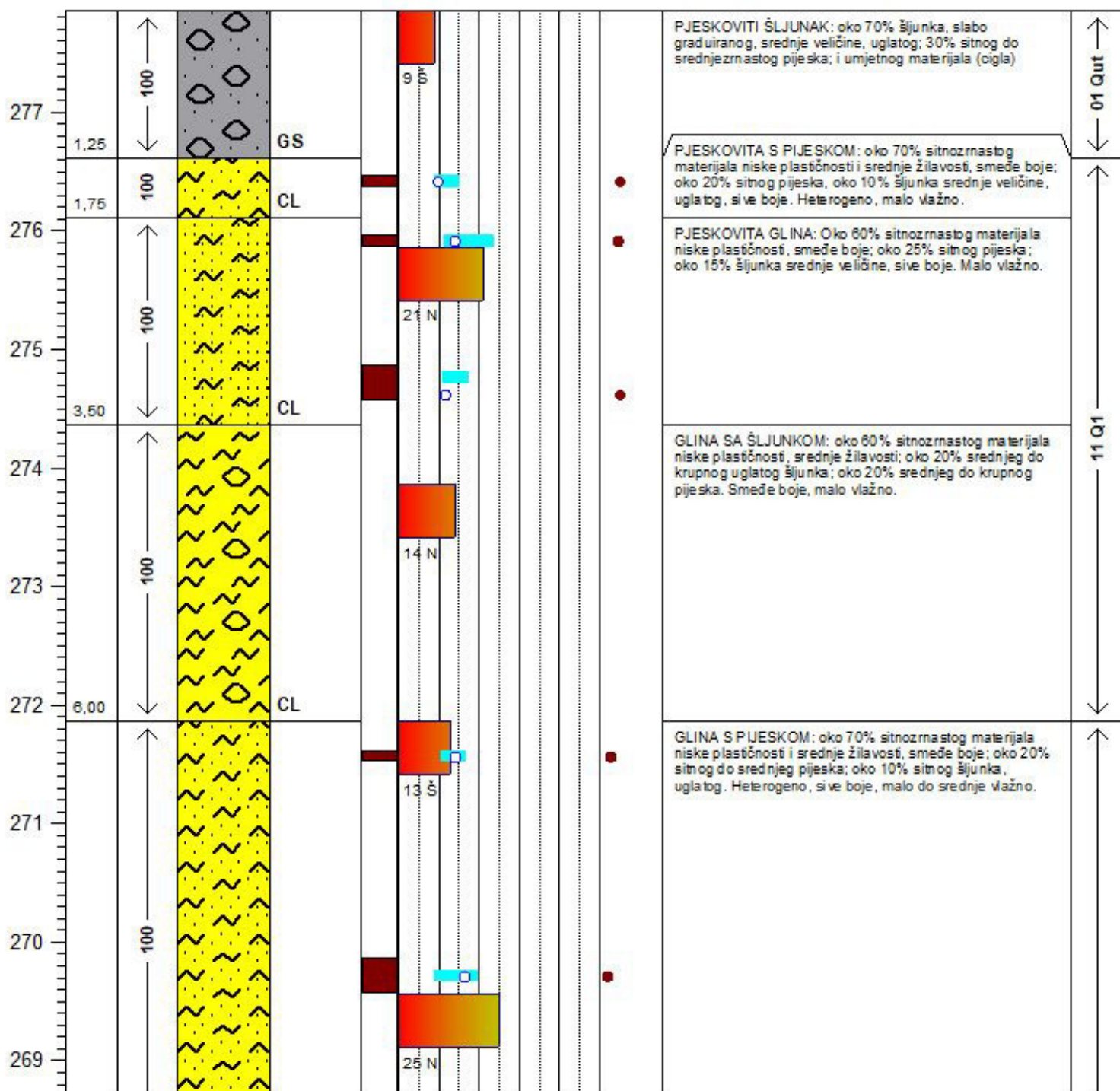


**INVESTITOR:** Grad Zagreb      **IZVOĐAČ:** MKA INŽENJERING d.o.o.      **NADZOR:** M. Krkač  
**OBJEKT:** Klizište      **DATUM:** 16.1.-24.1.2017.      **IG DETERMINACIJA:** A. Lončar  
**LOKACIJA:** Zagreb, Pantovčak      **NADM. VISINA:** 277,86 m n.m.      **IG INTERPRETACIJA:** A. Lončar  
**KOORDINATE:** x: 458000.43      y: 5077999.15

**INŽENJERSKOGEOLOŠKI PRESJEK BUŠOTINE B-2**

**DUBINA:** 26,00 m      **MJERILO:** 1:50      **PRILOG:** 2/2

NADM. VISINA (m)	DUBINA (m)	JEZGRA (%)	IG SIMBOL	GEOMEH. SIMBOL	UZORAK	IN SITU I LABORATORIJSKA ISPITIVANJA		INŽENJERSKOGEOLOŠKI OPIS
						SPP (br. udaraca)	Att. granice	INŽENJERSKOGEOLOŠKA KLASIFIKACIJA
						<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> <span style="color: red;">■</span> SPP (br. udaraca)</div> <div> <span style="color: cyan;">▬</span> Att. granice</div> <div> <span style="color: black;">■</span> qu</div> <div> <span style="color: blue;">○</span> prir. vlažnost                             </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> <span style="color: red;">●</span> qpp</div> <div> <span style="color: red;">●</span> Ic                             </div> </div>		



Wp, Wl, Wo (%)	0	100			
SPP (udaraca)	0	50	0	400	qpp (kPa)
qu (kPa)	0	600		2.5	Ic

# DIPLOMSKI RAD

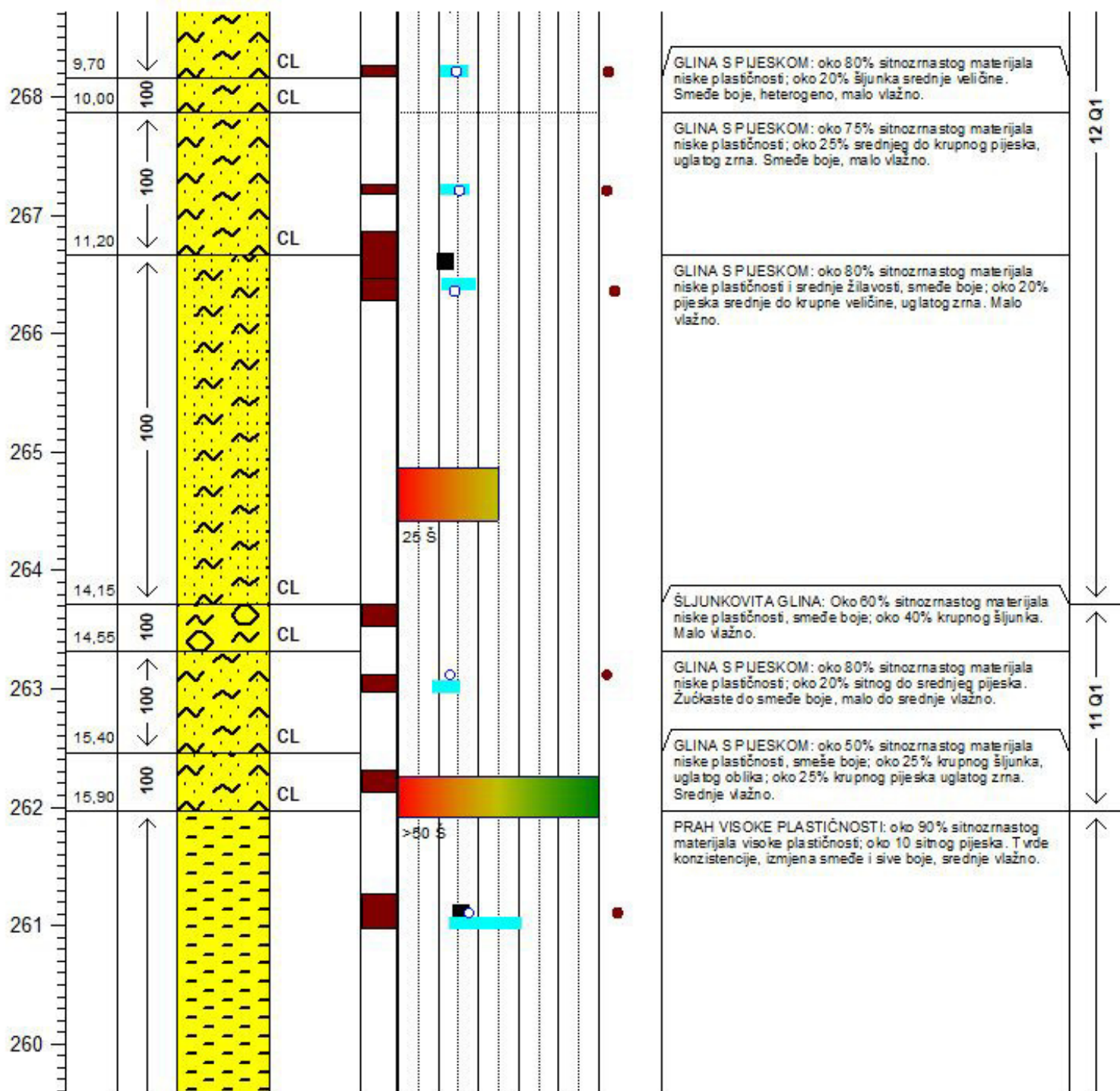


**INVESTITOR:** Grad Zagreb      **IZVOĐAČ:** MKA INŽENJERING d.o.o.      **NADZOR:** M. Krkač  
**OBJEKT:** Klizište      **DATUM:** 16.1.-24.1.2017.      **IG DETERMINACIJA:** A. Lončar  
**LOKACIJA:** Zagreb, Pantovčak      **NADM. VISINA:** 277,86 m n.m.      **IG INTERPRETACIJA:** A. Lončar  
**KOORDINATE:** x: 458000.43      y: 5077999.15

**INŽENJERSKOGEOLOŠKI PRESJEK BUŠOTINE B-2**

**DUBINA:** 26,00 m      **MJERILO:** 1:50      **PRILOG:** 2/2

NADM. VISINA (m)	DUBINA (m)	JEZGRA (%)	IG SIMBOL	GEOMEH. SIMBOL	UZORAK	IN SITU I LABORATORIJSKA ISPITIVANJA		INŽENJERSKOGEOLOŠKI OPIS	INŽENJERSKOGEOLOŠKA KLASIFIKACIJA
						SPP (br. udaraca)	Att. granice		



Wp, WI, Wo (%)	0	100		
	0	50	0	400
SPP (udaraca)	0	600	2.5	
qu (kPa)				Ic

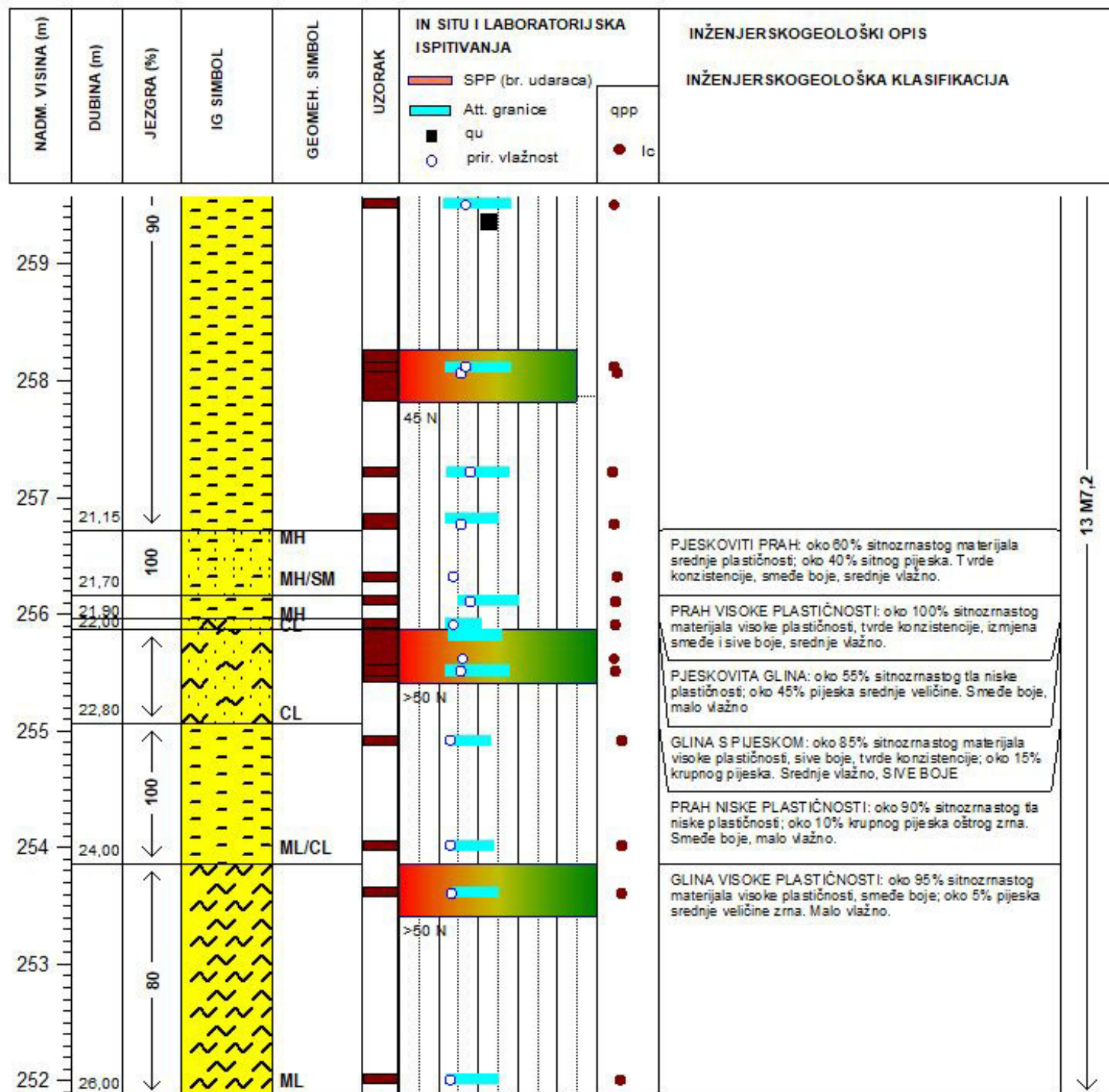
# DIPLOMSKI RAD



**INVESTITOR:** Grad Zagreb      **IZVOĐAČ:** MKA INŽENJERING d.o.o.      **NADZOR:** M. Krkač  
**OBJEKT:** Klizište      **DATUM:** 16.1.-24.1.2017.      **IG DETERMINACIJA:** A. Lončar  
**LOKACIJA:** Zagreb, Pantovčak      **NADM. VISINA:** 277,86 m n.m.      **IG INTERPRETACIJA:** A. Lončar  
**KOORDINATE:** x: 458000.43      y: 5077999.15

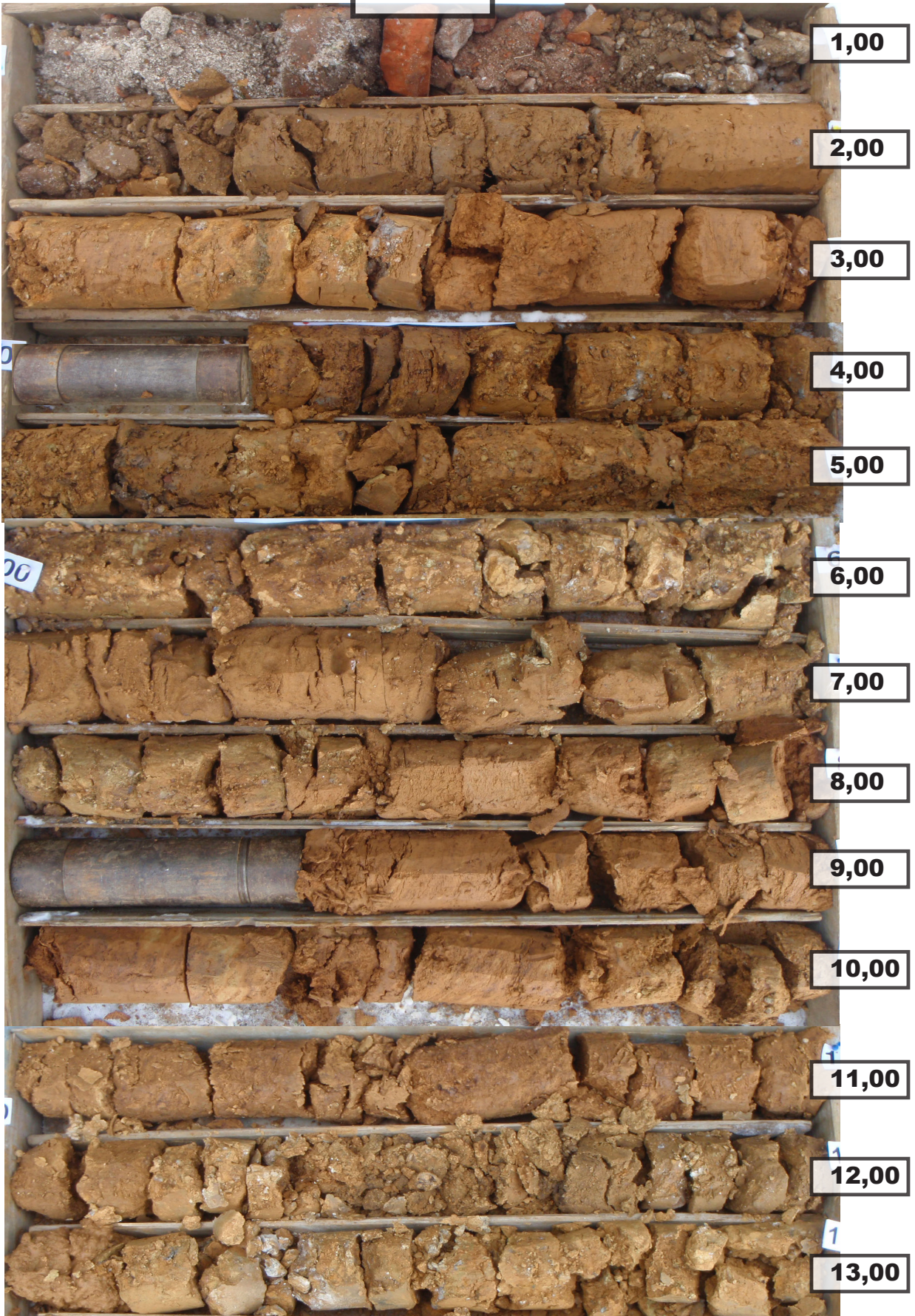
**INŽENJERSKOGEOLOŠKI PRESJEK BUŠOTINE B-2**

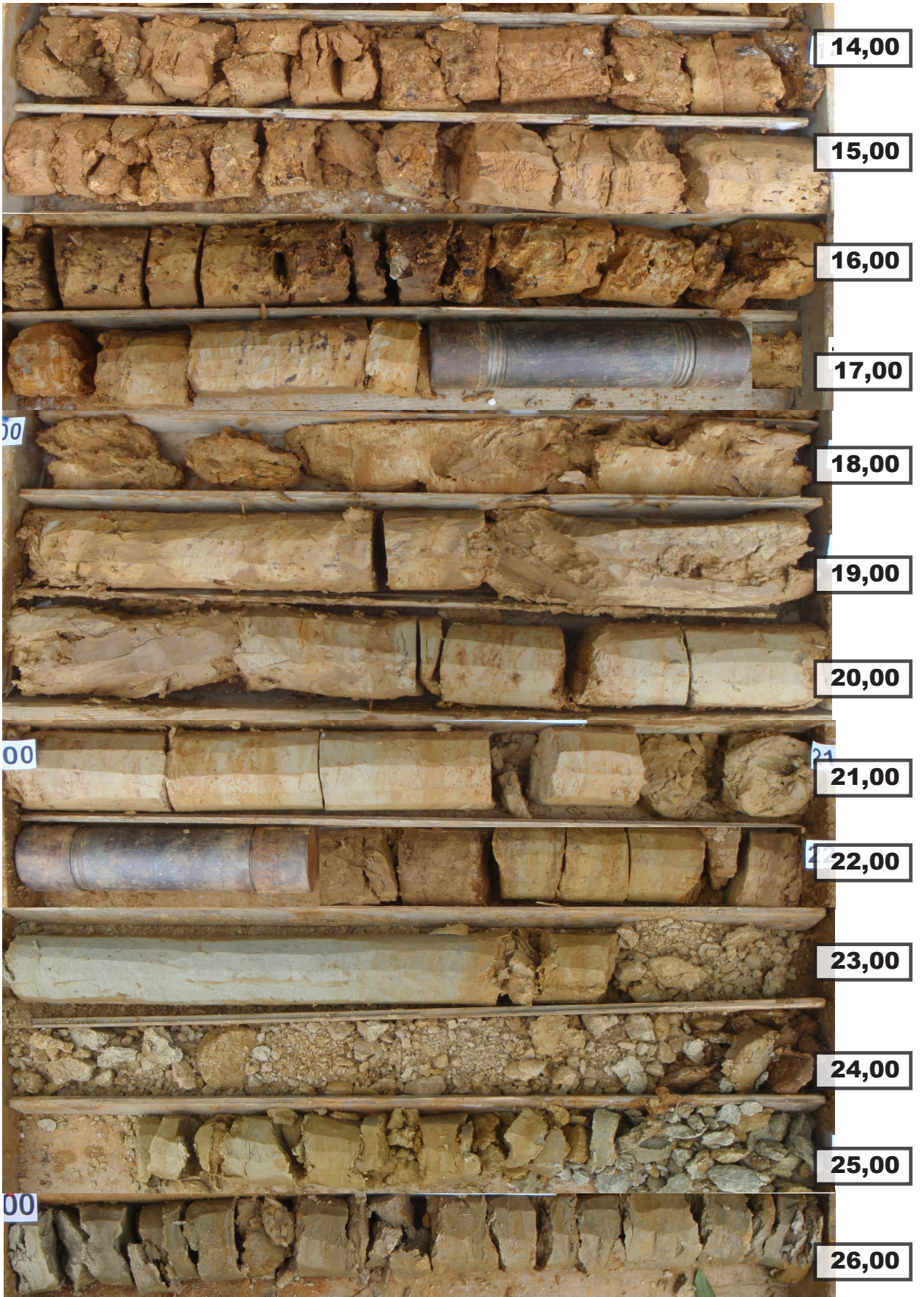
**DUBINA:** 26,00 m      **MJERILO:** 1:50      **PRILOG:** 2/2



Wp, Wl, Wo (%)	0	100		
SPP (udaraca)	0	50	0	400
qu (kPa)	0	600	2.5	lc

**B-2**





14,00

15,00

16,00

17,00

00

18,00

19,00

20,00

00

21,00

22,00

23,00

24,00

25,00

00

26,00



# DIPLOMSKI RAD

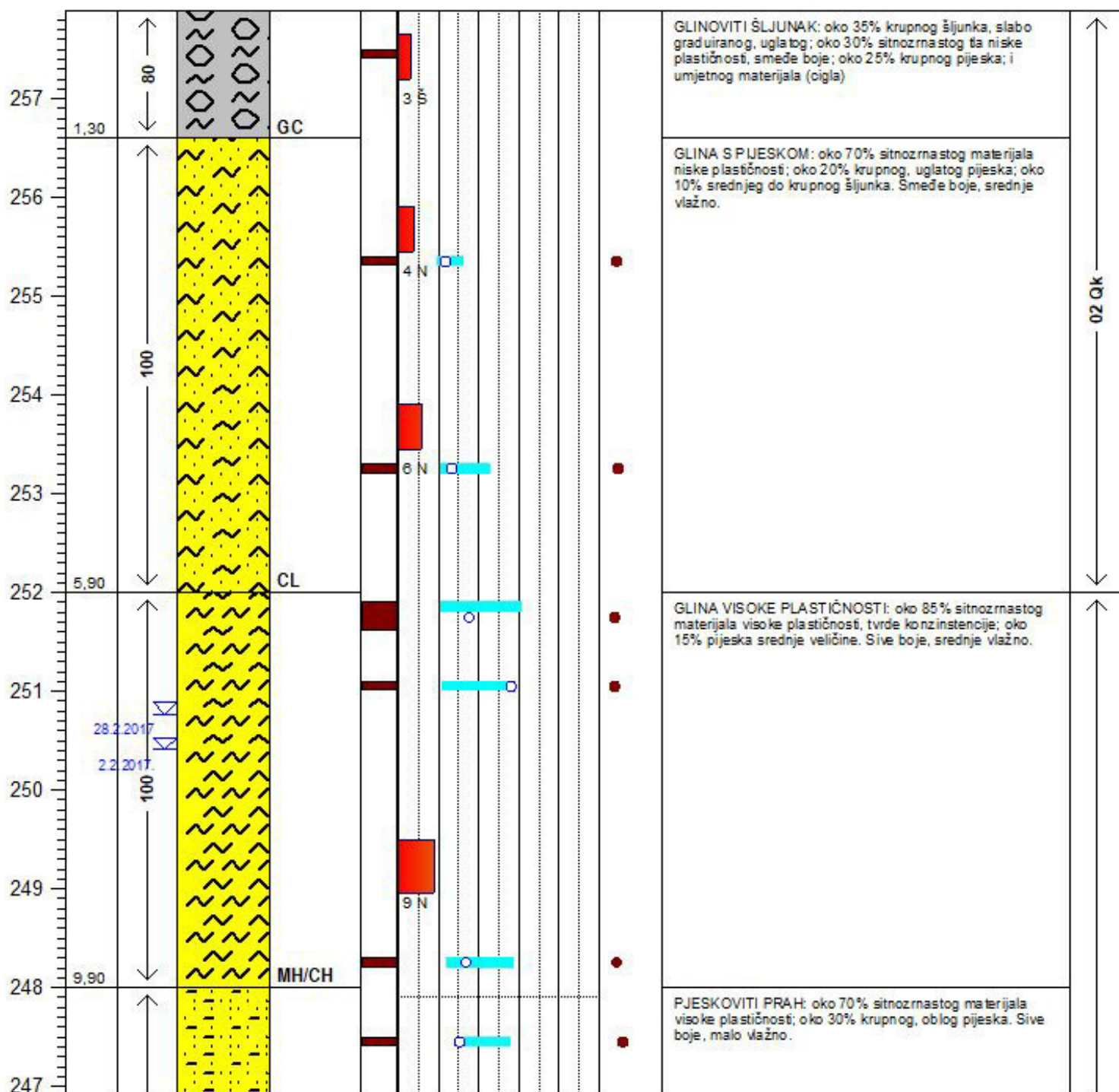


**INVESTITOR:** Grad Zagreb      **IZVOĐAČ:** MKS INŽENJERING d.o.o.      **NADZOR:** M. Krkač  
**OBJEKT:** Klizište      **DATUM:** 16.1.-24.1.2017.      **IG DETERMINACIJA:** A. Lončar  
**LOKACIJA:** Zagreb, Pantovčak      **NADM. VISINA:** 257,90 m n.m.      **IG INTERPRETACIJA:** A. Lončar  
**KOORDINATE:** x: 458094.33      y: 5077974.33

**INŽENJERSKOGEOLOŠKI PRESJEK BUŠOTINE B-3**

**DUBINA:** 20,00 m      **MJERILO:** 1:60      **PRILOG:** 2/3

NADM. VISINA (m)	DUBINA (m)	JEZGRA (%)	IG SIMBOL	GEOMEH. SIMBOL	UZORAK	IN SITU I LABORATORIJSKA ISPITIVANJA	INŽENJERSKOGEOLOŠKI OPIS
						SPP (br. udaraca) Att. granice qu pripr. vlažnost	INŽENJERSKOGEOLOŠKA KLASIFIKACIJA qpp Ic



Wp, WI, Wo (%)	0	100		
SPP (udaraca)	0	50	0	400
qu (kPa)	0	600	2.5	Ic

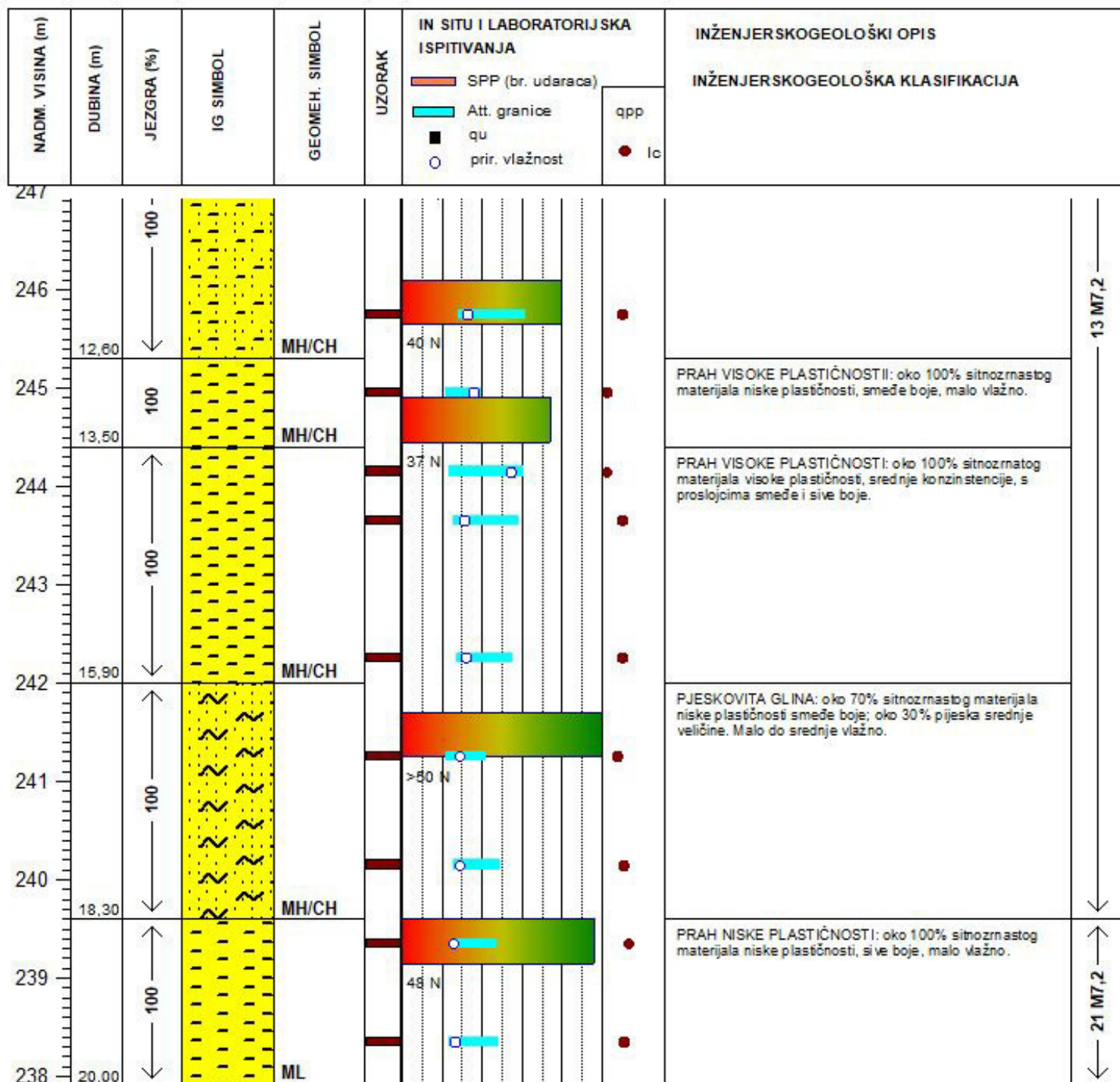
# DIPLOMSKI RAD



**INVESTITOR:** Grad Zagreb      **IZVOĐAČ:** MKS INŽENJERING d.o.o.      **NADZOR:** M. Krkač  
**OBJEKT:** Klizište      **DATUM:** 16.1.-24.1.2017.      **IG DETERMINACIJA:** A. Lončar  
**LOKACIJA:** Zagreb, Pantovčak      **NADM. VISINA:** 257,90 m n.m.      **IG INTERPRETACIJA:** A. Lončar  
**KOORDINATE:** x: 458094.33      y: 5077974.33

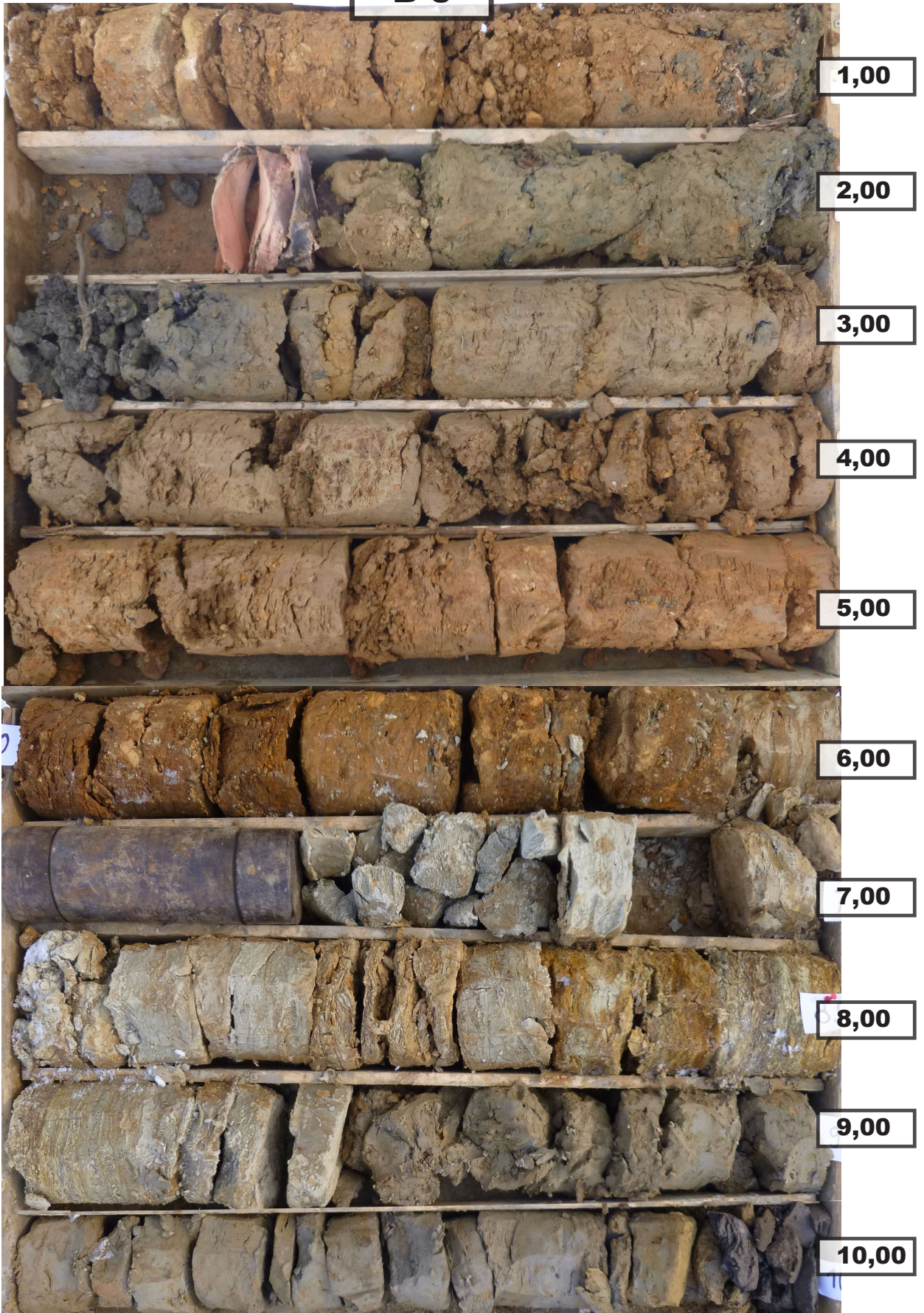
**INŽENJERSKOGEOLOŠKI PRESJEK BUŠOTINE B-3**

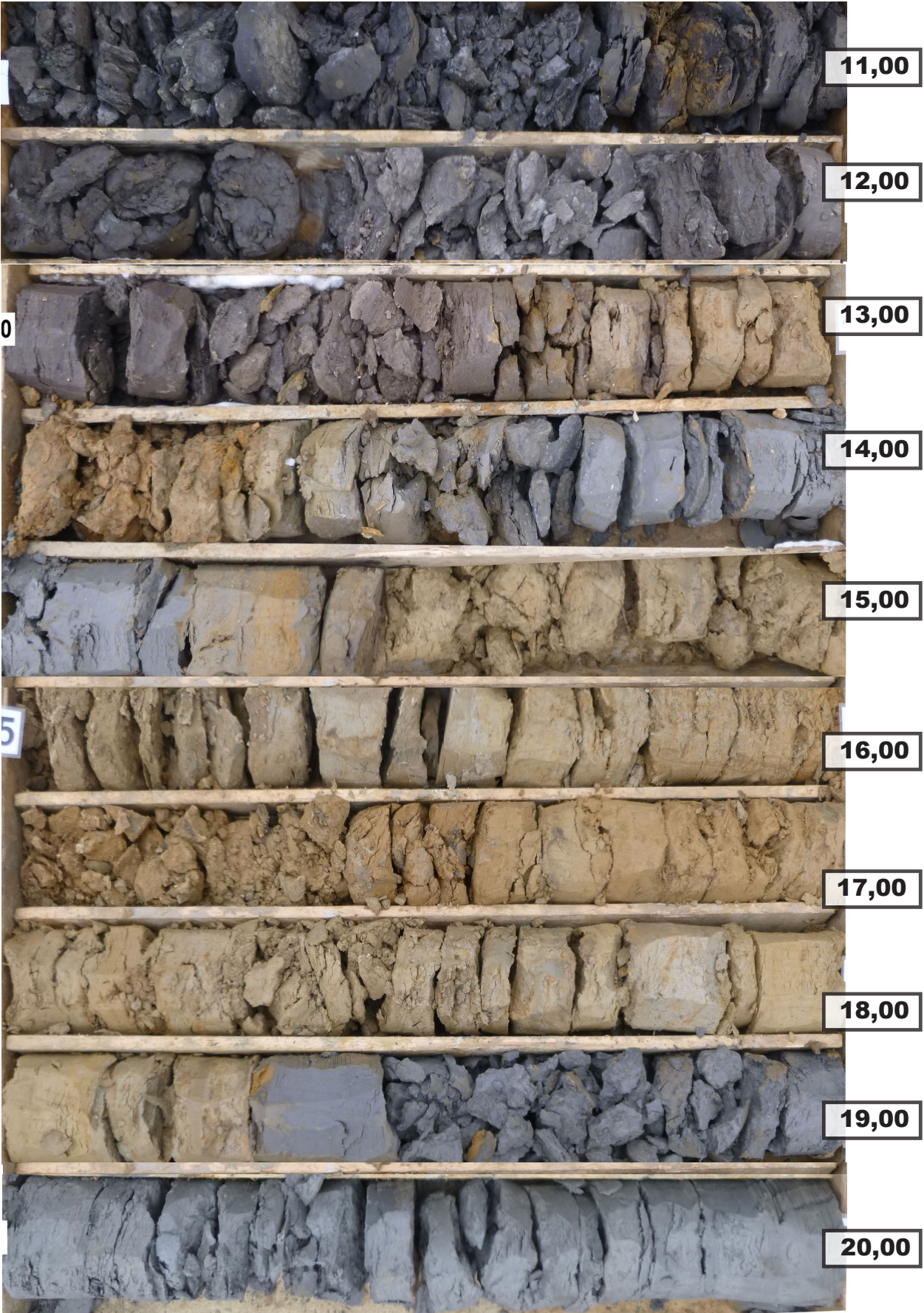
**DUBINA:** 20,00 m      **MJERILO:** 1:60      **PRILOG:** 2/3



Wp, Wl, Wo (%)	0	100		
SPP (udaraca)	0	50	0	400
qu (kPa)	0	600	2.5	lc

**B-3**





# DIPLOMSKI RAD

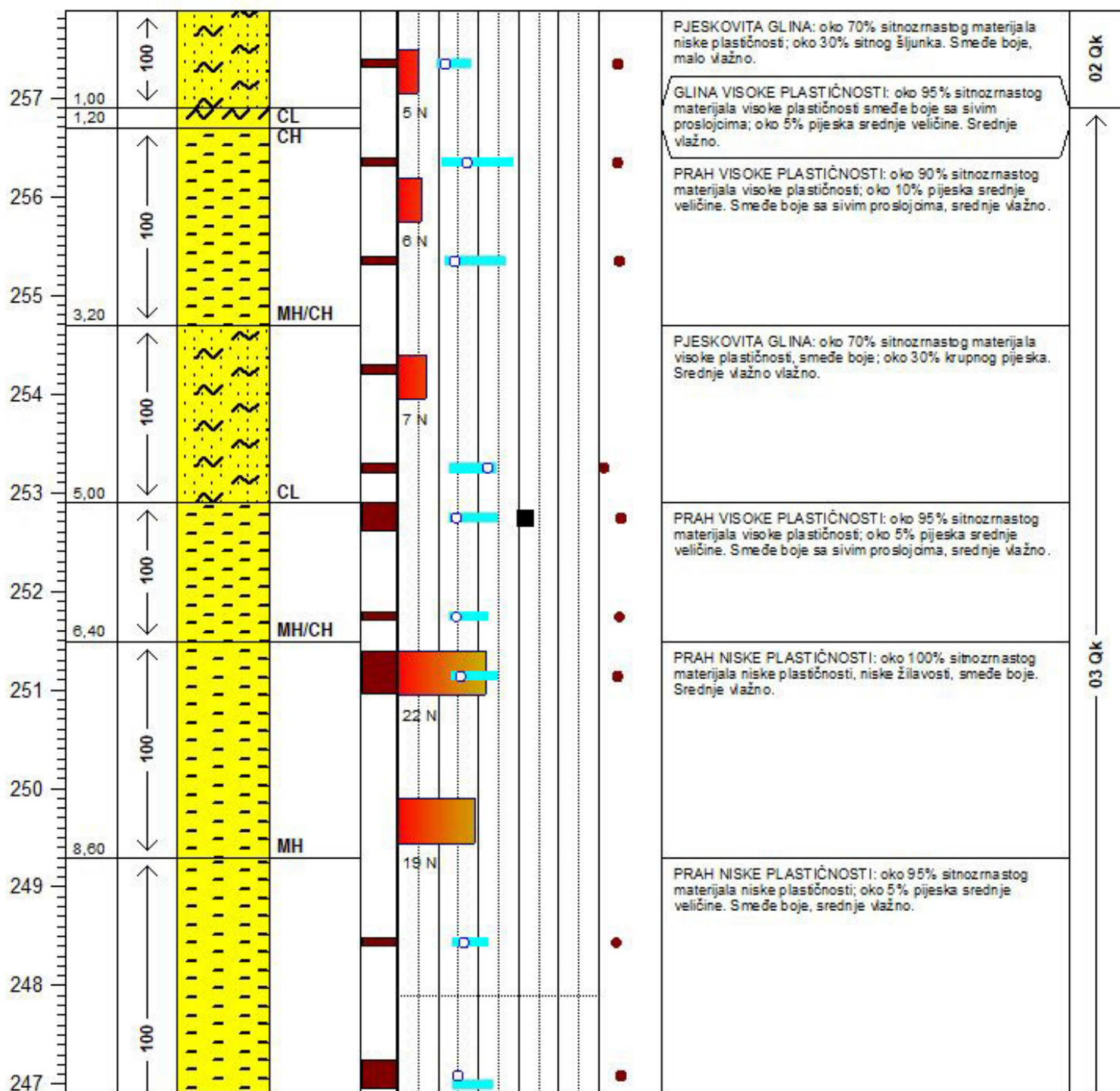


**INVESTITOR:** Grad Zagreb      **IZVOĐAČ:** MKS INŽENJERING d.o.o.      **NADZOR:** M. Krkač  
**OBJEKT:** Klizište      **DATUM:** 6.2.-9.2.2017.      **IG DETERMINACIJA:** A. Lončar  
**LOKACIJA:** Zagreb, Pantovčak      **NADM. VISINA:** 257,89 m n.m.      **IG INTERPRETACIJA:** A. Lončar  
**KOORDINATE:** x: 458071.65      y: 5078043.55

**INŽENJERSKOGEOLOŠKI PRESJEK BUŠOTINE B-4**

**DUBINA: 20.00 m    MJERILO: 1:60    PRILOG: 4/1**

NADM. VISINA (m)	DUBINA (m)	JEZGRA (%)	IG SIMBOL	GEOMEH. SIMBOL	UZORAK	IN SITU I LABORATORIJSKA ISPITIVANJA		INŽENJERSKOGEOLOŠKI OPIS	
						SPP (br. udaraca)	Att. granice	INŽENJERSKOGEOLOŠKA KLASIFIKACIJA	
						■ SPP (br. udaraca)	— Att. granice	■ qu	○ prir. vlažnost
							○ qpp	● Ic	



Wp, Wl, Wo (%)	0	100	
	0	50	qpp (kPa)
SPP (udaraca)	0	600	Ic
qu (kPa)			

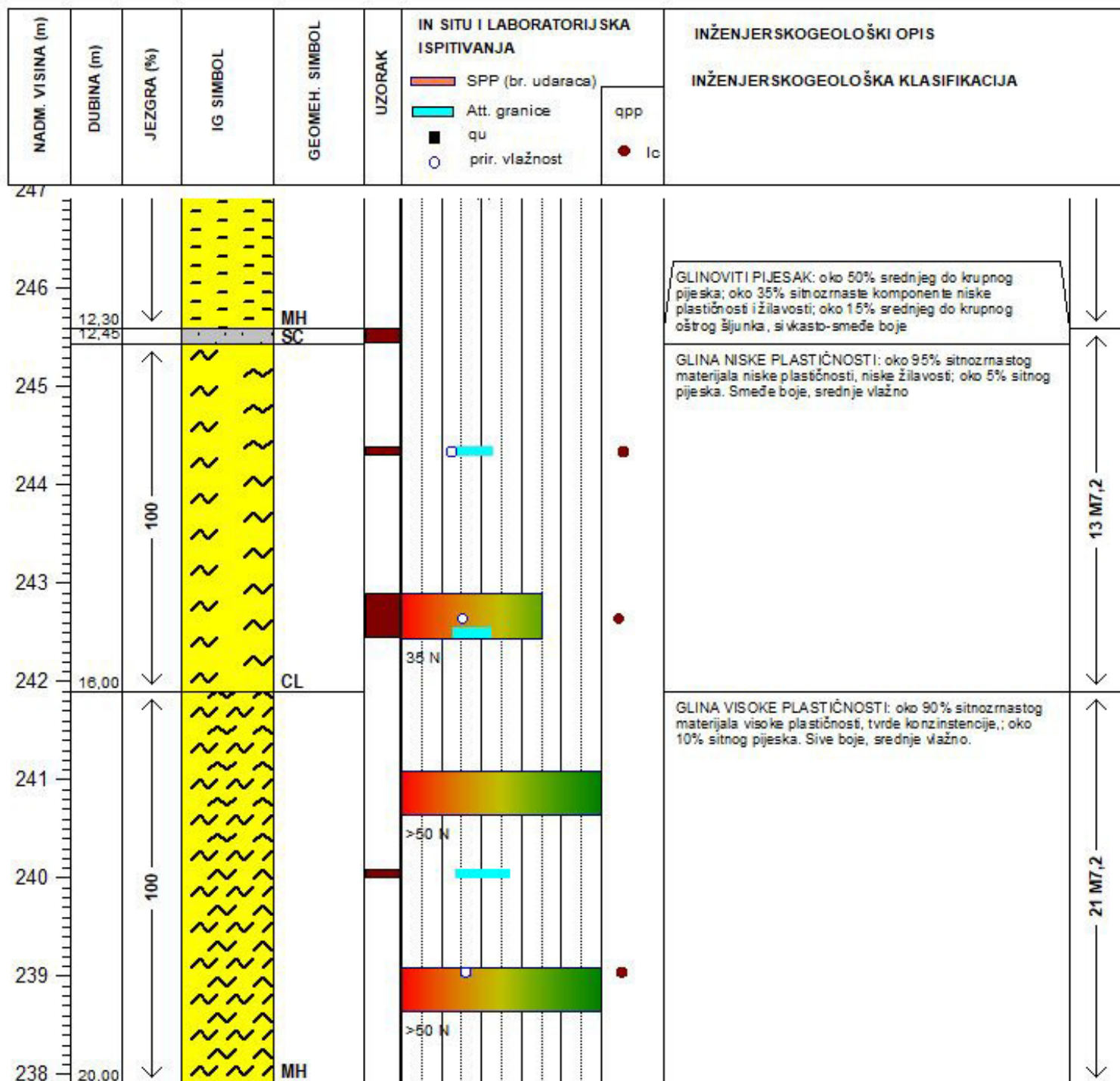
# DIPLOMSKI RAD



**INVESTITOR:** Grad Zagreb      **IZVOĐAČ:** MKS INŽENJERING d.o.o.      **NADZOR:** M. Krkač  
**OBJEKT:** Klizište      **DATUM:** 6.2.-9.2.2017.      **IG DETERMINACIJA:** A. Lončar  
**LOKACIJA:** Zagreb, Pantovčak      **NADM. VISINA:** 257,89 m n.m.      **IG INTERPRETACIJA:** A. Lončar  
**KOORDINATE:** x: 458071.65      y: 5078043.55

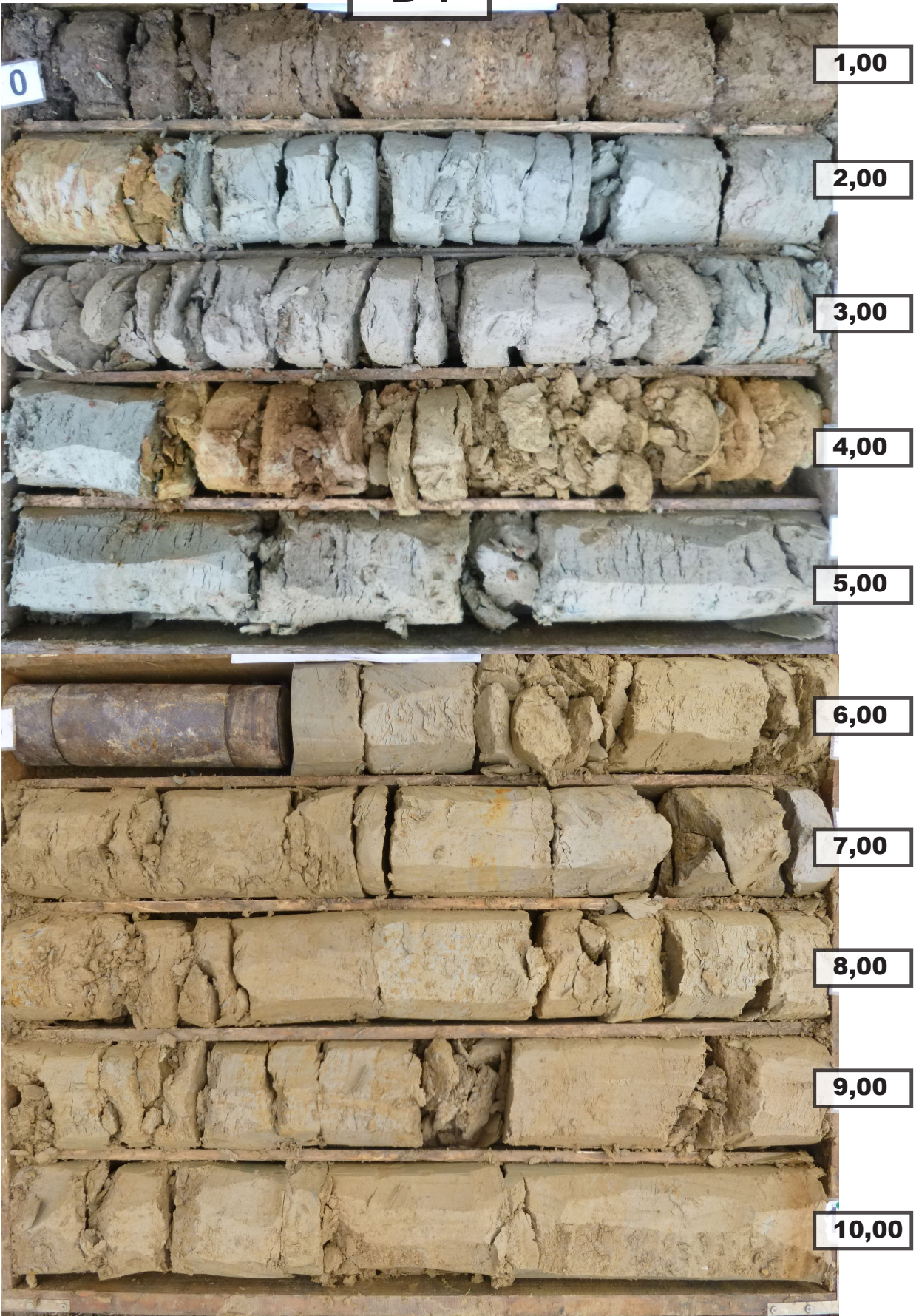
**INŽENJERSKOGEOLOŠKI PRESJEK BUŠOTINE B-4**

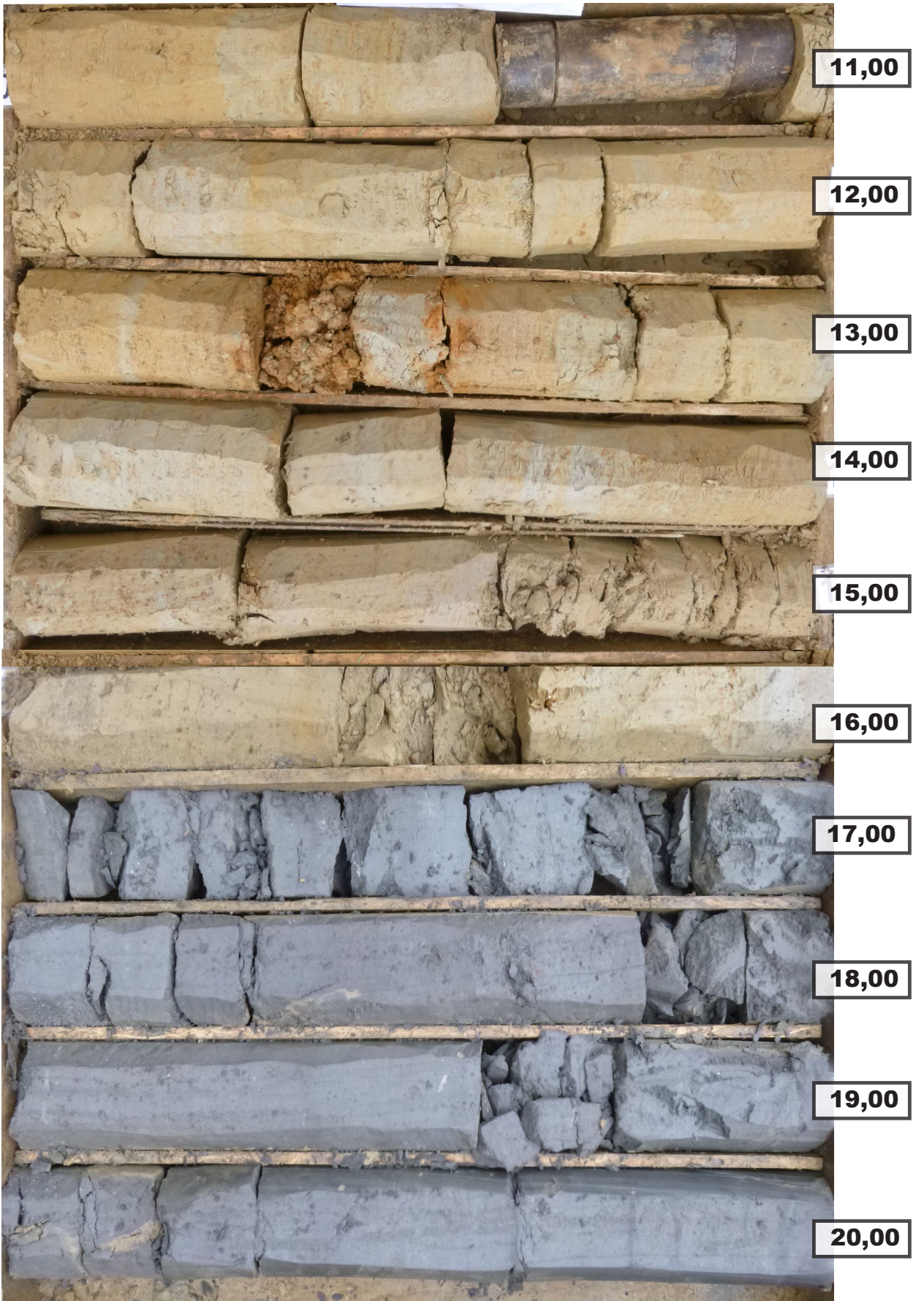
**DUBINA:** 20.00 m      **MJERILO:** 1:60      **PRILOG:** 4/1



Wp, Wl, Wo (%)	0	100		
SPP (udaraca)	0	50	0	400
qu (kPa)	0	600	2.5	Ic

**B-4**







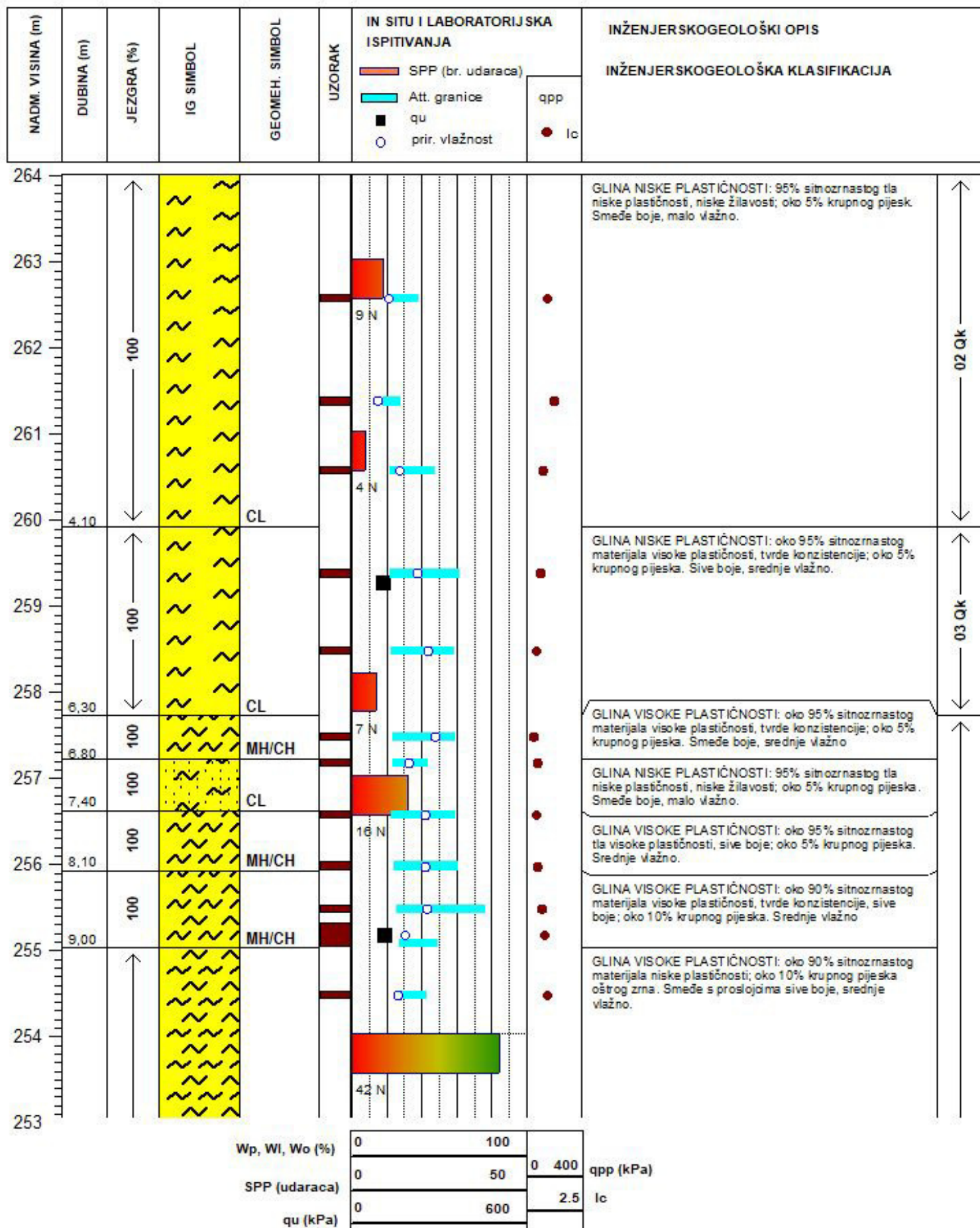
# DIPLOMSKI RAD



**INVESTITOR:** Grad Zagreb      **IZVOĐAČ:** MKS INŽENJERING d.o.o.      **NADZOR:** M. Krkač  
**OBJEKT:** Klizište      **DATUM:** 25.1.-2.2.2017.      **IG DETERMINACIJA:** A. Lončar  
**LOKACIJA:** Zagreb, Pantovčak      **NADM. VISINA:** 264,03 m n.m.      **IG INTERPRETACIJA:** A. Lončar  
**KOORDINATE:** x: 458040.43      y: 5078024.63

**INŽENJERSKOGEOLOŠKI PRESJEK BUŠOTINE B-5**

**DUBINA:** 20.00 m      **MJERILO:** 1:60      **PRILOG:** 2/5



# DIPLOMSKI RAD

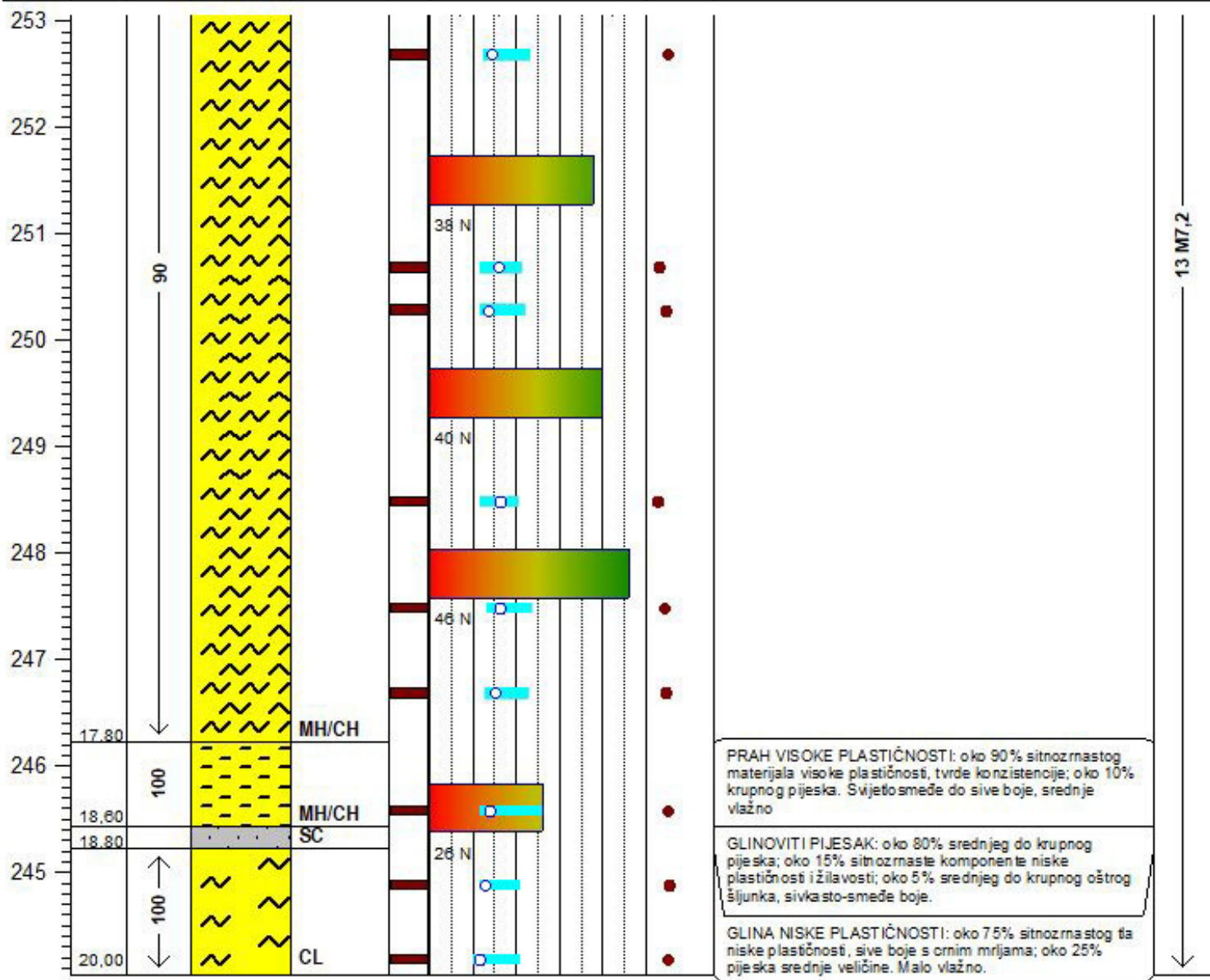


**INVESTITOR:** Grad Zagreb      **IZVOĐAČ:** MKS INŽENJERING d.o.o.      **NADZOR:** M. Krkač  
**OBJEKT:** Klizište      **DATUM:** 25.1.-2.2.2017.      **IG DETERMINACIJA:** A. Lončar  
**LOKACIJA:** Zagreb, Pantovčak      **NADM. VISINA:** 264,03 m n.m.      **IG INTERPRETACIJA:** A. Lončar  
**KOORDINATE:** x: 458040.43      y: 5078024.63

**INŽENJERSKOGEOLOŠKI PRESJEK BUŠOTINE B-5**

**DUBINA:** 20.00 m      **MJERILO:** 1:60      **PRILOG:** 2/5

NADM. VISINA (m)	DUBINA (m)	JEZGRA (%)	IG SIMBOL	GEOMEH. SIMBOL	UZORAK	IN SITU I LABORATORIJSKA ISPITIVANJA	INŽENJERSKOGEOLOŠKI OPIS
						SPP (br. udaraca) Att. granice qu pripr. vlažnost	INŽENJERSKOGEOLOŠKA KLASIFIKACIJA qpp Ic



Wp, WI, Wo (%)	0	100		
	0	50	0	400
SPP (udaraca)	0	600	2.5	qpp (kPa)
qu (kPa)				Ic

**B-5**

**1,00**

**2,00**

**3,00**

**4,00**

**5,00**

**6,00**

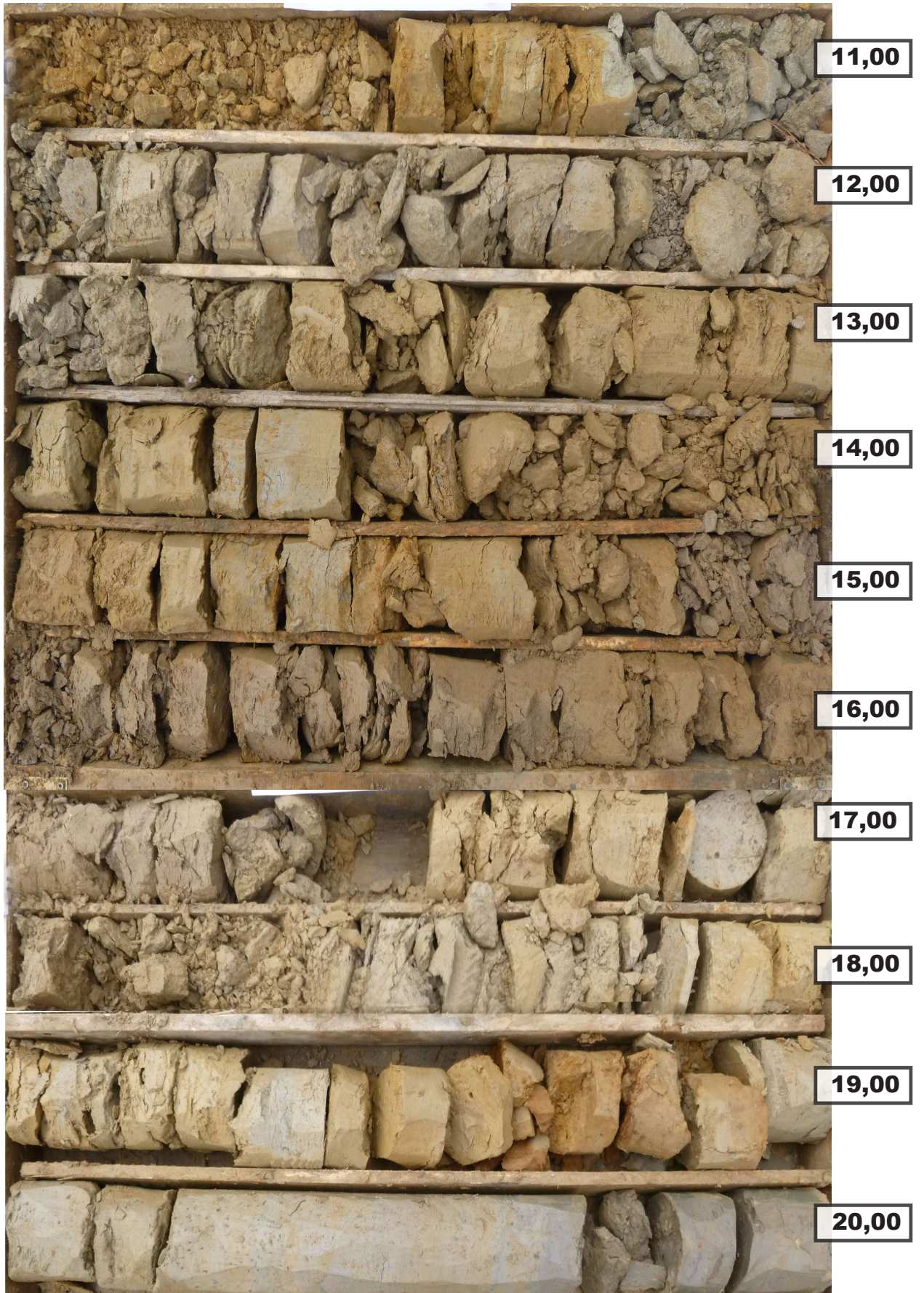
**7,00**

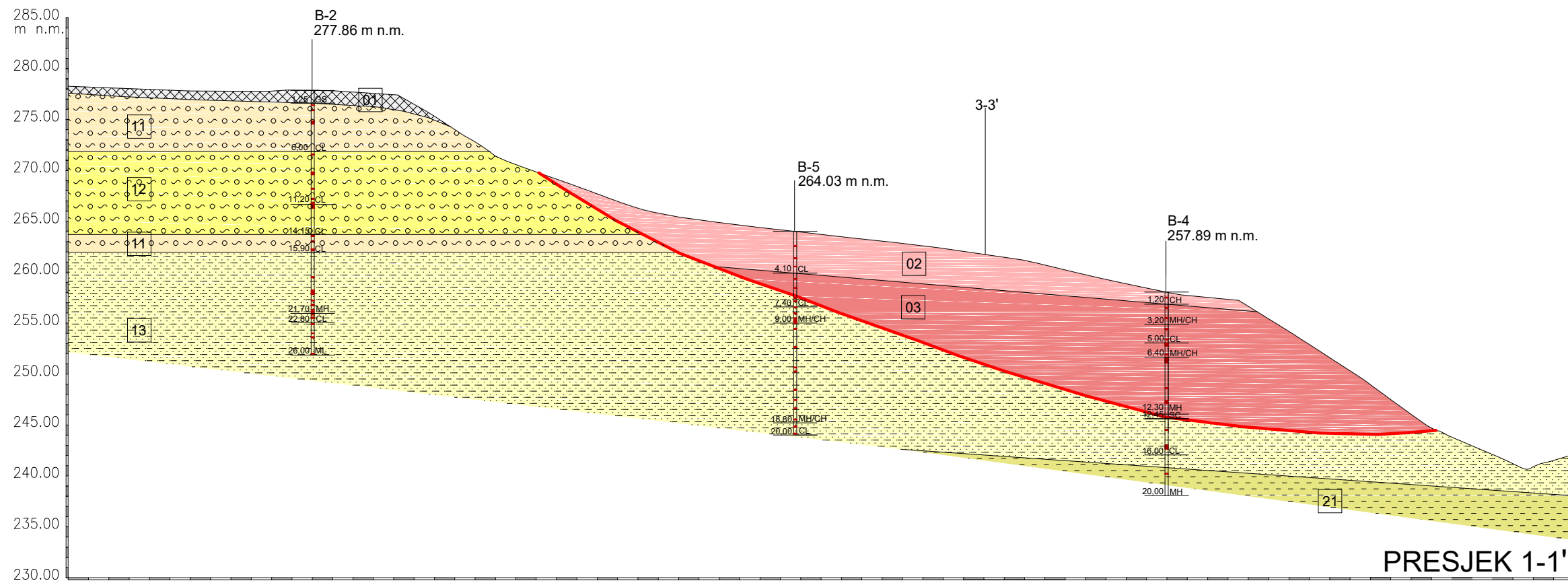
**8,00**

**9,00**

**10,00**







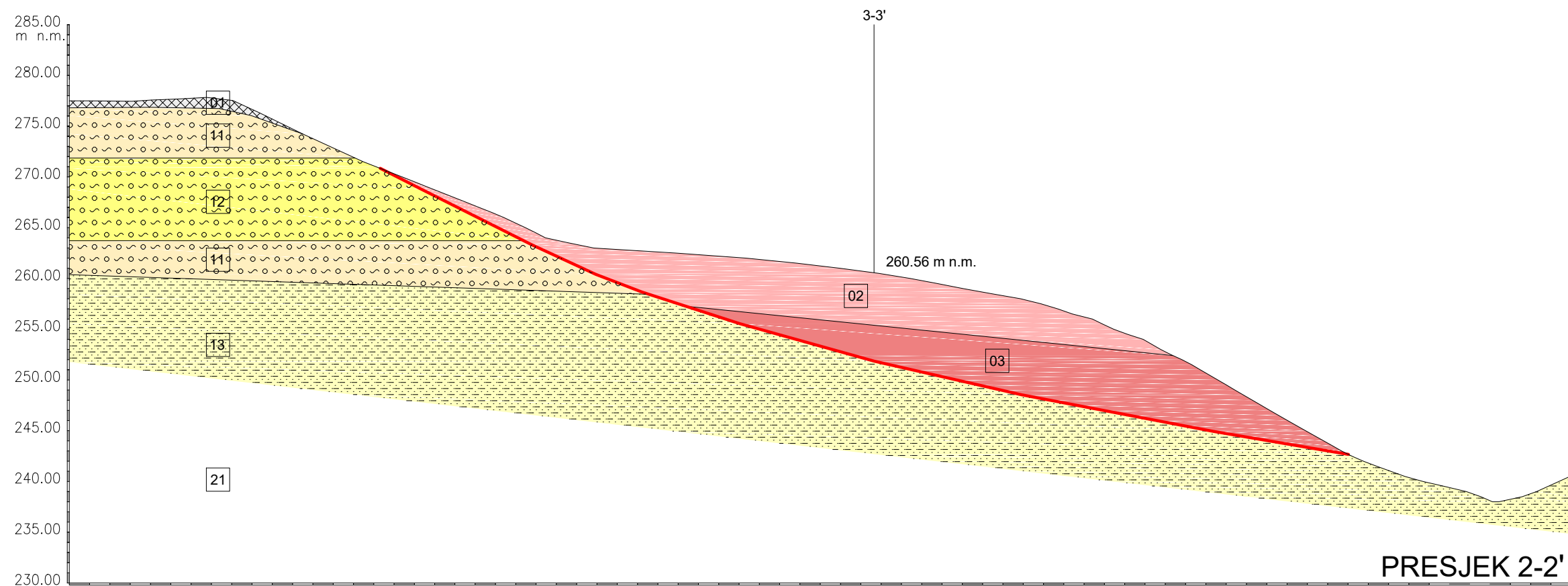
GENEZA/STRATIGRAFSKI SIMBOL		OZNAKA	INŽENJERSKOGEOLOŠKI TIP	GEOMEHANIČKI SIMBOL	FIZIČKA SVOJSTVA
POVRŠINSKE NASLAGE (POKRIVAČ)	TRANSPORTIRANO TLO	UMJETNE NASLAGE ( $Q_{ut}$ )	01 NASIP: mješavina umjetnih naslaga i krupnozrnastog materijala		
		KOLUVIJ ( $Q_k$ )	02 INŽENJERSKO TLO: glina niske plastičnosti, glinoviti šljunak, pjeskovita glina, glina s pijeskom	CL, GC	$15,81 < w_0 < 28,08$ tvrd do vrlo tvrdo $0,66 < I_c < 1,26$ $9,54 < I_p < 25,53$
			03 INŽENJERSKO TLO: glina, prah, glinoviti prah	CH, MH, CL, MH/CH	$28,41 < w_0 < 44,78$ ; vrlo meko do tvrdo $0,18 < I_c < 0,87$ $17,84 < I_p < 45,72$
	KORA TROŠENJA	TROŠNI SEDIMENT PLIOKVARTARA ( $Q_1$ )	11 INŽENJERSKO TLO : glina niske plastičnosti	CL	$20,11 < w_0 < 29,81$ ; meko do tvrdo $0,32 < I_c < 0,83$ $12,41 < I_p < 22,87$
			12 INŽENJERSKO TLO : glina niske plastičnosti	CL	$28,47 < w_0 < 31,03$ ; meko do tvrdo $0,32 < I_c < 0,62$ $14,33 < I_p < 16,52$
		TROŠNI SEDIMENT GORNJEG PONTA ( $Q_2^z$ )	13 INŽENJERSKO TLO : glinoviti prah, glina visoke i niske plastičnosti s proslojcima glinovitog pijeska	CH, CL, MH/CH, MH, ML, ML/CL, SC	$23,94 < w_0 < 54,69$ ; meko do vrlo tvrdo $0,35 < I_c < 1,01$ $17,43 < I_p < 50,63$
OSNOVNA MASA TLA	SLABO TROŠNI DO SVJEŽI SEDIMENTI GORNJEG PONTA ( $M_2^z$ )	21 INŽENJERSKO TLO: prah visoke plastičnosti, prah niske plastičnosti	MH, ML	$26,04 < w_0 < 32,21$ ; vrdo, vrlo tvrdo $0,83 < I_c < 1,05$ $20,31 < I_p < 27,05$	

- GRANICA INŽENJERSKOGEOLOŠKE ZONE
- GRANICA AKTIVNOG KLIZIŠTA
- B-2 OZNAKA BUŠOTINE
- 3-3' POLOŽAJ POPREČNOG PRESJEKA

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

**DIPLOMSKI RAD**

PROJEKT	SANACIJA KLIZIŠTA PANTOVČAK
VRSTA ISTRAŽIVANJA	GEOTEHNIČKI ISTRAŽNI RADOVI DETALJNA INŽENJERSKOGEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA
SADRŽAJ PRILOGA	INŽENJERSKOGEOLOŠKI PROFIL
MENTOR Doc. dr. sc. Martin Krkač	IZRADILA Anđela Lončar, univ.bacc.ing.geol.
DATUM	19.1.2018.
MJERILO	1:500
PRILOG BR.	4



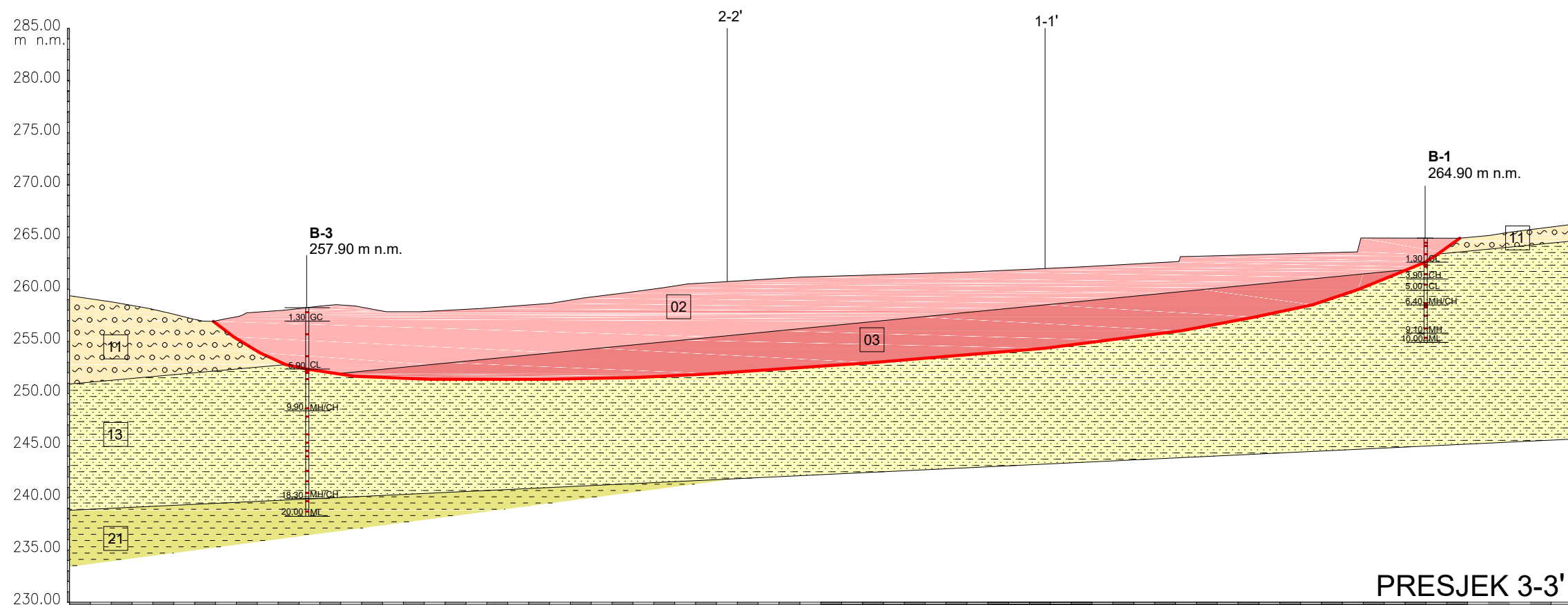
GENEZA/STRATIGRAFSKI SIMBOL		OZNAKA	INŽENJERSKOGEOLOŠKI TIP	GEOMEHANIČKI SIMBOL	FIZIČKA SVOJSTVA
POVRŠINSKE NASLAGE (POKRIVAČ)	TRANSPORTIRANO TLO	UMJETNE NASLAGE ( $Q_{ut}$ )	01 NASIP: mješavina umjetnih naslaga i krupnozrnastog materijala		
		KOLUVIJ ( $Q_k$ )	02 INŽENJERSKO TLO: glina niske plastičnosti, glinoviti šljunak, pjeskovita glina, glina s pijeskom	CL, GC	15,81 < $w_0$ < 28,08 vrdo do vrlo tvrdo 0,66 < $i_c$ < 1,26 9,54 < $i_p$ < 25,53
			03 INŽENJERSKO TLO: glina, prah, glinoviti prah	CH, MH, CL, MH/CH	28,41 < $w_0$ < 44,78; vrlo meko do tvrdo 0,18 < $i_c$ < 0,87 17,84 < $i_p$ < 45,72
	KORA TROŠENJA	TROŠNI SEDIMENT PLIOKVARTARA ( $Q_1$ )	11 INŽENJERSKO TLO : glina niske plastičnosti	CL	20,11 < $w_0$ < 29,81; meko do tvrdo 0,32 < $i_c$ < 0,83 12,41 < $i_p$ < 22,87
			12 INŽENJERSKO TLO : glina niske plastičnosti	CL	28,47 < $w_0$ < 31,03; meko do tvrdo 0,32 < $i_c$ < 0,62 14,33 < $i_p$ < 16,52
		TROŠNI SEDIMENT GORNJEG PONTA ( $Q_2^g$ )	13 INŽENJERSKO TLO : glinoviti prah, glina visoke i niske plastičnosti s proslojcima glinovitog pijeska	CH, CL, MH/CH, MH, ML, ML/CL, SC	23,94 < $w_0$ < 54,69; meko do vrlo tvrdo 0,35 < $i_c$ < 1,01 17,43 < $i_p$ < 50,63
	OSNOVNA MASA TLA	SLABO TROŠNI DO SVJEŽI SEDIMENTI GORNJEG PONTA ( $M_2^g$ )	21 INŽENJERSKO TLO: prah visoke plastičnosti, prah niske plastičnosti	MH, ML	26,04 < $w_0$ < 32,21; vrdo, vrlo tvrdo 0,83 < $i_c$ < 1,05 20,31 < $i_p$ < 27,05

- GRANICA INŽENJERSKOGEOLOŠKE ZONE
- GRANICA AKTIVNOG KLIZIŠTA
- B-2 OZNAKA BUŠOTINE
- 3-3' POLOŽAJ POPREČNOG PRESJEKA

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

**DIPLOMSKI RAD**

PROJEKT	SANACIJA KLIZIŠTA PANTOVČAK
VRSTA ISTRAŽIVANJA	GEOTEHNIČKI ISTRAŽNI RADOVI DETALJNA INŽENJERSKOGEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA
SADRŽAJ PRILOGA	INŽENJERSKOGEOLOŠKI PROFIL
MENTOR Doc. dr. sc. Martin Krkač	IZRADILA Anđela Lončar, univ.bacc.ing.geol.
DATUM	19.1.2018.
MJERILO	1:500
PRILOG BR.	4



GENEZA/STRATIGRAFSKI SIMBOL		OZNAKA	INŽENJERSKOGEOLOŠKI TIP	GEOMEHANIČKI SIMBOL	FIZIČKA SVOJSTVA
POVRŠINSKE NASLAGE (POKRIVAČ)	TRANSPORTIRANO TLO	UMJETNE NASLAGE (Q <sub>ut</sub> )	01 NASIP: mješavina umjetnih naslaga i krupnozrnastog materijala		
		KOLUVIJ (Q <sub>k</sub> )	02 INŽENJERSKO TLO: glina niske plastičnosti, glinoviti šljunak, pjeskovita glina, glina s pijeskom	CL, GC	15,81 < w <sub>0</sub> < 28,08 tvrd do vrlo tvrdo 0,66 < I <sub>c</sub> < 1,26 9,54 < I <sub>p</sub> < 25,53
			03 INŽENJERSKO TLO: glina, prah, glinoviti prah	CH, MH, CL, MH/CH	28,41 < w <sub>0</sub> < 44,78; vrlo meko do tvrdo 0,18 < I <sub>c</sub> < 0,87 17,84 < I <sub>p</sub> < 45,72
	KORA TROŠENJA	TROŠNI SEDIMENT PLIOKVARTARA (Q <sub>1</sub> )	11 INŽENJERSKO TLO : glina niske plastičnosti	CL	20,11 < w <sub>0</sub> < 29,81; meko do tvrdo 0,32 < I <sub>c</sub> < 0,83 12,41 < I <sub>p</sub> < 22,87
			12 INŽENJERSKO TLO : glina niske plastičnosti	CL	28,47 < w <sub>0</sub> < 31,03; meko do tvrdo 0,32 < I <sub>c</sub> < 0,62 14,33 < I <sub>p</sub> < 16,52
		TROŠNI SEDIMENT GORNJEG PONTA (Q <sub>2</sub> )	13 INŽENJERSKO TLO : glinoviti prah, glina visoke i niske plastičnosti s proslojcima glinovitog pijeska	CH, CL, MH/CH, MH, ML, ML/CL, SC	23,94 < w <sub>0</sub> < 54,69; meko do vrlo tvrdo 0,35 < I <sub>c</sub> < 1,01 17,43 < I <sub>p</sub> < 50,63
OSNOVNA MASA TLA	SLABO TROŠNI DO SVJEŽI SEDIMENTI GORNJEG PONTA (M <sub>2</sub> )	21 INŽENJERSKO TLO: prah visoke plastičnosti, prah niske plastičnosti	MH, ML	26,04 < w <sub>0</sub> < 32,21; vrdo, vrlo tvrdo 0,83 < I <sub>c</sub> < 1,05 20,31 < I <sub>p</sub> < 27,05	

- GRANICA INŽENJERSKOGEOLOŠKE ZONE
- GRANICA AKTIVNOG KLIZIŠTA
- B-2 OZNAKA BUŠOTINE
- 3-3' POLOŽAJ POPREČNOG PRESJEKA

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

DIPLOMSKI RAD

PROJEKT	SANACIJA KLIZIŠTA PANTOVČAK
VRSTA ISTRAŽIVANJA	GEOTEHNIČKI ISTRAŽNI RADOVI DETALJNA INŽENJERSKOGEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA
SADRŽAJ PRILOGA	INŽENJERSKOGEOLOŠKI PROFIL
MENTOR Doc. dr. sc. Martin Krkač	IZRADILA Anđela Lončar, univ.bacc.ing.geol.
DATUM	19.1.2018.
MJERILO	1:500
PRILOG BR.	5