

# Sanacija klizišta na ulazu u grad Oroslavje

---

Grčić, Filip

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:237:128512>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-27**

Repository / Repozitorij:

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





Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Filip Grčić

# **Sanacija klizišta na ulazu u grad Oroslavje**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2024



Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Filip Grčić

# **Sanacija klizišta na ulazu u grad Oroslavje**

DIPLOMSKI RAD

izv.prof.dr.sc. Mario Bačić

Zagreb, 2024



University of Zagreb

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

Filip Grčić

**Landslide stabilization at the entrance to  
the city of Oroslavje**

MASTER THESIS

assoc.prof.dr.sc. Mario Bačić

Zagreb, 2024

## ZAHVALE

Hvala mojoj obitelji, najbližima, prijateljima, kolegama i poznanicima na svemu što ste mi pružili tijekom mog studiranja.

Zahvala mom mentoru na pomoći pri izradi ovog rada.

## SAŽETAK

U ovom diplomskom radu istražuje se problematika i rješenje sanacije klizišta na ulazu u grad Oroslavje. Klizišta predstavljaju ozbiljnu prirodnu pojavu koja uzrokuje velike materijalne štete i predstavlja opasnost za ljudske živote. Klizište se sanira pilotnom stijenom koja se sastoji od naglavne grede i pilota uz rub ceste. Rad obuhvaća analizu trenutnog stanja klizišta i određivanje geotehničkih karakteristika tla iz provedenih terenskih i laboratorijskih istraživanja. Korištenje numeričkih proračuna izvedenim uz pomoć programskog alata GeoStudio, kao što su analize stabilnosti i naponsko-deformacijske analize za procjenu stabilnosti tla i određivanja stanja naprezanja u klizištu. Također proračun potrebne armature elemenata sanacije pomoću programa Aspalathos, te opis tehnologije izvedbe, programa kontrole i praćenja kvalitete izvedenih radova.

**Ključne riječi:** klizište; istražni radovi; analiza stabilnosti; naponsko-deformacijska analiza; pilotna stijena

## SUMMARY

This thesis investigates the problem and solution for the stabilization of a landslide at the entrance to the town of Oroslavje. Landslides are a serious natural phenomenon that causes significant material damage and poses a risk to human lives. The landslide is being stabilized using a pilot wall system consisting of a head beam and pilots along the road edge. The study includes an analysis of the current state of the landslide and determination of the geotechnical soil characteristics through conducted field and laboratory investigations. Numerical calculations, performed using the GeoStudio software, such as stability analyses and stress-deformation analyses, are used to assess soil stability and stress conditions in the landslide. Additionally, reinforcement calculations for the stabilization elements are carried out using Aspalathos, and the execution technology, as well as the monitoring and quality control program for the completed works, are described.

**Ključne riječi:** landslide; istražni radovi; stability analysis; stress-deformation analysis; pile wall

## SADRŽAJ

|   |            |
|---|------------|
| <b>ZAHVALE</b> .....  | <b>i</b>   |
| <b>SAŽETAK</b> .....  | <b>ii</b>  |
| <b>SUMMARY</b> .....  | <b>iii</b> |
| <b>SADRŽAJ</b> .....  | <b>iv</b>  |
| <b>1. UVOD</b> .....  | <b>1</b>   |
| <b>2. METODE I TEHNIKE RADA</b> .....                             | <b>2</b>   |
| <b>3. RAZRADA TEME</b> .....                                      | <b>3</b>   |
| 3.1. Općenito o klizištima .....                                  | 3          |
| 3.2. Metode sanacije klizišta uz ceste .....                      | 4          |
| 3.2.1. Drenažni sustavi .....                                     | 4          |
| 3.2.2. Promjena geometrije kosine .....                           | 6          |
| 3.2.3. Unutarnje ojačanje kosine .....                            | 7          |
| 3.2.4. Izgradnja potpornih konstrukcija .....                     | 8          |
| 3.3. Prikaz klizišta na ulazu Oroslavje .....                     | 11         |
| 3.3.1. Lokacija klizišta .....                                    | 11         |
| 3.3.2. Problematika postojećeg stanja .....                       | 11         |
| 3.3.3. Cilj rješenja sanacije .....                               | 15         |
| 3.4. Razrada podloga .....  | 19         |
| 3.4.1. Geotehnički elaborat .....                                 | 19         |
| 3.4.1.1. Terenski istražni radovi .....                           | 19         |
| 3.4.1.2. Laboratorijska ispitivanja uzoraka .....                 | 21         |
| 3.4.1.3. Prikaz rezultatnih bušotinskih stupova .....             | 22         |
| 3.4.1.4. Rezultati laboratorijskih pokusa .....                   | 25         |
| 3.4.2. Geotehnički profili tla .....                              | 26         |
| 3.4.3. Karakteristični parametri tla .....                        | 29         |
| 3.4.3.1. Glinoviti šljunak s pijeskom (GC) .....                  | 30         |
| 3.4.3.2. Glina niske plastičnosti (CL) .....                      | 34         |
| 3.4.3.3. Glina visoke plastičnosti (CH) .....                     | 40         |
| 3.4.3.4. Zamjenski materijal: Dobro graduirani šljunak (GW) ..... | 44         |
| 3.4.4. Proračunski parametri tla .....                            | 46         |
| 3.4.5. Sumarne tablice parametara tla .....                       | 49         |
| 3.4.6. Proračun seizmičkih karakteristika .....                   | 50         |
| 3.4.7. Potrebni parametri pilotne stijene .....                   | 53         |
| 3.5. Geotehnički proračuni .....                                  | 54         |
| 3.5.1. Analize stabilnosti .....                                  | 54         |
| 3.5.1.1. Geotehnički profil 1 .....                               | 55         |
| 3.5.1.2. Geotehnički profil 2 .....                               | 60         |



---

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| 3.5.1.3.  | Geotehnički profil 3.....                          | 66         |
| 3.5.2.    | Sumarne tablice faktora sigurnosti.....            | 72         |
| 3.5.3.    | Naponsko-deformacijske analize .....               | 74         |
| 3.5.3.1.  | Geotehnički profil 2.....                          | 78         |
| 3.5.3.2.  | Geotehnički profil 3.....                          | 89         |
| 3.5.4.    | Sumarne tablice reznih sila i pomaka.....          | 100        |
| 3.6.      | Proračun armature.....                             | 102        |
| 3.6.1.    | Proračun armature naglavne grede (Aspalathos)..... | 102        |
| 3.6.2.    | Proračun armature pilota (Aspalathos).....         | 104        |
| 3.6.3.    | Odabrana armatura.....                             | 105        |
| 3.7.      | Tehnologija izvedbe, kontrola i monitoring.....    | 106        |
| 3.7.1.    | Tehnički opis izvođenja pilotne stijene.....       | 106        |
| 3.7.2.    | Program kontrole kvalitete.....                    | 108        |
| 3.7.3.    | Program praćenja pilota .....                      | 110        |
| <b>4.</b> | <b>ZAKLJUČAK .....</b>                             | <b>111</b> |
|           | <b>POPIS LITERATURE.....</b>                       | <b>112</b> |
|           | <b>POPIS SLIKA.....</b>                            | <b>113</b> |
|           | <b>POPIS TABLICA .....</b>                         | <b>116</b> |

## 1. UVOD

U uvodnom dijelu rada, obrađuje se tema klizišta, koja je važna zbog svojih utjecaja na infrastrukturne objekte i sigurnost ljudi. Klizišta predstavljaju složene geotehničke probleme koji mogu uzrokovati ozbiljne štete i narušiti stabilnost terena, što ih čini ključnim područjem istraživanja i sanacije. Tema je izabrana zbog njenog značaja u prevenciji i upravljanju prirodnim katastrofama, kao primjer procesa rješavanja problematike klizišta.

Metode i tehnike rada uključuju analize problema klizišta, istraživačke aktivnosti i korištenje programskih alata. Analize problema klizišta obuhvaćaju procjenu uzroka, trenutnog stanja i predloženih rješenja. Istraživačke aktivnosti su ključne za prikupljanje podataka i razumijevanje specifičnih uvjeta terena, dok programski alati omogućuju precizne simulacije i analize.

U razradi teme, početni fokus je na klizište. Klizišta se mogu pojaviti zbog različitih uzroka, uključujući geološke i hidrološke uvjete, ljudske aktivnosti i promjene u okolišu. Analiza trenutnog stanja klizišta omogućava nam da identificiramo specifične probleme i potencijalne rizike. Cilj sanacije je stabilizirati teren i spriječiti daljnje pomicanje tla. Postoje različite metode sanacije klizišta, uključujući mehaničke, kemijske i kombinirane tehnike, koje se primjenjuju ovisno o specifičnostima klizišta.

Zatim razrada podataka iz geotehničkog elaborata koji sadrži detaljne podatke o tlu i njegovim svojstvima na temelju istražnih radova. Terenski istražni radovi provode se kako bi se prikupili podaci o strukturi i stabilnosti tla, dok laboratorijski istražni radovi omogućuju precizno određivanje karakterističnih, proračunskih i seizmičkih parametara tla. Karakteristični parametri tla odnose se na osnovne fizičke i mehaničke osobine tla, dok proračunski parametri služe za izračunavanje stabilnosti i opterećenja. Seizmički parametri su važni za procjenu utjecaja potresa na stabilnost tla.

Spomenuti parametri se koriste za geotehničke proračune koji uključuju analize stabilnosti, naponsko-deformacijske analize i dimenzioniranje pilota. Analize stabilnosti procjenjuju koliko je teren stabilan pod različitim uvjetima, naponsko-deformacijske analize omogućuju razumijevanje promjena u napetostima i deformacijama tla, dok dimenzioniranje pilota osigurava odgovarajuće dimenzije i raspored pilota za podršku struktura.

Na kraju, opisujemo predložene sanacijske mjere. Tehnologije koje će se koristiti ovise o specifičnostima klizišta i uključuju metode poput injektiranja, stabilizacije tla i konstrukcije potpornih zidova. Programi praćenja kvalitete izvedbe i eksploatacije ključni su za osiguranje dugoročne stabilnosti i uspješnosti sanacije, omogućujući pravovremeno otkrivanje i rješavanje potencijalnih problema.

## 2 . METODE I TEHNIKE RADA

U ovom poglavlju će se opisati koje će metode i tehnike biti korištene pri razradi teme ovog diplomskog rada. Također će se objasniti kako su provedene istraživačke aktivnosti, te koji su programski alati su korišteni.

Za analizu problema klizišta korištene su sljedeće metode:

Geotehnička ispitivanja: uključujući bušenje sonde za uzorkovanje tla, standardne penetracijske testove (SPT), i laboratorijske analize mehaničkih svojstava tla (npr. izravni posmik, kohezija, kut unutarnjeg trenja).

Analiza mehaničke otpornosti i stabilnosti rješenja za stabilizaciju klizišta: Primjena metoda poput metoda granične ravnoteže (Limit Equilibrium Methods, LEM) i numeričkih metoda (Finite Element Method, FEM).

Istraživačke aktivnosti bit će provedene u nekoliko faza:

Terenski rad: Prikupljanje uzoraka tla i geoloških podataka s područja klizišta. Mjerenje nagiba, procjena vegetacijskog pokrova i hidrologije područja.

Laboratorijska ispitivanja: Analiza uzoraka tla u laboratoriju kako bi se odredila njihova mehanička svojstva i sastav.

Analiza podataka: Razrada podloga, odabir geotehničkih profila tla i relevantnih parametara.

Provedba numeričkih analiza: analize stabilnosti i naponsko deformacijske analize.

Tijekom analiza i proračuna koristili su se sljedeći programski alati:

AutoCAD: izrada tehničkih crteža i vizualizacija sanacijskih mjera.

GeoStudio: analize stabilnosti i naponsko deformacijske analize.

Aspalathos: proračun potrebne armature u pilotnoj stijeni.

Kombinacijom ovih metoda, istraživačkih aktivnosti i alata, se temeljito analizirao problem klizišta, te su se definirale učinkovite sanacijske mjere.

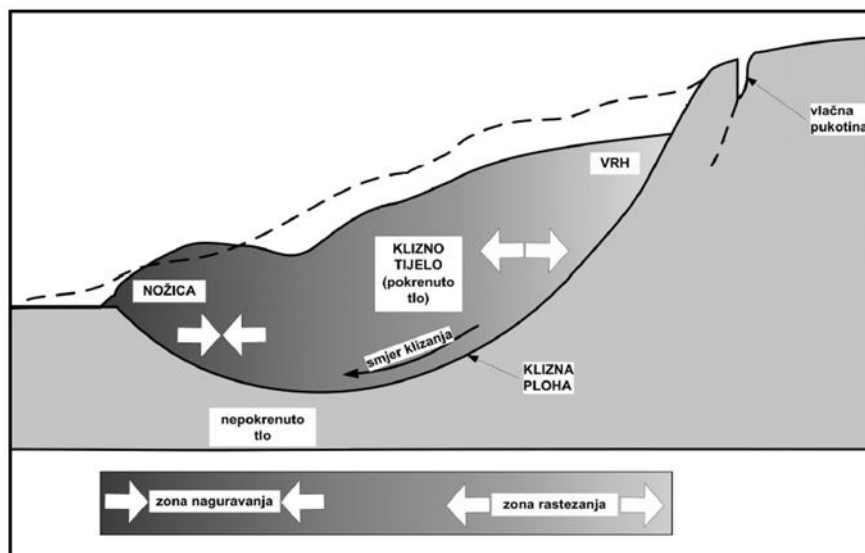
### 3. RAZRADA TEME

#### 3.1. Općenito o klizištima

Klizište je dio kosine na kojem je uslijed poremećaja stabilnosti došlo do klizanja tla, odnosno pomicanja površinskog sloja zemlje. Pomaknuta masa tla, tj. klizno tijelo se pomiče po ravnoj, zakrivljenoj ili kružnoj kliznoj plohi po nepokrenutom tlu. Razvijaju se dvije zone, u nožici kliznog tijela zona naguravanja gdje se povećava čvrstoća, a u vrhu zona rasterećenja uslijed gubitka vlačne čvrstoće gdje je moguća i pojava vlačnih pukotina.

Najčešći uzrok nastanka klizišta je promjena razine podzemne vode, promjena protoka površinske vode, sezonske promjene vlažnosti i temperature zraka, tektonski poremećaji i potresi, kao i neprikladni zahvati na tlu. Svi uzroci se koriste pri numeričkom modeliranju i analizi stabilnosti kosina prema detaljnim i preciznim normativima.

Osim uzroka, stabilnost kosine ovisi i o karakteristikama same kosine kao što je nagib i oblik padine, geomehanička svojstva tla, rasporedu slojeva tla i dr. Promjenom karakteristika se utječe na povećanje ili smanjenje posmične čvrstoće tla koja je usko povezana s faktorom sigurnosti koji služi kao mjera stabilnosti kosine.



Slika 1.: Elementi klizišta (Izvor: [1])

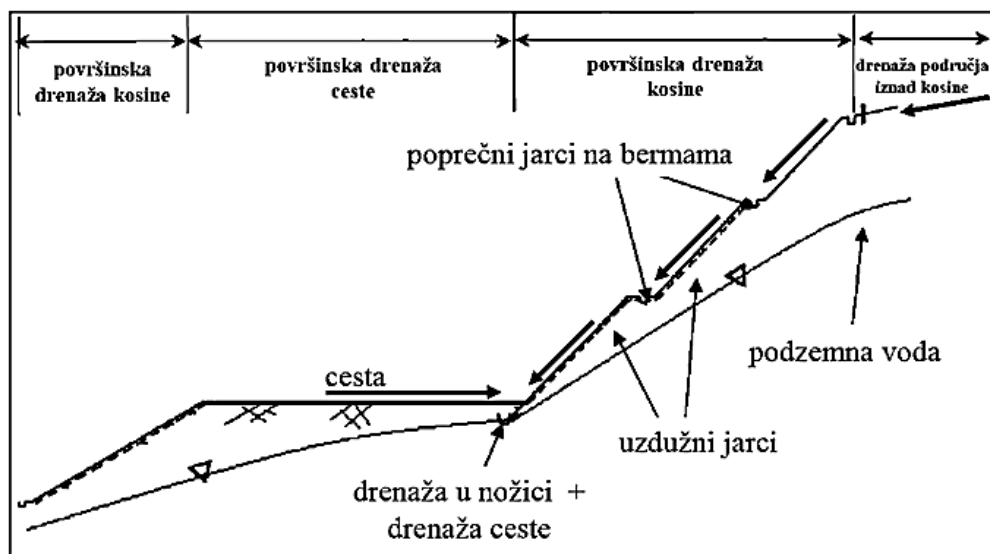
### 3.2. Metode sanacije klizišta uz ceste

Rješenje problema klizišta je njegova sanacija, tj. stabilizacija postojećih nestabilnosti primjenom načina kao što je reduciranje sila koje pokreću klizanje ili povećanje sila otpornosti klizanju ili oboje. Načine realiziramo građevinskim zahvatima, najčešće izvođenjem sustava drenaže, kojim se snižava razina podzemne vode, promjenom oblika i materijala kosine kako bi se smanjilo opterećenje gornjeg dijela klizišta, uz povećanje opterećenja donjeg dijela klizišta, izgradnjom potpornih zidova, sadnjom biljaka i dr.

#### 3.2.1. Drenažni sustavi

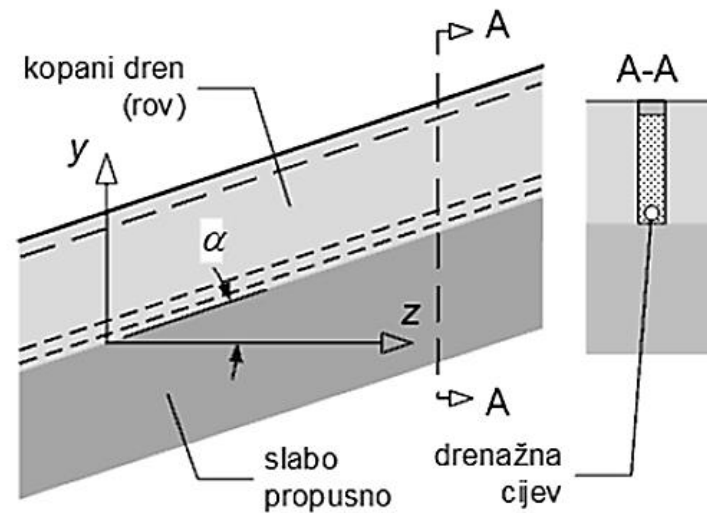
Drenažni sustavi su ključni za kontrolu vode u tlu, posebno u područjima sklona klizištima. Glavna svrha drenažnih sustava je odvođenje površinskih i podzemnih voda kako bi se smanjila zasićenost tla i time povećala njegova stabilnost. Na taj način se smanjuje porni tlak koji inače smanjuje efektivna normalna naprezanja i kao rezultat toga smanjuje čvrstoću tla. Izuzetno učinkovito i ekonomično kod linijskih objekata, kao što su ceste, za sigurno odvijanje prometa sprječavanjem nesreća uslijed skliskog ili oštećenog kolnika. Metode izvođenja drenažnog sustava su površinska drenaža, kopani i bušeni drenovi, te sadnja vegetacije.

Površinska drenaža koristi kanale, jarke i slivnike za učinkovito odvođenje oborinskih voda s površine tla i ceste, smanjujući eroziju i zasićenost tla. Kanali i jarci postavljaju se uz rub ceste kako bi prikupljali i usmjeravali vodu dalje od prometnice. Slivnici i rešetke postavljeni duž ceste prikupljaju vodu i usmjeravaju je u odvodne sustave, dok blagi nagib kolnika omogućava prirodno otjecanje vode prema rubovima.

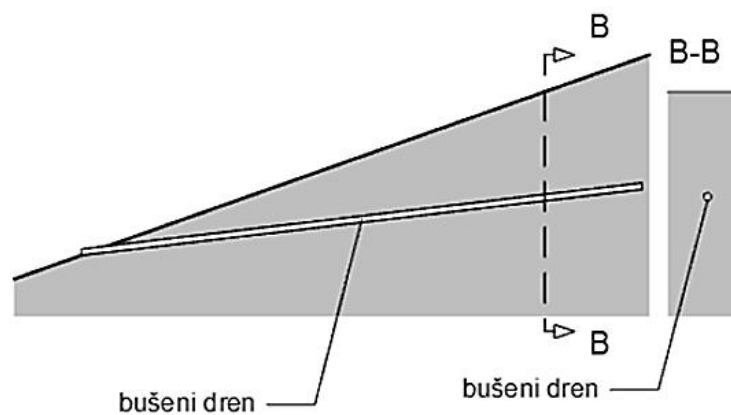


Slika 2.: Površinska drenaža uz ceste (Izvor: [1])

Podzemna drenaža uključuje postavljanje perforiranih cijevi ispod površine tla koje prikupljaju i odvođe podzemne vode, smanjujući tlak u porama i povećavajući čvrstoću tla. Vertikalni drenovi, iskopani rovovi ispunjeni propusnim materijalom, također pomažu u odvodnji podzemne vode. Bušeni drenovi, vertikalne ili horizontalne bušotine ispunjene propusnim materijalom, koriste se za odvodnju vode iz dubljih slojeva tla.



Slika 3.: Kopani dren (Izvor: [1])

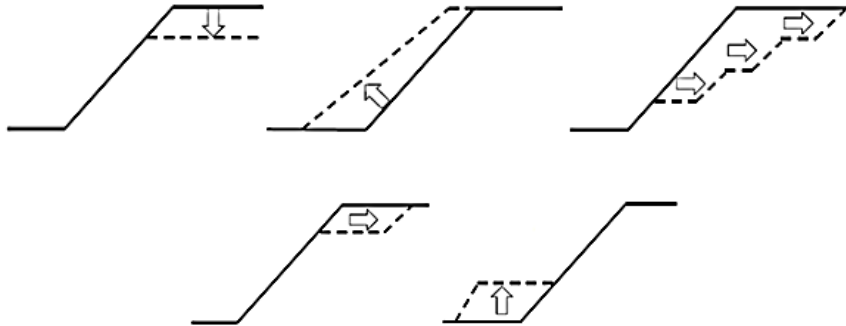


Slika 4.: Bušeni dren (Izvor: [1])

Dodatne metode uključuju tipske montažne betonske kanalice postavljene uz rub ceste koje odvođe vodu u sabirnik s integriranim odvodnim cijevima. Sadnja vegetacije uz ceste pomaže stabilizirati tlo i smanjiti eroziju, dok korijenje biljaka povećava čvrstoću tla[1].

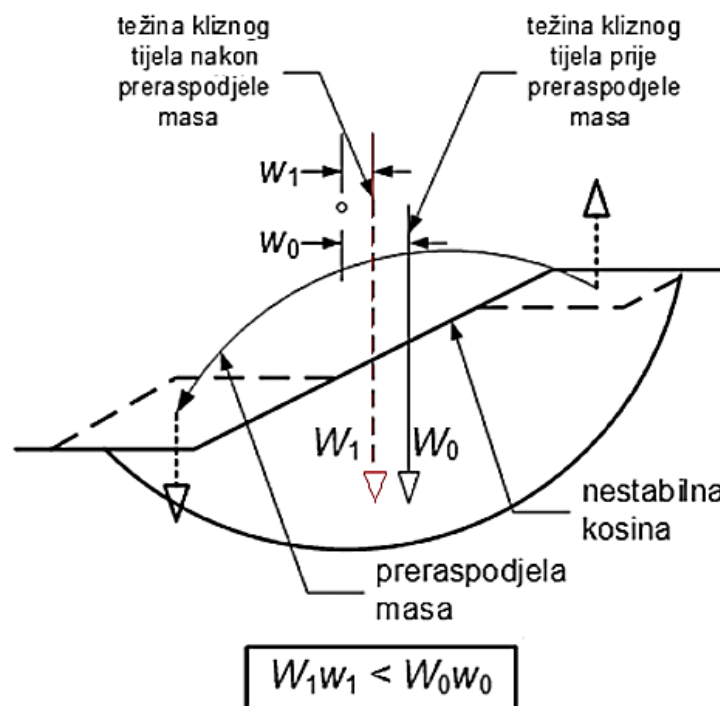
### 3.2.2. Promjena geometrije kosine

Kosina se modificira u oblik koji omogućava stabilnost na tehnički efektivan i ekonomičan način. Postupci promjene geometrije kosine su smanjivanje visine ili nagiba pokosa ili izvedba stepenica na pokosu, odstranjivanje materijala s kosine u njenom gornjem dijelu (vrh), dodavanje materijala u donji dio (nožica) oblika berme.



Slika 5. Postupci promjene geometrije kosine (Izvor: [1])

Razvijeni razni postupci se vrlo često koriste zajedno, npr. preraspodjela mase kosine je kombinacija postupaka uklanjanja tla s vrha i nasipavanje tla u nožicu kosine. Kod rotacijskog klizanja se na taj način smanjuje moment težine kliznog tijela u odnosu na središte rotacije i povećavaju posmična naprezanja na kliznoj plohi čime se povećava faktor sigurnosti. Prikaz navedene kombinacije se može vidjeti na slici 6[1].



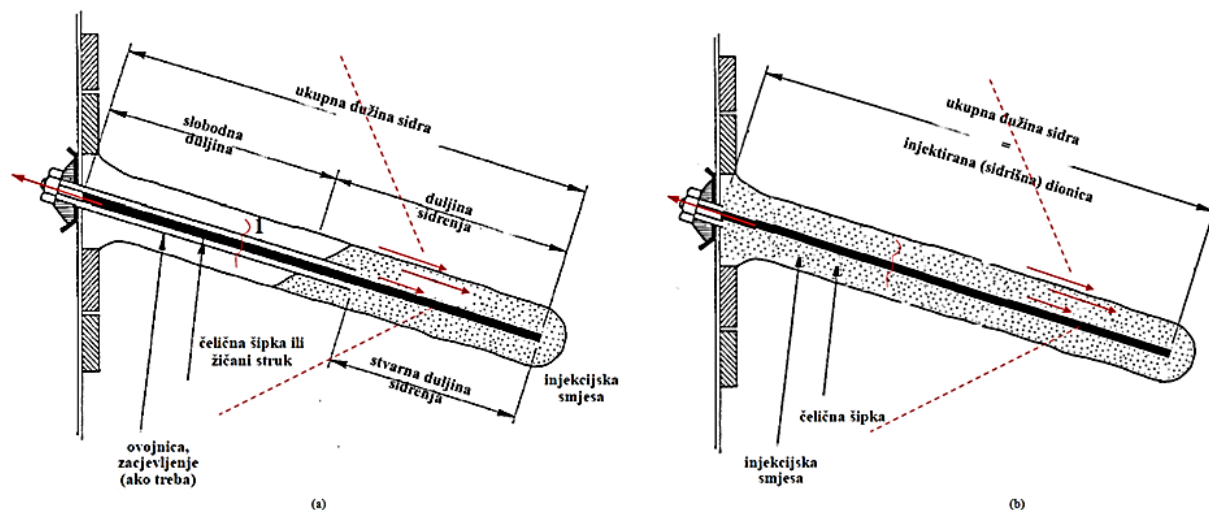
Slika 6.: Shematski prikaz preraspodjele mase kosine (Izvor: [1])

### 3.2.3. Unutarnje ojačanje kosine

„Ojačanje tla i stijena je kontrolirana promjena stanja, prirode ili ponašanja temeljnog tla zbog postizanja planiranih i zadovoljavajućih rezultata postojećih ili projektiranih inženjerskih zahvata.“ [2]

Primjena ojačanja kosine je prilikom izvedbe geotehničkih konstrukcija u tlu ili stijeni male krutosti i nosivosti. Raspon metoda i načina unutarnjeg ojačanja kosina je vrlo velik, a dijele se na dvije glavne kategorije: armiranje tla i poboljšanje karakteristika tla.

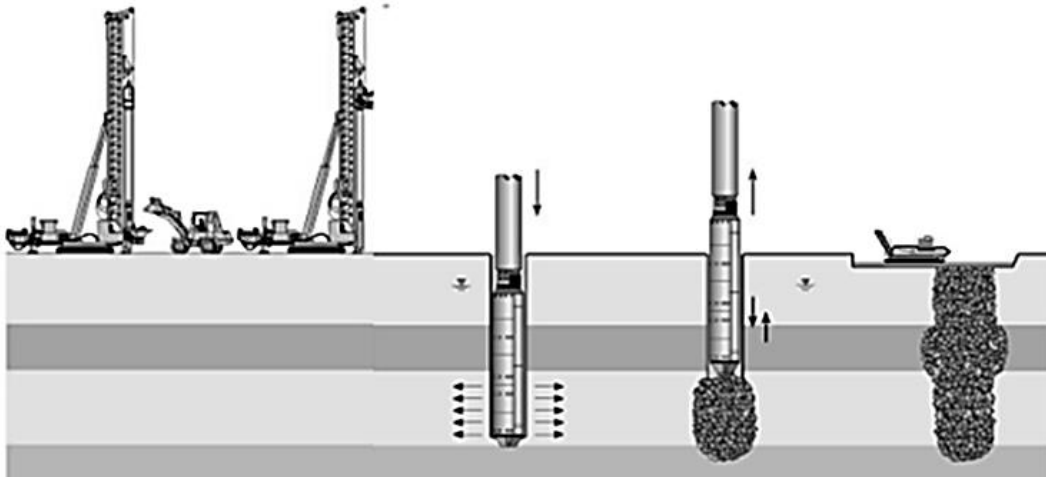
Armiranje tla ili stijene je koristi se za dodavanje dodatne čvrstoće i stabilnosti. To može uključivati upotrebu geotehničkih sidara za aktivno ili pasivno ojačanje, te ugradnju geosintetičkih materijala poput geomreža ili mikropilota za dodatnu stabilnost. Također, sadnja vegetacije može pružiti prirodni mehanički efekt ojačanja pomoću korijena biljaka, dodatno stabilizirajući kosine.



Slika 7.: Aktivno(a) i pasivno(b) geotehničko sidro [Izvor: [1]]

Poboljšanje karakteristika tla ili stijene je također ključni dio unutarnjeg ojačanja kosina. To uključuje primjenu različitih tehnika kao što su injektiranje, šljunčani stupovi, stupovi od vapna ili cementa (soil mixing) te termička obrada ili smrzavanje. Injektiranje se koristi za poboljšanje karakteristika tla ubrizgavanjem kemijskih sastava. Šljunčani stupovi pružaju dodatnu potporu i stabilnost tla duž kosina. Stupovi od vapna ili cementa koriste se za mehaničko miješanje tla s dodatnim materijalima kako bi se povećala čvrstoća i stabilnost. Termička obrada ili smrzavanje su napredne tehnike koje koriste temperature kako bi se postigle željene promjene u tlu ili stijeni, poboljšavajući njegove karakteristike.





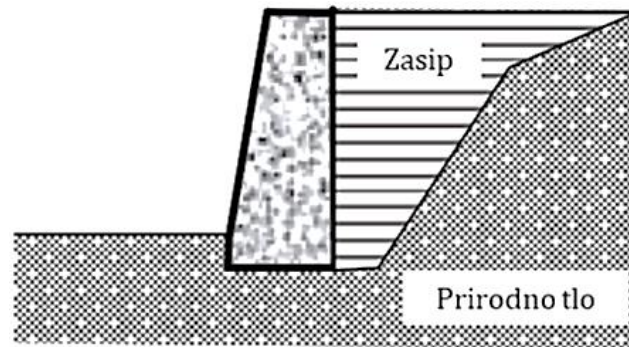
Slika 8.: Shema izvedbe šljunčanih pilota (Izvor: [2])

Kombinacija ovih metoda pruža sveobuhvatni pristup unutarnjem ojačanju kosina, osiguravajući njihovu stabilnost i sigurnost. Svaka metoda prilagođena je specifičnim uvjetima terena kako bi se postigao najbolji rezultat i osigurala dugoročna stabilnost kosina uz ceste[1].

#### 3.2.4. Izgradnja potpornih konstrukcija

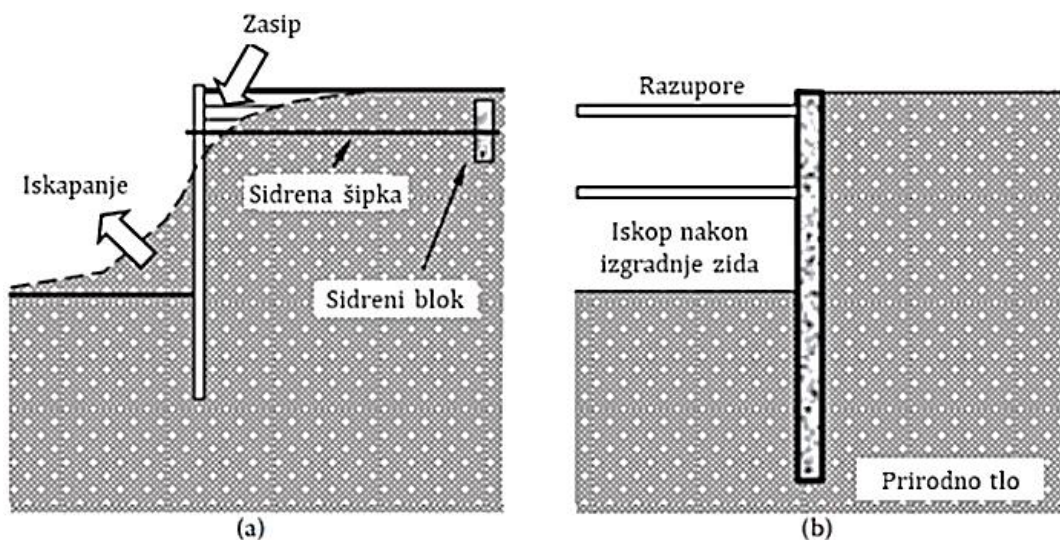
Metoda izvođenja potpornih konstrukcija povećavaju stabilnosti stvaranjem dodatne, gotovo uvijek horizontalne sile na klizno tijelo, čime se povećava otpor klizanju, a time i faktor sigurnosti. Dije se u 3 glavne skupine: gravitacijski zidovi, ugrađeni zidovi i kompozitni zidovi.

Gravitacijski zidovi su masivne konstrukcije koje koriste svoju težinu i čvrstoću tla za održavanje ravnotežnog stanja. To su čvrsti zidovi koji pružaju otpor klizanju terena trenjem između njegove baze i temeljnog tla.. Tipično se koriste na manjim ili srednje velikim projektima gdje je potrebna osnovna stabilnost. Jednostavni za izgradnju, od opeke ili betona i radi velike mase je potrebno dovoljno nosivo temeljno tlo.



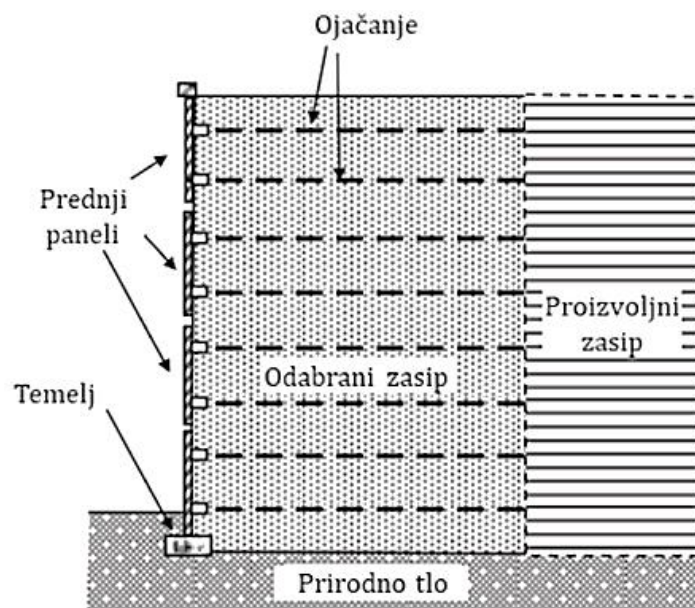
Slika 9.: Gravitacijski zid (Izvor: [3])

Ugrađeni zidovi su strukture koje se koriste za sprječavanje bočnih pomaka tla. Oni se postavljaju tako da djelomično ili potpuno ulaze u tlo, obično duboko ispred razine iskopa. Ova dubina osigurava stabilnost i čvrstoću zida te sprečava klizanje ili pomak tla duž potpornog zida. Obično se izvode u dva oblika, zidovi od predgotovljenih elemenata kao što su talpe koje se nabijaju u tlo bez iskopa prikazano na slici 10 pod (a), te zidovi koji se izvode in situ kao što su dijafragme i pilotne stijene koje se izvode iskopom tla, postavljanjem armature i ispuna betonom prikazano na slici 10 pod (b).



Slika 10.: Ugrađeni zidovi (Izvor: [3])

Kompozitni/hibridni zidovi su složene strukture koje koriste različite komponente kako bi ojačale tlo. Ove kompleksne strukture kombiniraju različite tehnike kako bi pružile snažnu potporu i stabilnost tlu, čineći ih učinkovitim rješenjem za različite izazove u stabilizaciji terena. Neki primjeri kombinacija su: gravitacijski zid od zrnatog materijala ojačan mrežama, ugrađeni zidovi u kombinaciji sa sidrima, višestruki ugrađeni zidovi koji čine ćelije koje se nasipavaju zrnatom ispunom[3].



Slika 11.: Gravitacijski zid od zrnatog materijala ojačan mrežama (Izvor: [3])

### 3.3. Prikaz klizišta na ulazu Oroslavje

#### 3.3.1. Lokacija klizišta

U ovom diplomskom radu se promatra klizište na ulazu u grad Oroslavje km 3+236 na DC307. Cesta na kojem je nastalo klizište se proteže u smjeru istok-zapad iz mjesta Mokrice u grad Oroslavje, te je na promatranom području izgrađena u nasipu. Ispod ceste je izgrađen propust kojim protječe vodotok Kamenjak prikazan na slici 12 plavom bojom. Klizištem zahvaćeno područje je sa sjeverne strane ceste, na slici 12 označeno crvenom bojom.

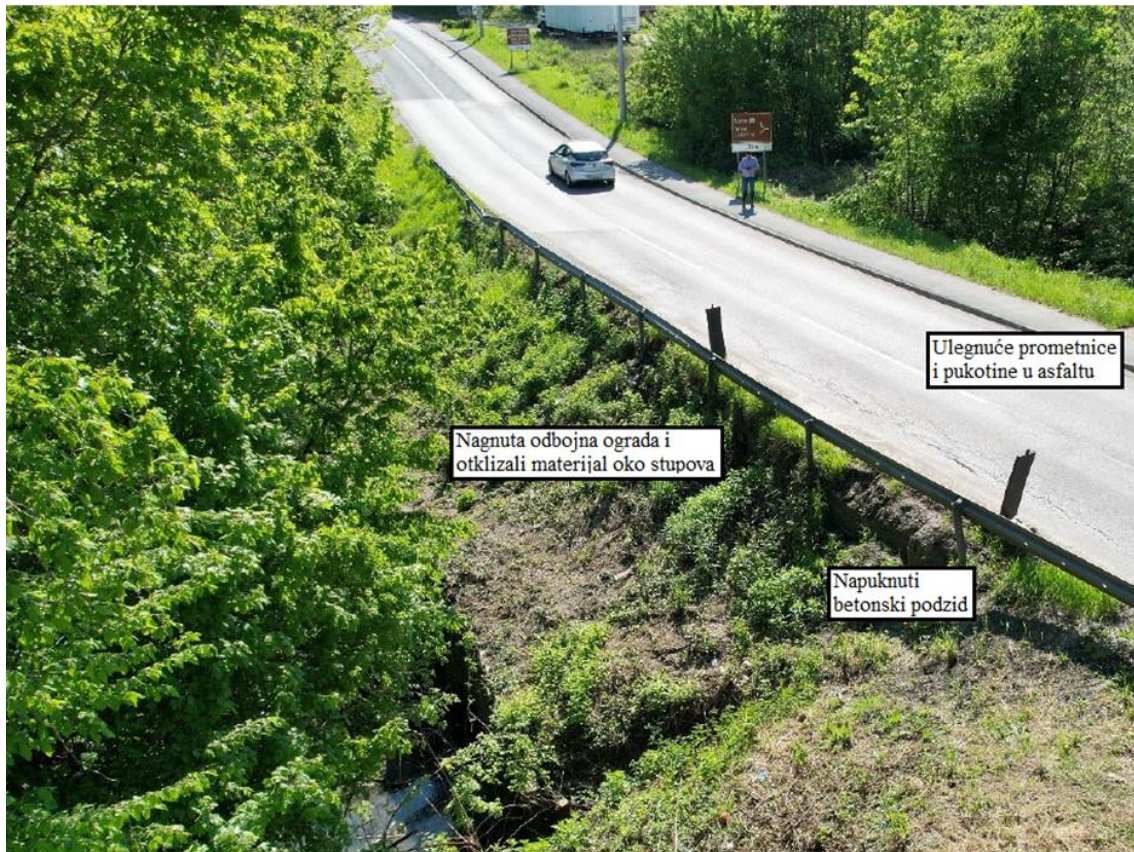


Slika 12.: Lokacija klizišta (Izvor: [4])

#### 3.3.2. Problematika postojećeg stanja

Pregled lokacije upućuje na razne indikatore i probleme nastale uslijed djelovanja klizišta. Indikatori variraju od lako vidljivih koji se odmah prepoznaju i dokumentiraju, do teže vidljivih za koje je potrebno iskustvo i procjena stručnjaka, te posebna oprema za utvrđivanje uzroka nastanka klizišta.

Lako vidljivi znakovi klizišta su odbojna ograda i otklizali materijal oko stupova ograde, napuknuti betonski podzid u trupu kolničke konstrukcije, ulegnuće prometnice i pukotine u asfaltu u zoni klizanja.



Slika 13.: Znakovi klizišta (Izvor: [5])

Zona klizanja materijala je uz dionicu ceste duljine 15 metara na nasipu iznad propusta potoka Kamenjak i uz njega. Klizanje materijala najvidljivije je iznad propusta potoka Kamenjak, gdje je došlo do ulegnuća ceste, sam trup propusta vizualnom provjerom s otvora ne ukazuje na znakove oštećenja.



Slika 14.: Zona klizanja (Izvor: [5])

Sustav odvodnje oborinske vode s prometnice izveden je djelomično. Sustav se sastoji od betonskih kanalica sa istočne i zapadne strane, nagiba ceste prema sjeveru i pada nivelete ceste iz oba smjera. Takav uvjetuje slijevanje vode niz sjeverni pokos nasipa i djelomično u potok Kamenjak.



Slika 15.: Betonska kanalice na istočnoj strani ceste (Izvor: [5])

Glavnim čimbenikom nastanka nestabilnosti na lokaciji je površinsko otjecanje vode iz oborinske kanalice i sa same ceste, što je uzrokovalo ispiranje materijala na putu prema potoku Kamenjaku. Površinsko otjecanje oborinske vode niz pokos dovodi do pojave dviju jasno vidljivih vododerina, te se može pretpostaviti ispiranje čestica tla niz vododerine zajedno sa zasićenjem okolnog tla oborinama i padom posmične čvrstoće materijala na kosini što je dovelo je do klizanja materijala na lokaciji. Vododerine se povećavaju sa svakom intenzivnijom kišom, što dodatno destabilizira već pokrenuto klizište na kosini nasipa ceste.



Slika 16.: Pogled vododerina iz zraka (Izvor: [5])



Slika 17.: Slijevanje vododerina niz pokos (Izvor: [5])

Svi gore spomenuti vidljivi znakovi nestabilnosti odnose se na plitka klizanja nastala uslijed slijevanja oborinske vode niz kosinu zida. Nepotpuni sustav odvodnje ne može ispravno i pravilno odvoditi što dovodi do slijevanja oborinske vode niz sjeverni pokos nasipa i procjeđivanja vode u tijelo nasipa. Takva situacija može dovesti do dodatnog oštećenja ceste i ograničiti normalan protok promet.

### 3.3.3. Cilj rješenja sanacije

Cilj rješenja sanacije je zaštita državne ceste DC307 od opasnosti daljnjeg napredovanja klizanja i mogućeg većeg oštećenja prometnice. Izvodi se pilotna stijena sa naglavnom gredom kao potporna konstrukcija tla, modificira se drenažni sustav za odvodnju oborinske vode, te se provodi zamjena tla na pokosu za ojačanje tla.

Pilotna stijena sastoji se do naglavne grede i pilota.

Piloti imaju promjer  $\varnothing 40$  cm, duljinu 10 metara i osni razmak 60 cm. Međutim iznad propusta su piloti na udaljenosti od 4,8 metara, između pilota 27 i 37,  $\varnothing 40$  cm, duljine 3 metra, a osnog razmaka 60 cm. Izvedba pilota u blizini i iznad propusta dopuštena je tek nakon što se utvrdi točna lokacija propusta ispod pilotne stijene da se ne ošteti. Piloti su izvedeni CFA postupkom, klase betona C30/37, te armature B500A  $6\varnothing 16$  mm (glavna) i B500A  $\varnothing 12$  mm/15 cm (poprečna).

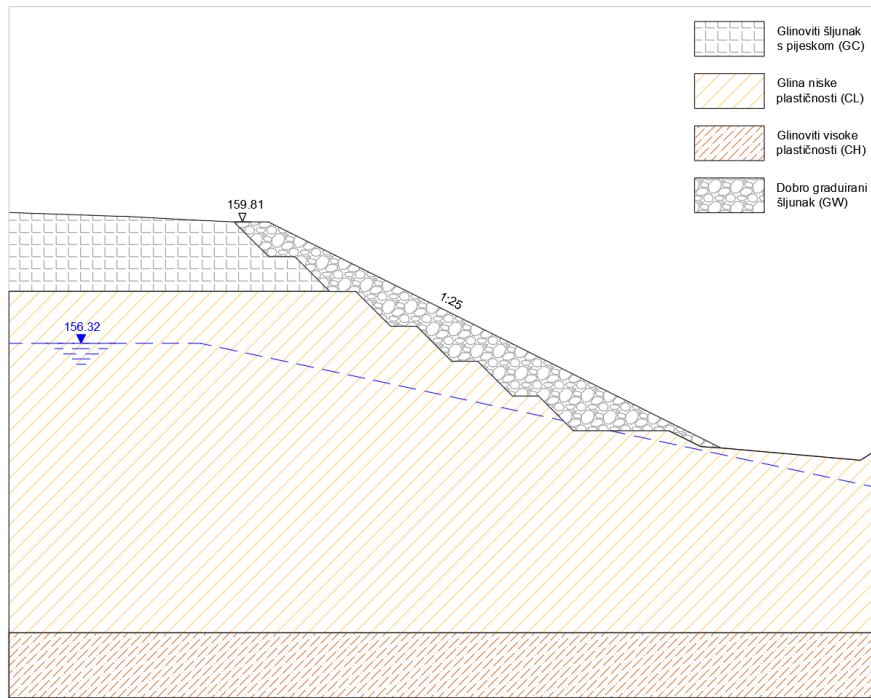
Nakon izvedbe pilota uklanjaju se oštećeni podzidovi i izvodi naglavna greda dimenzija  $60 \times 80$  cm, na duljini 55 m, klase betona C30/37, te armature B500A  $6\varnothing 16$  mm (glavna) i B500A  $\varnothing 12$  mm/15 cm (poprečna). Zbog pada terena konstrukcija se izvodi u nagibu koji prati nagib ceste, cca 2–2.5 %, i pozicioniran je tako da rub pilotne stijene prati rub postojeće ceste.

U sklopu pilotne stijene na naglavnoj gredi se izvodi i drenažni sustav, rubnjak i monolitni betonski rigol, koji zajedno a nagibom prometnice uvjetuje odvodnju vode do najniže točke iznad propusta. Na toj točki izgrađen je sabirnik s integriranim odvodnim kanalom od rubnika koji ispušta vodu u tipsku montažnu betonsku kanalicu na tankoj betonskoj podlozi preko kojeg dalje u potok. Također se, na zapadnoj sanacijskoj zoni, postojeća kanalica nastavlja postavljanjem isto tipične montažne betonske kanalice na tanki sloj betona do dna pokosa kako bi se spriječilo zasićenje pokosa i pojava novih vododerina.

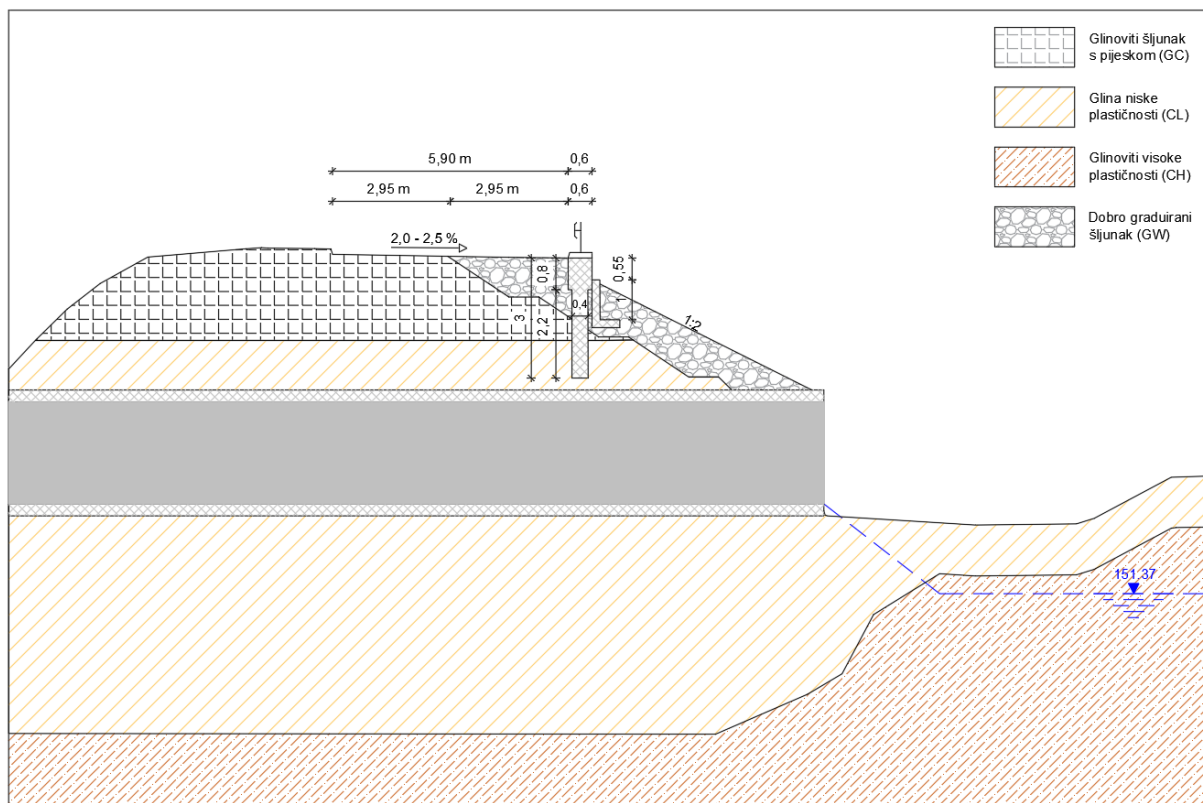
Tlo pokosa se zamjenjuje nekoherentnim heterogenim materijalom, tj. dobro graduiranim šljunkom, oznake GW, promjera 8–63 mm. Zamjenski materijal se izvodi u slojevima od 50 cm, koji se zbijaju na 35–45 MPa, a nagib novonastalog pokosa je od 1:2 do 1:25. Iskop i zamjena se izvodi u dužini od 35 metara ceste i 15 metara na rubu zapadne zone sanacije uz potok Kamenjak. Zasip uz pilotnu stijenu iznad pokosa je snižen za 0.55 m od vrha pilotne stijene.

Ispred pilotne stijene iznad propusta se izvodi zaštitni zid koji nema funkciju prijenosa opterećenja nego sprječava prolazak tla između pilota.

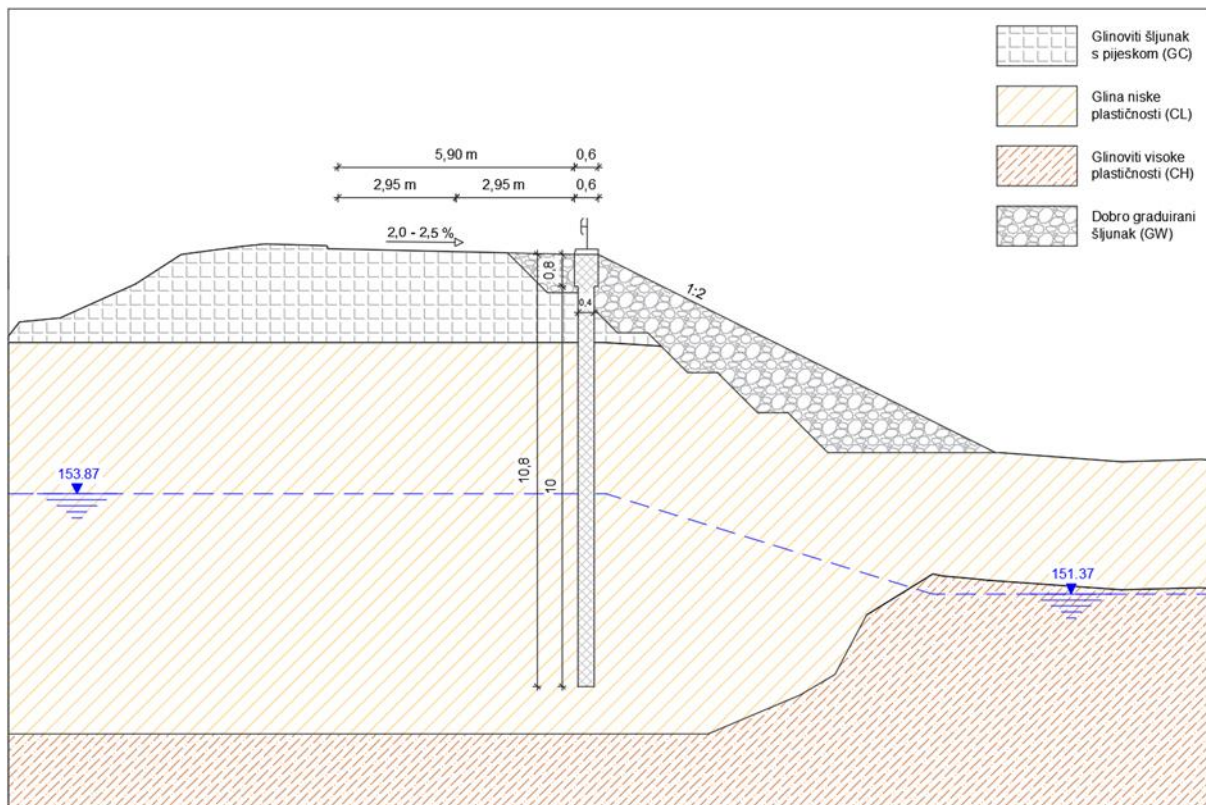




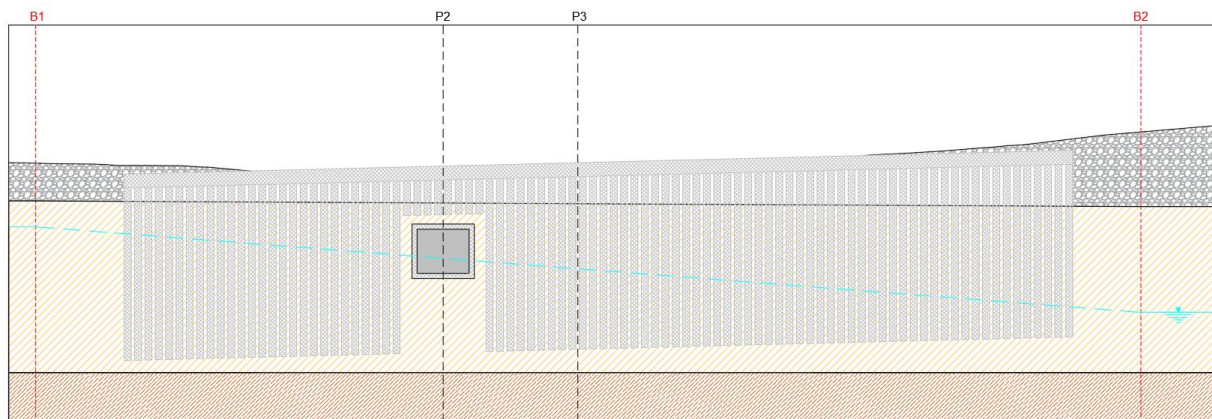
Slika 18.: Skica rješenja uz potok Kamenjak



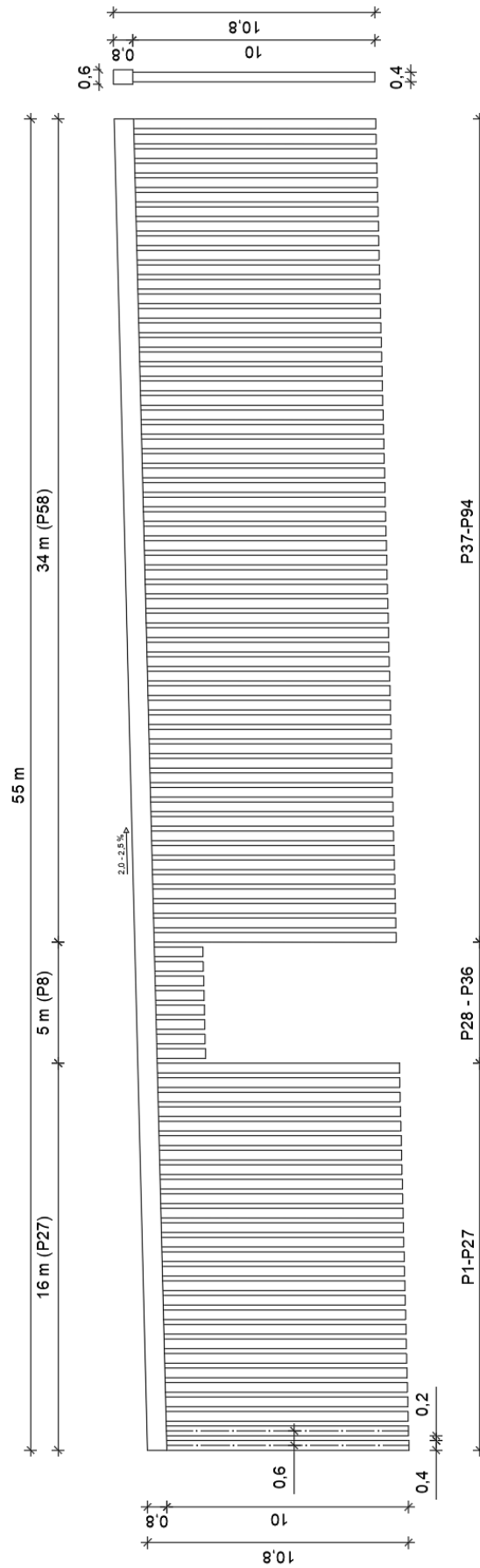
Slika 19.: Skica rješenja iznad propusta



Slika 20.: Skica rješenja pored propusta



Slika 21.: Skica rješenja pilotne stijene



Slika 22.: Skica dimenzija pilotne stijene

### 3.4. Razrada podloga

#### 3.4.1. Geotehnički elaborat

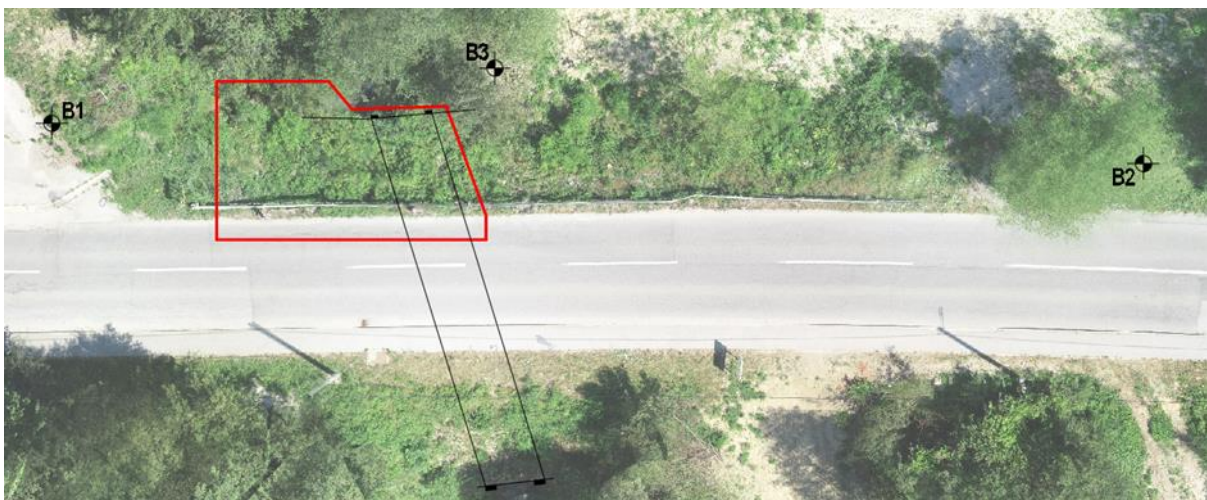
Geotehnički elaborat predstavlja ključni dokument u geotehničkom projektiranju. Obuhvaća obradu i interpretaciju rezultata terenskih istraživanja i laboratorijskih ispitivanja čime se dobivaju relevantne informacije o tlu i geološkim uvjetima na određenoj lokaciji za određivanje geotehničkih karakteristika lokacije. Ovaj dokument pruža temelj za donošenje odluka tijekom planiranja, projektiranja i izvođenja građevinskih radova.

Provedeno je niz istražnih radova kako bi se dobili detaljni uvidi u karakteristike tla na predmetnoj lokaciji.

##### 3.4.1.1. Terenski istražni radovi

Na lokaciji su provedena inženjerskogeološka istraživanja koja analiziraju morfološke, geološke, hidrogeološke i inženjerskogeološke karakteristike lokacije. Ovi istražni radovi obuhvaćaju definiranje mikrolokacija za bušenje, geomehanički nadzor, organizaciju i koordinaciju istražnih aktivnosti, terensku identifikaciju materijala dobivenih bušenjem, AC klasifikaciju, fotografiranje jezgre, pregled, odabir i čuvanje uzoraka za laboratorijska ispitivanja.

Izvođenje istražnih bušotina, dubina 7 i 10 m prikazano na slici 23, s kontinuiranim jezgrovanjem, inženjerske identifikacije i opisa jezgri bušotina kojima se dobiva uvid u geološku strukturu temeljnog tla. Bušotine su označene sa kraticama, za bušotinu jedan B1, bušotinu dva B2, te bušotinu tri B3.

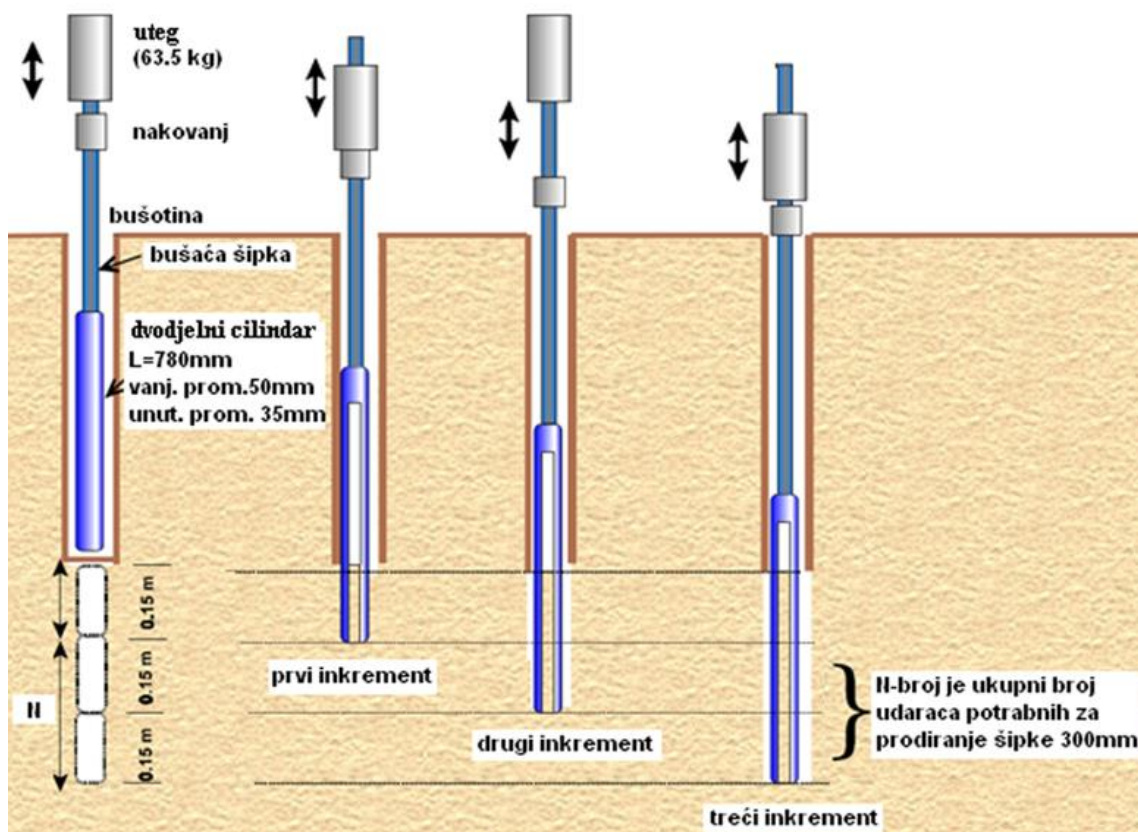


Slika 23.: Prikaz klizišta (crveno), propusta i bušotina

Tablica 1.: Podaci o poziciji istražne bušotine i dubini ispitivanja (Izvor: [6])

| Oznaka bušotine | Koordinate istražnih bušotina |            |        | Dubina ispitivanja (m) |
|-----------------|-------------------------------|------------|--------|------------------------|
|                 | E                             | N          | Z      |                        |
| B1              | 454140.54                     | 5095299.05 | 159.82 | 10.0                   |
| B2              | 454204.63                     | 5095296.68 | 161.49 | 10.0                   |
| B3              | 454166.55                     | 5095302.29 | 154.87 | 7.0                    |

Provođenje standardnog penetracijskog pokusa (SPT) tijekom terenskih istražnih radova, kao i uzimanje uzoraka i njihovo ispitivanje u laboratoriju, čime se dobiva uvid u fizikalno-mehaničke karakteristike temeljnog tla. Ovaj pokus je najrašireniji i najjednostavniji „in situ” pokus za ispitivanje gustoće, čvrstoće i krutosti nekoherentnih tla i mekih stijena. Tijekom bušenja u bušotini se na niz bušaćih šipki umjesto alata za bušenje učvrsti standardizirani penetracijski nož čiji je vanjski promjer 50 mm. Pokus se sastoji od mjerenja broja udaraca (N) utega, mase 63,5 kg, na nakovanj, s visine 760 mm, potrebnih za tri uzastopna prodiranja od 150 mm. Prvo prodiranje se ne uzima u obzir te se smatra namještanjem, dok se broj udaraca potrebnih za drugo i treće prodiranje od 150 mm (ukupno 300 mm) zbraja i daje broj N, tj. otpornost na prodiranje (broj udaraca/0,3 m)[7].



Slika 24.: Postupak provođenja SPT-a (Izvor: [7])

Iz istražne bušotine uzimani su poremećeni (PU) i neporemećeni (NU) uzorci, a intervali jezgri iz kojih su uzeti uzorci prikazani su na slikama 25, 26 i 27.

### 3.4.1.2. Laboratorijska ispitivanja uzoraka

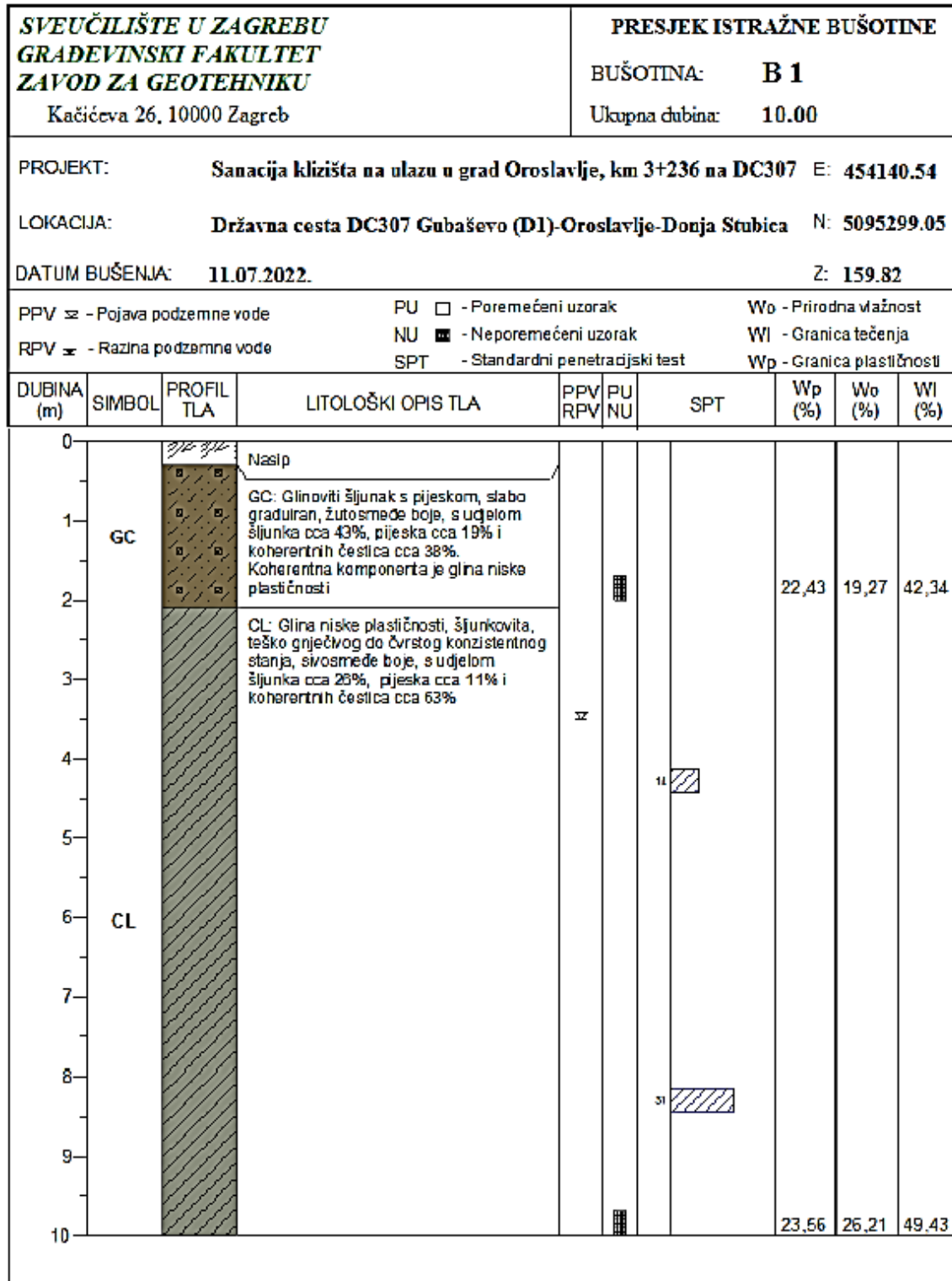
Nakon transporta s gradilišta uzorci su adekvatno pohranjeni u uvjetima konstante vlažnosti i temperature. Na uzorcima tla rađena su sljedeća ispitivanja u tablici 2.

Tablica 2.: Laboratorijska ispitivanja (Izvor: [6])

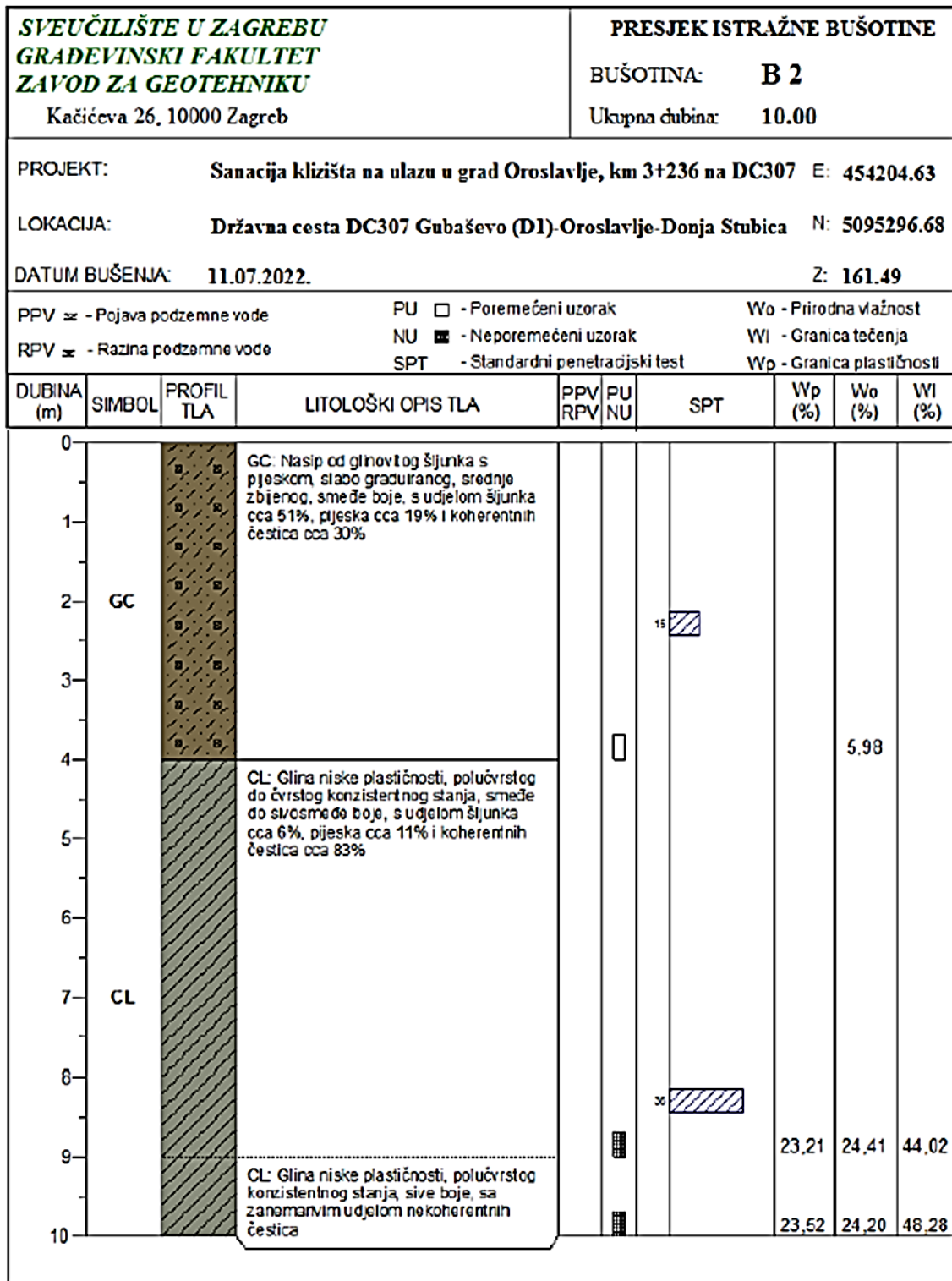
| R.br. | Vrsta ispitivanja                | Broj norme                    | Naziv norme   |
|-------|----------------------------------|-------------------------------|---|
| 1     | Vlažnost                         | HRN EN ISO 17892-1:2014       | Geotehničko istraživanje i ispitivanje - Laboratorijsko ispitivanje tla - 1. dio: Određivanje vlažnosti                                   |
| 2     | Gustoća sitnozrnog tla           | HRN EN ISO 17892-2:2015       | Geotehničko istraživanje i ispitivanje -- Laboratorijsko ispitivanje tla - 2. dio: Određivanje prostorne gustoće                          |
| 3     | Gustoća čvrstih čestica          | HRN CEN ISO/TS 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                               |

## 3.4.1.3. Prikaz rezultatnih bušotinskih stupova

Rezultat obrade prikupljenih podataka i ispitivanja uzoraka istražnih bušotina je detaljan opis tla, svake bušotine, po dubini, prikazani na slikama 25, 26 i 27.

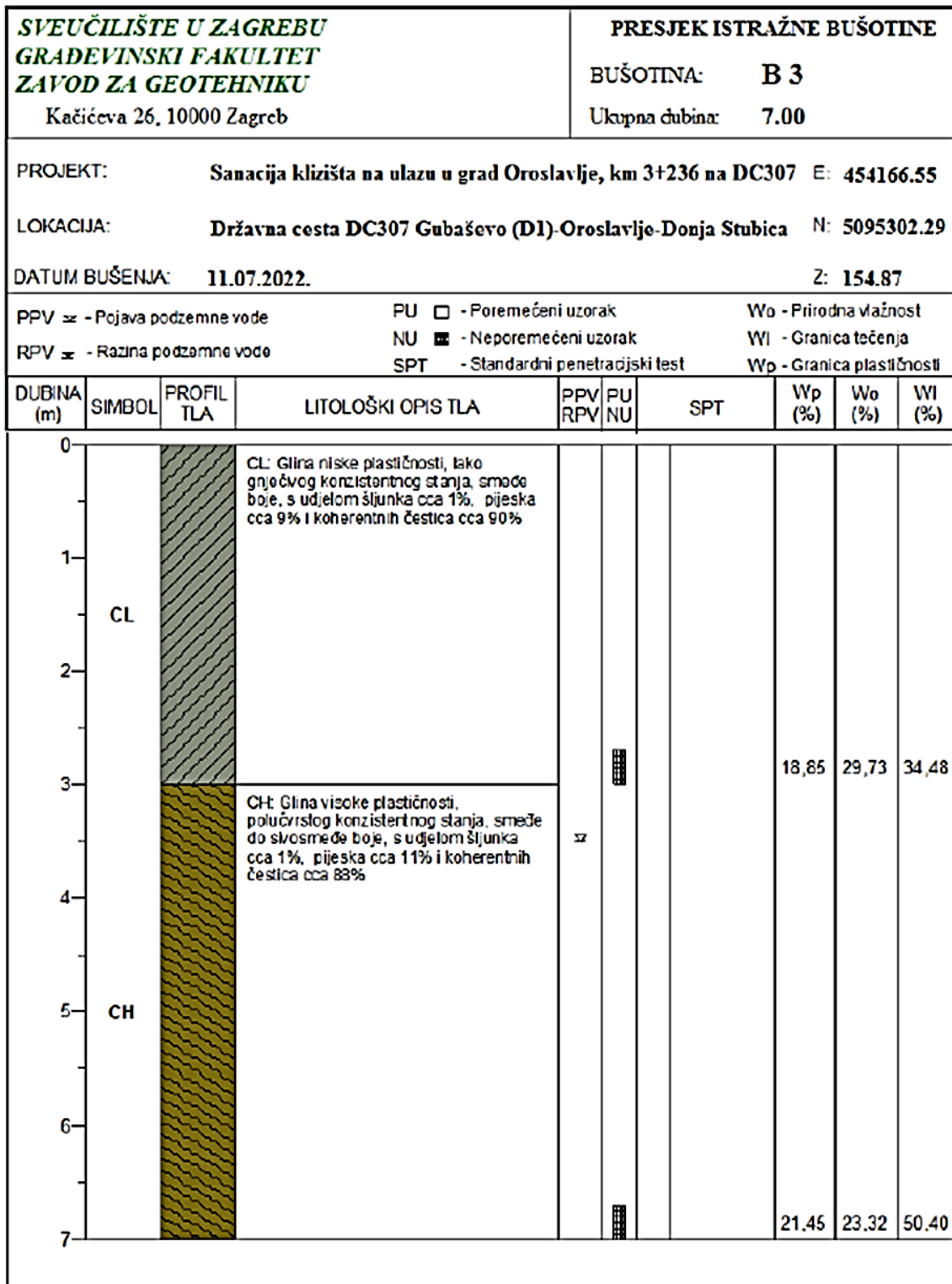


Slika 25.: Presjek bušotine B1 (Izvor: [6])



Slika 26.: Presjek bušotine B2 (Izvor: [6])





Slika 27.: Presjek bušotine B3 (Izvor: [6])

## 3.4.1.4. Rezultati laboratorijskih pokusa

Rezultat ispitivanja poremećenih (PU) i neporemećenih (NU) uzoraka su parametri slojeva tla, potrebni za proračune, a prikazani su u tablicama 3 i 4.

Tablica 3.: Rezultati klasifikacijskih ispitivanja (Izvor: [6])

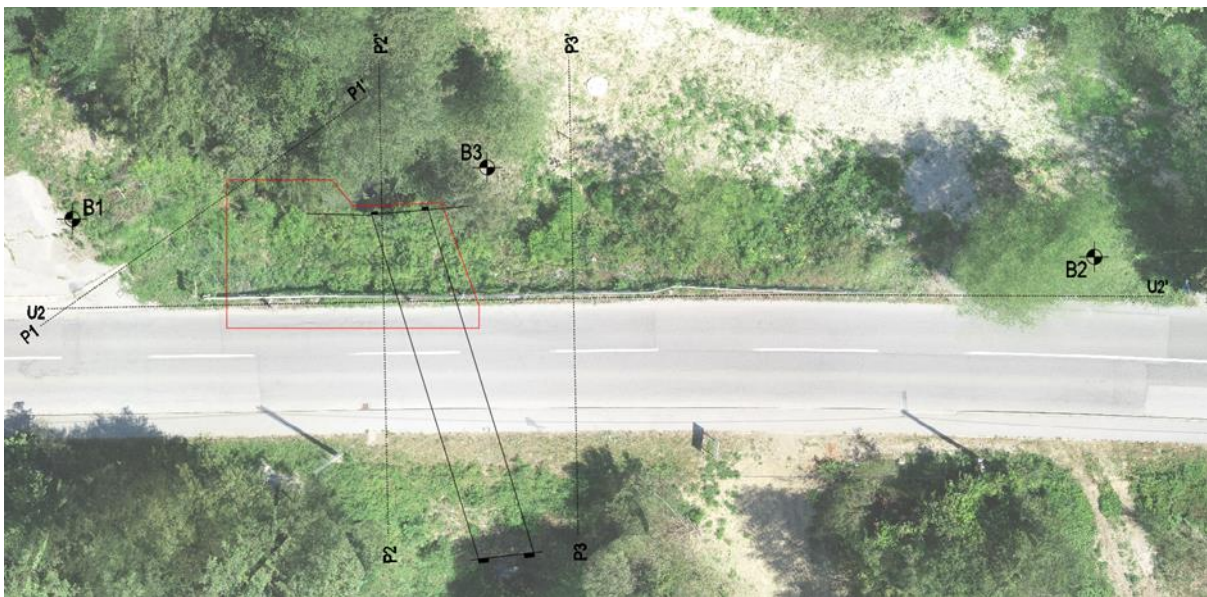
| BUŠOTINA  | DUBINA       | W <sub>0</sub> | W <sub>L</sub> | W <sub>p</sub> | I <sub>p</sub> | I <sub>c</sub> | Granulometrijski sastav |             |            | SIMBOL    |
|-----------|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------|-------------|------------|-----------|
|           |              |                |                |                |                |                | 63 - 2 mm               | 2 - 0,063mm | < 0,063 mm |           |
|           |              |                |                |                |                |                | m                       | %           | %          |           |
| <b>B1</b> | 1,70 - 2,00  | 19,27          | 42,34          | 22,43          | 19,91          | 0,46           | 43,40                   | 18,82       | 37,78      | <b>GC</b> |
|           | 9,70 - 10,00 | 26,21          | 49,43          | 23,56          | 25,87          | 0,62           | 25,73                   | 11,40       | 62,87      | <b>CL</b> |
| <b>B2</b> | 3,70 - 4,00  | 5,98           |                |                |                |                | 51,36                   | 18,74       | 29,90      | <b>GC</b> |
|           | 8,70 - 9,00  | 24,41          | 44,02          | 23,21          | 20,81          | 0,82           | 6,01                    | 11,43       | 82,56      | <b>CL</b> |
|           | 9,70 - 10,00 | 24,20          | 48,28          | 23,52          | 24,76          | 0,97           | 0,04                    | 0,47        | 99,49      | <b>CL</b> |
| <b>B3</b> | 2,70 - 3,00  | 29,73          | 34,48          | 18,85          | 15,64          | 0,28           | 0,42                    | 9,26        | 90,32      | <b>CL</b> |
|           | 6,70 - 7,00  | 23,32          | 50,40          | 21,45          | 28,94          | 0,91           | 1,26                    | 11,35       | 87,39      | <b>CH</b> |

Tablica 4.: Mehaničke karakteristike tla (Izvor: [6])

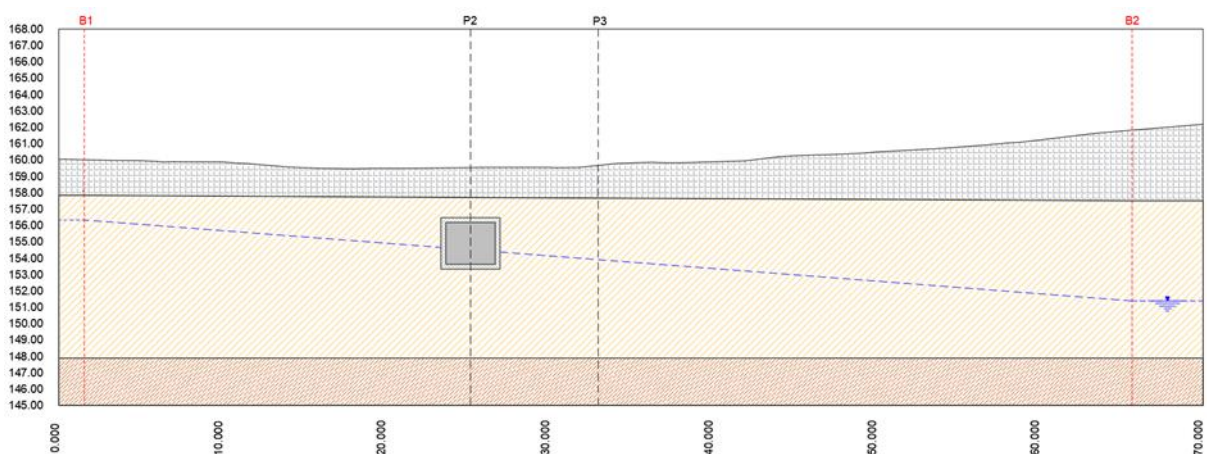
| BUŠOTINA  | DUBINA       | ρ    | ρ <sub>d</sub> | ρ <sub>s</sub> | Izravni posnik |       | Modul stišljivosti |                   |                   |                   |                   |                    | SIMBOL    |
|-----------|--------------|------|----------------|----------------|----------------|-------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-----------|
|           |              |      |                |                | c              | φ     | M <sub>k50</sub>   | M <sub>k100</sub> | M <sub>k200</sub> | M <sub>k400</sub> | M <sub>k800</sub> | M <sub>k1600</sub> |           |
|           |              |      |                |                | kPa            | °     | Mpa                | Mpa               | Mpa               | Mpa               | Mpa               | Mpa                |           |
| <b>B1</b> | 1,70 - 2,00  | 1,94 | 1,63           | 2,70           | 6,70           | 24,80 | 1,50               | 5,00              | 6,00              | 8,80              | 14,20             |                    | <b>GC</b> |
|           | 9,70 - 10,00 | 1,98 | 1,49           | 2,69           | 7,50           | 25,50 |                    |                   |                   |                   |                   |                    | <b>CL</b> |
| <b>B2</b> | 3,70 - 4,00  |      |                |                |                |       |                    |                   |                   |                   |                   |                    | <b>GC</b> |
|           | 8,70 - 9,00  | 1,99 | 1,60           | 2,68           | 7,40           | 22,70 |                    |                   |                   |                   |                   |                    | <b>CL</b> |
|           | 9,70 - 10,00 | 2,05 | 1,65           | 2,66           | 8,80           | 26,00 |                    | 15,30             | 24,00             | 24,30             | 32,10             | 47,80              | <b>CL</b> |
| <b>B3</b> | 2,70 - 3,00  | 1,96 | 1,51           | 2,68           | 6,90           | 22,70 |                    |                   |                   |                   |                   |                    | <b>CL</b> |
|           | 6,70 - 7,00  | 1,90 | 1,54           | 2,68           | 7,20           | 25,20 | 2,60               | 3,50              | 4,00              | 6,20              | 10,00             |                    | <b>CH</b> |

### 3.4.2. Geotehnički profili tla

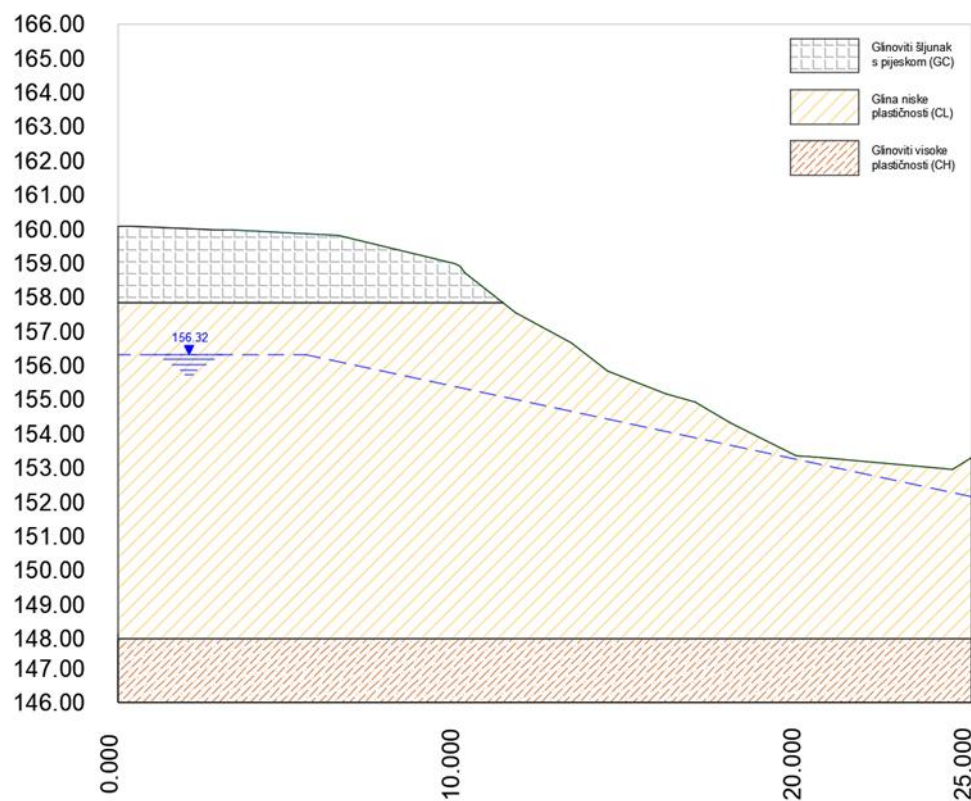
Na temelju geotehničkog elaborata koji navodi opis slojeva tla u bušotinama napravljeni su geotehnički profili tla. Pozicije profila su prikazane na slici 28, uz to je prikazana i zona klizišta (crveno), pozicija propusta i geotehničke bušotine. U programu AutoCAD detaljno su razrađene skice jednog uzdužnog profila i tri uzdužna karakteristična profila koji se primjenjuju u proračunima stabilnosti. Na slici 28 uzdužni profil je označen sa kraticom U2-U2', a poprečni profili sa P1-P1', P2-P2', P2-P2'.



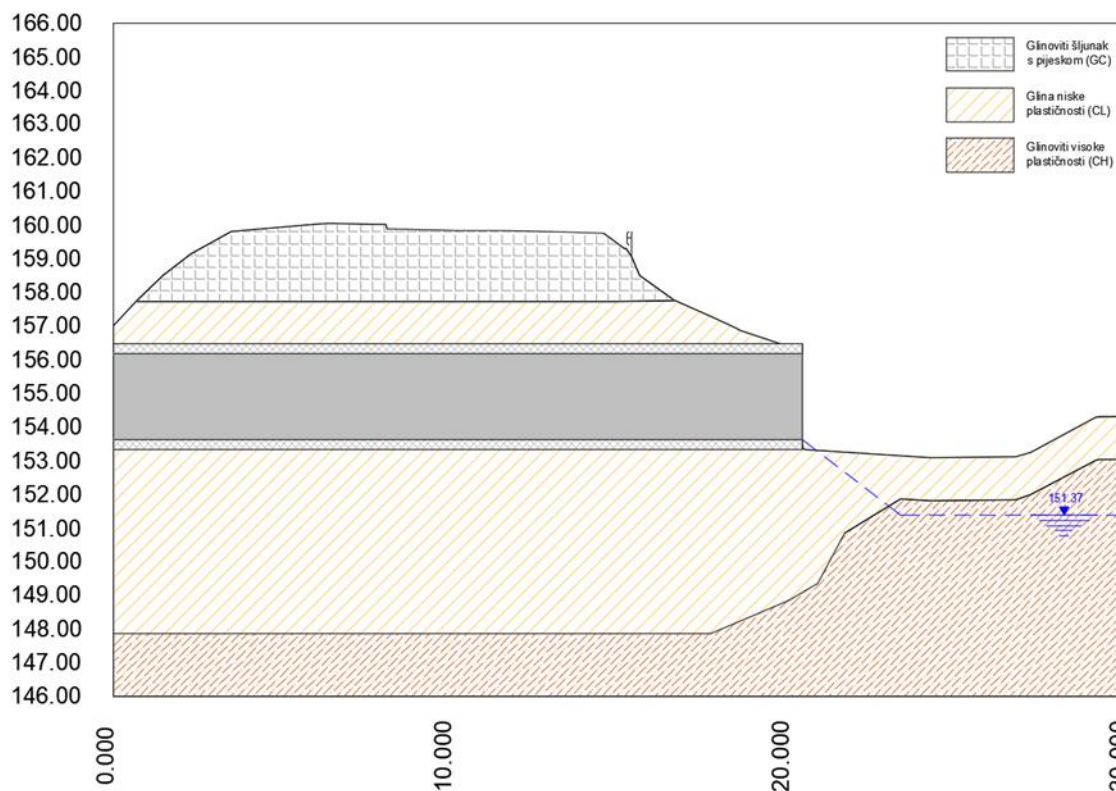
Slika 28.: Prikaz klizišta (crveno), propusta, bušotina i geotehničkih profila



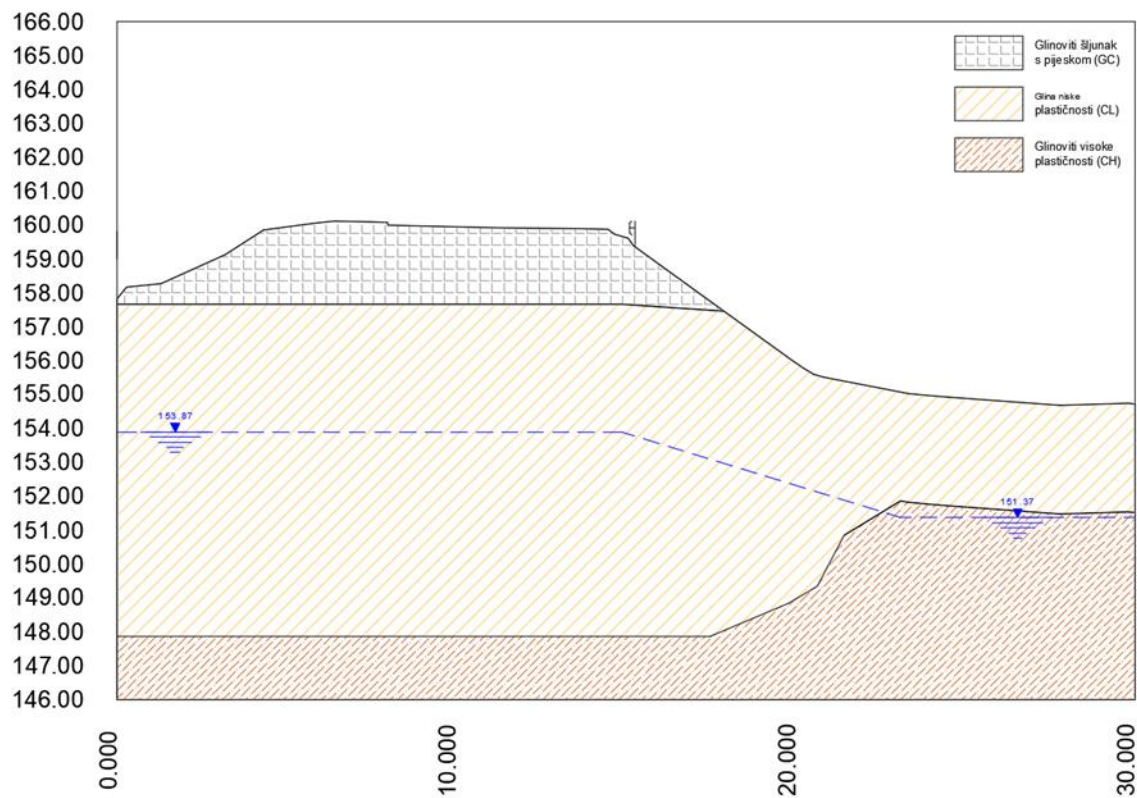
Slika 29.: Skica uzdužnog geotehničkog profila U2-U2'



Slika 30.: Skica poprečnog geotehničkog profila P1-P1'



Slika 31.: Skica poprečnog geotehničkog profila P2-P2'



Slika 32.: Skica poprečnog geotehničkog profila P3-P3'

### 3.4.3. Karakteristični parametri tla

Na temelju iskustvenih klasifikacija tla, odnosa između parametara i provjerenih pretpostavki struke, određuju se potrebni parametri za geotehničke proračune.

- $\gamma$  - zapreminska težina
- $c'$  - efektivna kohezija
- $\varphi'$  - efektivni kut trenja
- $c'_u$  - nedrenirana čvrstoća
- $\nu'$  - Poissonov koeficijent
- $E'$  - modul elastičnosti
- $M_v$  - modul stišljivosti
- $k$  - koeficijent propusnosti

Određene vrijednosti parametara materijala su umanjene za iskustveni očekivani odnos karakteristične i srednje vrijednosti za tipične geotehničke parametre prema Orr i Farrellu (1999.).

Tablica 5.: Iskustveni očekivani odnos karakteristične i srednje vrijednosti za tipične geotehničke parametre (Orr i Farrell 1999.) (Izvor: [8])

| Parametri tla           | simbol     | $X_k/X_{srednje}$ |
|-------------------------|------------|-------------------|
| Tangens efektivnog kuta | $\varphi'$ | 0.95              |
| Efektivna kohezija      | $c'$       | 0.80              |
| Nedrenirana čvrstoća    | $c'_u$     | 0.85              |
| Edometarski modul       | $E_{oed}$  | 0.8               |
| Gustoća                 | $\rho'$    | 1.00              |

## 3.4.3.1. Glinoviti šljunak s pijeskom (GC)

Prikazane vrijednosti u tablicama 6, 7 i 8 su relevantne vrijednosti podataka terenskih i laboratorijskih ispitivanja za sloj glinovitog šljunka s pijeskom, u daljnjem tekstu označen sa kraticom GC.

Tablica 6.: Dubina sloja GC po bušotinama

| Bušotine |     | B1        | B2        | B3 |
|----------|-----|-----------|-----------|----|
| Dubina   | [m] | 0,00-2,10 | 0,00-4,00 | /  |

Tablica 7.: Relevantni podaci terenskih ispitivanja

| Terenska ispitivanja |     |    |      |    |
|----------------------|-----|----|------|----|
| Bušotine             |     | B1 | B2   | B3 |
| Dubina               | [m] | /  | 2,25 | /  |
| N(SPT)               | [/] | /  | 15   | /  |

Tablica 8.: Relevantni podaci laboratorijskih ispitivanja

| Laboratorijska ispitivanja |                      |           |           |    |
|----------------------------|----------------------|-----------|-----------|----|
| Bušotine                   |                      | B1        | B2        | B3 |
| Dubina                     | [m]                  | 1,70-2,00 | 3,70-4,00 | /  |
| $w_0$                      | [%]                  | 19,27     | 5,98      | /  |
| $w_L$                      | [%]                  | 42,34     | /         | /  |
| $w_P$                      | [%]                  | 22,43     | /         | /  |
| $I_P$                      | [%]                  | 19,91     | /         | /  |
| $I_C$                      | [%]                  | 0,46      | /         | /  |
| $I_L$                      | [%]                  | 0,54      | /         | /  |
| $\rho$                     | [Mg/m <sup>3</sup> ] | 1,94      | /         | /  |
| $c'$                       | [kPa]                | 6,70      | /         | /  |
| $\varphi'$                 | [°]                  | 25,50     | /         | /  |
| $M_k$                      | [MPa]                | 1,50      | /         | /  |

Određivanje korigiranog parametra:

$$(N_1)_{60} = 22$$

- preko izraza koji povezuje broj udaraca ( $N$ ) dobivenih SPT pokusom i vertikalno efektivno naprezanje ( $\sigma_v$ ) u tlu na dubini provođenja pokusa

$$(N_1)_{60} = N \cdot \sqrt{\frac{96}{\sigma_v}} = 15 \cdot \sqrt{\frac{96}{42,75}} = 22$$

$$N = SPT(2,25m) = 15$$

$$\sigma_v = \gamma \cdot 2,25 = 19 \cdot 2,25 = 42,75 \text{ kPa}$$

Određivanje zapreminske težine:

$$\gamma = 19 \text{ [kN/m}^3\text{]}$$

- preko proračuna:

$$\gamma = \rho \cdot g = 1,94 \cdot 9,81 = 19 \text{ kN/m}^3$$

Određivanje kohezije:

$$c'_k = 0 \text{ kPa}$$

- pretpostavka rezidualnih parametara uslijed klizanja

$$c' = 0 \text{ kPa}$$

- prema pokusu izravnim posmikom:

$$c' = 6,7 \text{ kPa}$$

$$c'_k = 0,8 \cdot c' = 0,8 \cdot 6,7 = 5,36 \text{ kPa}$$

Određivanje kuta unutarnjeg trenja:

- određeno prema korelaciji Hatanaka i Uchida smanjenoj radi rezidualnih parametara uslijed klizanja

$$\varphi' = 37^\circ$$

$$\tan \varphi'_k = \tan \varphi' \cdot 0,95 \Rightarrow \varphi'_k = 35,6^\circ$$

- prema pokusu izravnim posmikom:

$$\varphi' = 25,5^\circ$$

- prema Hatanaka i Uchida (1996):

$$\varphi' = 20^\circ + \sqrt{15,4 \cdot (N_1)_{60}} = 20^\circ + \sqrt{15,4 \cdot 22} = 38^\circ$$



Određivanje Poissonovog koeficijenta:

$$\nu' = 0,3$$

- pretpostavka prema Verbrugge(2018.):

Tablica 9.: Poissonov koeficijent prema Poulos i Small (Izvor: [9])

| Tip tla                | Brzo opterećenje | Sporo opterećenje |
|------------------------|------------------|-------------------|
| Šljunak                | 0.30             | 0.30              |
| Pijesak                | 0.35             | 0.30              |
| Prah i prašnasta glina | 0.45             | 0.35              |
| Tvrda glina            | 0.45             | 0.25              |
| Plastična glina        | 0.50             | 0.40              |
| Zbijena glina          | 0.45             | 0.30              |

Određivanje modula elastičnosti:

$$E' = 18800 \text{ kPa}$$

- prema Bowles, J.E. (1988):

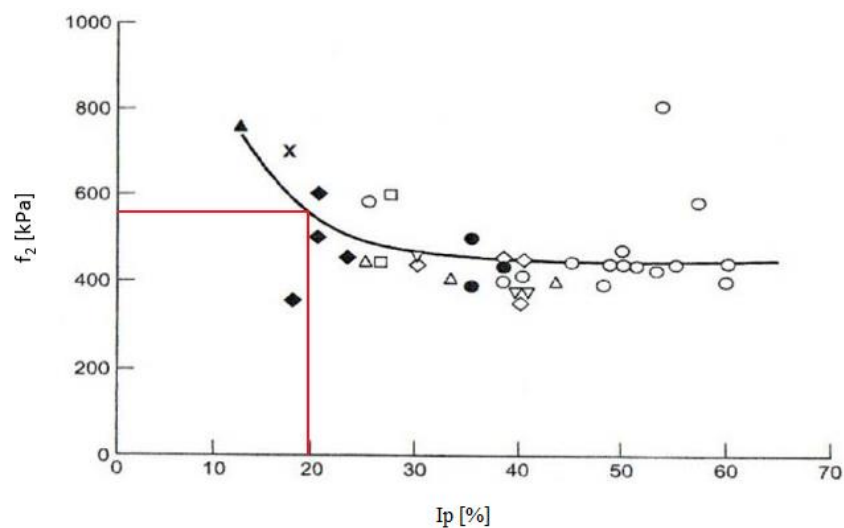
$$E = 300 \cdot ((N_1)_{60} + 6) = 600 \cdot ((22 + 6) + 2000 = 18800 \text{ kPa}$$

- prema Clayton, C.R.I. (1995):

Koristi se za određivanje modula elastičnosti čistog šljunka i pijeska. U ovom radu kao prikaz vrijednosti modula elastičnosti za šljunak sa 40% gline.

$$E' = f_2 \cdot (N_1)_{60} = 575 \cdot 22 = 12650 \text{ kPa}$$

$$I_p = 19,91 \% \rightarrow f_2 = 575 \text{ kPa}$$



Slika 33.: Dijagram ovisnosti koeficijenta  $f_2$  u odnosu na indeks plastičnost  $I_p$  (Izvor: [8])

Određivanje modula stižljivosti:

$$M_v = 25307,69 \text{ kPa}$$

$$M_{v,k} = 0,8 \cdot M_v = 0,8 \cdot 25307,69 = 20246,15 \text{ kPa}$$

- prema proračunu:

$$M_v = E' \cdot \frac{(1 - \vartheta)}{(1 + \vartheta) \cdot (1 - 2 \cdot \vartheta)} = 18800 \cdot \frac{(1 - 0,3)}{(1 + 0,3) \cdot (1 - 2 \cdot 0,3)} = 25307,69 \text{ kPa}$$

Određivanje koeficijenta propusnosti:

$$k = 5 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$$

- prema klasifikaciji USCS

Tablica 10.: Raspon koeficijenta propusnosti za tla prema USCS klasifikaciji (Izvor: [10])

| VRSTA TLA  | USCS    | $k_{MIN}$ [m/s]       | $k_{MAX}$ [m/s]       |
|--|---------|-----------------------|-----------------------|
| Dobro graduirani šljunci, pjeskoviti šljunci, s malo ili ništa sitneži         | GW      | $5 \times 10^{-4}$    | $5 \times 10^{-2}$    |
| Slabo graduirani šljunci, pjeskoviti šljunci, s malo ili ništa sitneži         | GP      | $5 \times 10^{-4}$    | $5 \times 10^{-2}$    |
| Prašinasti šljunci, prašinasti pjeskoviti šljunci                              | GM      | $5 \times 10^{-5}$    | $5 \times 10^{-6}$    |
| Aluvijalni pijesak i šljunak   | GM1     | $4 \times 10^{-4}$    | $4 \times 10^{-2}$    |
| Glinoviti šljunci, glinoviti pjeskoviti šljunci                                | GC      | $5 \times 10^{-9}$    | $5 \times 10^{-6}$    |
| Dobro razvrstani pjeskci, šljunkoviti pijesci, s malo ili ništa sitneži        | SW1     | $1 \times 10^{-5}$    | $1 \times 10^{-6}$    |
| Vrlo sitan pijesak, vrlo dobro razvrstan                                       | SW2     | $8.4 \times 10^{-5}$  |                       |
| Srednji pijesak, vrlo dobro razvrstan  | SW3     | $2.23 \times 10^{-3}$ |                       |
| Grubi pijesak, vrlo dobro razvrstan  | SW4     | $3.69 \times 10^{-1}$ |                       |
| Slabo graduirani pijesci, šljunkoviti pijesci, s malo ili ništa sitneži        | SP      | $2.55 \times 10^{-5}$ | $5.35 \times 10^{-4}$ |
| Čisti pijesak  | (SP-SW) | $1 \times 10^{-5}$    | $1 \times 10^{-2}$    |
| Jednoličan pijesak i šljunak   | (SP-GP) | $4 \times 10^{-3}$    | $4 \times 10^{-1}$    |
| Dobro razvrstani pijesak i šljunak bez sitneži                                 | (GW-SW) | $4 \times 10^{-5}$    | $4 \times 10^{-2}$    |
| Prašinasti pijesci   | SM      | $1 \times 10^{-5}$    | $5 \times 10^{-6}$    |
| Glinoviti pijesci  | SC      | $5.5 \times 10^{-9}$  | $5.5 \times 10^{-6}$  |
| Neorganske prašine, prašinasti ili glinoviti sitni pijesci, niske plastičnosti | ML      | $5 \times 10^{-9}$    | $1 \times 10^{-6}$    |
| Neorganske gline, prašinaste gline, pjeskovite gline, niske plastičnosti       | CL      | $5 \times 10^{-10}$   | $5 \times 10^{-8}$    |
| Organske prašine, organske prašinaste gline, niske plastičnosti                | OL      | $5 \times 10^{-9}$    | $1 \times 10^{-7}$    |
| Neorganske prašine visoke plastičnosti   | MH      | $1 \times 10^{-10}$   | $5 \times 10^{-8}$    |
| Neorganske gline visoke plastičnosti   | CH      | $1 \times 10^{-10}$   | $1 \times 10^{-7}$    |
| Kompaktni mulj   | (ML-MH) | $7 \times 10^{-10}$   | $7 \times 10^{-8}$    |
| Kompaktna glina (CL-CH)  | (CL-CH) | -                     | $1 \times 10^{-9}$    |
| Organske gline visoke plastičnosti   | OH      | $5 \times 10^{-10}$   | $1 \times 10^{-7}$    |
| Treset i drugo visoko organsko tlo   | Pt      | -                     | -                     |

## 3.4.3.2. Glina niske plastičnosti (CL)

Prikazane vrijednosti u tablicama 11, 12 i 13 su relevantne vrijednosti podataka terenskih i laboratorijskih ispitivanja za sloj gline niske plastičnosti, u daljnjem tekstu označen sa kraticom CL.

Tablica 11.: Dubina sloja CL po bušotinama

| Bušotine |     | B1         | B2         | B3        |
|----------|-----|------------|------------|-----------|
| Dubina   | [m] | 9,70-10,00 | 8,70-10,00 | 2,70-3,00 |

Tablica 12.: Relevantni podaci terenskih ispitivanja

| Terenska ispitivanja |     |      |      |      |
|----------------------|-----|------|------|------|
| Bušotine             |     | B1   |      | B2   |
| Dubina               | [m] | 4,25 | 8,25 | 8,25 |
| N(SPT)               | [/] | 14   | 31   | 36   |

Tablica 13.: Relevantni podaci laboratorijskih ispitivanja

| Laboratorijska ispitivanja |                      |            |           |            |           |
|----------------------------|----------------------|------------|-----------|------------|-----------|
| Bušotine                   |                      | B1         | B2        |            | B3        |
| Dubina                     | [m]                  | 9,70-10,00 | 8,70-9,00 | 9,70-10,00 | 2,70-3,00 |
| $w_0$                      | [%]                  | 26,21      | 24,41     | 24,20      | 29,73     |
| $w_L$                      | [%]                  | 49,43      | 44,02     | 48,28      | 34,48     |
| $w_P$                      | [%]                  | 23,56      | 23,21     | 23,52      | 18,85     |
| $I_P$                      | [%]                  | 25,87      | 20,81     | 24,76      | 15,64     |
| $I_C$                      | [%]                  | 0,62       | 0,82      | 0,97       | 0,28*     |
| $I_L$                      | [%]                  | 0,38       | 0,18      | 0,03       | 0,72      |
| $\rho$                     | [Mg/m <sup>3</sup> ] | 1,98       | 1,99      | 2,05       | 1,96      |
| $c'$                       | [kPa]                | 7,50       | 7,40      | 8,80       | 6,90      |
| $\varphi'$                 | [°]                  | 25,50      | 22,70     | 26,00      | 22,70     |
| $M_k$                      | [MPa]                | /          | /         | 24         | /         |

\*Napomena: Vrijednost indeksa konzistencije u bušotini 3 ima veliko odstupanje od vrijednosti u bušotinama 1 i 2, stoga se zanemaruje u proračunima u nastavku

Određivanje korigiranog parametra:

$$(N_1)_{60} = 22$$

- preko proračuna srednje vrijednosti

$$(N_1)_{60} = \frac{15 + 24 + 28}{3} = 22,3 \approx 22$$

- preko izraza koji povezuje broj udaraca( $N$ ) dobivenih SPT pokusom i vertikalno efektivno naprezanje( $\sigma_v$ ) u tlu na dubini provođenja pokusa

Bušotina 1:

$$(N_1)_{60} = N \cdot \sqrt{\frac{96}{\sigma_v}} = 14 \cdot \sqrt{\frac{96}{80,75}} = 15$$

$$N = SPT(4,25m) = 14$$

$$\sigma_v = \gamma \cdot 4,25 = 19 \cdot 4,25 = 80,75 \text{ kPa}$$

$$(N_1)_{60} = N \cdot \sqrt{\frac{96}{\sigma_v}} = 31 \cdot \sqrt{\frac{96}{156,75}} = 24$$

$$N = SPT(8,25m) = 31$$

$$\sigma_v = \gamma \cdot 8,25 = 19 \cdot 8,25 = 156,75 \text{ kPa}$$

Bušotina 2:

$$(N_1)_{60} = N \cdot \sqrt{\frac{96}{\sigma_v}} = 36 \cdot \sqrt{\frac{96}{156,75}} = 28$$

$$N = SPT(8,25m) = 36$$

$$\sigma_v = \gamma \cdot 8,25 = 19 \cdot 8,25 = 156,75 \text{ kPa}$$

Određivanje zapreminske težine:

$$\gamma = 19,6 \text{ kN/m}^3$$

- preko proračuna:

$$\rho = \frac{1,98 + 1,99 + 2,05 + 1,96}{4} = 2 \text{ Mg/m}^3$$

$$\gamma = \rho \cdot g = 2 \cdot 9,81 = 19,6 \text{ kN/m}^3$$

Određivanje kohezije:

$$c' = 7,65 \text{ kPa}$$

$$c'_k = 0,8 \cdot 7,65 = 6,12 \text{ kPa}$$

- preko proračuna srednje vrijednosti prema pokusu izravnim posmikom:

$$c' = \frac{7,5 + 7,4 + 8,8 + 6,9}{4} = 7,65 \text{ kPa}$$

Određivanje kuta unutarnjeg trenja:

$$\varphi = 24,2^\circ$$

$$\tan \varphi'_k = \tan \varphi' \cdot 0,95 \Rightarrow \varphi'_k = 23,11$$

- preko proračuna srednje vrijednosti prema pokusu izravnim posmikom:

$$\varphi' = \frac{25,5 + 22,7 + 26 + 22,7}{4} = 24,2^\circ$$

Određivanje indeksa plastičnosti:

$$I_P = 21,77 \text{ [%]}$$

- preko proračuna srednje vrijednosti:

$$I_P = \frac{25,87 + 20,81 + 24,76 + 15,64}{4} = 21,77 \text{ [%]}$$

Određivanje nedrenirane čvrstoće:

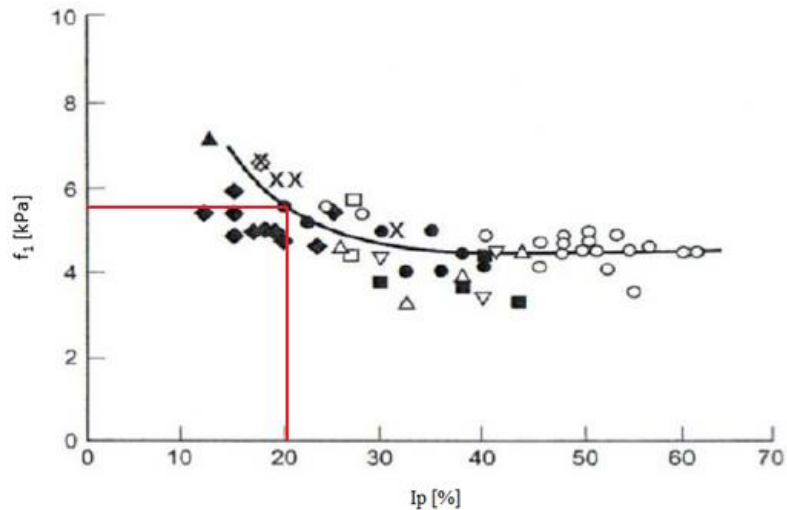
$$c'_{u} = 123,2 \text{ kPa}$$

$$c'_{u,k} = c'_{u} \cdot 0,85 = 123,2 \cdot 0,85 = 104,72 \text{ kPa}$$

- prema Clayton, C.R.I. (1995)

$$c'_{u} = f_1 \cdot (N_1)_{60} = 5,6 \cdot 22 = 123,2 \text{ kPa}$$

$$I_p = 20,77 \% \rightarrow f_1 = 5,6 \text{ kPa}$$



Slika 34.: Dijagram ovisnosti koeficijenta  $f_1$  u odnosu na indeks plastičnosti (Izvor: [8])

Određivanje Poissonovog koeficijenta:

$$\nu' = 0,35$$

- pretpostavka prema Verbrugge (2018):

Tablica 14.: Poissonov koeficijent prema Poulos i Small (Izvor: [9])

| Tip tla                | Brzo opterećenje | Sporo opterećenje |
|------------------------|------------------|-------------------|
| Šljunak                | 0.30             | 0.30              |
| Pijesak                | 0.35             | 0.30              |
| Prah i prašnasta glina | 0.45             | 0.35              |
| <b>Tvrda glina</b>     | <b>0.45</b>      | <b>0.25</b>       |
| Plastična glina        | 0.50             | 0.40              |
| Zbijena glina          | 0.45             | 0.30              |

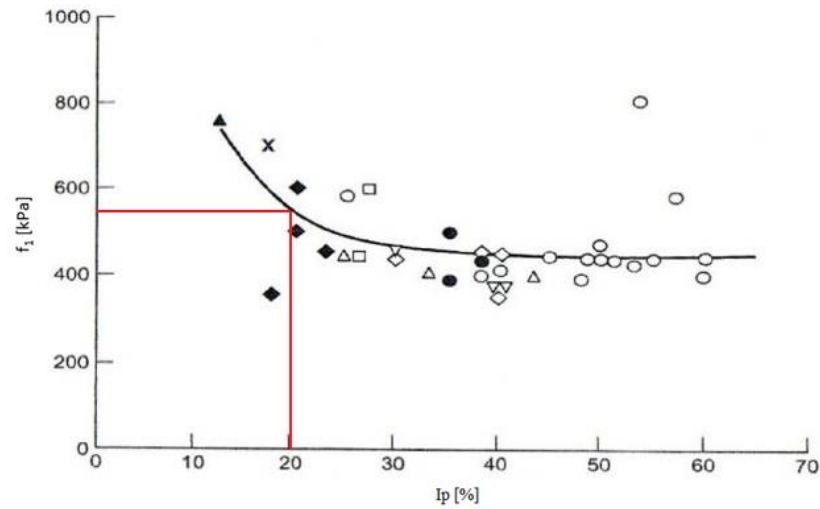
Određivanje modula elastičnosti:

$$E' = 12100 \text{ kPa}$$

- prema Clayton, C.R.I. (1995)

$$E' = f_2 \cdot (N_1)_{60} = 550 \cdot 22 = 12100 \text{ kPa}$$

$$I_p = 20,77\% \rightarrow f_2 = 550 \text{ kPa}$$



Slika 35.: Dijagram ovisnosti koeficijenta  $f_2$  u odnosu na indeks plastičnosti (Izvor: [8])

Određivanje modula stišljivosti:

$$M_v = 19419,75 \text{ kPa}$$

$$M_{v,k} = 0,8 \cdot M_v = 0,8 \cdot 19419,75 = 15535,80 \text{ kPa}$$

- prema proračunu:

$$M_v = E' \cdot \frac{(1 - \vartheta)}{(1 + \vartheta) \cdot (1 - 2 \cdot \vartheta)} = 12100 \cdot \frac{(1 - 0,35)}{(1 + 0,35) \cdot (1 - 2 \cdot 0,35)} = 19419,75 \text{ kPa}$$

Određivanje koeficijenta propusnosti:

$$k = 1 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$$

- prema klasifikaciji USCS

Tablica 15.: Raspon koeficijenta propusnosti za tla prema USCS klasifikaciji (Izvor: [10])

| VRSTA TLA  | USCS    | $k_{\text{MIN}}$ [m/s] | $k_{\text{MAX}}$ [m/s] |
|--|---------|------------------------|------------------------|
| Dobro graduirani šljunci, pjeskoviti šljunci, s malo ili ništa sitneži         | GW      | $5 \times 10^{-4}$     | $5 \times 10^{-2}$     |
| Slabo graduirani šljunci, pjeskoviti šljunci, s malo ili ništa sitneži         | GP      | $5 \times 10^{-4}$     | $5 \times 10^{-2}$     |
| Prašinasti šljunci, prašinasti pjeskoviti šljunci                              | GM      | $5 \times 10^{-8}$     | $5 \times 10^{-6}$     |
| Aluvijalni pijesak i šljunak   | GM1     | $4 \times 10^{-4}$     | $4 \times 10^{-3}$     |
| Glinoviti šljunci, glinoviti pjeskoviti šljunci                                | GC      | $5 \times 10^{-9}$     | $5 \times 10^{-6}$     |
| Dobro razvrstani pjeskci, šljunkoviti pijesci, s malo ili ništa sitneži        | SW1     | $1 \times 10^{-8}$     | $1 \times 10^{-6}$     |
| Vrlo sitan pijesak, vrlo dobro razvrstan                                       | SW2     | $8.4 \times 10^{-5}$   |                        |
| Srednji pijesak, vrlo dobro razvrstan  | SW3     | $2.23 \times 10^{-3}$  |                        |
| Grubi pijesak, vrlo dobro razvrstan  | SW4     | $3.69 \times 10^{-1}$  |                        |
| Slabo graduirani pijesci, šljunkoviti pijesci, s malo ili ništa sitneži        | SP      | $2.55 \times 10^{-5}$  | $5.35 \times 10^{-4}$  |
| Čisti pijesak  | (SP-SW) | $1 \times 10^{-5}$     | $1 \times 10^{-2}$     |
| Jednoličan pijesak i šljunak   | (SP-GP) | $4 \times 10^{-3}$     | $4 \times 10^{-1}$     |
| Dobro razvrstani pijesak i šljunak bez sitneži                                 | (GW-SW) | $4 \times 10^{-5}$     | $4 \times 10^{-3}$     |
| Prašinasti pijesci   | SM      | $1 \times 10^{-8}$     | $5 \times 10^{-6}$     |
| Glinoviti pijesci  | SC      | $5.5 \times 10^{-9}$   | $5.5 \times 10^{-6}$   |
| Neorganske prašine, prašinasti ili glinoviti sitni pijesci, niske plastičnosti | ML      | $5 \times 10^{-9}$     | $1 \times 10^{-6}$     |
| Neorganske gline, prašinaste gline, pjeskovite gline, niske plastičnosti       | CL      | $5 \times 10^{-10}$    | $5 \times 10^{-8}$     |
| Organske prašine, organske prašinaste gline, niske plastičnosti                | OL      | $5 \times 10^{-9}$     | $1 \times 10^{-7}$     |
| Neorganske prašine visoke plastičnosti   | MH      | $1 \times 10^{-10}$    | $5 \times 10^{-8}$     |
| Neorganske gline visoke plastičnosti   | CH      | $1 \times 10^{-10}$    | $1 \times 10^{-7}$     |
| Kompaktni mulj   | (ML-MH) | $7 \times 10^{-10}$    | $7 \times 10^{-8}$     |
| Kompaktna glina (CL-CH)  | (CL-CH) | -                      | $1 \times 10^{-9}$     |
| Organske gline visoke plastičnosti   | OH      | $5 \times 10^{-10}$    | $1 \times 10^{-7}$     |
| Treset i drugo visoko organsko tlo   | Pt      | -                      | -                      |



## 3.4.3.3. Glina visoke plastičnosti (CH)

Prikazane vrijednosti u tablicama 16 i 17 su relevantne vrijednosti podataka terenskih i laboratorijskih ispitivanja za sloj gline visoke plastičnosti, u daljnjem tekstu označen sa kraticom CH.

Tablica 16.: Dubina sloja GC po bušotinama

| Bušotine |     | B1 | B2 | B3        |
|----------|-----|----|----|-----------|
| Dubina   | [m] | /  | /  | 4,00-7,00 |

Tablica 17.: Relevantni podaci laboratorijskih ispitivanja

| Laboratorijska ispitivanja |                      |    |    |           |
|----------------------------|----------------------|----|----|-----------|
| Bušotine                   |                      | B1 | B2 | B3        |
| Dubina                     | [m]                  | /  | /  | 6,70-7,00 |
| $w_0$                      | [%]                  | /  | /  | 23,32     |
| $w_L$                      | [%]                  | /  | /  | 50,40     |
| $w_P$                      | [%]                  | /  | /  | 21,45     |
| $I_P$                      | [%]                  | /  | /  | 28,94     |
| $I_C$                      | [%]                  | /  | /  | 0,91      |
| $I_L$                      | [%]                  | /  | /  | 0,09      |
| $\rho$                     | [Mg/m <sup>3</sup> ] | /  | /  | 1,90      |
| $c'$                       | [kPa]                | /  | /  | 7,2       |
| $\varphi'$                 | [°]                  | /  | /  | 25,2      |
| $M_k$                      | [MPa]                | /  | /  | 3,5       |

Određivanje zapremne težine:

$$\gamma = 18,6 \text{ kN/m}^3$$

- preko proračuna:

$$\gamma = \rho \cdot g = 1,90 \cdot 9,81 = 18,6 \text{ kN/m}^3$$

Određivanje kohezije:

- prema pokusu izravnim posmikom:

$$c' = 7,2 \text{ kPa}$$

$$c'_k = 0,8 \cdot c' = 0,8 \cdot 7,2 = 5,76 \text{ kPa}$$

Određivanje kuta unutarnjeg trenja:

- prema pokusu izravnim posmikom:

$$\varphi' = 25,2^\circ$$

$$\tan \varphi'_k = \tan \varphi' \cdot 0,95 \Rightarrow \varphi'_k = 24,09^\circ$$

Određivanje nedrenirane čvrstoće:

$$c'_u = 112,32 \text{ kPa}$$

$$c'_{u,k} = c'_u \cdot 0,85 = 112,32 \cdot 0,85 = 95,47 \text{ kPa}$$

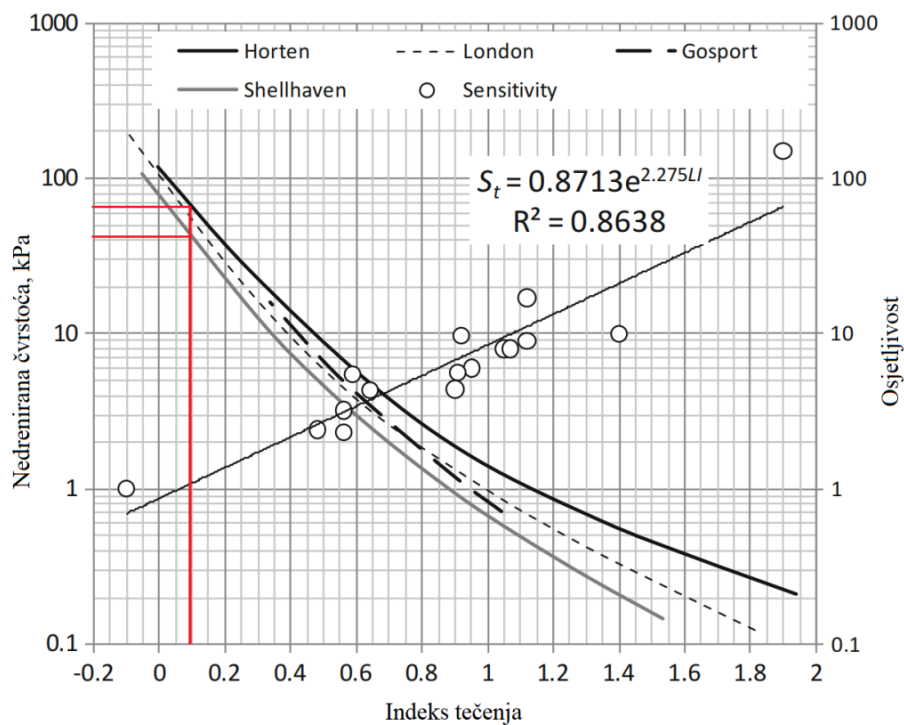
- prema proračunu:

$$c'_u = 1,7 \cdot 10^2 \cdot I_c = 1,7 \cdot 10^2 \cdot 0,91 = 112,32 \text{ kPa}$$

- prema Skempton and Northey 1952:

$$c'_u \approx 40 - 70 \text{ kPa}$$

$$I_L = 1 - I_c = 1 - 0,91 = 0,09$$



Slika 36.: Dijagram ovisnosti nedrenirne čvrstoće u odnosu na indeks tečenja (Izvor: [11])

Određivanje Poissonovog koeficijenta:

$$\nu' = 0,3$$

- pretpostavka prema Verbrugge (2018):

Tablica 18.: Poissonov koeficijent prema Poulos i Small (Izvor: [9])

| Tip tla                | Brzo opterećenje | Sporo opterećenje |
|------------------------|------------------|-------------------|
| Šljunak                | 0.30             | 0.30              |
| Pijesak                | 0.35             | 0.30              |
| Prah i prašnasta glina | 0.45             | 0.35              |
| <b>Tvrda glina</b>     | <b>0.45</b>      | <b>0.25</b>       |
| Plastična glina        | 0.50             | 0.40              |
| Zbijena glina          | 0.45             | 0.30              |

Određivanje modula elastičnosti:

$$E' = 3250 \text{ kPa}$$

- prema edometarskim pokusima:

$$E' = M_v \frac{(1 + \nu')(1 - 2\nu')}{1 - \nu'} = 4,375 \cdot \frac{(1 + 0,3)(1 - 2 \cdot 0,3)}{1 - 0,3} = 3,25 \text{ MPa}$$

$$M_v = \frac{M_{k,100}}{0,8} = \frac{3,5}{0,8} = 4,375 \text{ MPa}$$

$$M_{k,100} = 3,5 \text{ MPa} = 3500 \text{ kPa}$$

Određivanje koeficijenta propusnosti:

$$k = 1 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$$

- prema klasifikaciji USCS

Tablica 19.: Raspon koeficijenta propusnosti za tla prema USCS klasifikaciji (Izvor: [10])

| VRSTA TLA  | USCS    | $k_{\text{MIN}}$ [m/s] | $k_{\text{MAX}}$ [m/s] |
|--|---------|------------------------|------------------------|
| Dobro građuirani šljunci, pjeskoviti šljunci, s malo ili ništa sitneži         | GW      | $5 \times 10^{-4}$     | $5 \times 10^{-2}$     |
| Slabo građuirani šljunci, pjeskoviti šljunci, s malo ili ništa sitneži         | GP      | $5 \times 10^{-4}$     | $5 \times 10^{-2}$     |
| Prašinasti šljunci, prašinasti pjeskoviti šljunci                              | GM      | $5 \times 10^{-8}$     | $5 \times 10^{-6}$     |
| Aluvijalni pijesak i šljunak   | GM1     | $4 \times 10^{-4}$     | $4 \times 10^{-3}$     |
| Glinoviti šljunci, glinoviti pjeskoviti šljunci                                | GC      | $5 \times 10^{-9}$     | $5 \times 10^{-6}$     |
| Dobro razvrstani pjeskci, šljunkoviti pijesci, s malo ili ništa sitneži        | SW1     | $1 \times 10^{-8}$     | $1 \times 10^{-6}$     |
| Vrlo sitan pijesak, vrlo dobro razvrstan                                       | SW2     | $8,4 \times 10^{-5}$   |                        |
| Srednji pijesak, vrlo dobro razvrstan  | SW3     | $2,23 \times 10^{-3}$  |                        |
| Grubi pijesak, vrlo dobro razvrstan  | SW4     | $3,69 \times 10^{-1}$  |                        |
| Slabo građuirani pijesci, šljunkoviti pijesci, s malo ili ništa sitneži        | SP      | $2,55 \times 10^{-5}$  | $5,35 \times 10^{-4}$  |
| Čisti pijesak  | (SP-SW) | $1 \times 10^{-5}$     | $1 \times 10^{-2}$     |
| Jednoličan pijesak i šljunak   | (SP-GP) | $4 \times 10^{-3}$     | $4 \times 10^{-1}$     |
| Dobro razvrstani pijesak i šljunak bez sitneži                                 | (GW-SW) | $4 \times 10^{-5}$     | $4 \times 10^{-3}$     |
| Prašinasti pijesci   | SM      | $1 \times 10^{-8}$     | $5 \times 10^{-6}$     |
| Glinoviti pijesci  | SC      | $5,5 \times 10^{-9}$   | $5,5 \times 10^{-6}$   |
| Neorganske prašine, prašinasti ili glinoviti sitni pijesci, niske plastičnosti | ML      | $5 \times 10^{-9}$     | $1 \times 10^{-6}$     |
| Neorganske gline, prašinaste gline, pjeskovite gline, niske plastičnosti       | CL      | $5 \times 10^{-10}$    | $5 \times 10^{-8}$     |
| Organske prašine, organske prašinaste gline, niske plastičnosti                | OL      | $5 \times 10^{-9}$     | $1 \times 10^{-7}$     |
| Neorganske prašine visoke plastičnosti   | MH      | $1 \times 10^{-10}$    | $5 \times 10^{-8}$     |
| Neorganske gline visoke plastičnosti   | CH      | $1 \times 10^{-10}$    | $1 \times 10^{-7}$     |
| Kompaktni mulj   | (ML-MH) | $7 \times 10^{-10}$    | $7 \times 10^{-8}$     |
| Kompaktna glina (CL-CH)  | (CL-CH) | -                      | $1 \times 10^{-9}$     |
| Organske gline visoke plastičnosti   | OH      | $5 \times 10^{-10}$    | $1 \times 10^{-7}$     |
| Treset i drugo visoko organsko tlo   | Pt      | -                      | -                      |

## 3.4.3.4. Zamjenski materijal: Dobro graduirani šljunak (GW)

Određivanje zapreminske težine

- *pretpostavka:*

$$\gamma = 21 \text{ kN/m}^3$$

Određivanje kuta unutarnjeg trenja

- *odabrano:*

$$\varphi = 40^\circ$$

Određivanje Poissonovog koeficijenta:

$$\nu' = 0,3$$

- *pretpostavka prema Verbrugge (2018):*

Tablica 20.: Poissonov koeficijent prema Poulos i Small (Izvor: [9])

| Tip tla                | Brzo opterećenje | Sporo opterećenje |
|------------------------|------------------|-------------------|
| Šljunak                | 0.30             | 0.30              |
| Pijesak                | 0.35             | 0.30              |
| Prah i prašnasta glina | 0.45             | 0.35              |
| Tvrda glina            | 0.45             | 0.25              |
| Plastična glina        | 0.50             | 0.40              |
| Zbijena glina          | 0.45             | 0.30              |

Određivanje modula elastičnosti

- *odabrano:*

$$E' = 26 \text{ MPa} = 26000 \text{ kPa}$$

Određivanje modula kompresije

$$M_v = 43750 \text{ kPa}$$

$$M_{v,k} = 0,8 \cdot M_v = 0,8 \cdot 43750 = 35000 \text{ kPa}$$

- *prema proračunu:*

$$M_v = E' \cdot \frac{(1 - \vartheta)}{(1 + \vartheta) \cdot (1 - 2 \cdot \vartheta)} = 26000 \cdot \frac{(1 - 0,3)}{(1 + 0,3) \cdot (1 - 2 \cdot 0,3)} = 43750 \text{ MPa}$$

## Određivanje koeficijenta propusnosti

$$k = 1 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$$

- prema klasifikaciji USCS

Tablica 21.: Raspon koeficijenta propusnosti za tla prema USCS klasifikaciji (Izvor: [10])

| VRSTA TLA  | USCS    | $k_{\text{MIN}}$ [m/s] | $k_{\text{MAX}}$ [m/s] |
|--|---------|------------------------|------------------------|
| Dobro građuirani šljunci, pjeskoviti šljunci, s malo ili ništa sitneži         | GW      | $5 \times 10^{-4}$     | $5 \times 10^{-2}$     |
| Slabo građuirani šljunci, pjeskoviti šljunci, s malo ili ništa sitneži         | GP      | $5 \times 10^{-4}$     | $5 \times 10^{-2}$     |
| Prašinasti šljunci, prašinasti pjeskoviti šljunci                              | GM      | $5 \times 10^{-6}$     | $5 \times 10^{-6}$     |
| Aluvijalni pijesak i šljunak   | GM1     | $4 \times 10^{-4}$     | $4 \times 10^{-3}$     |
| Glinoviti šljunci, glinoviti pjeskoviti šljunci                                | GC      | $5 \times 10^{-9}$     | $5 \times 10^{-6}$     |
| Dobro razvrstani pijesci, šljunkoviti pijesci, s malo ili ništa sitneži        | SW1     | $1 \times 10^{-5}$     | $1 \times 10^{-6}$     |
| Vrlo sitan pijesak, vrlo dobro razvrstan                                       | SW2     | $8.4 \times 10^{-5}$   |                        |
| Srednji pijesak, vrlo dobro razvrstan  | SW3     | $2.23 \times 10^{-3}$  |                        |
| Grubi pijesak, vrlo dobro razvrstan  | SW4     | $3.69 \times 10^{-1}$  |                        |
| Slabo građuirani pijesci, šljunkoviti pijesci, s malo ili ništa sitneži        | SP      | $2.55 \times 10^{-5}$  | $5.35 \times 10^{-4}$  |
| Čisti pijesak  | (SP-SW) | $1 \times 10^{-5}$     | $1 \times 10^{-2}$     |
| Jednoličan pijesak i šljunak   | (SP-GP) | $4 \times 10^{-3}$     | $4 \times 10^{-1}$     |
| Dobro razvrstani pijesak i šljunak bez sitneži                                 | (GW-SW) | $4 \times 10^{-5}$     | $4 \times 10^{-3}$     |
| Prašinasti pijesci   | SM      | $1 \times 10^{-8}$     | $5 \times 10^{-6}$     |
| Glinoviti pijesci  | SC      | $5.5 \times 10^{-9}$   | $5.5 \times 10^{-6}$   |
| Neorganske prašine, prašinasti ili glinoviti sitni pijesci, niske plastičnosti | ML      | $5 \times 10^{-9}$     | $1 \times 10^{-6}$     |
| Neorganske gline, prašinate gline, pjeskovite gline, niske plastičnosti        | CL      | $5 \times 10^{-10}$    | $5 \times 10^{-8}$     |
| Organske prašine, organske prašinate gline, niske plastičnosti                 | OL      | $5 \times 10^{-9}$     | $1 \times 10^{-7}$     |
| Neorganske prašine visoke plastičnosti   | MH      | $1 \times 10^{-10}$    | $5 \times 10^{-8}$     |
| Neorganske gline visoke plastičnosti   | CH      | $1 \times 10^{-10}$    | $1 \times 10^{-7}$     |
| Kompaktni mulj   | (ML-MH) | $7 \times 10^{-10}$    | $7 \times 10^{-8}$     |
| Kompaktna glina (CL-CH)  | (CL-CH) | -                      | $1 \times 10^{-9}$     |
| Organske gline visoke plastičnosti   | OH      | $5 \times 10^{-10}$    | $1 \times 10^{-7}$     |
| Treset i drugo visoko organsko tlo   | Pt      | -                      | -                      |

#### 3.4.4. Proračunski parametri tla

Eurokod 7 propisuje razmatranje određenih graničnih stanja pri projektiranju i zahtijeva da se u svakom projektu navedu odgovarajuća granična stanja. Ova granična stanja mogu se podijeliti na granična stanja nosivosti (STR i GEO) i granična stanja uporabivosti[7].

Za granična stanja nosivosti (STR i GEO) razvijena su tri proračunska pristupa: PP1, PP2 i PP3. Ovi pristupi razlikuju se po načinu primjene parcijalnih faktora, bilo na ulaznim podacima (djelovanja i svojstva materijala) ili na rezultatima proračuna (učinci djelovanja i otpornosti). Svaki proračunski pristup detaljno definira varijante izračuna proračunskog učinka djelovanja ( $E_d$ ) i proračunske otpornosti ( $R_d$ ), te predlaže odgovarajuće parcijalne koeficijente.

Parcijalni koeficijenti podijeljeni su u tri grupe za svaki proračunski pristup:

- Grupa A za djelovanja;
- Grupa M za svojstva materijala;
- Grupa R za otpornosti.

U konkretnom slučaju, kao relevantan je odabran pristup PP3. Za materijale tla primjenjuju se parcijalni faktori iz grupe M2, koji su prikazani u tablici 22.

Tablica 22.: Parcijalni koeficijenti za GEO/STR za djelovanja, parametre materijala i otpornost prema EC-7 (Izvor: [8])

| <i>Design Approach 1</i>                              |            | <i>Combination 1</i> |      | ↓   | ↓   | ↓    |     |     |
|---|------------|----------------------|------|-----|-----|------|-----|-----|
|   |            | <i>Combination 2</i> |      | ↓   | ↓   | ↓    | ↓   | ↓   |
| <i>Design Approach 2</i>                              |            | ↓                    |      | ↓   | ↓   | ↓    |     |     |
| <i>Design Approach 3</i>                              |            | ↓                    |      | ↓   | ↓   | ↓    |     |     |
| Partial factor set                                    |            | A1                   | A2   | M1  | M2  | R1   | R2  | R3  |
| Permanent actions (G)                                 | Unfav'ble  | $\gamma_G$           | 1.35 | 1.0 |     |      |     |     |
|   | Favourable | $\gamma_{G,fav}$     | 1.0  | 1.0 |     |      |     |     |
| Variable actions (Q)                                  | Unfav'ble  | $\gamma_Q$           | 1.5  | 1.3 |     |      |     |     |
|   | Favourable | $\gamma_{Q,fav}$     | 0    | 0   |     |      |     |     |
| Coefficient of shearing resistance ( $\tan \varphi$ ) |            | $\gamma_\varphi$     |      |     | 1.0 | 1.25 |     |     |
| Effective cohesion ( $c'$ )                           |            | $\gamma_{c'}$        |      |     | 1.0 | 1.25 |     |     |
| Undrained strength ( $c_u$ )                          |            | $\gamma_{c_u}$       |      |     | 1.0 | 1.4  |     |     |
| Unconfined compressive strength ( $q_u$ )             |            | $\gamma_{q_u}$       |      |     | 1.0 | 1.4  |     |     |
| Weight density ( $\gamma$ )                           |            | $\gamma_Y$           |      |     | 1.0 | 1.0  |     |     |
| Bearing resistance ( $R_v$ )                          |            | $\gamma_{R_v}$       |      |     |     |      | 1.0 | 1.4 |
| Sliding resistance ( $R_h$ )                          |            | $\gamma_{R_h}$       |      |     |     |      | 1.0 | 1.1 |
| Earth resistance                                      |            | $\gamma_{R_e}$       |      |     |     |      | 1.0 | 1.0 |
| ... retaining structures                              |            |                      |      |     |     |      |     | 1.4 |
| ... slopes  |            |                      |      |     |     |      |     | 1.1 |
| Prestressed anchorages                                |            | $\gamma_a$           |      |     |     |      | 1.1 | 1.1 |
|   |            |                      |      |     |     |      |     | 1.0 |

Odabir proračunskih geotehničkih parametara vrši se prema normi HRN EN 1997-1:2012-Eurokod 7: Geotehničko projektiranje - 1. dio: Opća pravila (EN 1997-1:2004+AC:2009) i nacionalnom dodatku HRN EN 1997-1:2012/NA:2012-Eurokod 7: Geotehničko projektiranje--1. dio: Opća pravila--Nacionalni dodatak.



**Glinoviti šljunak s pijeskom (GC):**

Zapreminska težina:

$$\gamma_p = \frac{\gamma}{1} = \frac{19}{1} = 19 \text{ kN/m}^3$$

Kut unutarnjeg trenja:

$$\tan \varphi'_p = \frac{\tan \varphi'_k}{1,25} = \frac{\tan 35,6^\circ}{1,25} = 29,80^\circ$$

**Glina niske plastičnosti (CL):**

Zapreminska težina:

$$\gamma_p = \frac{\gamma}{1} = \frac{19,6}{1} = 19,60 \text{ kN/m}^3$$

Kohezija:

$$c'_p = \frac{c'_k}{1,25} = \frac{6,12}{1,25} = 4,90 \text{ kPa}$$

Kut unutarnjeg trenja:

$$\tan \varphi'_p = \frac{\tan \varphi'_k}{1,25} = \frac{\tan 23,11}{1,25} = 18,84^\circ$$

Nedrenirana čvrstoća:

$$c'_{u,p} = \frac{c'_{u,k}}{1,4} = \frac{104,72}{1,4} = 74,8 \text{ kPa}$$

**Glina visoke plastičnosti (CH):**

Zapreminska težina:

$$\gamma_p = \frac{\gamma}{1} = \frac{18,6}{1} = 18,6 \text{ kN/m}^3$$

Kohezija:

$$c'_p = \frac{c'_k}{1,25} = \frac{5,76}{1,25} = 4,61 \text{ kPa}$$

Kut unutarnjeg trenja:

$$\tan \varphi'_p = \frac{\tan \varphi'_k}{1,25} = \frac{\tan 24,09^\circ}{1,25} = 19,68^\circ$$

Nedrenirana čvrstoća:

$$c'_{u,p} = \frac{c'_{u,k}}{1,4} = \frac{95,47}{1,4} = 68,19 \text{ kPa}$$

**Dobro graduirani šljunak (GW):**

Zapreminska težina:

$$\gamma_p = \frac{\gamma}{1} = \frac{21}{1} = 21 \text{ kN/m}^3$$

Kut unutarnjeg trenja:

$$\tan \varphi'_p = \frac{\tan \varphi'_k}{1,25} = \frac{\tan 40^\circ}{1,25} = 34^\circ$$

**3.4.5. Sumarne tablice parametara tla**

Tablica 23.: Sumarna tablica karakterističnih vrijednosti parametara slojeva tla

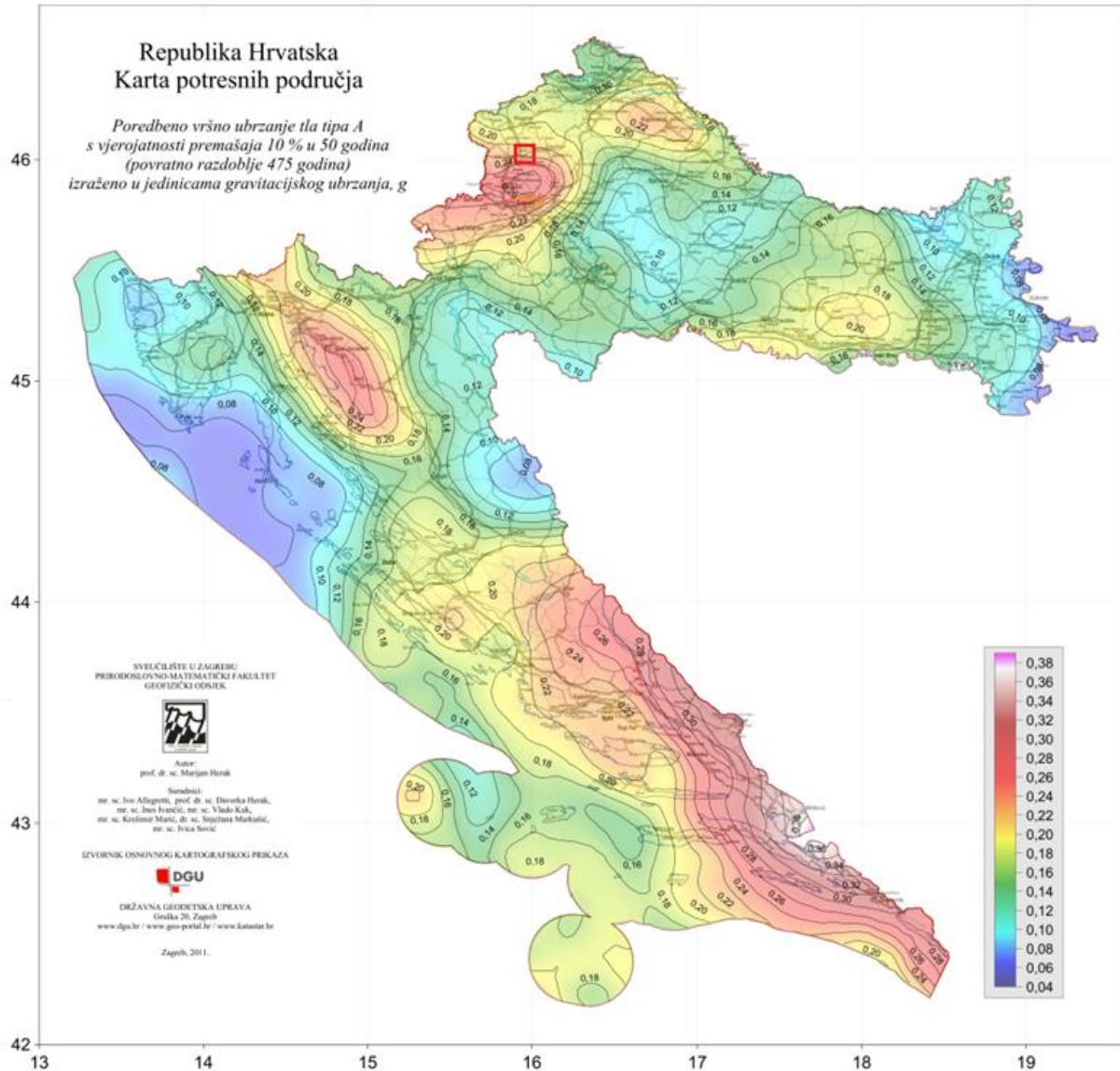
| Tlo          |                      | GC                | CL                | CH                | GW                |
|--------------|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| $\gamma$     | [kN/m <sup>3</sup> ] | 19                | 19,6              | 18,6              | 21                |
| $c'_k$       | [kPa]                | /                 | 6,1               | 5,8               | /                 |
| $\varphi'_k$ | [°]                  | 35,6              | 23,1              | 24,1              | 40                |
| $c'_{u,k}$   | [kPa]                | /                 | 104,7             | 95,5              | /                 |
| $\nu'$       | [/]                  | 0,3               | 0,35              | 0,3               | 0,3               |
| $E'$         | [kPa]                | 18800             | 12100             | 3250              | 26000             |
| $M_{v,k}$    | [kPa]                | 20246             | 15535             | 3500              | 35000             |
| $k$          | [m/s]                | $5 \cdot 10^{-6}$ | $1 \cdot 10^{-8}$ | $1 \cdot 10^{-9}$ | $1 \cdot 10^{-3}$ |

Tablica 24.: Sumarna tablica proračunskih vrijednosti parametara slojeva tla

| Tlo          |                      | GC                | CL                | CH                | GW                |
|--------------|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| $\gamma_p$   | [kN/m <sup>3</sup> ] | 19                | 19,60             | 18,60             | 21                |
| $c'_p$       | [kPa]                | /                 | 4,9               | 4,6               | /                 |
| $\varphi'_p$ | [°]                  | 29,8              | 18,8              | 19,7              | 34                |
| $c'_{u,p}$   | [kPa]                | /                 | 74,8              | 68,2              | /                 |
| $\nu'$       | [/]                  | 0,3               | 0,35              | 0,3               | 0,3               |
| $E'$         | [kPa]                | 18800             | 12100             | 3250              | 26000             |
| $M_{v,p}$    | [MPa]                | 20246             | 15535             | 3500              | 35000             |
| $k$          | [m/s]                | $5 \cdot 10^{-6}$ | $1 \cdot 10^{-8}$ | $1 \cdot 10^{-9}$ | $1 \cdot 10^{-3}$ |

### 3.4.6. Proračun seizmičkih karakteristika

Analiza stabilnosti provedena je za potres povratnog razdoblja 475 godina. Za područje u kojem se izvodi zahvat određeno je vršno horizontalno ubrzanje tla  $a_h = 0,24g$  s karte potresnih zona Republike Hrvatske, slike 37 i 38.



Slika 37.: Karta potresnih područja Republike Hrvatske (Izvor: [10])



Slika 38.: Vrijednosti iz karte potresnih područja Republike Hrvatske (Izvor: [12])

Sanacija klizišta se provodi na temeljnom tlu kategorije C sa parametrima  $S = 1,15$ ;  $r = 2.0$  prema tablicama 25, 26 i 27.

Tablica 25.: Klase temeljnog tla (Izvor: [10])

| 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 $V_s > 800$ m/s. | -                | -                  | -           |

Tablica 26.: Vrijednosti elastičnog spektra odziva S za različite klase tla/stijene (Izvor: [10])

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

Tablica 27.: Vrijednosti parametra konstrukcije r u ovisnosti o vrsti temeljne konstrukcije (Izvor: [10])

| 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 |

Prema dobivenim podacima, temeljnog tla kategorije C sa parametrima  $S = 1.15$ ;  $r = 2.0$  određuju se koeficijenti potresnog ubrzanja s kojim se ulazi u proračun stabilnosti:

$$k_h = \frac{a_h \cdot s}{r} = \frac{0,24 \cdot 9,81}{9,81} \cdot 1,15 = 0,138$$

$$k_v = \pm \frac{1}{2} \cdot k_h = \pm \frac{1}{2} \cdot 0,138 = \pm 0,069$$

gdje je:

$k_h$  - horizontalni seizmički koeficijent

$k_v$  - vertikalni seizmički koeficijent

$\alpha$  - koeficijent odnosa proračunskog horizontalnog ubrzanja tla i gravitacijskog ubrzanja

$a_h$  - proračunsko horizontalno ubrzanje tla

S - parametar ovisan o klasi tla

r - parametar ovisan o vrsti konstrukcije

### 3.4.7. Potrebni parametri pilotne stijene

#### A) Naglavna greda

Naglavna greda je visine 80 cm i debljine 60 cm, na udaljenosti 55 m. U geotehničkim proračunima parametri su zadani po metru dužnom.

Određivanje površine:

- preko proračuna:

$$A = a \cdot b = 0,6 \cdot 1 = 0,6 \text{ m}^2$$

Određivanje momenta tromosti:

- preko proračuna:

$$A = \frac{a^4 \cdot b}{32} = \frac{0,6^4 \cdot 1}{32} = 0,018 \text{ m}^4$$

Određivanje modul elastičnosti:

- pretpostavka:

$$E = 33\,000\,000 \text{ kPa}$$

#### B) Piloti

Piloti imaju promjer  $\varnothing 40$  cm, duljinu 10 metara i osni razmak 60 cm. Međutim iznad propusta su piloti na udaljenosti od 4,8 metara, između pilota 27 i 37, promjera  $\varnothing 40$  cm, duljine 2,2 metra, a osnog razmaka 60 cm. Baza pilota se nalazi u sloju gline niske plastičnosti (CL) u geotehničkim profilima 2 i 3, čija nedrenirana čvrstoća ( $c_{u,k}$ ) iznosi 104,7 kPa.

Određivanje površine baze pilota:

- preko proračuna:

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = \frac{0,4^2 \cdot \pi}{4} = 0,1257 \text{ m}^2$$

Određivanje momenta tromosti:

- preko proračuna:

$$I = \frac{d^4 \cdot \pi}{64} = \frac{0,4^4 \cdot \pi}{64} = 0,001257 \text{ m}^4$$

Određivanje modula elastičnosti:

- pretpostavka:

$$E = 33\,000\,000 \text{ kPa}$$

### 3.5. Geotehnički proračuni

Geotehnički proračuni obuhvaćaju: analizu stabilnosti klizišta, naponsko-deformacijsku analizu, dimenzioniranje pilota, te uzdužnu nosivost pilota. Za izvedbu istoga korišteni su računalni programi GeoStudio 2021.3, njegovi dijelovi SLOPE i SIGMA, koji analiziraju stabilnost, odnosno naponsko - deformacijsko stanje tla, te Aspalhatos koji određuje potrebnu armaturu AB presjeka pilota.

Analize su provedene za svaki geotehnički profil.

#### 3.5.1. Analize stabilnosti

Za analizu stabilnosti klizišta je korišten računalni program GeoStudio, odnosno njegov dio SLOPE. Za definiranje kritične klizne plohe je korištena Morgensten-Price-ova metoda. Za zadavanje kliznih ploha su korištene metode „Grid and Radius“ za analize globalne stabilnosti.

Potreban ulazni parametar pilotne stijene, posmična sila, je procijenjena na 125,7 kN uzimajući u obzir površinu presjeka pilota. Potrebni ulazni parametri tla su u ranije navedenim tablicama 23 i 24. Na cestu je primijenjeno vertikalno opterećenje od prometa u iznosu od 15 kPa.

Analiza stabilnosti obuhvaća statičku i dinamičku (potresnu) stabilnost.

U analizama statičke stabilnosti provode se provjere:

- globalne stabilnosti za početno stanje naprezanja
- lokalne stabilnosti prilikom iskopa
- globalne stabilnosti za konačno stanje izvedbe
- globalne stabilnosti za konačno stanje izvedbe s prometnim opterećenjem

Provjere globalne i lokalne statičke stabilnosti se provode u dreniranim uvjetima s proračunskim parametrima.

U analizama dinamičke (potresne) stabilnosti provode se provjere:

- globalne stabilnosti za početno stanje naprezanja
- globalne stabilnosti za konačno stanje izvedbe

Provjera globalne dinamičke stabilnosti se provodi na četirima potresnim proračunskim situacijama.

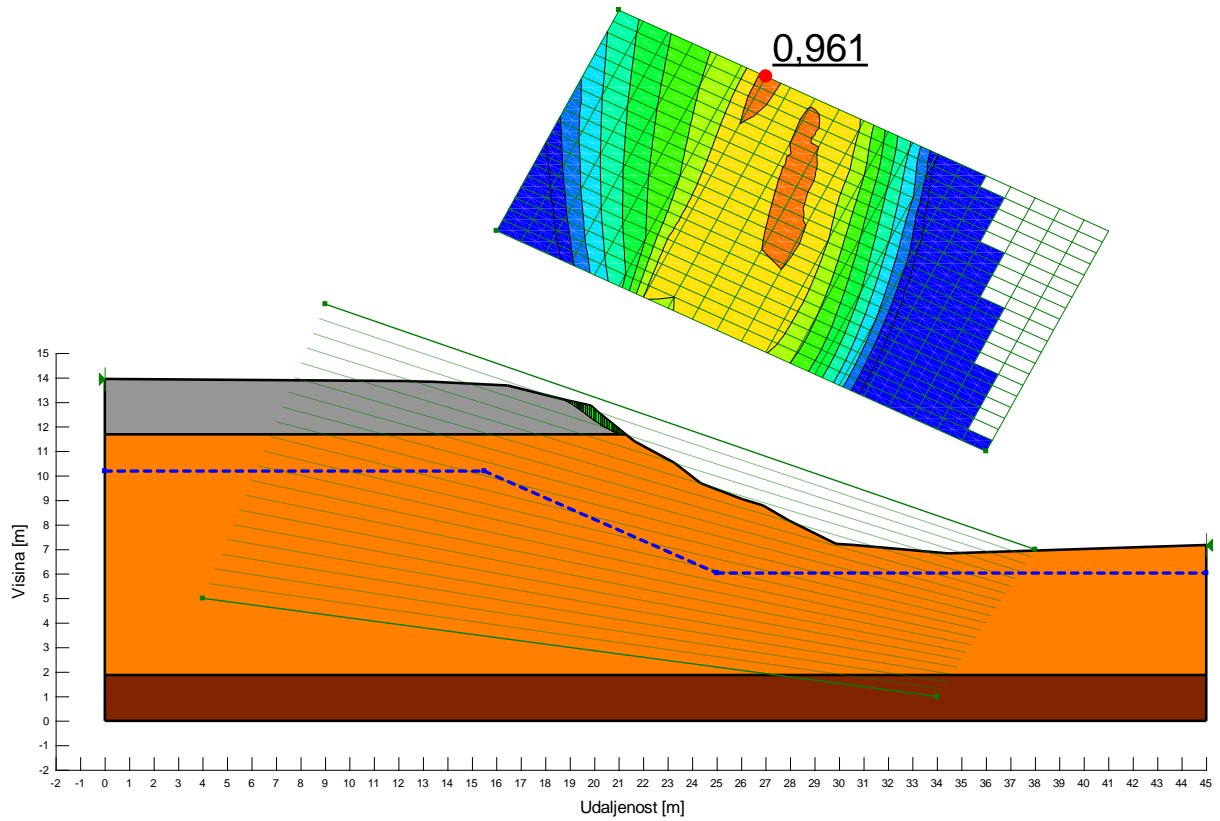
- Dvije situacije u dreniranim uvjetima, s karakterističnim parametrima tla, te pozitivnim i negativnim vertikalnim seizmičkim koeficijentom.
- Dvije situacije u nedreniranim uvjetima, s proračunskim parametrima tla, te pozitivnim i negativnim vertikalnim seizmičkim koeficijentom.

Rezultati proračuna su u nastavku gdje su prikazani najmanji faktori sigurnosti za pojedinu provjeru, tj. situaciju.

## 3.5.1.1. Geotehnički profil 1

## A) STATIČKA ANALIZA STABILNOSTI

## Globalna stabilnost za početno stanje naprezanja

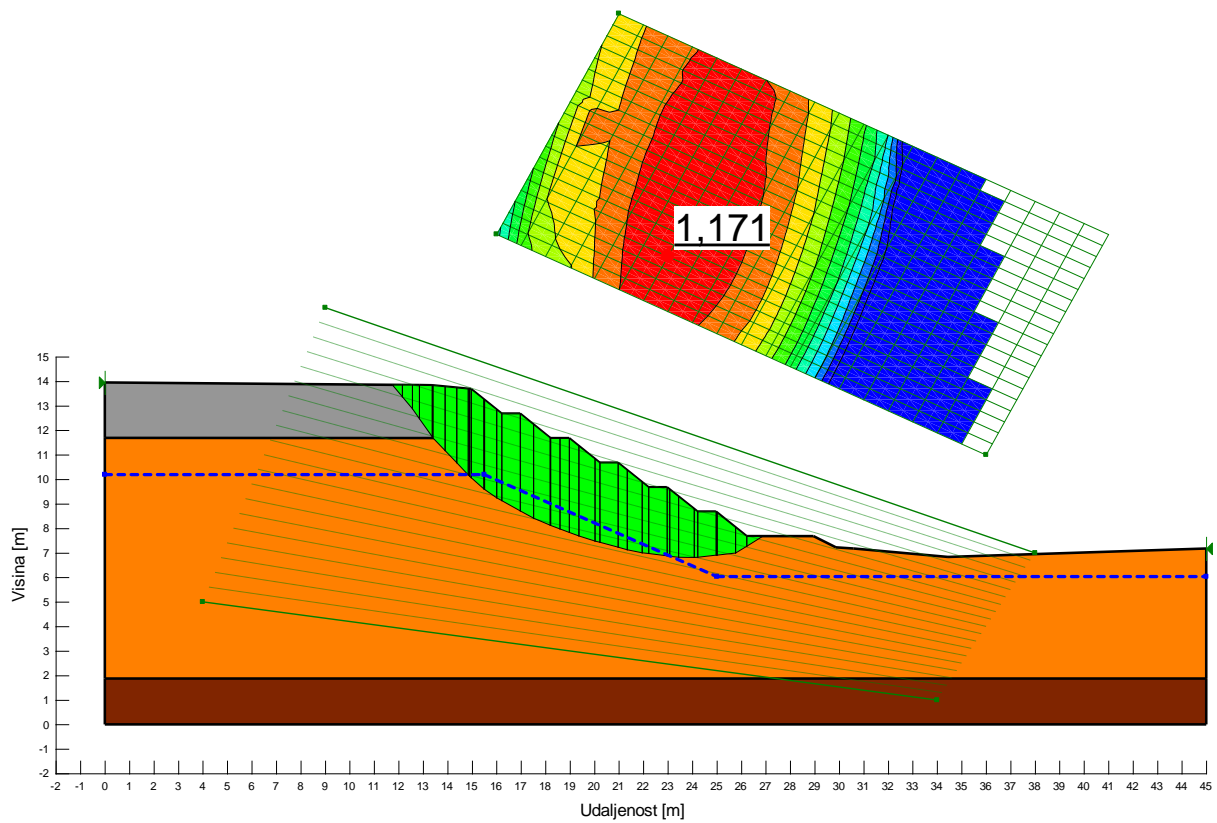


| Color | Name    | Slope Stability Material Model | Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> ) | Effective Cohesion (kPa) | Effective Friction Angle (°) |
|-------|---------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------|------------------------------|
| ■     | 01_GC_p | Mohr-Coulomb                   | 19                               | 0                        | 29,8                         |
| ■     | 02_CL_p | Mohr-Coulomb                   | 19,6                             | 4,9                      | 18,8                         |
| ■     | 03_CH_p | Mohr-Coulomb                   | 18,6                             | 4,6                      | 19,7                         |

Slika 39.: Globalna stabilnost(drenirani uvjeti)



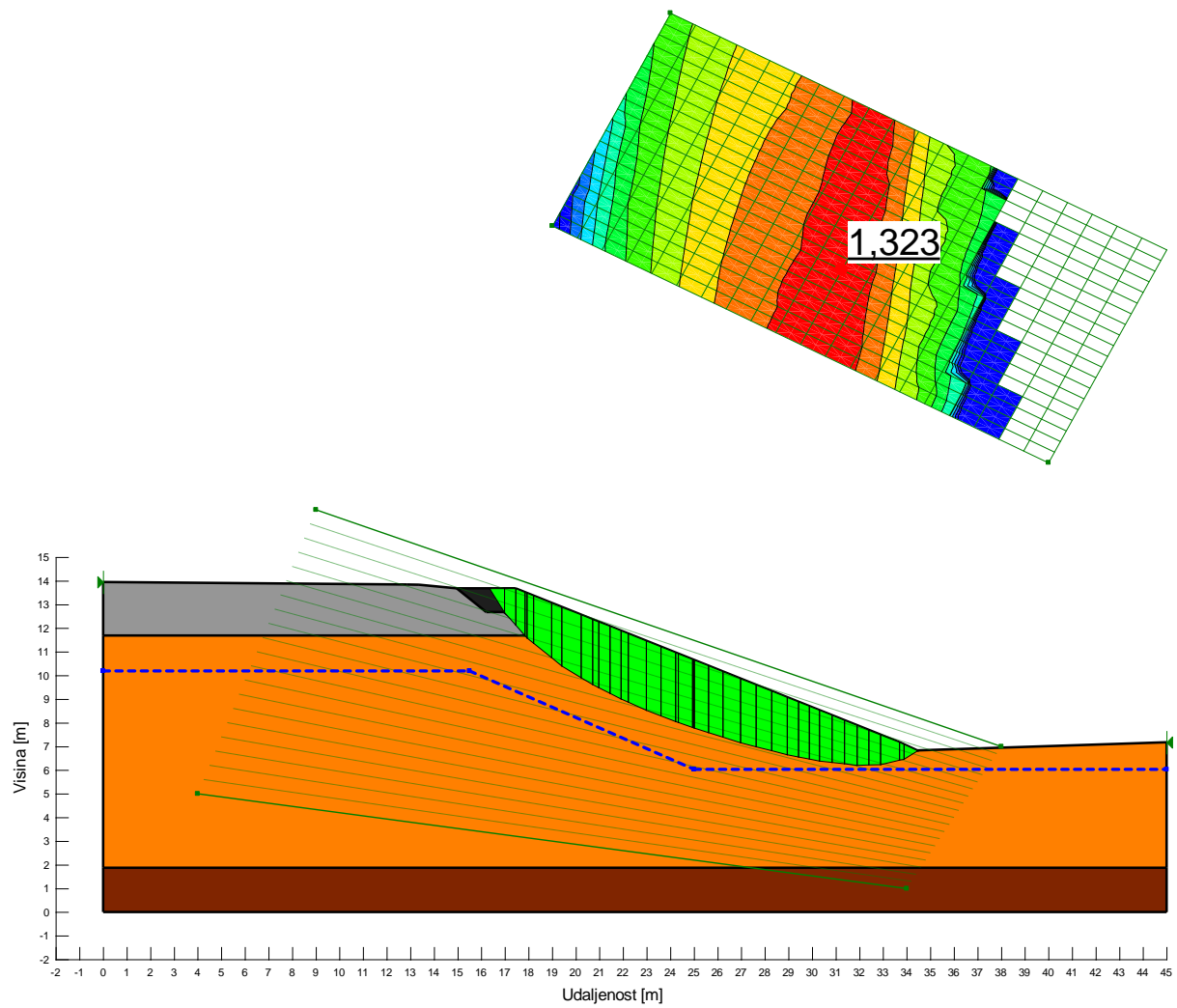
## Lokalna stabilnost prilikom iskopa



| Color | Name    | Slope Stability Material Model | Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> ) | Effective Cohesion (kPa) | Effective Friction Angle (°) |
|-------|---------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------|------------------------------|
| ■     | 01_GC_p | Mohr-Coulomb                   | 19                               | 0                        | 29,8                         |
| ■     | 02_CL_p | Mohr-Coulomb                   | 19,6                             | 4,9                      | 18,8                         |
| ■     | 03_CH_p | Mohr-Coulomb                   | 18,6                             | 4,6                      | 19,7                         |

Slika 40.: Lokalna stabilnost(drenirani uvjeti)

## Globalna stabilnost za konačno stanje izvedbe

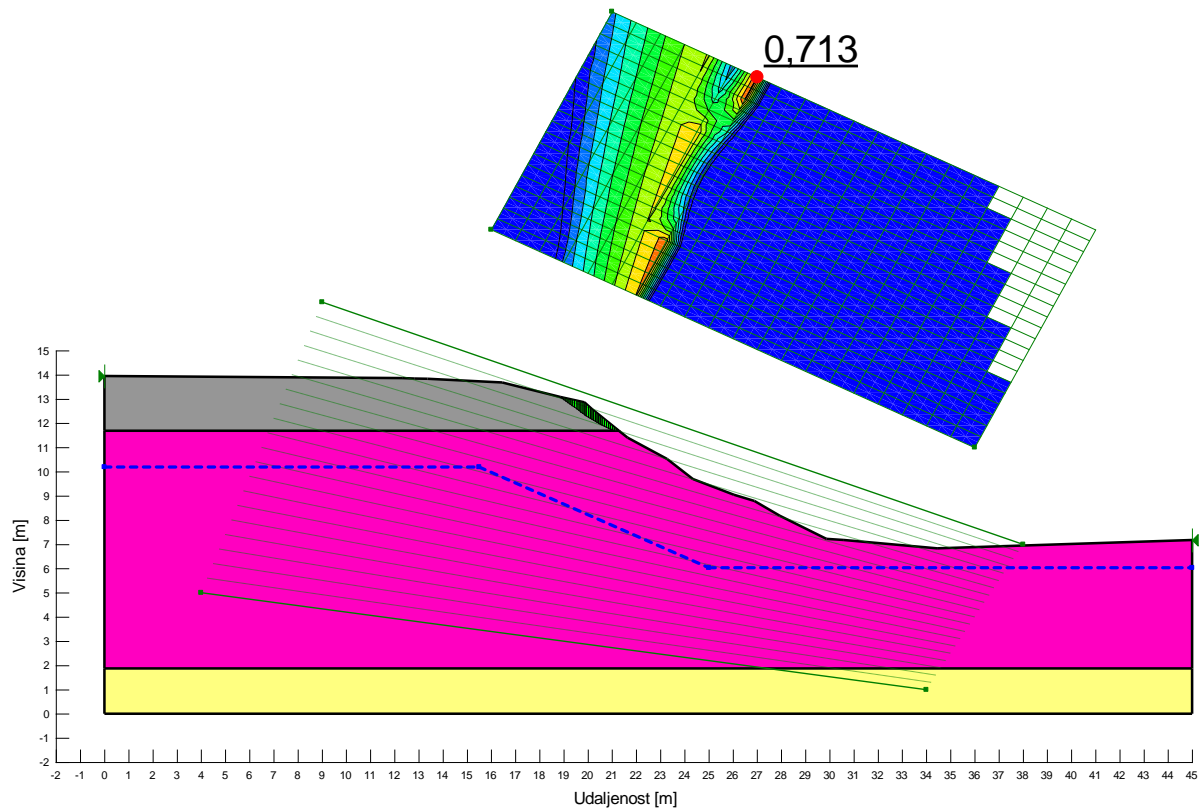


| Color | Name    | Slope Stability Material Model | Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> ) | Effective Cohesion (kPa) | Effective Friction Angle (°) |
|-------|---------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------|------------------------------|
| ■     | 01_GC_p | Mohr-Coulomb                   | 19                               | 0                        | 29,8                         |
| ■     | 02_CL_p | Mohr-Coulomb                   | 19,6                             | 4,9                      | 18,8                         |
| ■     | 03_CH_p | Mohr-Coulomb                   | 18,6                             | 4,6                      | 19,7                         |
| ■     | 04_GW_p | Mohr-Coulomb                   | 21                               | 0                        | 34                           |

Slika 41.: Globalna stabilnost(drenirani uvjeti)

## B) DINAMIČKA(POTRESNA) ANALIZA STABILNOSTI

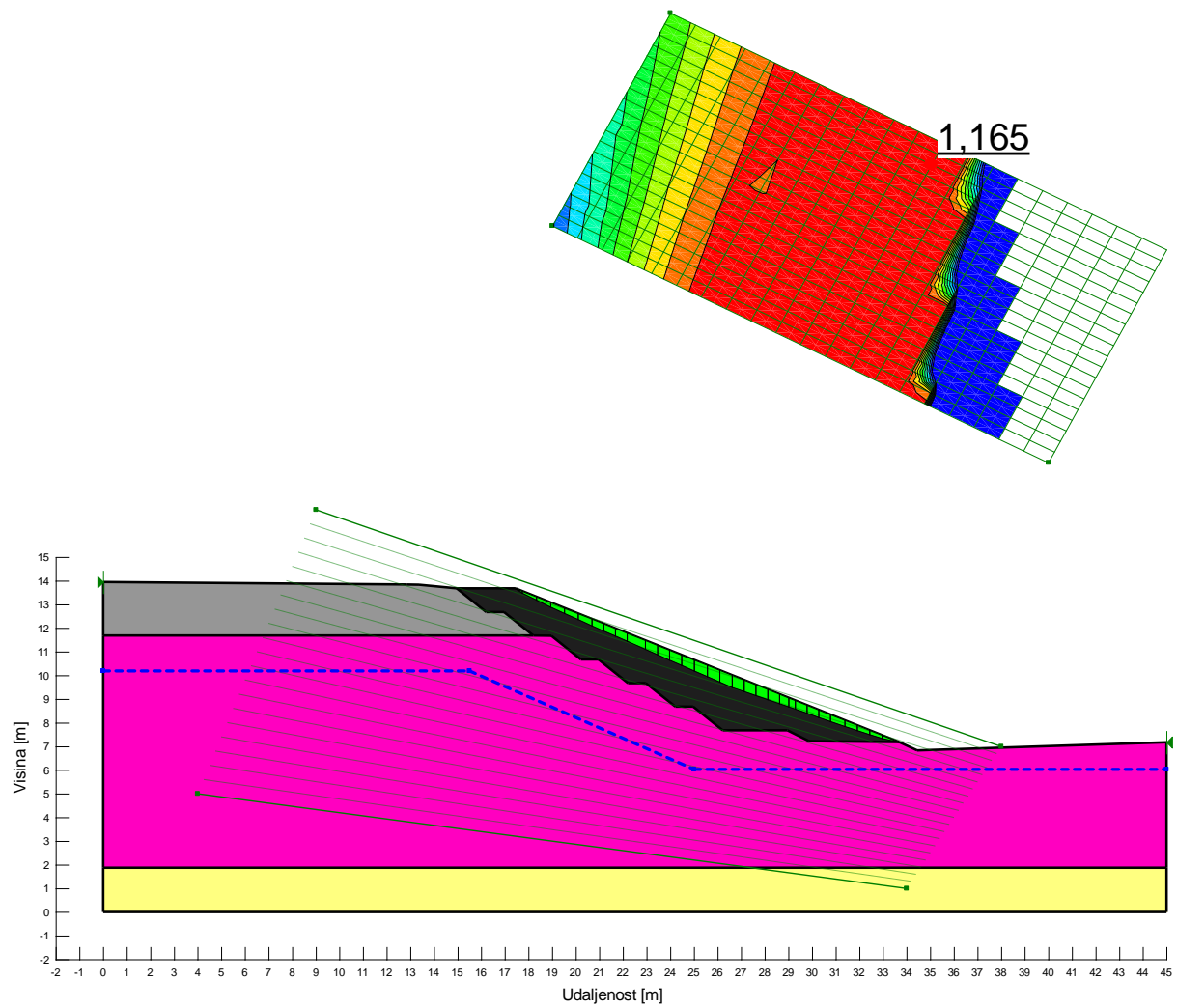
### Globalna stabilnost za početno stanje naprezanja



| Color | Name              | Slope Stability Material Model | Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> ) | Total Cohesion (kPa) | Effective Cohesion (kPa) | Effective Friction Angle (°) |
|-------|-------------------|--------------------------------|----------------------------------|----------------------|--------------------------|------------------------------|
| ■     | 01_GC_p           | Mohr-Coulomb                   | 19                               |                      | 0                        | 29,8                         |
| ■     | 02_CL_undrained_p | Undrained (Phi=0)              | 19,6                             | 74,8                 |                          |                              |
| ■     | 03_CH_undrained_p | Undrained (Phi=0)              | 18,6                             | 68,2                 |                          |                              |

Slika 42.: Globalna stabilnost(nedrenirani uvjeti)(-k<sub>v</sub>)

## Globalna stabilnost za konačno stanje izvedbe



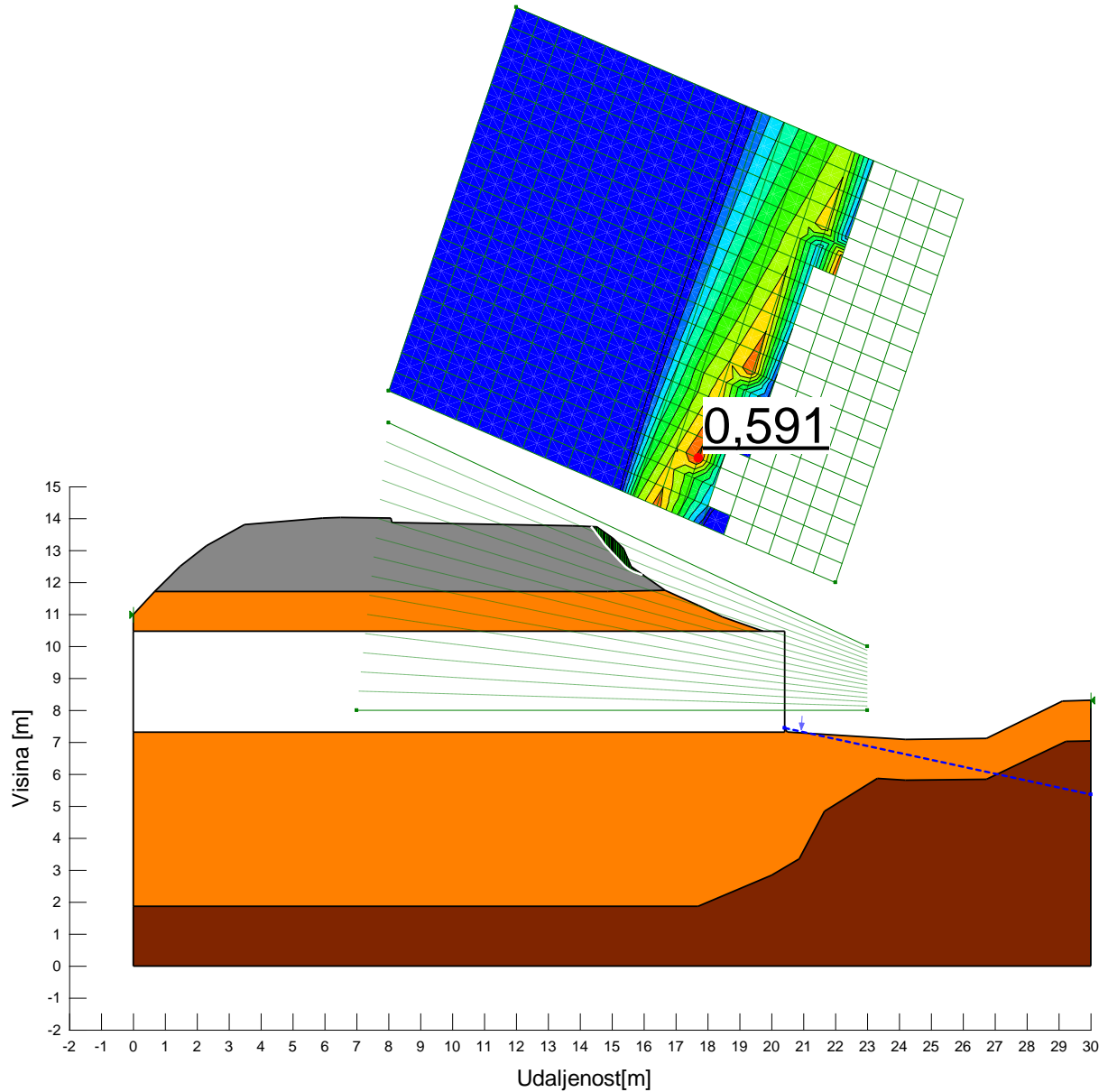
| Color | Name              | Slope Stability Material Model | Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> ) | Total Cohesion (kPa) | Effective Cohesion (kPa) | Effective Friction Angle (°) |
|-------|-------------------|--------------------------------|----------------------------------|----------------------|--------------------------|------------------------------|
| ■     | 01_GC_p           | Mohr-Coulomb                   | 19                               |                      | 0                        | 29,8                         |
| ■     | 02_CL_undrained_p | Undrained (Phi=0)              | 19,6                             | 74,8                 |                          |                              |
| ■     | 03_CH_undrained_p | Undrained (Phi=0)              | 18,6                             | 68,2                 |                          |                              |
| ■     | 04_GW_p           | Mohr-Coulomb                   | 21                               |                      | 0                        | 34                           |

Slika 43.: Globalna stabilnost(drenirani uvjeti)(-k<sub>v</sub>)

## 3.5.1.2. Geotehnički profil 2

## A) STATIČKA ANALIZA STABILNOSTI

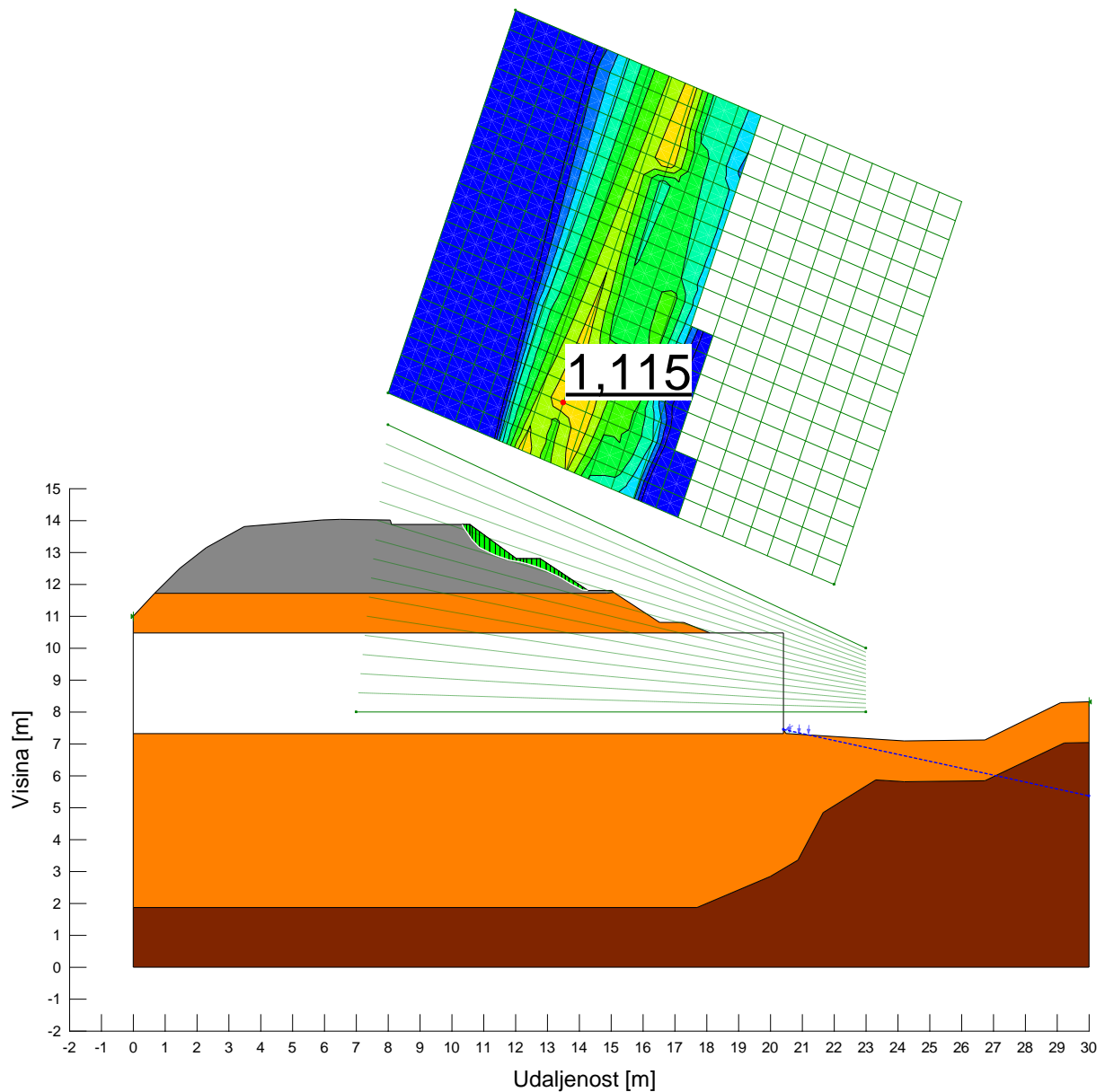
## Globalna stabilnost za početno stanje napreznaja



| Color | Name    | Slope Stability Material Model | Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> ) | Effective Cohesion (kPa) | Effective Friction Angle (°) |
|-------|---------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------|------------------------------|
| ■     | 01_GC_p | Mohr-Coulomb                   | 19                               | 0                        | 29,8                         |
| ■     | 02_CL_p | Mohr-Coulomb                   | 19,6                             | 4,9                      | 18,8                         |
| ■     | 03_CH_p | Mohr-Coulomb                   | 18,6                             | 4,6                      | 19,7                         |
| □     | Propust | High Strength                  | 25                               |                          |                              |

Slika 44.: Globalna stabilnost(drenirani uvjeti)

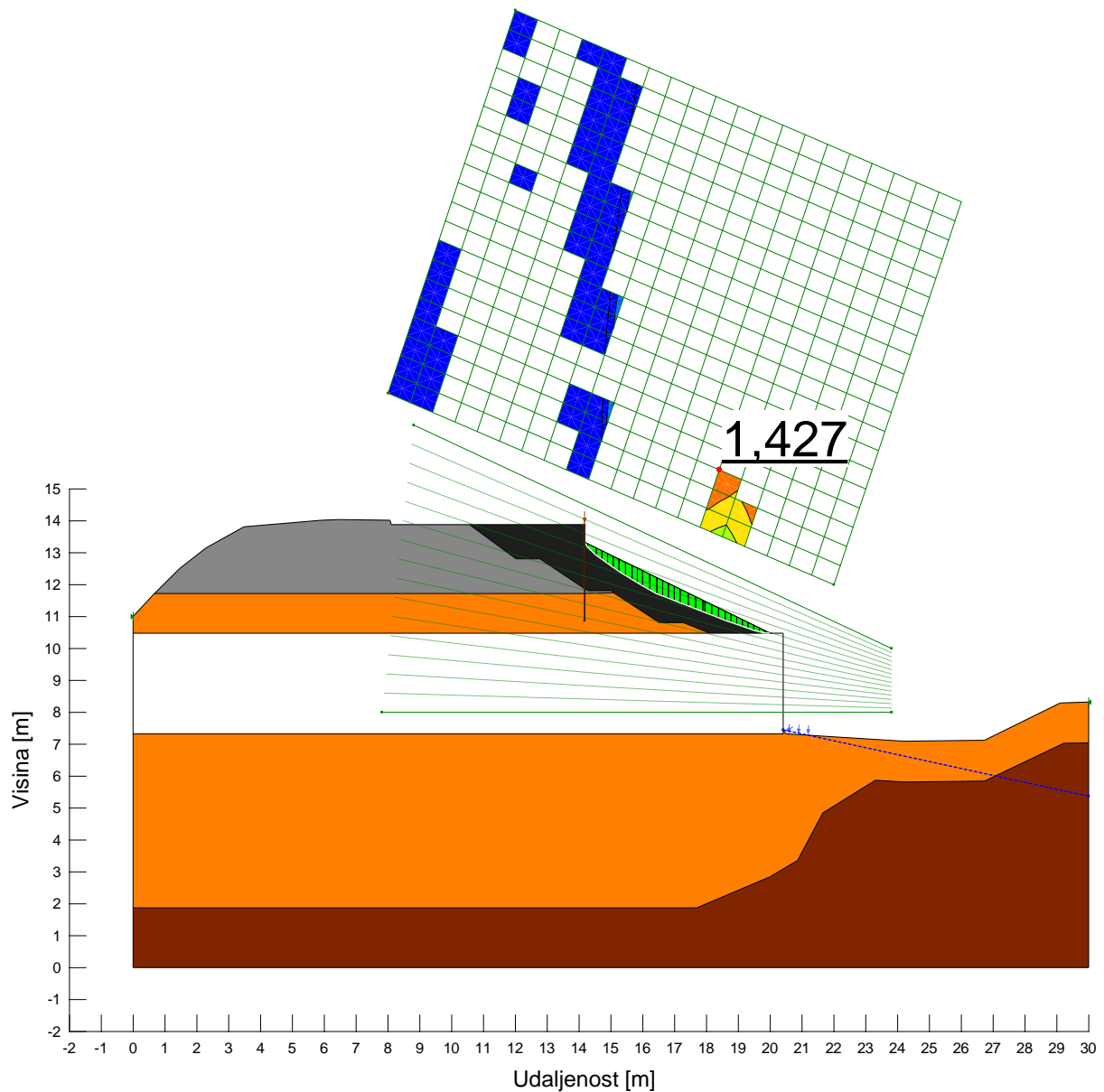
## Lokalna stabilnost prilikom iskopa



| Color | Name    | Slope Stability Material Model | Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> ) | Effective Cohesion (kPa) | Effective Friction Angle (°) |
|-------|---------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------|------------------------------|
| ■     | 01_GC_p | Mohr-Coulomb                   | 19                               | 0                        | 29,8                         |
| ■     | 02_CL_p | Mohr-Coulomb                   | 19,6                             | 4,9                      | 18,8                         |
| ■     | 03_CH_p | Mohr-Coulomb                   | 18,6                             | 4,6                      | 19,7                         |
| □     | Propust | High Strength                  | 25                               |                          |                              |

Slika 45.: Lokalna stabilnost(drenirani uvjeti)

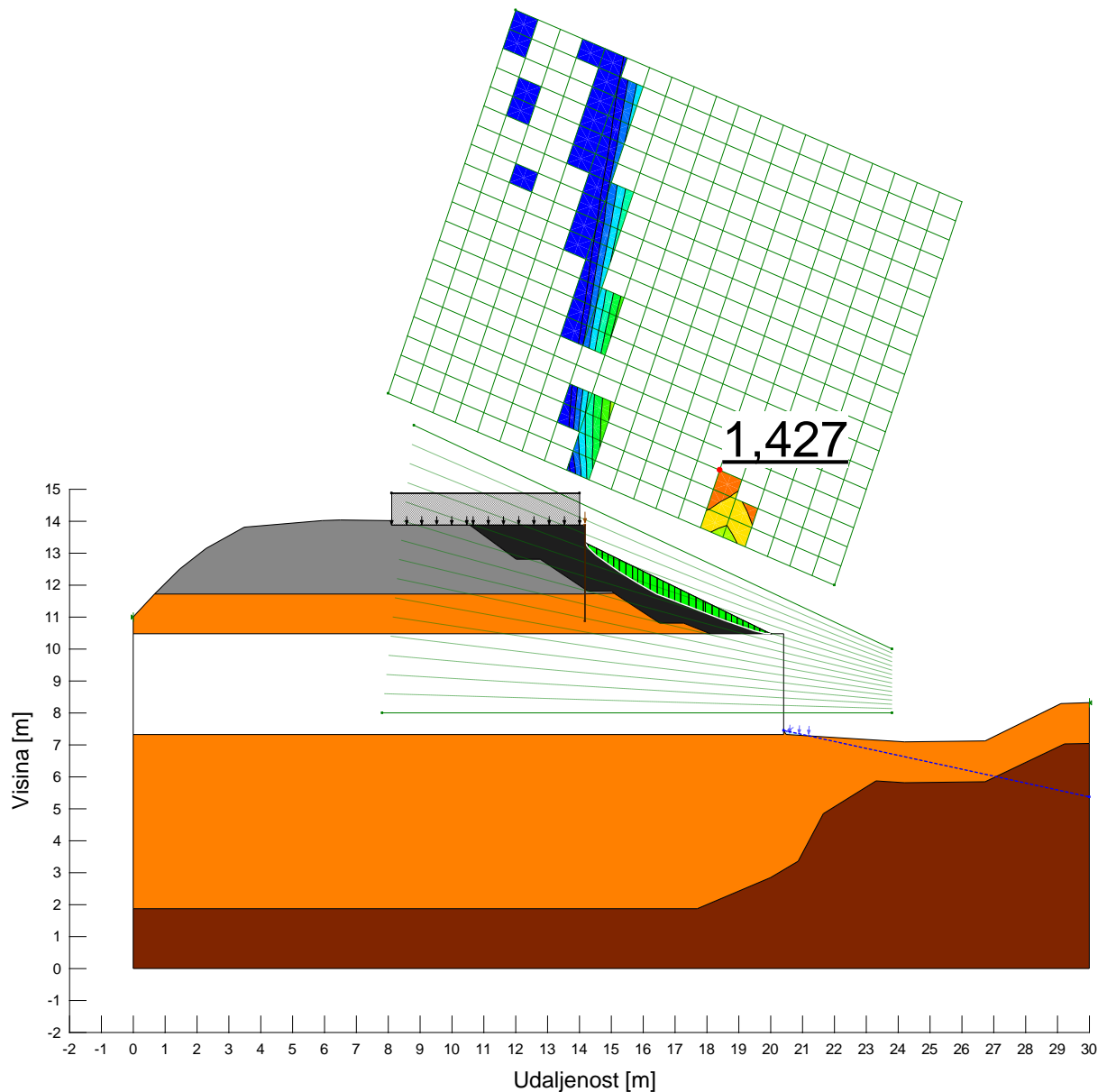
## Globalna stabilnost za konačno stanje izvedbe



| Color | Name    | Slope Stability Material Model | Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> ) | Effective Cohesion (kPa) | Effective Friction Angle (°) |
|-------|---------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------|------------------------------|
| ■     | 01_GC_p | Mohr-Coulomb                   | 19                               | 0                        | 29,8                         |
| ■     | 02_CL_p | Mohr-Coulomb                   | 19,6                             | 4,9                      | 18,8                         |
| ■     | 03_CH_p | Mohr-Coulomb                   | 18,6                             | 4,6                      | 19,7                         |
| ■     | 04_GW_p | Mohr-Coulomb                   | 21                               | 0                        | 34                           |
| □     | Propust | High Strength                  | 25                               |                          |                              |

| Color | Name            | Type | Shear Force (kN) | Out-of-Plane Spacing (m) |
|-------|-----------------|------|------------------|--------------------------|
| ■     | Pilotna stijena | Pile | 125              | 0,6                      |

Slika 46.: Globalna stabilnost(drenirani uvjeti)



| Color | Name    | Slope Stability Material Model | Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> ) | Effective Cohesion (kPa) | Effective Friction Angle (°) |
|-------|---------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------|------------------------------|
| ■     | 01_GC_p | Mohr-Coulomb                   | 19                               | 0                        | 29,8                         |
| ■     | 02_CL_p | Mohr-Coulomb                   | 19,6                             | 4,9                      | 18,8                         |
| ■     | 03_CH_p | Mohr-Coulomb                   | 18,6                             | 4,6                      | 19,7                         |
| ■     | 04_GW_p | Mohr-Coulomb                   | 21                               | 0                        | 34                           |
| □     | Propust | High Strength                  | 25                               |                          |                              |

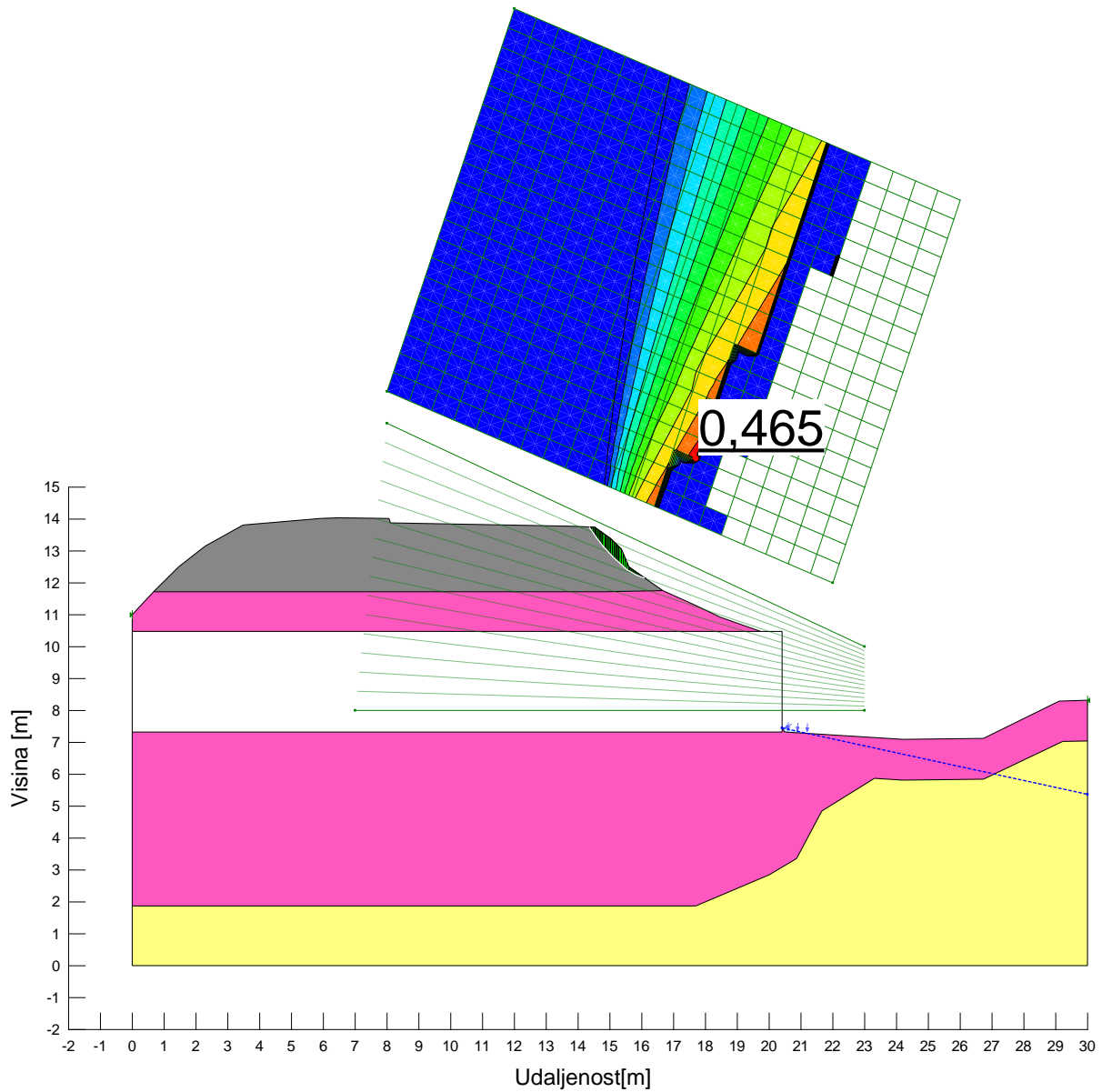
| Color | Name            | Type | Shear Force (kN) | Out-of-Plane Spacing (m) |
|-------|-----------------|------|------------------|--------------------------|
| ■     | Pilotna stijena | Pile | 125              | 0,6                      |

Slika 47.: Globalna stabilnost(drenirani uvjeti)(prometno opterećenje)



## B) DINAMIČKA(POTRESNA) ANALIZA STABILNOSTI

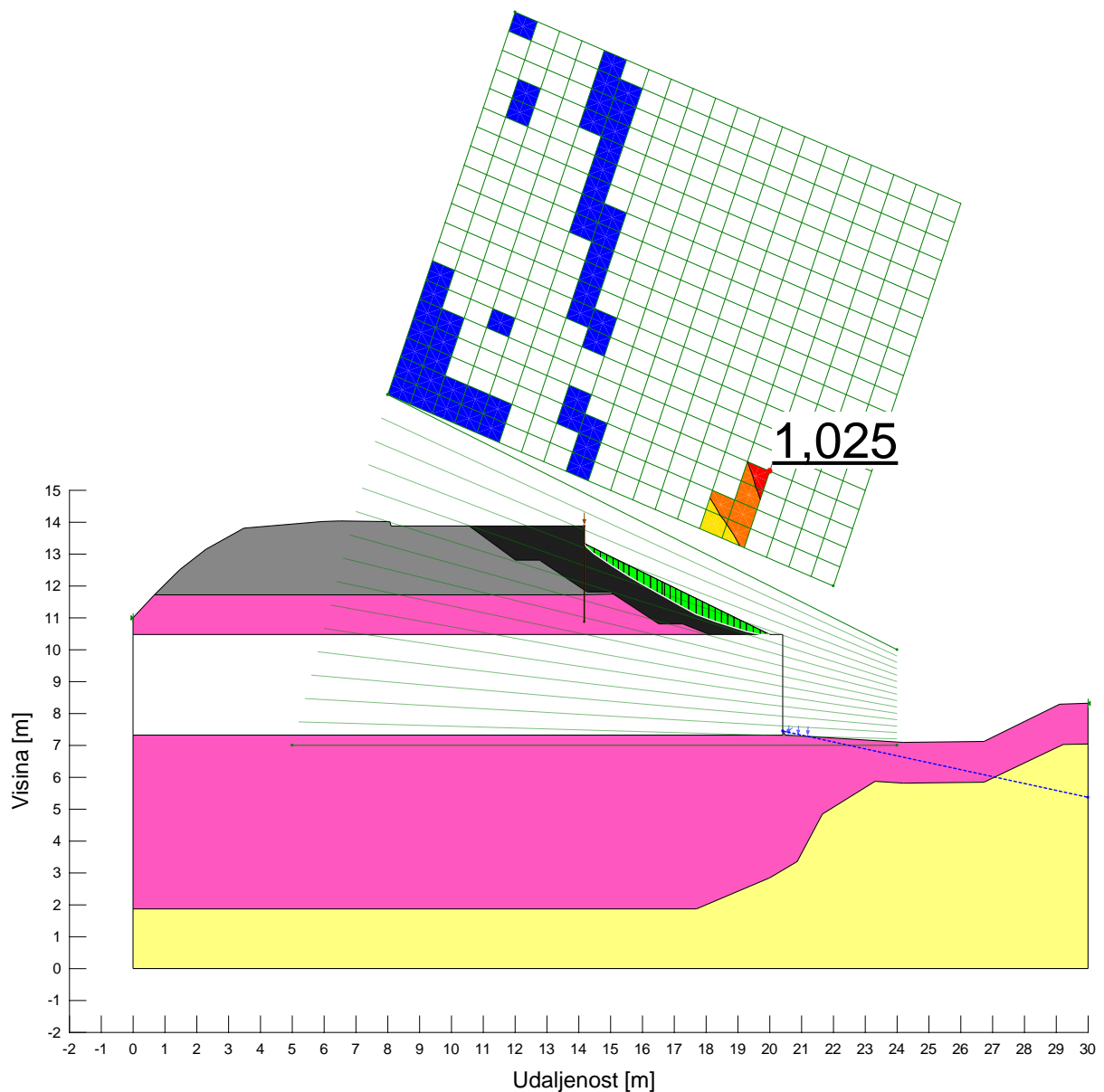
### Globalna stabilnost za početno stanje naprezanja



| Color | Name              | Slope Stability Material Model | Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> ) | Total Cohesion (kPa) | Effective Cohesion (kPa) | Effective Friction Angle (°) |
|-------|-------------------|--------------------------------|----------------------------------|----------------------|--------------------------|------------------------------|
| ■     | 01_GC_p           | Mohr-Coulomb                   | 19                               |                      | 0                        | 29,8                         |
| ■     | 02_CL_undrained_p | Undrained (Phi=0)              | 19,6                             | 74,8                 |                          |                              |
| ■     | 03_CH_undrained_p | Undrained (Phi=0)              | 18,6                             | 68,2                 |                          |                              |
| □     | Propust           | High Strength                  | 25                               |                      |                          |                              |

Slika 48.: Globalna stabilnost(nedrenirani uvjeti)(-k<sub>v</sub>)

## Globalna stabilnost za konačno stanje izvedbe



| Color | Name              | Slope Stability Material Model | Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> ) | Total Cohesion (kPa) | Effective Cohesion (kPa) | Effective Friction Angle (°) |
|-------|-------------------|--------------------------------|----------------------------------|----------------------|--------------------------|------------------------------|
| ■     | 01_GC_p           | Mohr-Coulomb                   | 19                               |                      | 0                        | 29,8                         |
| ■     | 02_CL_undrained_p | Undrained (Phi=0)              | 19,6                             | 74,8                 |                          |                              |
| ■     | 03_CH_undrained_p | Undrained (Phi=0)              | 18,6                             | 68,2                 |                          |                              |
| ■     | 04_GW_p           | Mohr-Coulomb                   | 21                               |                      | 0                        | 34                           |
| □     | Propust           | High Strength                  | 25                               |                      |                          |                              |

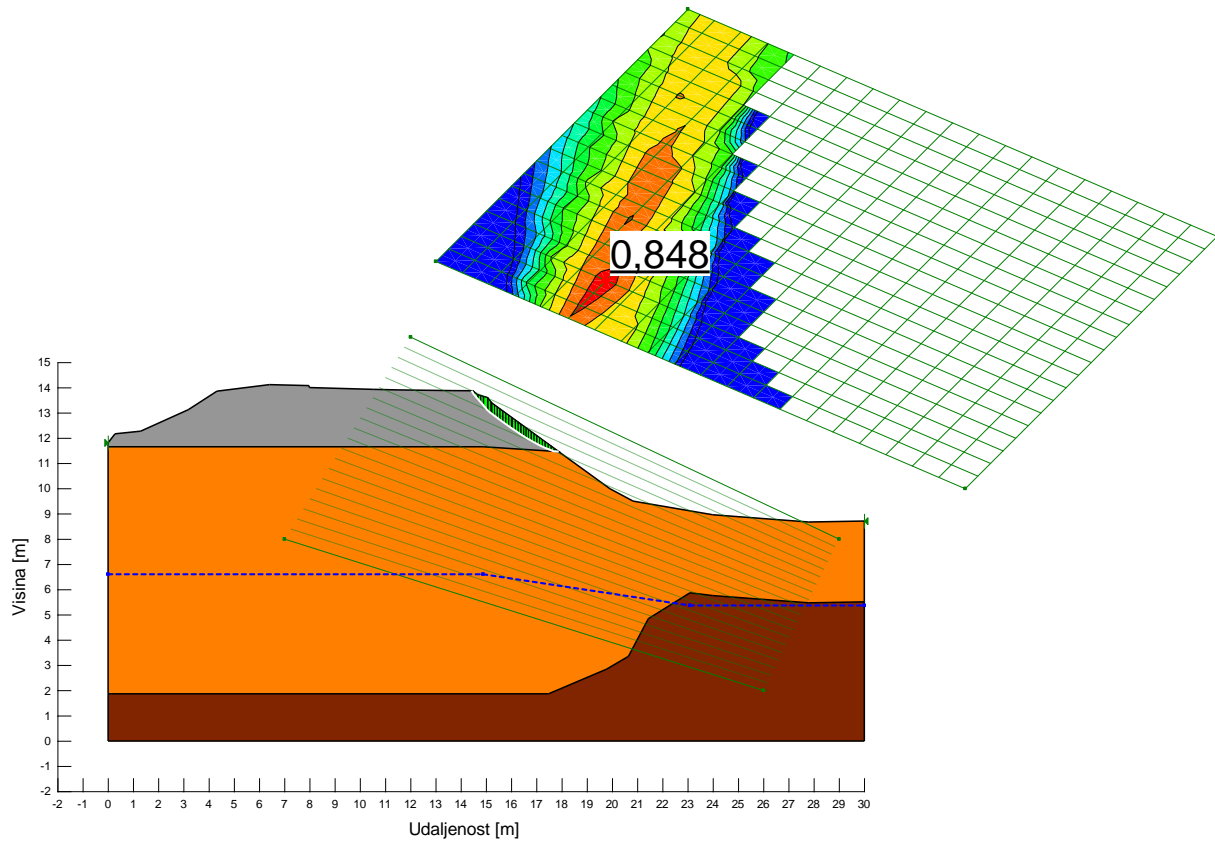
| Color | Name            | Type | Shear Force (kN) | Out-of-Plane Spacing (m) |
|-------|-----------------|------|------------------|--------------------------|
| ■     | Pilotna stijena | Pile | 125              | 0,6                      |

Slika 49.: Globalna stabilnost(nedrenirani uvjeti)(-k<sub>v</sub>)

## 3.5.1.3. Geotehnički profil 3

## A) STATIČKA ANALIZA STABILNOSTI

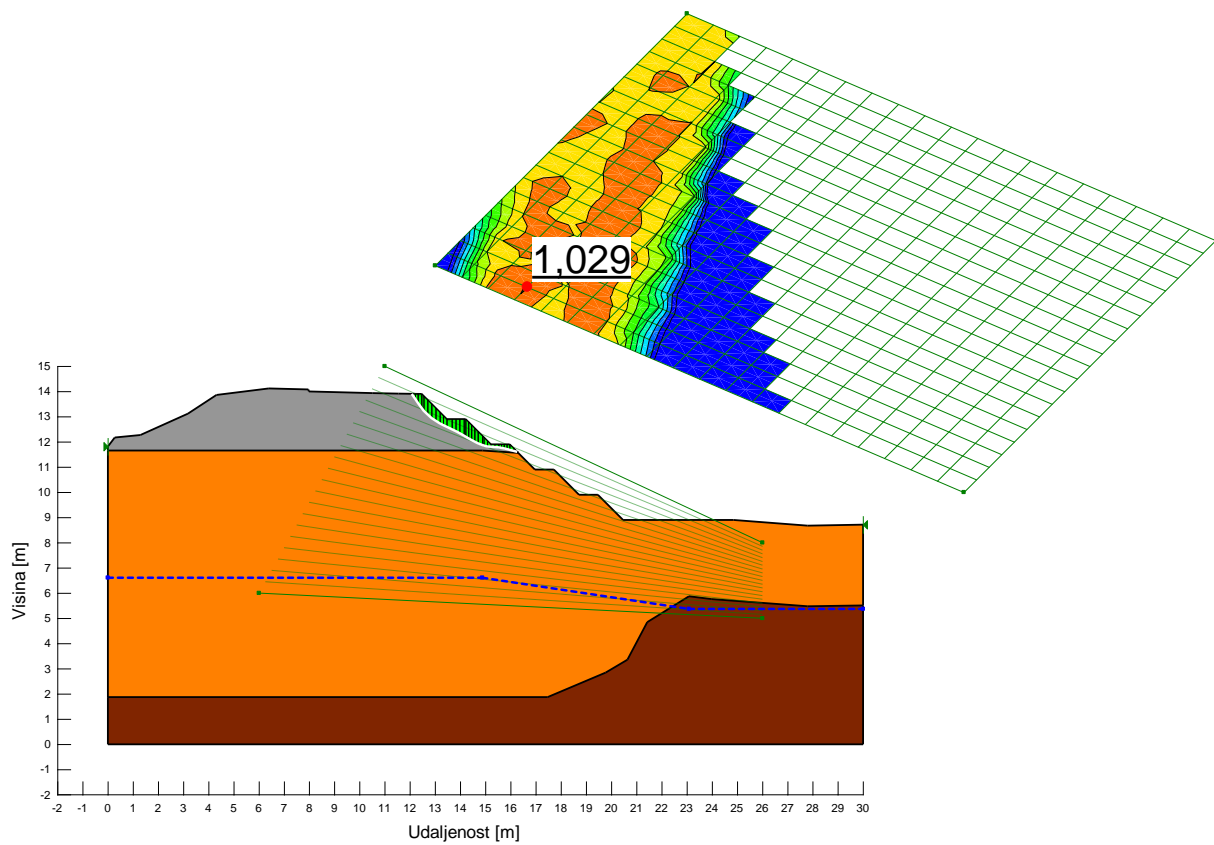
## Globalna stabilnost za početno stanje naprezanja



| Color | Name    | Slope Stability Material Model | Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> ) | Effective Cohesion (kPa) | Effective Friction Angle (°) |
|-------|---------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------|------------------------------|
| ■     | 01_GC_p | Mohr-Coulomb                   | 19                               | 0                        | 29,8                         |
| ■     | 02_CL_p | Mohr-Coulomb                   | 19,6                             | 4,9                      | 18,8                         |
| ■     | 03_CH_p | Mohr-Coulomb                   | 18,6                             | 4,6                      | 19,7                         |

Slika 50.: Globalna stabilnost(drenirani uvjeti)

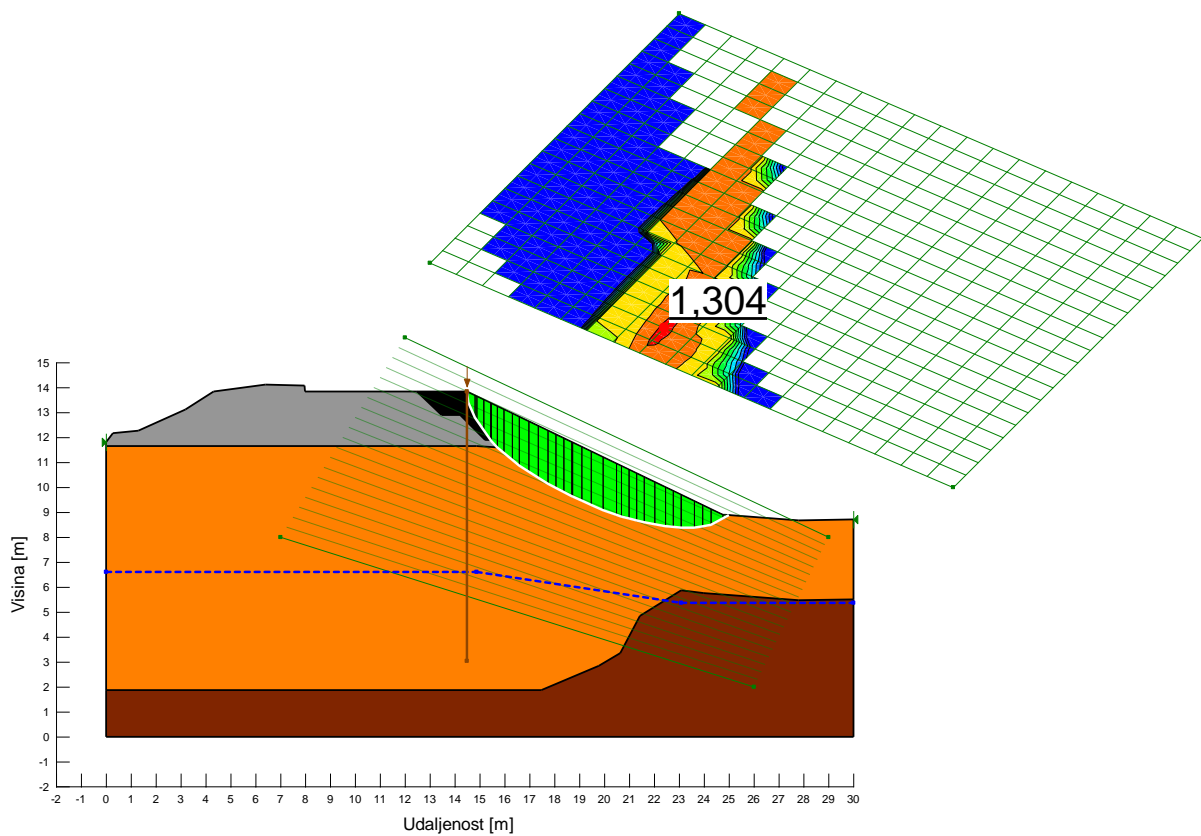
## Lokalna stabilnost prilikom iskopa



| Color | Name    | Slope Stability Material Model | Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> ) | Effective Cohesion (kPa) | Effective Friction Angle (°) |
|-------|---------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------|------------------------------|
| ■     | 01_GC_p | Mohr-Coulomb                   | 19                               | 0                        | 29,8                         |
| ■     | 02_CL_p | Mohr-Coulomb                   | 19,6                             | 4,9                      | 18,8                         |
| ■     | 03_CH_p | Mohr-Coulomb                   | 18,6                             | 4,6                      | 19,7                         |

Slika 51.: Lokalna stabilnost(drenirani uvjeti)

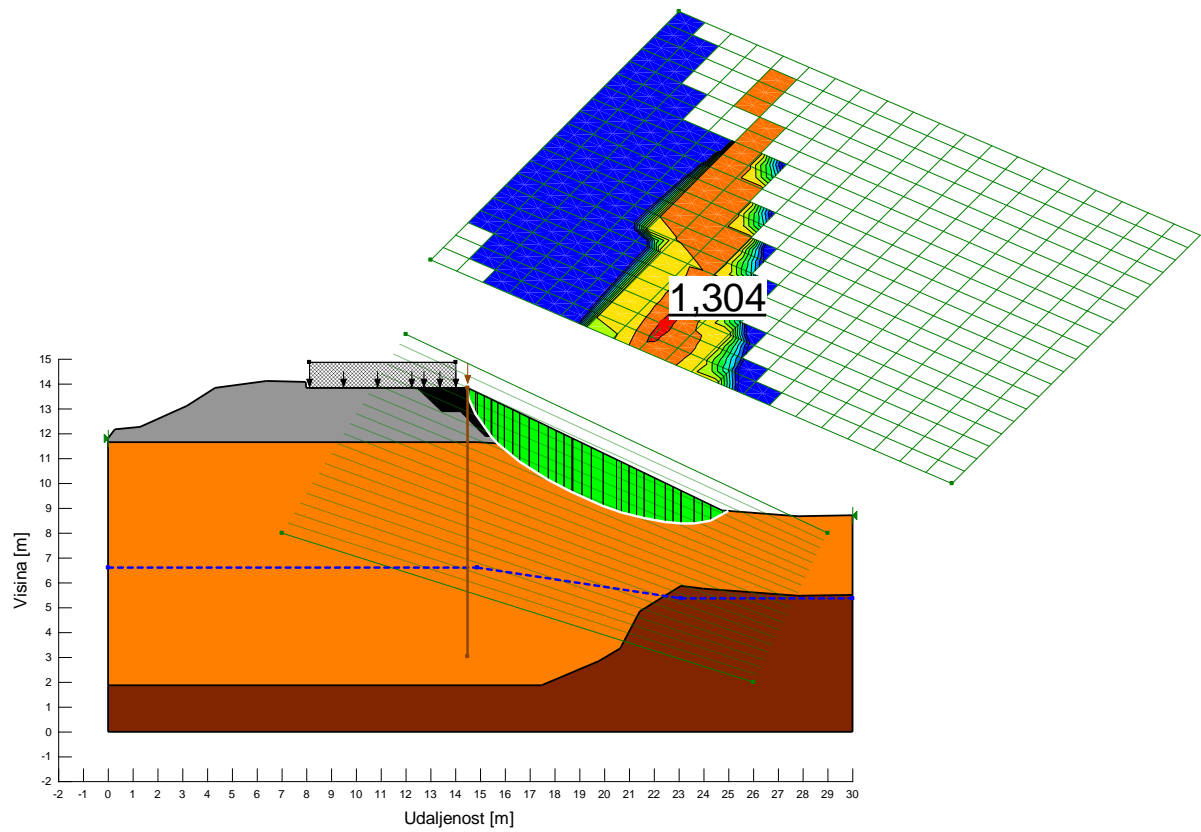
## Globalna stabilnost za konačno stanje izvedbe



| Color | Name    | Slope Stability Material Model | Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> ) | Effective Cohesion (kPa) | Effective Friction Angle (°) |
|-------|---------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------|------------------------------|
| ■     | 01_GC_p | Mohr-Coulomb                   | 19                               | 0                        | 29,8                         |
| ■     | 02_CL_p | Mohr-Coulomb                   | 19,6                             | 4,9                      | 18,8                         |
| ■     | 03_CH_p | Mohr-Coulomb                   | 18,6                             | 4,6                      | 19,7                         |
| ■     | 04_GW_p | Mohr-Coulomb                   | 21                               | 0                        | 34                           |

| Color | Name            | Type | Shear Force (kN) | Out-of-Plane Spacing (m) |
|-------|-----------------|------|------------------|--------------------------|
| ■     | Pilotna stijena | Pile | 125              | 0,6                      |

Slika 52.: Globalna stabilnost(drenirani uvjeti)



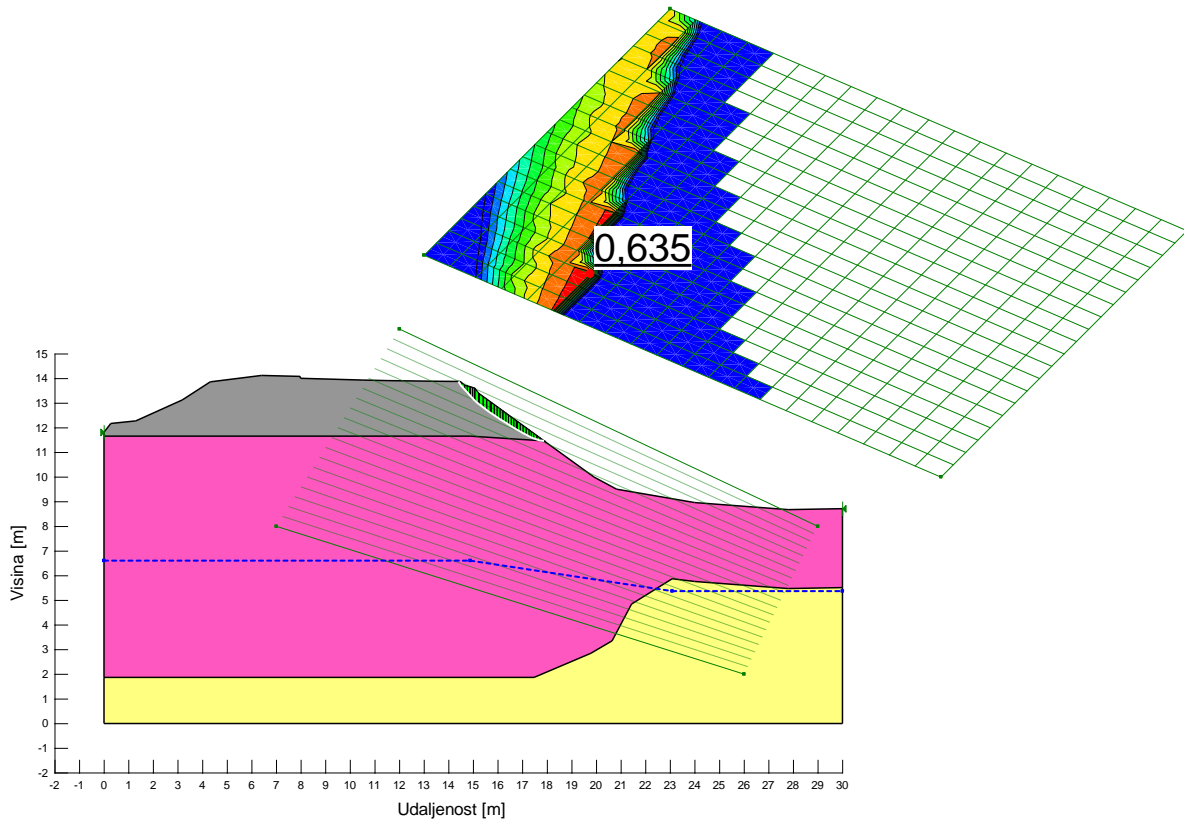
| Color | Name    | Slope Stability Material Model | Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> ) | Effective Cohesion (kPa) | Effective Friction Angle (°) |
|-------|---------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------|------------------------------|
| ■     | 01_GC_p | Mohr-Coulomb                   | 19                               | 0                        | 29,8                         |
| ■     | 02_CL_p | Mohr-Coulomb                   | 19,6                             | 4,9                      | 18,8                         |
| ■     | 03_CH_p | Mohr-Coulomb                   | 18,6                             | 4,6                      | 19,7                         |
| ■     | 04_GW_p | Mohr-Coulomb                   | 21                               | 0                        | 34                           |

| Color | Name            | Type | Shear Force (kN) | Out-of-Plane Spacing (m) |
|-------|-----------------|------|------------------|--------------------------|
| ■     | Pilotna stijena | Pile | 125              | 0,6                      |

Slika 53.: Globalna stabilnost(drenirani uvjeti)(prometno opterećenje)

## B) DINAMIČKA(POTRESNA) ANALIZA STABILNOSTI

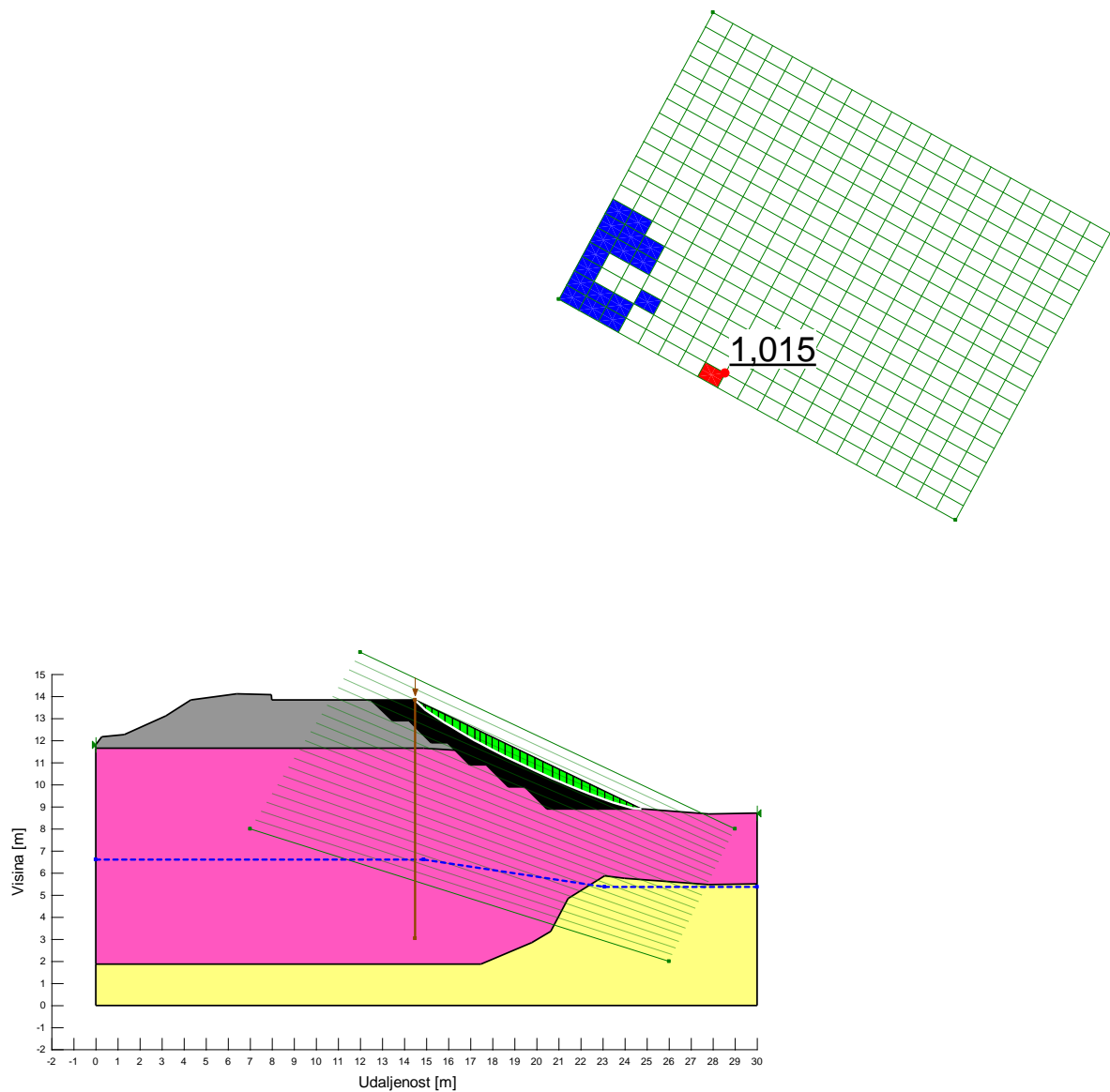
### Globalna stabilnost za početno stanje naprezanja



| Color | Name              | Slope Stability Material Model | Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> ) | Total Cohesion (kPa) | Effective Cohesion (kPa) | Effective Friction Angle (°) |
|-------|-------------------|--------------------------------|----------------------------------|----------------------|--------------------------|------------------------------|
| ■     | 01_GC_p           | Mohr-Coulomb                   | 19                               |                      | 0                        | 29,8                         |
| ■     | 02_CL_undrained_p | Undrained (Phi=0)              | 19,6                             | 74,8                 |                          |                              |
| ■     | 03_CH_undrained_p | Undrained (Phi=0)              | 18,6                             | 68,2                 |                          |                              |

Slika 54.: Globalna stabilnost(nedrenirani uvjeti)(-k<sub>v</sub>)

## Globalna stabilnost za konačno stanje izvedbe



| Color | Name              | Slope Stability Material Model | Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> ) | Total Cohesion (kPa) | Effective Cohesion (kPa) | Effective Friction Angle (°) |
|-------|-------------------|--------------------------------|----------------------------------|----------------------|--------------------------|------------------------------|
| ■     | 01_GC_p           | Mohr-Coulomb                   | 19                               |                      | 0                        | 29,8                         |
| ■     | 02_CL_undrained_p | Undrained (Phi=0)              | 19,6                             | 74,8                 |                          |                              |
| ■     | 03_CH_undrained_p | Undrained (Phi=0)              | 18,6                             | 68,2                 |                          |                              |
| ■     | 04_GW_p           | Mohr-Coulomb                   | 21                               |                      | 0                        | 34                           |

| Color | Name            | Type | Shear Force (kN) | Out-of-Plane Spacing (m) |
|-------|-----------------|------|------------------|--------------------------|
| ■     | Pilotna stijena | Pile | 125              | 0,6                      |

Slika 55.: Globalna stabilnost(nedrenirani uvjeti)(+k<sub>v</sub>)



### 3.5.2. Sumarne tablice faktora sigurnosti

Tablica 28.: Geotehnički profil 1

| Statička analiza   | Drenirano | Nedrenirano |
|--|-----------|-------------|
| Globalna stabilnost za početno stanje                    | 0,961     | /           |
| Lokalna stabilnost prilikom iskopa                       | 1,171     | /           |
| Globalna stabilnost za konačno stanje                    | 1,323     | /           |
| Dinamička analiza  | Drenirano | Nedrenirano |
| Globalna stabilnost za početno stanje (negativni $k_v$ ) | 0,796     | 0,713       |
| Globalna stabilnost za početno stanje (pozitivni $k_v$ ) | 0,924     | 0,739       |
| Globalna stabilnost za konačno stanje (negativni $k_v$ ) | 1,179     | 1,165       |
| Globalna stabilnost za konačno stanje (pozitivni $k_v$ ) | 1,188     | 1,216       |

Tablica 29.: Geotehnički profil 2

| Statička analiza   | Drenirano | Nedrenirano |
|--|-----------|-------------|
| Globalna stabilnost za početno stanje                          | 0,591     | /           |
| Lokalna stabilnost prilikom iskopa                             | 1,115     | /           |
| Globalna stabilnost za konačno stanje                          | 1,427     | /           |
| Globalna stabilnost za konačno stanje s prometnim opterećenjem | 1,427     | /           |
| Dinamička analiza  | Drenirano | Nedrenirano |
| Globalna stabilnost za početno stanje (negativni $k_v$ )       | 0,581     | 0,465       |
| Globalna stabilnost za početno stanje (pozitivni $k_v$ )       | 0,599     | 0,478       |
| Globalna stabilnost za konačno stanje (negativni $k_v$ )       | 1,270     | 1,025       |
| Globalna stabilnost za konačno stanje (pozitivni $k_v$ )       | 1,322     | 1,062       |

Tablica 30.: Geotehnički profil 3

| Statička analiza   | Drenirano | Nedrenirano |
|--|-----------|-------------|
| Globalna stabilnost za početno stanje                          | 0,848     | /           |
| Lokalna stabilnost prilikom iskopa                             | 1,029     | /           |
| Globalna stabilnost za konačno stanje                          | 1,304     | /           |
| Globalna stabilnost za konačno stanje s prometnim opterećenjem | 1,304     | /           |
| Dinamička analiza  | Drenirano | Nedrenirano |
| Globalna stabilnost za početno stanje (negativni $k_v$ )       | 0,794     | 0,635       |
| Globalna stabilnost za početno stanje (pozitivni $k_v$ )       | 0,826     | 0,658       |
| Globalna stabilnost za konačno stanje (negativni $k_v$ )       | 1,261     | 1,056       |
| Globalna stabilnost za konačno stanje (pozitivni $k_v$ )       | 1,216     | 1,015       |

Zaključak:

Svi faktori sigurnosti za konačna stanja naprezanja su zadovoljeni.

$$F_s > 1$$

Kosine su STABILNE.

### 3.5.3. Naponsko-deformacijske analize

Analizama napona i deformacija dobivaju se ključne informacije o reznim silama i momentima u naglavnoj gredi i pilotu, te njihovim pomacima. Ove informacije koriste se za proračun armature, osiguravajući da konstrukcija može izdržati očekivana opterećenja.

Sve provjere su izvršene u SIGMA modelu, koji primjenjuje metodu konačnih elemenata za rješavanje problema mehanike kontinuuma. Korišten je model tla prema Mohr-Coulomb-ovom zakonu čvrstoće. Rubni uvjeti postavljeni su na vertikalnim krajevima modela kako bi se spriječili horizontalni pomaci, dok su na donjem horizontalnom rubu spriječeni pomaci u oba smjera. Na cestu je primijenjeno vertikalno opterećenje od prometa u iznosu od 15 kPa. Mreža konačnih elemenata postavljena je s razmakom od 0.25 x 0.25 m. Za naglavnu gredu i pilotnu stijenu korišten je "Beam" element.

Potrebni ulazni parametri pilotne stijene navedeni su u tablici 31. Potrebni ulazni parametri tla su u ranije navedenim tablicama 23 i 24. Na cestu je primijenjeno vertikalno opterećenje od prometa u iznosu od 15 kPa.

Tablica 31.: Ulazni parametri elemenata (SIGMA)

| Element        | E(kPA)     | A(m <sup>2</sup> ) | I(m <sup>4</sup> ) |
|----------------|------------|--------------------|--------------------|
| Naglavna greda | 33 000 000 | 0,6                | 0,018              |
| Pilot          | 33 000 000 | 0,1257             | 0,0012567          |

Naponsko-deformacijske analize obuhvaćaju:

- početno stanje naprezanja
- stanje naprezanja prilikom iskopa
- stanje naprezanja pri ugradnji pilotne stijene i zasipa iza pilotne stijene
- stanje naprezanja sa prometnim opterećenjem
- konačno stanje izvedbe
- konačno stanje izvedbe sa potresnim opterećenjem

Spomenute analize se provode za dva slučaja. Jedan gdje su korišteni karakteristični parametri tla, te drugi gdje su korišteni proračunski parametri tla.

Analize se provode za geotehničke profile 2 i 3 gdje se nalazi pilotna stijena.

Kod analize koje uzimaju u obzir potresno opterećenje, ono je uneseno kao dodatni pritisak na pilote, primjenom kvazistatičke analize seizmičkog opterećenja.

Dinamički pritisak dobiven je iz izraza[8]:

$$\rho_{din} = (K_{AE} - K_A) \cdot \gamma \cdot H$$

gdje je:

$K_{AE}$  – koeficijent dinamičkog tlaka

$K_A$  – koeficijent aktivnog tlaka

$\gamma$  – zapreminska težina tla

$H$  – visina sloja na kojem djeluje tlak

Koeficijent dinamičkog tlaka[8]:

ako je  $\beta \leq \varphi - \theta$  onda je

$$K_{AE} = \frac{\sin^2(\alpha + \varphi - \theta)}{\cos \theta \sin^2 \alpha \sin(\alpha - \delta_\alpha - \theta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta_\alpha) \sin(\varphi - \beta - \theta)}{\sin(\alpha - \delta_\alpha - \theta) \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2}$$

ako je  $\beta > \varphi - \theta$  onda je

$$K_{AE} = \frac{\sin^2(\alpha + \varphi - \theta)}{\cos \theta \sin^2 \alpha \sin(\alpha - \delta_\alpha - \theta)}$$

gdje je:

$$\alpha = 90^\circ$$

$$\beta = 0^\circ$$

$$\tan \theta = \frac{k_h}{1 - k_v} = \frac{0,138}{1 - 0,069} = 0,1482 \rightarrow \theta = 8,43^\circ$$

Koeficijent dinamičkog tlaka[8]:

$$K_A = \frac{\sin^2(\alpha + \varphi)}{\sin^2 \alpha \sin(\alpha - \delta_\alpha) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta_\alpha) \sin(\varphi - \beta)}{\sin(\alpha - \delta_\alpha) \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2}$$

**Geotehnički profil 2:**

Tablica 32.: Sumarna tablica karakterističnih seizmičkih tlakova

| Tlo | $\gamma_k$           | H    | $\varphi_k$ | $\delta_\alpha = 2/3\varphi_k$ | $K_{AE}$ | $K_A$   | $\rho_{din}$         |
|-----|----------------------|------|-------------|--------------------------------|----------|---------|----------------------|
|     | [kN/m <sup>3</sup> ] | [m]  | [°]         | [°]                            | [/]      | [/]     | [kN/m <sup>2</sup> ] |
| GW  | 21                   | 0,98 | 40          | 36,7                           | 0,28742  | 0,20229 | 1,75                 |
| GC  | 19                   | 1,09 | 35,6        | 23,7                           | 0,33443  | 0,23237 | 2,11                 |
| CL  | 19,6                 | 1,24 | 23,1        | 15,4                           | 0,51645  | 0,33178 | 4,49                 |

Tablica 33.: Sumarna tablica proračunskih seizmičkih tlakova

| Tlo | $\gamma_p$           | H    | $\varphi_p$ | $\delta_\alpha = 2/3\varphi_p$ | $K_{AE}$ | $K_A$   | $\rho_{din}$         |
|-----|----------------------|------|-------------|--------------------------------|----------|---------|----------------------|
|     | [kN/m <sup>3</sup> ] | [m]  | [°]         | [°]                            | [/]      | [/]     | [kN/m <sup>2</sup> ] |
| GW  | 21                   | 0,98 | 34          | 22,7                           | 0,35331  | 0,24383 | 2,25                 |
| GC  | 19                   | 1,09 | 29,8        | 19,9                           | 0,40826  | 0,27544 | 2,75                 |
| CL  | 19,6                 | 1,24 | 18,8        | 12,5                           | 0,60429  | 0,37354 | 5,61                 |

**Geotehnički profil 3:**

Tablica 34.: Sumarna tablica karakterističnih seizmičkih tlakova

| Tlo | $\gamma_k$           | H    | $\varphi_k$ | $\delta_\alpha = 2/3\varphi_k$ | $K_{AE}$ | $K_A$   | $\rho_{din}$         |
|-----|----------------------|------|-------------|--------------------------------|----------|---------|----------------------|
|     | [kN/m <sup>3</sup> ] | [m]  | [°]         | [°]                            | [/]      | [/]     | [kN/m <sup>2</sup> ] |
| GW  | 21                   | 0,96 | 40          | 26,7                           | 0,28742  | 0,20229 | 1,72                 |
| GC  | 19                   | 1,24 | 35,6        | 23,73                          | 0,33443  | 0,23237 | 2,40                 |
| CL  | 19,6                 | 8,6  | 23,1        | 15,4                           | 0,51645  | 0,33178 | 31,13                |

Tablica 35.: Sumarna tablica proračunskih seizmičkih tlakova

| Tlo | $\gamma_p$           | H    | $\varphi_p$ | $\delta_\alpha = 2/3\varphi_p$ | $K_{AE}$ | $K_A$   | $\rho_{din}$         |
|-----|----------------------|------|-------------|--------------------------------|----------|---------|----------------------|
|     | [kN/m <sup>3</sup> ] | [m]  | [°]         | [°]                            | [/]      | [/]     | [kN/m <sup>2</sup> ] |
| GW  | 21                   | 0,96 | 34          | 22,7                           | 0,35331  | 0,24383 | 2,21                 |
| GC  | 19                   | 1,24 | 29,8        | 19,9                           | 0,40826  | 0,27544 | 3,13                 |
| CL  | 19,6                 | 8,6  | 18,8        | 12,5                           | 0,60429  | 0,37354 | 38,89                |

Naponsko-deformacijske analize su u daljnjem tekstu navedene kao faze, od 1 do 6, kako su unesene za modeliranje:

Faza 1: početno stanje naprezanja

Faza 2: stanje naprezanja prilikom iskopa

Faza 3: stanje naprezanja pri ugradnji pilotne stijene i zasipa iza pilotne stijene

Faza 4: stanje naprezanja sa prometnim opterećenjem

Faza 5: konačno stanje izvedbe

Faza 6: konačno stanje izvedbe sa potresnim opterećenjem

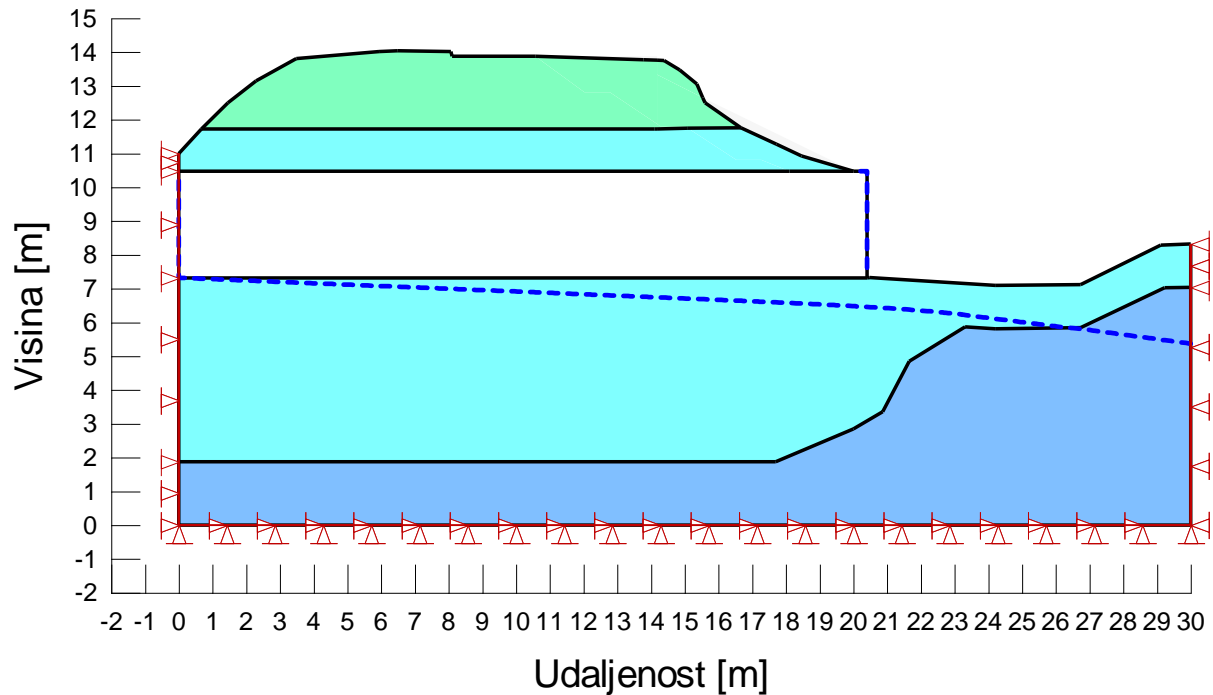
Potrebni rezultati analiza se promatraju u fazama 3, 4, 5, i 6 u odgovarajućim dijagramima.

Rezultati analiza su pomaci i rezne sile. Rezultati pomaka dobiveni su isključivo u slučaju proračuna s karakterističnim parametrima. Rezultati reznih sila dobiveni su u slučaju proračuna s karakterističnim parametrima, te u slučaju proračuna s proračunskim parametrima.

Usporedba reznih sila se provodi između reznih sila dobivenih karakterističnim parametrima pomnoženih s koeficijentom sigurnosti 1,35 i reznih sila dobivenih proračunskim parametrima pomnoženih s koeficijentom sigurnosti 1,00.

Iz usporedbe reznih sila se dobivaju kritične sile pilotne stijene za određivanje potrebne armature.

## 3.5.3.1. Geotehnički profil 2

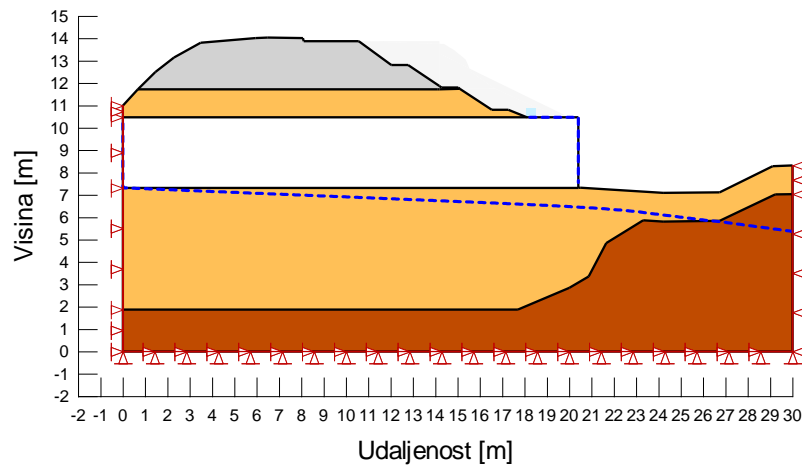


| Color | Name       | Stress Material Model | Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> ) | Effective Elastic Modulus (kPa) | Effective Poisson's Ratio | Sat Kx (m/sec) | Compressibility (kPa) |
|-------|------------|-----------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------|----------------|-----------------------|
| ■     | 01_GC (IE) | Isotropic Elastic     | 19                               | 18.800                          | 0,3                       | 5e-06          | 20.246,15             |
| ■     | 02_CL (IE) | Isotropic Elastic     | 19,6                             | 12.100                          | 0,35                      | 1e-08          | 15.535,8              |
| ■     | 03_CH (IE) | Isotropic Elastic     | 18,6                             | 3.500                           | 0,3                       | 1e-09          | 3.500                 |
| □     | Propust    | Isotropic Elastic     | 25                               | 30.000.000                      | 0,3                       |                |                       |

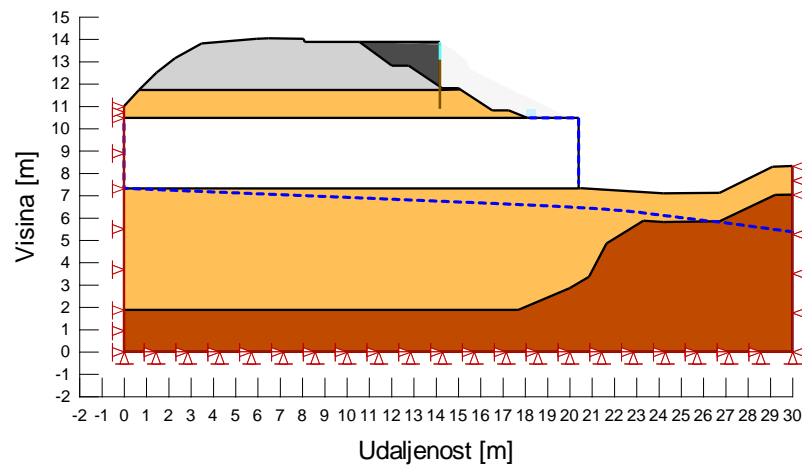
| Color | Name      | Category      | Kind               | Parameters                                 |
|-------|-----------|---------------|--------------------|--|
| ■     | Fixed X   | Stress/Strain | Force/Displacement | X-Displacement: 0 m                        |
| ■     | Fixed X/Y | Stress/Strain | Force/Displacement | X-Displacement: 0 m<br>Y-Displacement: 0 m |

Slika 56.: Faza 1-početno stanje napreznaja

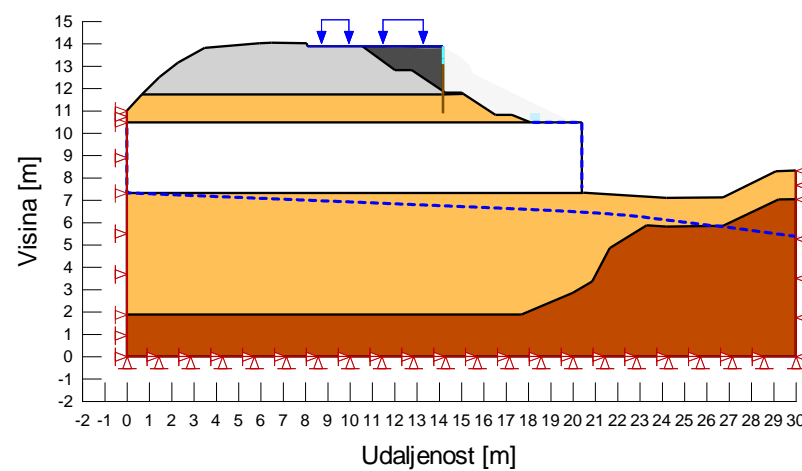
## A) KARAKTERISTIČNI PARAMETRI



Slika 57.: Faza 2-stanje napreznja prilikom iskopaja

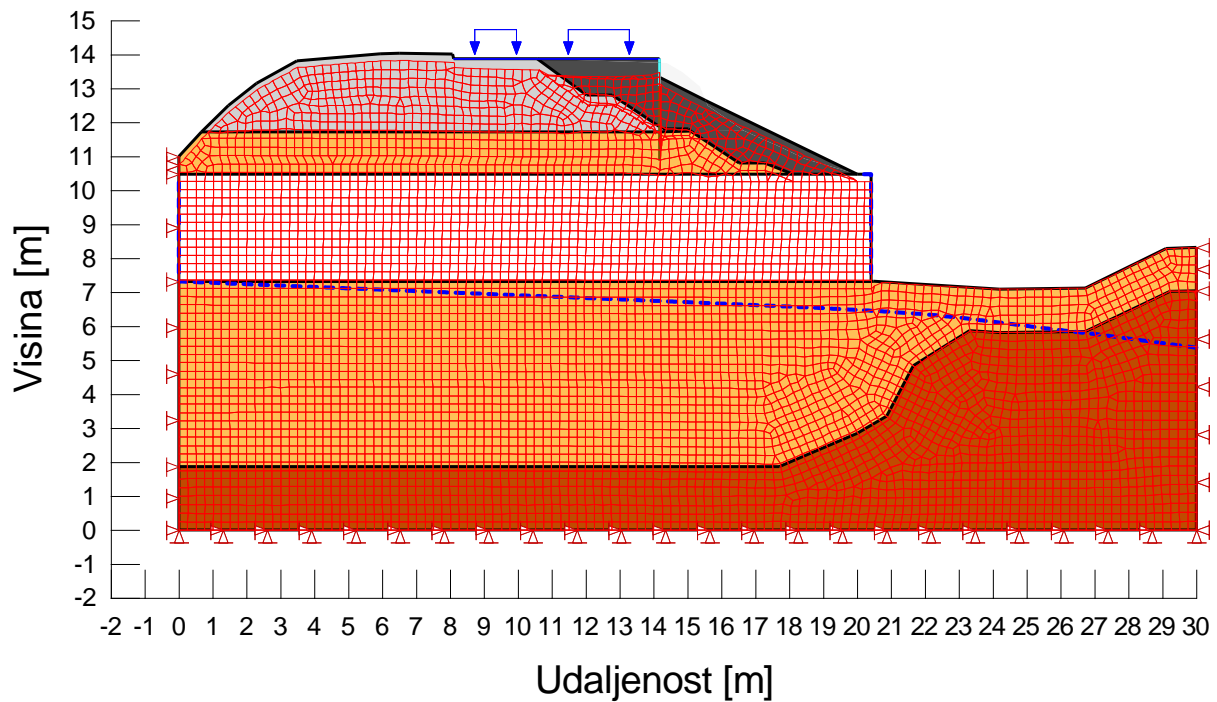


Slika 58.: Faza 3-stanje napreznja pri ugradnji pilotne stijene i zasipa iza pilotne stijene



Slika 59.: Faza 4-stanje napreznja sa prometnim opterećenjem

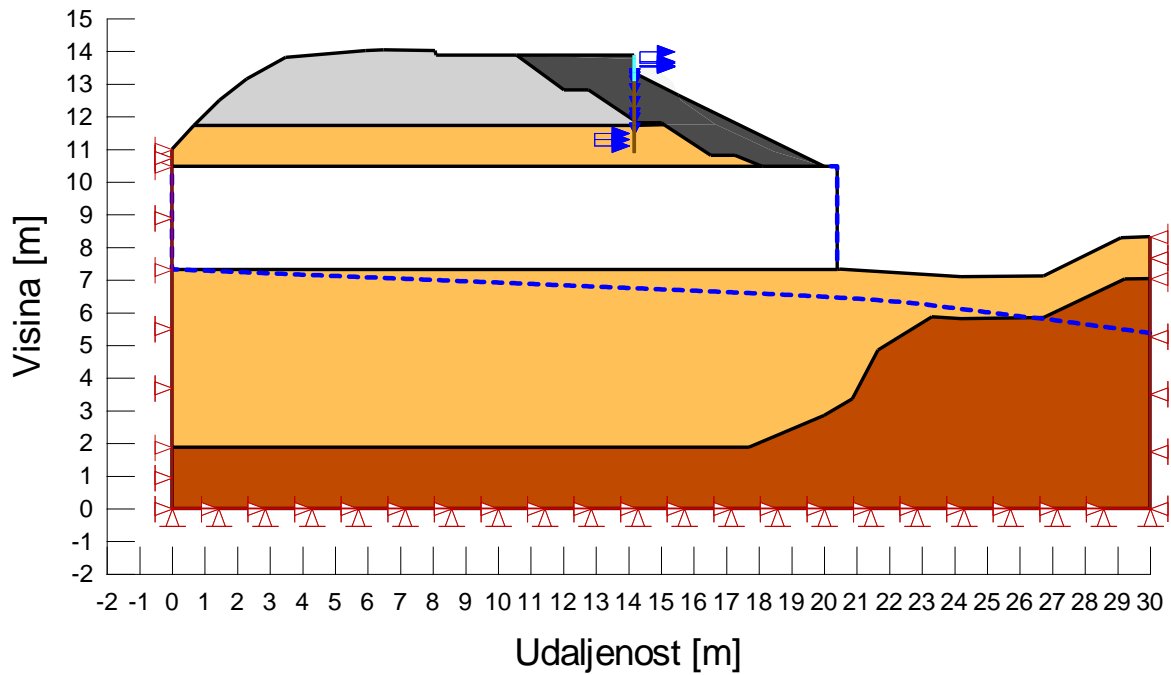




| Color | Name    | Stress Material Model | Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> ) | Effective Elastic Modulus (kPa) | Effective Poisson's Ratio | Effective Cohesion (kPa) | Effective Friction Angle (°) | Sat Kx (m/sec) | Compressibility (kPa) |
|-------|---------|-----------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------------|----------------|-----------------------|
| ■     | 01_GC_k | Mohr-Coulomb          | 19                               | 18.800                          | 0,3                       | 0                        | 35,6                         | 5e-06          | 20.246,15             |
| ■     | 02_CL_k | Mohr-Coulomb          | 19,6                             | 12.100                          | 0,35                      | 6,1                      | 23,1                         | 1e-08          | 15.535,8              |
| ■     | 03_CH_k | Mohr-Coulomb          | 18,6                             | 3.500                           | 0,3                       | 5,8                      | 24,1                         | 1e-09          | 3.500                 |
| ■     | 04_GW_k | Mohr-Coulomb          | 21                               | 26.000                          | 0,3                       | 0                        | 40                           | 0,001          | 35.000                |
| □     | Propust | Isotropic Elastic     | 25                               | 30.000.000                      | 0,3                       |                          |                              |                |                       |

| Color | Name                 | Category      | Kind               | Parameters                                 |
|-------|----------------------|---------------|--------------------|--|
| ■     | Fixed X              | Stress/Strain | Force/Displacement | X-Displacement: 0 m                        |
| ■     | Fixed X/Y            | Stress/Strain | Force/Displacement | X-Displacement: 0 m<br>Y-Displacement: 0 m |
| ■     | Prometno opterećenje | Stress/Strain | Normal/Tan. Stress | Normal: 15 kPa<br>Tangential: 0 kPa        |

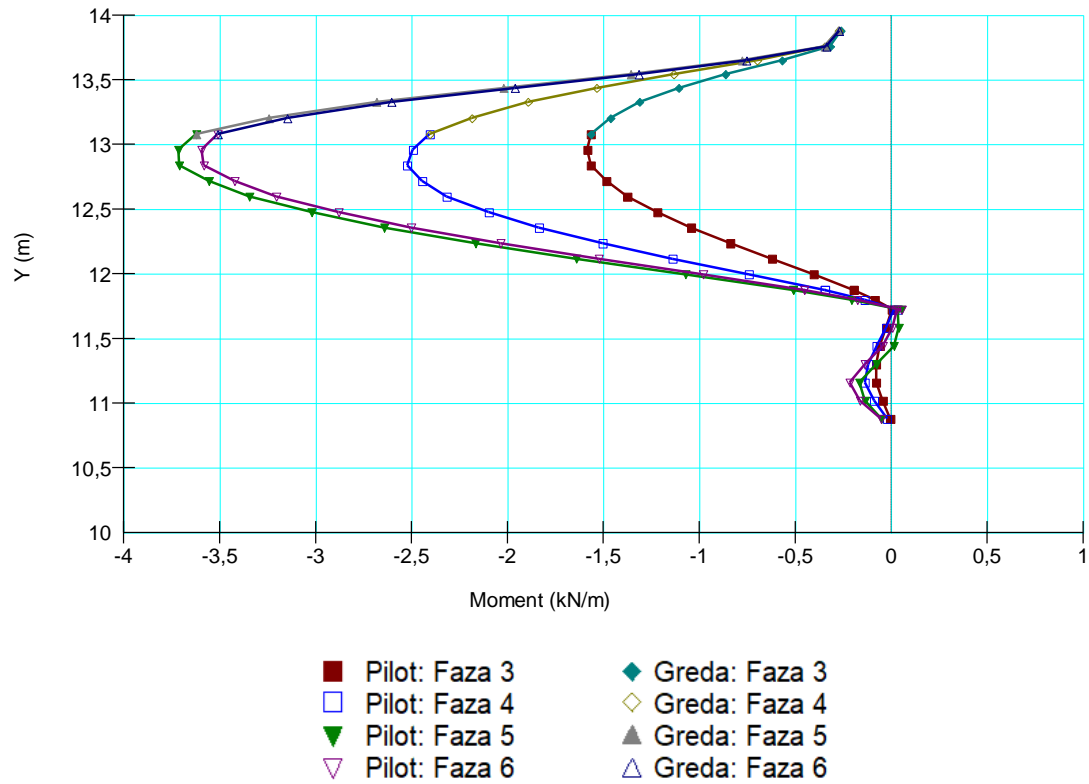
Slika 60.: Faza 5-konačno stanje izvedbe



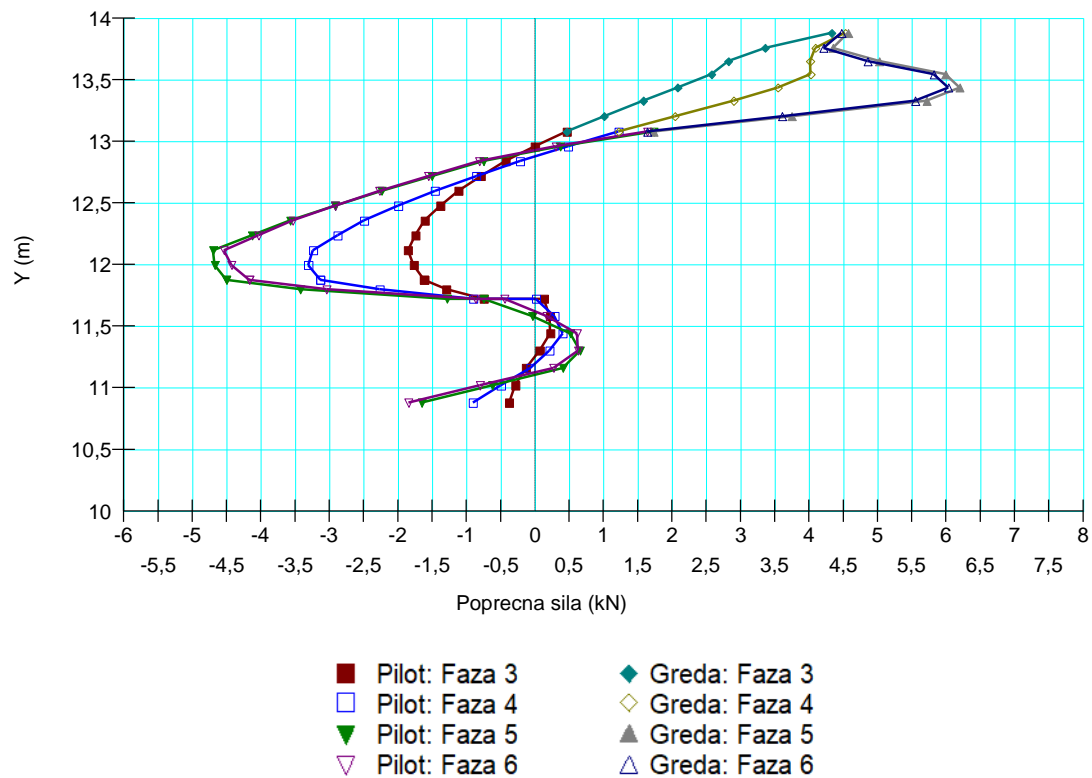
| Color | Name    | Stress Material Model | Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> ) | Effective Elastic Modulus (kPa) | Effective Poisson's Ratio | Effective Cohesion (kPa) | Effective Friction Angle (°) | Sat Kx (m/sec) | Compressibility (/kPa) |
|-------|---------|-----------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------------|----------------|------------------------|
| ■     | 01_GC_k | Mohr-Coulomb          | 19                               | 18.800                          | 0,3                       | 0                        | 35,6                         | 5e-06          | 20.246,15              |
| ■     | 02_CL_k | Mohr-Coulomb          | 19,6                             | 12.100                          | 0,35                      | 6,1                      | 23,1                         | 1e-08          | 15.535,8               |
| ■     | 03_CH_k | Mohr-Coulomb          | 18,6                             | 3.500                           | 0,3                       | 5,8                      | 24,1                         | 1e-09          | 3.500                  |
| ■     | 04_GW_k | Mohr-Coulomb          | 21                               | 26.000                          | 0,3                       | 0                        | 40                           | 0,001          | 35.000                 |
| □     | Propust | Isotropic Elastic     | 25                               | 30.000.000                      | 0,3                       |                          |                              |                |                        |

| Color | Name            | Category      | Kind               | Parameters                                 |
|-------|-----------------|---------------|--------------------|--|
| ■     | a) GW_kp_Potres | Stress/Strain | Cartesian Stress   | X-Stress: 1,75 kPa<br>Y-Stress: 0 kPa      |
| ■     | b) GC_kp_Potres | Stress/Strain | Cartesian Stress   | X-Stress: 2,11 kPa<br>Y-Stress: 0 kPa      |
| ■     | c) CL_kp_Potres | Stress/Strain | Cartesian Stress   | X-Stress: 4,49 kPa<br>Y-Stress: 0 kPa      |
| ■     | Fixed X         | Stress/Strain | Force/Displacement | X-Displacement: 0 m                        |
| ■     | Fixed X/Y       | Stress/Strain | Force/Displacement | X-Displacement: 0 m<br>Y-Displacement: 0 m |

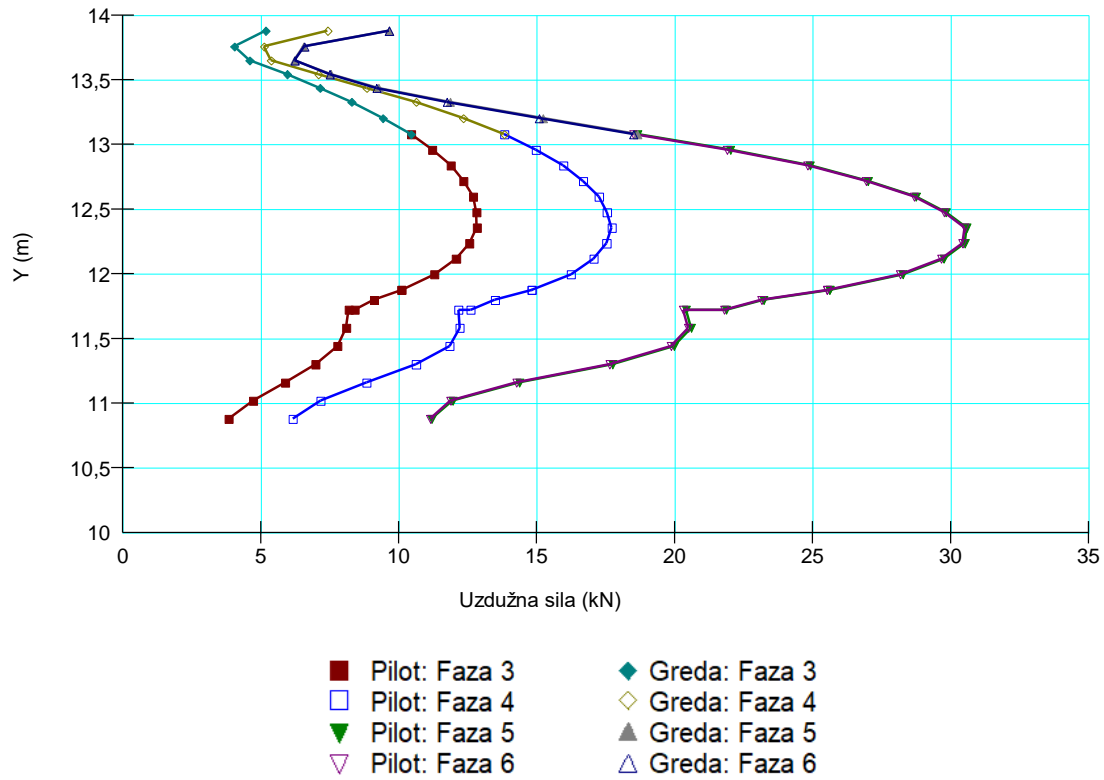
Slika 61.: Faza 6-stanje naprezanja sa potresnim opterećenjem



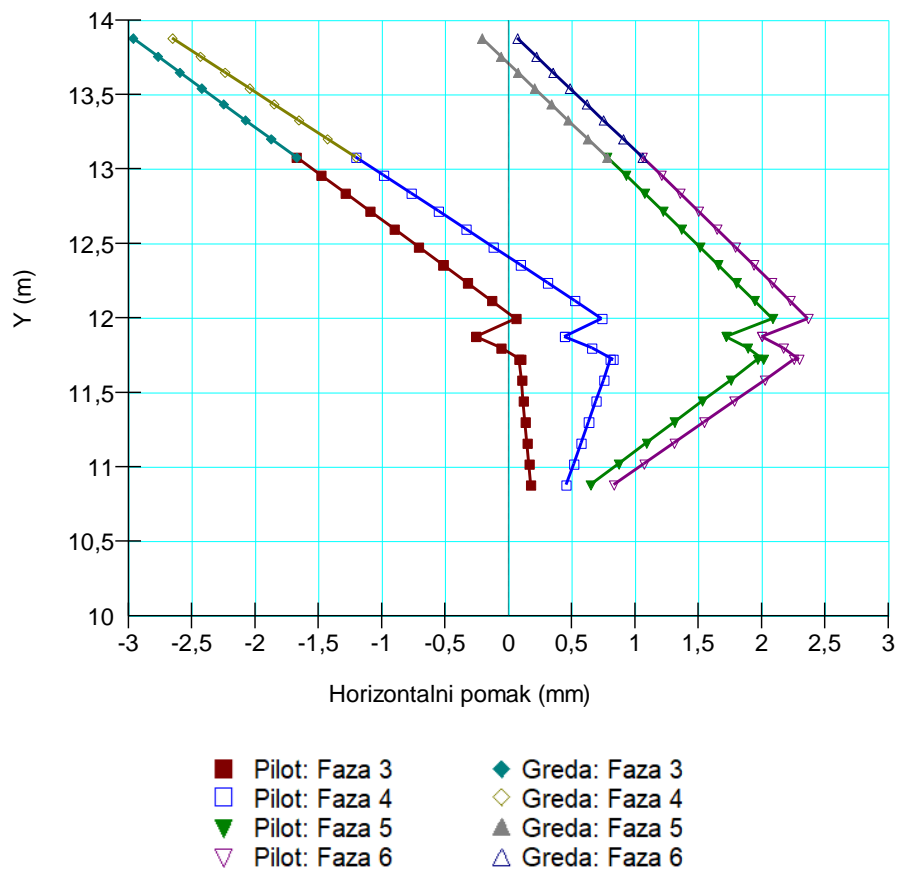
Slika 62.: Graf momenata pilotne stijene



Slika 63.: Graf poprečnih pilotne stijene

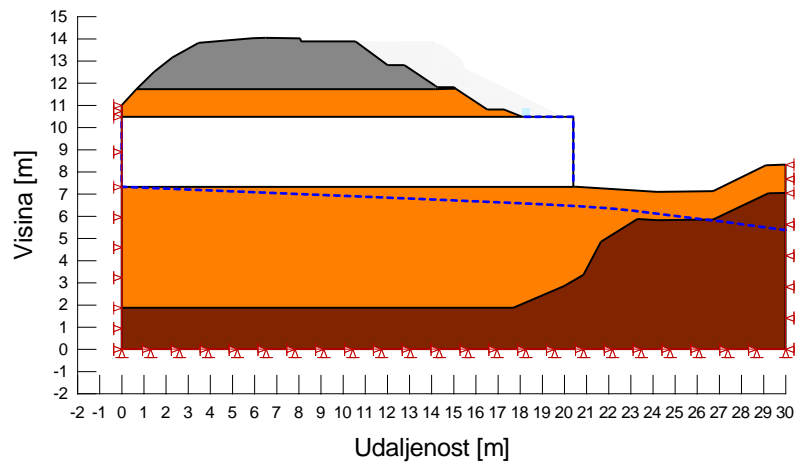


Slika 64.: Graf uzdužnih pilotne stijene

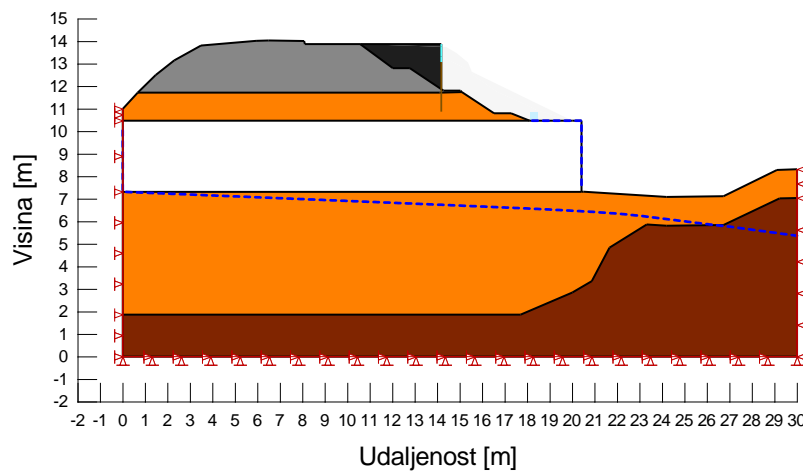


Slika 65.: Graf horizontalnih pomaka pilotne stijene

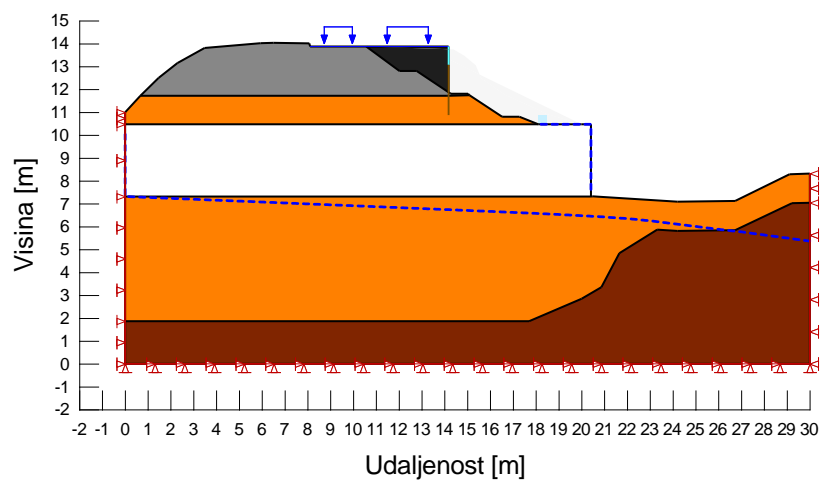
## B) PRORAČUNSKI PARAMETRI



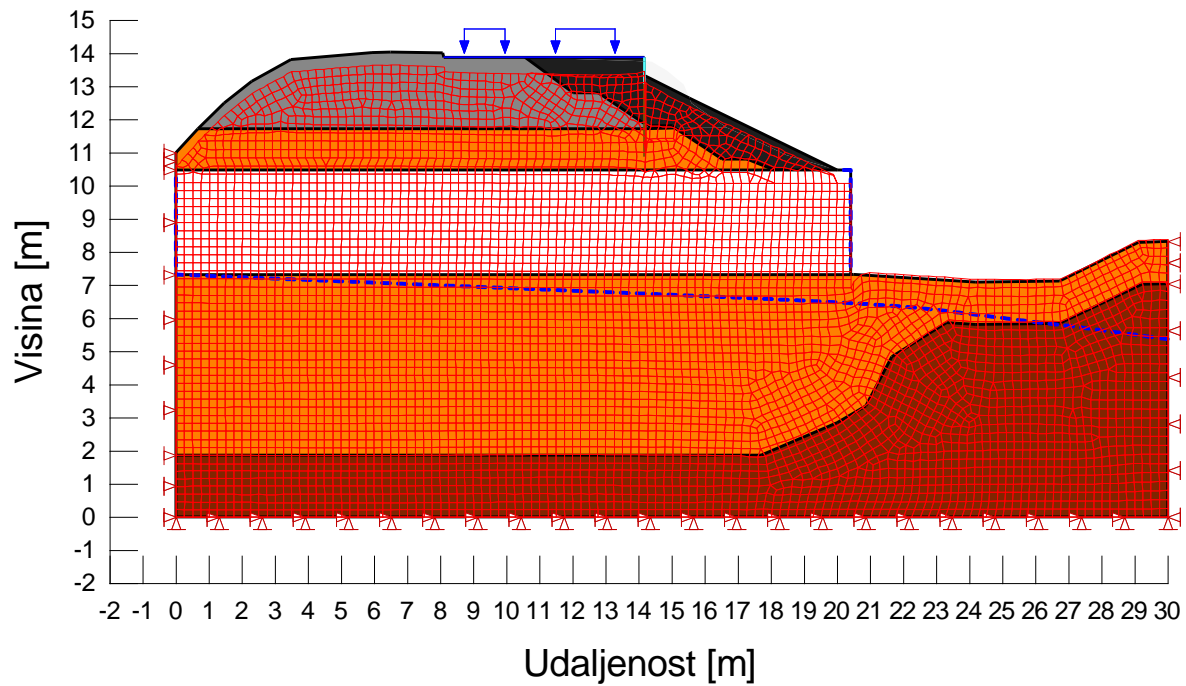
Slika 66.: Faza 2-stanje napreznja prilikom iskopa



Slika 67.: Faza 3-stanje napreznja pri ugradnji pilotne stijene i zasipa iza pilotne stijene



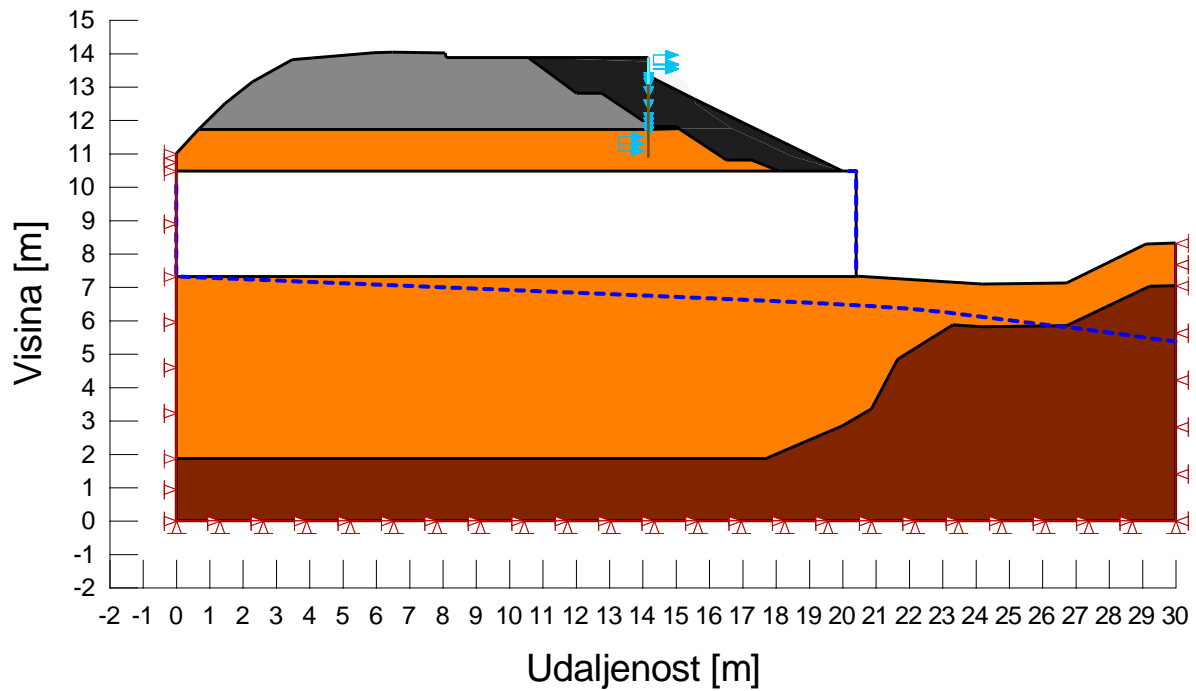
Slika 68.: Faza 4-stanje napreznja sa prometnim opterećenjem



| Color | Name    | Stress Material Model | Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> ) | Effective Elastic Modulus (kPa) | Effective Poisson's Ratio | Effective Cohesion (kPa) | Effective Friction Angle (°) | Sat Kx (m/sec) | Compressibility (/kPa) |
|-------|---------|-----------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------------|----------------|------------------------|
| ■     | 01_GC_p | Mohr-Coulomb          | 19                               | 18.800                          | 0,3                       | 0                        | 29,8                         | 5e-06          | 20.246,15              |
| ■     | 02_CL_p | Mohr-Coulomb          | 19,6                             | 12.100                          | 0,35                      | 4,9                      | 18,8                         | 1e-08          | 15.535,8               |
| ■     | 03_CH_p | Mohr-Coulomb          | 18,6                             | 3.500                           | 0,3                       | 4,6                      | 19,7                         | 1e-09          | 3.500                  |
| ■     | 04_GW_p | Mohr-Coulomb          | 21                               | 26.000                          | 0,3                       | 0                        | 34                           | 0,001          | 35.000                 |
| □     | Propust | Isotropic Elastic     | 25                               | 30.000.000                      | 0,3                       |                          |                              |                |                        |

| Color | Name                 | Category      | Kind               | Parameters                                 |
|-------|----------------------|---------------|--------------------|--|
| ■     | Fixed X              | Stress/Strain | Force/Displacement | X-Displacement: 0 m                        |
| ■     | Fixed X/Y            | Stress/Strain | Force/Displacement | X-Displacement: 0 m<br>Y-Displacement: 0 m |
| ■     | Prometno opterećenje | Stress/Strain | Normal/Tan. Stress | Normal: 15 kPa<br>Tangential: 0 kPa        |

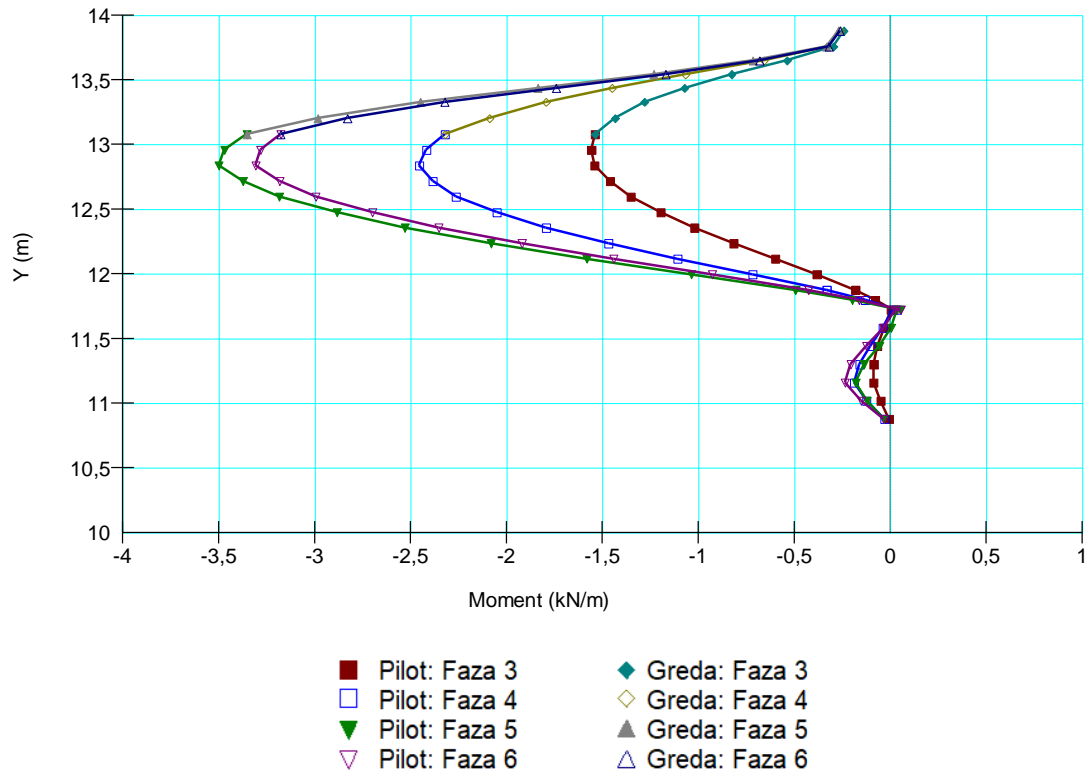
Slika 69.: Faza 5-konačno stanje izvedbe



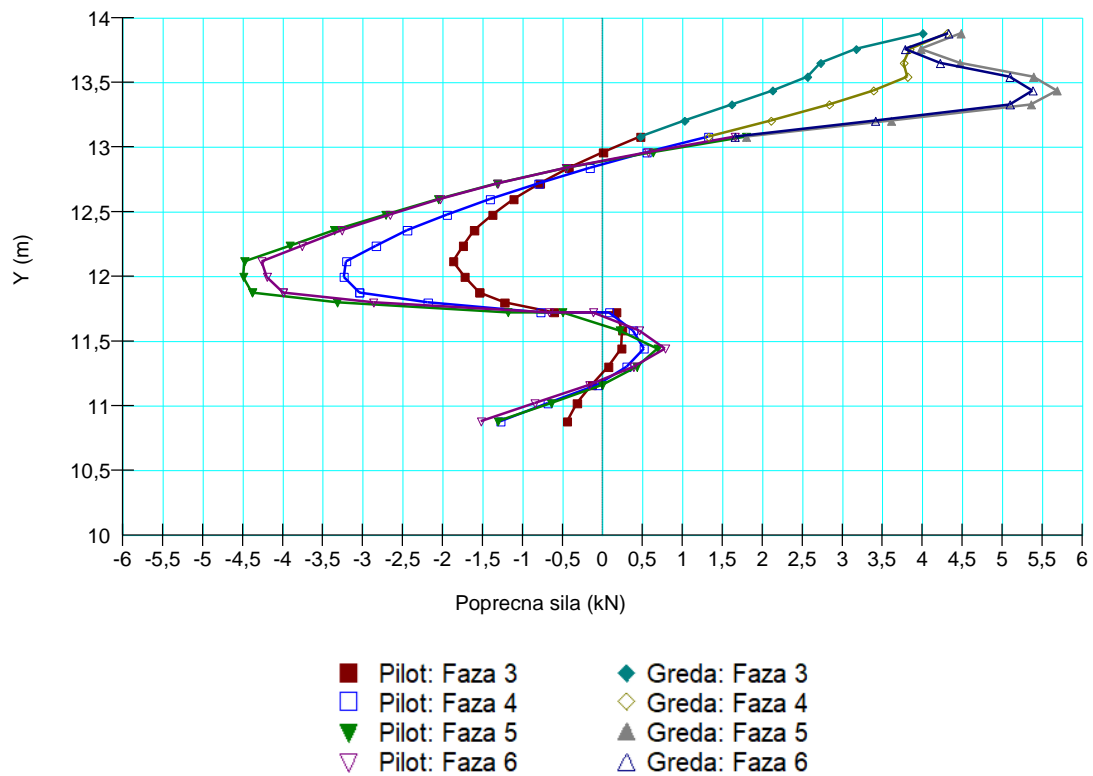
| Color | Name    | Stress Material Model | Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> ) | Effective Elastic Modulus (kPa) | Effective Poisson's Ratio | Effective Cohesion (kPa) | Effective Friction Angle (°) | Sat Kx (m/sec) | Compressibility (/kPa) |
|-------|---------|-----------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------------|----------------|------------------------|
| ■     | 01_GC_p | Mohr-Coulomb          | 19                               | 18.800                          | 0,3                       | 0                        | 29,8                         | 5e-06          | 20.246,15              |
| ■     | 02_CL_p | Mohr-Coulomb          | 19,6                             | 12.100                          | 0,35                      | 4,9                      | 18,8                         | 1e-08          | 15.535,8               |
| ■     | 03_CH_p | Mohr-Coulomb          | 18,6                             | 3.500                           | 0,3                       | 4,6                      | 19,7                         | 1e-09          | 3.500                  |
| ■     | 04_GW_p | Mohr-Coulomb          | 21                               | 26.000                          | 0,3                       | 0                        | 34                           | 0,001          | 35.000                 |
| □     | Propust | Isotropic Elastic     | 25                               | 30.000.000                      | 0,3                       |                          |                              |                |                        |

| Color | Name            | Category      | Kind               | Parameters                                 |
|-------|-----------------|---------------|--------------------|--|
| ■     | a) GW_pp_Potres | Stress/Strain | Cartesian Stress   | X-Stress: 2,25 kPa<br>Y-Stress: 0 kPa      |
| ■     | b) GC_pp_Potres | Stress/Strain | Cartesian Stress   | X-Stress: 2,75 kPa<br>Y-Stress: 0 kPa      |
| ■     | c) CL_pp_Potres | Stress/Strain | Cartesian Stress   | X-Stress: 5,61 kPa<br>Y-Stress: 0 kPa      |
| ■     | Fixed X         | Stress/Strain | Force/Displacement | X-Displacement: 0 m                        |
| ■     | Fixed X/Y       | Stress/Strain | Force/Displacement | X-Displacement: 0 m<br>Y-Displacement: 0 m |

Slika 70.: Faza 6-stanje naprezanja sa potresnim opterećenjem

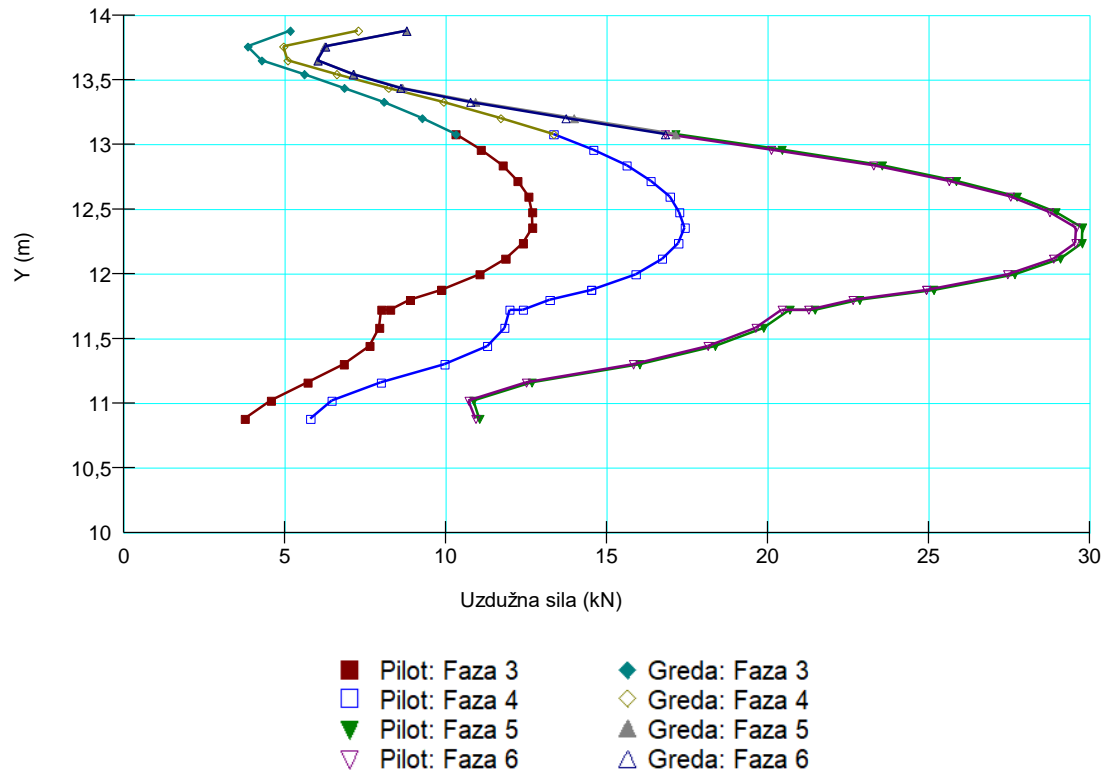


Slika 71.: Graf momenta pilotne stijene



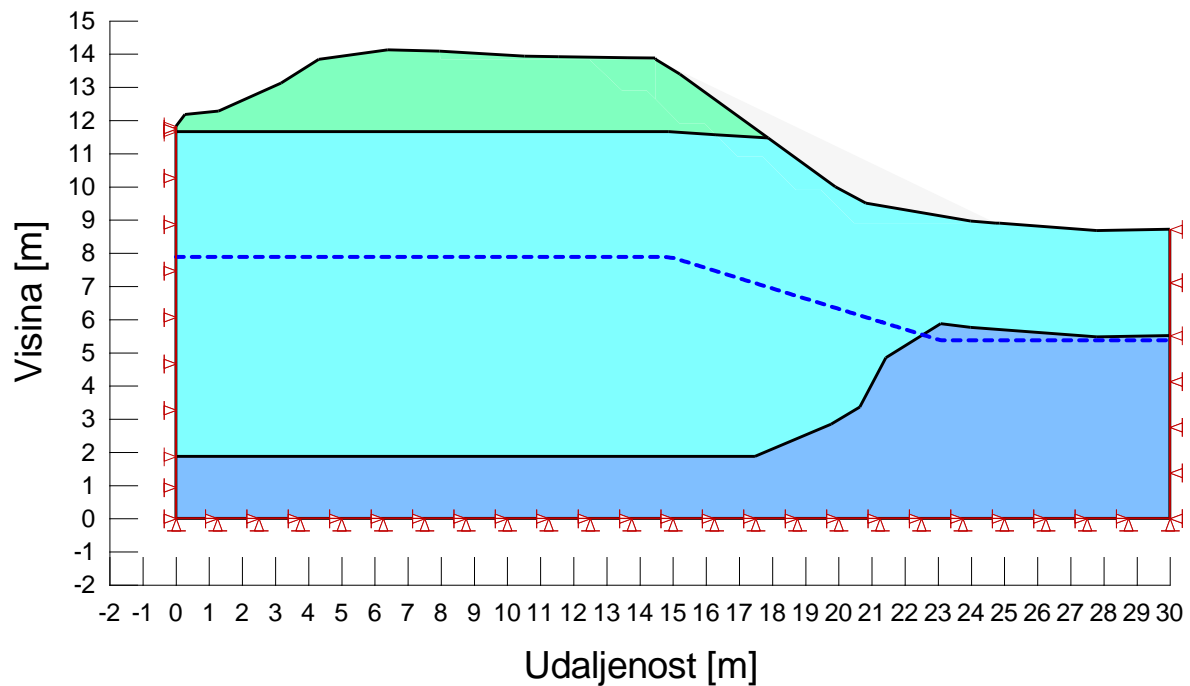
Slika 72.: Graf poprečnih sila pilotne stijene





Slika 73.: Graf uzdužnih sila pilotne stijene

## 3.5.3.2. Geotehnički profil 3

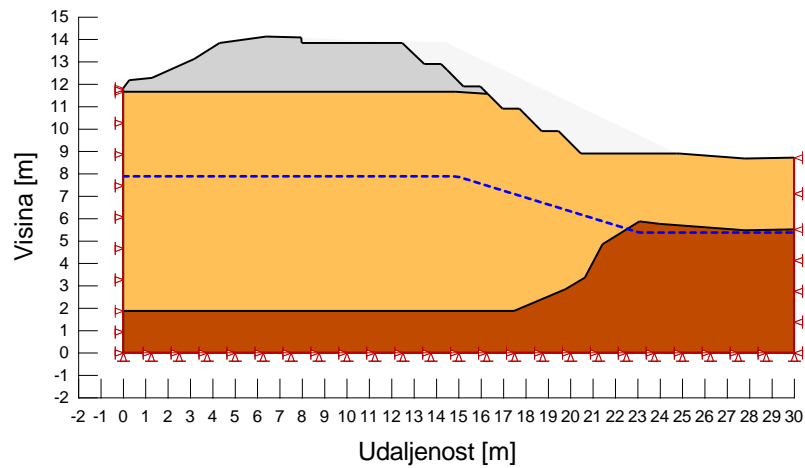


| Color | Name       | Stress Material Model | Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> ) | Effective Elastic Modulus (kPa) | Effective Poisson's Ratio | Sat Kx (m/sec) | Compressibility (/kPa) |
|-------|------------|-----------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------|----------------|------------------------|
| ■     | 01_GC (IE) | Isotropic Elastic     | 19                               | 18.800                          | 0,3                       | 5e-06          | 20.246,15              |
| ■     | 02_CL (IE) | Isotropic Elastic     | 19,6                             | 12.100                          | 0,35                      | 1e-08          | 15.535,8               |
| ■     | 03_CH_IE   | Isotropic Elastic     | 18,6                             | 3.250                           | 0,3                       | 1e-09          | 3.500                  |

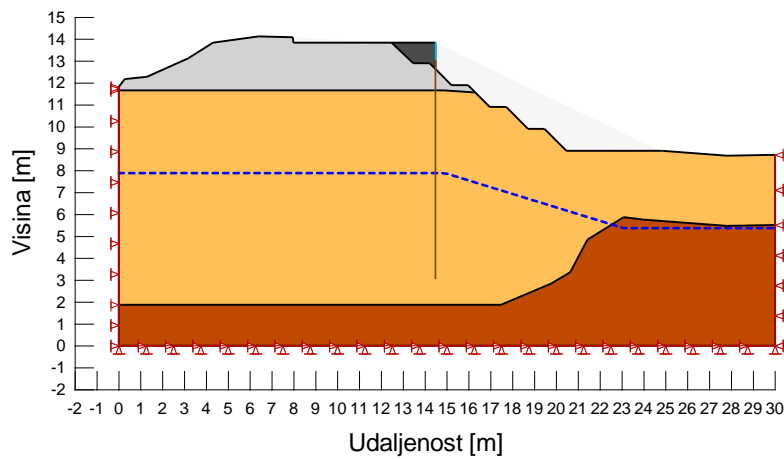
| Color | Name      | Category      | Kind               | Parameters                                 |
|-------|-----------|---------------|--------------------|--|
| ■     | Fixed X   | Stress/Strain | Force/Displacement | X-Displacement: 0 m                        |
| ■     | Fixed X/Y | Stress/Strain | Force/Displacement | X-Displacement: 0 m<br>Y-Displacement: 0 m |

Slika 74.: Faza 1-početno stanje naprezanja

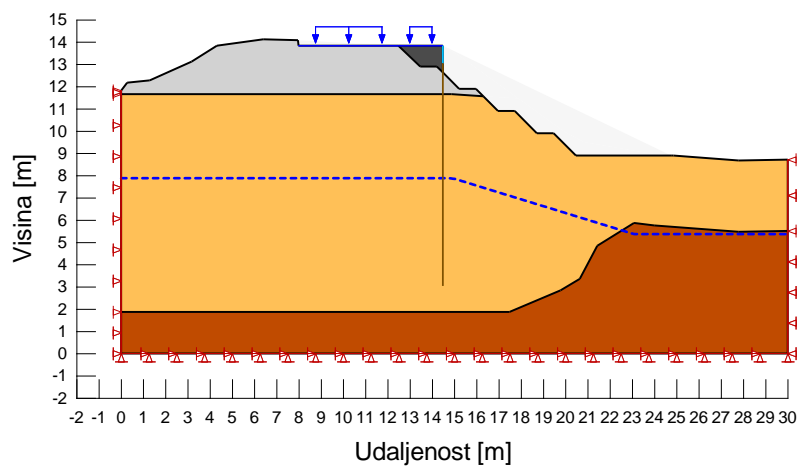
## A) KARAKTERISTIČNI PARAMETRI



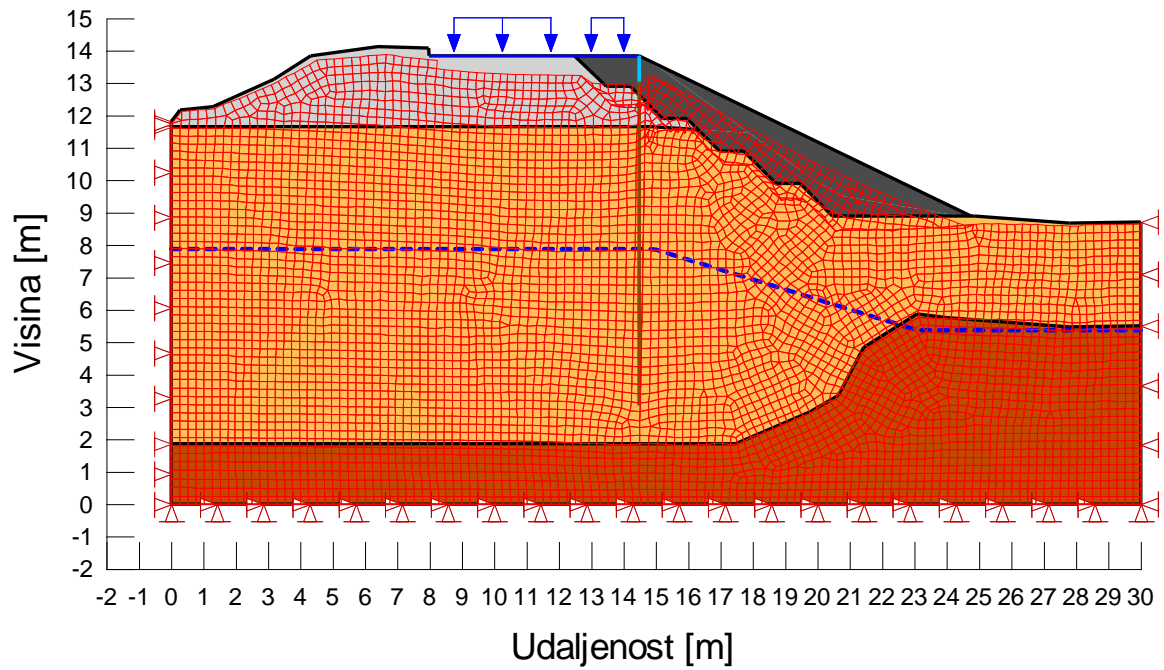
Slika 75.: Faza 2-stanje naprezanja prilikom iskopa



Slika 76.: Faza 3-stanje naprezanja pri ugradnji pilotne stijene i zasipa iza pilotne stijene



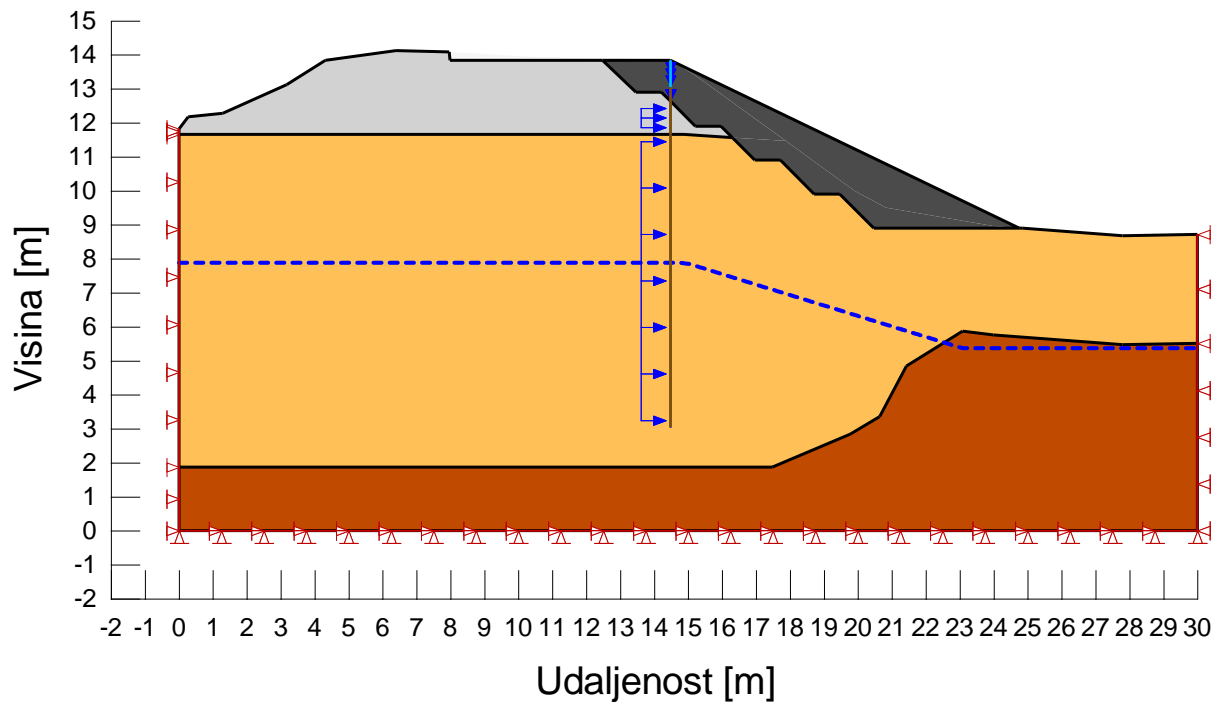
Slika 77.: Faza 4-stanje naprezanja sa prometnim opterećenjem



| Color | Name    | Stress Material Model | Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> ) | Effective Elastic Modulus (kPa) | Effective Poisson's Ratio | Effective Cohesion (kPa) | Effective Friction Angle (°) | Sat Kx (m/sec) | Compressibility (/kPa) |
|-------|---------|-----------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------------|----------------|------------------------|
| □     | 01_GC_k | Mohr-Coulomb          | 19                               | 18.800                          | 0,3                       | 0                        | 35,6                         | 5e-06          | 20.246,15              |
| □     | 02_CL_k | Mohr-Coulomb          | 19,6                             | 12.100                          | 0,35                      | 6,1                      | 23,1                         | 1e-08          | 15.535,8               |
| □     | 03_CH_k | Mohr-Coulomb          | 18,6                             | 3.250                           | 0,3                       | 5,8                      | 24,1                         | 1e-09          | 3.500                  |
| □     | 04_GW_k | Mohr-Coulomb          | 21                               | 26.000                          | 0,3                       | 0                        | 40                           | 0,001          | 35.000                 |

| Color | Name                 | Category      | Kind               | Parameters                                 |
|-------|----------------------|---------------|--------------------|--|
| ■     | Fixed X              | Stress/Strain | Force/Displacement | X-Displacement: 0 m                        |
| ■     | Fixed X/Y            | Stress/Strain | Force/Displacement | X-Displacement: 0 m<br>Y-Displacement: 0 m |
| ■     | Prometno opterećenje | Stress/Strain | Normal/Tan. Stress | Normal: 15 kPa<br>Tangential: 0 kPa        |

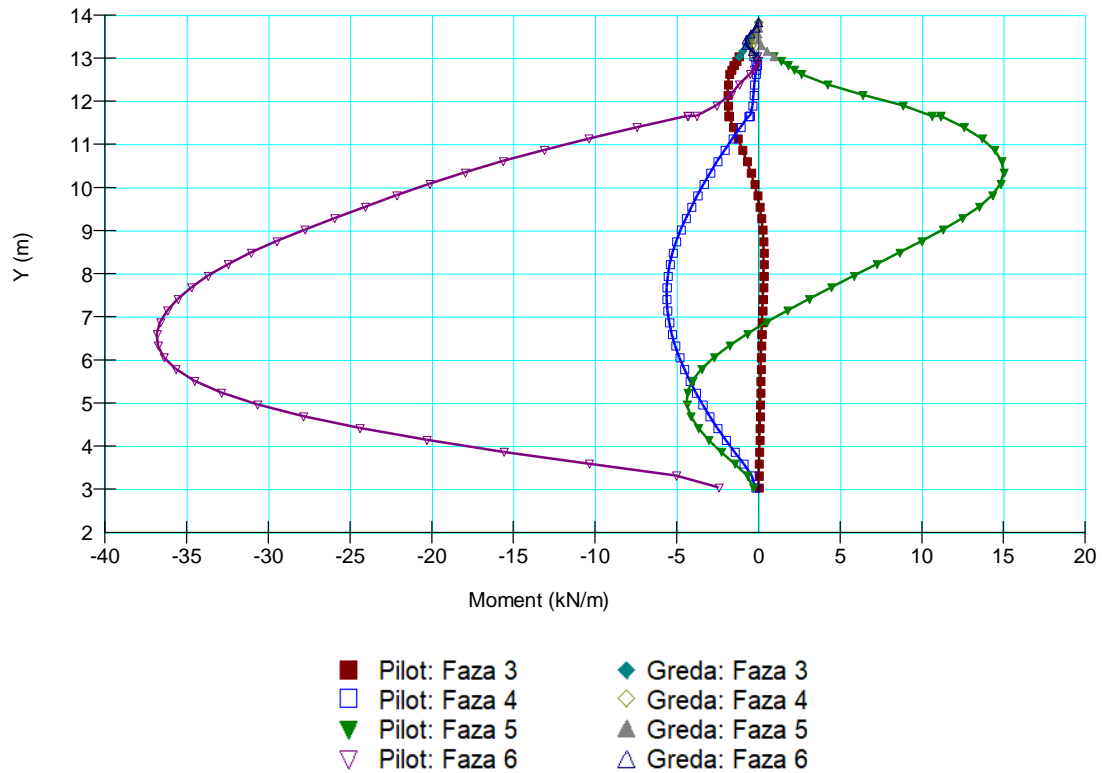
Slika 78.: Faza 5-konačno stanje izvedbe



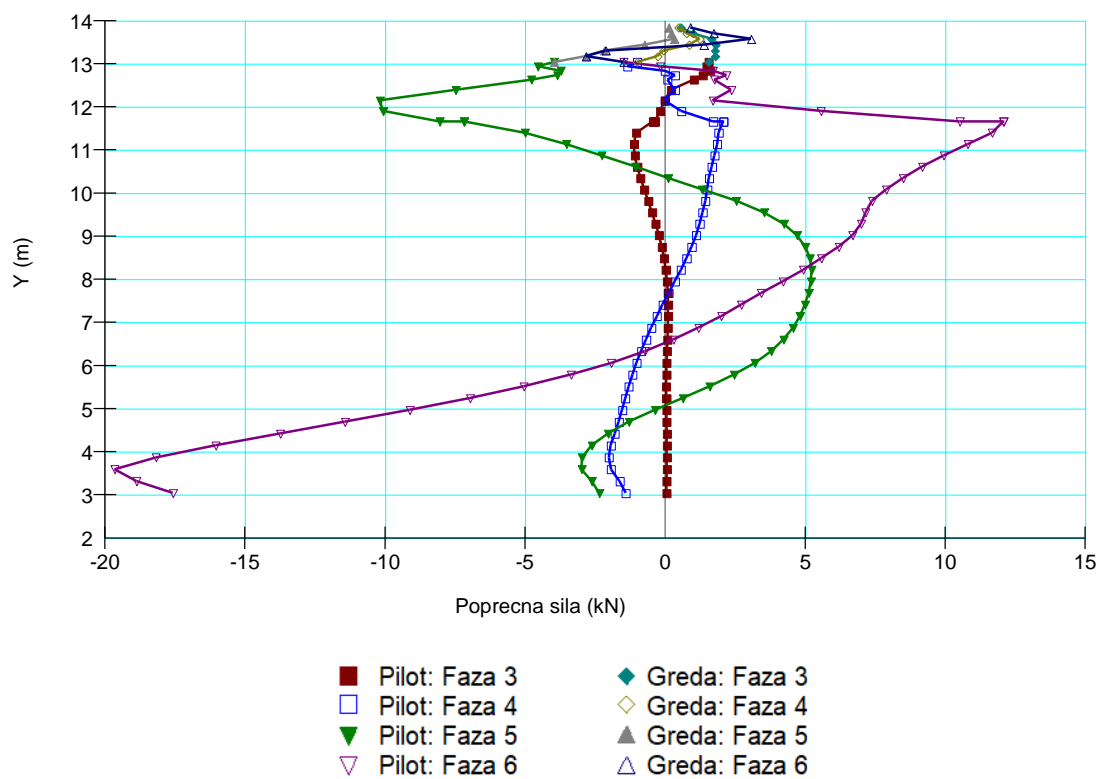
| Color | Name    | Stress Material Model | Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> ) | Effective Elastic Modulus (kPa) | Effective Poisson's Ratio | Effective Cohesion (kPa) | Effective Friction Angle (°) | Sat Kx (m/sec) | Compressibility (/kPa) |
|-------|---------|-----------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------------|----------------|------------------------|
| ■     | 01_GC_k | Mohr-Coulomb          | 19                               | 18.800                          | 0,3                       | 0                        | 35,6                         | 5e-06          | 20.246,15              |
| ■     | 02_CL_k | Mohr-Coulomb          | 19,6                             | 12.100                          | 0,35                      | 6,1                      | 23,1                         | 1e-08          | 15.535,8               |
| ■     | 03_CH_k | Mohr-Coulomb          | 18,6                             | 3.250                           | 0,3                       | 5,8                      | 24,1                         | 1e-09          | 3.500                  |
| ■     | 04_GW_k | Mohr-Coulomb          | 21                               | 26.000                          | 0,3                       | 0                        | 40                           | 0,001          | 35.000                 |

| Color | Name            | Category      | Kind               | Parameters                                 |
|-------|-----------------|---------------|--------------------|--|
| ■     | a) GW_kp_Potres | Stress/Strain | Cartesian Stress   | X-Stress: 1,72 kPa<br>Y-Stress: 0 kPa      |
| ■     | b) GC_kp_Potres | Stress/Strain | Cartesian Stress   | X-Stress: 2,4 kPa<br>Y-Stress: 0 kPa       |
| ■     | c) CL_kp_Potres | Stress/Strain | Cartesian Stress   | X-Stress: 31,13 kPa<br>Y-Stress: 0 kPa     |
| ■     | Fixed X         | Stress/Strain | Force/Displacement | X-Displacement: 0 m                        |
| ■     | Fixed X/Y       | Stress/Strain | Force/Displacement | X-Displacement: 0 m<br>Y-Displacement: 0 m |

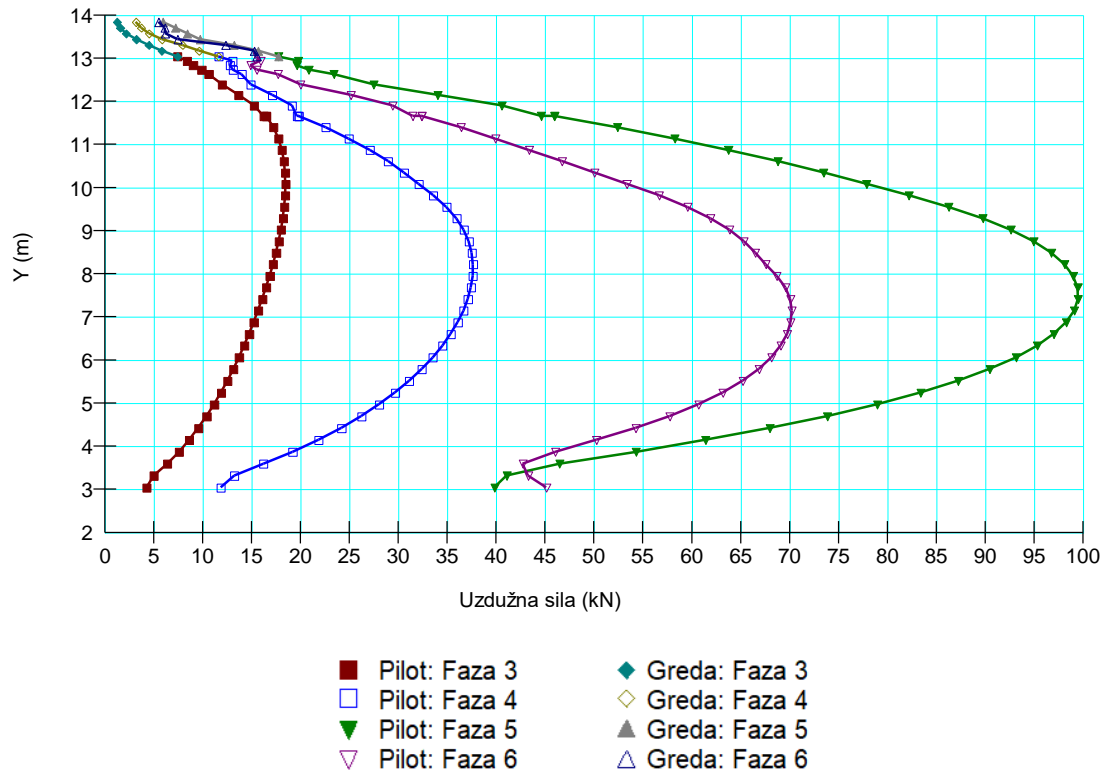
Slika 79.: Faza 6-stanje naprezanja sa potresnim opterećenjem



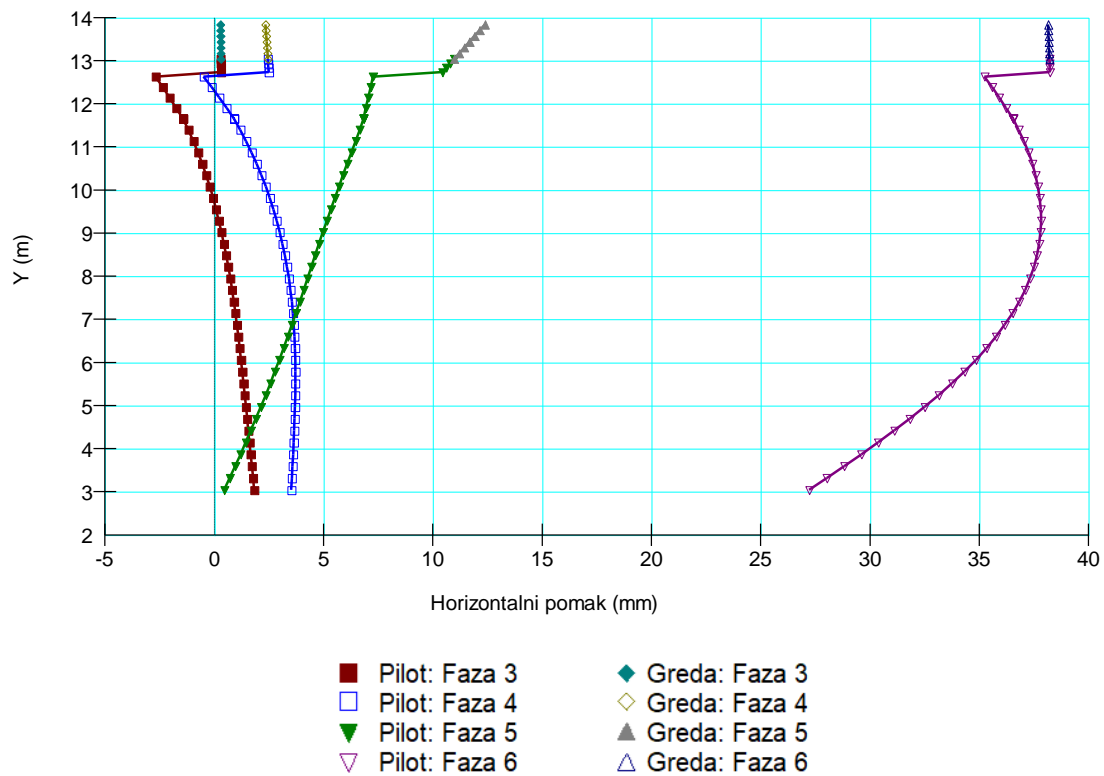
Slika 80.: Graf momenata pilotne stijene



Slika 81.: Graf poprečnih sila pilotne stijene

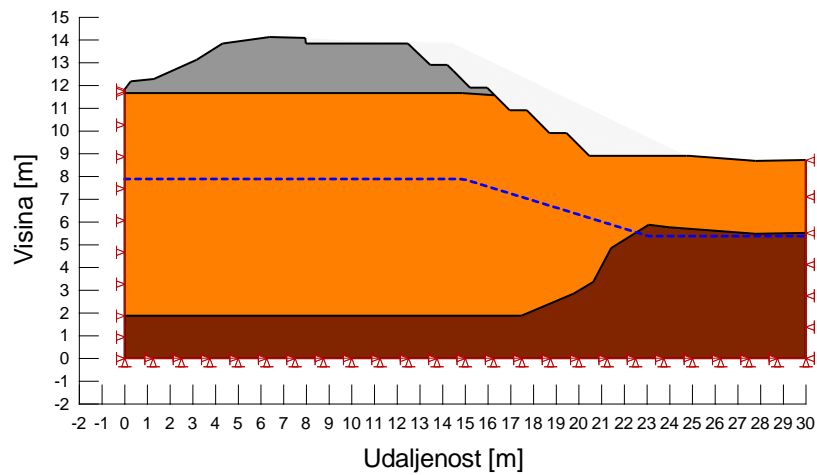


Slika 82.: Graf uzdužnih sila pilotne stijene

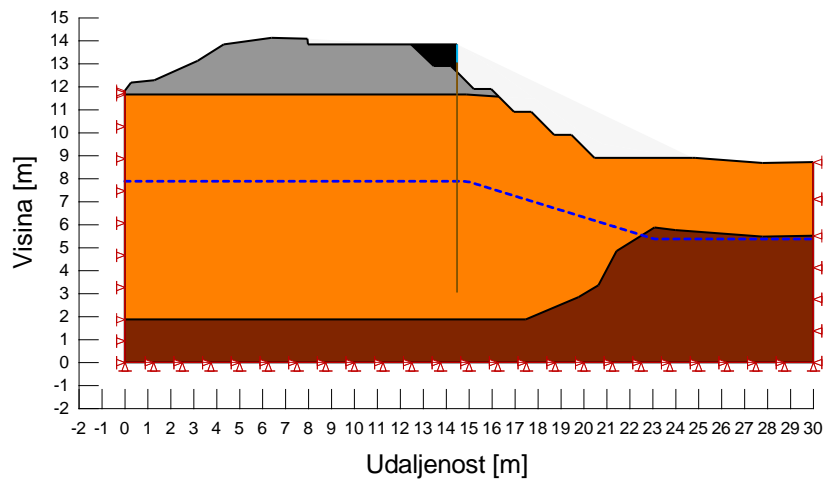


Slika 83.: Graf horizontalnih pomaka pilotne stijene

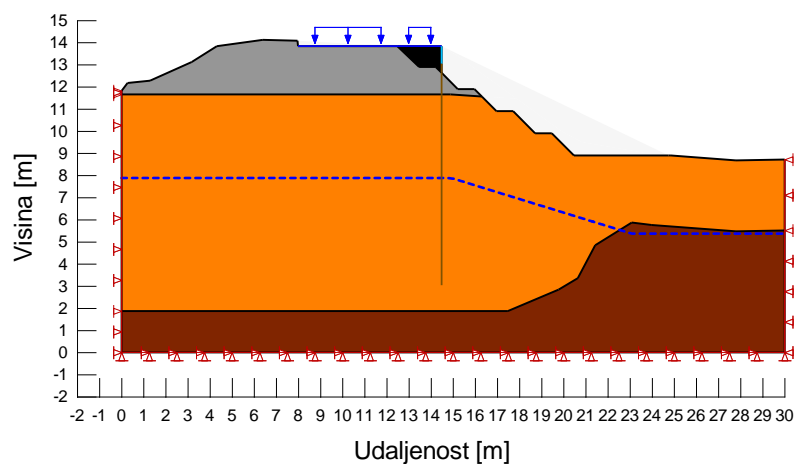
## B) PRORAČUNSKI PARAMETRI



Slika 84.: Faza 2-stanje napreznja prilikom iskopa

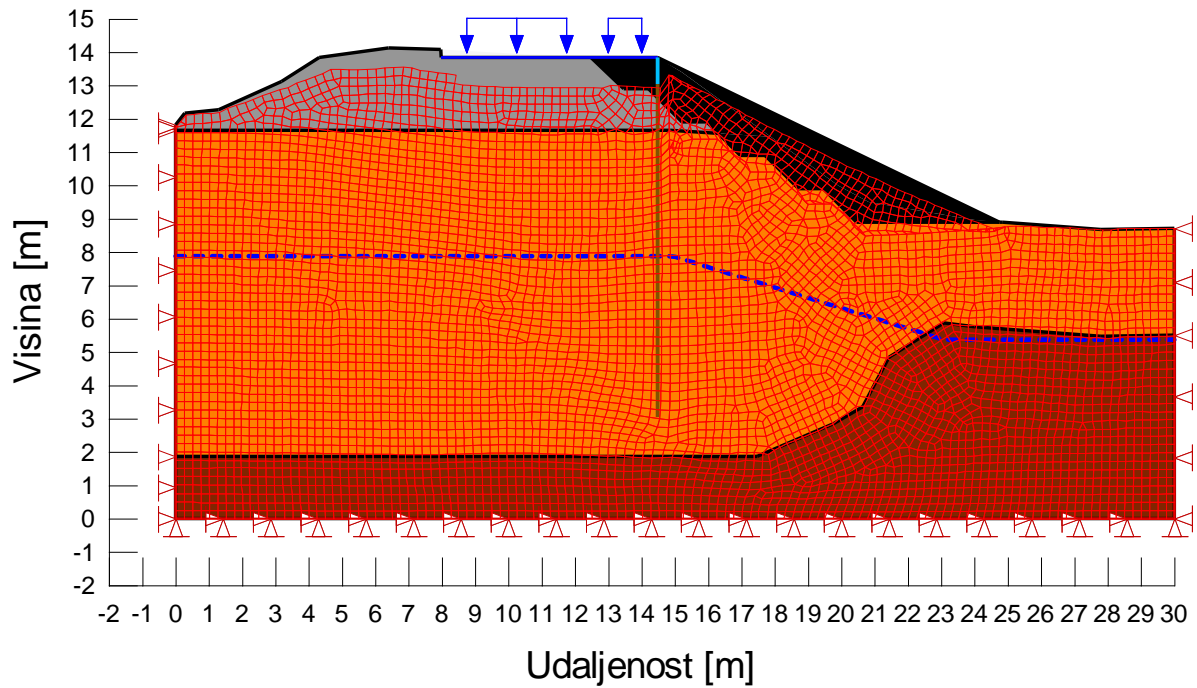


Slika 85.: Faza 3-stanje napreznja pri ugradnji pilotne stijene i zasipa iza pilotne stijene



Slika 86.: Faza 4-stanje napreznja sa prometnim opterećenjem

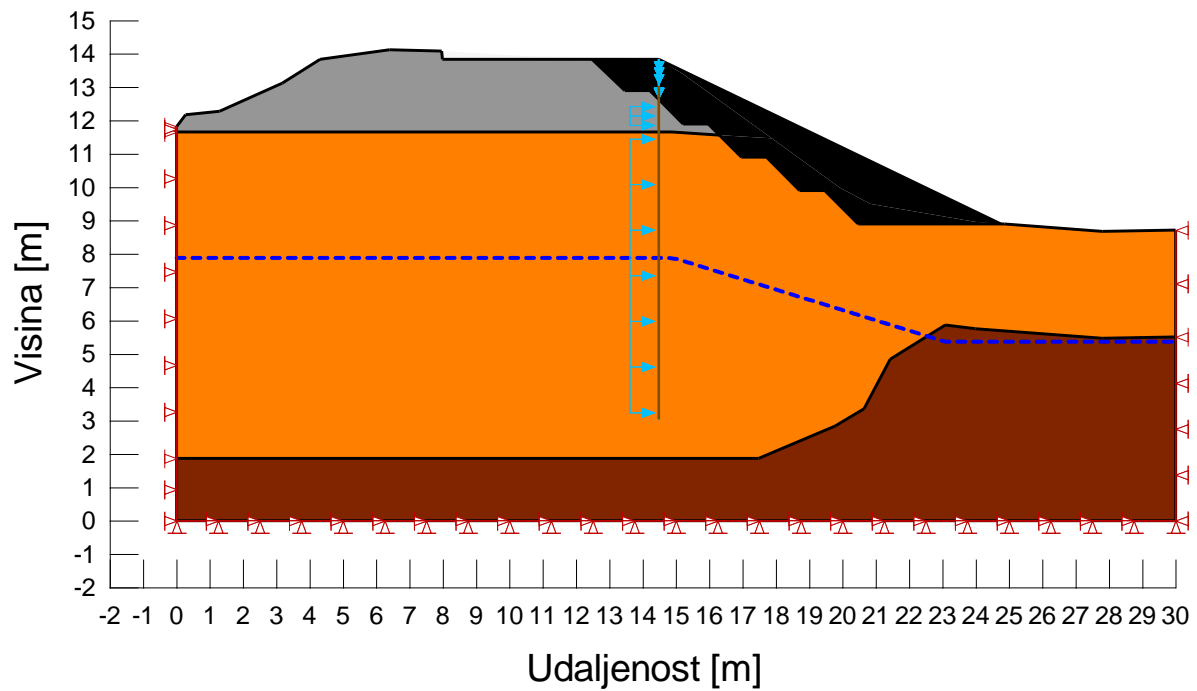




| Color | Name    | Stress Material Model | Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> ) | Effective Elastic Modulus (kPa) | Effective Poisson's Ratio | Effective Cohesion (kPa) | Effective Friction Angle (°) | Sat Kx (m/sec) | Compressibility (kPa) |
|-------|---------|-----------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------------|----------------|-----------------------|
| ■     | 01_GC_p | Mohr-Coulomb          | 19                               | 18.800                          | 0,3                       | 0                        | 29,8                         | 5e-06          | 20.246,15             |
| ■     | 02_CL_p | Mohr-Coulomb          | 19,6                             | 12.100                          | 0,35                      | 4,9                      | 18,8                         | 1e-08          | 15.535,8              |
| ■     | 03_CH_p | Mohr-Coulomb          | 18,6                             | 3.250                           | 0,3                       | 4,6                      | 19,7                         | 1e-09          | 3.500                 |
| ■     | 04_GW_p | Mohr-Coulomb          | 21                               | 26.000                          | 0,3                       | 0                        | 34                           | 0,001          | 35.000                |

| Color | Name                 | Category      | Kind               | Parameters                                 |
|-------|----------------------|---------------|--------------------|--|
| ■     | Fixed X              | Stress/Strain | Force/Displacement | X-Displacement: 0 m                        |
| ■     | Fixed X/Y            | Stress/Strain | Force/Displacement | X-Displacement: 0 m<br>Y-Displacement: 0 m |
| ■     | Prometno opterećenje | Stress/Strain | Normal/Tan. Stress | Normal: 15 kPa<br>Tangential: 0 kPa        |

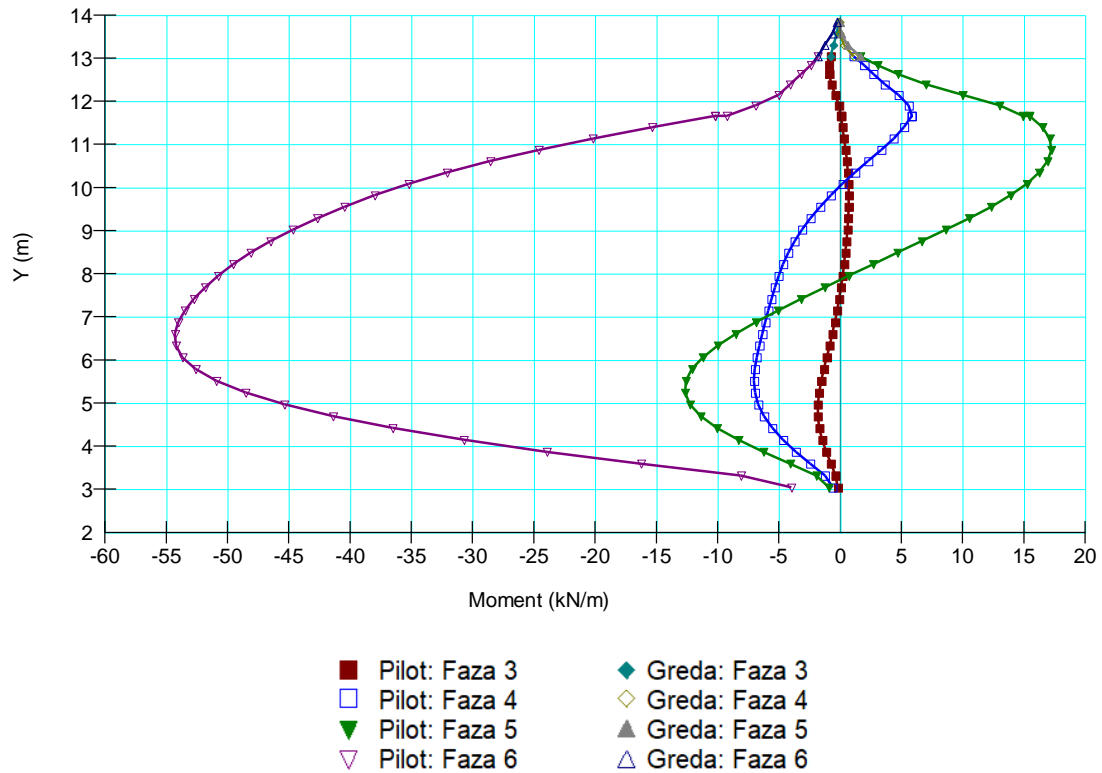
Slika 87.: Faza 5-konačno stanje izvedbe



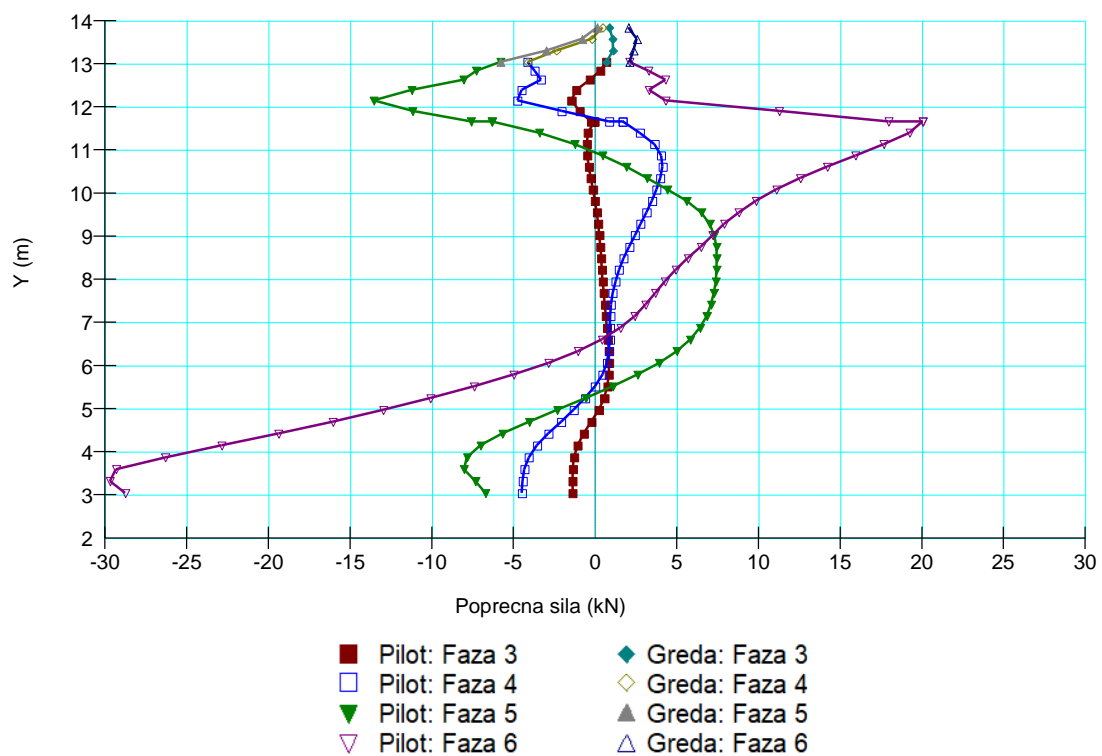
| Color | Name    | Stress Material Model | Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> ) | Effective Elastic Modulus (kPa) | Effective Poisson's Ratio | Effective Cohesion (kPa) | Effective Friction Angle (°) | Sat Kx (m/sec) | Compressibility (/kPa) |
|-------|---------|-----------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------------|----------------|------------------------|
| ■     | 01_GC_p | Mohr-Coulomb          | 19                               | 18.800                          | 0,3                       | 0                        | 29,8                         | 5e-06          | 20.246,15              |
| ■     | 02_CL_p | Mohr-Coulomb          | 19,6                             | 12.100                          | 0,35                      | 4,9                      | 18,8                         | 1e-08          | 15.535,8               |
| ■     | 03_CH_p | Mohr-Coulomb          | 18,6                             | 3.250                           | 0,3                       | 4,6                      | 19,7                         | 1e-09          | 3.500                  |
| ■     | 04_GW_p | Mohr-Coulomb          | 21                               | 26.000                          | 0,3                       | 0                        | 34                           | 0,001          | 35.000                 |

| Color | Name            | Category      | Kind               | Parameters                                 |
|-------|-----------------|---------------|--------------------|--|
| ■     | a) GW_pp_Potres | Stress/Strain | Cartesian Stress   | X-Stress: 2,21 kPa<br>Y-Stress: 0 kPa      |
| ■     | b) GC_pp_Potres | Stress/Strain | Cartesian Stress   | X-Stress: 3,13 kPa<br>Y-Stress: 0 kPa      |
| ■     | c) CL_pp_Potres | Stress/Strain | Cartesian Stress   | X-Stress: 38,89 kPa<br>Y-Stress: 0 kPa     |
| ■     | Fixed X         | Stress/Strain | Force/Displacement | X-Displacement: 0 m                        |
| ■     | Fixed X/Y       | Stress/Strain | Force/Displacement | X-Displacement: 0 m<br>Y-Displacement: 0 m |

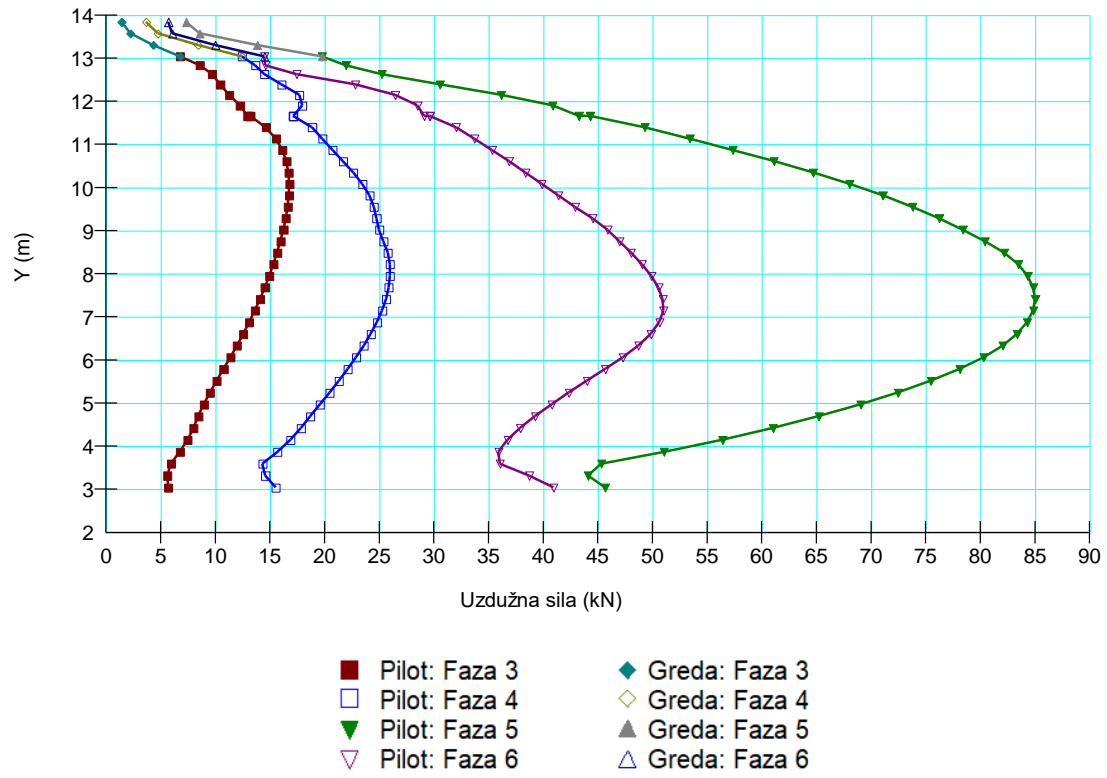
Slika 88.: Faza 6-stanje naprezanja sa potresnim opterećenjem



Slika 89.: Graf momenata pilotne stijene



Slika 90.: Graf poprečnih sila pilotne stijene



Slika 91.: Graf uzdužnih sila pilotne stijene

### 3.5.4. Sumarne tablice reznih sila i pomaka

Tablica 36.: Rezne sile naglavne grede – geotehnički profil 2

| Karakteristični parametri |              |               |              |                    |
|---------------------------|--------------|---------------|--------------|--------------------|
| Faza                      | Moment       | Poprečna sila | Uzdužna sila | Horizontalni pomak |
|                           | M [kNm]      | T [kN]        | N [kN]       | $\delta_h$ [mm]    |
| 1                         | -1,57        | 4,33          | 10,44        | -2,97              |
| 2                         | -2,41        | 4,53          | 13,82        | -2,65              |
| 3                         | <b>-3,62</b> | <b>6,20</b>   | <b>18,65</b> | 0,78               |
| 4                         | -3,51        | 6,03          | 18,50        | 1,06               |

| Proračunski parametri |         |               |              |
|-----------------------|---------|---------------|--------------|
| Faza                  | Moment  | Poprečna sila | Uzdužna sila |
|                       | M [kNm] | T [kN]        | N [kN]       |
| 1                     | -1,53   | 4,01          | 10,31        |
| 2                     | -2,32   | 4,31          | 13,35        |
| 3                     | -3,18   | 5,69          | 17,14        |
| 4                     | -3,35   | 5,38          | 16,81        |

Tablica 37.: Rezne sile i pomaci pilota - geotehnički profil 2

| Karakteristični parametri |         |               |              |                    |
|---------------------------|---------|---------------|--------------|--------------------|
| Faza                      | Moment  | Poprečna sila | Uzdužna sila | Horizontalni pomak |
|                           | M [kNm] | T [kN]        | N [kN]       | $\delta_h$ [mm]    |
| 1                         | -1,58   | -1,85         | 12,69        | -1,67              |
| 2                         | -2,52   | -3,31         | 17,42        | -1,20              |
| 3                         | -3,72   | -4,70         | 29,77        | 2,09               |
| 4                         | -3,59   | -4,54         | 29,57        | 2,37               |

| Proračunski parametri |         |               |              |
|-----------------------|---------|---------------|--------------|
| Faza                  | Moment  | Poprečna sila | Uzdužna sila |
|                       | M [kNm] | T [kN]        | N [kN]       |
| 1                     | -1,56   | -1,87         | 12,69        |
| 2                     | -2,46   | -3,24         | 17,42        |
| 3                     | -3,50   | -4,49         | 29,77        |
| 4                     | -3,31   | -4,26         | 29,57        |

Tablica 38.: Rezne sile naglavne grede - geotehnički profil 3

| Karakteristični parametri |         |               |              |                    |
|---------------------------|---------|---------------|--------------|--------------------|
| Faza                      | Moment  | Poprečna sila | Uzdužna sila | Horizontalni pomak |
|                           | M [kNm] | T [kN]        | N [kN]       | $\delta_h$ [mm]    |
| 1                         | -1,21   | 1,78          | 7,39         | 0,30               |
| 2                         | -0,41   | 1,23          | 11,60        | 2,45               |
| 3                         | 0,92    | -3,97         | 17,72        | 12,38              |
| 4                         | -0,78   | 3,07          | 15,51        | 38,12              |

| Proračunski parametri |         |               |              |
|-----------------------|---------|---------------|--------------|
| Faza                  | Moment  | Poprečna sila | Uzdužna sila |
|                       | M [kNm] | T [kN]        | N [kN]       |
| 1                     | -0,78   | 1,10          | 6,76         |
| 2                     | 1,11    | -4,13         | 12,44        |
| 3                     | 1,66    | -5,81         | 19,77        |
| 4                     | -1,82   | 2,55          | 14,48        |

Tablica 39.: Rezne sile i pomaci pilota - geotehnički profil 3

| Karakteristični parametri |         |               |              |                    |
|---------------------------|---------|---------------|--------------|--------------------|
| Faza                      | Moment  | Poprečna sila | Uzdužna sila | Horizontalni pomak |
|                           | M [kNm] | T [kN]        | N [kN]       | $\delta_h$ [mm]    |
| 1                         | -1,90   | 1,55          | 18,45        | -2,69              |
| 2                         | -5,62   | 2,08          | 37,63        | 3,71               |
| 3                         | 15,01   | -10,19        | <b>99,48</b> | 10,97              |
| 4                         | -36,82  | -19,66        | 70,22        | 38,23              |

| Proračunski parametri |               |               |              |
|-----------------------|---------------|---------------|--------------|
| Faza                  | Moment        | Poprečna sila | Uzdužna sila |
|                       | M [kNm]       | T [kN]        | N [kN]       |
| 1                     | -1,82         | -1,45         | 16,77        |
| 2                     | -7,03         | -4,76         | 25,98        |
| 3                     | 17,26         | -13,55        | 85,02        |
| 4                     | <b>-54,29</b> | <b>-29,70</b> | 50,98        |

Crveno su označene kritične rezne sile.

### 3.6. Proračun armature

Armatura naglavne grede i pilota je proračunata u software-u Aspalathos gdje su ulazni parametri bile maksimalne rezne sile i momenti iz naponsko – deformacijskog modela (SIGMA/W) te dimenzije iz projekta.

Greda:  $b \times h = 0,6 \times 0,8 \text{ m}$

Pilot:  $d = 0,4 \text{ m}$

Tablica 40.: Rezne sile za proračun potrebne armature

| Element               | Moment                                   | Poprečna sila                        | Uzdužna sila                             |
|-----------------------|--|--------------------------------------|--|
|                       | M [kNm]                                  | T [kN]                               | N [kN]                                   |
| <b>Naglavna greda</b> | $(-3,62 \times 1,35 =) -$<br><b>4,89</b> | $(6,20 \times 1,35 =) \mathbf{8,37}$ | $(18,65 \times 1,35 =)$<br><b>25,18</b>  |
| <b>Pilot</b>          | <b>-54,29</b>                            | <b>-29,70</b>                        | $(99,48 \times 1,35 =)$<br><b>134,30</b> |

#### 3.6.1. Proračun armature naglavne grede (Aspalathos)

##### BETON

C 30/37

$f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$

$\tau_{rd} = 0,34 \text{ N/mm}^2$

$\gamma_c = 1,5$

##### UZDUŽNA ARMATURA

B 500/550

$f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$

$\gamma_s = 1,15$

##### VILICE

$\phi 12$

RA 400/500

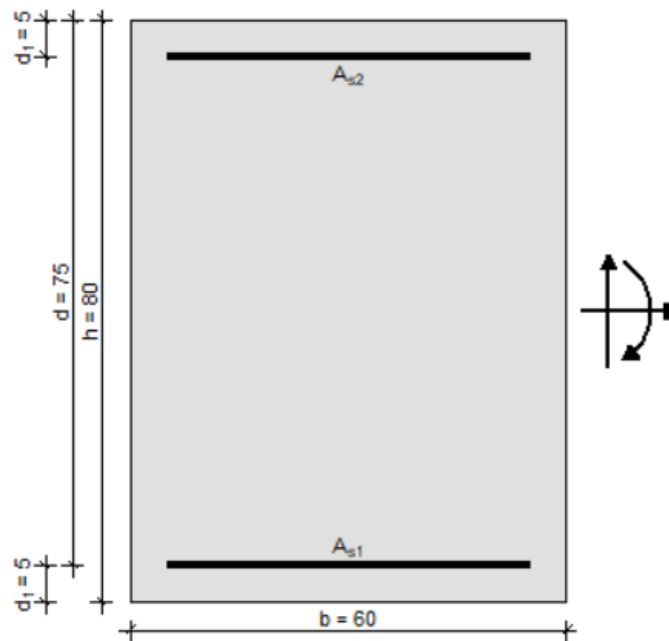
$f_{yk} = 400 \text{ N/mm}^2$

##### REZNE SILE

$N_{sd} = 25,18 \text{ kN}$

$V_{sd} = 8,37 \text{ kN}$

$M_{sd} = -4,89 \text{ kNm}$



**UZDUŽNA ARMATURA**

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434,8 \text{ N/mm}^2 \quad f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 20,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon_{s1} = 10 \text{ ‰}$$

$$e = \frac{M_{sd}}{N_{sd}} = -19,4 \text{ cm} \leq \frac{h}{2} - d_1 = 35 \text{ cm}$$

$$e_1 = \frac{h}{2} - d_1 - e = 15,6 \text{ cm} \quad e_2 = \frac{h}{2} - d_2 + e = 54,4 \text{ cm}$$

$$A_{s1} = \frac{N_{sd}}{f_{yd}} \cdot \frac{e_1}{e_1 + e_2} = \mathbf{0,13 \text{ cm}^2}$$

$$A_{s2} = \frac{N_{sd}}{f_{yd}} \cdot \frac{e_2}{e_1 + e_2} = \mathbf{0,45 \text{ cm}^2}$$

$$A_{s,\min} = 0,25 \% \cdot b \cdot h = \mathbf{12,00 \text{ cm}^2}$$

$$A_{s,\max} = 0,6 \% \cdot b \cdot d = \mathbf{28,80 \text{ cm}^2}$$

**VILICE**

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 347,8 \text{ N/mm}^2$$

$$k = 1,6 - d \geq 1,0, \quad k = 1,0$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b \cdot d} \leq 0,02, \quad \rho_l = 0,000$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{sd}}{b \cdot h} = 0,01 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{Rd1} = \left( \tau_{Rd} \cdot k \cdot (1,2 + 40 \cdot \rho_l) + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right) \cdot b \cdot d = 187,93 \text{ kN}$$

$$V_{Sd} \leq V_{Rd1}$$

$$s_w = \mathbf{29 \text{ cm}} \leq \begin{cases} 30 \text{ cm} \\ 0,8 \cdot d = 60 \text{ cm} \\ \frac{A_{sw} \cdot m}{\rho_{\min} \cdot b} = 29 \text{ cm} \end{cases}$$



### 3.6.2. Proračun armature pilota (Aspalathos)

#### BETON

C 30/37

$f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$

$\tau_{rd} = 0,34 \text{ N/mm}^2$

$\gamma_c = 1,5$

#### UZDUŽNA ARMATURA

B 500/550

$f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$

$\gamma_s = 1,15$

#### VILICE

$\phi 12$

RA 400/500

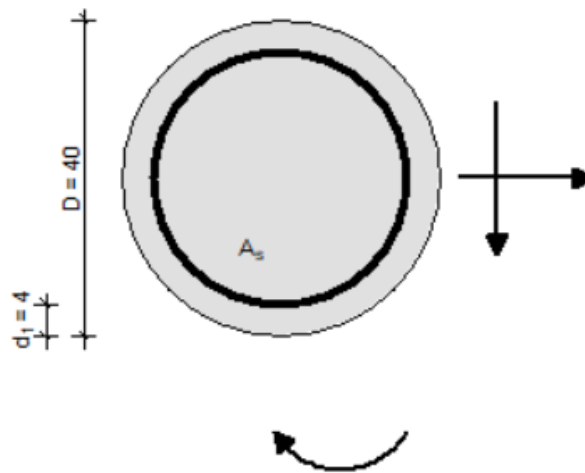
$f_{yk} = 400 \text{ N/mm}^2$

#### REZNE SILE

$N_{sd} = 134,3 \text{ kN}$

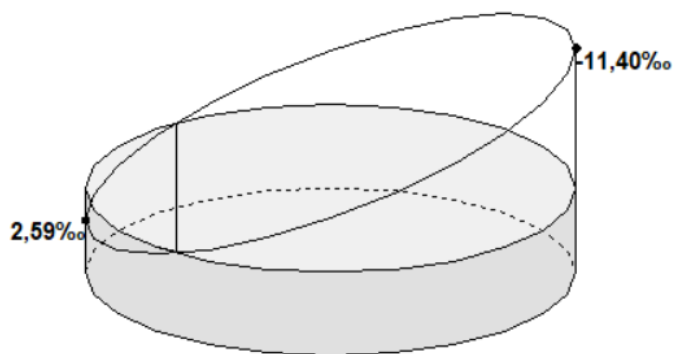
$V_{y,sd} = -29,7 \text{ kN}$

$M_{x,sd} = -54,29 \text{ kN}$



#### UZDUŽNA ARMATURA

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434,8 \text{ N/mm}^2 \quad f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 20,0 \text{ N/mm}^2$$



$$A_s = 11,33 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,min} = 0,25 \% \cdot b \cdot h = 3,14 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,max} = 0,6 \% \cdot b \cdot d = 7,54 \text{ cm}^2$$

**VILICE**

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 347,8 \text{ N/mm}^2$$

$$k = 1.6 - d \geq 1.0, \quad k = 1,24$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b \cdot d} \leq 0.02, \quad \rho_l = 0,013$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Sd}}{b \cdot h} = 0,14 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{Rd1} = \left( \tau_{Rd} \cdot k \cdot (1.2 + 40 \cdot \rho_l) + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \right) \cdot b \cdot d = 80,95 \text{ kN}$$

$$V_{Sd} \leq V_{Rd1}$$

$$s_w = 28,8 \text{ cm} \leq \begin{cases} 30 \text{ cm} \\ 0.8 \cdot d = 28,8 \text{ cm} \\ \frac{A_{sw} \cdot m}{\rho_{min} \cdot b} = 69,6 \text{ cm} \end{cases}$$

**3.6.3. Odabrana armatura****A) Naglavna greda**

Odabrana uzdužna armatura: **6Ø16** ( $A_{s,prov} = 12,06 \text{ cm}^2$ )

Odabrane poprečna armatura(vilice): **Ø12/15 cm**

**B) Pilot**

Odabrana uzdužna armatura: **6Ø16** ( $A_{s,prov} = 12,06 \text{ cm}^2$ )

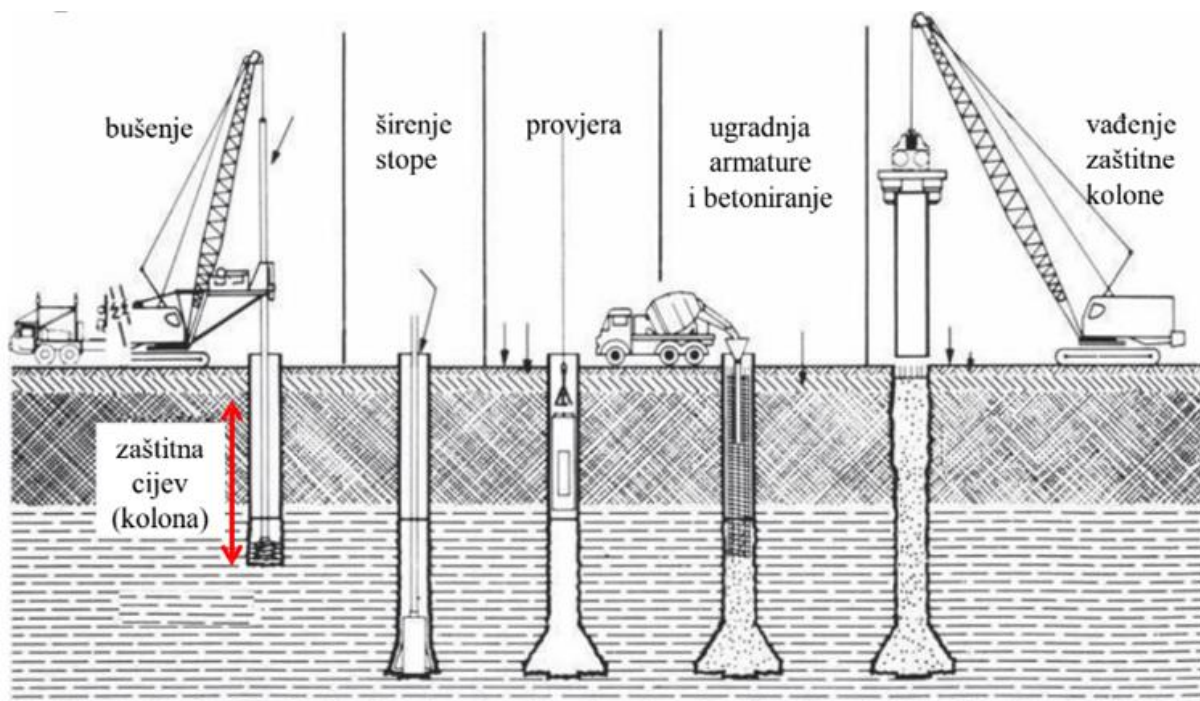
Odabrane poprečna armatura(spirale): **Ø12/15 cm**

### 3.7. Tehnologija izvedbe, kontrola i monitoring

#### 3.7.1. Tehnički opis izvođenja pilotne stijene

Piloti su duboki temelji koji se koriste kao stabilizatori klizišta, ugrađujući se u zonu klizanja kako bi se spriječili daljnji pomaci. Danas postoji mnogo različitih vrsta pilota, no oni se prvenstveno dijele u 2 skupine prema načinu izvedbe.

U prvu skupinu spadaju zabijani piloti, dok u drugu spadaju bušeni piloti. Iako je ova podjela prikladna u većini slučajeva, ona ne obuhvaća sve vrste pilota koji se danas koriste u praksi i ne pokazuje kako izvedba pilota utječe na njegovu nosivost. Postoji nekoliko metoda za izvođenje bušenja: bušenje grabilicom uz istovremeno napredovanje zaštitne cijevi rotacijskim i hidrauličkim utiskivanjem, bušenje pužnom bušilicom s mogućnošću istovremenog napredovanja zaštitne cijevi rotacijskim i hidrauličkim utiskivanjem te bušenje pomoću beskonačnog puža.



Slika 92.: Shematski prikaz izvedbe pilota (Izvor: [13])



Udarna kruna

Teško dijelo za  
razbijanje prepreka

Svrđlo

Slika 93.: Vrste bušćeg pribora (Izvor: [13])

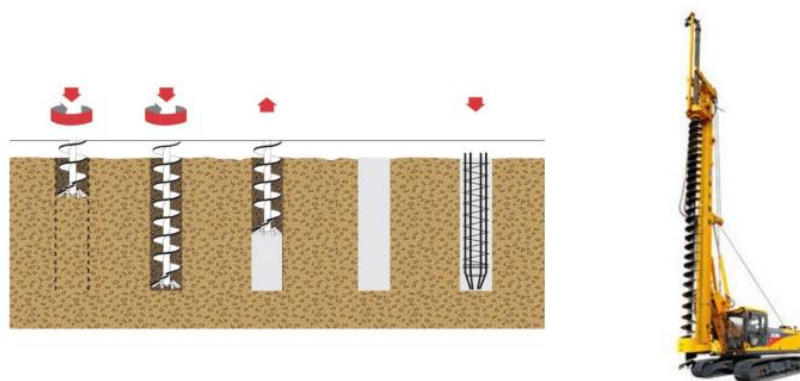
U ovom slučaju je preporuka bušenje beskonačnim pužem za izvedbu bušenih pilota, tzv. CFA (Continuous Flight Auger) pilota.

Proces započinje bušenjem pomoću beskonačnog puža, što je specifično jer ne zahtijeva zaštitnu kolonu; stabilnost bušotine osigurava sam puž. Bušilica se pažljivo upravlja kako bi se postigla željena dubina, uz stalnu kontrolu kako bi se osiguralo da bušenje ide prema planu.

Nakon što se postigne tražena dubina, započinje postupak betoniranja. Beton se utiskuje kroz središnju cijev puža, dok se puž istovremeno polako izvlači iz bušotine. Ovaj koordinirani proces osigurava da beton potpuno ispuni bušotinu i stvori čvrstu strukturu.

Kada je betoniranje završeno, dok je beton još svjež, u bušotinu se postavlja armaturni koš. Armaturni koš se ugrađuje uz pomoć vibriranja i/ili utiskivanja, kako bi se osiguralo da se pravilno postavi u betonu. Koš je opremljen vodilicama koje osiguravaju da ostane u središnjem položaju, što je ključno za njegovu funkcionalnost i stabilnost.

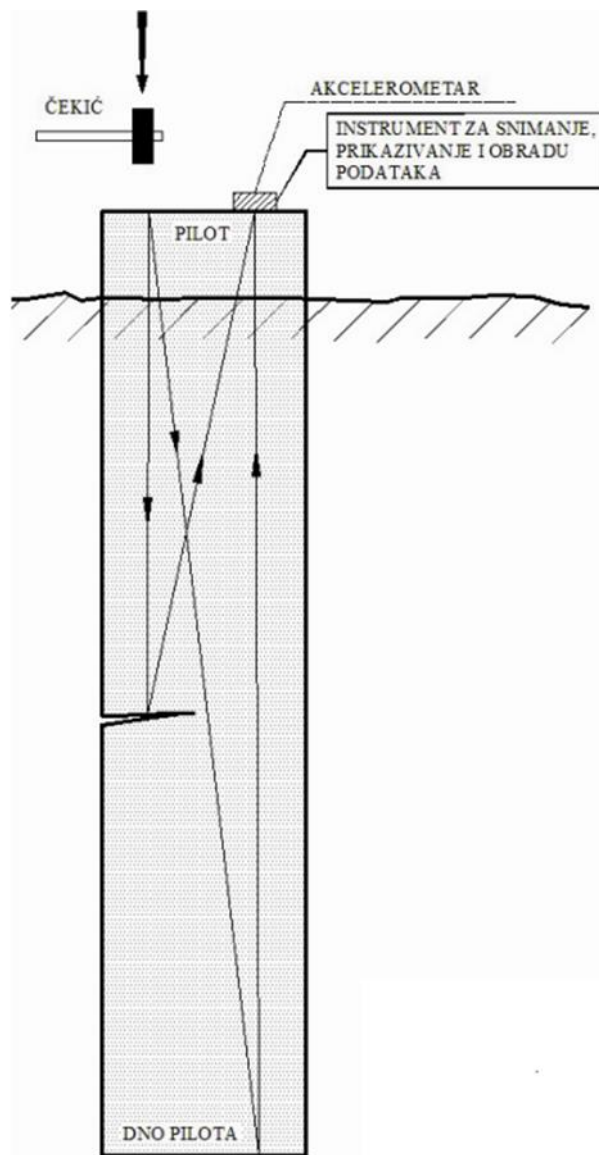
Cijeli proces osigurava da je bušotina pravilno ispunjena betonom i da je armaturni koš pravilno postavljen, što je ključno za dugotrajnu stabilnost i nosivost konstrukcije[13].



Slika 94.: Prikaz izvedbe CFA pilota (Izvor: [13])

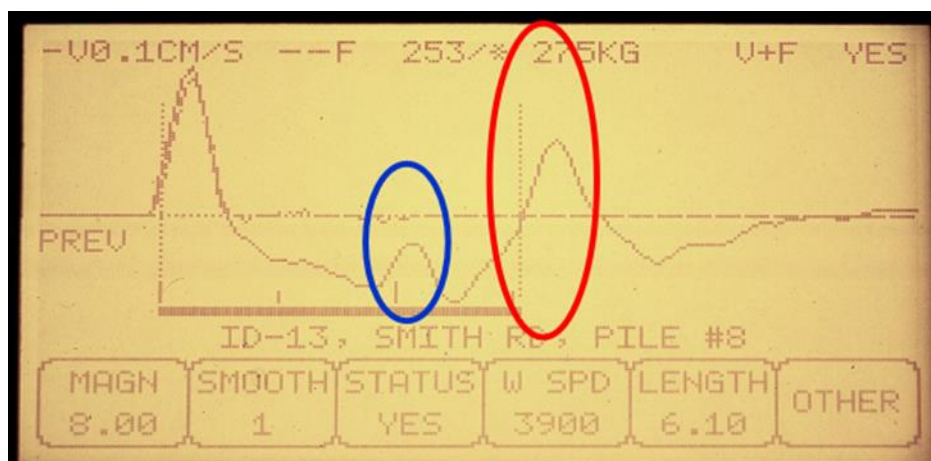
### 3.7.2. Program kontrole kvalitete

Mnogo je načina provedbe programa kontrole kvalitete, neki od njih su: probno statičko opterećenje, Osterbergova ćelija, ispitivanje dinamičkim udarom, ispitivanje cjelovitosti... U ovom poglavlju će biti opisano samo ispitivanje cjelovitosti. Ispitivanje cjelovitosti pilota (Pile Integrity Test - PIT) koristi se za otkrivanje većih pukotina i šupljina u pilotu prije gradnje konačne konstrukcije. PIT ima niz prednosti: brzina i cijena, minimalna pomoć na gradilištu, testiranje svih pilota te minimalna priprema pilota za ispitivanje.



Slika 95.: Shematski prikaz opreme i postupka za ispitivanje integriteta (Izvor: [14])

Postupak ispitivanja započinje nakon što je glava pilota odrezana na projektiranu kotu. Cilj je dokazati kontinuitet pilota (besprekidno betoniranje) te identificirati zone oslabljene kvalitete ili manjeg promjera u odnosu na projektirane dimenzije pilota. Na vrh pilota postavljaju se vrlo osjetljivi akcelerometri koristeći viskozni materijal. Akcelerometar je spojen na PIT kolektor - računalo s posebnim uređajem za kondicioniranje signala i A/D pretvaračem. Udarcem čekića generira se tlačni val koji putuje kroz pilota valnom brzinom 'c'. Kada taj val naiđe na promjenu poprečnog presjeka ili kvaliteti betona na dubini 'x', generira se reflektirani val koji putuje prema gore i detektira se na vrhu pilota. Vrijeme potrebno za dolazak reflektiranog vala jednako je dvostrukoj udaljenosti te promjene od vrha pilota podijeljeno s brzinom vala 'c' ( $2x/c$ ). Ostatak početnog vala putuje prema bazi pilota i reflektira se natrag. Vrijeme potrebno za dolazak reflektiranog vala od baze jednako je dvostrukoj duljini pilota podijeljeno s valnom brzinom 'c' ( $2L/c$ ). Smanjenje poprečnog presjeka ili kvalitete betona generira transverzalni val, dok otpor tla i povećanje poprečnog presjeka generiraju longitudinalni val. (Izvor: [15])



Slika 96.: Rezultati ispitivanja, oštećen pilot označen crveno (Izvor: [15])

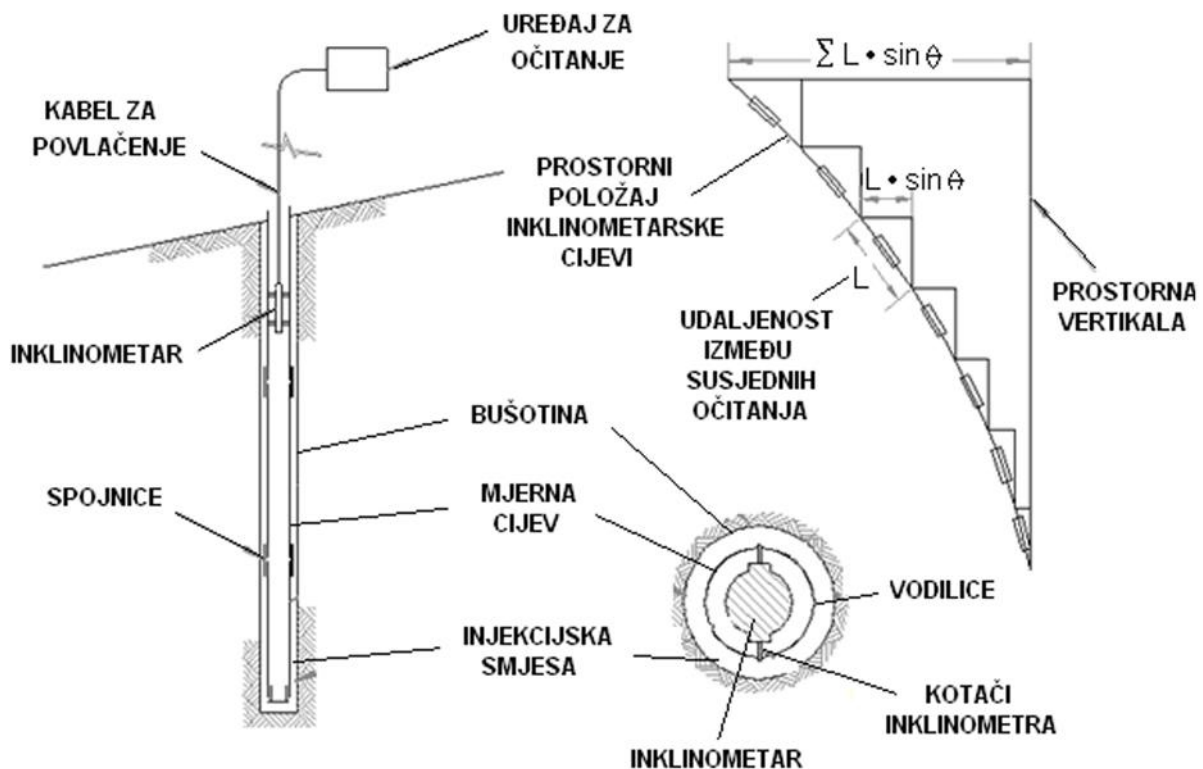
Piloti s bitno različitim poprečnim presjecima mogu otežati razlikovanje refleksija uzrokovanih diskontinuitetima i oblikom pilota. Međutim, testiranjem većeg broja pilota lakše je prepoznati nepravilnosti. Sumnjivi piloti mogu biti podvrgnuti dodatnim testovima.

### 3.7.3. Program praćenja pilota

Inklinometarska mjerenja koriste se za praćenje deformacija tla i stijena oko bušotine, u kojoj je ugrađena mjerna cijev vezana za armaturu pilota. Proces započinje spuštanjem inklinometarske sonde na dno bušotine pomoću ojačanog električnog kabela. Ugrađeni gravitacijski senzor u sondi mjeri kut zaokreta sonde u odnosu na prostornu vertikalu.

Kada se sonda povlači prema vrhu bušotine, očitavanja se vrše svakih metar. Na taj način dobivaju se kutevi zaokreta inklinometarske cijevi u odnosu na vertikalu. Integriranjem ovih kuteva moguće je odrediti horizontalne pomake inklinometarske cijevi.

Ova metoda je vrlo precizna, s točnošću inklinometra u terenskim uvjetima od  $\pm 0.1$  mm/m, što omogućuje detaljno praćenje i analizu deformacija tla i stijena [16].



Slika 97.: Inklinometarska sonda i elementi (Izvor: [16])

## 4 . ZAKLJUČAK

Predmet rada bio je ispitati problematiku postojećeg klizišta na ulazu u grad Oroslavje. Rješenje problematike je obuhvaćala analizu trenutne situacije klizišta, utvrđivanje geotehničkih karakteristike tla, numeričke analize i prijedlog učinkovite mjere za stabilizaciju terena. Korištene metode uključivale su terenske istražne radove, laboratorijske analize uzoraka tla te numeričke proračune tla, a od programskih alata korišteni su GeoStudio za geotehničke analize i Aspalathos za dimenzioniranje ključnih elemenata sanacije. Provedena istraživanja pokazala su da je tlo na promatranj lokaciji podložno pokretima koji ugrožavaju stabilnost kosine. Numeričke analize, koje su obuhvatile statičke i dinamičke uvjete, potvrdile su da su predložene mjere sanacije upotrebe pilotne stijene i naglavne grede, u skladu s geotehničkim normama i da osiguravaju stabilnost tla. Naponsko-deformacijske analize potvrdile su da će odabrani pristup uspješno spriječiti daljnje pomake tla i deformacije. Svi provedeni proračuni i testovi ukazali su na to da predloženi sustav stabilizacije ispunjava tehničke zahtjeve i da će klizište biti stabilno, što omogućava sigurno izvođenje radova i dugoročnu stabilnost kosine. Pretpostavke o učinkovitosti predloženih metoda i mjera su potvrđene, čime je uspješno postignut glavni cilj rada – rješenje problematike klizišta uz upotrebu adekvatnih geotehničkih mjera.



---

**POPIS LITERATURE**

- [1] Bačić M. (2023), Predavanje iz kolegija *Nasipi i kosine, Kosine*; Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet
- [2] Kovačević M. S., Librić L. (2023), Predavanja iz kolegija *Ojačanje tla i stijena, Vibracijsko punjenje – šljunčani piloti*; Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet
- [3] Kovačević M. S., Librić L. (2023), Predavanja iz kolegija *Potporne građevine, Interakcija potpornog zida i tla*; Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet
- [4] <https://geoportal.dgu.hr/>, pristupano: 11.09.2023
- [5] Centar Građevinskog fakulteta, (2022), Projekt *Sanacija klizišta na ulazu u grad Oroslavlje, km 3+236 na DC307, 2.1. Tehnički opis*; Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet
- [6] Centar Građevinskog fakulteta, (2022), Geotehnički elaborat *Sanacija klizišta na ulazu u grad Oroslavlje, km 3+236 na DC307, GEL-23/2022*; Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet
- [7] Kovačević M. S., Jurić Kaćunić D. (2023), Predavanja iz kolegija *Terenska ispitivanja i opažanja, Penetracijski pokusi*; Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet
- [8] Ivšić T., Maranić Z. (2016/17), *Pomoćni dijagrami, tablice i formule za ispit Geotehničko inženjerstvo*, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet
- [9] Verbrugge J.C., Schroeder C. (2018), *Geotechnical Correlations for Soils and Rocks*; John Wiley & Sons
- [10] Bačić M. (2023), *Pomoćni dijagrami, tablice i formule iz kolegija Geotehnički projekt*; Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet
- [11] Armetunga J., Sivakugan N., Das B.M. (2016), *Correlations of Soil and Rock Properties in Geotechnical Engineering*, Springer
- [12] <http://seizkarta.gfz.hr/hazmap/karta.php>, pristupano: 15.09.2023
- [13] Bačić M. (2023), Predavanje iz kolegija *Temeljenje, Duboko temeljenje*; Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet
- [14] Barbalić I., Galjan B., Bandić M., Ivandić K., Stručni rad *Ispitivanje probnih pilota na gradilištu putničke luke Dubrovnik*, Građevinar 59, 2007.
- [15] Kovačević M. S., Jurić Kaćunić D. (2023), Predavanja iz kolegija *Terenska ispitivanja i opažanja, Ispitivanje nosivosti i cjelovitosti pilot*; Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet
- [16] Kovačević M. S., Jurić Kaćunić D. (2023), Predavanja iz kolegija *Terenska ispitivanja i opažanja, Geotehnički monitoring*; Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet

## POPIS SLIKA

|   |    |
|---|----|
| Slika 1.: Elementi klizišta (Izvor: [1]) .....  | 3  |
| Slika 2.: Površinska drenaža uz ceste (Izvor: [1]) .....  | 4  |
| Slika 3.: Kopani dren (Izvor: [1]) .....  | 5  |
| Slika 4.: Bušeni dren (Izvor: [1]).....   | 5  |
| Slika 5. Postupci promjene geometrije kosine (Izvor: [1]) .....   | 6  |
| Slika 6.: Shematski prikaz preraspodjele mase kosine (Izvor: [1]) .....                                   | 6  |
| Slika 7.: Aktivno(a) i pasivno(b) geotehničko sidro (Izvor: [1]).....                                     | 7  |
| Slika 8.: Shema izvedbe šljunčanih pilota (Izvor: [2]) .....  | 8  |
| Slika 9.: Gravitacijski zid (Izvor: [3]).....   | 9  |
| Slika 10.: Ugrađeni zidovi (Izvor: [3]).....  | 9  |
| Slika 11.: Gravitacijski zid od zrnatog materijala ojačan mrežama (Izvor: [3]) .....                      | 10 |
| Slika 12.: Lokacija klizišta (Izvor: [4]) .....   | 11 |
| Slika 13.: Znakovi klizišta (Izvor: [5]).....   | 12 |
| Slika 14.: Zona klizanja (Izvor: [5]).....  | 12 |
| Slika 15.: Betonska kanalica na istočnoj strani ceste (Izvor: [5]).....                                   | 13 |
| Slika 16.: Pogled vododerina iz zraka (Izvor: 3) .....  | 14 |
| Slika 17.: Slijevanje vododerina niz pokos (Izvor: 3).....  | 14 |
| Slika 18.: Skica rješenja uz potok Kamenjak .....   | 16 |
| Slika 19.: Skica rješenja iznad propusta.....   | 16 |
| Slika 20.: Skica rješenja pored propusta.....   | 17 |
| Slika 21.: Skica rješenja pilotne stijene .....   | 17 |
| Slika 22.: Skica dimenzija pilotne stijene .....  | 18 |
| Slika 23.: Prikaz klizišta (crveno),propusta i bušotina .....   | 19 |
| Slika 24.: Postupak provođenja SPT-a (Izvor: [7]).....  | 20 |
| Slika 25.: Presjek bušotine B1 (Izvor: [6]) .....   | 22 |
| Slika 26.: Presjek bušotine B2 (Izvor: [6]) .....   | 23 |
| Slika 27.: Presjek bušotine B3 (Izvor: [6]) .....   | 24 |
| Slika 28.: Prikaz klizišta (crveno), propusta, bušotina i geotehničkih profila.....                       | 26 |
| Slika 29.: Skica uzdužnog geotehničkog profila U2-U2' .....   | 26 |
| Slika 30.: Skica poprečnog geotehničkog profila P1-P1' .....  | 27 |
| Slika 31.: Skica poprečnog geotehničkog profila P2-P2' .....  | 27 |
| Slika 32.: Skica poprečnog geotehničkog profila P3-P3' .....  | 28 |
| Slika 33.: Dijagram ovisnosti koeficijenta $f_2$ u odnosu na indeks plastičnosti $I_p$ (Izvor: [8]) ..... | 32 |
| Slika 34.: Dijagram ovisnosti koeficijenta $f_1$ u odnosu na indeks plastičnosti (Izvor: [8])             | 37 |
| Slika 35.: Dijagram ovisnosti koeficijenta $f_2$ u odnosu na indeks plastičnosti (Izvor: [8])             | 38 |
| Slika 36.: Dijagram ovisnosti nedrenirne čvrstoće u odnosu na indeks tečenja (Izvor: [11]) .....          | 41 |
| Slika 37.: Karta potresnih područja Republike Hrvatske (Izvor: [10]) .....                                | 50 |

|  |    |
|--|----|
| Slika 38.: Vrijednosti iz karte potresnih područja Republike Hrvatske (Izvor: [12]).....               | 51 |
| Slika 39.: Globalna stabilnost(drenirani uvjeti).....  | 55 |
| Slika 40.: Lokalna stabilnost(drenirani uvjeti).....   | 56 |
| Slika 41.: Globalna stabilnost(drenirani uvjeti).....  | 57 |
| Slika 42.: Globalna stabilnost(nedrenirani uvjeti)(-k <sub>v</sub> ).....                              | 58 |
| Slika 43.: Globalna stabilnost(drenirani uvjeti)(-k <sub>v</sub> ).....                                | 59 |
| Slika 44.: Globalna stabilnost(drenirani uvjeti).....  | 60 |
| Slika 45.: Lokalna stabilnost(drenirani uvjeti).....   | 61 |
| Slika 46.: Globalna stabilnost(drenirani uvjeti).....  | 62 |
| Slika 47.: Globalna stabilnost(drenirani uvjeti)(prometno opterećenje).....                            | 63 |
| Slika 48.: Globalna stabilnost(nedrenirani uvjeti)(-k <sub>v</sub> ).....                              | 64 |
| Slika 49.: Globalna stabilnost(nedrenirani uvjeti)(-k <sub>v</sub> ).....                              | 65 |
| Slika 50.: Globalna stabilnost(drenirani uvjeti).....  | 66 |
| Slika 51.: Lokalna stabilnost(drenirani uvjeti).....   | 67 |
| Slika 52.: Globalna stabilnost(drenirani uvjeti).....  | 68 |
| Slika 53.: Globalna stabilnost(drenirani uvjeti)(prometno opterećenje).....                            | 69 |
| Slika 54.: Globalna stabilnost(nedrenirani uvjeti)(-k <sub>v</sub> ).....                              | 70 |
| Slika 55.: Globalna stabilnost(nedrenirani uvjeti)(+k <sub>v</sub> ).....                              | 71 |
| Slika 56.: Faza 1-početno stanje naprezanja.....   | 78 |
| Slika 57.: Faza 2-stanje naprezanja prilikom iskopa.....   | 79 |
| Slika 58.: Faza 3-stanje naprezanja pri ugradnji pilotne stijene i zasipa iza pilotne stijene<br>..... | 79 |
| Slika 59.: Faza 4-stanje naprezanja sa prometnim opterećenjem.....                                     | 79 |
| Slika 60.: Faza 5-konačno stanje izvedbe.....  | 80 |
| Slika 61.: Faza 6-stanje naprezanja sa potresnim opterećenjem.....                                     | 81 |
| Slika 62.: Graf momenata pilotne stijene.....  | 82 |
| Slika 63.: Graf poprečnih pilotne stijene.....   | 82 |
| Slika 64.: Graf uzdužnih pilotne stijene.....  | 83 |
| Slika 65.: Graf horizontalnih pomaka pilotne stijene.....  | 83 |
| Slika 66.: Faza 2-stanje naprezanja prilikom iskopa.....   | 84 |
| Slika 67.: Faza 3-stanje naprezanja pri ugradnji pilotne stijene i zasipa iza pilotne stijene<br>..... | 84 |
| Slika 68.: Faza 4-stanje naprezanja sa prometnim opterećenjem.....                                     | 84 |
| Slika 69.: Faza 5-konačno stanje izvedbe.....  | 85 |
| Slika 70.: Faza 6-stanje naprezanja sa potresnim opterećenjem.....                                     | 86 |
| Slika 71.: Graf momenata pilotne stijene.....  | 87 |
| Slika 72.: Graf poprečnih sila pilotne stijene.....  | 87 |
| Slika 73.: Graf uzdužnih sila pilotne stijene.....   | 88 |
| Slika 74.: Faza 1-početno stanje naprezanja.....   | 89 |
| Slika 75.: Faza 2-stanje naprezanja prilikom iskopa.....   | 90 |
| Slika 76.: Faza 3-stanje naprezanja pri ugradnji pilotne stijene i zasipa iza pilotne stijene<br>..... | 90 |
| Slika 77.: Faza 4-stanje naprezanja sa prometnim opterećenjem.....                                     | 90 |

---

|  |     |
|--|-----|
| Slika 78.: Faza 5-konačno stanje izvedbe .....   | 91  |
| Slika 79.: Faza 6-stanje naprezanja sa potresnim opterećenjem .....                                    | 92  |
| Slika 80.: Graf momenata pilotne stijene.....  | 93  |
| Slika 81.: Graf poprečnih sila pilotne stijene.....  | 93  |
| Slika 82.: Graf uzdužnih sila pilotne stijene.....   | 94  |
| Slika 83.: Graf horizontalnih pomaka pilotne stijene .....   | 94  |
| Slika 84.: Faza 2-stanje naprezanja prilikom iskopa.....   | 95  |
| Slika 85.: Faza 3-stanje naprezanja pri ugradnji pilotne stijene i zasipa iza pilotne stijene<br>..... | 95  |
| Slika 86.: Faza 4-stanje naprezanja sa prometnim opterećenjem .....                                    | 95  |
| Slika 87.: Faza 5-konačno stanje izvedbe .....   | 96  |
| Slika 88.: Faza 6-stanje naprezanja sa potresnim opterećenjem .....                                    | 97  |
| Slika 89.: Graf momenata pilotne stijene.....  | 98  |
| Slika 90.: Graf poprečnih sila pilotne stijene.....  | 98  |
| Slika 91.: Graf uzdužnih sila pilotne stijene.....   | 99  |
| Slika 92.: Shematski prikaz izvedbe pilota (Izvor: [13]) .....   | 106 |
| Slika 93.: Vrste bušećeg pribora (Izvor: [13]).....  | 107 |
| Slika 94.: Prikaz izvedbe CFA pilota (Izvor: [13]).....  | 107 |
| Slika 95.: Shematski prikaz opreme i postupka za ispitivanje integriteta (Izvor: [14])..               | 108 |
| Slika 96.: Rezultati ispitivanja, oštećen pilot označen crveno (Izvor: [15]) .....                     | 109 |
| Slika 97.: Inklinometarska sonda i elementi (Izvor: [16]) .....  | 110 |

## POPIS TABLICA

|  |    |
|--|----|
| Tablica 1.: Podaci o poziciji istražne bušotine i dubini ispitivanja (Izvor: [6]) .....  | 20 |
| Tablica 2.: Laboratorijska ispitivanja (Izvor: [6]) .....  | 21 |
| Tablica 3.: Rezultati klasifikacijskih ispitivanja (Izvor: [6]) .....  | 25 |
| Tablica 4.: Mehaničke karakteristike tla (Izvor: [6]) .....  | 25 |
| Tablica 5.: Iskustveni očekivani odnos karakteristične i srednje vrijednosti za tipične geotehničke parametre (Orr i Farrell 1999.) (Izvor: [8]) ..... | 29 |
| Tablica 6.: Dubina sloja GC po bušotinama .....  | 30 |
| Tablica 7.: Relevantni podaci terenskih ispitivanja .....  | 30 |
| Tablica 8.: Relevantni podaci laboratorijskih ispitivanja.....   | 30 |
| Tablica 9.: Poissonov koeficijent prema Poulos i Small (Izvor: [9]) .....  | 32 |
| Tablica 10.: Raspon koeficijenta propusnosti za tla prema USCS klasifikaciji (Izvor: [10]) .....   | 33 |
| Tablica 11.: Dubina sloja CL po bušotinama.....  | 34 |
| Tablica 12.: Relevantni podaci terenskih ispitivanja.....  | 34 |
| Tablica 13.: Relevantni podaci laboratorijskih ispitivanja.....  | 34 |
| Tablica 14.: Poissonov koeficijent prema Poulos i Small (Izvor: [9]) .....   | 37 |
| Tablica 15.: Raspon koeficijenta propusnosti za tla prema USCS klasifikaciji (Izvor: [10]) .....   | 39 |
| Tablica 16.: Dubina sloja GC po bušotinama .....   | 40 |
| Tablica 17.: Relevantni podaci laboratorijskih ispitivanja.....  | 40 |
| Tablica 18.: Poissonov koeficijent prema Poulos i Small (Izvor: [9]) .....   | 42 |
| Tablica 19.: Raspon koeficijenta propusnosti za tla prema USCS klasifikaciji (Izvor: [10]) .....   | 43 |
| Tablica 20.: Poissonov koeficijent prema Poulos i Small (Izvor: [9]) .....   | 44 |
| Tablica 21.: Raspon koeficijenta propusnosti za tla prema USCS klasifikaciji (Izvor: [10]) .....   | 45 |
| Tablica 22.: Parcijalni koeficijenti za GEO/STR za djelovanja, parametre materijala i otpornost prema EC-7 (Izvor: [8]) .....                          | 47 |
| Tablica 23.: Sumarna tablica karakterističnih vrijednosti parametara slojeva tla .....   | 49 |
| Tablica 24.: Sumarna tablica proračunskih vrijednosti parametara slojeva tla .....   | 49 |
| Tablica 25.: Klase temeljnog tla (Izvor: [10]).....  | 51 |
| Tablica 26.: Vrijednosti elastičnog spektra odziva S za različite klase tla/stijene (Izvor: [10]) .....  | 52 |
| Tablica 27.: Vrijednosti parametra konstrukcije r u ovisnosti o vrsti temeljne konstrukcije (Izvor: [10]) .....  | 52 |
| Tablica 28.: Geotehnički profil 1 .....  | 72 |
| Tablica 29.: Geotehnički profil 2 .....  | 72 |
| Tablica 30.: Geotehnički profil 3 .....  | 73 |
| Tablica 31.: Ulazni parametri elemenata (SIGMA).....   | 74 |

---

|   |     |
|---|-----|
| Tablica 32.: Sumarna tablica karakterističnih seizmičkih tlakova..... | 76  |
| Tablica 33.: Sumarna tablica proračunskih seizmičkih tlakova.....     | 76  |
| Tablica 34.: Sumarna tablica karakterističnih seizmičkih tlakova..... | 76  |
| Tablica 35.: Sumarna tablica proračunskih seizmičkih tlakova.....     | 76  |
| Tablica 36.: Rezne sile naglavne grede - geotehnički profil 2 .....   | 100 |
| Tablica 37.: Rezne sile i pomaci pilota - geotehnički profil 2.....   | 100 |
| Tablica 38.: Rezne sile naglavne grede - geotehnički profil 3 .....   | 101 |
| Tablica 39.: Rezne sile i pomaci pilota - geotehnički profil 3.....   | 101 |
| Tablica 40.: Rezne sile za proračun potrebne armature .....           | 102 |