

# Geotehnička terenska istraživanja za potrebe sanacije klizišta u Đurmancu

---

**Mateša, Lucija**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:130:051915>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-12**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GEOTEHNIČKI FAKULTET

LUCIJA MATEŠA

GEOTEHNIČKA TERENSKA ISTRAŽIVANJA ZA POTREBE SANACIJE  
KLIZIŠTA U ĐURMANCU

ZAVRŠNI RAD

VARAŽDIN, 2022.

Sazivam članove ispitnog povjerenstva  
za 15. 09. 2022 u 9 sa  
Obranu ovog rada kandidat će vršiti i pred  
ispitnim povjerenstvom u Varaždinu  
Varaždin, 01. 09. 2022

Predsjednik  
ispitnog povjerenstva:

*izr. prof. dr. sc. Saša Korčić*

### Članovi povjerenstva

- 1) *Prof. dr. sc. Stjepan Strelac*
- 2) *Doc. dr. sc. Jasmin Jugo*
- 3) *izr. prof. dr. sc. Boris Korčić*

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GEOTEHNIČKI FAKULTET

ZAVRŠNI RAD

GEOTEHNIČKA TERENSKA ISTRAŽIVANJA ZA POTREBE SANACIJE  
KLIZIŠTA U ĐURMANCU

KANDIDAT:

Lucija Mateša

*dm*

MENTOR:

Prof. dr. sc. Stjepan Strelec

DRUGI MENTOR:

Doc. dr. sc. Jasmin Jug

VARAŽDIN, 2022.

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad pod naslovom:

### GEOTEHNIČKA TERENSKA ISTRAŽIVANJA ZA POTREBE SANACIJE KLIZIŠTA U ĐURMANCU

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom prof.dr.sc. Stjepana Streleca i komentora doc. dr. sc. Jasmina Juga.

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, 29. 08. 2022.

Lucajo Matija  
(Ime i prezime)

M.  
(Vlastoručni potpis)

# IZJAVA MENTORA O POSTOTKU SLIČNOSTI ZAVRŠNOG RADA S VEĆ OBJAVLJENIM RADOVIMA

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad pod naslovom:

## GEOTEHNIČKA TERENSKA ISTRAŽIVANJA ZA POTREBE SAŃACIJE KLIZIŠTA U ĐURMANCU

pregledan anti-plagijat programskim paketom PlagScan te da postotak sličnosti cjelovitog diplomskog rada, s već objavljenim radovima, ne prelazi 20 %, kao i da pojedinačni postotak sličnosti završnog rada sa svakom literaturnom referencom pojedinačno ne prelazi 5 %.

U Varaždinu, 29.08.2022.

Prof. dr. sc. Stjepan Štrelec  
(Mentor)

Štrelec  
(Vlastoručni potpis)

## **SAŽETAK**

**Autor:** Lucija Mateša

**Naslov rada:** Geotehnička terenska istraživanja za potrebe sanacije klizišta u Đurmancu

Zbog nepovoljnih uvjeta u tlu na nerazvrstanoj cesti u mjestu Putkovec, u općini Đurmanec, došlo je do pojave klizišta. U radu su opisane geofizičke i geotehničke metode istraživanja koje su korištene za istraživanje klizišta. Provedena su ispitivanja metodom geoelektrične tomografije na dva geofizička profila, te dinamičko sondiranje tla lakom udarnom sondom na osam lokacija koje su propisane programom istraživanja. Navedenim ispitivanjima dobivene su geotehničke značajke tla te parametri pomoću kojih je analizirana stabilnost kosine Bishopovom metodom. Na temelju dobivenih rezultata predloženo je sanacijsko rješenje klizišta.

**Ključne riječi:** klizište, stabilnost kosina, geotehničke i geofizičke metode istraživanja, sanacija klizišta

## **ABSTRACT**

**Name and surname:** Lucija Mateša

**Title:** Geotechnical field studies for the purpose of landslide remediation in Đurmanec

Unfavourable soil conditions on a side road in Putkovec, Đurmanec country, caused a landslide. This paper describes all geophysical and geotechnical methods that were used to conduct research on it.. Geoelectrical tomography on two locations and dynamic sounding of the soil with dynamic probing light on eight prescribed locations were carried out. By using the Bishops method and all of the above testing results, we got the parameters for the analysis of slope stability. Based on all of the gathered results, the remediation of the landslide was proposed.

**Keywords:** landslide, slope stability, geophysical and geotechnical methods, remediation of landslide



## SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. OPĆENITO O KLIZIŠTIMA I STABILNOSTI KOSINA .....	2
2.1. Stabilnost kosina .....	2
2.1.1. Bishopova pojednostavljena metoda proračuna stabilnosti kosina ....	3
2.2. Općenito o klizištima .....	5
2.2.1. Dijelovi klizišta.....	6
2.2.2. Klasifikacija klizišta .....	7
2.2.3. Općenito o sanaciji klizišta .....	11
3. GEOFIZIČKE METODE ISTRAŽIVANJA NA KLIZIŠTIMA.....	12
3.1. Seizmičke metode istraživanja .....	12
3.2. Geoelektrične metode istraživanja .....	13
3.2.1. Geoelektrična tomografija (ERT).....	14
4.1. Laka udarna sonda (DPL) .....	16
5. PRIMJER KORIŠTENJA GEOTEHNIČKIH TERENSKIH ISTRAŽIVANJA ZA POTREBE SANACIJE KLIZIŠTA U ĐURMANCU.....	18
5.1. Opći podaci o lokaciji .....	18
5.2. Rezultati istraživanja geoelektričnom tomografijom .....	19
5.3. Rezultati istraživanja lakom udarnom sondom.....	23
5.4. Geotehničke značajke temeljnog tla .....	24
5.5. Stabilnost padine na klizanje.....	25
5.6. Prijedlog sanacijskog rješenja .....	27
6. ZAKLJUČAK .....	28
LITERATURA.....	29
POPIS SLIKA .....	31
POPIS TABLICA .....	32
POPIS I OBJAŠNJENJE KORIŠTENIH KRATICA.....	32
GRAFIČKI PRILOZI .....	33

## 1.UVOD

Klizišta uzrokuju velike probleme u okolišu i mogu biti velika opasnost za ljudske živote. U Hrvatskoj prevladava vrlo složena geološka građa tla pa se zbog toga javljaju različiti tipovi klizišta i uzroci nastanka klizišta. Prostor sjeverne Hrvatske brdovit je i brežuljkast te su pojave klizišta vrlo česte. Razlog tome je razvoj debljih slojeva tla ili izmjene slojeva propusnih naslaga kod kojih se mogu nakupljati velike količine vode, što uzrokuje nestabilnost kosina (Pavelić,2014).

Ovaj rad opisuje istraživanja koja su provedena u svrhu sanacije klizišta na nerazvrstanoj cesti u mjestu Putkovec u općini Đurmanec. Rad sadrži opće podatke o lokaciji, odnosno geološke, litološke i morfološke opise lokacije. Od geofizičkih istraživanja snimljena su dva profila geoelektrične tomografije koji su propisani programom istraživanja. Rezultati interpretacije geoelektrične tomografije prikazuju presjek podzemlja u kojem se jasno vidi geološka građa terena na temelju dobivenih električnih otpornosti tla. Od geotehničkih radova provedeno je dinamičko sondiranje tla lakom udarnom sondom. Dinamičko sondiranje tla provedeno je na osam lokacija, a kao rezultat dobiva se broj udaraca ( $N_{10}$ ), što je najvažniji ulazni podatak za proračun dinamičkog otpora tla ( $R_d$ ). Također, navedeni su i svi ostali rezultati istraživanja vezani uz geotehničke značajke tla, te je Bishopovom metodom provedena analiza stabilnosti padine. U završnom dijelu rada opisan je prijedlog sanacijskog rješenja istraživanog klizišta.

## 2. OPĆENITO O KLIZIŠTIMA I STABILNOSTI KOSINA

### 2.1. Stabilnost kosina

Kosine na Zemlji definiraju se kao sve površine koje su nagnute pod nekim određenim kutom, a izgrađene su od zemljanog i stjenovitog materijala. Ovisno o nastanku, postoje prirodne i umjetne kosine. Prirodne kosine nastale su u prirodi pod utjecajem različitih geoloških procesa. Neke od prirodnih kosina se kreću brže, a neke sporije. Kretanje uzrokuje gravitacijska sila koja pokušava „izravnati Zemljinu površinu“. Umjetne kosine nastaju ljudskim djelovanjem procesima iskopavanja ili nasipavanja. Takav oblik kosina nastaje u kontroliranim uvjetima i detaljno je projektiran.

Ono što je zajedničko prirodnim i umjetnim kosinama je utvrđivanje njihove stabilnosti. Prirodne i umjetne kosine su stabilne ako je njihova posmična čvrstoća veća od posmičnih napreznja. Ukoliko nastane situacija da su posmična napreznja veća od posmične čvrstoće, tada nastaje slom u tlu te zbog toga dolazi do klizanja određenog dijela tla (Roje-Bonacci, 2003).

Za procjenu stabilnosti neke kosine, potrebni su podaci poput: geološke građe kosine, razine i toka podzemne vode, fizikalnih i mehanička svojstva tla, te predviđanje ponašanja materijala tijekom dinamičkog opterećenja. Za dobivanje takvih podataka, prvo se proučavaju poznate studije iz raspoloživih geoloških podataka, kao i različite karte i zračne snimke. Nakon toga slijede geotehnički istražni radovi, te laboratorijska ispitivanja dobivenih uzoraka tla. Podaci dobiveni istraživanjem se obrađuju, a potom se izrađuje model tla i procjena potencijalnih kliznih ploha. Pomoću dobivenog modela izrađuje se proračun stabilnosti kosina. Stabilnost kosine izražava se pomoću faktora sigurnosti  $F_s$  (Kavur, 2022).

Ako se posmična čvrstoća izrazi pomoću Mohr-Coulombovog zakona, tada je faktor sigurnosti omjer sile koja sprječava klizanje i sile koja uzrokuje klizanje:

$$F_s = \frac{c + \sigma \tan \varphi}{\tau} \quad (1)$$

gdje je:

$c$  - kohezija

$\sigma$  - ukupna naprezanja na točki plohe sloma

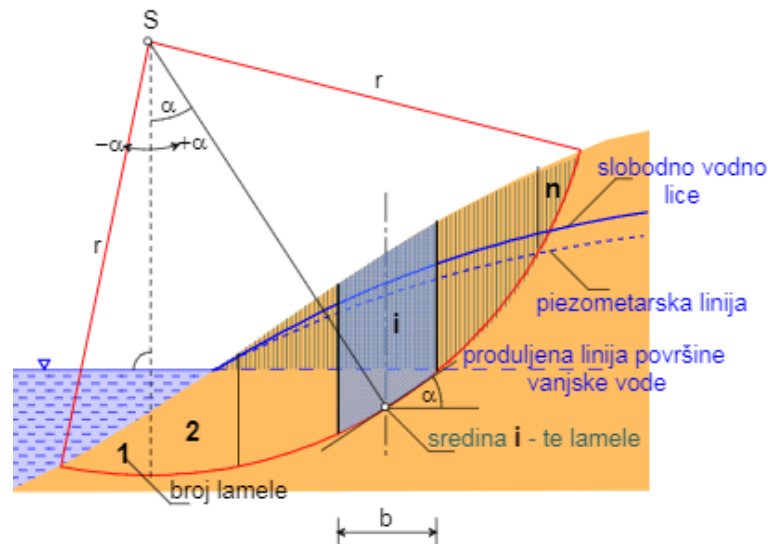
$\varphi$  - kut unutrašnjeg trenja

$\tau$  - posmično naprezanje na kliznoj plohi.

U teoriji vrijedi: ako je dobivena vrijednost faktora sigurnosti veća od 1, kosina je stabilna i neće doći do sloma. No, ukoliko je dobivena vrijednost manja, tada je kosina nestabilna i doći će do sloma, te će tlo početi klizati. Kod procesa sanacije klizišta faktor sigurnosti će ovisiti o stupnju zaštite koji se želi postići projektom (Roje-Bonacci, 2003).

#### 2.1.1. Bishopova pojednostavljena metoda proračuna stabilnosti kosina

Bishopova pojednostavljena metoda je grafoanalitička metoda koja je razvijena za kružne klizne plohe. Kružna klizna ploha se podudara sa opažanjima u prirodi koja su pokazala da se klizanja događaju najčešće po plohama koje se mogu usporediti s dijelom kružnice (slika 1.).



Slika 1. Analiza stabilnosti kosine prema Bishopovoj metodi (Kvasnička; Domitrović, 2007)

Izračun započinje od izraza za globalnu ravnotežu momenata sila te se zanemaruje ravnoteža u vodoravnom smjeru kao i međulamelarne sile koje djeluju na jednu lamelu ( $\sum y = 0$ ) (slika 2). Zadani segment dijelimo na određeni broj lamela. Na taj način dolazimo do osnovne sheme proračuna gdje se ispituje rotacijska ravnoteža lamela oko središta klizne plohe. Težine ispod razine vode računaju se kao  $\gamma' = \gamma - \gamma_w$ , a iznad razine vode kao obujamska težina  $\gamma$ . Normalna komponenta  $N$  prolazi kroz središte klizne plohe te na taj način ne doprinosi momentu otpora. Tangencijalna sila  $T$  je sila koja na promatranoj lameli stvara moment otpora klizanju. Iz navedenih činjenica slijedi da je konačni izraz za faktor sigurnosti:

$$F = \frac{\sum [c' b + (W_1 + W_2 - ub) \tan \varphi']}{m_\alpha \sum (W_1 + W_2) \sin \alpha} \quad (2)$$

$$m_\alpha = \cos \alpha + \sin \alpha \frac{\tan \varphi'}{F} \quad (3)$$

pri čemu je:

$c$ - kohezija

$\Phi$  - kut unutarnjeg trenja

$W_1$  - ukupna težina potopljenog tla

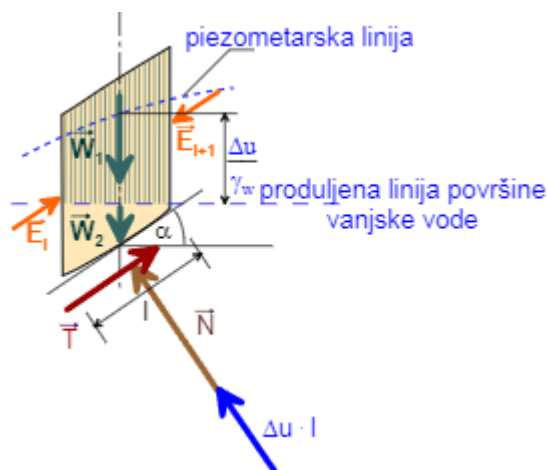
$W_2$  - ukupna težina tla iznad razine vode

$u = h \gamma_w$  - porni tlak

$\alpha$  - kut nagiba klizne plohe za lamelu

$h$  - visina lamele

$b$  - širina lamele.



Slika 2. Sile koje djeluju na lamelu (Kvasnička; Domitrović, 2007)

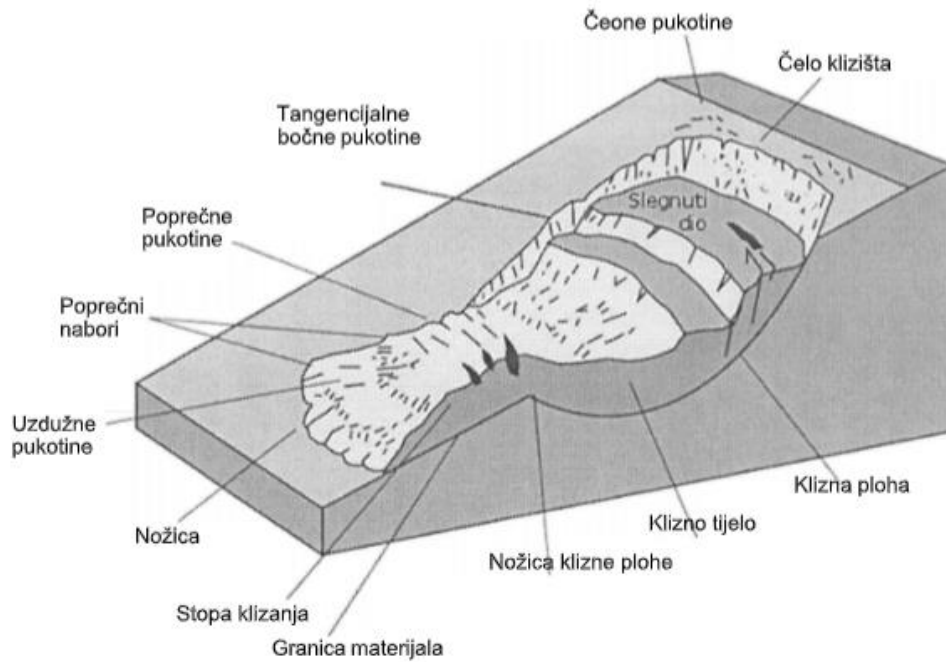
## 2.2. Općenito o klizištima

Klizište se definira kao područje na kosom terenu (kosini ili padini) gdje se određena masa tla premješta zbog narušene stabilnosti, s ciljem prelaska iz nestabilnog u stabilan položaj. Aktiviranje klizišta uzrokuje proces klizanja koji se definira kao gibanje mase stijena ili tla niz kosinu ili padinu. Pojava klizišta ubraja se u prirodne katastrofe koje uzrokuju velike materijalne štete i ugrožavaju ljudske živote (Roje-Bonacci, 2003).

Uzroci nastanka klizišta mogu biti prirodni ili antropogeni. Neki od osnovnih prirodnih uzroka nastajanja klizišta mogu biti seizmička i vulkanska aktivnost, te prisutnost vode. Saturiranost tla vodom jedan je od glavnih uzroka nastanka klizišta. Naime, kod saturacije tla vodom dolazi do smanjenja djelovanja efektivnih naprezanja između čestica tla. Smanjenjem efektivnih naprezanja dolazi do smanjenja posmične čvrstoće, a u trenu kada posmična čvrstoća postane manja od posmičnih naprezanja, dolazi do klizanja. Antropogeni uzroci nastanka klizišta uglavnom su vezani uz eksploataciju mineralnih sirovina, povećavanje i snižavanje razine podzemne vode, sječu šuma, itd. Također, povećanje broja stanovništva i potreba da se gradovi šire mogu uzrokovati pojavu klizišta (Mesec, 2021).

### 2.2.1. Dijelovi klizišta

Klizište se sastoji od nekoliko dijelova koji su prikazani na slici 3. Klizna ploha ili ploha sloma granična je ploha koja odvaja pokrenuti materijal (klizno tijelo) od podloge koja je nepokrenuta. Pri vrhu klizišta vidljiva je glavna pukotina ili škarpa. Gornji dio glavne pukotine naziva se kruna ili čelo klizišta. Prednju stranu klizišta čini pokrenuti materijal koji se nalazi uz glavnu pukotinu. U donjem dijelu klizišta nalazi se nožica ili završetak klizišta koji se definira kao točka do koje je materijal transportiran. Stopa ili podnožje klizišta je dio mase koji je pokrenut i izvan završetka plohe sloma. Produžetak plohe sloma čini plohu separacije, a bokovi čine bočne završetke klizišta. Tijekom klizanja nastaju i radijalne, vlačne te poprečne pukotine (Mihalić, 2008).



Slika 3. Dijelovi klizišta (Mesec, 2021)

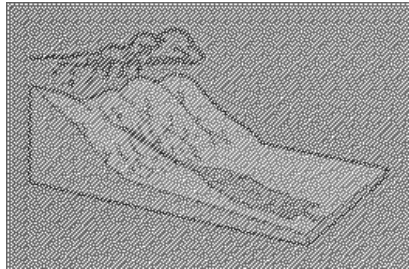
### 2.2.2. Klasifikacija klizišta

Kako bi se kvalitetno mogao detektirati uzrok nastanka klizišta i provesti analiza stabilnosti kosine, postoji više klasifikacija klizišta. Klasifikacija daje osnovni okvir pomoću kojeg se klizišta prepoznaju i razvrstavaju. Tipovi klizišta uglavnom se razlikuju po brzini kretanja materijala, vrsti materijala, te po mehanizmu kretanja. Najčešći tipovi klizišta prema pokretu su tečenje, odronjavanje i klizanje (Pavelić, 2014).

Tečenje je vrsta klizanja kod koje se materijal saturiran vodom kreće niz kosinu u obliku viskoznog fluida. Takav tip klizišta javlja se u prezasićenom vlažnom tlu i kod nekoherentnog materijala. Kretanje klizišta je vrlo brzo, a uzrok i uvjeti nastanka nisu poznati. Najčešći oblici tečenja su blatni tok, zemljani tok, soliflukcija i lavina kršja.



Blatni tok (slika 4) mješavina je velike količine vode i materijala poput praha ili gline. Takav oblik klizišta potaknut je velikim količinama padalina. Kako se tok kreće prema dolini, oblikuje kanale koji su slični površinskim tokovima vode, te zbog toga takav oblik klizišta doseže jako velike brzine. Javlja se na područjima gdje nema vegetacije (Pavelić, 2014).



Slika 4. Blatni tok (Mesec, 2021)

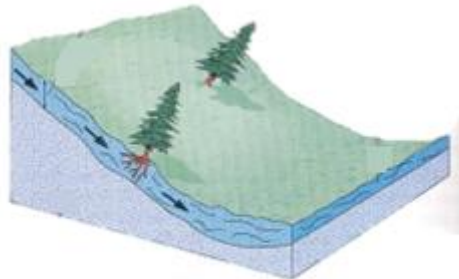
Zemljani tok (slika 5) usko je vezan uz područja sitnozrnatog materijala, poput gline. Za razliku od blatnog toka, brzina zemljanog toka je promjenjiva, a može biti spora ili brza. Zemljani tok ima karakteristični oblik pješčanog sata. Ovakav tip toka nastaje kod pojave likvefakcije pa zemlja iscuri formirajući depresiju na čelu. Ono što je karakteristično za zemljani tok je mogućnost nastanka rotacijskog klizanja u gornjem dijelu klizišta zbog čega dolazi do razvoja novog strmog odsjeka (Pavelić, 2014).



Slika 5. Zemljani tok (Pavelić, 2014)

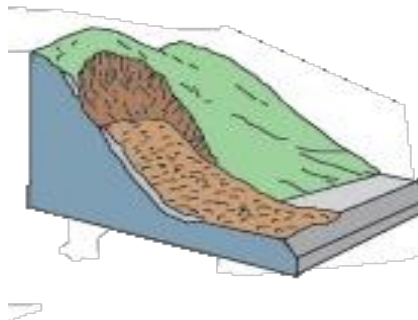
Solifukcija (slika 6) je tečenje saturiranog materijala preko nekog nepropusnog materijala. Uglavnom su u pitanju nepropusne stijene te permafrost koji je razvijen u glacijalnim ili periglacialnim područjima. Permafrost koji je tvrd poput betona pojavljuje se na dubinama od nekoliko centimetara pa sve do stotinu

metara ispod površine tla. Materijal koji je istaložen na permafrostu zimi je također smrznut, no tijekom ljeta led u njegovim porama se otapa te voda zajedno s kišnicom potiče kretanje nestabilne mase po zaleđenoj površini permafrosta (Pavelić, 2014).



Slika 6. Solifukcija (Mihalić, 2008)

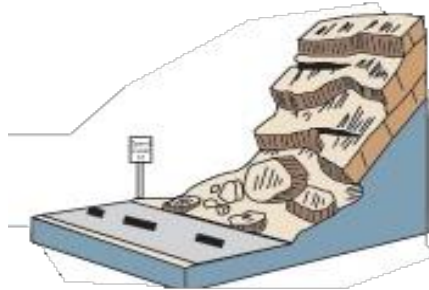
Lavina kršja (slika 7) nastaje kada je stabilnost padine smanjena. Tada dolazi do njenog urušavanja pa materijal koji pada niz padinu doseže velike brzine. Klizno tijelo uglavnom je sastavljeno od mješavine stijena, tla i organskih fragmenata (Mesec, 2021).



Slika 7. Lavina kršja (Pavelić, 2014)

Odron (slika 8) je mjesto na kojem se pokrenuti materijal sakuplja i nastaje na strmim kosinama kao posljedica erozije ili povećanja visine kosine umjetnim zahvatima. Kotrljanje ili poskakivanje odlomljenih stijena s padine naziva se odronjavanje. Uzrok nastanka odrona može biti potres, rast biljaka i njihovo korijenje, ljudski utjecaj (potkopavanje stope), te smrzavanje vode. Odroni su pod velikim utjecajem gravitacije. Masa koja je pokrenuta pada slobodno pa se

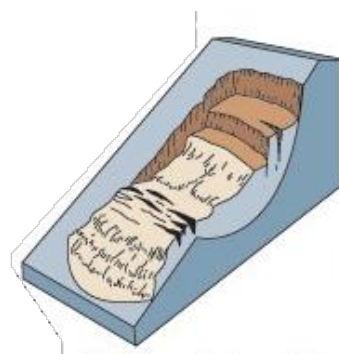
ponekad blokovi kreću pojedinačno. Ono što je karakteristično za odrone je pojava vlačnih pukotina na čelu klizišta kroz koje ulazi oborinska voda koja povećava hidrostatski tlak (Nonveiller, 1979).



Slika 8. Odron (Pavelić, 2014)

Klizanje je pojava kod koje je se materijal kreće niz jednu ili više površina koje su jasno određene, a nazivaju se klizne površine. Ponašanje klizanja ovisi o vrsti i homogenosti materijala. Postoje dvije vrste klizanja: rotacijsko i translacijsko klizanje.

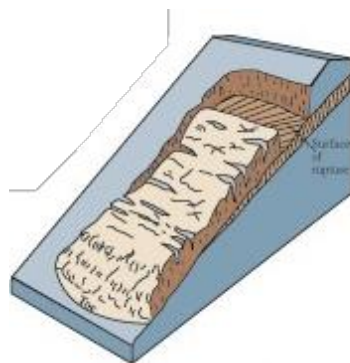
Rotacijsko klizanje (slika 9) uglavnom se javlja na područjima gdje prevladava homogeni glinoviti materijal. Materijal se kreće po zakrivljenoj plohi. Gornji dio klizišta karakteriziraju pukotine i slijeganje, dok se na stopi klizišta izdiže i prignječuje materijal. Najčešći uzrok pojave rotacijskog klizanja je voda (Mesec, 2021).



Slika 9. Rotacijsko klizanje (Pavelić, 2014)

Translacijsko klizanje (slika 10) javlja se na kosinama kod kojih su prisutni diskontinuiteti približno paralelni s površinom po kojoj taj materijal klizi.

Translacijsko klizanje uglavnom se javlja kod raspucale prekonsolidirane gline (Nonveiller, 1979).



Slika 10. Translacijsko klizanje (Pavelić, 2014)

### 2.2.3. Općenito o sanaciji klizišta

Sanacija klizišta obuhvaća realizaciju mjera pomoću kojih se zaustavlja daljnje klizanje. Zbog iznenadnog pokretanja klizišta dolazi do nastanka velikih materijalnih šteta, te moguće ugroženosti ljudskih života. Sanacija pojedinih klizišta je moguća i provodi se u nekoliko faza:

1. Izrada programa istraživanja terena
2. Izvođenje terenskih i laboratorijskih istraživanja te izrada elaborata na temelju dobivenih rezultata
3. Izrada građevinskog projekta sanacije klizišta
4. Izvođenje sanacijskih radova.

Izvođenjem sanacijskih radova postiže se kontroliranje odvodnje i smanjenje nagiba padine. Često se koriste betonski odvodni kanali koji se ugrađuju s ciljem ubrzanja otjecanja te izgradnja stepenastih etaža kod strmih padina. Isto tako postoje i različite inženjerske metode koje se koriste za sprečavanje daljnjeg klizanja poput geotehničkih sidara, potpornih zidova i mlaznog betona (Mesec, 2021).

### 3. GEOFIZIČKE METODE ISTRAŽIVANJA NA KLIZIŠTIMA

Geofizičke metode istraživanja tla su posredne zbog toga što omogućuju procjenu svojstava i sastava tla na temelju različitih fizikalnih veličina koje se mjere na površini tla ili u bušotinama. Iako im je primjena u geotehnici danas jako široka, svaka geofizička metoda ima određena ograničenja, te prednosti i nedostatke kod dobivanja informacija. Metode se biraju ovisno o svojstvu tla koje ispituje. Pozitivne strane geofizičkih metoda su relativno niska cijena istraživanja i brzina izvođenja radova. Također, dobra strana je ta što se može dobiti prostorna slika svojstava tla. Proces primjene geofizičkih metoda sastoji se od nekoliko dijelova. Prvo je potrebno uočiti problem te na temelju problema odrediti vrste geofizičkih metoda koje će se koristiti kod istraživanja. Nakon toga treba odrediti rezoluciju istraživanja s obzirom na veličinu prostora koji se istražuje, te na kraju oblikovati način na koji će se dobiveni podaci prikupiti, analizirati i prezentirati (Ivanković, 2010).

#### 3.1. Seizmičke metode istraživanja

Kod seizmičkih metoda istraživanja proučavaju se kretanja i brzina valova kroz stijene i tlo. Na temelju dobivenih podataka o brzini može se pretpostaviti o kojem materijalu je riječ. Valovi se pokreću udarom pomoću čekića, eksplozivom ili ih mogu pokrenuti neke prirodne pojave poput potresa ili klizanja kosine. Valovi se mogu pojaviti kao uzdužno kompresijski i poprečno distorzijski. Uzdužni ili P valovi su najbrži valovi i mogu se širiti kroz sva agregatna stanja, dok poprečni ili S valovi su daleko sporiji od P valova i ne mogu se širiti kroz fluide. Također postoje i površinski valovi koji mogu biti Loveovi valovi (kretanje okomito na smjer širenja u horizontalnim ravninama) te Rayleighovi valovi (kretanje u smjeru širenja istodobno i u horizontalnoj i vertikalnoj ravnini) (Strelec, 2012).

Neke od seizmičkih metoda su: višekanalna analiza površinskih valova (eng. Multichannel Analysis of Surface Waves, MASW) i spektralna analiza površinskih valova (eng. Spectral Analysis of Surface Waves, SASW).

### 3.2. Geoelektrične metode istraživanja

Kod geoelektričnih metoda istraživanja mjere se fizičke veličine unutar električnog i elektromagnetskog polja koja mogu biti prirodna ili izazvana. Elektromagnetsko polje nastaje zbog različitih provodljivosti stijena i tla. Različite vrste materijala različito provode električnu energiju pa je tako i vrijednost specifičnog otpora za svaku vrstu materijala različita (tablica 1). Poznavajući vrijednosti specifičnog otpora za svaki materijal, možemo lako pretpostaviti o kojem materijalu je riječ. Provodljivost svakog materijala ovisi o njegovoj strukturi i količini vode koja se nalazi u porama. Ukoliko je tlo vlažno, provodljivost će biti velika i obratno (Ivanković, 2010).

Ispitivanje se sastoji od dvije naponske elektrode koje se nalaze između dvije strujne elektrode. Elektrode se postavljaju u istoj ravnini te se mjeri jakost struje između strujnih elektroda i razlika potencijala između potencijalnih elektroda. Pomoću dobivenih podataka se određuje prividna otpornost. Kako bi povećali dubinu ispitivanja, potrebno je postupno povećavati razmak između elektroda i sonde da se poveća dubina djelovanja električne struje. Na taj način možemo dobiti podatke vezane uz promjenu materijala po dubini.

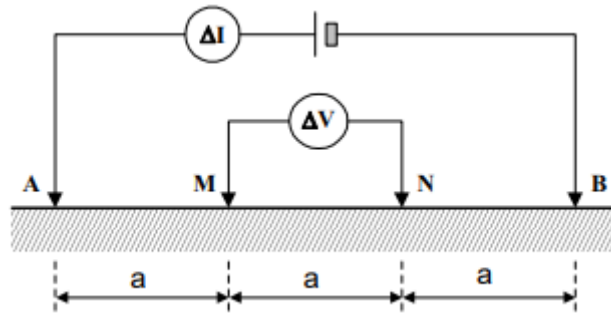
Neke od geoelektričnih metoda ispitivanja su: geoelektrično profiliranje, geoelektrično sondiranje i geoelektrična tomografija. Na predmetnoj lokaciji u Đurmancu kao geoelektrična metoda korištena je geoelektrična tomografija (eng. Electrical Resistivity Tomography, ERT)..

Tablica 1. Specifični otpor različitih vrsta tla (Ivanković, 2010)

VRSTE MATERIJALA	Specifični otpor $q$ ( $\Omega\text{m}$ )	
	suho	vlažno
Šljunak	50 – 5000	40 - 600
Pijesak	50 – 2000	30 – 200
Glina	100 – 30 000	1 – 200
Granit	100 – 30 000	
Karbonatne stijene s malo pukotina	3000 – 20 000	
Stijene s pukotinama i glinom	500 – 10 000	100 – 2000
Laporovite stijene		1000 – 5000

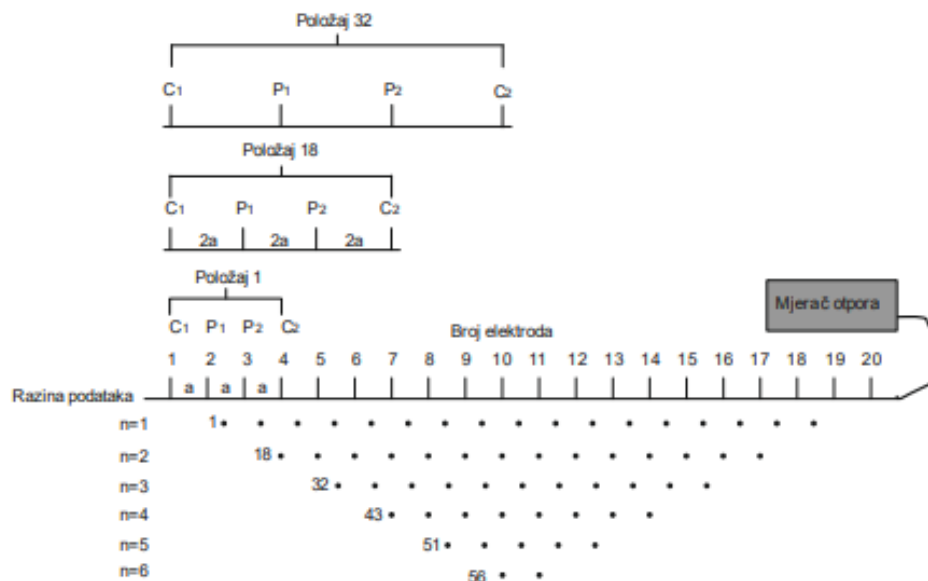
### 3.2.1. Geoelektrična tomografija (ERT)

Geoelektrična tomografija geofizička je tehnika kojom se izrađuje dubinski profil na način da se odrede električne otpornosti stijena i tla, čiji rezultati upućuju na različitost geološke građe terena. Takva vrsta istraživanja danas ima veliku primjenu kod istraživanja stabilnosti kosina i klizišta. Geoelektrična tomografija izvodi se na način da se u tlo pušta struja pomoću elektroda, pri čemu nastaje polje električnog potencijala. Tako dobiveno polje mjeri se pomoću drugog para elektroda. Potom se izmjenjuju pozicije elektroda sve dok ne dobijemo gotov profil. Broj mjerenja uzduž profila ovisi o načinu na koji su elektrode raspoređene. Kod geoelektrične tomografije najčešće se koristi Wennerov raspored elektroda, kod kojeg je najmanji broj mjerenja u odnosu na ostale elektrodne rasporede i geometrijski je najjednostavniji. Kod Wennerovog rasporeda se pomiču elektrode na način da kod svakog mjerenja razmak između strujnih (A, B) i potencijalnih elektroda (M, N) bude jednak (slika 11). Na taj način mjerimo jakost struje između strujnih elektroda, te pomoću konstante geometrijskih odnosa elektroda iz razlike potencijala između potencijalnih elektroda određujemo prividnu otpornost.



Slika 11. Prikaz Wennerovog rasporeda (Strelec, 2012)

Na slici 12. prikazan je način ERT mjerenja Wennerovim rasporedom. U ovom primjeru sustav se sastoji od 20 elektroda koje su međusobno razmaknute za 1a. Prvo se vrši mjerenje s elektrodnim razmakom od 1a na način da se za prvo mjerenje koriste elektrode 1, 2, 3 i 4. Između druge i treće elektrode se nalazi točka mjerenja. Zatim se za slijedeće mjerenje koriste elektrode 2, 3, 4 i 5 s točkom mjerenja između 3 i 4 i tako se nastavlja mjerenje sve do zadnje elektrode u nizu. Nakon toga slijedi mjerenje s elektrodnim razmakom od 2a. Za prvo mjerenje se koriste elektrode 1, 3, 5 i 7 s točkom mjerenja između 3 i 5. Zatim se koriste elektrode 2, 4, 6 i 8 s točkom mjerenja između 4 i 6 i tako se nastavlja mjerenje sve do zadnje elektrode u nizu. Na isti način se ponavlja postupak s elektrodnim razmacima 3a, 4a, 5a i 6a.



Slika 12. Prikaz rasporeda elektroda kod geoelektrične tomografije (Prerađeno prema Loke, 2015)



#### 4. GEOTEHNIČKE METODE ISTRAŽIVANJA NA KLIZIŠTIMA

Geotehničke metode istraživanja podrazumijevaju ispitivanja tla na terenu gdje je predviđena gradnja. Takvim in situ ispitivanjima dobivamo informacije o svojstvima tla, te određene geotehničke parametre. Svako in situ ispitivanje koristi različitu vrstu naprezanja tla s ciljem dobivanja procjene karakteristika materijala, poput čvrstoće ili krutosti. Ako se geotehničke metode provode kao samostalne, mogu imati ograničenu primjenu. Stoga se geotehničke metode koriste u kombinaciji s geofizičkim i laboratorijskim ispitivanjima kako bi se dobili pouzdani rezultati i parametri tla (Ivanković, 2010).

Neke od geotehničkih metoda su: ispitivanje presiometrom, plosnatim dilatometrom, krilnom sondom te standardni penetracijski pokus. Na predmetnoj lokaciji u Đurmancu kao geotehnička metoda istraživanja korišteno je dinamičko sondiranje tla lakom udarnom sondom.

##### 4.1. Laka udarna sonda (DPL)

Dinamičko sondiranje tla geotehnička je metoda istraživanja kojom se utvrđuje otpor tla pomoću prodora šiljka. Šiljak je smješten na šipci određene dužine i mase, a pomoću utega se šipka i šiljak zabijaju u tlo. Ovisno o masi utega, dinamičko sondiranje tla dijeli se na tešku udarnu sondu (eng. Dynamic Probing Heavy, DPH), srednje tešku udarnu sondu (eng. Dynamic Probing Medium, DPM) i laku udarnu sondu (eng. Dynamic Probing Light, DPL).

Dinamičko sondiranje tla lakom udarnom sondom izvodi se utegom mase 10 kg koji pada s visine od 50 cm. Masa opreme bez utega je 6 kg. Padanjem i udaranjem utega šipka sa sondom postepeno prodire u tlo brzinom 15 do 30 udaraca u minuti. Tijekom istraživanja se bilježi koliki je broj udaraca potreban za svakih 10 cm prodiranja u tlo. Na kraju svake utisnute šipke mjeri se torzijski moment koji je potreban da se šipka okrene. Na temelju dobivenog momenta utvrđuje se indikacija o komponenti trenja, te koliko ona utječe na otpor tla kod prodiranja sonde. Otpor prodiranja sonde dobiva se pomoću izraza:

$$R_d = \frac{g}{A} \cdot \left[ \left( \frac{M^2}{M + M'} \right) \cdot \frac{h}{0.1} \cdot N_{10} + (M + M') \right] - \frac{T}{A \cdot r} \quad (4)$$

pri čemu su:

$R_d$  – dinamički otpor tla prodiranju sonde

$M$  – masa utega (10 kg)

$M'$  – masa sonde, šipki (3.0 kg)

$h$  – visina pada utega (50 cm)

$N_{10L}$  – broj udaraca potrebnih za penetraciju sonde od 10 cm

$T$  – torzijski moment potreban za rotaciju šipke

$r$  – radijus šipki (22 mm)

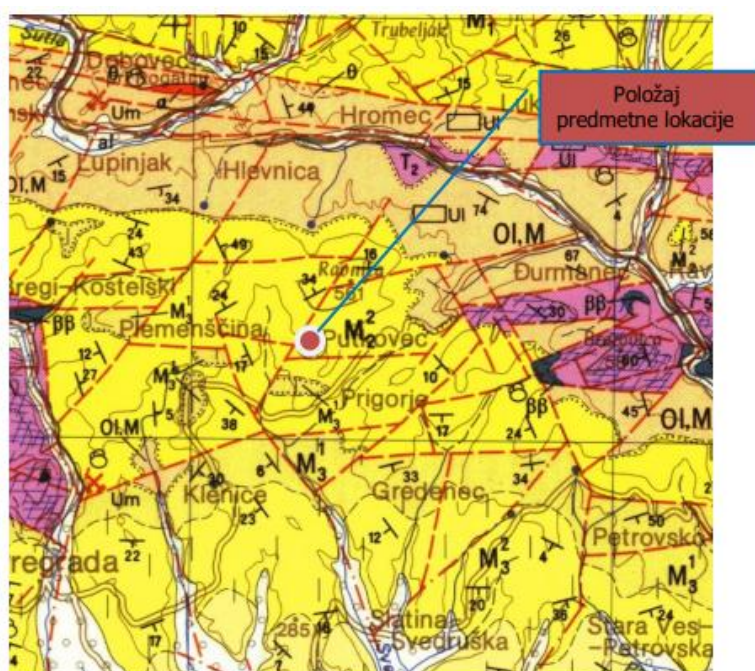
$A$  – površine sonde (10 cm<sup>2</sup>)

Na temelju dobivenog otpora prodiranja u tlo, posredstvom različitih korelacija, mogu se odrediti razni parametri tla poput nedrenirane čvrstoće tla ( $c_u$ ), broj udaraca SPT-a ( $(N_1)_{60}$ ), indeks zbijenosti tla ( $D_r$ ), kut unutrašnjeg trenja ( $\varphi$ ), te edometarski modul tla ( $E_{oed}$ ).

## 5. PRIMJER KORIŠTENJA GEOTEHNIČKIH TERENSKIH ISTRAŽIVANJA ZA POTREBE SANACIJE KLIZIŠTA U ĐURMANCU

### 5.1. Opći podaci o lokaciji

Područje istraživanja u geološkom smislu relativno je dobro istraženo. Na slici 13 prikazana je geološka karta šireg područja gdje je vidljivo da su zastupljene stijene srednjeg trijasa ( $T_2$ ), te klastiti oligocensko-miocenske starosti (Ol, M). Predmetni objekt nalazi se na naslagama gornjeg miocena ( $M^2_2$ ).



Slika 13. Geološka karta šireg područja (isječak OGK 1:100 000, list Rogatec)

U litološkom smislu zastupljeni su klastiti čija je boja sivo-žuta i zelena. Na širem području dominiraju lapori, laporoviti vapnenci, glinoviti lapori, pješčenjaci i pjeskoviti lapori, a lokalno pješčenjaci i konglomerati. U podlozi na užoj lokaciji zastupljeni su pjeskoviti lapori. Ovaj slijed naslaga taložen je erozijsko diskordantno na oligomiocenske i starije trijaske stijene.

Morfološki, teren je vrlo razveden, brežuljkast do brdovit. Sadrži duboko usječene jaruge koje su obrasle niskim raslinjem i grmljem. Izdanci stijene podloge su rijetki

i vidljivi samo u niskim zasjecima lokalnih cesta. Dominiraju trošni pjeskoviti lapori. Na slici 14. prikazana je lokacija klizišta.



Slika 14. Prikaz lokacije klizišta

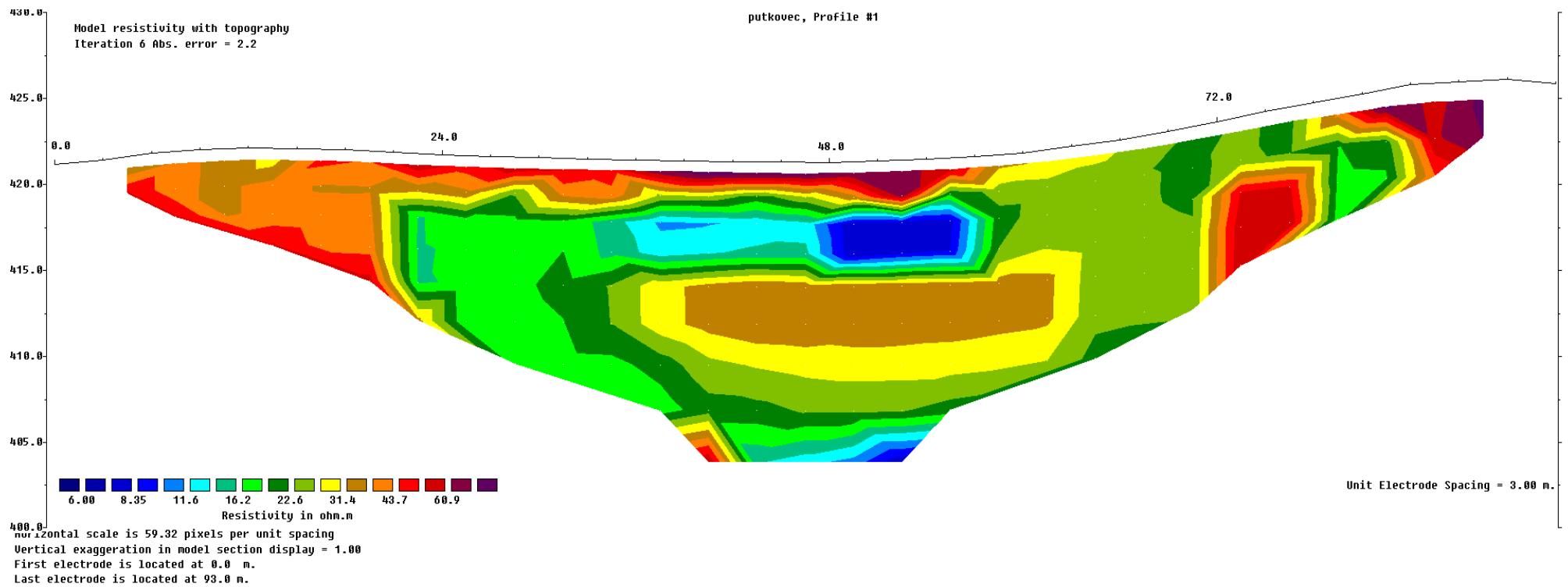
## 5.2. Rezultati istraživanja geoelektričnom tomografijom

Istraživanje geoelektričnom tomografijom izvedeno je na profilima ERT-1 sa duljinom od 93 m (slika 15) i ERT-2 sa duljinom od 69 m (slika 16). Tomografija se izvodila Wennerovim mjernim rasporedom. Rezultati ispitivanja interpretirani su grafičkim prikazom profila otpornosti s dubinom. Grafički prikaz profila trapezastog je oblika. Do takvog oblika dolazi se povećanjem razmaka strujnih i potencijalnih elektroda od središta profila zbog čega se postepeno smanjuje dubina interpretacije na rubnim dijelovima. Prema dobivenim električnim otpornostima koje su prikazane bojama, interpretirane su kategorije tla, kako je prikazano u tablici 2.

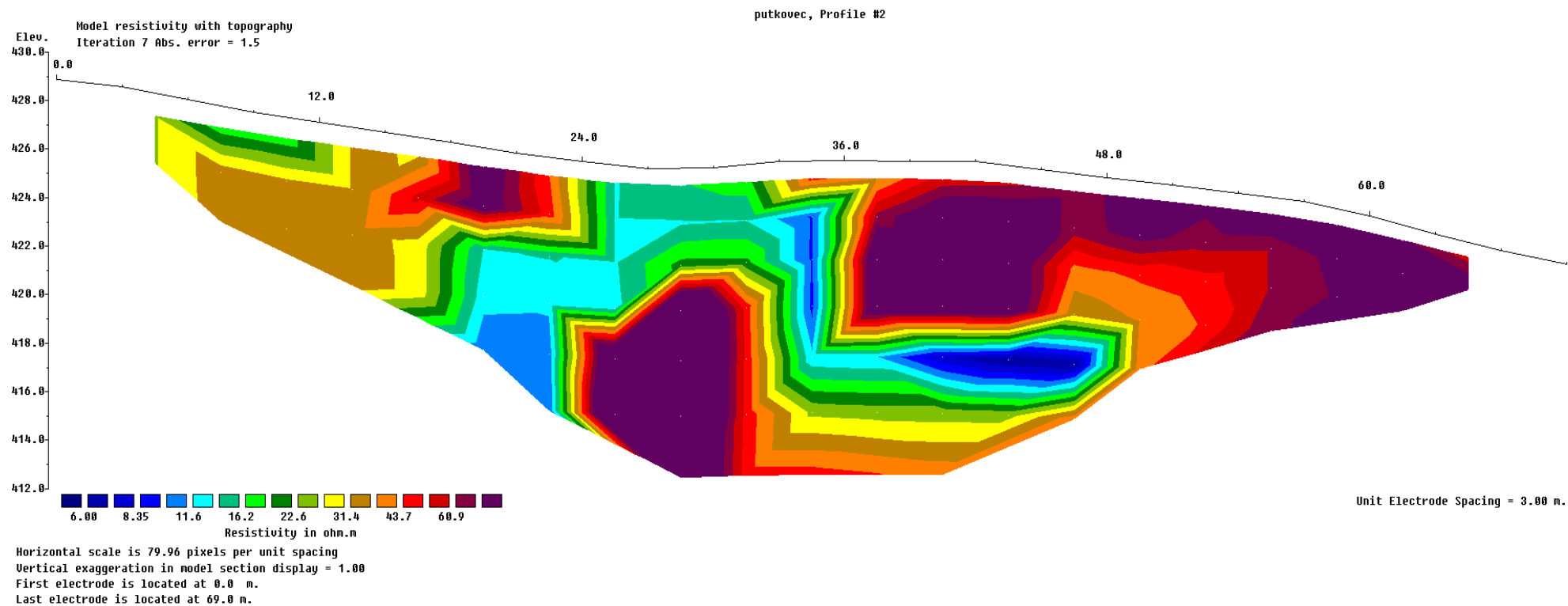
Tablica 2. Kategorije tla prema električnim otporima

ELEKTRIČNA OTPORNOST	KLASIFIKACIJA TLA	HIDRAULIČKE KARAKTERISTIKE	KOEFICIJENT FILTRACIJE (m/s)
<b>&lt;15 <math>\Omega\text{m}</math></b>	gline (siltovi i laporovite glinae)	slabo propusne / nepropusne (gline)	$10^{-7} - 10^{-9}$
<b>15 – 30 <math>\Omega\text{m}</math></b>	zaglinjeni prah do pjeskoviti siltovi	djelomično propusno	$10^{-5} - 10^{-7}$
<b>30 – 80 <math>\Omega\text{m}</math></b>	čvrsti lapori ili pjeskoviti lapori	djelomično nepropusno	$10^{-5} - 10^{-6}$

Iz profila električne tomografije ERT-1 na slici 15 vidljivo je da je klizna ploha formirana unutar glinovitih materijala prema podini pjeskovitih lapora. Iz dobivenih rezultata nije vidljiva jasna granica između krovine glina i podloge laporovite glina i lapora zbog toga što takvi materijali mogu imati sličnu električnu otpornost pa ih nije moguće detaljno razlučiti. Na slici 16 prikazan je profil električne tomografije ERT-2 gdje su također jasno vidljivi obrisi formiranog klizišta unutar krovinskih formacija.



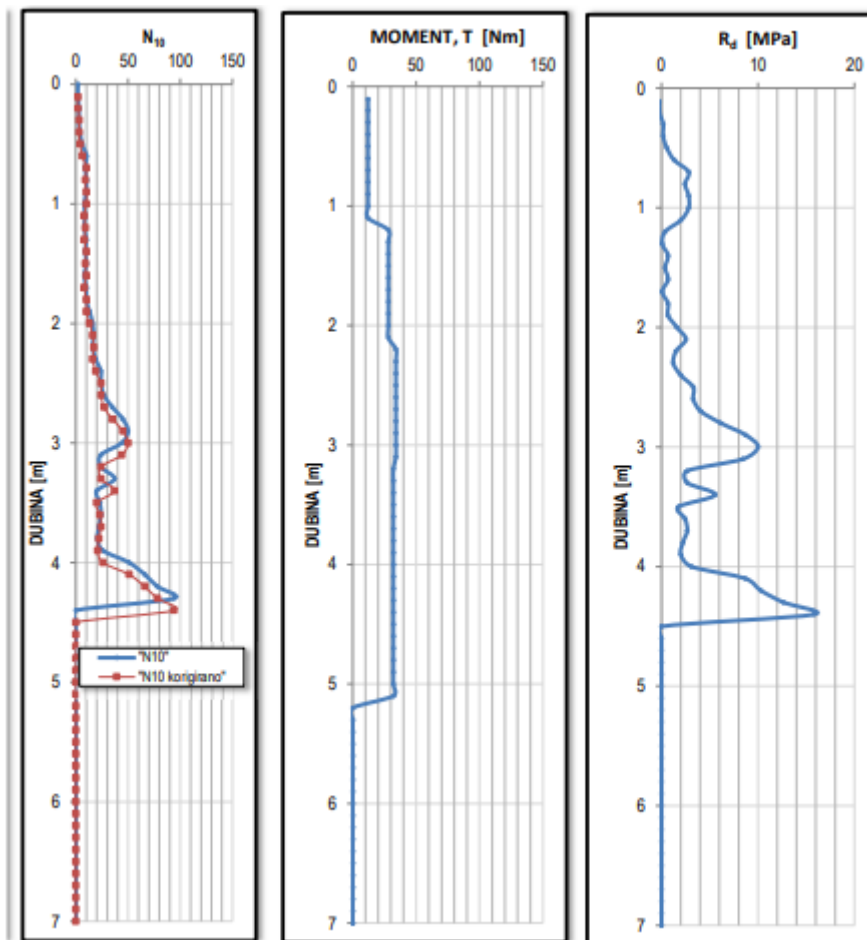
Slika 15. Model otpornosti u profilu električne tomografije „ERT-1“



Slika 16. Model otpornosti u profilu električne tomografije „ERT-2“

### 5.3. Rezultati istraživanja lakom udarnom sondom

Istraživanje dinamičkim sondiranjem tla lakom udarnom sondom provedeno je na 8 lokacija koje su prikazane u Prilogu 1. Ispitivanjem je utvrđen broj udaraca potrebnih da se sonda utisne 10 cm u tlo, moment i dinamički otpor tla. Na slici 17 prikazani su rezultati istraživanja lakom udarnom sondom na četvrtoj lokaciji (DPL-4). Na temelju dobivenih rezultata utvrđeno je da se na navedenoj lokaciji čvrsta podina nalazi na dubini 4.20 m, na što ukazuje povećan broj udaraca. Broj udaraca utvrđuje da je klizno tijelo (tlo) glinovito. Dijagrami preostalih istraživanja nalaze se u Prilogu 2.



Slika 17. Rezultati DPL-4



#### 5.4. Geotehničke značajke temeljnog tla

Interpretacijom rezultata udarnih sondi (DPL), te geostatičkih proračunskih kalkulacija utvrđen je sljedeći litološki sastav tla na lokaciji:

##### POVRŠINSKO TLO DUBINE 0.8 – max. 3.40 m

- Prašnaste gline srednje plastičnosti (CIM)  
Površinski dio grade pjeskovite gline srednje plastičnosti (CIM), smeđe boje, kruto plastičnog konzistentnog stanja

Parametri tla:

- $q_u = 100 - 160 \text{ kN/m}^2$ ,  $c_u = 50 - 80 \text{ kN/m}^2$
- $\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$ ,  $c = 4 \text{ kN/m}^2$  i  $\Phi = 22^\circ$

##### KLIZNA PLOHA

- Gline visoke plastičnosti (CIH)  
Sukladno dinamičkim udarnim sondama klizna ploha identificirana je na dubinama od 1.0 do 2.2 m unutar krovinskih naslaga.

Parametri tla:

- $c_u < 20 \text{ kN/m}^2$ ,  $\gamma = 18.5 \text{ kN/m}^3$  i  $\Phi = 22^\circ$

##### PODINA

- Pjeskoviti lapori/laporoviti pješčenjak  
Dubina podina je vrlo promjenjiva, od minimalni 0.8 m do maksimalni utvrđeno 4.20 m (DPL-4). Karakteristično za lokaciju je zona trošenja podine koja iznosi preko 1 m.

Parametri tla:

- $c_u > 200 \text{ kN/m}^2$ ,  $\gamma = 18.5 \text{ kN/m}^3$ ,  $c = 25 \text{ kN/m}^2$  i  $\Phi = 25^\circ$

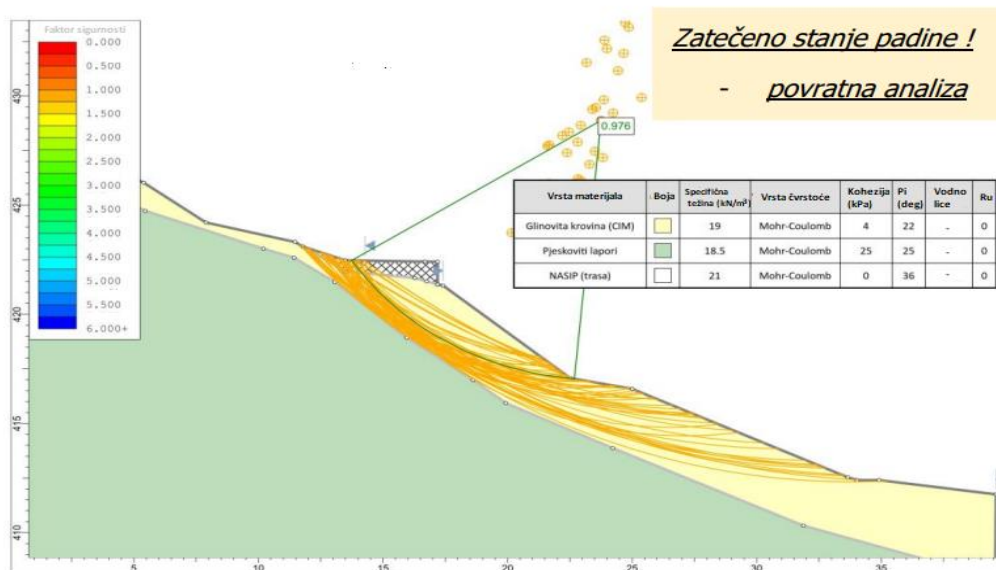
## 5.5. Stabilnost padine na klizanje

Analiza stabilnosti padine rađena je prema metodi Bishop-a koja se temelji na analizi momenata ravnoteže potencijalno nestabilnog dijela tla kojemu se pretpostavlja da ploha klizanja cilindrična površina. Proračun stabilnosti po Bishopu rađen je računalnim programom Rocscience Inc, SLIDE 6.0. Proračun se temelji na određivanju faktora sigurnosti  $F_s$  gdje se analizira velik broj potencijalnih kliznih ploha. Grafički prikazujemo samo analizu za najkritičniju kliznu plohu.

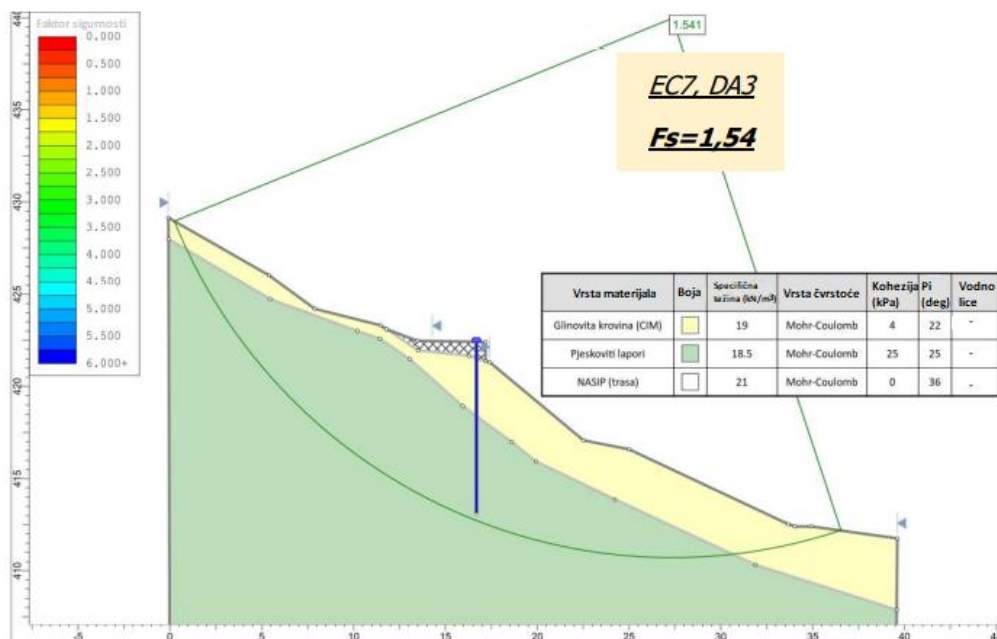
Proračun stabilnosti kosine dan je za slučaj s minimalnim parametrom posmične čvrstoće na kliznoj plohi od  $c = 25 \text{ kN/m}^2$  i  $\Phi = 25^\circ$ , te zatečeno stanje padine. Model s korištenim ulaznim parametrima tla i opterećenjima prikazan je na slici 18. Zelenom bojom prikazane su plohe kod kojih je faktor sigurnosti blizak plohi sa minimalnim faktorom sigurnosti. Na taj način je dobivena ilustracija trenda pomicanja klizne plohe.

Ostvareni faktori sigurnosti približno iznose  $F_s = 1$ , što znači da za odabrane parametre modela vlada labilna stabilnost. Za ovakvu povratnu analizu nisu primijenjeni parcijalni faktori, te su karakteristične vrijednosti jednake projektnim vrijednostima, a  $F_s = 1$  znači ravnotežu destabilizacijskih i stabilizacijskih dijelova.

Na slici 19. prikazan je model tla sa umetnutim AB pilotima kao sanacijskim rješenjem. U ovom slučaju, faktor sigurnosti približno iznosi  $F_s = 1.5$ , što znači da je sanacijskim rješenjem povećana stabilnost kosine.



Slika 18. Karakteristični profil i model tla korišten pri proračunu tla na klizanje (zatečeno stanje, minimalni faktor sigurnosti)



Slika 19. Karakteristični profil i model tla korišten pri proračunu tla na klizanje (sanacijsko rješenje, AB piloti)

## 5.6. Prijedlog sanacijskog rješenja

Istraživanjem je utvrđeno da se klizanje događa unutar plitke krovine na dubinama od 1.0 do 2.0 m. Na temelju dobivenih rezultata istraživanja predlaže se stabilizacija strmih zasjeka AB bušenim pilotima duljine  $L = 8,0$  m na razmaku 1.2 m s naglavnom gredom u bankini kolnika. Duljina potrebne zaštite iznosi  $L = 35$  m. Također je potrebno uređenje nivelete kako bi se umanjio prijevoj uz križanje NC u smjeru zaseoka Gretići. U tu svrhu predviđeno je povećanje radijusa prilazne ceste. Zbog toga je potrebno izvršiti iskop zasjeka u B kategoriji materijala (laporoviti pješčenjaci) u nagibu 1:1. Uređenje također uključuje i radove vezane za odvodnju oborinskih voda s kolnika izgradnjom cestovnog rigola i dva propusta. Ostali radovi uključuju nivelaciju postojećeg revizijskog okna vodovodne mreže i zatvaranje postojećeg zdenca na lokaciji na način da ostane u funkciji drenažnog sustava. Slikovni prikazi sanacijskog rješenja priloženi su u Prilogu 3 i 4.

## 6. ZAKLJUČAK

Klizišta danas predstavljaju veliku opasnost, a iznenadnim pokretanjem klizišta moguće su velike materijalne štete te ugroženost ljudskih života. Kako bi se mogla provesti sanacija klizišta, potrebno je izraditi projekt sanacije za koji je važno poznavati određene proračunske podatke koje dobivamo istraživanjima.

Ovaj rad opisuje istraživanja koja su provedena za potrebe sanacije klizišta na nerazvrstanoj cesti u mjestu Putkovec u općini Đurmanec. Navedena lokacija nalazi se na naslagama gornjeg miocena gdje prevladavaju klastiti. Morfološki je teren vrlo razveden te brdovit do brežuljkast. Od geofizičkih metoda istraživanja provedena je geoelektrična tomografija čiji rezultati ukazuju na pojavu klizne plohe unutar glinovitih materijala, dok podinu čini pjeskoviti lapor. Provedeno je i ispitivanje dinamičkim sondiranjem tla lakom udarnom sondom, koja se ubraja u geotehničke metode istraživanja. Rezultati istraživanja prikazuju da se klizanje događa unutar plitke krovine od 1.0 m do 2.2 m. Na temelju interpretacije rezultata navedenih istraživanja, dobivene su geotehničke značajke koje utvrđuju da površinsko tlo čine prašinaste gline srednje plastičnosti, kliznu plohu gline visoke plastičnosti, a podinu pjeskoviti lapori. Prema Bishopovoj metodi napravljena je analiza proračuna stabilnosti kosine. Proračun stabilnosti kosine dan je za slučaj s minimalnim parametrom posmične čvrstoće na kliznoj plohi od  $c = 25 \text{ kN/m}^2$  i  $\Phi = 25^\circ$ . Dobiveni faktor sigurnosti približno iznosi  $F_s=1$ , što znači da za odabrane parametre modela vlada labilna stabilnost. Kao prijedlog sanacije predložena je stabilizacija strmih zasjeka AB bušenim pilotima, te uređenje nivelete kako bi se umanjio prijevoj. Izračunom je utvrđeno da je faktor sigurnosti s umetnutim AB pilotima veći, te da iznosi približno  $F_s=1.5$ , čime je dokazano da se sanacijskim rješenjem stabilnost kosine povećala. Također, predloženi su i radovi za odvodnju oborinske vode izgradnjom cestovne rigole i dva propusta. Ostali radovi uključuju nivelaciju postojećeg revizijskog okna vodovodne mreže i zatvaranje postojećeg zdenca na način da ostane u funkciji drenažnog sustava.

## LITERATURA

- Geotech Rijeka. (2018). *Lagani dinamički penetrometar (DPL)*. [Online]. Dostupno na: <https://www.geotech.hr/lagani-dinamicki-penetrometar-dpl/> [29.05.2022.]
- Geotech Rijeka. (2018). *Klizišta*. [Online]. Dostupno na: <https://www.geotech.hr/vrste-i-elementi-klizista/> [16.03.2022.]
- Ivanković, T. (2010). *Geotehnički istražni radovi*. Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet. Varaždin.
- Kavur, B. (2022). *Materijali s predavanja iz Geotehničko-ekoloških zahvata u ak. godini 2021./2022*. Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet. Varaždin.
- Kvasnička, P.; Domitrović D. (2007). *Mehanika tla*. Rudarsko geološko naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Loke, M.H. (2015). *Tutorial : 2-D and 3-D electrical imaging surveys*. Copyright (1996-2015). [Online]. Dostupno na: [http://web.gps.caltech.edu/classes/ge111/Docs/ResNotes\\_Loke.pdf](http://web.gps.caltech.edu/classes/ge111/Docs/ResNotes_Loke.pdf) [15.08.2022.]
- Mesec, J. (2021). *Materijali s predavanja iz Stabilnosti kosina u ak. godini 2021./2022*. Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet. Varaždin.
- Mihalić, S. (2008). *Klizišta*. Interna skripta – Diplomski studij Rudarstva. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.
- Nonveiller, E. (1979). *Mehanika tla i temeljenje građevina*. Zagreb: Školska knjiga.
- Pavelić, D. (2014). *Opća geologija*. Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet. Zagreb.
- Roje-Bonacci, T. (2003). *Mehanika tla*. Sveučilište u Splitu, Građevinsko-arhitektonski fakultet. Split.

Roje-Bonacci, T. (2014). *Zaštita kosina i sanacija klizišta*. Hrvatske vode: časopis za vodno gospodarstvo. [Online]. Dostupno na: [https://bib.irb.hr/datoteka/746696.sanacija\\_klizita\\_tekst.pdf](https://bib.irb.hr/datoteka/746696.sanacija_klizita_tekst.pdf) [16.03.2022.]

Strelec, S. (2012). *Podpovršinski istražni radovi: interna skripta*. Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet Varaždin.

Szavits-Nossan, V. (2015). *Mehanika tla i stijena*. Poglavlje 13. Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet Zagreb.

Zlatović, S. (2006). *Uvod u mehaniku tla*. Poglavlje 8. Tehničko veleučilište u Zagrebu. [Online]. Dostupno na: <https://nastava.tvz.hr/zlatovic/knjiga/8.pdf> [16.03.2022.]

## POPIS SLIKA

Slika 1. Analiza stabilnosti kosine prema Bishopovoj metodi (Kvasnička; Domitrović, 2007)

Slika 2. Sile koje djeluju na lamelu (Kvasnička; Domitrović, 2007)

Slika 3. Dijelovi klizišta (Mesec, 2021)

Slika 4. Blatni tok (Mesec, 2021)

Slika 5. Zemljani tok (Pavelić, 2014)

Slika 6. Solifukcija (Mihalić, 2008)

Slika 7. Lavina kršja (Pavelić, 2014)

Slika 8. Odron (Pavelić, 2014)

Slika 9. Rotacijsko klizanje (Pavelić, 2014)

Slika 10. Translacijsko klizanje (Pavelić, 2014)

Slika 11. Prikaz Wennerovog rasporeda (Strelec, 2012)

Slika 12. Prikaz rasporeda elektroda kod geoelektrične tomografije (Prerađeno prema Loke, 2015)

Slika 13. Geološka karta šireg područja (isječak OGK 1:100 000, list Rogatec)

Slika 14. Prikaz lokacije klizišta

Slika 15. Model otpornosti u profilu električne tomografije „ERT-1“

Slika 16. Model otpornosti u profilu električne tomografije „ERT-2“

Slika 17. Rezultati DPL-4

Slika 18. Karakteristični profil i model tla korišten pri proračunu tla na klizanje (zatečeno stanje, minimalni faktor sigurnosti)

Slika 19. Karakteristični profil i model tla korišten pri proračunu tla na klizanje (sanacijsko rješenje, AB piloti)



## POPIS TABLICA

Tablica 1. Specifični otpor različitih vrsta tla (Ivanković, 2010.)

Tablica 2. Kategorije tla prema električnim otporima

## POPIS I OBJAŠNJENJE KORIŠTENIH KRATICA

MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) - višekanalna analiza površinskih valova

SASW (Spectral Analysis of Surface Waves) - spektralna analiza površinskih valova

ERT (Electrical Resistivity Tomography) - geoelektrična tomografija

DPH (Dynamic Probing Heavy) – teška udarna sonda

DPM (Dynamic Probing Medium) – srednja udarna sonda

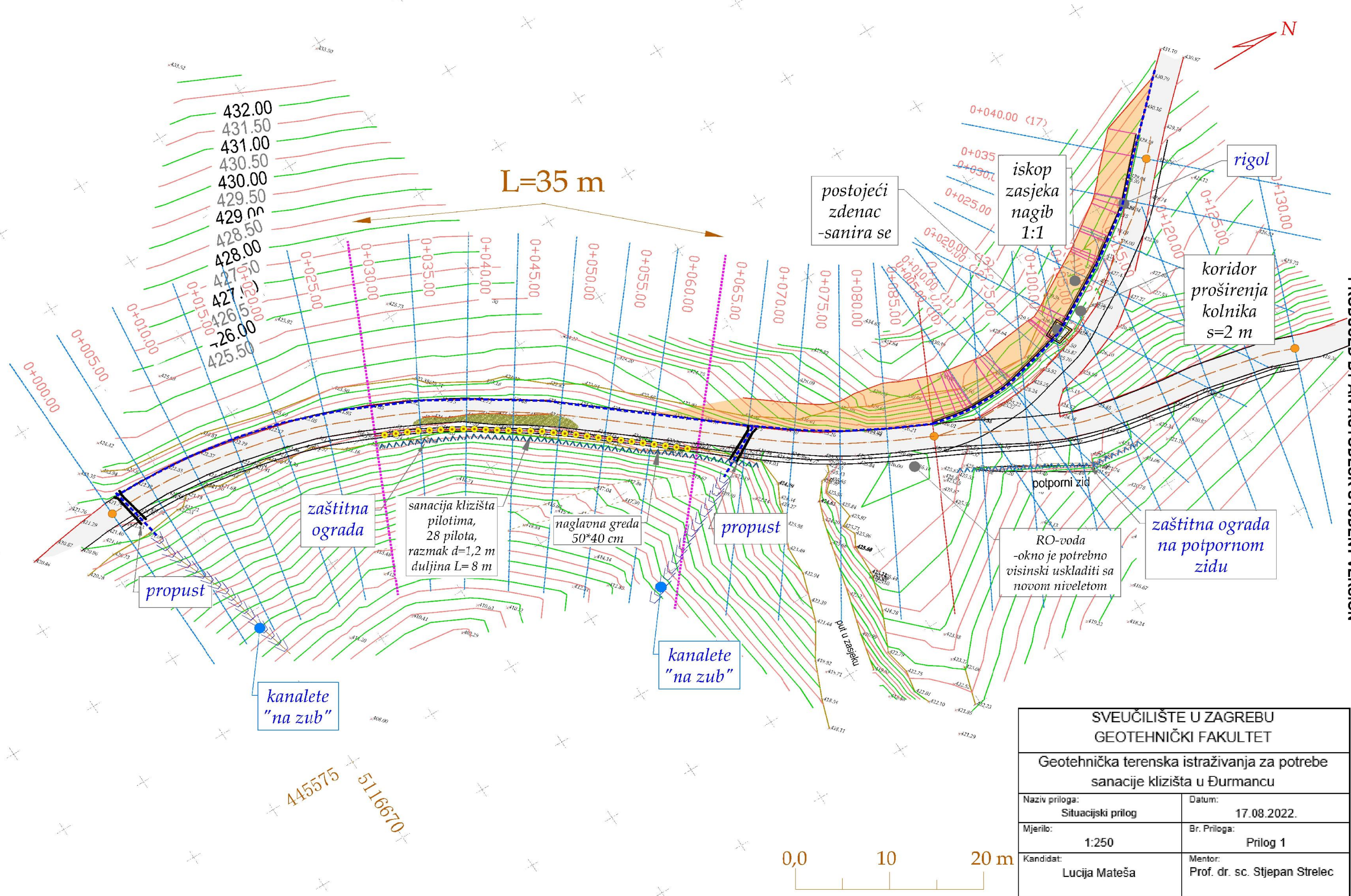
DPL (Dynamic Probing Light) – laka udarna sonda

## GRAFIČKI PRILOZI

PRILOG 1

SITUACIJSKI PRILOG





445575  
5116670

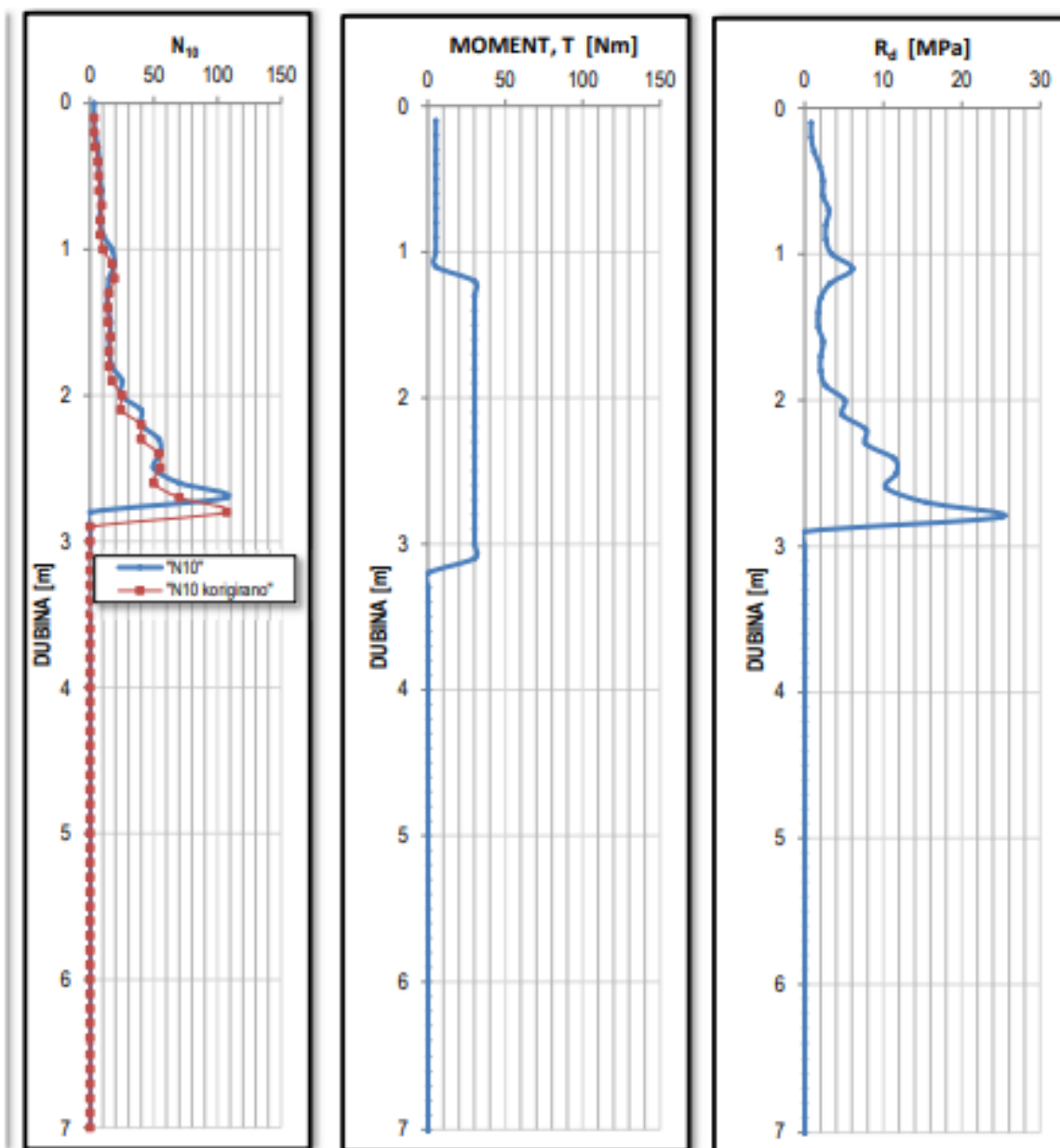


SVEUČILIŠTE U ZAGREBU GEOTEHNIČKI FAKULTET	
Geotehnička terenska istraživanja za potrebe sanacije klizišta u Đurmancu	
Naziv priloga: Situacijski prilog	Datum: 17.08.2022.
Mjerilo: 1:250	Br. Priloga: Prilog 1
Kandidat: Lucija Mateša	Mentor: Prof. dr. sc. Stjepan Strelec

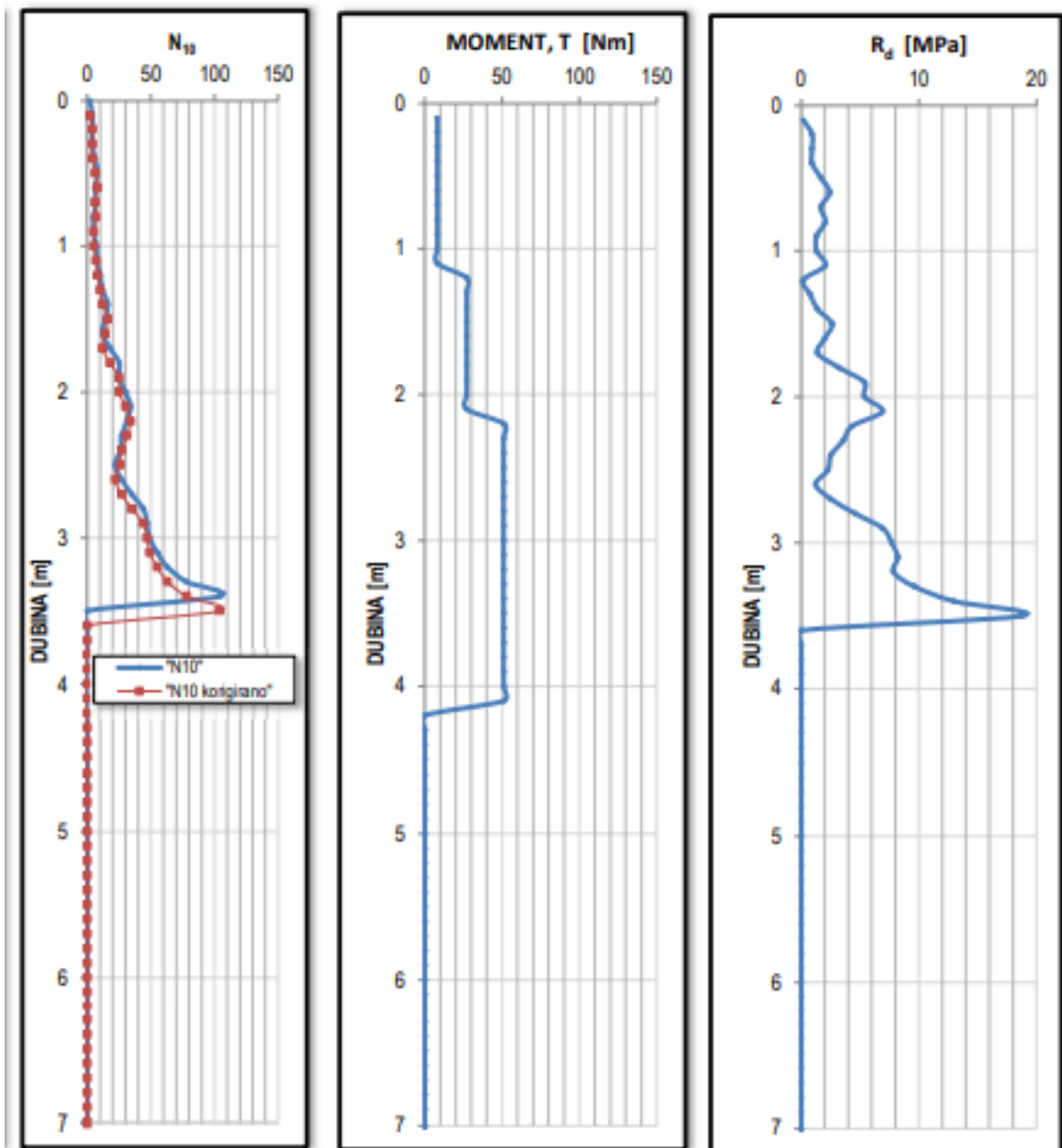


PRILOG 2

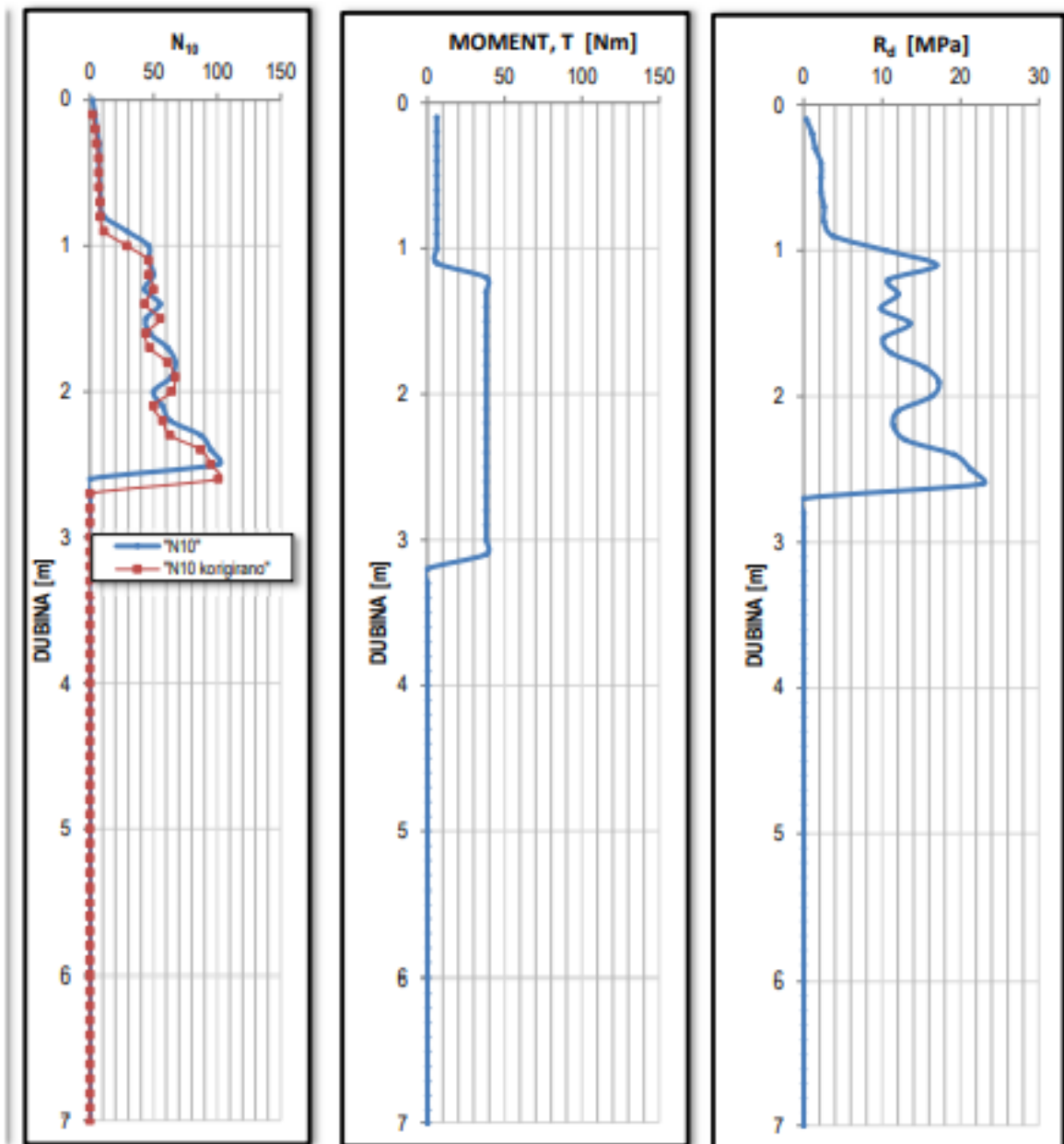
DPL



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU GEOTEHNIČKI FAKULTET	
Geotehnička terenska istraživanja za potrebe sanacije klizišta u Đurmancu	
Naziv priloga: DPL-1	Datum: 17.08.2022.
Mjerilo: -	Br. Priloga: Prilog 2, List 1
Kandidat: Lucija Mateša	Mentor Prof. dr. sc. Stjepan Strelec :

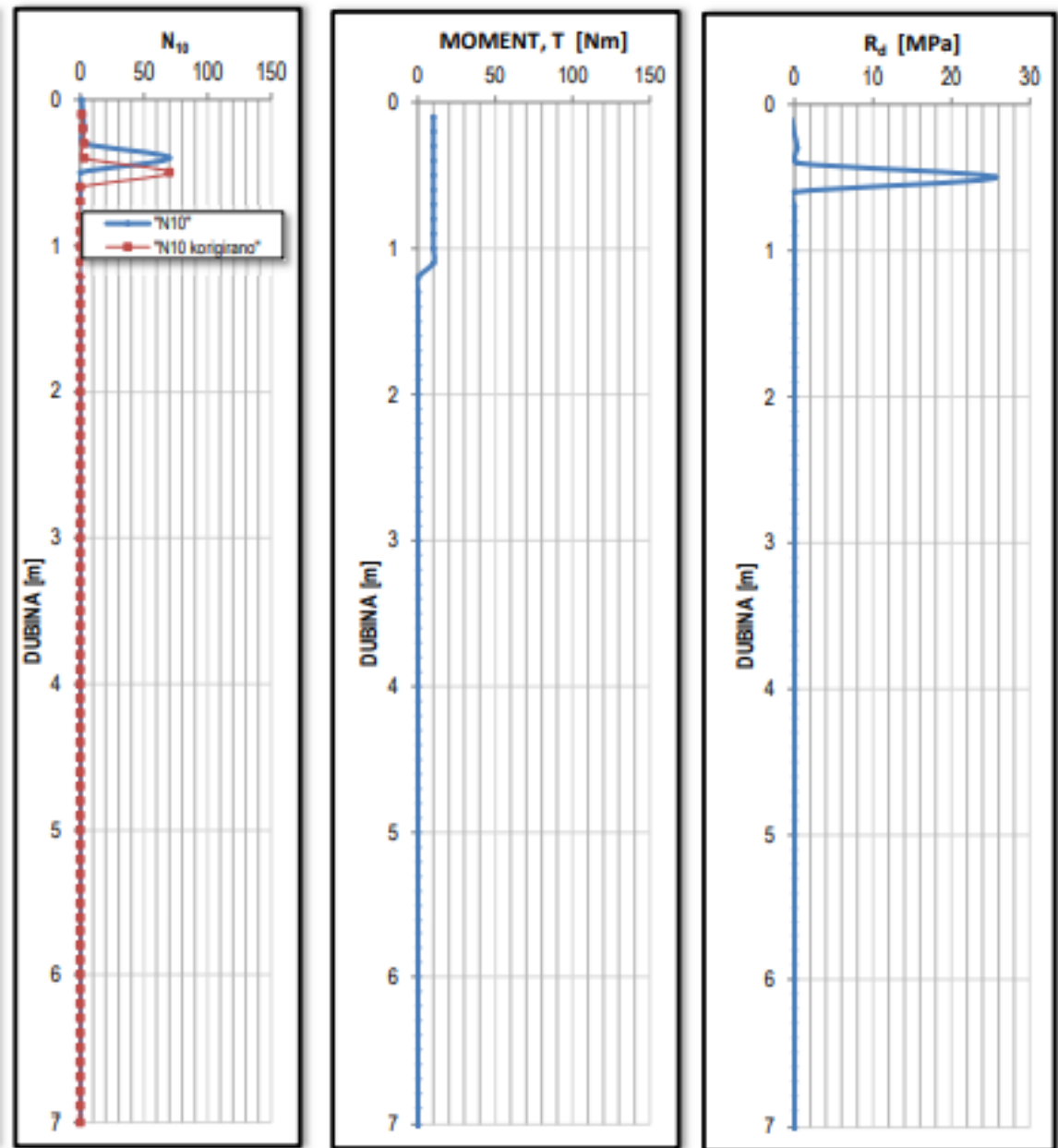


SVEUČILIŠTE U ZAGREBU GEOTEHNIČKI FAKULTET	
Geotehnička terenska istraživanja za potrebe sanacije klizišta u Đurmancu	
Naziv priloga: DPL-2	Datum: 17.08.2022.
Mjerilo: -	Br. Priloga: Prilog 2, List 2
Kandidat: Lucija Mateša	Mentor: Prof. dr. sc. Stjepan Strelec :

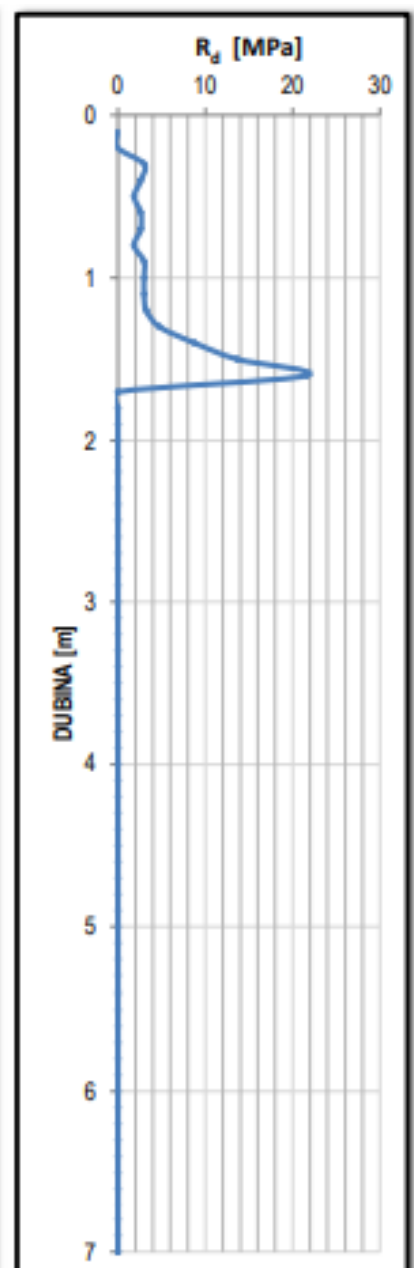
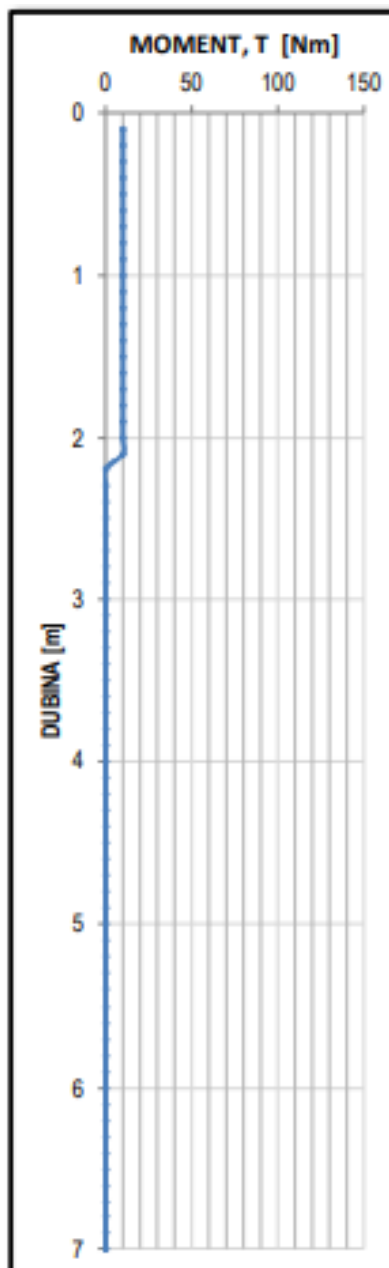
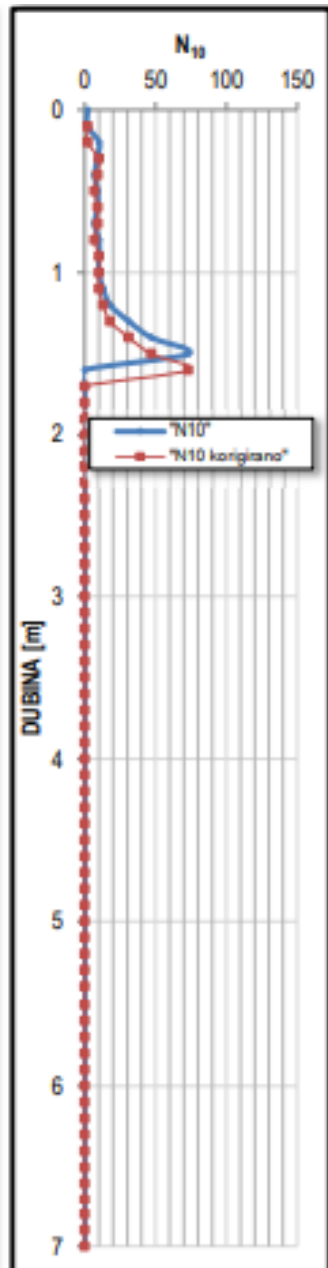


SVEUČILIŠTE U ZAGREBU GEOTEHNIČKI FAKULTET	
Geotehnička terenska istraživanja za potrebe sanacije klizišta u Đurmancu	
Naziv priloga: DPL-3	Datum: 17.08.2022.
Mjerilo: -	Br. Priloga: Prilog 2, List 3
Kandidat: Lucija Mateša	Mentor Prof. dr. sc. Stjepan Strelec :

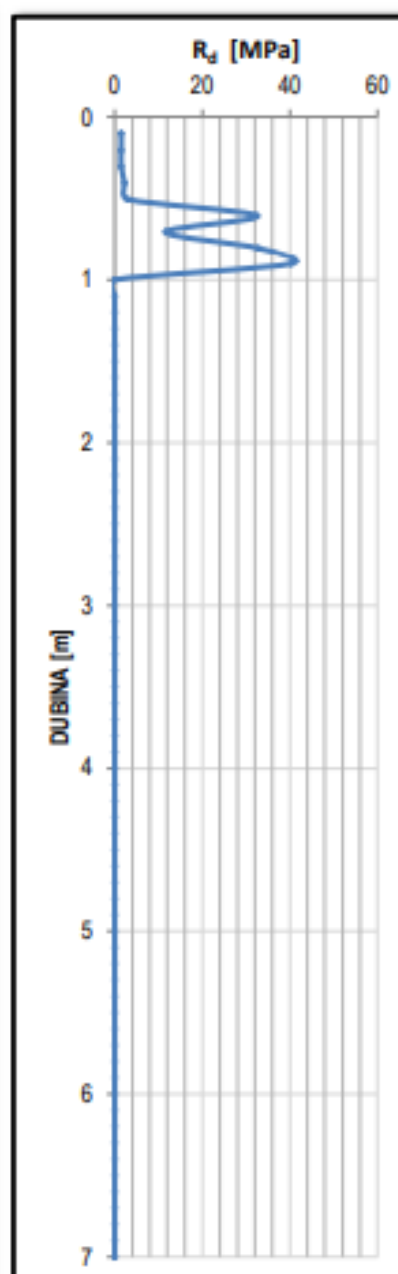
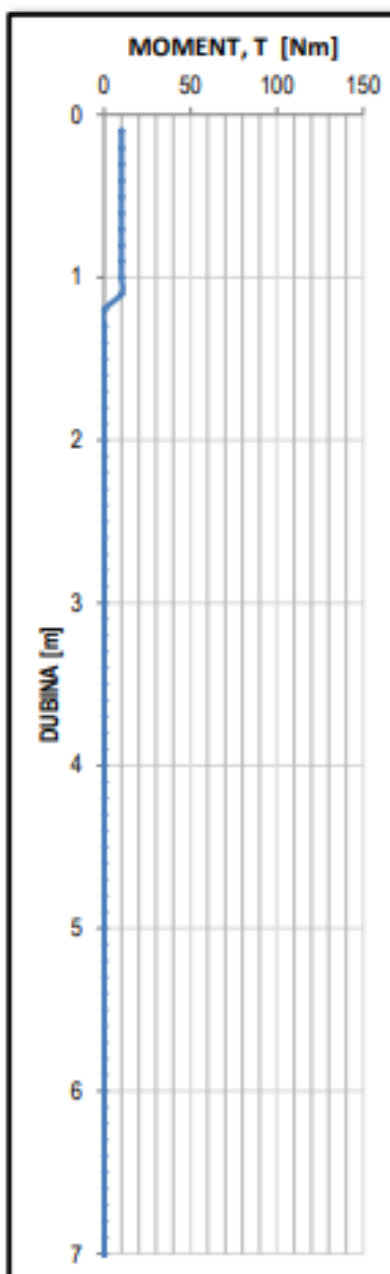
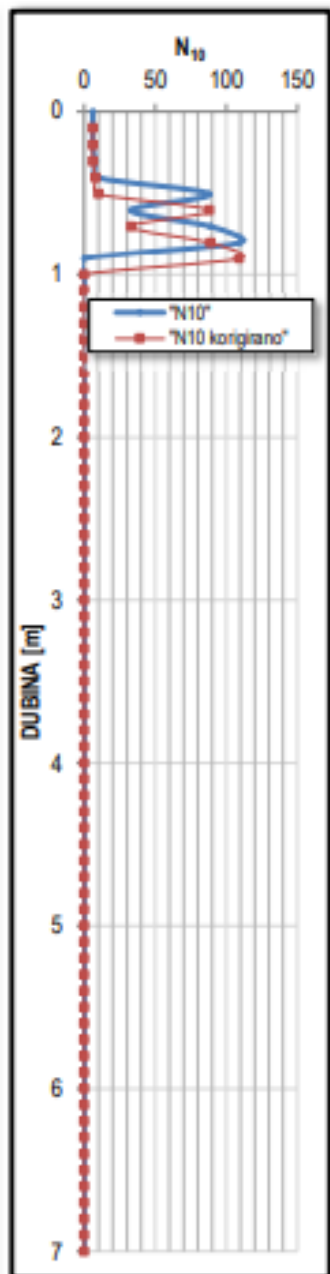




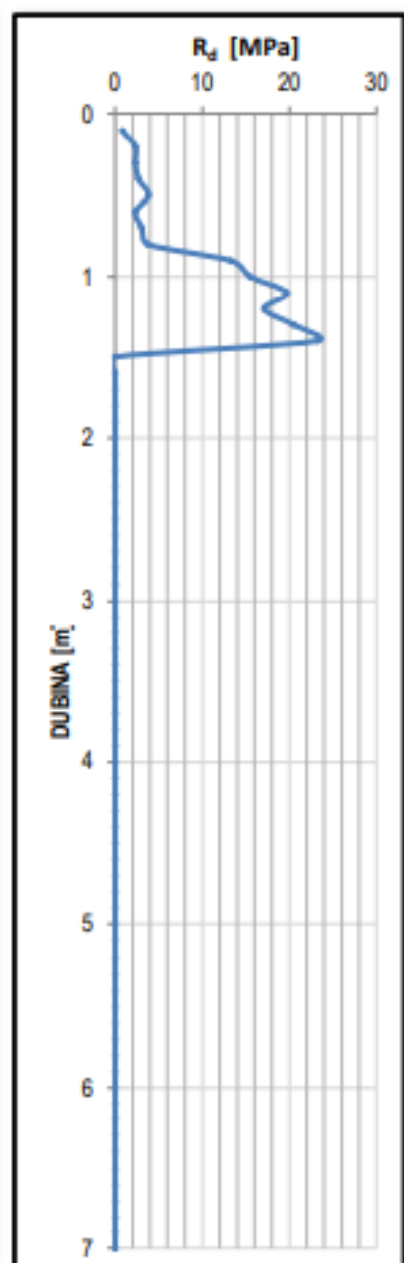
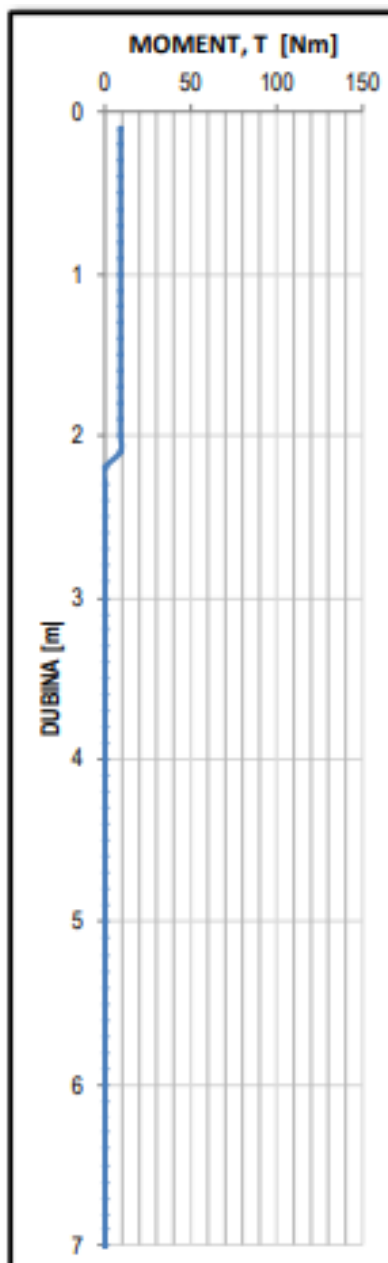
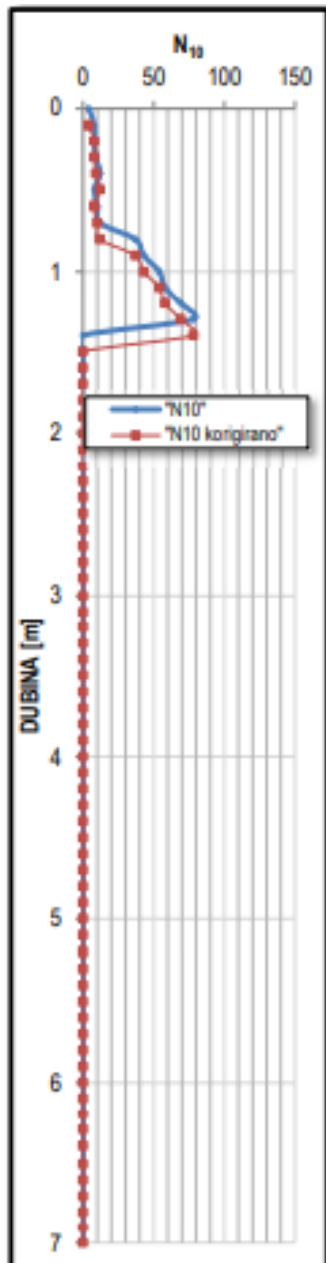
SVEUČILIŠTE U ZAGREBU GEOTEHNIČKI FAKULTET	
Geotehnička terenska istraživanja za potrebe sanacije klizišta u Đurmancu	
Naziv priloga: DPL-5	Datum: 17.08.2022.
Mjerilo: -	Br. Priloga: Prilog 2, List 4
Kandidat: Lucija Mateša	Mentor: Prof. dr. sc. Stjepan Strelec :



<b>SVEUČILIŠTE U ZAGREBU</b> <b>GEOTEHNIČKI FAKULTET</b>	
Geotehnička terenska istraživanja za potrebe sanacije klizišta u Đurmancu	
Naziv priloga: DPL-6	Datum: 17.08.2022.
Mjerilo: -	Br. Priloga: Prilog 2, List 5
Kandidat: Lucija Mateša	Mentor: Prof. dr. sc. Stjepan Strelec :



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU GEOTEHNIČKI FAKULTET	
Geotehnička terenska istraživanja za potrebe sanacije klizišta u Đurmancu	
Naziv priloga: DPL-7	Datum: 17.08.2022.
Mjerilo: -	Br. Priloga: Prilog 2, List 6
Kandidat: Lucija Mateša	Mentor: Prof. dr. sc. Stjepan Strelec :

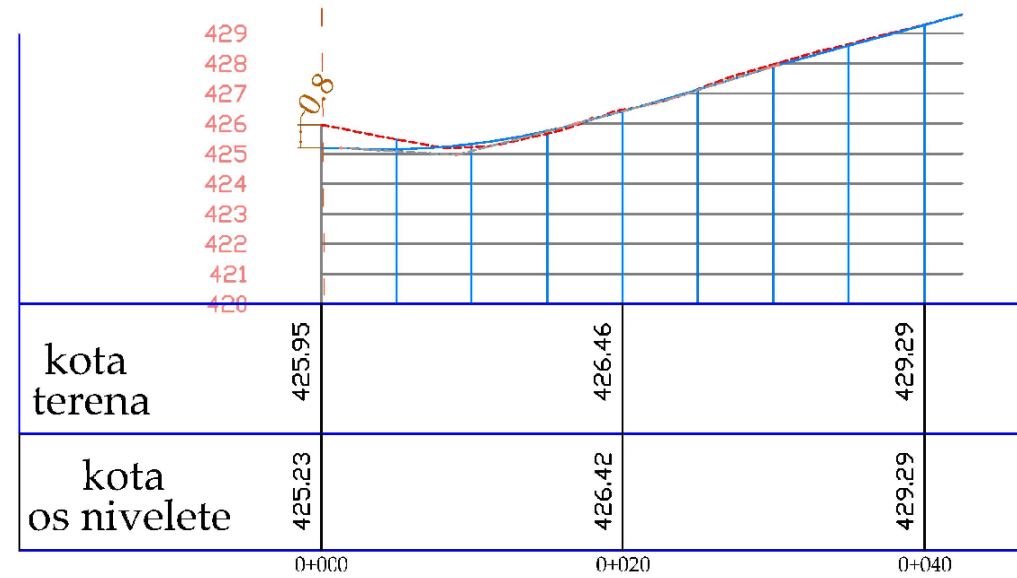
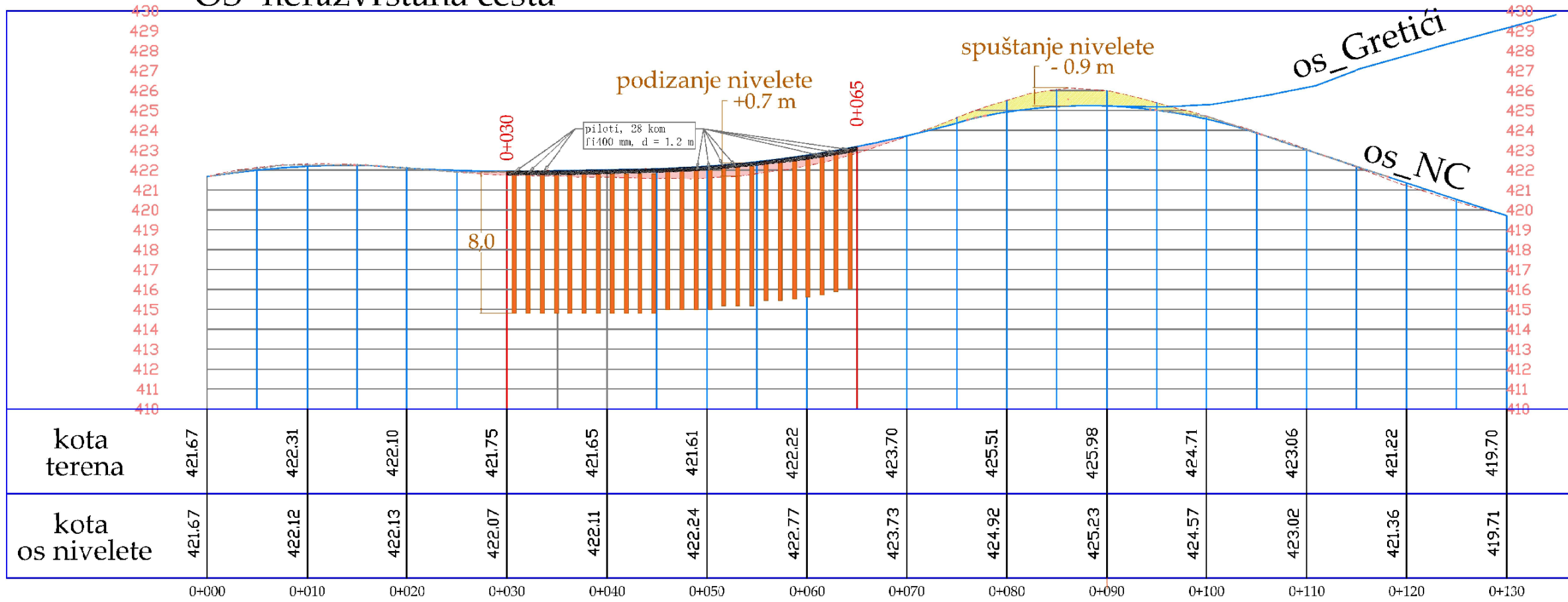


SVEUČILIŠTE U ZAGREBU GEOTEHNIČKI FAKULTET	
Geotehnička terenska istraživanja za potrebe sanacije klizišta u Đurmancu	
Naziv priloga: DPL-8	Datum: 17.08.2022.
Mjerilo: -	Br. Priloga: Prilog 2, List 7
Kandidat: Lucija Mateša	Mentor: Prof. dr. sc. Stjepan Strelec :

PRILOG 3

SANACIJSKI RADOVI

### OS- nerazvrstana cesta



PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

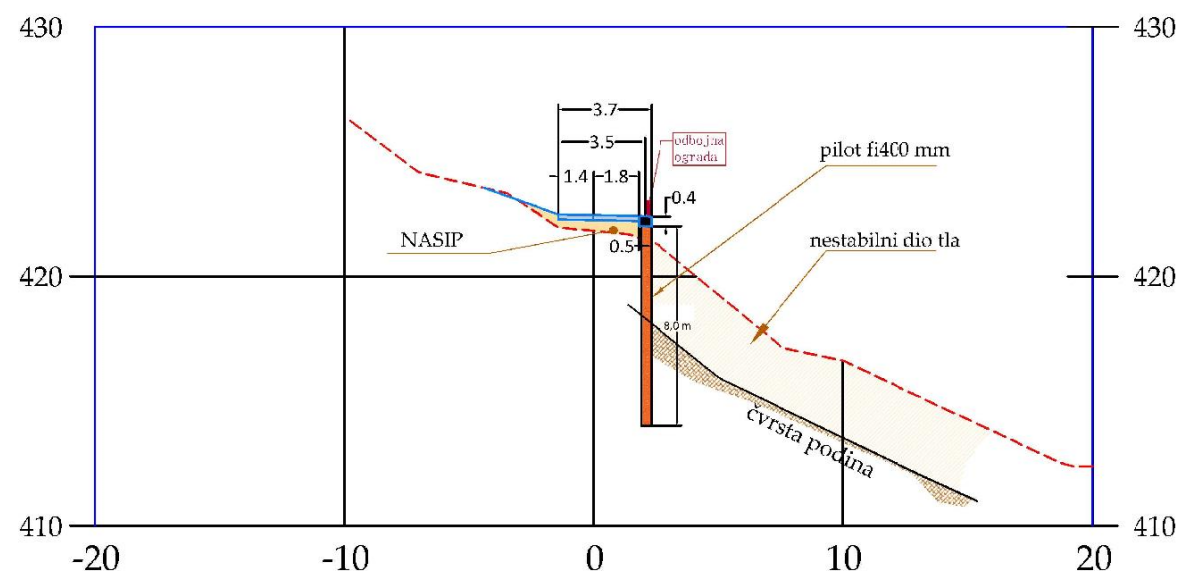
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU GEOTEHNIČKI FAKULTET	
Geotehnička terenska istraživanja za potrebe sanacije klizišta u Đurmancu	
Naziv priloga: Sanacijski radovi	Datum: 17.08.2022.
Mjerilo: 1:500	Br. Priloga: Prilog 3
Kandidat: Lucija Mateša	Mentor: Prof. dr. sc. Stjepan Strelec

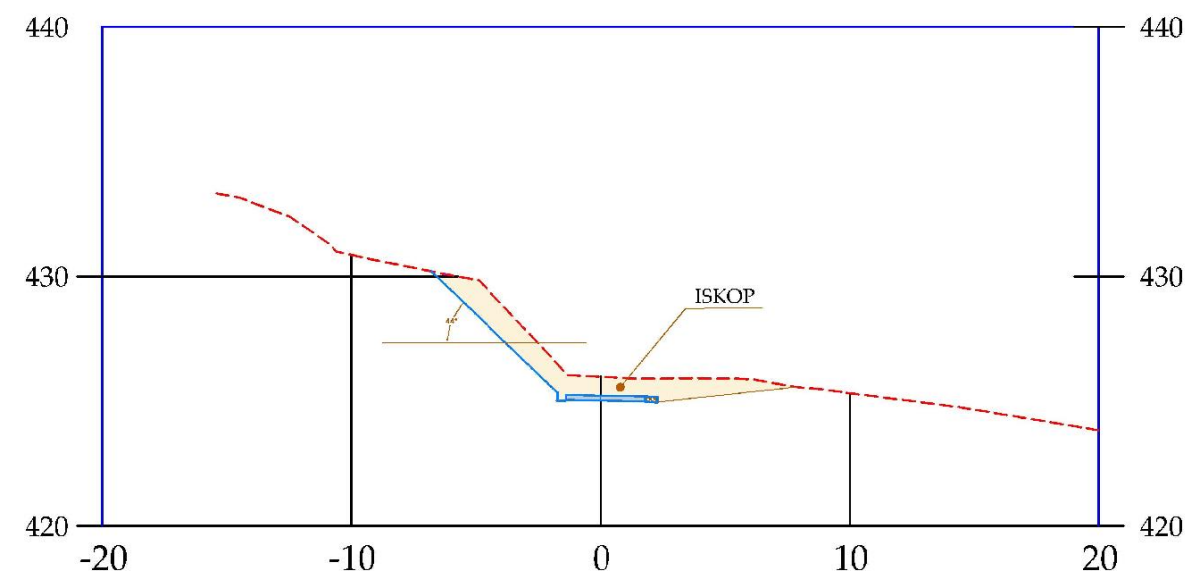
## PRILOG 4

### KARAKTERISTIČNI POPREČNI PRESJECI

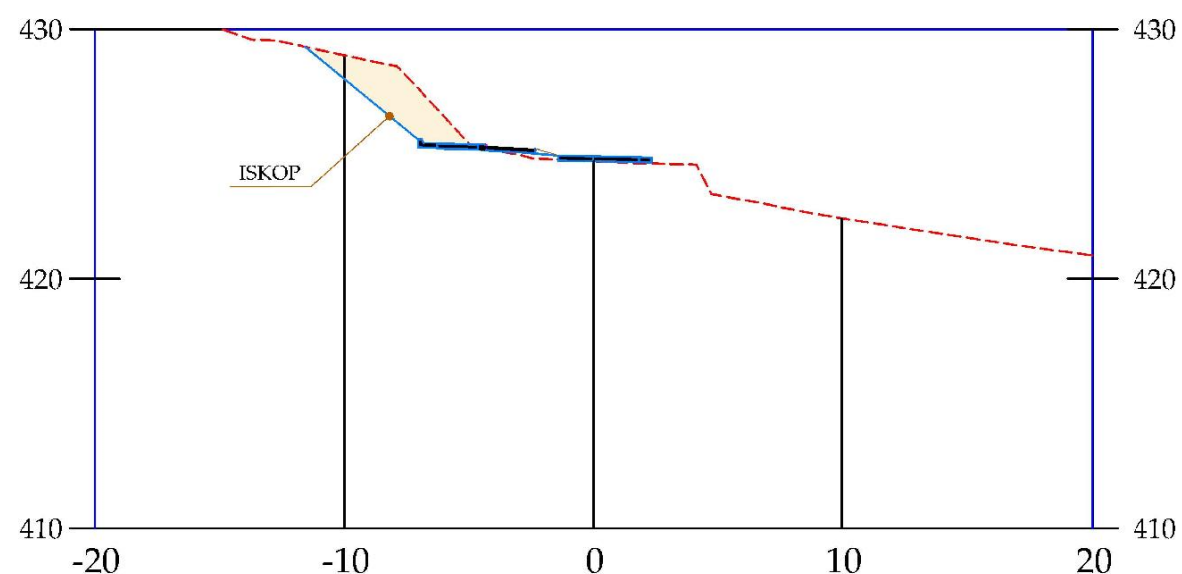
0+055.00



0+090.00



0+100.00



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU GEOTEHNIČKI FAKULTET	
Geotehnička terenska istraživanja za potrebe sanacije klizišta u Đurmancu	
Naziv priloga: Karakteristični poprečni presjeci	Datum: 17.08.2022.
Mjerilo: 1:300	Br. Priloga: Prilog 4
Kandidat: Lucija Mateša	Mentor: Prof. dr. sc. Stjepan Strelec