

# Stabilizacija kizišta u ulici Đurini u Zagrebu

---

Miletić, Lea

Master's thesis / Diplomski rad

2024

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:161459>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-26**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Civil Engineering,  
University of Zagreb](#)





Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Lea Miletić

***STABILIZACIJA KLIZIŠTA U ULICI ĐURINI U ZAGREBU***

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2024.



Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Lea Miletić

***STABILIZACIJA KLIZIŠTA U ULICI ĐURINI U ZAGREBU***

DIPLOMSKI RAD

Mentorica: Izv. prof. dr. sc. Lovorka Librić

Zagreb, 2024.



University of Zagreb

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

Lea Miletić

***LANDSLIDE STABILIZATION IN ĐURINI STREET IN  
ZAGREB***

MASTER THESIS

Supervisor: Izv. prof. dr. sc. Lovorka Librić

Zagreb, 2024



OBRAZAC 3

POTVRDA O POZITIVNOJ OCJENI PISANOG DIJELA DIPLOMSKOG RADA

Student/ica :

Lea Miletić	0114026277
(Ime i prezime)	(JMBAG)

zadovoljio/la je na pisanom dijelu diplomskog rada pod naslovom:

Stabilizacija klizišta u ulici Đurini u Zagrebu  
(Naslov teme diplomskog rada na hrvatskom jeziku)

Landslide stabilization in Đurini Street in Zagreb  
(Naslov teme diplomskog rada na engleskom jeziku)

i predlaže se provođenje daljnjeg postupka u skladu s Pravilnikom o završnom ispitu i diplomskom radu Sveučilišta u Zagrebu Građevinskog fakulteta.

Pisani dio diplomskog rada izrađen je u sklopu znanstvenog projekta: (upisati ako je primjenjivo)

(Naziv projekta, šifra projekta, voditelj projekta)

Pisani dio diplomskog rada izrađen je u sklopu stručne prakse na Fakultetu: (upisati ako je primjenjivo)

(Ime poslodavca, datum početka i kraja stručne prakse)

Datum:

09.04.2024.

Mentor:

Izv. prof. dr. sc. Lovorka Librić

Potpis mentora:

*L. Librić*

Komentor:



OBRAZAC 5

IZJAVA O IZVORNOSTI RADA

Ja:

Lea Miletić, 0114026277

(Ime i prezime, JMBAG)

student/ica Sveučilišta u Zagrebu Građevinskog fakulteta ovim putem izjavljujem da je moj pisani dio diplomskog rada pod naslovom:

STABILIZACIJA KLIZIŠTA U ULCI ĐURINI U ZAGREBU

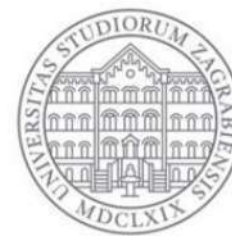
(Naslov teme diplomskog rada na hrvatskom jeziku)

izvorni rezultat mojeg rada te da se u izradi istoga nisam koristio/la drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni.

Datum:

18.09.2024.

Potpis:



OBRAZAC 6

IZJAVA O ODOBRENJU ZA POHRANU I OBJAVU PISANOG DIJELA DIPLOMSKOG RADA

Ja:

Lea Miletić, 78846249423

(Ime i prezime, OIB)

ovom izjavom potvrđujem da sam autor/ica predanog pisanog dijela diplomskog rada i da sadržaj predane elektroničke datoteke u potpunosti odgovara sadržaju dovršenog i obranjenog pisanog dijela diplomskog rada pod naslovom:

STABILIZACIJA KLIZIŠTA U ULICI ĐURINI U ZAGREBU

(Naslov teme diplomskog rada na hrvatskom jeziku)

koji je izrađen na sveučilišnom diplomskom studiju Građevinarstvo Sveučilišta u Zagrebu Građevinskog fakulteta pod mentorstvom:

Izv. prof. dr. sc. Lovorka Librić

(Ime i prezime mentora)

i obranjen dana:

26.09.2024.

(Datum obrane)

Suglasan/suglasna sam da pisani dio diplomskog rada u cijelosti bude javno dostupan, te da se trajno pohrani u digitalnom repozitoriju Građevinskog fakulteta, repozitoriju Sveučilišta u Zagrebu te nacionalnom repozitoriju.

Datum:

18.09.2024.

Potpis:

## **ZAHVALE**

Mojim kolegama, koji su postali pravi prijatelji, hvala.

Mojim roditeljima, na snazi i strpljenju, hvala.

Mome bratu, na savjetima i podršci, hvala.

Mojoj sestri, izvoru vječne inspiracije, hvala.



## **SAŽETAK**

Tema ovog diplomskog rada je sanacija klizišta u ulici Đurini u Zagrebu. Nakon detaljnog opisa primijenjenih normi za izvedbu geotehničkih istražnih radova, u radu se govori o geološkim značajkama lokacije te seizmičnosti terena, a zatim se pristupa tumačenju laboratorijskih i terenskih rezultata te odabiru parametara tla na temelju istih. Proračuni vršeni za pisanje rada temelje se na rezultatima pokusa izvedenih na uzorcima dobivenih iz dvije istražne bušotine. Rezultati analiza stabilnosti, pripadajuće klizne plohe i faktori sigurnosti prikazani su grafički u nastavku rada. Cilj provedenih analiza stabilnosti je dobivanje zadovoljavajućih faktora sigurnosti. Rad završava zaključkom i popisom korištene literature.

***Ključne riječi:*** klizište, geotehnički istražni radovi, pilotna stijena, faktor sigurnosti, vrijednosti parametara tla

## SUMMARY

The subject of this thesis is the remediation of a landslide in Đurini Street in Zagreb. Following a detailed description of the applied standards for geotechnical research works, the paper discusses the geological features of the location and the seismicity of the terrain, and then proceeds to interpret laboratory and field results and the selection of soil parameters based on them. The calculations performed for the thesis writing are based on the results of tests conducted on samples obtained from two exploratory boreholes. The results of the stability analyses, the corresponding sliding surfaces, and the safety factors are presented graphically in the continuation of the paper. The aim of the conducted stability analyses is to obtain satisfactory factors of safety. The paper ends with a conclusion and a list of references used.

**Keywords:** landslide, geotechnical research works, soil pile, factor of safety, soil parameter values

## Sadržaj

ZAHVALE.....	i
SAŽETAK .....	ii
SUMMARY .....	iii
1. UVOD .....	1
1.1. Lokacija klizišta.....	1
1.2. Opis postojećeg stanja .....	2
2. PRIMIJENJENE METODE ISTRAŽIVANJA I NORME .....	3
2.1. Terenski i laboratorijski istražni radovi.....	3
2.2. Istražna bušenja .....	4
2.3. Laboratorijska ispitivanja.....	4
3. INŽENJERSKO-GEOLOŠKE ZNAČAJKE LOKACIJE .....	7
3.1. Inženjersko-geološko kartiranje .....	7
3.2. Seizmičnost terena.....	11
4. GEOTEHNIČKI ISTRAŽNI RADOVI I ODABIR PARAMETARA.....	14
4.1. Rezultati ispitivanja .....	14
4.2. Karakteristične vrijednosti parametara tla .....	20
4.3. Proračunske vrijednosti parametara tla .....	25
5. GEOTEHNIČKI PRORAČUNI .....	26
5.1. Dimenzioniranje pilotne stijene.....	26
5.2. Zona A.....	28
5.3. Zona B.....	29
5.4. Vertikalni i horizontalni seizmički koeficijent.....	30
5.5. Rezultati analiza stabilnosti.....	31
5.6. Naponsko-deformacijske analize proračuna.....	40
6. ISKAZ TROŠKOVA GRADNJE.....	46
7. PROGRAM OSIGURANJA KVALITETE IZVEDBE .....	51
8. ZAKLJUČAK.....	54
Literatura .....	55

Popis slika .....	53
Popis tablica .....	59

## 1. UVOD

Tema ovog diplomskog rada je projekt sanacije cestovnog klizišta u ulici Đurini općine Granešina u Zagrebu. Nakon izvedbe geotehničkih istražnih radova, obnova se provodi primjenom pilotne stijene i zamjenom tla na pokosu iznad cijele pilotne stijene, s intencijom sanacije postojećih i potencijalnih budućih deformacija kolnika u ulici Đurini. Proračuni vršeni za pisanje rada temelje se na odabranim parametrima materijala nakon provedenih terenskih i laboratorijskih istražnih radova na uzorcima dobivenih iz dvije istražne bušotine. U metode istraživanja uključena su inženjersko-geološka istraživanja, geotehnička istražna bušenja s kontinuiranim jezgrovanjem - SPT test i uzimanje uzoraka, te laboratorijska ispitivanja uzoraka. Nužna je primjena većeg broja metoda ispitivanja temeljnog tla na predmetnoj lokaciji da se dobije cjeloviti uvid u prostorno rasprostiranje inženjersko-geoloških sredina, kao i uvid u njihove fizikalno-mehaničke karakteristike. Rezultati analiza stabilnosti, pripadajuće klizne plohe i faktori sigurnosti prikazani su grafički u nastavku rada. Cilj provedenih analiza stabilnosti je dobivanje zadovoljavajućih faktora sigurnosti.

### 1.1. Lokacija klizišta

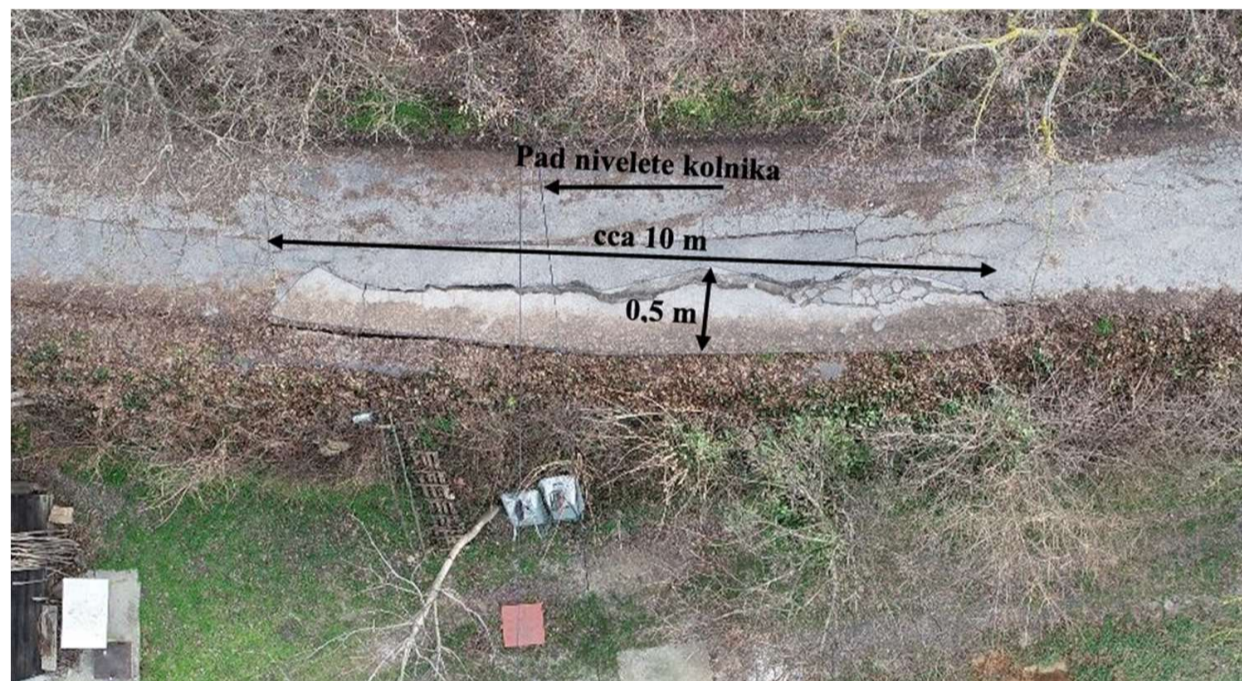
Predmet ovog diplomskog rada je sanacija cestovnog klizišta u ulici Đurini, nedaleko kućnog broja 193, a potrebna rekonstrukcija izvodi se unutar katastarske čestice 1560, katastarske općine Granešina Nova. Slikom 1 prikazana je lokacija zahvata, čija duljina iznosi približno 44 metra.



Slika 1 Lokacija predmetnog zahvata (Izvor: [1])

## 1.2. Opis postojećeg stanja

Dionica pojave nestabilnosti blago je zakrivljena padom uzdužnog nagiba nivelete od smjera juga prema sjeveru. Duž cijelog promatranog područja izveden je asfalt u ukupnoj širini od 3 metra. Cesta predmetnog zahvata nalaz se u zasijeku s vrlo strmim pokosima prekrivenim gušćom ili rjeđom vegetacijom što značajno doprinosi stabilnosti pokosa. S jedne strane nalazi se strmi usjek, nagiba približno 1:1 do 2:1, visine 2,5 metara iznad kojeg se nalaze objekti te nadzemni vodovi eklektičnih instalacija. S druge strane nalazi se padina visine 3 metra, nagiba približno 2:1 do vertikalnog. Klizanje ceste dogodilo se na lijevoj, nizbrežnoj strani, gledano prema uzdužnom padu nivelete kolnika (na slici 2 prikazano ispod ceste). Utvrđen je rotacijski tip klizišta manjih dimenzija, lokaliziran na sam nasip prometnice.



Slika 2 Prikaz klizišta (Izvor: [1])

## **2. PRIMIJENJENE METODE ISTRAŽIVANJA I NORME**

### **2.1. Terenski i laboratorijski istražni radovi**

Istražni radovi sastojali su se od terenskih istražnih radova, geotehničkog istražnog bušenja s kontinuiranim jezgrovanjem – SPT test i uzimanje uzoraka, te laboratorijskog ispitivanja. Istražno bušenje izvedeno je na dvije istražne bušotine dubine 10 metara, a sastojalo se od izvođenja istražnih bušotina s kontinuiranim jezgrovanjem, identifikacije i opisa jezgre bušotina slaganjem jezgre u standardizirane drvene sanduke. Iz istražnih bušotina vađeni su poremećeni i neporemećeni uzorci, a slikama 9 i 10 su prikazane fotografije jezgra uzoraka. Podaci o pozicijama istražnih bušotina i dubini ispitivanja navedeni su u 4. poglavlju ovog rada – Geotehnički istražni radovi. Bušenje u tlu provedeno je standardnim penetracijskim pokusom (SPT) ili su uzeti neporemećeni uzorci s pomoću tankostjenog cilindra u glinama čija je konzistencija omogućavala utiskivanje cilindra. SPT pokus se koristi za ispitivanje gustoće, čvrstoće i krutosti nekoherentnih tla i mekih stijena, te je najrašireniji i najjednostavniji „in situ“ pokus. Izvodi se tijekom terenskih istražnih radova (bušenja) u bušotini, pri čemu se na niz bušačih šipki, umjesto alata za bušenje, učvrsti standardizirani penetracijski nož vanjskog promjera 50 milimetara. Pokus se sastoji od brojanja potrebnih udara (N) da uteg mase 63,5 kilograma, koji pada s visine 760 milimetara (30 inča), prodre u tlo 300 milimetara (12 inča), nakon početnog prodiranja od 150 mm (6 inča). [5]

U laboratoriju su provedena ispitivanja za određivanje vlažnosti (predstavlja omjer mase porne, odnosno slobodne vode u ukupnoj količini uzorka tla koji se ispituje, i mase suhog tla, a metoda koje se koristi je metoda sušenjem u pećnici), gustoće sitnih čestica (gustoća tla predstavlja omjer mase i volumena uzorka tla koji se ispituje, uključujući vodu i zrak koji sadrži), gustoće čvrstih čestica (predstavlja omjer mase i volumena čvrstih čestica uzorka tla koji se ispituje), granulometrijskog sastava (postotni udio mase pojedinih čestica tla, podijeljenih u odgovarajuće grupe, odnosno frakcije, prema veličini zrna u ukupnoj masi uzorka tla), Atterbergovih granica (zajednički naziv za granicu tečenja, granicu plastičnosti i granicu stezanja), te pokusi jednodimenzionalne konsolidacije (zasniva se na mjerenju promjene visine cilindričnog uzorka pod vertikalnim opterećenjem uz spriječene bočne deformacije), izravnog posmika (zasniva se na mjerenju prisilnih horizontalnih pomaka na predefiniranim plohama sloma uzorka tla pri različitim vertikalnim opterećenjima) i padajućeg šiljka (zasniva se na povezivanju karakteristika i dubina prodiranja šiljka u uzorak tla).

## **2.2. Istražna bušenja**

Istražno bušenje vršeno je prema smjernicama norme navedene u Tablici 1.

Tablica 1: Norma za izvedbu istražnog bušenja

Redni broj	Vrsta ispitivanja	Oznaka norme	Naziv norme
1	Istražno bušenje	HRN EN 1997-2:2012	Eurokod 7: Geotehničko projektiranje – 2. dio: Istraživanje i ispitivanje temeljnoga tla (EN 1997-2:2007+AC:2010)

## **2.3. Laboratorijska ispitivanja**

Laboratorijska ispitivanja vršena su prema smjernicama normi navedenih u Tablici 2.



Tablica 2: Norme za provođenje laboratorijskih pokusa

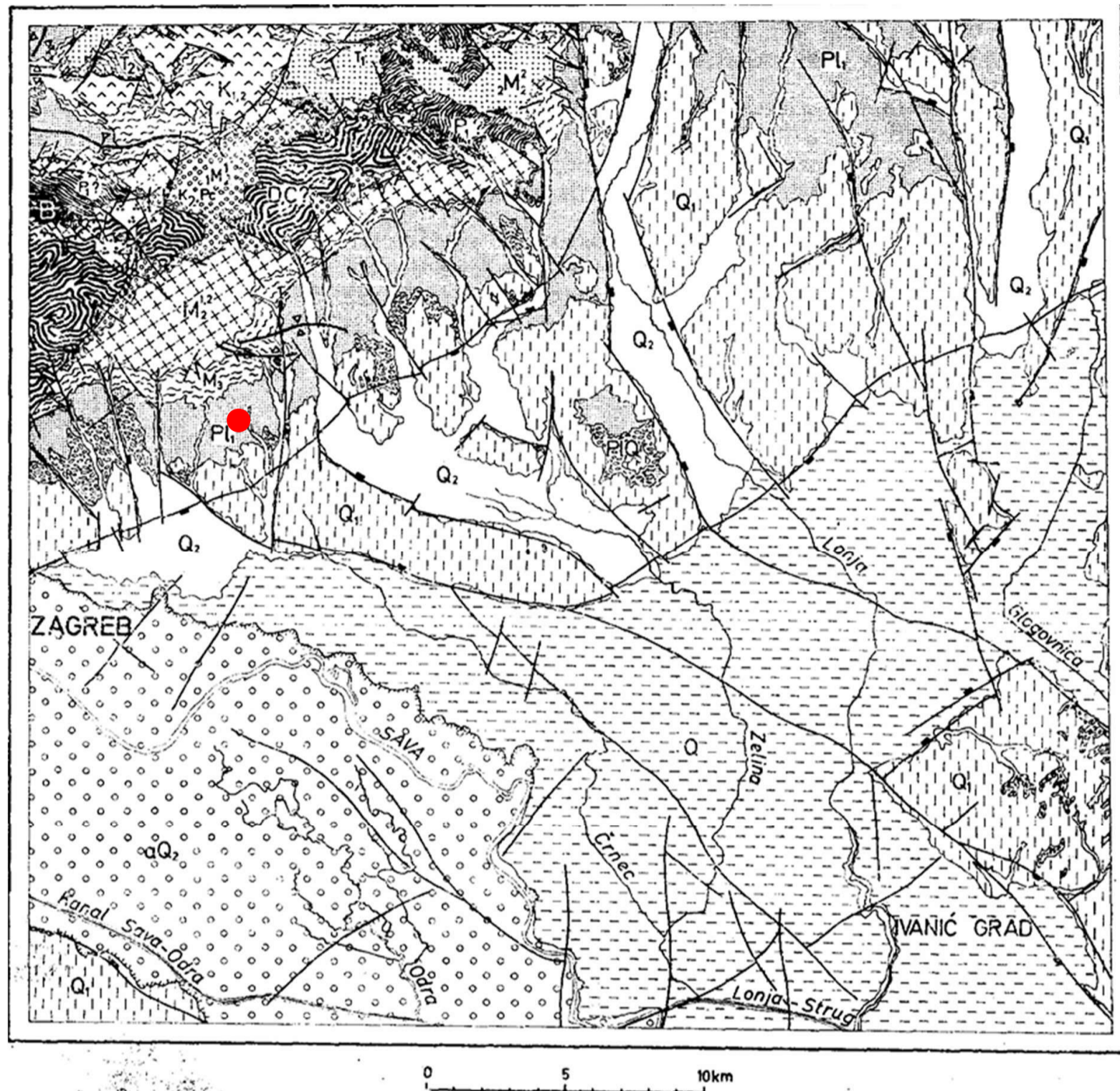
Redni broj	Vrsta ispitivanja	Oznaka norme	Naziv norme
1	Vlažnost	HRN EN ISO 17892-1:2014	Geotehničko istraživanje i ispitivanje - Laboratorijsko ispitivanje tla - 1. dio: Određivanje vlažnosti
2	Gustoća sitnozrnog tla	HRN CEN ISO/TS 17892-2:2015	Geotehničko istraživanje i ispitivanje - Laboratorijsko ispitivanje tla - 2. dio: Određivanje prostorne gustoće
3	Gustoća čvrstih čestica	HRN EN ISO 17892-3:2008	Geotehničko istraživanje i ispitivanje - Laboratorijsko ispitivanje tla - 3. dio: Određivanje gustoće čvrstih čestica - Metoda piknometra
4	Granulometrijski sastav	HRN EN ISO 17892-4:2016	Geotehničko istraživanje i ispitivanje - Laboratorijsko ispitivanje tla - 4. dio: Određivanje granulometrijskog sastava
5	Jednodimenzionalna konsolidacija	HRN EN ISO 17892-5:2018	Geotehničko istraživanje i ispitivanje - Laboratorijsko ispitivanje tla - 5. dio: Edometarsko ispitivanje s inkrementalnim opterećenjem
6	Granice tečenja i plastičnosti	HRN EN ISO 17892-12:2018	Geotehničko istraživanje i ispitivanje - Laboratorijsko ispitivanje tla - 12. dio: Određivanje Atterbergovih granica
7	Izravni posmik	HRN EN ISO 17892 - 10:2018	Geotehničko istraživanje i ispitivanje - Laboratorijsko ispitivanje tla - 10. dio: Izravni posmik

8	Pokus s padajućim šiljkom	HRN CEN ISO/TS 17892 - 6:2008	Geotehničko istraživanje i ispitivanje - Laboratorijsko ispitivanje tla - 6. dio: Pokus s padajućim šiljkom
---	---------------------------	----------------------------------	---

### 3. INŽENJERSKO-GEOLOŠKE ZNAČAJKE LOKACIJE

#### 3.1. Inženjersko-geološko kartiranje

Prema Osnovnoj geološkoj karti M 1:100000, list Ivanić-Grad (slika 3), istražno područje označeno je oznakom  $PI_1$  - Pont: Brakični sedimenti (klastiti) u kojem su taložene abichi naslage - debele naslage lapora i pijesaka, dok se rubni dijelovi mogu okarakterizirati prisustvom lapora sa smanjenim udjelom karbonatne komponente i tipičnom kaspibrakičnom faunom. Tijekom geološke prošlosti, područje je bio pod velikom aktivnošću rasjeda (ispresijecanost rasjedima možemo podijeliti u dva glavna seta: jedan set rasjeda ima pružanje JZ-SI, dok se drugi pruža u smjeru SZ-JI) što je, uz atmosferilije, podzemne vode i temperaturne amplitude, utjecalo na konačni oblik. Dakle, konačno oblikovanje reljefa na području lista Ivanić-Grad odvijalo se je pod utjecajem procesa fluvijalne erozije i istovremene akumulacije holocenskih, deluvijalno-proluvijalnih, aluvijalnih i barskih sedimenata u zaravnjenim terenima i depresijama. Sediment donjeg ponta *predstavljen je sivim, plavičastim, zelenkastosivim i žućkastim, mekanim, glinovitim laporima s prosječnim sadržajem glinene komponente od 70 %. Slojevitost im je rijetko izražena. Pretežno su gromadasti-neuslojeni. S daljnjim povećanjem glinene komponente, u vršnim dijelovima donjopontskih sedimenata, glinoviti lapori prelaze u laporovite gline, koje su mjestimično pjeskovite ili siltozne i tada tinjčaste. U starijim dijelovima naslaga česti su i lapori s podjednakim omjerom glinovite i karbonatne komponente, dok su pojave vapnenačkih lapora izvanredno rijetke.* [2] Debljina donjopontskih naslaga na jugoistočnim padinama Medvednice iznosi 210 m.



Slika 3 Pregledna geološka karta lista Ivanić-Grad (Izvor: [2])

Pripadnost abichi naslaga donjem pontu potvrđena je nalazima makrofaune na brojnim lokalitetima. Uz čestu provodnu vrstu školjkaša *Paradacna abichi*, pronađene su i vrste *C. zagrabiensis*, *Congerina digitifera*, *Didacna ctiophora*, *Limnocardium asperocostatum* i *Paradacna lenzi*. Od puževa, potvrđena je prisutnost *Valenciennius reussi* i *Coretus turkovi*. U mikrofosilnoj zajednici ostrakoda dolaze vrste *Hemicytheric pejinovicensis*, *Loxoconcha petasus*, *Candona (Caspicypris) alata*, *C. (Caspicypris) ex. gr. labiata*, *C. (Pontoniella) acuminata* i *Bacuncullla dorsoerucata*. [2]



Slika 4 Lokacija predmetnog područja, stanje na dan 6. kolovoza 2024.  
(Izvor: Ministarstvo pravosuđa, uprave i digitalne transformacije)

Geološkim radovima na lokaciji u ulici Đurini utvrđeno je da se radi o manjem rotacijskom tipu klizišta, lokaliziranom na nasip prometnice. Klizište se prostire u širini od gotovo 20 metara uzduž kolnika ulice (slika 4) na nizbrežnoj strani prometnice. Padina je približno okomita, a na dijelu pojave aktivnog klizanja pokos je nedovoljno pokriven vegetacijom dubokog korijenja, odnosno većim drvećem. Klizište se manifestiralo kroz nastanak vlačnih pukotina na površini, dubine četrdesetak centimetara, oko 50 centimetara od ruba prometnice (slika 3), koje predstavljaju čeonu zonu klizišta, te deformacijom i djelomičnim urušavanjem padine. Tijelo klizišta prekriveno je gustom vegetacijom plitkog korijenja koja je uvelike doprinijela zaustavljanju daljnjeg klizanja materijala, a time i zadržala stopu klizišta. Geološki faktori u neposrednoj okolini promatrane lokacije ne sugeriraju da se radi o većem klizištu i njegovom mogućem širenju.

Na nekoliko mjesta u ulici uočena je i pojava blagog klizanja prema strmini koje se manifestiralo puknućem asfalta i naginjanjem stupova ulične rasvjete. Spomenuti objekti nisu u klizanju, te se može zaključiti kako se na ovoj lokaciji radi jedino o klizanju nasipa ceste. Primjer sanacije klizanja nizbrežne padine nalazimo nekoliko desetaka metara sjeverno od promatranog klizišta izgradnjom zida i širenjem nasipa.

Također, neposredno ispod klizišta nalazi se kuća na kojoj se ne vide posljedični tragovi aktivnog klizanja, no, vidljive su pukotine nastale od potresa koji je pogodio ovo područje 22. ožujka 2020. godine (slika 5).



Slika 5 Vidljive pukotine na objektu ispod novonastalog klizišta (Izvor: [1])

Pretpostavlja se da je razlog aktivacije klizišta ugrađivanje vodovoda u kolničku konstrukciju ulice Đurini - cijevi se ugrađivane uz sam rub strme padine uz pomoć strojeva čija je masa potencijalno prekoračila nosivost tla te dovela pokos u nestabilno stanje aktiviranjem klizišta. Nakon ugradnje vodovodnih cijevi i izvedbe kolnika, pojavio se zijev između stare ceste i nove asfaltne zakrpe (slika 6). Uz ranije spomenutu narušenu stabilnost zbog preopterećenja padine, oborinska voda imala je negativni utjecaj na cjelokupnu stabilnost prodiranjem u nasip, a procesima sufozije je neadekvatan zemljani materijal nasipa bio topljen i ispiran. Dodatni uzrok aktivacije klizišta može biti i puštanje vode u novopostavljene vodovodne cijevi i njezina kondenzacija na njihovoj površini. Podzemna voda nalazi se ispod promatrane zone klizanja, te ne utječe na stabilnost spomenute prometnice.



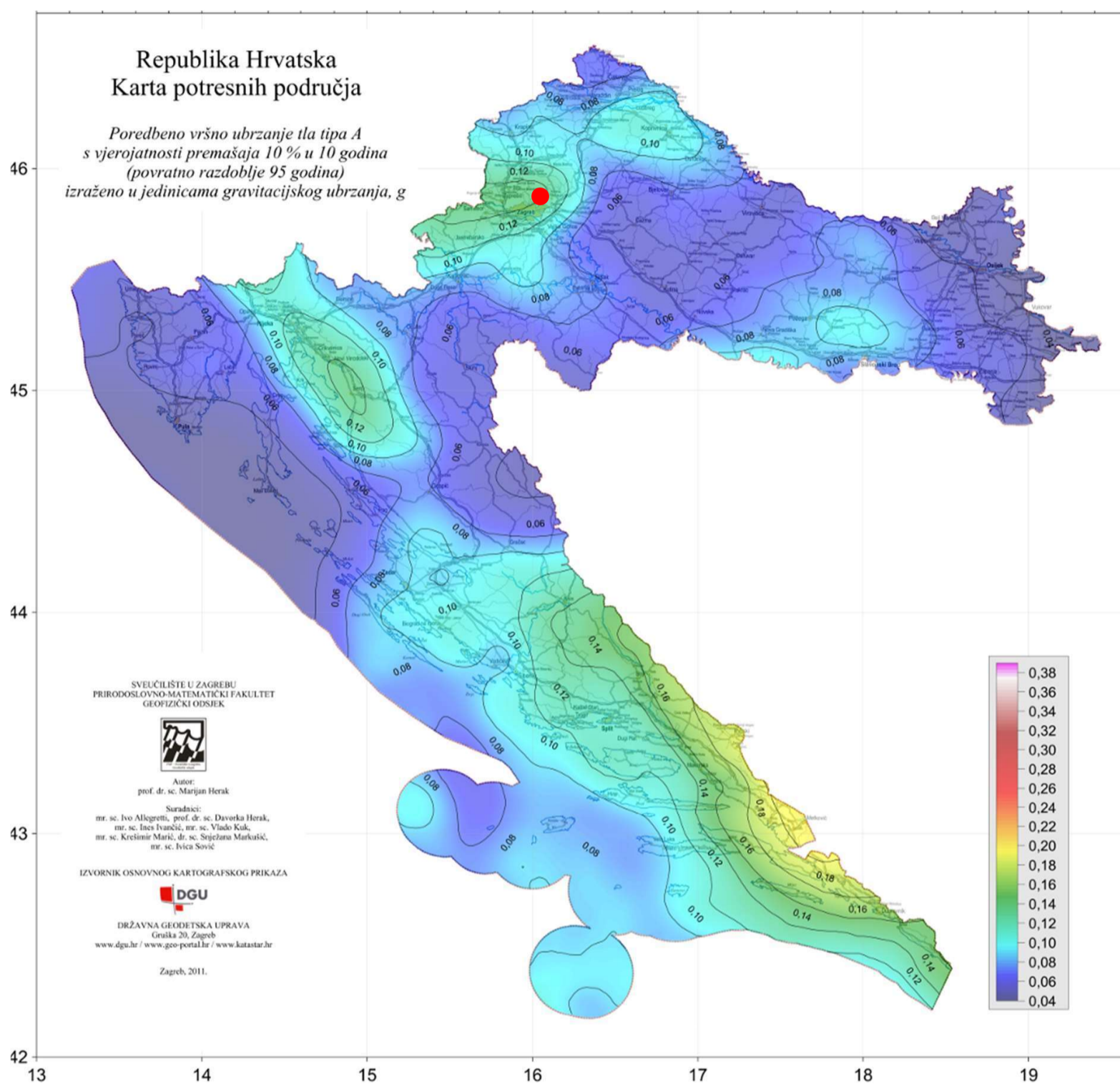
Slika 6 Pukotine u čeonoj zoni klizišta (Izvor: [1])

Dakle, na inženjersko-geološke faktore veliku ulogu ima razdoblje u kojem je pala veća količina padalina (za Zagreb su to lipanj i rujan ljeti, te siječanj i listopad u hladnom periodu [3]). Stoga je zimski period jedan od glavnih uzroka aktivacije klizišta u ulici Đurini kada je tlo saturirano vodom i kada dolazi do perioda smrzavanja i otapanja vode u porama tla.

### 3.2. Seizmičnost terena

U sklopu terenskih istraživanja nisu provedena detaljna istraživanja za seizmičnost pa se podaci o seizmičnosti u ovom radu prikazuju s pomoću Karte potresnih područja Republike Hrvatske Državne geodetske uprave koja omogućuje očitavanje iznosa horizontalnih vršnih ubrzanja tla tipa A ( $a_{gR}$ ) za povratni period od  $T_p=95$  i 475 godina, izraženih u jedinicama gravitacijskog ubrzanja ( $1 g= 9.81 m/s^2$ ). Očitani podaci nisu službeni i smije ih se koristiti tek kao orijentaciju, te ih za projektiranje treba potvrditi uvidom u odgovarajuću kartu za navedena povratna razdoblja. Karte s tumačem sastavni su dio Nacionalnog dodatka za niz normi HRN EN 1998 (Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija). [4] Slika 7 daje prikaz Karte za povratno razdoblje od 95 godina, a slika 8 prikazuje isječak iz predmetne karte s obilježenu lokacijom promatranog klizišta za povratni period od 95 godina, od 225 godina i od 475 godina. Prema navedenom izvoru Državne geodetske uprave, za povratni

period od 95 godina, očekivana ubrzanja gravitacijske sile teže iznose  $0,129 \text{ m/s}^2$ , a za period od 475 godina očekivanja ubrzanja iznose  $0,262 \text{ m/s}^2$ .



Slika 7 Karta potresnih područja za  $T_p = 95$  godina (Izvor: [4])





Slika 8 Isječak iz predmetne karte s obilježenu lokacijom promatranog klizišta (Izvor: [4])

Dakle, geologija terena u ovom slučaju uglavnom nema utjecaja na stabilnosti nasipa i aktivaciju promatranog klizišta, već je glavni uzrok pojave nestabilnosti pokosa nasipa prisutnost vode u unutrašnjosti tijekom zimskih mjeseci. Ugradnjom vodovodne infrastrukture uz rub prometnice narušena je stabilnost padine postojećeg stabilnog stanja. Zijev na mjestu dodira starog asfalta i nove zavrpe dio je na kojemu je voda prodirala u nasip pa se uslijed obilnih kiša u periodima zaleđivanja i otapanja, uz prisutnost nepovoljne zemljane i glinene komponente u nasipu i nepostojanja odvodnje oborinskih i procijenjenih voda, javljaju procesi slijeganja, bubrenja i sufozije u nasipu, odnosno aktivacije kliznog tijela.

#### 4. GEOTEHNIČKI ISTRAŽNI RADOVI I ODABIR PARAMETARA

Bušotina B1 (E = 466662.37; N = 5081029.08; Z = 237.69)

Bušotina B2 (E = 466661.74; N = 5081042.53; Z = 237.82)

Dana 20. prosinca 2023. godine, na mjestu bušotine B2, te dan nakon, 21. prosinca 2023., na mjestu bušotine B1, provedena su istražna bušenja do dubine od 10 metara i terenske identifikacije tla na temelju kojih su izvedeni laboratorijski pokusi čime se dobivaju profili tla navedeni niže u tekstu. Bušenje u tlu provedeno je standardnim penetracijskim pokusom (SPT) ili su uzeti neporemećeni uzorci s pomoću tankostjenog cilindra u glinama čija je konzistencija omogućavala utiskivanje cilindra. SPT pokus se koristi za ispitivanje gustoće, čvrstoće i krutosti nekoherentnih tla i mekih stijena, te je najrašireniji i najjednostavniji „in situ“ pokus čije su prednosti brzina dobivanja rezultata (odmah nakon izvršenog ispitivanja), ekonomičnost, fleksibilnost. Izvodi se za vrijeme terenskih istražnih radova, odnosno bušenja u bušotini, pri čemu se na niz bušačkih šipki za bušenje učvršćuje standardizirani penetracijski nož vanjskog promjera 50 milimetara. [5]

##### 4.1. Rezultati ispitivanja

**Bušenjem bušotine B1 dobiveni su sljedeći rezultati:**

0.0 - 6.0 metara

Glina visoke plastičnosti (CH), polučvrstog do čvrstog konzistentnog stanja, smeđe do žutosmeđe boje, s udjelom pijeska 4 %, koherentnih čestica 93 % i zanemarivim udjelom šljunka.

Broj udaraca SPT-a N = 35, pri čemu je ispitivanje vršeno šiljkom.

Vrijednosti parametara materijala odabranih temeljem provedenih istražnih radova za bušotinu B1 do dubine od 6,0 metara su:

Kohezija:	$c = 7.80 \text{ kPa}$
Kut unutarnjeg trenja:	$\varphi = 22.30^\circ$
Modul stišljivosti:	$M_k = 1.60 \text{ MPa}$
Zapreminska težina:	$\gamma = 17.00 \text{ kN/m}^3$

Prirodna vlažnost:	$w_0 = 35.15 \%$
Granica tečenja:	$w_L = 58.51 \%$
Granica plastičnosti:	$w_P = 30.34 \%$
Indeks plastičnosti:	$I_P = 28.17 \%$
Indeks konzistencije:	$I_C = 0.82$

#### 6.0 - 10.0 metara

Glina visoke plastičnosti (CH), polučvrstog do čvrstog konzistentnog stanja, sive boje, s udjelom pijeska 1 %, koherentnih čestica 99 % i zanemarivim udjelom šljunka.

Broj udaraca SPT-a  $N = 41$ , pri čemu je ispitivanje vršeno šiljkom.

Vrijednosti parametara materijala odabranih temeljem provedenih istražnih radova za bušotinu B1 do dubine od 10,0 metara su:

Zapreminska težina:	$\gamma = 18.00 \text{ kN/m}^3$
Prirodna vlažnost:	$w_0 = 28.67 \%$
Granica tečenja:	$w_L = 55.95 \%$
Granica plastičnosti:	$w_P = 26.97 \%$
Indeks plastičnosti:	$I_P = 28.97 \%$
Indeks konzistencije:	$I_C = 0.94$

#### ***Bušenjem bušotine B2 dobiveni su sljedeći rezultati:***

##### 0.0 - 8.0 metara

Glina visoke plastičnosti (CH), polučvrstog do čvrstog konzistentnog stanja, sivosmeđe do žutosmeđe boje, s udjelom pijeska do 1 %, koherentnih čestica od 99 do 100 % i sa zanemarivim udjelom šljunka.

Broj udaraca SPT-a  $N = 33$ , pri čemu je ispitivanje vršeno šiljkom.

Vrijednosti parametara materijala odabranih temeljem provedenih istražnih radova za bušotinu B2 do dubine od 8,0 metara su:

Kohezija:	$c = 7.70 - 10.00 \text{ kPa}$
Kut unutarnjeg trenja:	$\varphi = 22.70 - 26.70^\circ$
Modul stišljivosti:	$M_k = 1.60 - 1.70 \text{ MPa}$
Zapreminska težina:	$\gamma = 18.00 \text{ kN/m}^3$
Prirodna vlažnost:	$w_0 = 33.24 - 35.00 \%$
Granica tečenja:	$w_L = 56.97 - 62.17 \%$
Granica plastičnosti:	$w_p = 29.29 - 31.42 \%$
Indeks plastičnosti:	$I_p = 27.68 - 30.75 \%$
Indeks konzistencije:	$I_c = 0.78 - 0.94$

#### 8.0 - 10.0 metara

Glina visoke plastičnosti (CH), polučvrstog do čvrstog konzistentnog stanja, sive boje, s udjelom šljunka 1 %, pijeska 1 % i koherentnih čestica 98 %.

Broj udaraca SPT-a  $N = 37$ , pri čemu je ispitivanje vršeno šiljkom.

Vrijednosti parametara materijala odabranih temeljem provedenih istražnih radova za bušotinu B2 do dubine od 10,0 metara su:

Zapreminska težina:	$\gamma = 18.00 \text{ kN/m}^3$
Prirodna vlažnost:	$w_0 = 27.69 \%$
Granica tečenja:	$w_L = 56.13 \%$
Granica plastičnosti:	$w_p = 27.34 \%$
Indeks plastičnosti:	$I_p = 28.79 \%$
Indeks konzistencije:	$I_c = 0.98$

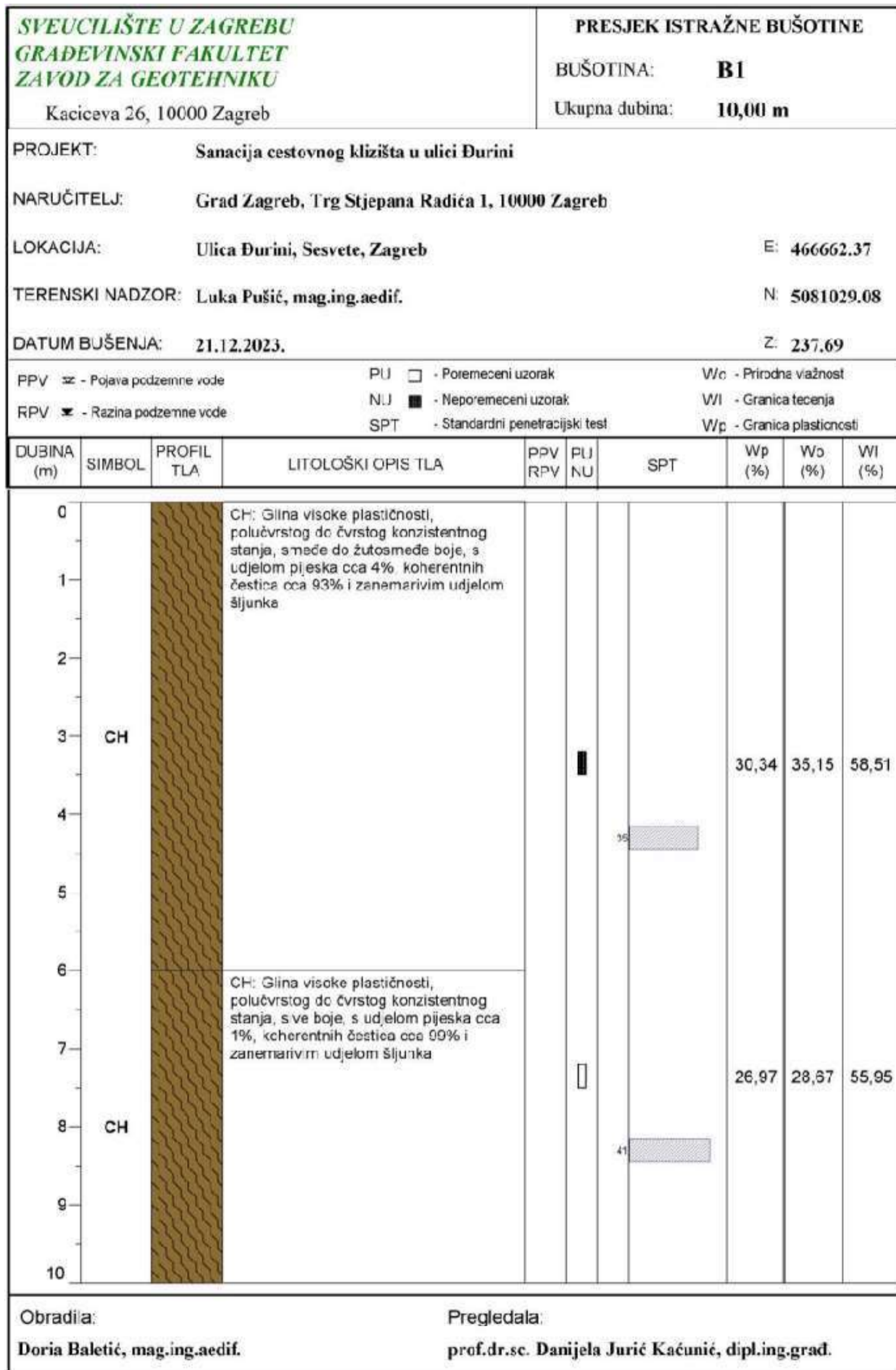
U oba slučaja nije zabilježena razina podzemne vode za vrijeme bušenja.



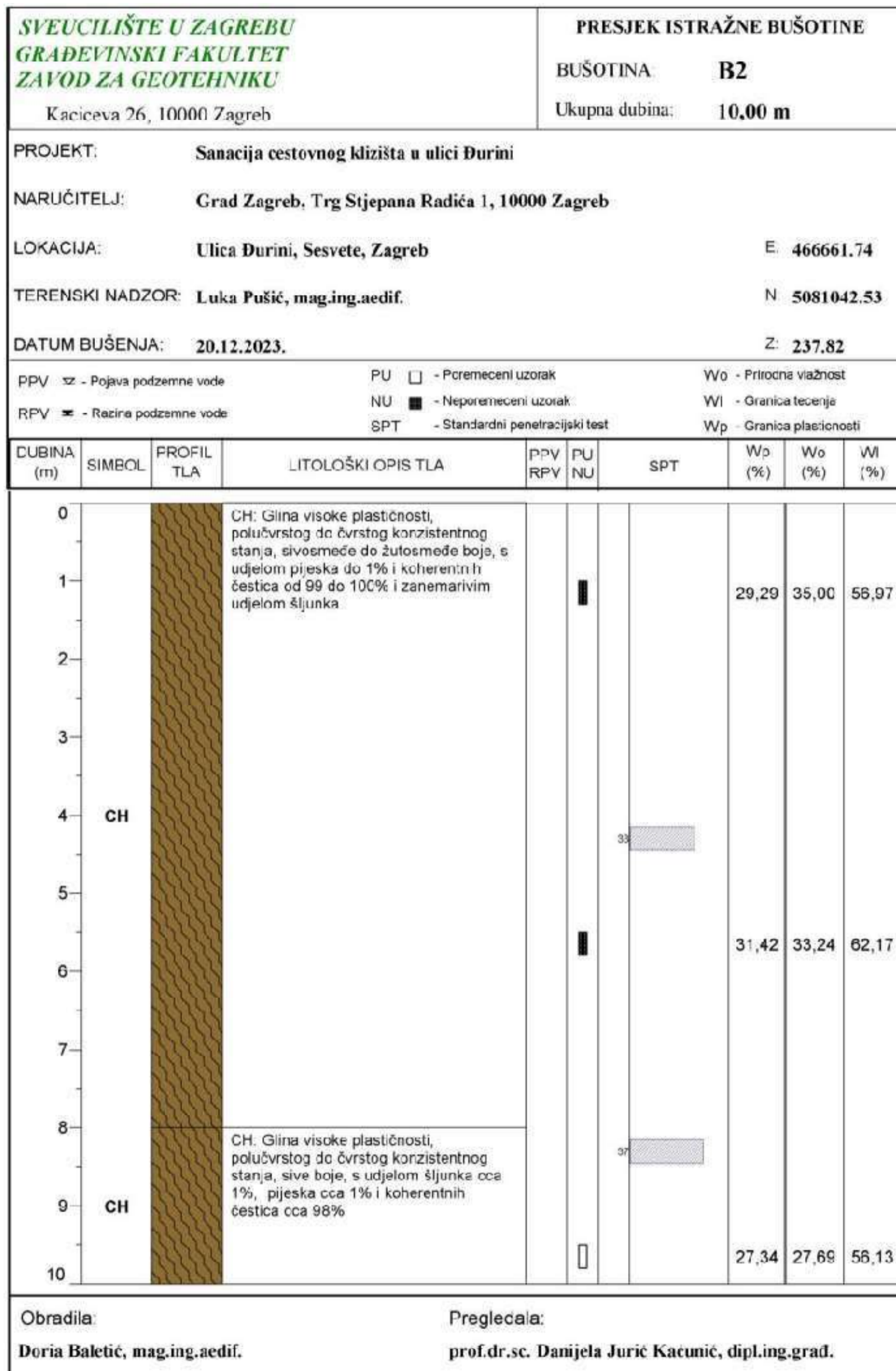
Slika 9 Fotodokumentacija istražne bušotine B1 (Izvor: [1])



Slika 10 Fotodokumentacija istražne bušotine B2 (Izvor: [1])



Slika 11 Presjek istražne bušotine B1 (Izvor: [1])



Slika 12 Presjek istražne bušotine B2 (Izvor: [1])

Tablica 3: Rezultati klasifikacijskih pokusa (Izvor: [1])

Bušotina	Dubina [m]	$w_0$ [%]	$w_L$ [%]	$w_p$ [%]	$I_p$ [%]	$I_c$	Granulometrijski sastav			Simbol
							63-2 mm	2-0,063 mm	<0,063mm	
B1	3,20-3,50	35,15	58,51	30,34	28,17	0,82	0,04	3,67	96,28	CH
	7,20-7,50	28,67	55,95	26,97	28,97	0,94	0,09	0,46	99,45	CH
B2	1,00-1,30	35,00	56,97	29,29	27,68	0,78	0,12	1,18	98,70	CH
	5,50-5,80	33,24	62,17	31,17	30,75	0,94	0,00	0,09	99,91	CH
	9,50-9,80	27,69	56,13	27,34	28,79	0,98	1,17	0,52	98,31	CH

Tablica 4: Mehaničke karakteristike tla (Izvor: [1])

Bušotina	Dubina [m]	$\rho$ [Mg/m <sup>3</sup> ]	$\rho_d$ [Mg/m <sup>3</sup> ]	$\rho_s$ [Mg/m <sup>3</sup> ]	Izravni posmik		Modul stišljivosti					Simbol
					$c$ [kPa]	$\varphi$ [°]	$M_{k50}$ [MPa]	$M_{k100}$ [MPa]	$M_{k200}$ [MPa]	$M_{k400}$ [MPa]	$M_{k800}$ [MPa]	
B1	3,20-3,50	1,70	1,26	2,67	7,80	22,30	1,60	4,30	5,90	8,70	14,40	CH
	7,20-7,50											CH
B2	1,00-1,30	1,84	1,37	2,68	7,70	22,70	1,60	4,80	6,00	10,10	15,50	CH
	5,50-5,80	1,82	1,37	2,68	10,00	26,70	2,60	7,30	8,10	13,10	21,50	CH
	9,50-9,80											CH

#### 4.2. Karakteristične vrijednosti parametara tla

Bušenjem bušotina B1 i B2 dobivaju se rezultati koji upućuju na to da se radi o istim slojevima prepoznatim na različitim dubinama u svakoj od bušotina. Detektirane su visokoplastične gline sličnih karakteristika u oba slučaja.

##### *Glina visoke plastičnosti (CH) – gornji sloj*

Kohezija dobivena laboratorijskim ispitivanjem izravnim posmikom – za proračune se koristi:

$$c = 7.80 \text{ kPa.}$$



Kut trenja dobiven laboratorijskim ispitivanjem izravnim posmikom – za proračune se koristi:  $\varphi = 22.70^\circ$ .

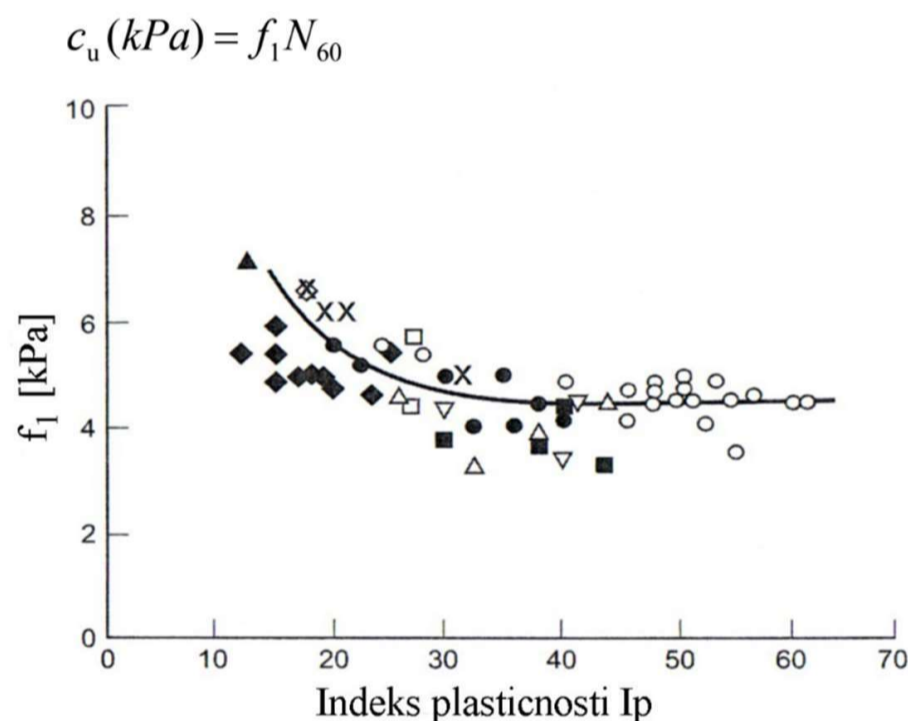
Modul stišljivosti dobiven laboratorijskim ispitivanjem edometarskim pokusom – za proračune se koristi:  $M_k = 1.60 \text{ MPa} = 1600 \text{ kPa}$

Zapreminska težina dobivena istražnim bušenjem – za proračune se koristi:  $\gamma = 17.5 \text{ kN/m}^3$ .

Nedrenirana čvrstoća  $c_u$  određena je odnosom indeksa plastičnosti  $I_p$  i broja udaraca SPT-a dobivenih na terenu (slika 13).

$I_p = 28.17 \%$  ;  $N = 34$

Očitana vrijednost  $f_1 = 4.8$ . Korištenjem očitane vrijednosti koeficijenta  $f_1$  i formule prikazane na slici 11, zajedno s poznatim brojem udaraca SPT-a, dobiva se vrijednost nedrenirane posmične čvrstoće – za proračune se koristi:  $c_u = 163.2 \text{ kPa}$ .



Slika 13 Preporuke za određivanje nedrenirane čvrstoće gline [Clayton, 1995.]

Poissonov koeficijent je parametar čija se vrijednost uglavnom može procijeniti, a ima manji utjecaj na proračunske rezultate ukoliko se vrijednosti odaberu unutar preporučenih granica: za gline i prahove uzima u rasponu od 0.3 do 0.4 – za proračune se koristi  $\nu = 0.35$ .

Edometarskim pokusom u laboratoriju dobiven je modul stišljivosti koji iznosi  $M_k = 1.6 \text{ MPa} = 1600 \text{ kPa}$ , a Youngov modul elastičnosti dobiva se preko modula stišljivosti i Poissonovog koeficijenta niže navedenom formulom:

$$E = \frac{M_v \cdot (1 - 2\nu)(1 + \nu)}{(1 - \nu)}$$

Za proračune se koristi:  $E = 997 \text{ kPa} = 0.997 \text{ MPa} = 1 \text{ MPa}$

**Table 4.1 TYPICAL PERMEABILITY VALUES FOR SOILS**

	$10^{-11}$	$10^{-10}$	$10^{-9}$	$10^{-8}$	$10^{-7}$	$10^{-6}$	$10^{-5}$	$10^{-4}$	$10^{-3}$	$10^{-2}$	$10^{-1}$	1
	m/s											
Coefficient of permeability (log scale)	$10^{-9}$	$10^{-8}$	$10^{-7}$	$10^{-6}$	$10^{-5}$	$10^{-4}$	$10^{-3}$	$10^{-2}$	$10^{-1}$	1	10	100
	cm/s											
	$10^{-10}$	$10^{-9}$	$10^{-8}$	$10^{-7}$	$10^{-6}$	$10^{-5}$	$10^{-4}$	$10^{-3}$	$10^{-2}$	$10^{-1}$	1	
	ft/s											
Permeability:	Practically impermeable		Very low		Low		Medium		High			
Drainage conditions:	Practically impermeable			Poor			Good					
Typical soil groups:			GC→	GM→		SM		SW→		GW→		
			CH	SC	SM-SC			SP→		GP→		
			MH	MC-CL								
Soil types:	Homogeneous clays below the zone of weathering		Silts, fine sands, silty sands, glacial till, stratified clays				Clean sands, sand and gravel mixtures			Clean gravels		
			Fissured and weathered clays and clays modified by the effects of vegetation									

Note: the arrow adjacent to group classes indicates that permeability values can be greater than the typical value shown.

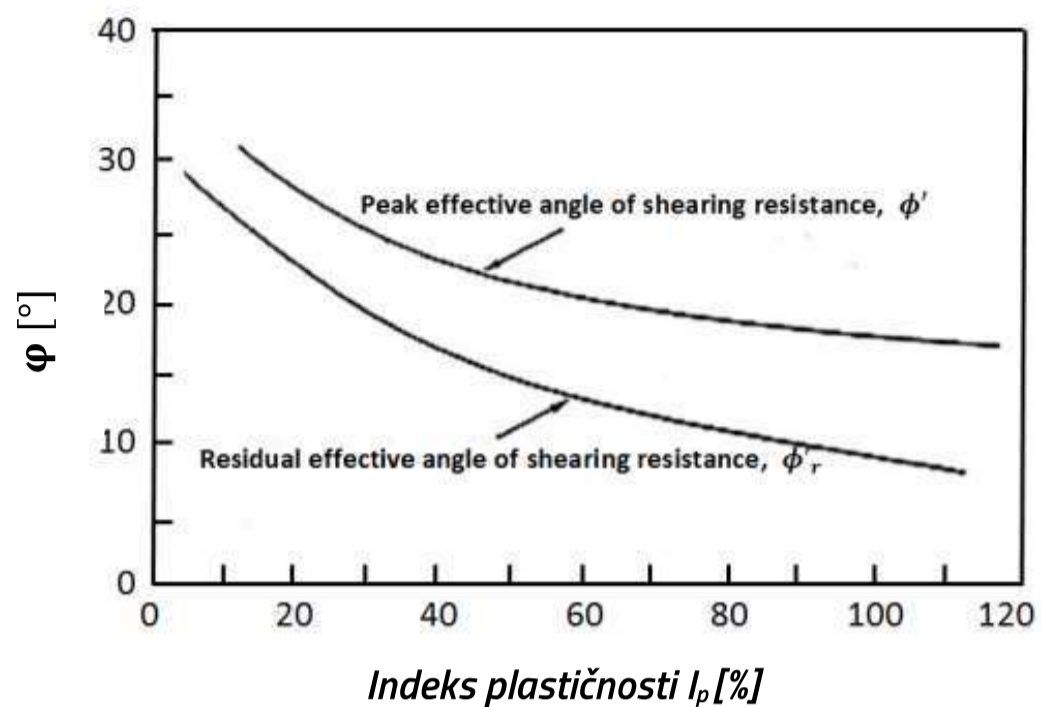
Slika 14 Tablica preporuka za odabir koeficijenta propusnosti (Izvor: [7])

Iznos koeficijenta propusnosti se dobiva iz tablica preporuka za odabir koeficijenta propusnosti (slika 14) – za proračune se uzima  $k = 1 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$

### ***Glina visoke plastičnosti (CH) – donji sloj***

Kohezija dobivena iz preporuka za odabir geotehničkih parametara tla [6] – za proračune se koristi:  $c = 10 \text{ kPa}$ .

Prema Gibsonovom dijagramu (slika 15) za kut unutarnjeg trenja uzima se  $\varphi = 24.5^\circ$ .



Slika 15 Odnos kuta unutarnjeg trenja i indeksa plastičnosti [Gibson, 1953.]

Zapreminska težina dobivena istražnim bušenjem – za proračune se koristi:  $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ .

Nedrenirana čvrstoća  $c_u$  određena je odnosom indeksa plastičnosti  $I_p$  i broja udaraca SPT-a dobivenih na terenu (slika 13.).

$$I_p = 28.88 \% ; N = 39$$

Očitana vrijednost  $f_1 = 4.8$ . Korištenjem očitane vrijednosti koeficijenta  $f_1$  i formule prikazane na slici 11, zajedno s poznatim brojem udaraca SPT-a, dobiva se vrijednost nedrenirane posmične čvrstoće – za proračune se koristi:  $c_u = 187.2 \text{ kPa}$ .

Poissonov koeficijent je parametar čija se vrijednost uglavnom može procijeniti, a ima manji utjecaj na proračunske rezultate ukoliko se vrijednosti odaberu unutar preporučenih granica: za gline i prahove uzima u rasponu od 0.3 do 0.4 – za proračune se koristi  $\nu = 0.35$ .

Modul  $E_s$  na slici 13 predstavlja sekantni deformacijski modul sa spriječenim bočnim širenjem, tj. modul stišljivosti  $M_k$ .

$$M_k = 13500 \text{ kPa} = 13.5 \text{ MPa}.$$

**Equations for stress-strain modulus  $E_s$  by several test methods**

$E_s$  in kPa for SPT and units of  $q_c$  for CPT; divide kPa by 50 to obtain ksf. The  $N$  values should be estimated as  $N_{55}$  and not  $N_{70}$ . Refer also to Tables 2-7 and 2-8.

Soil	SPT	CPT
Sand (normally consolidated)	$E_s = 500(N + 15)$ $= 7000 \sqrt{N}$ $= 6000N$ — — — $\ddagger E_s = (15\,000 \text{ to } 22\,000) \cdot \ln N$	$E_s = (2 \text{ to } 4)q_u$ $= 8000 \sqrt{q_c}$ — — — $E_s = 1.2(3D_r^2 + 2)q_c$ $*E_s = (1 + D_r^2)q_c$
Sand (saturated)	$E_s = 250(N + 15)$	$E_s = Fq_c$ $e = 1.0 \quad F = 3.5$ $e = 0.6 \quad F = 7.0$
Sands, all (norm. consol.)	$\P E_s = (2600 \text{ to } 2900)N$	
Sand (overconsolidated)	$\dagger E_s = 40\,000 + 1050N$ $E_{s(\text{OCR})} \approx E_{s,nc} \sqrt{\text{OCR}}$	$E_s = (6 \text{ to } 30)q_c$
Gravelly sand	$E_s = 1200(N + 6)$ $= 600(N + 6) \quad N \leq 15$ $= 600(N + 6) + 2000 \quad N > 15$	
Clayey sand	$E_s = 320(N + 15)$	$E_s = (3 \text{ to } 6)q_c$
Silts, sandy silt, or clayey silt	$E_s = 300(N + 6)$	$E_s = (1 \text{ to } 2)q_c$
	If $q_c < 2500$ kPa use ${}^{\S} E'_s = 2.5q_c$ 2500 < $q_c$ < 5000 use $E'_s = 4q_c + 5000$ where $E'_s = \text{constrained modulus} = \frac{E_s(1 - \mu)}{(1 + \mu)(1 - 2\mu)} = \frac{1}{m_0}$	
Soft clay or clayey silt		$E_s = (3 \text{ to } 8)q_c$

Slika 16 Jednadžbe za dobivanje modula stišljivosti pomoću broja udaraca SPT-a (Izvor: [6])

Za proračune se koristi  $E = 8411.5 \text{ kPa} = 8.4 \text{ MPa}$

Iznos koeficijenta propusnosti dobiva se iz tablica preporuka za odabir koeficijenta propusnosti – za proračune se uzima  $k = 1 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$

Tablica 5: Sumarna tablica karakterističnih vrijednosti parametara tla

Sloj	$c_k$ [kPa]	$\varphi_k$ [°]	E [kPa]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c_{uk}$ [kPa]	$\nu$	k [m/s]
CH (gornji sloj)	7.80	22.70	997	17.5	163.2	0.35	$1 \cdot 10^{-9}$
CH (donji sloj)	10	24.5	8411	18	187.2	0.35	$1 \cdot 10^{-9}$

**Zamjensko tlo – nekoherentno tlo**

Za zamjenu tla pokosa odabrano je nekoherentno tlo zapreminske težine  $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ , kuta unutarnjeg trenja  $\varphi = 42^\circ$  i kohezije  $c = 0 \text{ kPa}$ .

**4.3. Proračunske vrijednosti parametara tla**

Proračunski parametri materijala dobiveni su tako da su karakteristične vrijednosti parametara podijeljene s pripadajućim parcijalnim faktorom. Za koheziju parcijalni faktor iznosi 1.25, za kut trenja  $\varphi \text{ arc tg} = \frac{\text{tg } \varphi k'}{1,25}$ , te za nedreniranu čvrstoću  $c_u$  parcijalni faktor iznosi 1.4.

Tablica 6: Sumarna tablica proračunskih vrijednosti parametara tla

Sloj	$c_d$ [kPa]	$\varphi_d$ [°]	E [kPa]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c_{ud}$ [kPa]	$\nu$	k [m/s]
CH (gornji sloj)	6.24	18.5	997	17.5	116.6	0.35	$1 \cdot 10^{-9}$
CH (donji sloj)	8	20.03	8411	18	133.71	0.35	$1 \cdot 10^{-9}$

## 5. GEOTEHNIČKI PRORAČUNI

Nakon provedbe geotehničkih istražnih radova, na lokaciji se uspostavlja karakteristični geotehnički profil tla koji se sastoji od gline visoke plastičnosti sa zanemarivim udjelom šljunka.

Kao optimalno rješenje ovog problema odabrana je sanacija klizišta izvedbom pilotne stijene čije su karakteristike opisane u nastavku. Sanacija obuhvaća dvije zone – Zonu A i Zonu B, prikazano slikom 17. Predviđena ukupna duljina pilotne stijene iznosi približno 44 metra.



Slika 17 Zone sanacije u ulici Đurini (Izvor: [1])

### 5.1. Dimenzioniranje pilotne stijene

Prvi korak izračuna odnosi se na vrijednosti  $f_{CD}$ ,  $f_{YD}$  i površinu poprečnog presjeka pilota:

$$f_{CD} = 1.0 \cdot \frac{30}{1.5} = 20 \text{ N/mm}^2 = 2 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{YD} = \frac{500}{1.15} = 434.78 \text{ N/mm}^2 = 43.478 \text{ kN/cm}^2$$

$$A_C = \frac{d^2 \pi}{4} = \frac{0,4^2 \pi}{4} = 0,126 \text{ m}^2 = 1260 \text{ cm}^2$$

Na temelju dobivenih vrijednosti moguće je odrediti mehanički koeficijent armiranja koji iznosi  $\omega = 0.05 - 1.00$ . Za proračune se u ovom slučaju koristi 0.15. Stoga se prelazi se na izračun potrebne, minimalne i maksimalne uzdužne armature.

$$A_S = \omega \cdot \frac{f_{CD}}{f_{YD}} \cdot A_C = 0,15 \cdot \frac{2}{43,478} \cdot 1260 = 8,69 \text{ cm}^2$$

$$A_{S, MIN} = 0,0025 \cdot A_C = 0,0025 \cdot 1260 = 3,15 \text{ cm}^2$$

$$A_{S, MIN, POTRES} = 0,01 \cdot A_C = 0,01 \cdot 1260 = 12,6 \text{ cm}^2$$

$$A_{S, MAX} = 0,04 \cdot A_C = 0,04 \cdot 1260 = 50,4 \text{ cm}^2$$

Minimalna armatura koja u ovom slučaju iznosi  $A_{S, MIN} = 12,6 \text{ cm}^2$ . Za tu površinu odabrano je 8 šipki promjera 18 milimetra za uzdužnu armaturu:

$$6\emptyset 18 (A_S = 15,26 \text{ cm}^2 > A_{S, REQ} = 12,6 \text{ cm}^2)$$

Provjera:  $\rho_{min} = \frac{A_S}{A_C} \geq 0,01$

$$\rho_{min} = \frac{15,26}{1260} = 0,012 \geq 0,01$$

Za potrebe poprečnog armiranja pilota odabrana je spiralna armatura profila  $\emptyset 10$ . Po cijeloj dužini pilota razmak između šipki je jednak.

$$s_{cl,t} = 12 \cdot \emptyset_S = 12 \cdot 1,25 = 15 \text{ cm}$$

$$\emptyset 10 \text{ mm} / 15 \text{ cm}$$

Za armaturu zida koristi se armaturna mreža Q785 zbog pružanja dodatne otpornost na savijanje i smicanje, čime se povećava trajnost konstrukcije.

Prema preporukama, minimalni postotak armature za betonske naglavnu gredu iznosi 0.2 % - 0,3 % površine presjeka.

Površina presjeka:

$$A_C = b \cdot h = 65 \cdot 60 = 3900 \text{ m}^2$$

Minimalna potrebna armatura (0.2 %):

$$A_{S, MIN} = 0.002 \cdot A_C = 0.002 \cdot 3900 = 7.8 \text{ cm}^2$$

Maksimalna količina armature može biti približno 4% površine presjeka.

Maksimalna potrebna armatura (4 %):

$$A_{S, MIN} = 0.04 \cdot A_C = 0.002 \cdot 3900 = 156 \text{ cm}^2$$

Pravilno dimenzioniranje i raspored armaturnih šipki ključni su za osiguranje dugotrajnosti i sigurnosti konstrukcije. Kao što je ponuđeno proračunom, za naglavnu gredu dimenzija 65 cm × 60 cm, preporuča se minimalno korištenje armature od oko 7.8 cm<sup>2</sup>, dok se maksimalno može koristiti 156 cm<sup>2</sup>, ovisno o zahtjevima i uvjetima opterećenja.

Za glavnu armaturu odabire se 5Ø18 mm (12.75 cm<sup>2</sup>), te poprečnu Ø10 mm/15 cm.

## 5.2. Zona A

Zona A obuhvaća uklanjanje pukotina vidljivih na tom dijelu prometnice i nasipa ukupne duljine 21 metar, čime se obuhvaća zona klizišta u duljini od 10 metara, te jedan dio prometnice i nasipa od otprilike 5 metara prije i poslije promatrane nestabilnosti, gledano uzduž ceste. Iskop se odvija u širini prometnice, a započinje na udaljenosti od 50 centimetara od pribrežne padine s nagibom od 2:1 te stepenicom širine 0.5 metara koja se prostire po sredini visine nasipa. Iskopana površina se zbija, a zatim se postavlja separacijski geotekstil koji ima višestruku zadaću. Nakon uklanjanja postojeće nestabilnosti, ugrađuje se zamjensko tlo (granulacija 0–63 mm, zbijenost  $M_s \geq 40 \text{ MN/m}^2$ ), a potom se pristupa izvedbi armiranobetonskih (AB) pilota. Ovom dionicom obuhvaćeni su piloti P13 – P38.

Konstrukcija AB pilota, odnosno stijene, pozicioniran je tako da rub stijene prati marginu k.č. 1560. Za postizanje drenaže, u sklopu pilotne stijene izvode se procjednice duljine 150 centimetara.

Postavljeni piloti u ovoj zoni su promjera Ø40 cm, duljine 7 metara, na međusobnom osnom razmaku od 80 cm. Piloti se izvode svrdlanjem, odnosno CFA postupkom (CFA piloti izvode se bušenjem s pomoću beskonačne spirale u jednom koraku) i betoniraju betonom klase C30/37. Korištena je armatura B500A 6Ø18 mm (glavna), te B500A spirala Ø10 mm/15 cm



(poprečna). Po završetku izvedbe pilota, zasijeca se tlo ispred njih, uz ostavljanje dijela nasipa u visini od 1 metar u nožici pribrežne padine zbog pozitivnog utjecaja na stabilnost, pa zatim postavlja plato za izvedbu zida (175 cm × 5 cm, beton klase C30/37, armaturna mreža Q785) i naglavne grede (dimenzija 65 × 60 cm, beton klase C30/37, glavna armatura B500A 5Ø18 mm (glavna) te poprečna B500A Ø10 mm/15 cm). Sva predviđena povoljna, nepovoljna, stalna ili povremena opterećenja preuzimaju piloti i naglavna greda, dok je prednji zid povezan naglavnom gredom predviđen za sprječavanje erozije i osipanje materijala iza pilotne stijene.

Nakon izvedbe radova sanacijom nestabilnosti, odnosno nakon nasipavanja i ugradnje nevezanog sloja prometnice, kreće se s rekonstrukcijom prometnice što podrazumijeva zbijanje novog zamjenskog nosivog sloja od nevezanog kamenog nabačaja na modul krutosti  $M_s > 100$  MPa, te ugradnju novog habajućeg sloja asfalta u širini ranije odstranjenog.

Zatim se, po izvođenju pilota, zida i naglavne grede, na nasip ispred pilota redom postavljaju separacijski geotekstil, humus debljine 20 centimetara, geotekstil protiv erozije (klinovima učvršćen za nasip), te se vrši biosjetva ostavljenog dijela nasipa.

### **5.3. Zona B**

Zona B obuhvaća sanaciju preostalog dijela predmetnog zahvata, prikazano na slici 17. Ukupna duljina tog dijela iznosi približno 22 metra (otprilike 9 metara ispred zone A i 13 m nakon). Ne vrši se zamjena materijala nasipa zamjenskim tlom potrebnih karakteristika, već zamjena nosivog sloja prometnice izvedbom novog asfalta. Kreće se s izvedbom pilota promjera Ø40 cm na razmaku od 0.8 m. Radi optimizacije troškova, duljine pilota prilagođene su konfiguraciji terena. Stoga je odabrano da duljina pilota P1 – P4 iznosi 4 metra, piloti P5 – P8 izvode se u duljini od 5 metara te šestmetarski piloti P9 – P12. Piloti P13 – P55 su duljine 7 m. Betoniranje i armiranje pilota i naglavne grede ove zone jednaki su radovima betoniranja i armiranja zone A. Vegetacija i materijal pribrežnog pokosa ostaju u zatečenom stanju, stoga nije potrebna izvedba zaštitnog zida ispred pilotne stijene. Zbog drenaže pilotne stijene izvode se procjednice duljine 300 centimetara.

Nakon izvedbe radova sanacijom nestabilnosti, odnosno nakon nasipavanja i ugradnje nevezanog sloja prometnice, kreće se s rekonstrukcijom prometnice što podrazumijeva zbijanje novog zamjenskog nosivog sloja od nevezanog kamenog nabačaja do krutosti  $M_s > 100$  MPa, te ugradnju novog habajućeg sloja asfalta u širini ranije odstranjenog.

S ciljem praćenja kvalitete izvedbe, te verifikacije odabranog projektnog rješenja, predviđa se program mjerenja i opažanja koji uključuje: ispitivanje cjelovitosti pilota PIT (Pile Integrity Test) metodom - neinvazivna metoda kojom se detektira eventualni prekid cjelovitosti pilota na temelju povratnih zvučnih valova koji putuju kroz pilot, inklinometarska mjerenja – mjerenja horizontalnih pomaka, kao i mjerenje pomaka geodetskim reperima – mjerenje pomaka površine tla i objekata na površini (više u nastavku rada). [8]

#### 5.4. Vertikalni i horizontalni seizmički koeficijent

Zadana vrijednost iz baze :

$$T_p = 475 \text{ godina: } a_{g,R} = 0,262 \cdot g$$

Klasa tla	Opis tla	Parametri		
		$V_{s,30}$ [m/s]	$N_{60}$ [udaraca]	$C_u$ [kPa]
<b>A</b>	Stijena ili stijenski materijal, uključujući najviše 5 m trošne zone od površine terena	> 800	-	-
<b>B</b>	Depozit vrlo zbijenog pijeska, šljunka ili vrlo krute gline debljine najmanje nekoliko desetaka metara, karakteriziran povećanjem mehaničkih svojstava po dubini	360 – 800	> 50	> 250
<b>C</b>	Depoziti dobro zbijenog ili srednje zbijenog pijeska, šljunka ili krute gline, debljine sloja od nekoliko desetaka do nekoliko stotina metara	180 – 360	15 – 50	70 – 250
<b>D</b>	Nekoherentni depoziti, slabe do srednje zbijenosti (sa ili bez prisutnosti mekih koherentnih slojeva), ili pretežno meko do kruto kohezivno tlo.	< 180	< 15	< 70
<b>E</b>	Profil tla čini aluvij sa vrijednostima "Vs" brzina posmičnih valova od tipa tla C i D kojemu debljina sloja varira od 5 – 20m, ispod kojeg leži kruti materijal sa minimalno brzinom posmičnih valova od $V_s > 800 \text{ m/s}$ .	-	-	-

Slika 18 Tablica za određivanje klase tla (Izvor: [6])

Uspoređujući karakteristike materijala dobivene s pomoću istražnih bušotina s tablicom sa slike 18, klasa tla za određivanje vertikalnog i horizontalnog seizmičkog koeficijenta je klasa C – depozit dobro zbijenog ili srednje zbijenog pijeska, šljunka ili krute gline, debljine sloja od nekoliko desetaka do nekoliko stotina metara.

Iz tablice sa slike 19 odabran je koeficijent  $S=1,15$ .

Klasa tla	S	$T_{B(s)}$	$T_{C(s)}$	$T_{D(s)}$
<b>A</b>	1.0	0.15	0.4	2.0
<b>B</b>	1.2	0.15	0.5	2.0
<b>C</b>	1.15	0.20	0.6	2.0
<b>D</b>	1.35	0.20	0.8	2.0
<b>E</b>	1.4	0.15	0.5	2.0

Slika 19 Tablica za određivanje koeficijenta S pomoću klase tla (Izvor: [6])

Iz tablice sa slike 20 odabran je koeficijent  $r = 1$ .

Vrsta temeljne konstrukcije	r
Gravitacijski zidovi koji mogu prihvatiti slijeganja do $d_r=300 \times \alpha \times S$ [mm]	2.0
Gravitacijski zidovi koji mogu prihvatiti slijeganja do $d_r=200 \times \alpha \times S$ [mm]	1.5
Savitljivi armirano-betonski zidovi, sidreni ili razupirani zidovi, armirano-betonski zidovi na pilotima, upeti podrumski zidovi i upornjaci mostova	1.0

Slika 20 Tablica za određivanje koeficijenta r prema vrsti temeljne konstrukcije (Izvor: [6])

$$\alpha = \frac{a_{g,R}}{g} = 0,262$$

$$k_h = \frac{\alpha \cdot S}{r} = \frac{0,262 \cdot 1,15}{1} = 0,3013$$

$$k_v = \pm \frac{1}{3} k_h = \pm 0,10043$$

### 5.5. Rezultati analiza stabilnosti

Za analizu stabilnosti klizišta u ulici Đurini koristio se računalni program GeoStudio tvrtke Bentley Systems koji je razvijen za analiziranje geotehničkih problema i projekata, odnosno

čiji se rad temelji na različitim principima analiza stabilnosti tla, protoka podzemne vode, te deformacija (slijeganja ili izdizanja) i drugih geotehničkih pojava. Program koristi metodu konačnih elemenata (korišteno za analizu stabilnosti kosina i potpornih građevina), te metodu granične ravnoteže (najčešći pristup za dvodimenzionalnu ili trodimenzionalnu analizu stabilnosti padine; metoda koja prepoznaje potencijalne mehanizme nestabilnosti i daje faktore sigurnosti za zadanu geotehničku situaciju). Za analizu projektne situacije bitno je dobro poznavati karakteristike tla i stijena, ali i materijala kojima se uvode preinake u postojeće stanje zatečeno na terenu. Moduli koji se mogu koristiti u sklopu programa su: SEEP/W, SIGMA/W, SLOPE/W, QUAKE/W, AIR/W, TEMP/W, CTRAN/W.

Hidrološke analize najčešće se provode koristeći modul SEEP/W koji, uzimajući u obzir zadane vrste tla i njihove različite karakteristike, simulira kretanje vode kroz tlo - ključno za procjenu stabilnosti i drenaže stvarnog stanja. Za analizu deformacija i naprezanja u tlu osmišljen je modul SIGMA/W (korišten za potrebe pisanja ovog rada), koji omogućava procjenu naprezanja u tlu, tj. razumijevanje kako se tlo ponaša pod različitim opterećenjima, što je ključno za projektiranje temelja i drugih struktura. Modul SLOPE/W (također korišten za pisanje ovog rada) temelji se na metodi granične ravnoteže za analizu stabilnosti kosina.

Upravo su zato detaljno odrađeni proračuni odabira parametara tla navedeni ranije u ovom radu na temelju rezultata terenskih i laboratorijskih istraživanja.

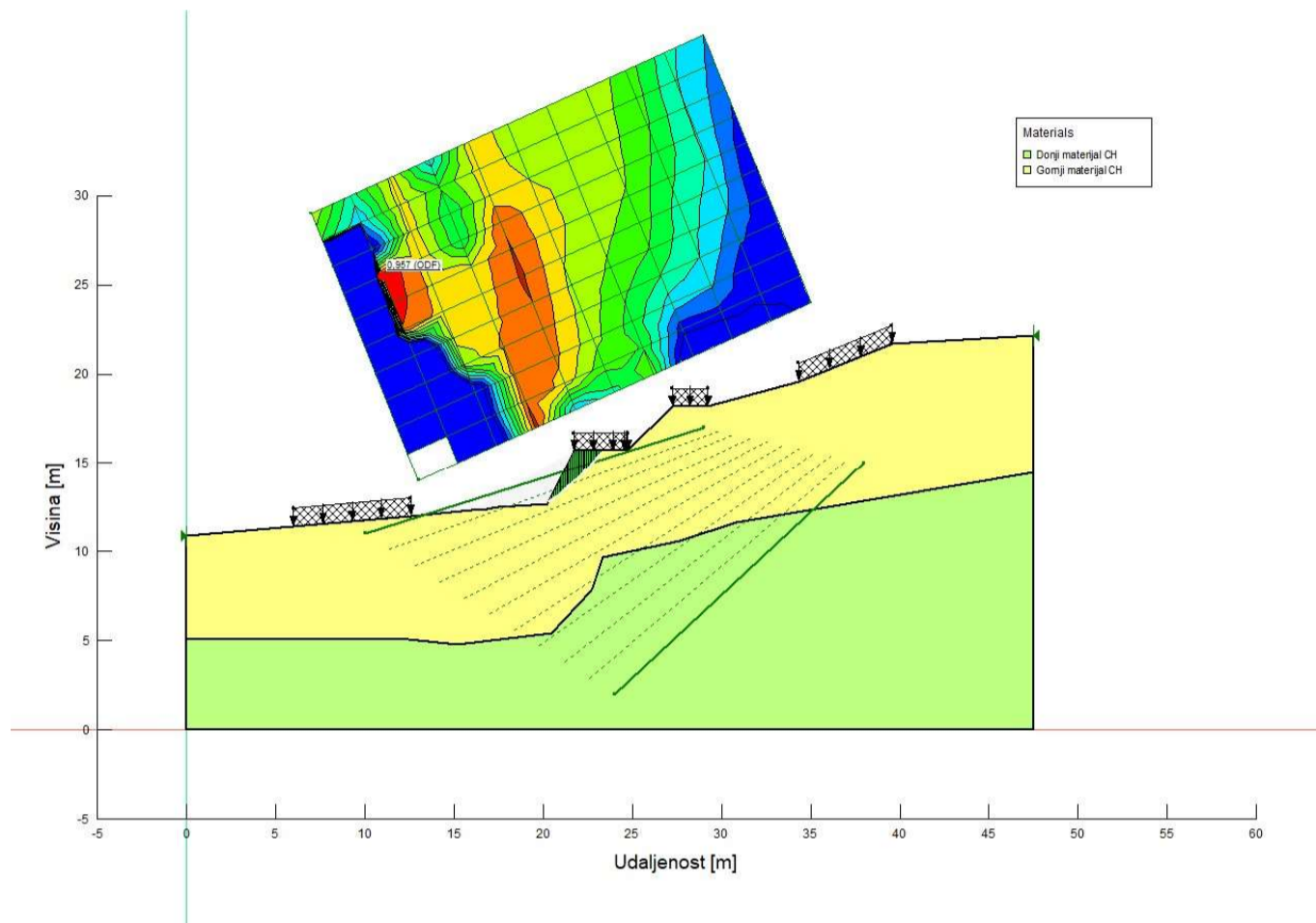
Dodatno, na poprečni presjek analiziranog profila postavlja se stalno opterećenje od kuća na pribrežnoj i nizbrežnoj padini od 10 kPa (odabrano iz preporuka za vrijednosti opterećenja), te promjenjivo opterećenje cestovnog prometa u iznosu od 15 kPa. Karakteristike potpornog pilotnog zida navedene su u 5.1. i 5.2. dijelu ovog poglavlja. Za modul elastičnosti pilota uzeta je vrijednost  $E = 30 \cdot 10^6$  kPa.

Za definiranje kritične klizne plohe primjenjuje se Morgensten-Priceova metoda.

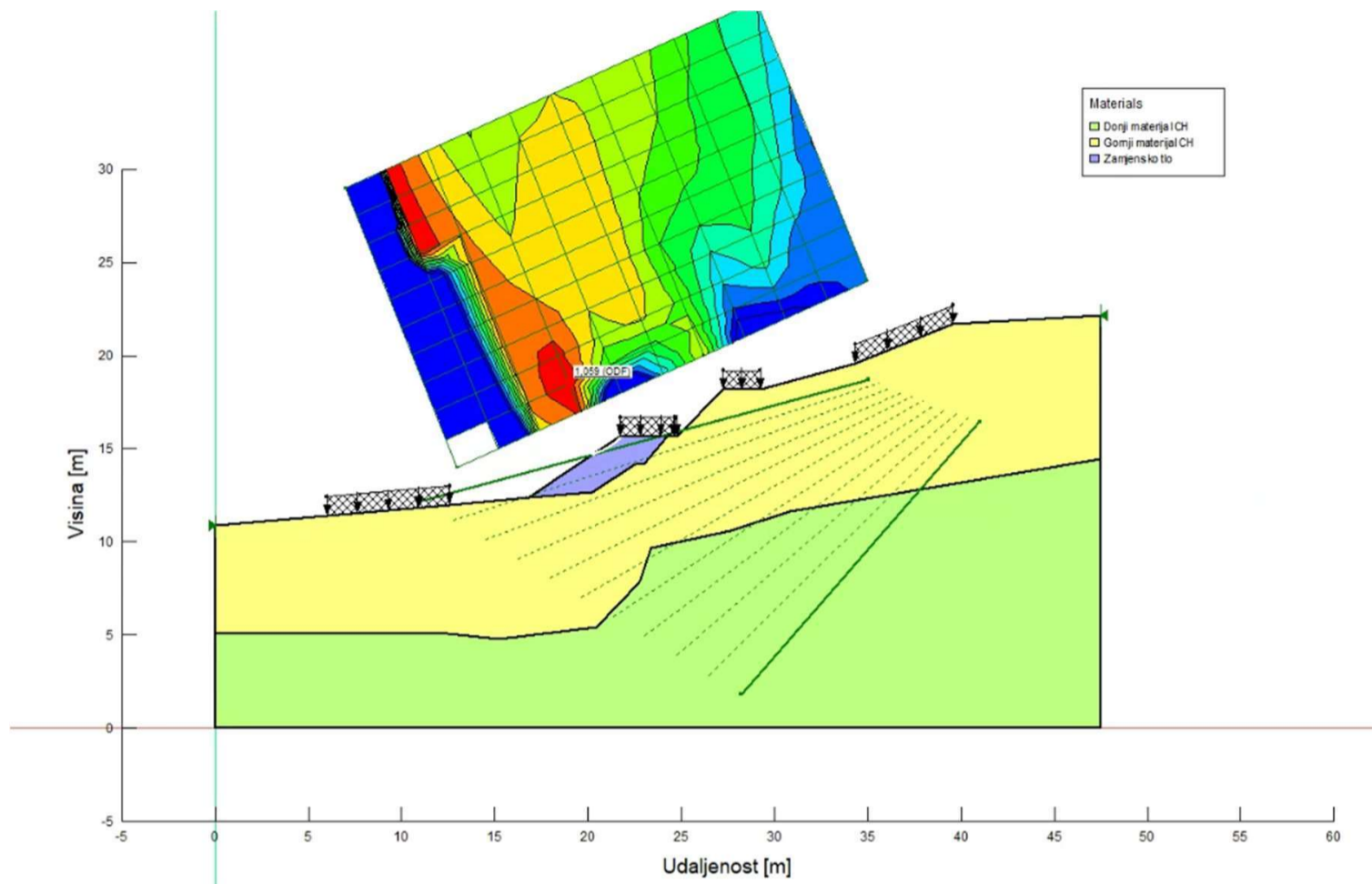
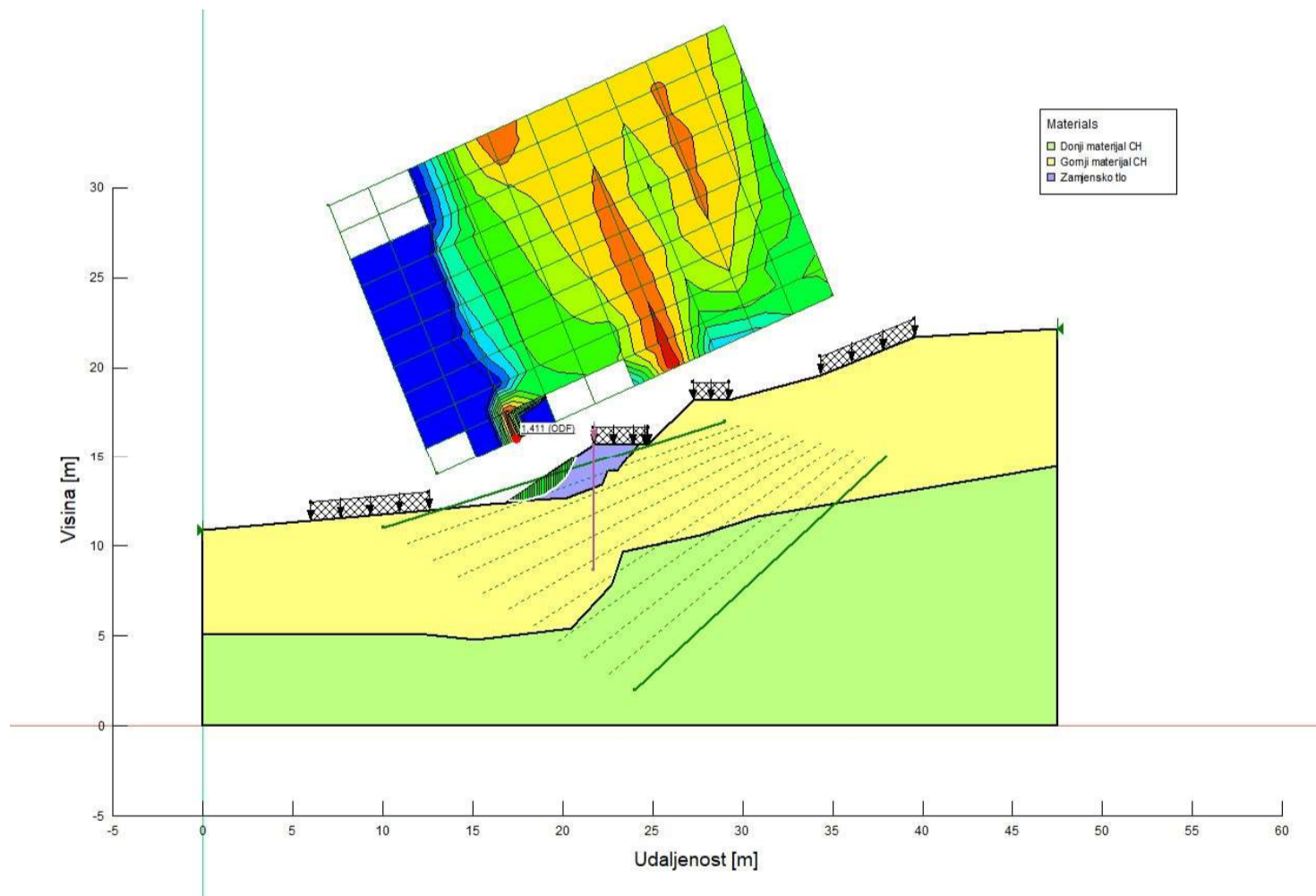
Metodom Grid and Radius tražene su potencijalne nestabilnosti globalno, iznad i ispod pokosa.

U modulu SLOPE/W koriste se karakteristične vrijednosti parametara, te Eurocod 7, PP3 za primjenu parcijalnih faktora u proračunima. Za modul SIGMA/W koriste se proračunske vrijednosti, s već umanjenim vrijednostima s obzirom na potrebni parcijalni faktor (za koheziju iznosi 1.25, za kut trenja  $\varphi$   $\text{arc tg} = \frac{\text{tg } \varphi k_1}{1,25}$ , te za nedreniranu čvrstoću  $c_u$  parcijalni faktor iznosi 1.4).

Slika 21 prokazuje početno stanje naprezanja zatečeno na terenu gdje se uočava nezadovoljavajući faktor sigurnosti padine  $F_s = 0,957$  ( $F_s < 1$ ) što se pokazalo istinitim jer se aktiviralo predmetno klizište.

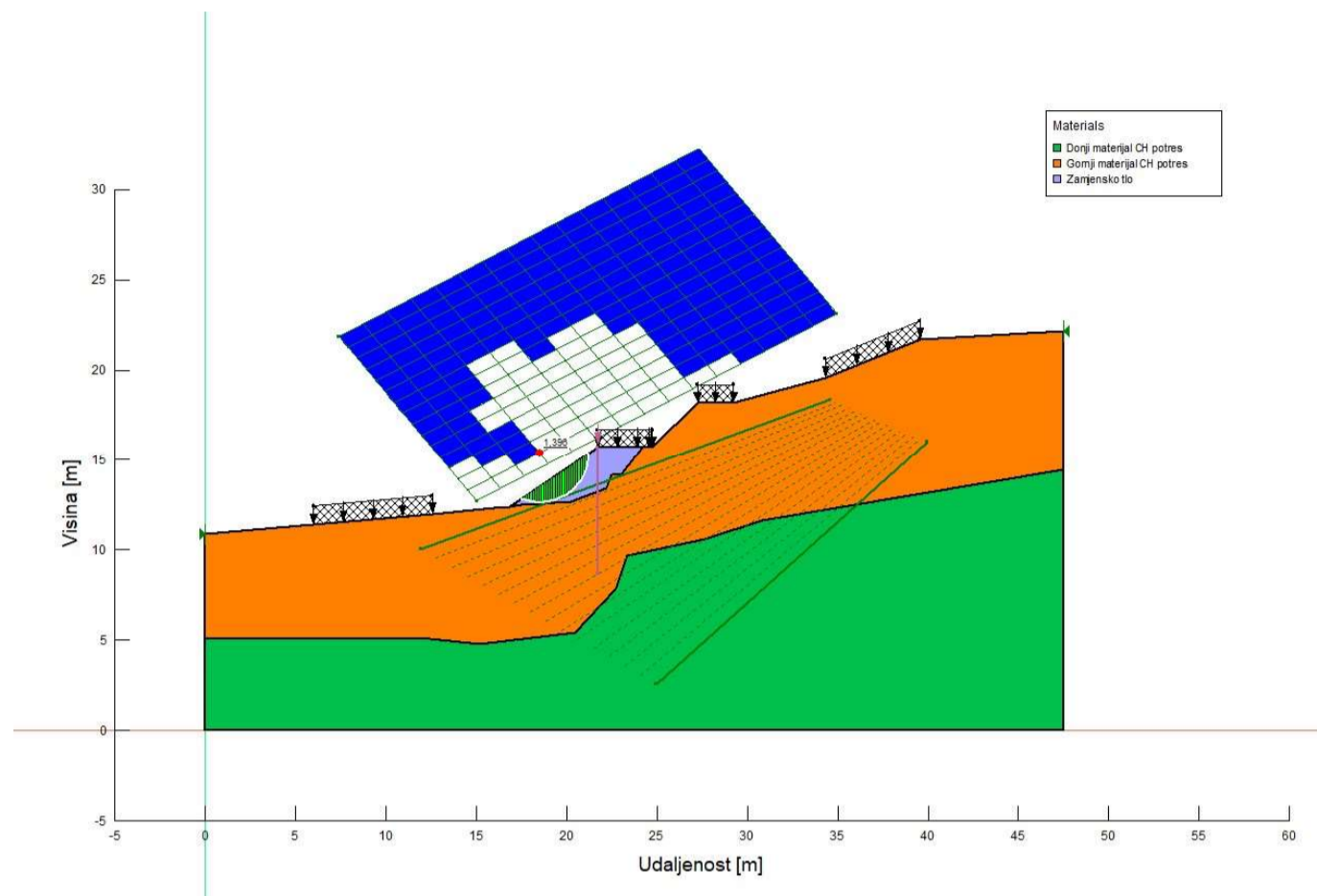
Slika 21 Početno stanje naprezanja ( $F_s=0,957$ )

Stoga je slikom 22 prikazana izmjena tla nekoherentnim materijalom zapremine težine  $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ , kuta unutarnjeg trenja  $\varphi = 42^\circ$  i kohezije  $c = 0 \text{ kPa}$ , uz manji nagib pokosa.

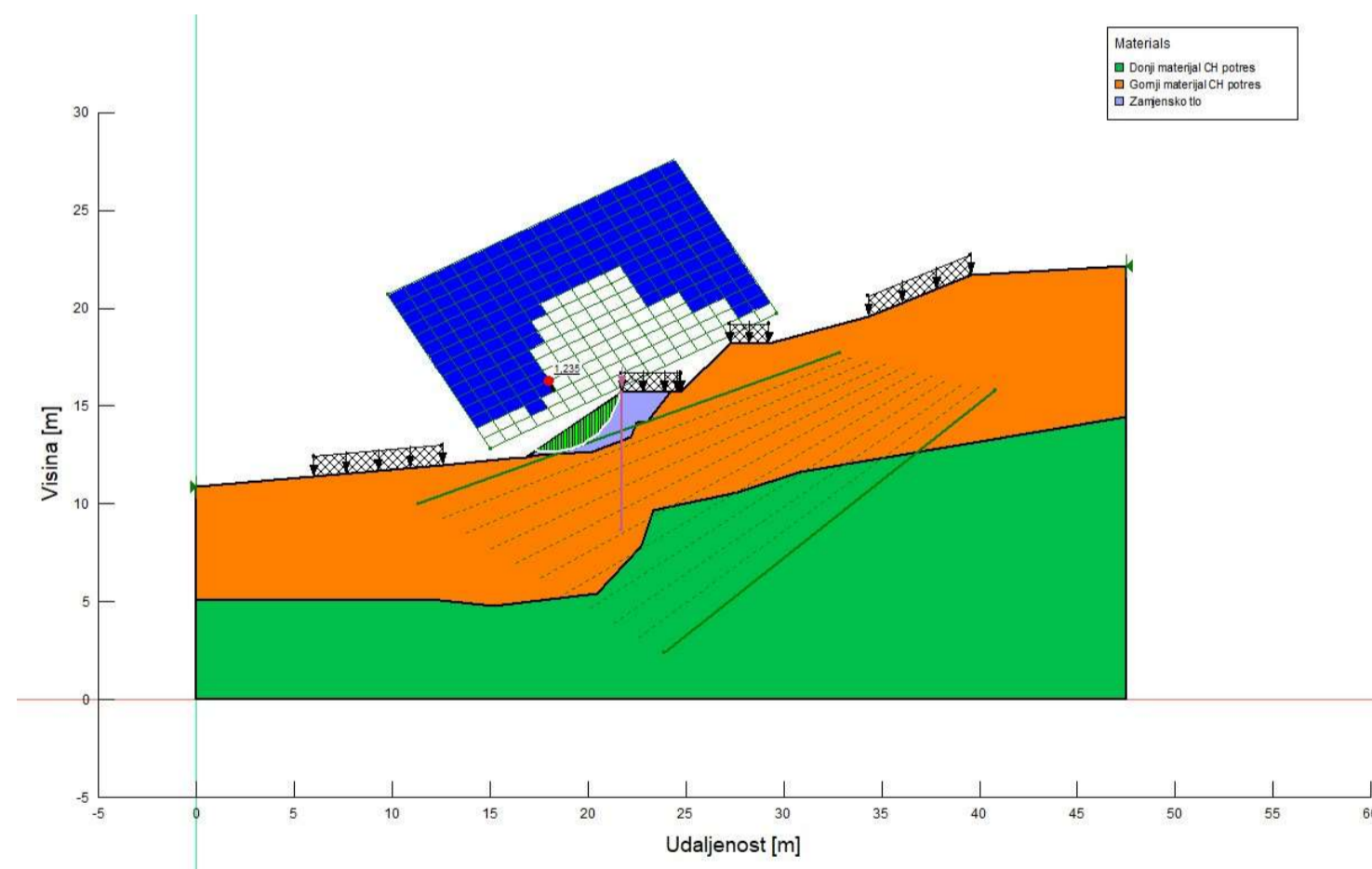
Slika 22 Zamjena tla materijalom većeg kuta trenja i manje kohezije ( $F_s=1,059$ )Slika 23 Ugradnja pilotne stijene rezultira povećanjem faktora sigurnosti ( $F_s=1,411$ )

Nakon ugrađene pilotne stijene (slika 23), faktor sigurnosti povećao se za 25 % s ciljem zadovoljavanja uvjeta stabilnosti i za vrijeme nepovoljnijih uvjeta - prisutnosti vode, te

potresa (prikazano u nastavku rada slikama 26-30). Faktor sigurnosti iznosi 1,411 ugradnjom pilotne stijene u prethodno nestabilni dio padine.



Slika 24 Faktor sigurnosti za vrijeme potresa (-) ( $F_s=1,396$ )

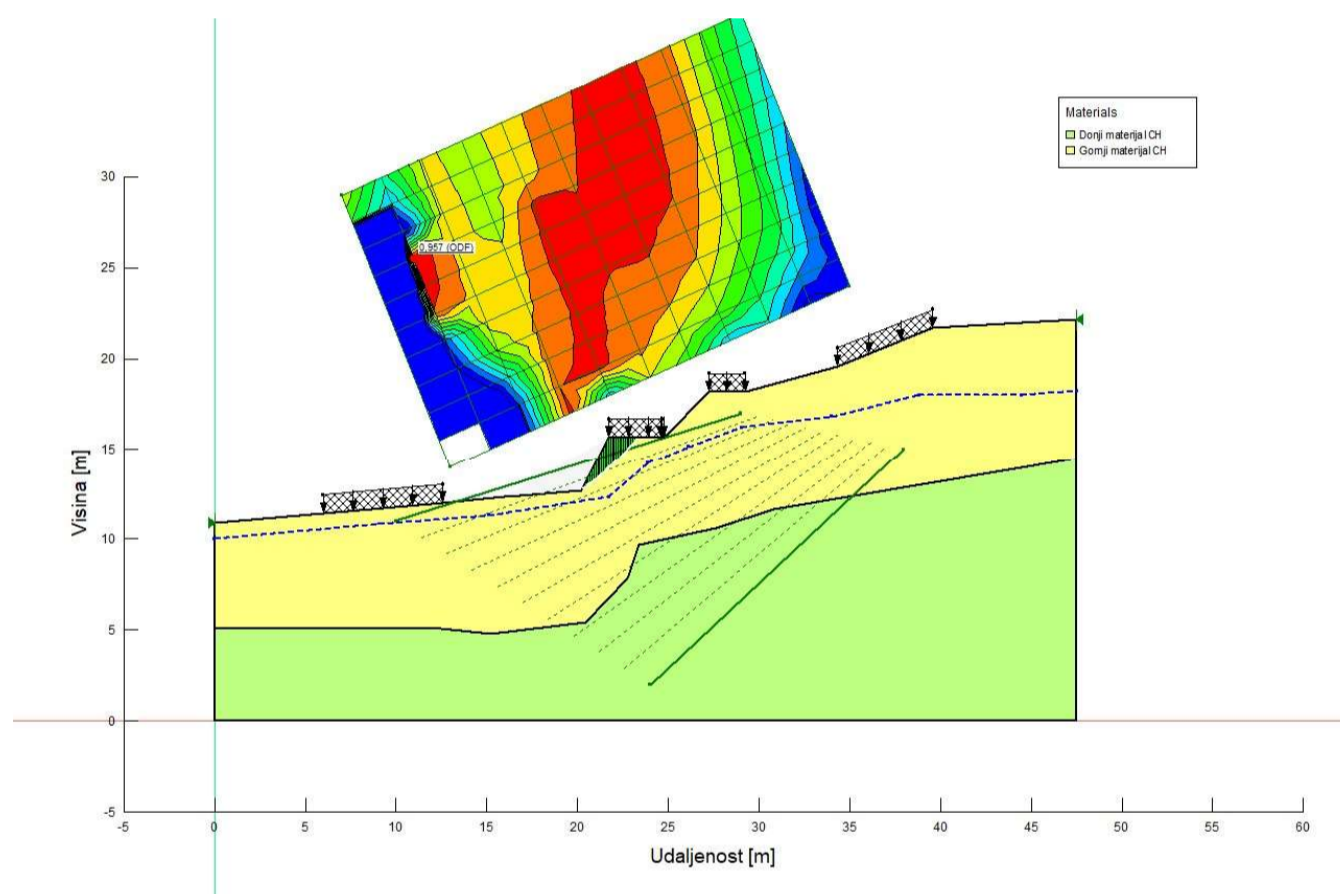


Slika 25 Faktor sigurnosti za vrijeme potresa (+) ( $F_s=1,235$ )

Slikama 24 i 25 prikazan je traženi zadovoljavajući faktor sigurnosti za vrijeme potresa (horizontalne i vertikalne komponente izračunate su ranije u radu u dijelu 5.3.)

Nadalje, slikama 26 – 30 prikazani su faktori sigurnosti za projektnu situaciju uz prisutnost vode (prema podacima DHMZ-a za područje Grada Zagreba najveće količine padalina izmjerene su u lipnju i rujnu ljeti, te u siječnju i listopadu u hladnom periodu godine). Voda je u geotehničkim situacijama često nepovoljan faktor jer ona ulazi u do tada zrakom ispunjene pore te svojim tečenjem uzrokuje premještanje čestica u tlu, a time i nova naprezanja.

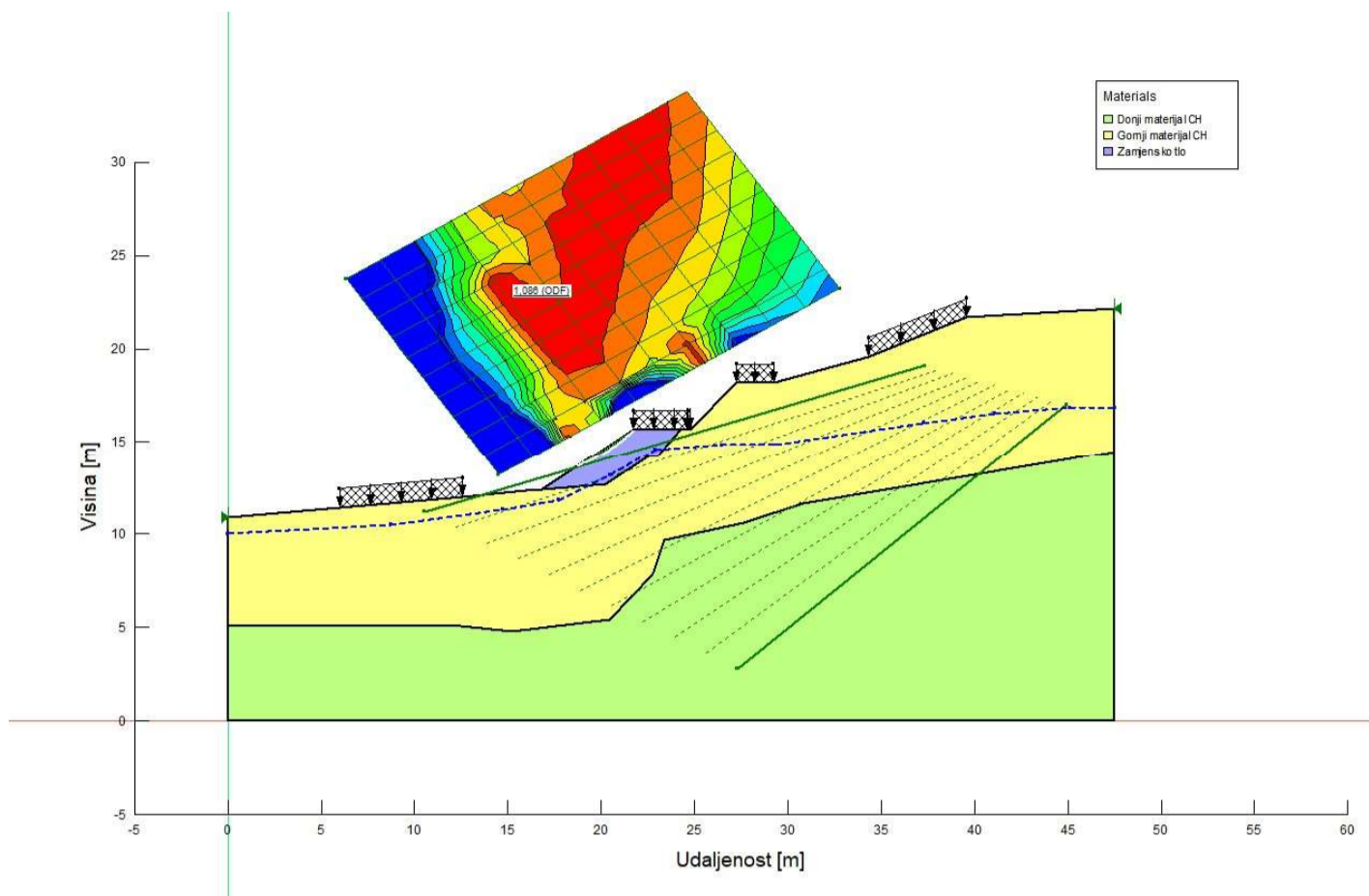
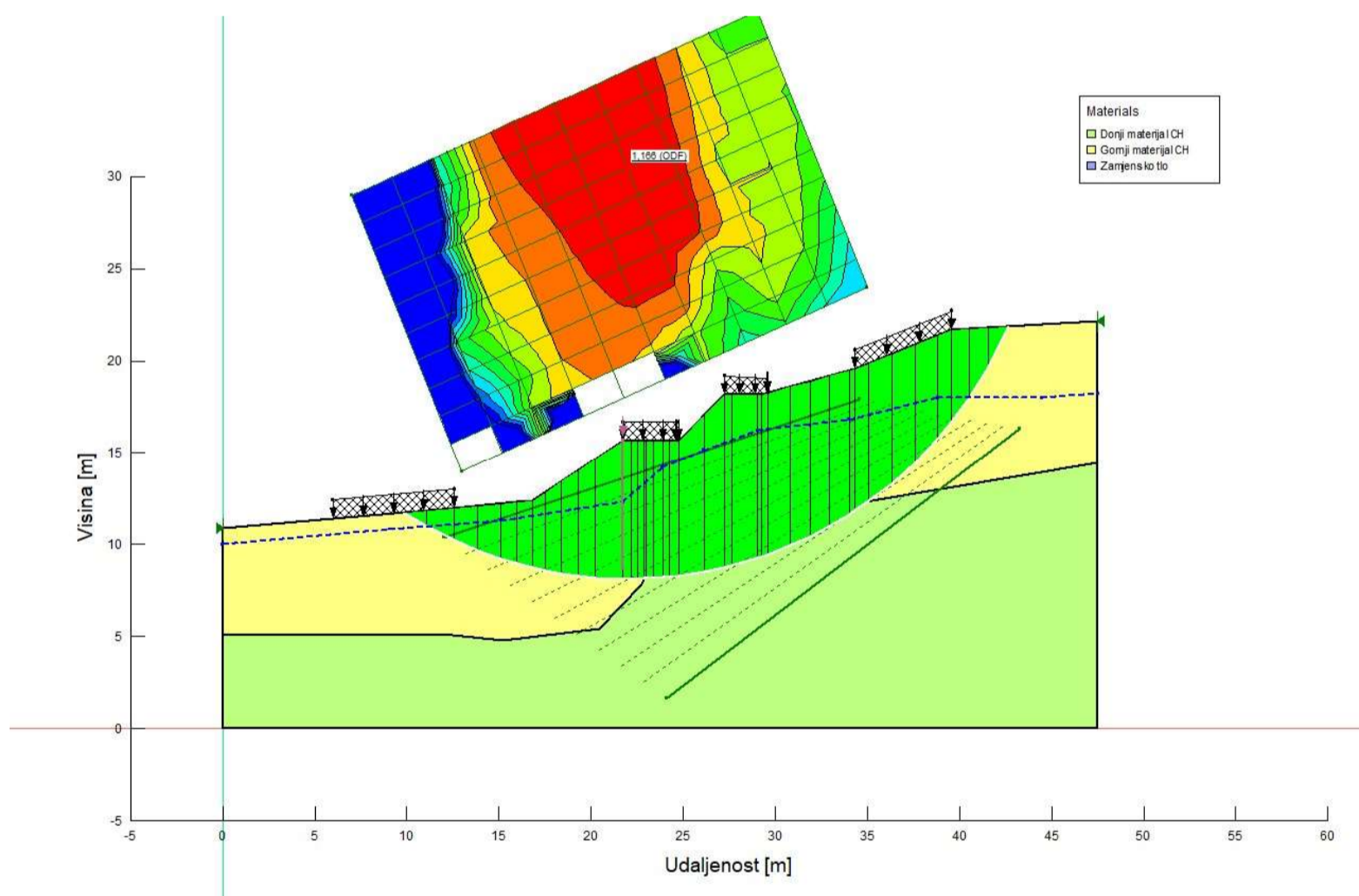
Nepovoljan faktor sigurnosti na slici 26 prikazuje nestabilno stanje pokosa s potencijalnom aktivacijom klizišta (što se u praksi i dogodilo).



Slika 26 Početno stanje naprezanja uz prisutnost vode ( $F_s=0,957$ )

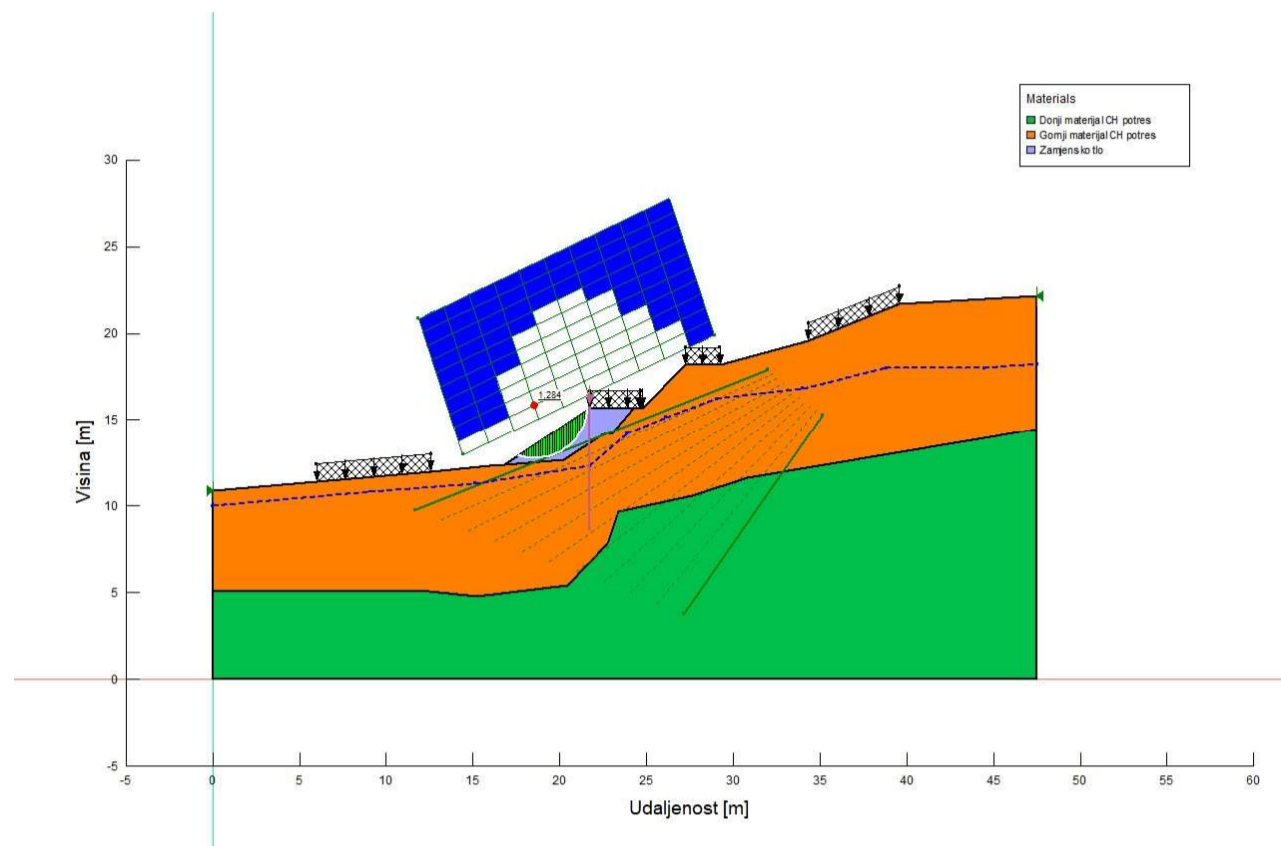
Zamjenom tla (prikazano slikom 27) postiže se zadovoljavajuća stabilnost ( $F_s=1.086$ ), no padina se dodatno ojačala pilotnom stijenom (slika 28) kako bi se spriječilo ponovno klizanje materijala za vrijeme nepovoljnijih uvjeta (npr. za vrijeme potresa zbog lokacije Zagreba u potresnoj zoni), a time se osigurala i globalna stabilnost ( $F_s=1,166$ ).



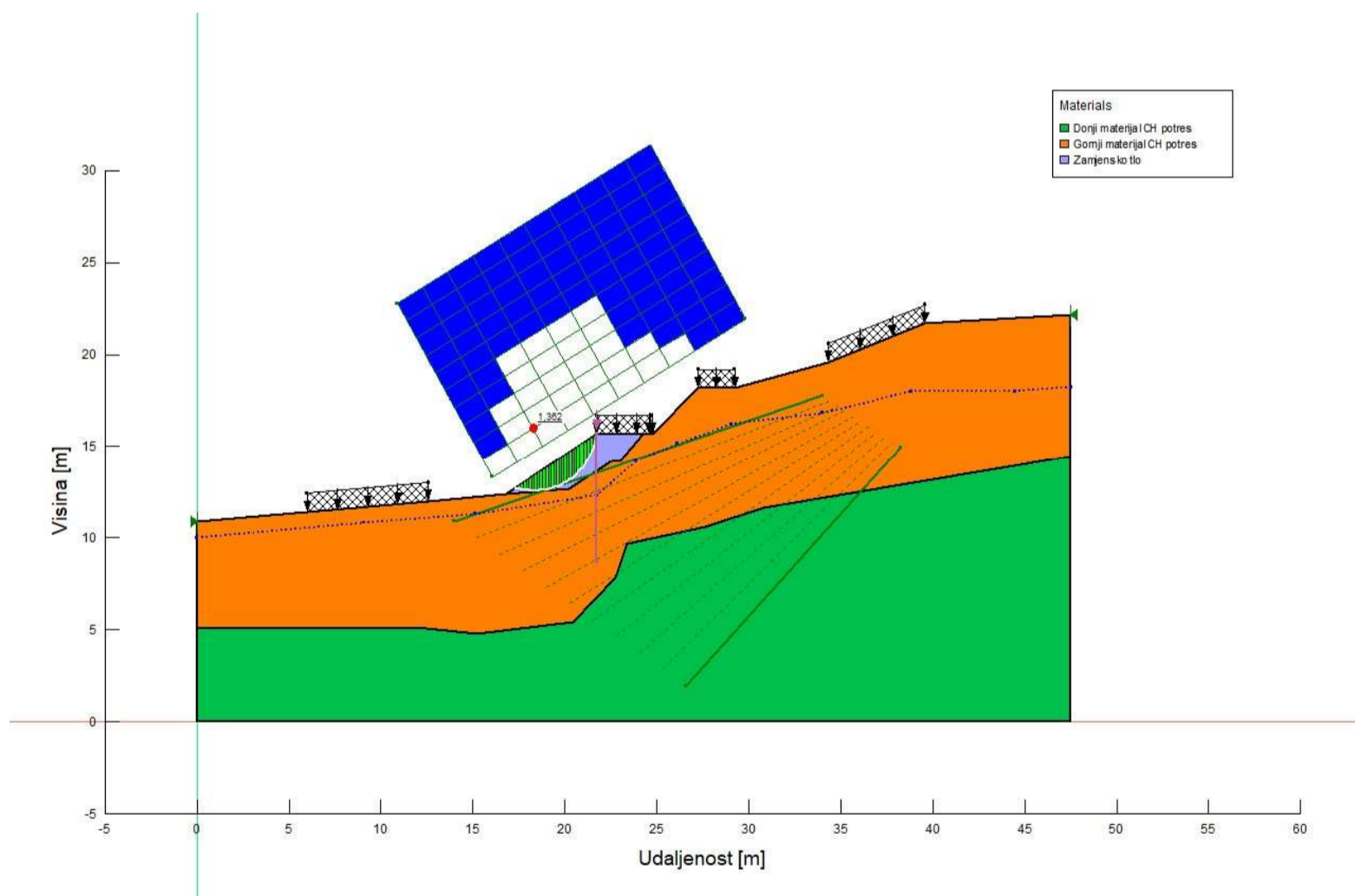
Slika 27 Postizanje stabilnosti zamjenom tla ( $F_s=1,086$ )Slika 28 Ojačanje nestabilne padine pilotnom stijenom osigurana je i globalna stabilnost ( $F_s=1,166$ )

Naposlijetku, za vrijeme potresa osigurana je lokalna stabilnost te faktori sigurnosti iznose  $F_s=1,284$ , odnosno  $F_s=1,362$  za oba slučaja za vrijeme trajanja potresa (u programu

Geostudio se vertikalna komponenta seizmičkog djelovanja unosi s pozitivnim i negativnim predznakom pa se te dvije situacije promatraju kao zasebni slučajevi).



Slika 29 Postignuta stabilnost za vrijeme potresa ugradnjom pilotne stijene ( $F_s=1,284$ )



Slika 30 Lokalna stabilnost pokosa u slučaju potresa ( $F_s=1,362$ )

Tablica 7 Tablica faktora sigurnosti za suho stanje tla

<i>Projektna situacija</i>	<i>Faktor sigurnosti</i>
Početno stanje	0,957
Zamjena tla	1,059
Ugradnja pilota	1,411
Seizmička aktivnost (potres -) – nedrenirani uvjeti	1,396
Seizmička aktivnost (potres +) – nedrenirani uvjeti	1,235

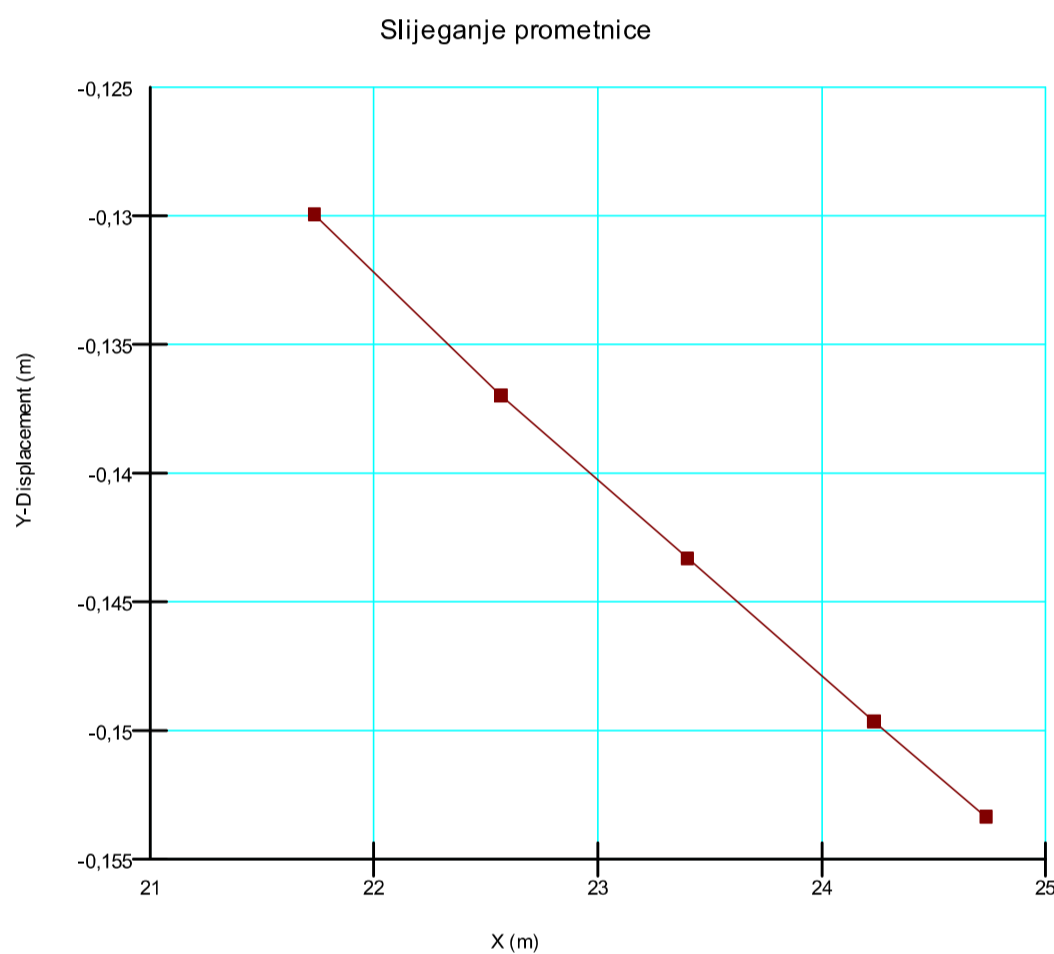
Tablica 8 Tablica faktora sigurnosti uz prisutnost vode u tlu

<i>Projektna situacija</i>	<i>Faktor sigurnosti</i>
Početno stanje (prisutnost vode)	0,957
Zamjena tla (prisutnost vode)	1,086
Ugradnja pilota (prisutnost vode)	1,166
Seizmička aktivnost (potres -) – nedrenirani uvjeti	1,284
Seizmička aktivnost (potres +) – nedrenirani uvjeti	1,362

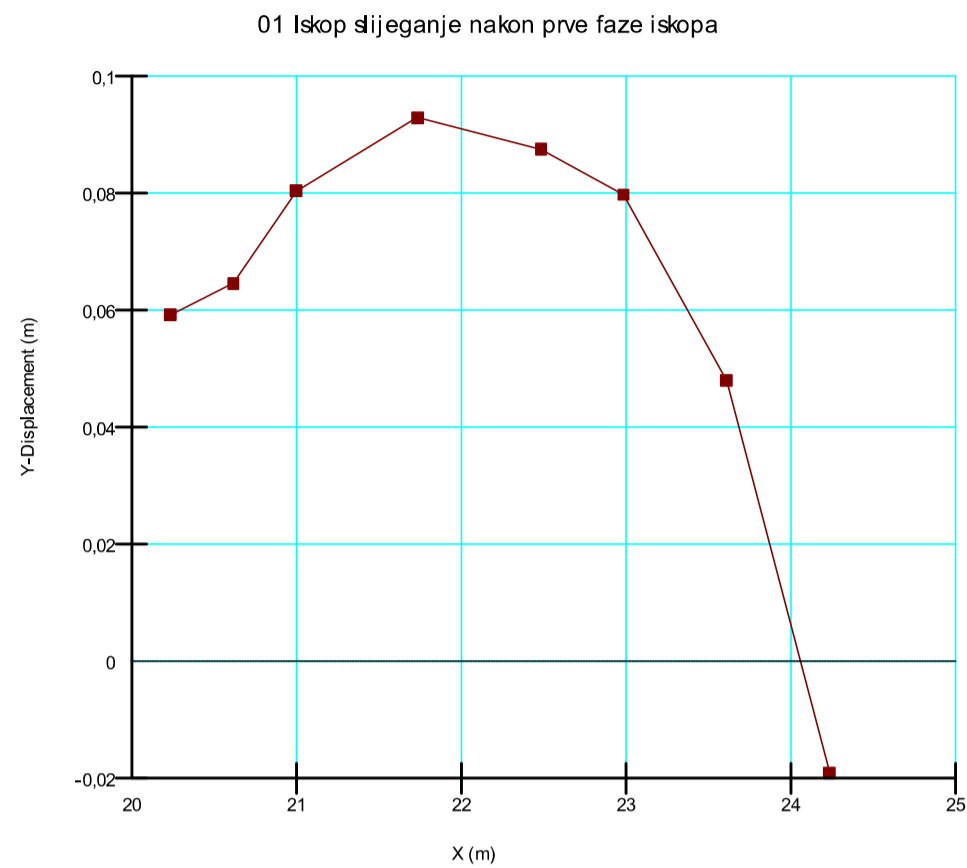
### 5.6. Naponsko-deformacijske analize proračuna

Za analizu deformacija i naprezanja u tlu korišten je modul SIGMA/W koji omogućava procjenu naprezanja u tlu, tj. razumijevanje kako se tlo ponaša pod različitim opterećenjima, što je ključno za projektiranje temelja i drugih geotehničkih struktura.

Slika 31 prikazuje početno stanje slijeganja prometnice od 14 cm pod opterećenjem nastalim zbog prometa, potencijalno izazivajući nastanak pukotina (slika 6).

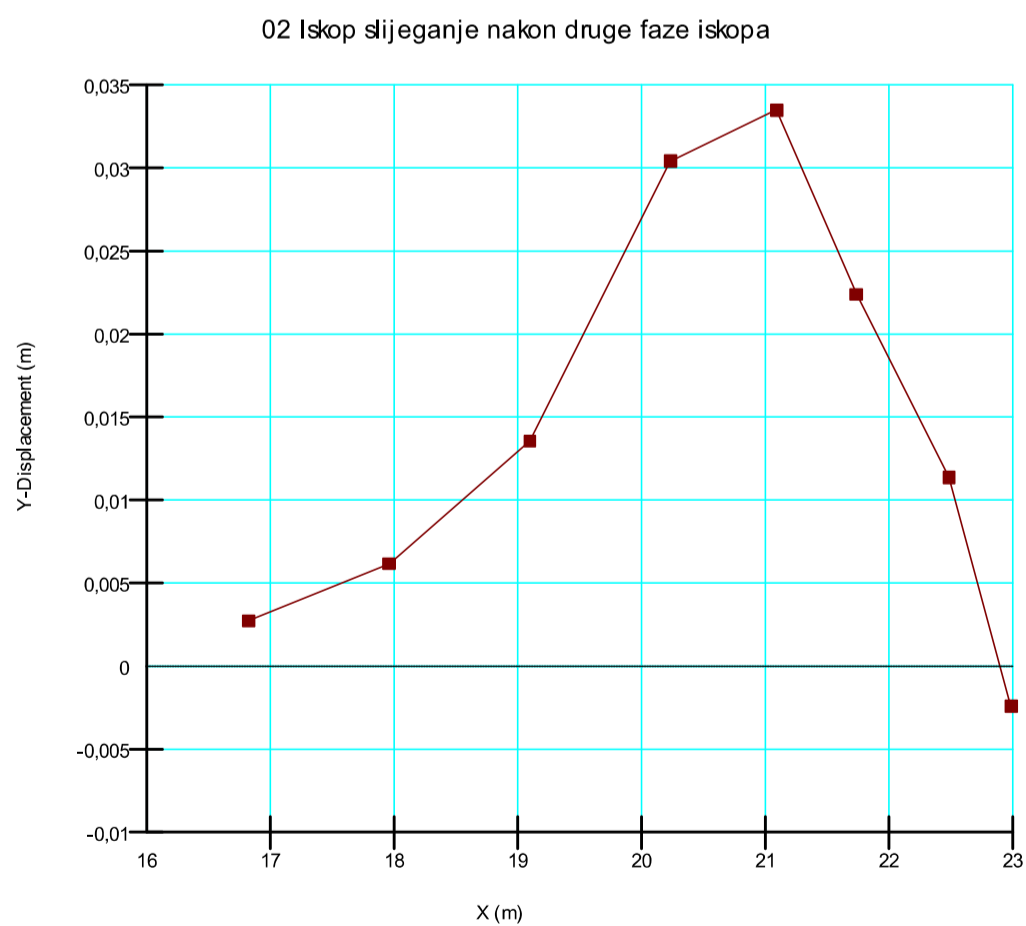


Slika 31 Slijeganje prometnice prije ugradnje potpornog sustava

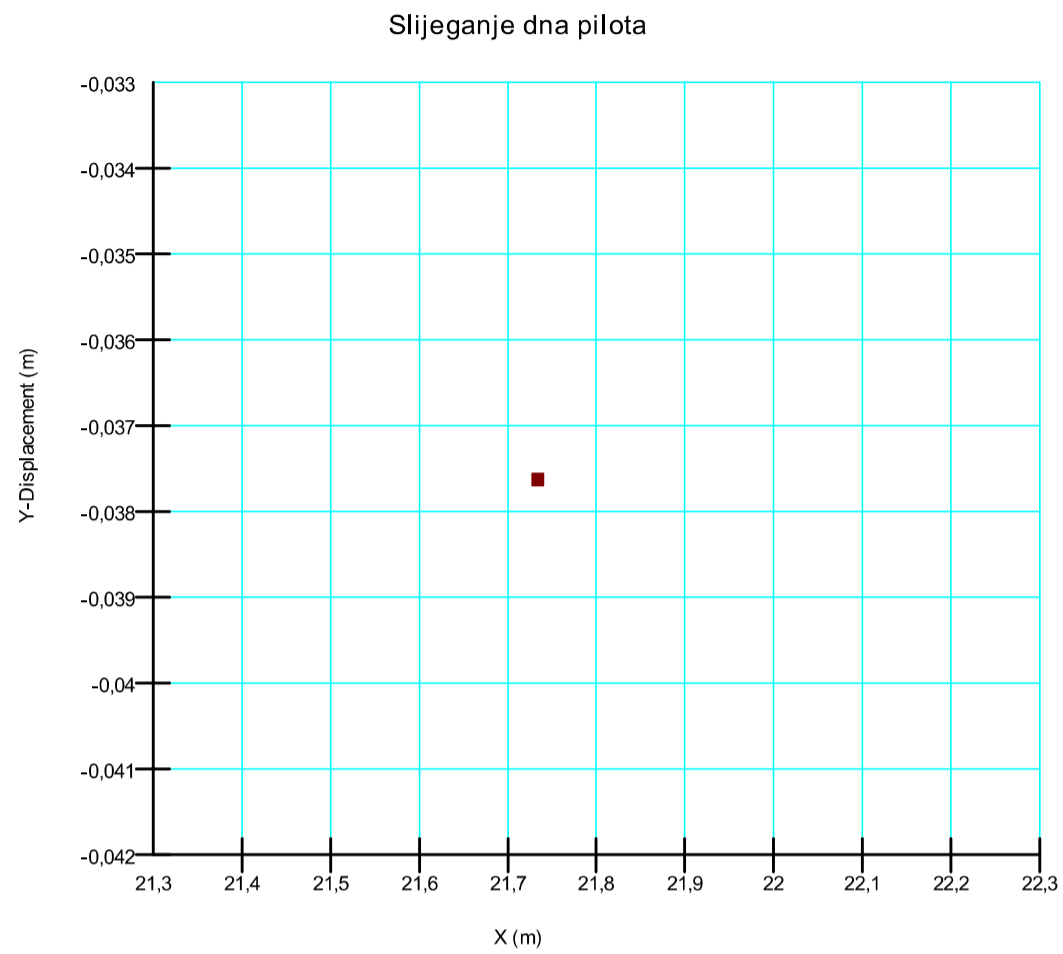


Slika 32 Izdizanje tla nakon otklanjanja težine iskapanjem materijala (korak 1)

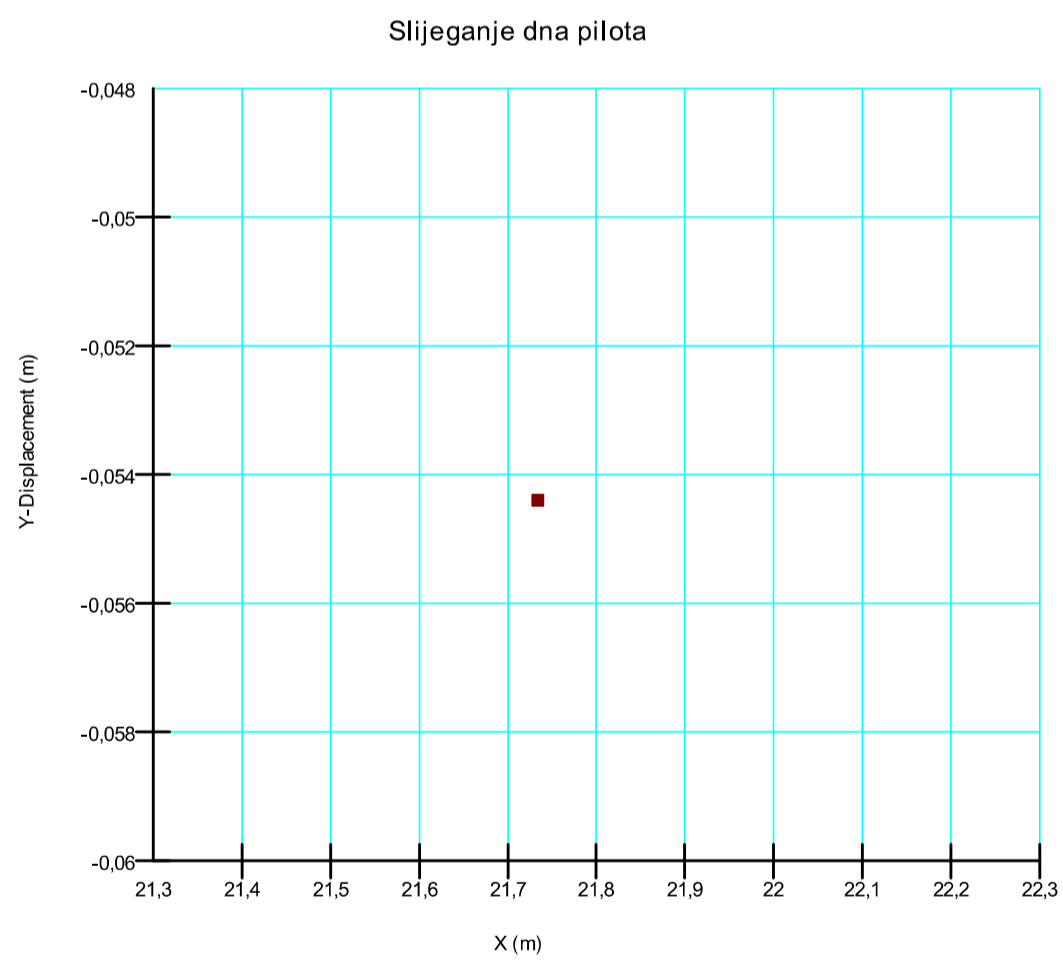
Grafovi na slikama 32 i 33 prikazuju minimalno izdizanje tla što je prirodna pojava nakon otklanjanja težine nadsloja. Uklanjanje materijala predviđeno je u dva koraka radi mehanizacije potrebne za vršenje iskopa.



Slika 33 Izdizanje tla nakon otklanjanja težine iskapanjem materijala (korak 2)

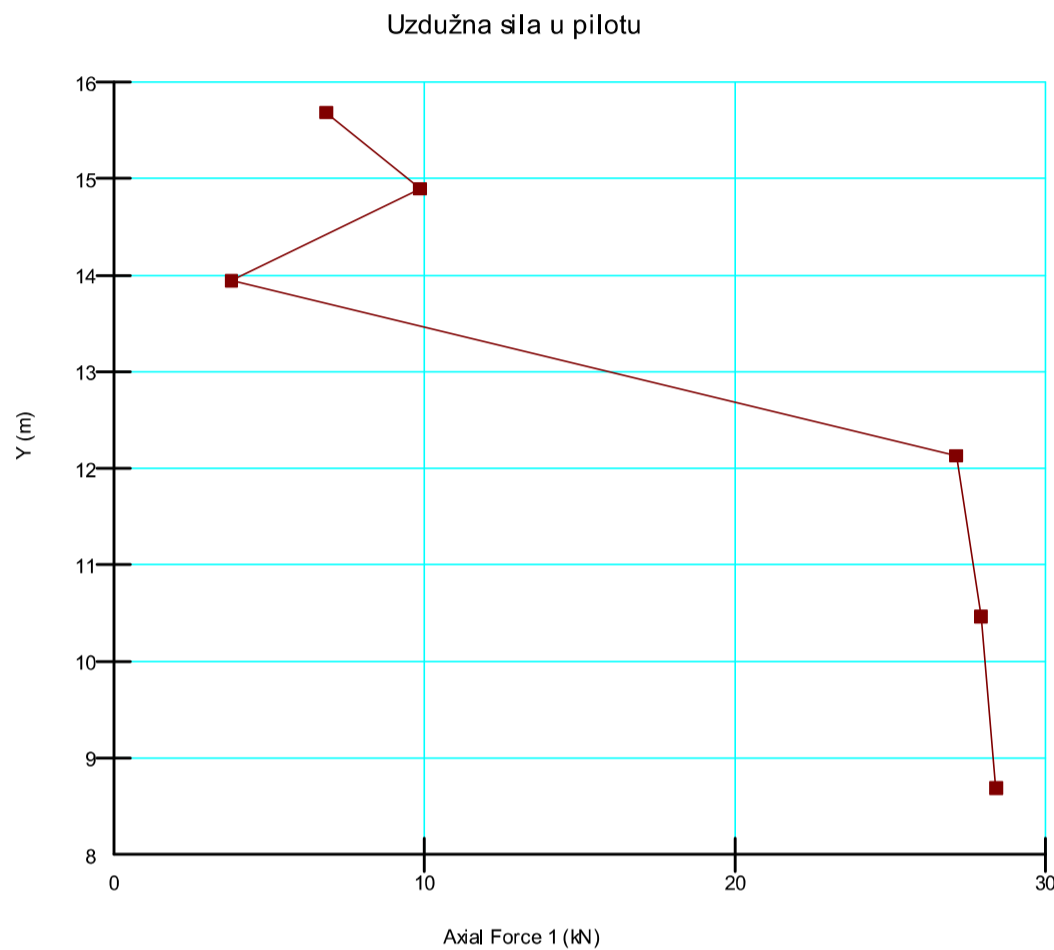


Slika 34 Slijeganje baze pilota (bez opterećenja)



Slika 35 Slijeganje baze pilota (s opterećenjem od ceste)

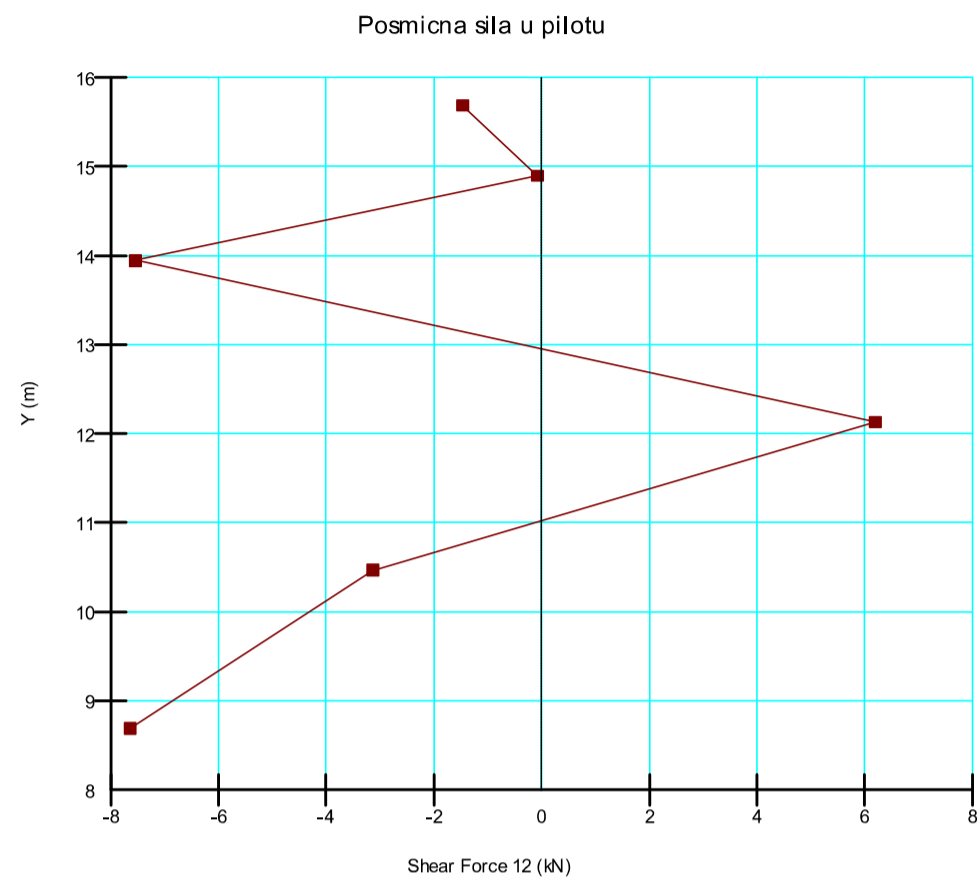
Baza pilota sliježe se 5 centimetara nakon izgradnje prometnice (s opterećenjem), odnosno bez opterećenja slijeganje iznosi 3 centimetra (slike 34 i 35).



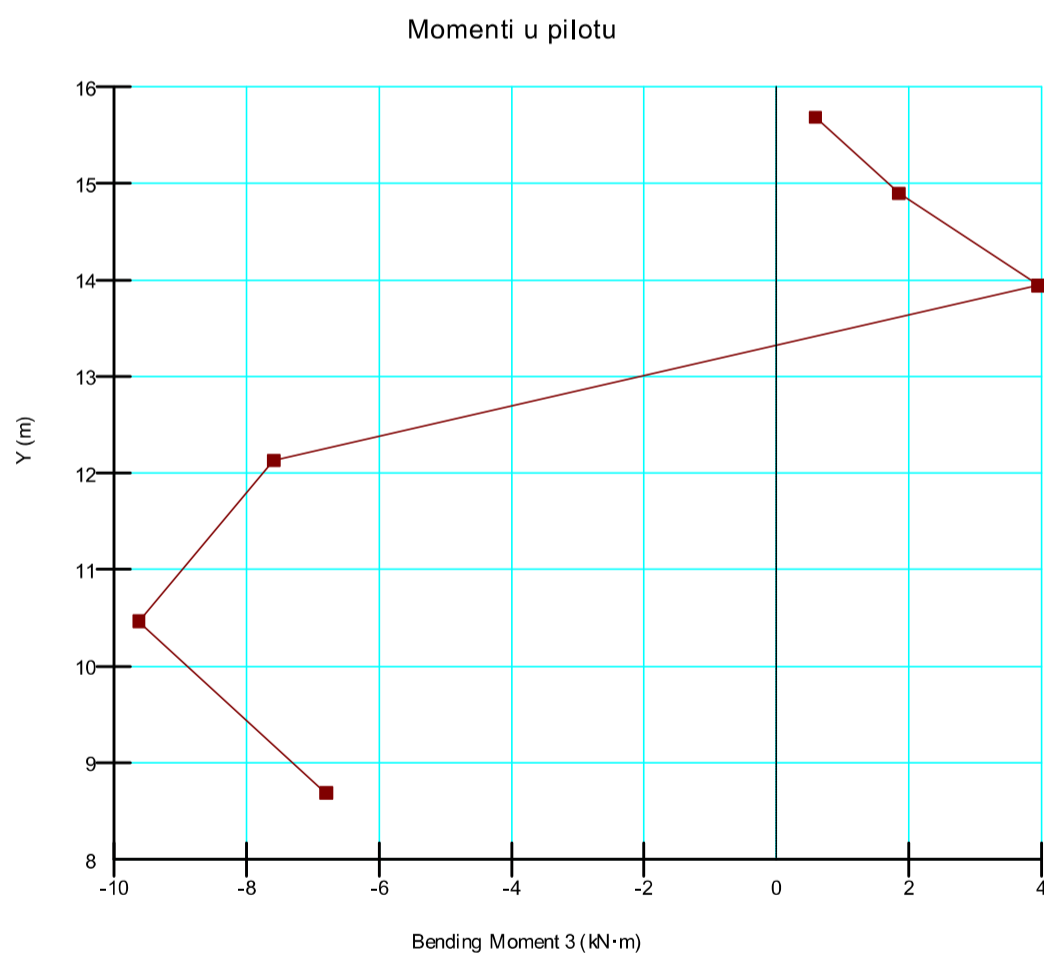
Slika 36 Uzdužna sila u pilotu

Grafom na slici 36 prikazana je uzdužna sila u pilotu u kojoj je vidljiv trend rasta s povećanjem dubine, a skok koji se primjećuje u dijagramu ukazuje na promjenu materijala, odnosno krutosti, a time i međudnosa izgrađene pilotne konstrukcije i tla.

Na slici 37 vidljiva je maksimalna poprečna sila u pilotu koja se javlja tijekom eksploatacije, a iznosi 7.82 kN, te je na slici 38 prikazan maksimalni moment u pilotu čija je maksimalna vrijednost 9.07 kNm, što ne prelazi otpornost pilota i zadovoljava nosivost.

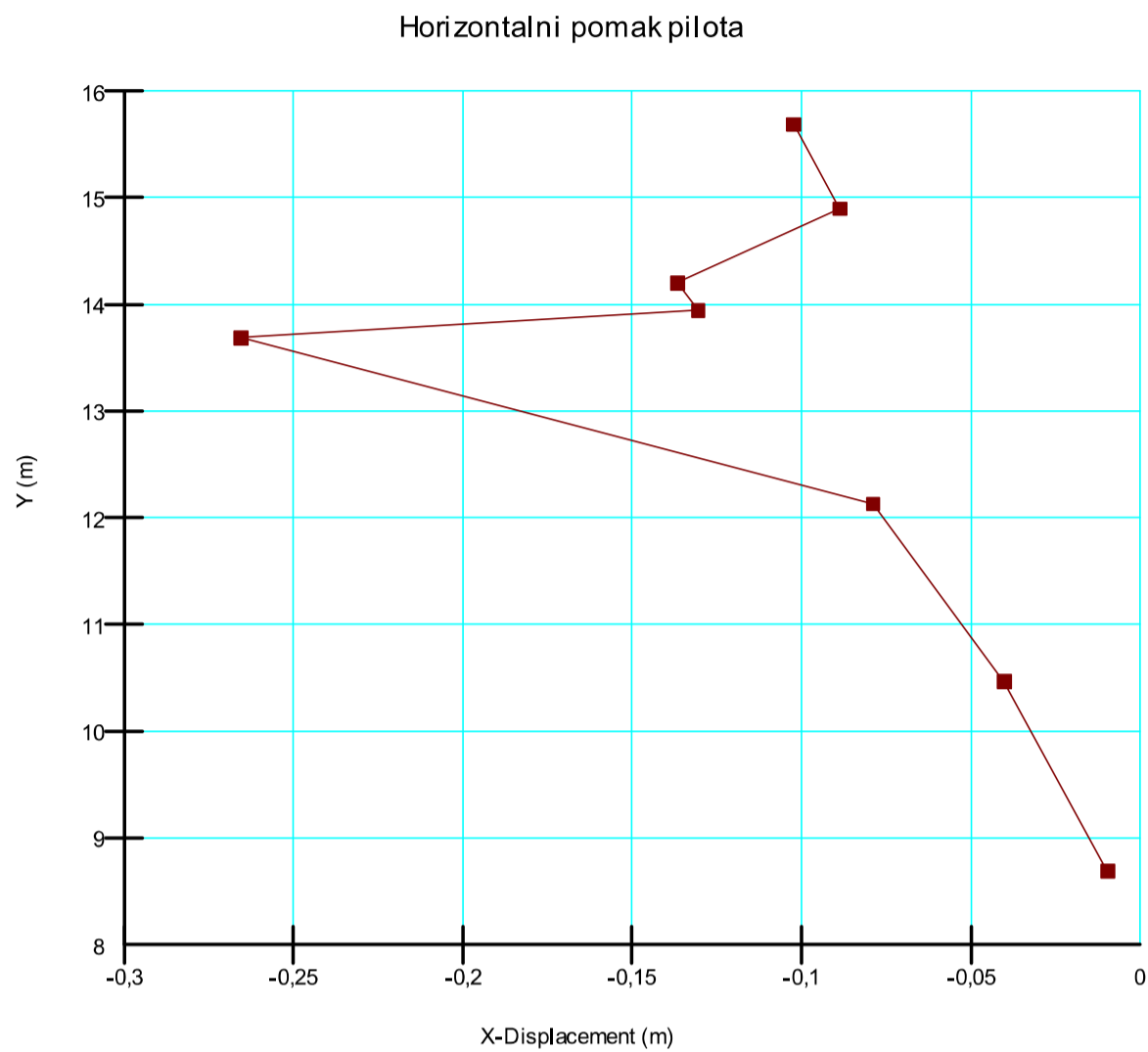


Slika 37 Posmična sila u pilotu, vidljiv skok na mjestu promjene slojeva



Slika 38 Momenti u pilotu po njegovoj duljini





Slika 39 Horizontalni pomak pilota uz skok na mjestu promjene okolnog tla

Uz promjene opterećenja okolnog tla, na slici 39 uočen je skok u dijagramu za prikaz horizontalnog pomaka pilota. Vidljivo je da je pomak na dnu pilota približno jednak nuli jer se tu nalazi baza pilota, a onda s trendom povećanja pomak raste do mjesta naglavne grede radi pritiska nastalih od okolnog tla. Vrh pilota pomaknut je za 8 cm s obzirom na bazu pilota.

**6. ISKAZ TROŠKOVA GRADNJE**

Stavka	VRSTA I OPIS RADA			CIJENA (kn)	
	specifikacija	jed. mjera	količina	jedinična	ukupna

**A) PRIPREMNI RADOVI**

1.	Stavka koja obuhvaća tehničku opremu i pripremu privremenih gradilišnih objekata, puteva, odlagališta i instalacija te transport potrebne opreme, izradu plana zaštite na radu u skladu sa Zakonom o zaštiti na radu te njegovu predaju 10 dana prije uvođenja u posao, izradu i postavljanje tabla oznaka gradilišta, zaštitne ograde, oznaka zabrane kretanja. [10] Obračun se vrši po kompletu izvedenih priprema gradnje.	komplet	1,0	1.000,00 €	1.000,00 €
----	--	---------	-----	------------	------------

<b>A) PRIPREMNI RADOVI :</b>					<b>1.000,00 €</b>
------------------------------	--	--	--	--	-------------------

**B) INSTALACIJE**

1.	Privremeno izmještanje te vraćanje vodovodne infrastrukture. Stavka obuhvaća rad, opremu i materijal potreban za izmještanje i ponovno vraćanje u funkciju svih instalacija. Duljina zahvata približno 40 metara. Radovi se izvode prema Rješenju i uvjetima pravne osobe nadležne za održavanje i upravljanje vodovodnim instalacijama. Obračun po kompletu izvedenih radova.	kom	1,0	500,00 €	500,00 €
----	---	-----	-----	----------	----------

<b>B) INSTALACIJE :</b>					<b>500,00 €</b>
-------------------------	--	--	--	--	-----------------

**C) ZEMLJANI RADOVI**

1.	Uklanjanje asfalta i kolničke konstrukcije podrazumijeva uklanjanje asfalta i kolničke konstrukcije, van zone gdje je cesta već otklizala, prema nacrtima danim u projektu. Stavka obuhvaća sve radove na iskopu materijala s utovarom u prijevozna sredstva. Obračun po m <sup>3</sup> iskopanog materijala.	m <sup>3</sup>	66,0	15,00 €	990,00 €
----	--	----------------	------	---------	----------

2.	Široki iskop u materijalu obuhvaća sve radove na iskopu materijala s utovarom u prijevozna sredstva, radove na uređenju i čišćenju pokosa od labilnih blokova i rastresitog materijala, planiranje iskapanja susjednih površina. Iskope treba raditi strojno, a ručni rad primijeniti jedino tamo gdje se ne može pristupiti strojevima. Obračun po m <sup>3</sup> iskopa u sraslom stanju.	m <sup>3</sup>	396,0	20,00 €	7.920,00 €
3.	Prijevoz materijala obuhvaća prijevoz iskopanog materijala od mjesta iskopa do mjesta istovara u odlagalište. Prijevoz na dužinu veću od 5000m. Obračun po m <sup>3</sup> iskopanog materijala u sraslom stanju.	m <sup>3</sup>	396,0	20,00 €	7.920,00 €
4.	Izrada radnih platoa za pristup strojeva za izvedbu pilota te izvedba nasipa ceste. Stavka obuhvaća sve radove potrebne za izradu nasipa, razastiranje, zbijanje slojeva nasipa, nabavu materijala iz pozajmišta, utovar, prijevoz, nasipanje, razastiranje, vlaženje ili sušenje, zbijanje, te planiranje materijala u nasipu prema dimenzijama, nagibima i kriterijima ugradnje. Obračun po m <sup>3</sup> ugrađenog i zbijenog nasipa.	m <sup>3</sup>	39,6	40,00 €	1.584,00 €
5.	Ugradnja separacijskog geotekstila koji se polaže na temeljno tlo. Stavka obuhvaća nabavu, dopremu i ugradnju netkanog geotekstila, te kontrolu kvalitete i osiguranje kakvoće. [11] Obračun po m <sup>2</sup> uređenog temeljnog tla.	m <sup>2</sup>	132,0	10,00 €	1.320,00 €
<b>C) ZEMLJANI RADOVI :</b>					<b>19.734,00 €</b>

**D) IZVEDBA PILOTA, ZIDA I NAGLAVNE GREDE**

1.	<p>Stavka obuhvaća bušenje bušotina metodom beskonačne spirale, betoniranje betonom klase C 30/37 te umetanje čeličnih armaturnih koševa. Izvode se piloti duljina 4.0, 5.0, 6.0 i 7.0 metara. U prvoj zoni (Zona A) radova izvodi se 26 pilota duljine 7 metara (182 m'), dok se u drugoj zoni (Zona B) radova izvodi 29 pilota duljine 4.0, 5.0, 6.0 i 7.0 metara (179 m'). Stavka obuhvaća nabavu prijevoz i ugradnju svog materijala, izradu pristupnog puta, obijanje glave pilota, transporte te ostali rad potreban za potpuno dovršenje stavke prema nacrtima iz projekta. Uvjeti izvedbe betonskih radova prema Općim tehničkim uvjetima i projektu. Ukupna duljina bušenja iznosi 361 m'. Obračun po m' stvarno izvedenih pilota.</p>	m'	361,0	250,00 €	90.250,00 €
2.	<p>Nabava, doprema, izrada, postavljanje, vezivanje, ukrućenje, skidanje, čišćenje i slaganje dvostrane oplata za izvedbu zida dimenzija 175x75 centimetara i naglavne grede dimenzija 60x65 centimetara. Spojeve je potrebno obraditi kako bi se spriječilo fino otjecanje cementnog mlijeka posebno u dijelu kontakta oplata i pokosa. Potrebno je predvidjeti višestruku upotrebu oplata. Iskazana ukupna potrebna površina oplata. Obračun po m<sup>2</sup> postavljene oplata.</p>	m <sup>2</sup>	140,0	35,00 €	4.900,00 €
3.	<p>Nabava, doprema i ugradnja armaturnih koševa naglavne grede od čelika klase B500A. Prije ugradnje, Izvoditelj se obvezuje da na vrijeme pribavi odgovarajuće certifikate i suglasnost nadzornog inženjera za ugradnju. Obračun po kg ugrađene armature.</p>	kg	5.686,0	2,00 €	11.372,00 €
4.	<p>Nabava, doprema i ugradnja betona razreda čvrstoće C30/37, za izvedbu armiranobetonskog zida, naglavne grede i pilota. Obračun po m<sup>3</sup> ugrađenog betona.</p>	m <sup>3</sup>	115,0	200,00 €	23.004,92 €

<b>D) IZVEDBA PILOTA, ZIDA I NAGLAVNE GREDE</b>	<b>: 129.526,92 €</b>
---	-----------------------

**G) KOLNIČKA KONSTRUKCIJA**

- |    |   |                |      |         |            |
|----|---|----------------|------|---------|------------|
| 1. | Nabava, doprema i ugradnja drobljenog kamenog materijala (0-63 mm) za izradu tampona kolničke konstrukcije u debljini 40 cm. Materijal mora biti u skladu s navedenim tehničkim uvjetima, a izvođač se obvezuje da na vrijeme, a prije ugradnje, pribavi odgovarajuće certifikate i suglasnost nadzornog inženjera za ugradnju. Ugrađuje se nakon što nadzorni inženjer preuzme podlogu.<br>Obračun po m <sup>3</sup> ugrađenog materijala u zbijenom stanju. | m <sup>3</sup> | 52,8 | 55,00 € | 2.904,00 € |
| 2. | Nabava, doprema i ugradnja asfalta za nosivi sloj kolničke konstrukcije debljine 7 cm, te asfalta za habajući sloj kolničke konstrukcije debljine 4 cm. Izvodi se u skladu s prethodno navedenim tehničkim uvjetima. Obračun po m <sup>2</sup> gornje površine sloja.   | m <sup>2</sup> | 15,8 | 25,00 € | 396,00 €   |

<b>G) KOLNIČKA KONSTRUKCIJA</b>	<b>: 3.300,00 €</b>
---------------------------------	---------------------

**H) ZAVRŠNO UREĐENJE**

- |    |   |         |     |            |            |
|----|---|---------|-----|------------|------------|
| 1. | Uređenje gradilišta obuhvaća sve radove na dovođenju terena u uredno stanje, odvoz svih viškova materijala i demontaže privremenih objekata.<br>Obračun po kompletu izvedenih radova. | komplet | 1,0 | 1.500,00 € | 1.500,00 € |
|----|---|---------|-----|------------|------------|

<b>H) ZAVRŠNO UREĐENJE</b>	<b>: 1.500,00 €</b>
----------------------------	---------------------

**REKAPITULACIJA RADOVA**

<b>VRSTA RADOVA</b>	<b>CIJENA [€]</b>
<b>A) PRIPREMNI RADOVI</b>	<b>1.000,00 €</b>
<b>B) INSTALACIJE</b>	<b>500,00 €</b>
<b>C) ZEMLJANI RADOVI</b>	<b>19.734,00 €</b>
<b>D) IZVEDBA PILOTA, ZIDA I NAGLAVNE GREDE</b>	<b>129.526,92 €</b>
<b>G) KOLNIČKA KONSTRUKCIJA</b>	<b>3.300,00 €</b>

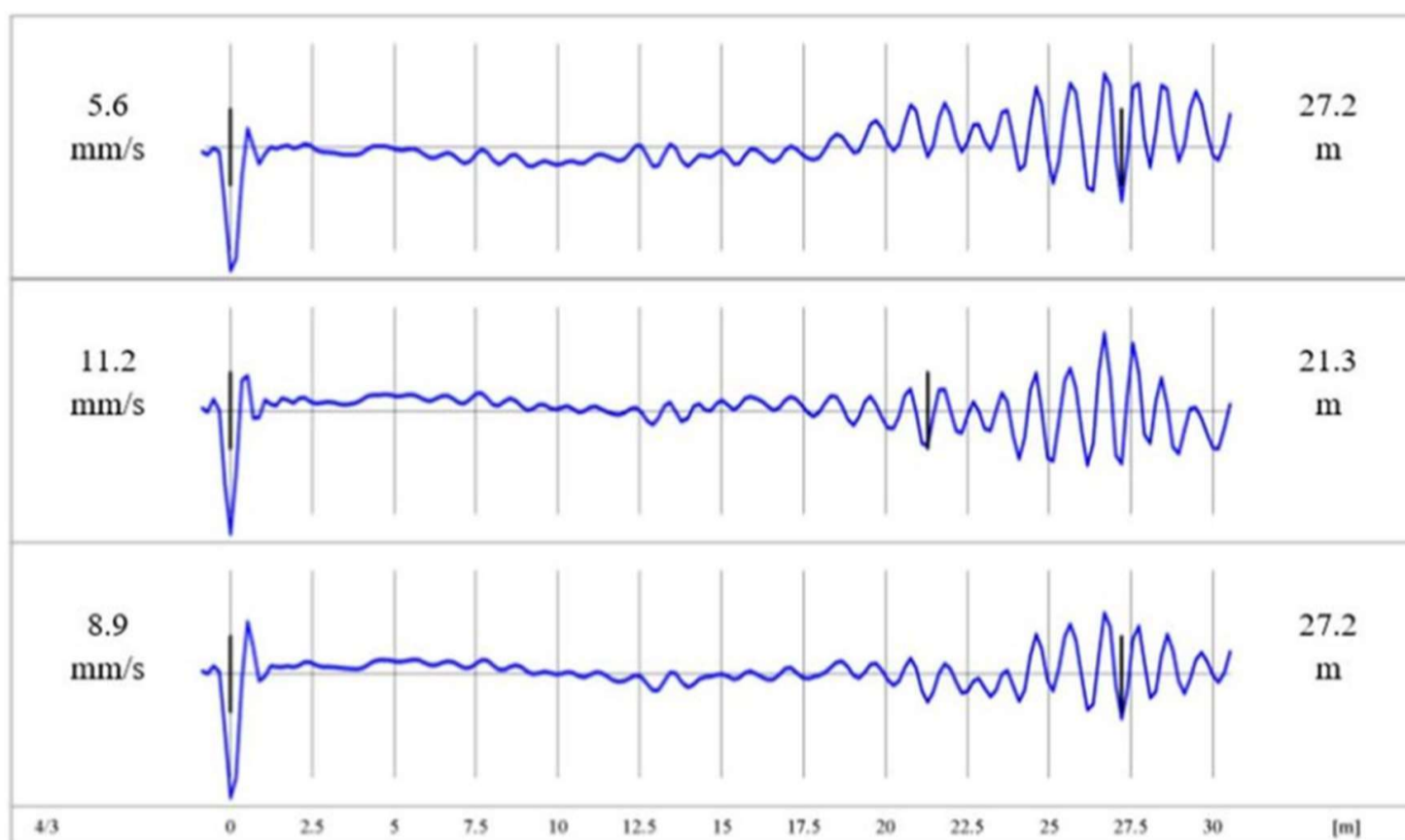
**H) ZAVRŠNO UREĐENJE****1.500,00 €**

<b>UKUPNO</b>	<b>155.560,92 €</b>
<b>PDV</b>	<b>38.890,23 €</b>
<b>SVEUKUPNO</b>	<b>194.451,15 €</b>

## **7. PROGRAM OSIGURANJA KVALITETE IZVEDBE**

Kao što je bilo navedeno u poglavlju 5.2, s ciljem praćenja kvalitete izvedbe, te verifikacije odabranog projektnog rješenja, predviđa se program mjerenja i opažanja koji uključuje ispitivanje cjelovitosti pilota PIT (Pile Integrity Test) metodom, inklinometarska mjerenja, te mjerenja pomaka geodetskim reperima.

Za kvalitetu izvedbe bušenih pilota kao geotehničkog projekta, pri čemu se želi detektirati eventualni prekid u betoniranju pilota, urušavanje tla i slično, predviđaju se ispitivanja cjelovitosti pilota PIT metodom (Pile Integrity Test). Kao mjera kontrole kvalitete, ispitivanja se mogu izvoditi na svim izvedenim pilotima jer je riječ o osjetljivim konstrukcijama. Ova nerazorna metoda temelji se na mjerenju brzine i sile uzrokovane udarcem čekića čime se detektiraju neželjene pukotine ili šupljine pomoću osjetljivih uređaja akcelometara postavljenih na sam vrh pilota uz korištenje visokoznog materijala za mjerenje akceleracija i vibracija (slika 40). Udar čekića pobuđuje tlačni val koji se širi kroz pilot brzinom  $c$ , a koji se reflektira natrag, prema vrhu, s dubine  $x$  naiđe li na prepreku (promjenu poprečnog presjeka ili kvalitetu betona) unutar pilota. Vrijeme dolaska reflektiranog vala izračunava se kao dvostruka udaljenost od vrha do dubine promjene presjeka  $x$  podijeljena s brzinom širenja vala  $c$  – slika 41. (U protivnom, vrijeme potrebno da reflektirani val stigne od baze pilota do akcelometra izračunava se kao dvostruka duljina pilota podijeljena s valnom brzinom  $c$ .) Smanjenje poprečnog presjeka pilota ili kvalitete betona generiranja transverzalnog vala, a otpor tla ili povećanje poprečnog presjeka stvaraju longitudinalni val.



Slika 40 Karakteristični prikaz reflektograma nakon provedenog ispitivanja (Izvor: [12])

PILE PROFILE	DESCRIPTION	REFLECTOGRAM
	Straight pile, free end, length as expected	
	Straight pile, fixed end, length as expected	
	Straight pile, free end, shorter than expected	
	Increased impedance	
	Decreased impedance	
	Locally increased impedance	
	Locally decreased impedance	
	High L/D ratio and/or high skin friction -no toe reflection	
	Multiple reflections from mid-length discontinuity - toe reflection indiscernible	
	Irregular profile - irregular reflectogram	

Slika 41 Prikaz mogućih rezultata ispitivanja ovisno o integritetu pilota (Izvor: [13])



Nadalje, za mjerenje nagiba i deformacija tla predviđa se upotreba inklinometara, a za određivanje visinskih i horizontalnih pozicija, odnosno za mjerenje pomaka i promjena u terenu tijekom gradnje ili eksploatacije, predviđa se upotreba geodetskih repera. Mjerenja potonjih koriste se za dobivanje geodetske osnove, praćenje stabilnosti izvedenih građevinskih objekata, te izradu karata, a ostvaruju se pomoću instrumenata poput nivelira, teodolita ili GPS-a. Inklinometarska mjerenja se, pak, zasnivaju na određivanju relativnih kutova zaokreta i deformacija u tlu i stijeni okomito na bušotinu prateći pomake tla i deformacije u dubini čime se omogućuje i analizu stabilnosti tla i objekata.

## **8. ZAKLJUČAK**

Klizište u ulici Đurini općine Granešina utvrđeno je kao klizište rotacijskog tipa manjih dimenzija, lokaliziran na sam nasip prometnice. Nužna je bila primjena većeg broja metoda ispitivanja temeljnog tla na predmetnoj lokaciji za dobivanje cjelovitog uvida u prostorno rasprostiranje inženjersko-geoloških sredina, kao i uvid u njihove fizikalno-mehaničke karakteristike. Pretpostavlja se da je razlog aktivacije klizišta bilo potencijalno prekoračenje nosivosti tla čime je pokos doveden u nestabilno stanje aktivacijom klizišta. Projektom sanacije uvodi se izvedba pilotne stijene. Proračuni vršeni za pisanje rada temelje se na rezultatima pokusa izvedenih na uzorcima dobivenih iz dvije istražne bušotine. Koristeći module računalnog programa koji provode tražene analize metodom konačnih elemenata, odnosno granične ravnoteže, rezultati analiza stabilnosti, pripadajućih kliznih ploha te faktora sigurnosti su zadovoljavajući.

## Literatura

- [1] Jurić Kaćunić, D., Kovačević, M. S., Bačić, M., Garašić, D., Pušić, L., Cvetković, M., Baletić, D., Car, M., (2024) *Sanacija cestovnog klizišta u ulici Đurini, Geotehnički elaborat*, Centar građevinskog fakulteta i Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, GEL-13/2024
- [2] Basch, O. (1983): *Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, Tumač za list Ivanić-Grad L33– 81.* – Geološki zavod, Zagreb (1980); Savezni geološki institut, Beograd, 66 str.
- [3] Klimatološki podaci, Ukupna mjesečna i godišnja količina oborine, Državni hidrometeorološki zavod,  
[https://meteo.hr/klima.php?section=klima\\_podaci&param=k2\\_1&Godina=2014](https://meteo.hr/klima.php?section=klima_podaci&param=k2_1&Godina=2014)  
pristupljeno 12.08.2024.
- [4] Herak, M (2011) *Republika Hrvatska Karta potresnih područja. Poredbeno vršno ubrzanje tla tipa A s vjerojatnosti premašaja 10% u 10 godina (povratno razdoblje 95 godina)* – Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geofizički odsjek, Zagreb; Državna geodetska uprava, Zagreb
- [5] Kovačević, M. S., (2024), kolegij: Terenska ispitivanja i opažanja, predavanje „*Penetracijski pokusi*”
- [6] Bačić, M., Matić, S.,(2024) kolegij: Geotehnički projekt, „*Odabir geotehničkih parametara tla za proračun*”
- [7] Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Maranić, Z., Ivšić, T., (2017) *Pomoćni dijagrami, tablice i formule za ispit*
- [8] Kovačević, M. S., (2024) kolegij: Podzemne građevine, predavanje „*Monitoring podzemnih građevina*”
- [9] Kovačević, M. S., (2024) kolegij: Terenska ispitivanja i opažanja, predavanje „*Ispitivanja nosivosti i cjelovitosti pilota*”
- [10] Cerić, A., Stepinac, D., Tubić, J., Stojanović Kapetanić, T., Babić, M., (2022) *Opći tehnički uvjeti za radove u vodnom gospodarstvu, 1. poglavlje: Pripremni radovi*
- [11] Cerić, A., Kovačević, M. S., Bačić, M., (2022) *Opći tehnički uvjeti za radove u vodnom gospodarstvu, 2. poglavlje: Zemljani radovi*

- [12] Hossain, M. I., Hamim, O. F., (2020) *Evaluation of Cast-in-Situ Pile Condition Using Pile Integrity Test*, World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Geotechnical and Geological Engineering, vol. 14, br. 7
- [13] Turner, M. J. (1997). Integrity testing in piling practice. London, Construction Industry Research and Information Association

**Popis slika**

Slika 1 Lokacija predmetnog zahvata (Izvor: [1]) .....	1
Slika 2 Prikaz klizišta (Izvor: [1]).....	2
Slika 3 Pregledna geološka karta lista Ivanić-Grad (Izvor: [2]).....	8
Slika 4 Lokacija predmetnog područja, stanje na dan 6. kolovoza 2024. (Izvor: Ministarstvo pravosuđa, uprave i digitalne transformacije) .....	9
Slika 5 Vidljive pukotine na objektu ispod novonastalog klizišta (Izvor: [1]) .....	10
Slika 6 Pukotine u čeonj zoni klizišta (Izvor: [1]).....	11
Slika 7 Karta potresnih područja za $T_p = 95$ godina (Izvor: [4]).....	12
Slika 8 Isječak iz predmetne karte s obilježenom lokacijom promatranog klizišta (Izvor: [4]) .....	13
Slika 9 Fotodokumentacija istražne bušotine B1 (Izvor: [1]).....	17
Slika 10 Fotodokumentacija istražne bušotine B2 (Izvor: [1]) .....	17
Slika 11 Presjek istražne bušotine B1 (Izvor: [1]).....	18
Slika 12 Presjek istražne bušotine B2 (Izvor: [1]).....	19
Slika 13 Preporuke za određivanje nedrenirane čvrstoće gline [Clayton, 1995.].....	21
Slika 14 Tablica preporuka za odabir koeficijenta propusnosti (Izvor: [7]).....	22
Slika 15 Odnos kuta unutarnjeg trenja i indeksa plastičnosti [Gibson, 1953.].....	23
Slika 16 Jednadžbe za dobivanje modula stišljivosti pomoću broja udaraca SPT-a (Izvor: [6]) .....	24
Slika 17 Zone sanacije u ulici Đurini (Izvor: [1]) .....	26
Slika 18 Tablica za određivanje klase tla (Izvor: [6] ) .....	30
Slika 19 Tablica za određivanje koeficijenta $S$ pomoću klase tla (Izvor: [6] ) .....	31
Slika 20 Tablica za određivanje koeficijenta $r$ prema vrsti temeljne konstrukcije (Izvor: [6]) .....	31
Slika 21 Početno stanje naprezanja ( $F_s=0,957$ ).....	33
Slika 22 Zamjena tla materijalom većeg kuta trenja i manje kohezije ( $F_s=1,059$ ).....	34
Slika 23 Ugradnja pilotne stijene rezultira povećanjem faktora sigurnosti ( $F_s=1,411$ ) .....	34
Slika 24 Faktor sigurnosti za vrijeme potresa (-) ( $F_s=1,396$ ) .....	35
Slika 25 Faktor sigurnosti za vrijeme potresa (+) ( $F_s=1,235$ ).....	35
Slika 26 Početno stanje naprezanja uz prisutnost vode ( $F_s=0,957$ ) .....	36
Slika 27 Postizanje stabilnosti zamjenom tla ( $F_s=1,086$ ) .....	37
Slika 28 Ojačanje nestabilne padine pilotnom stijenom osigurana je i globalna stabilnost ( $F_s=1,166$ ) .....	37
Slika 29 Postignuta stabilnost za vrijeme potresa ugradnjom pilotne stijene ( $F_s=1,284$ )..	38
Slika 30 Lokalna stabilnost pokosa u slučaju potresa ( $F_s=1,362$ ) .....	38

Slika 31 Slijeganje prometnice prije ugradnje potpornog sustava .....	40
Slika 32 Izdizanje tla nakon otklanjanja težine iskapanjem materijala (korak 1) .....	41
Slika 33 Izdizanje tla nakon otklanjanja težine iskapanjem materijala (korak 2) .....	41
Slika 34 Slijeganje baze pilota (bez opterećenja) .....	42
Slika 35 Slijeganje baze pilota (s opterećenjem od ceste).....	42
Slika 36 Uzdužna sila u pilotu .....	43
Slika 37 Posmična sila u pilotu, vidljiv skok na mjestu promjene slojeva .....	44
Slika 38 Momenti u pilotu po njegovoj duljini .....	44
Slika 39 Horizontalni pomak pilota uz skok na mjestu promjene okolnog tla .....	45

**Popis tablica**

Tablica 1: Norma za izvedbu istražnog bušenja .....	4
Tablica 2: Norme za provođenje laboratorijskih pokusa .....	5
Tablica 3: Rezultati klasifikacijskih pokusa (Izvor: [1]).....	20
Tablica 4: Mehaničke karakteristike tla (Izvor: [1]) .....	20
Tablica 5: Sumarna tablica karakterističnih vrijednosti parametara tla.....	24
Tablica 6: Sumarna tablica proračunskih vrijednosti parametara tla .....	25
Tablica 7 Tablica faktora sigurnosti za suho stanje tla .....	39
Tablica 8 Tablica faktora sigurnosti uz prisutnost vode u tlu.....	39