

Glavni projekt primarnog i sekundarnog lukobrana luke Krilo Jesenice

Sladoja, Maja

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:

University of Split, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy / Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:123:080541>

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

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



Repository / Repozitorij:

[FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



**SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

DIPLOMSKI RAD

Maja Sladoja

Split, 2023.

**SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

Maja Sladoja

**Glavni projekt primarnog i sekundarnog lukobrana
luke Krilo Jesenice**

Diplomski rad

Split, 2023.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

STUDIJ: **DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**

KANDIDAT: MAJA SLADOJA

MATIČNI BROJ (JMBAG): 0083221863

KATEDRA: **Katedra za GEOTEHNIKU**

PREDMET: GEOTEHNIČKO INŽENJERSTVO

ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Tema: Glavni projekt primarnog i sekundarnog lukobrana luke Krilo Jesenice

Opis zadatka: Za predmetnu lokaciju izrađeni su geotehnički istražni radovi. Izvještaj o izrađenim geotehničkim istražnim radovima prilog je ovog zadatka. Na predmetnoj lokaciji nalaze se postojeći lukobrani koji se rekonstruiraju. Potrebno je izraditi glavni projekt primarnog i sekundarnog lukobrana u rekonstruiranom stanju.

U Splitu, 10.ožujka 2023.godine
Voditelj Diplomskog rada;

Prof.dr.sc. Predrag Mišćević

Predsjednik Povjerenstva
za završne i diplomske ispite:
Izv. prof. dr. sc. Ivan Balić

Glavni projekt primarnog i sekundarnog lukobrana luke Krilo Jesenice

Sažetak:

U ovom radu obrađena je tema stabilnosti već postojećih lukobrana na predmetnoj lokaciji u lučici Krila Jesenice. Prikazana je analiza statičke i seizmičke stabilnosti koji nisu zadovoljavali granična stanja nosivosti ni uporabljivosti te je predloženo rješenje u vidu sanacije. Prikazani su rezultati analize nakon što se u obzir uzeo utjecaj sanacije te se dao prijedlog o prihvaćanju iste.

Ključne riječi:

Lukobran, sanacija, statička stabilnost, seizmička stabilnost

The main project of the primary and secondary breakwater of the port of Krilo Jesenice

Abstract:

In this diploma thesis, the topic of stability of already existing breakwaters at the location in question in the port of Krilo Jesenice is covered. An analysis of static and seismic stability was presented, and it did not satisfied limit states of load capacity and serviceability so a solution in the form of rehabilitation is proposed. The results of the analysis after the impact of the rehabilitation were shown and a proposal was made to accept it.

Keywords:

Breakwater, rehabilitation, static stability, seismic stability

Sadržaj

| | | |
|--------|--|----|
| 1. | Tehnički opis | 5 |
| 1.1. | Uvod | 5 |
| 1.2. | Geotehnički istražni radovi | 6 |
| 1.2.1. | Geotehnički i inženjerskogeološki radovi | 6 |
| 1.2.2. | Inženjerskogeološke značajke lokacije | 7 |
| 1.2.3. | Podaci o podzemnoj vodi | 8 |
| 1.2.4. | Seizmičnost lokacije | 8 |
| 1.2.5. | Karakteristike geotehničkim jedinica | 9 |
| 2. | Model tla i geotehnički proračun | 10 |
| 2.1. | Općenito | 10 |
| 2.3. | Projektne slučajeve | 11 |
| 2.4. | Proračun stabilnosti nasipa | 13 |
| 2.5. | Primarni lukobran – Analiza za statičke uvjete | 14 |
| 2.6. | Sekundarni lukobran – trenutno stanje | 17 |
| 2.7. | Sanacija pokosa nasipa | 20 |
| 2.7.2. | Sekundarni lukobran – sanirana situacija | 24 |
| 3. | Seizmička projektna situacija | 27 |
| 3.1. | Općenito | 27 |
| 3.2. | Proračun za seizmičku situaciju | 28 |
| 3.3. | Primarni lukobran – seizmičko opterećenje | 29 |
| 3.4. | Sekundarni lukobran – seizmičko opterećenje | 31 |
| 3.5. | Analiza horizontalnih pomaka vrha nasipa u računalnom programu Slammer | 38 |
| 4. | Literatura | 40 |
| 5. | Prilozi | 41 |

1. Tehnički opis

1.1. Uvod

Na lokaciji lučice u Krilu Jesenice u sadašnjem stanju nalaze se primarni i sekundarni lukobran. Za potrebe rekonstrukcije istih izvršena je analiza njihove stabilnosti u sadašnjem stanju. Na temelju dobijenih rezultata zaključak je da uvjeti stabilnosti nisu zadovoljeni te se predlaže poboljšanje nasipa koje bi rezultiralo zadovoljenjem uvjeta statičke stabilnosti.

Naselje se nalazi u sklopu općine Dugi Rat u Splitsko-dalmatinskoj županiji. Na predmetnoj lokaciji se nalazi postojeća luka, izgrađena u prirodnoj uvali na obali Jadranskog mora. Postojeća Luka Krilo se sastoji od starog lukobrana koji formira lučicu, izvedenog u nekoliko faza te od gata koji se nalazi istočno od lukobrana.

Prethodnim ispitivanjima i istražnim bušenjem ustanovljeno je da se na predmetnoj lokaciji teren generalno sastoji od 5 različitih slojeva.

Gornji dio nasipa koji se sastoji od potporne konstrukcije i kamenog materijala je za potrebe geotehničkog proračuna stabilnosti nasipa aproksimiran kao jedinstvano stalno opterećenje na sloj kamenog nabačaja, a samim time i ostatak nižih slojeva tla ispod nasipa.

Sloj kamenog nabačaja u svom sastavu sadrži više različitih granulacija kamenog materijala, ali i otpadnog materijala različitog podrijetla.

U proračunima je korišten proračunski pristup 3 prema Eurocodu 7.

Geotehnički proračun stabilnosti pokosa nasipa je proveden u računalnom programu Slide. Rezultati su pokazali da faktor sigurnosti ne zadovoljava minimalne vrijednosti. Predloženo rješenje u ovom radu je da se na pokos postavi sloj kamenog materijala kojim bi se samnjio nagib pokosa i povećala stabilnost. Nakon izrade modela nasipa s tako saniranim pokosom nasipa, rezultati su dokazali da su zadovoljeni minimalni faktori sigurnosti prema PP3.

S obzirom da metodom graničnih stanja u seizmičkoj kombinaciji nije postignut zadovoljavajući faktor sigurnosti, izvršena je provjera graničnog stanja uporabljivosti, odnosno izračun očekivanog horizontalnog pomaka vrha nasipa. Analiza stabilnosti u seizmičkoj kombinaciji je ekstremno opterećenje koje traje samo djelić sekunde (akcelerogram potresa daje ubrzanja niz kosinu pa uz kosinu u djelićima sekunde) te zadovoljavanje tog uvjeta ekstremne sigurnosti.

1.2. Geotehnički istražni radovi

Za potrebe izrade geotehničkog elaborata koji je geotehnička podloga za izradu glavnog projekta provedeni su inženjerskogeološki i geotehnički istraživački radovi koji su se sastojali od;

- Geološke i geotehničke prospekcije šireg područja
- Istraživačkog bušenja
- Ispitivanja standardnim penetracijski test (SPT)
- Geofizička ispitivanja
- Inženjerskogeološkog kartiranja terena
- Obrade podataka ranijih istraživanja

Program geotehničkih istražnih radova je prilagođen uvjetima na terenu.

Na osnovu provedenih istraživanja kao i reinterpretacije ranijih istraživanja u širem području izrađen je geotehnički elaborat.

Geotehnički istraživački radovi su izvedeni u skladu s važećim normama i propisima.

Laboratorijska ispitivanja obuhvaćaju geomehanička ispitivanja uzoraka tla i stijene uzetih iz bušaćih jezgri.

1.2.1. Geotehnički i inženjerskogeološki radovi

Geotehnički i inženjerskogeološki radovi provedeni su u lipnju 2022. godine, a obuhvatili su geotehničku prospekciju i inženjerskogeološko kartiranje lokacije te izradu geotehničkog presjeka terena i geotehničkih profila bušotina prikazanih u prilogima 3.1.2.-3.1.9.

U sklopu inženjerskogeološkog kartiranja lokacije provedena je i geološka prospekcija šireg predmetnog područja sa osvrtom na morfologiju i aktivne geomorfološke procese.

Provedenim istraživačkim radovima određene su zastupljene inženjerskogeološke jedinice na istraživanoj lokaciji te njihove inženjerskogeološke značajke. Tlo je determinirano i klasificirano prema USCS (Unified Soil Classification System). Za stijenske mase određen je položaj pukotinskih sustava te njihove značajke, na kojima se temelji GSI klasifikacija stijenske mase. Izmjeren je razmak među pojedinim pukotinama, zapunjenost diskontinuiteta i stanje diskontinuiteta.

Paralelno s inženjerskogeološkim kartiranjem terena provedena je i geotehnička prospekcija, radi utvrđivanja geotehničkih jedinica istovrsnih fizikalno-mehaničkih karakteristika, a za potrebe utvrđivanja geotehničkog profila istraživane lokacije.

1.2.2. Inženjerskogeološke značajke lokacije

Inženjerskogeološke značajke predmetnog područja su određene na osnovu provedenih istraživačkih radova, inženjerskogeološkog kartiranja terena te korelacijom dobivenih podataka s podacima dosadašnjih istraživanja.

Utvrdeno je da predmetnu lokaciju izgrađuju četiri litostratigrafske jedinice, prikazane u tablici u nastavku:

| Geneza / stratigrafski simbol | | Inženjerskogeološki tip |
|-------------------------------|---|---|
| POKRIVAČ | NABAČAJ AF | INŽENJERSKO TLO: naslage slabo graduiranog šljunka; heterogena mješavina vapnenačkih blokova sa šljunkom, pijeskom, i sitnozrnatim česticama u različitim omjerima, srednje do dobre zbijenosti |
| | MARINSKI SEDIMENTI Q _m | INŽENJERSKO TLO: naslage dobro graduiranog pjeskovitog šljunka s glinom i prahom, rahle do srednje zbijenosti |
| | DELUVIJALNE BREČE d | EKSTREMNO DO VRLO SLABA STIJENA / INŽENJERSKO TLO: dezintegrirana (D) stijenska masa / naslage dobro graduiranog šljunka s glinom, srednje zbijenosti |
| PODLOGA | EOCENSKI FLIŠ ³ E _{2,3} | POTPUNO TROŠNA STIJENA/INŽENJERSKO TLO: dezintegrirana stijenska masa lapora/glina niske plastičnosti, srednje do krute konzistencije |
| | | VISOKO TROŠNA STIJENA: blokovito-poremećena (B/D) stijenska masa lapora |

Tablica 1. Litostratigrafske jedinice

U nabačaju, osim navedenih komponenti tla, lokalno se nalazi i otpad različitog podrijetla kao npr. čelične šipke i profili, armirano-betonski elementi, komadi salonitnih elemenata, razni plastični i tekstilni elementi itd. Heterogeni sastav ima izrazit utjecaj na globalnu stabilnost lukobrana.

Geotehničkim pregledom lokacije, ustanovljeno je da je geotehnički profil na lokaciji sastavljen od pet (5) geotehničkih jedinica prikazane u tablici u nastavku.

| Geotehnička jedinica | Litostratigrafska oznaka | Opis |
|----------------------|-------------------------------|---|
| GJ-1 | AF | Nabačaj: naslage slabo graduiranog šljunka (GP), srednje do dobre zbijenosti |
| GJ-2 | Q _m | Marinski sedimenti: naslage dobro graduiranog pjeskovitog šljunka (GW) s glinom i prahom, srednje zbijenosti |
| GJ-3 | d | Deluvijalne breče: dezintegrirana (D) stijenska masa / naslage dobro graduiranog šljunka (GW) s glinom, srednje zbijenosti |
| GJ-4 | ³ E _{2,3} | Potpuno trošni lapori: dezintegrirana stijenska masa lapora / glina niske plastičnosti, srednje do krute konzistencije |
| GJ-5 | ³ E _{2,3} | Visoko trošni lapori: blokovito-poremećena (B/D), slaba stijenska masa lapora / naslage glinovitog šljunka (GC), dobre zbijenosti |

Tablica 2. Geotehničke jedinice

1.2.3. Podaci o podzemnoj vodi

Hidrogeološke značajke zastupljenih jedinica su prikazane u tablici u nastavku:

| Geneza / litostratigrafske jedinice / stratigrafski simbol | | USCS / Dearman, 1976 | Tip poroznosti | Vodopropusnost | |
|--|--------------------|----------------------|-----------------|--|--|
| POKRIVAČ | NABAČAJ | AF | GW, GP, GC | PRIMARNA (međuzrnska) | PROPUSNO - ($k=10^{-3}-10^{-7}$ m/s) |
| | MARINSKI SEDIMENTI | Q_m | GW, CL | PRIMARNA/ SEKUNDARNA | POLUPROPUSNO - NEPROPUSNO ($k=10^{-5}-10^{-7}$ m/s) |
| | DELUVIJALNE BREČE | d | GC / WH | (međuzrnska/pukotinska) | |
| PODLOGA | EOCENSKI FLIŠ | $^3E_{2,3}$ | WC/CL, WH,WM | PRIMARNA/ SEKUNDARNA (međuzrnska/pukotinska) | NEPROPUSNO ($k < 10^{-9}$ m/s) |

Tablica 3. Poroznost i vodopropusnost zastupljenih litoloških jedinica

Podzemna voda predmetne lokacije ovisi o moru te morskim mijenama. Za potrebe izrade elaborata usvojena je razina mora na 0,00 m n.m.

1.2.4. Seizmičnost lokacije

Utjecaj vrste temeljnog tla na vrijednosti seizmičkog opterećenja u HRN EN 1998-1 se uzima u obzir preko razreda tla. Tlo na predmetnoj lokaciji spada u tlo razreda E- Profil tla koji se sastoji od površinskog aluvijalnog sloja s vrijednostima v_s za tipove C ili D i debljinom između 5 i 20 m ispod kojeg je kruti materijal $v_s > 800$ m/s.

Usvaja se vrijednost poredbenog maksimalnog ubrzanja u tlu razreda A za TDLR = 95 god od $a_{g_R} = 0,113g$ i TNCR = 475 god od $a_{g_R} = 0,219g$.

U HRN EN 1998-1 elastični spektar odziva $S_e(T)$ definiran je za horizontalnu komponentu potresnog djelovanja. Vrijednosti perioda T_B , T_C , T_D i faktora tla S koje opisuju oblik elastičnog spektra odziva ovise o tipu temeljnog tla.

Usvajaju se sljedeće vrijednosti parametara koje opisuju preporučeni spektar odziva tipa 1 za tlo razreda E:

- Donja granica perioda s granom konstantnog spektralnog ubrzanja: $T_B = 0,15$ s
- Gornja granica perioda s granom konstantnog spektralnog ubrzanja: $T_C = 0,50$ s
- Vrijednost koja definira početak konstantnog raspona odziva u spektru pomaka: $T_D = 2,00$ s
- Faktor tla: $S = 1,40$

1.2.5. Karakteristike geotehničkim jedinica

Usvajaju se sljedeće vrijednosti parametara geotehničke jedinice 1 – Nabačaj:

- Kut unutarnjeg trenja $\phi = 35,0-37,5^\circ$
- Kohezija $c = 0,0 \text{ kN/m}^2$
- Zapreminska težina $\gamma = 18,0-19,5 \text{ kN/m}^3$
- Uronjena zapreminska težina $\gamma' = 10,5-12,0 \text{ kN/m}^3$
- Modul elastičnosti $E = 15,0 - 25,0 \text{ MPa}$

Usvajaju se sljedeće vrijednosti parametara geotehničke jedinice 2 - Marinski sedimenti:

- Kut unutarnjeg trenja $\phi = 32,5-55,0^\circ$
- Kohezija $c = 2,0-5,0 \text{ kN/m}^2$
- Zapreminska težina $\gamma = 16,0-17,0 \text{ kN/m}^3$
- Uronjena zapreminska težina $\gamma' = 8,5-9,5 \text{ kN/m}^3$
- Modul elastičnosti $E = 5,0 - 7,0 \text{ MPa}$

Usvajaju se sljedeće vrijednosti parametara geotehničke jedinice 3 – Deluvijalne breče:

- Kut unutarnjeg trenja $\phi = 35,0-37,5^\circ$
- Kohezija $c = 2,0-5,0 \text{ kN/m}^2$
- Zapreminska težina $\gamma = 17,5-18,5 \text{ kN/m}^3$
- Uronjena zapreminska težina $\gamma' = 10,0-11,0 \text{ kN/m}^3$
- Modul elastičnosti $E = 10,0 - 15,0 \text{ MPa}$

Usvajaju se sljedeće vrijednosti parametara geotehničke jedinice 4 – Potpuno trošni lapori:

- Kut unutarnjeg trenja $\phi = 25,0-30,0^\circ$
- Kohezija $c = 5,0-10,0 \text{ kN/m}^2$
- Zapreminska težina $\gamma = 20,0-21,0 \text{ kN/m}^3$
- Uronjena zapreminska težina $\gamma' = 10,0-11,0 \text{ kN/m}^3$
- Modul elastičnosti $E = 10,0 - 15,0 \text{ MPa}$

Usvajaju se sljedeće vrijednosti parametara geotehničke jedinice 5 – Visoko trošni lapori:

- Kut unutarnjeg trenja $\phi = 35,0-37,5^\circ$
- Kohezija $c = 2,0-5,0 \text{ kN/m}^2$
- Zapreminska težina $\gamma = 17,5-18,5 \text{ kN/m}^3$
- Uronjena zapreminska težina $\gamma' = 10,0-11,0 \text{ kN/m}^3$
- Modul elastičnosti $E = 20,0 - 25,0 \text{ MPa}$

2. Model tla i geotehnički proračun

U proračunu su analizirani karakteristični poprečni presjeci lukobrana koji se nalaze na mjestima najvećih dubina u odnosu na ostale presjke.

Presjek 11-11 na primarnom lukobranu i presjek 14-14 na sekundarnom lukobranu.

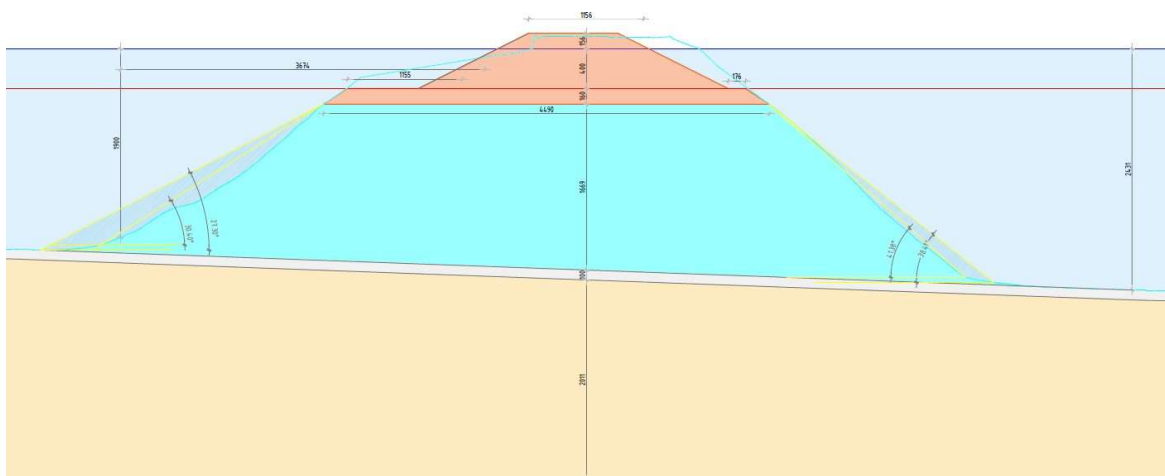
Opterećenje uslijed djelovanja konstrukcije koja je planirana na nasipu je u postupku analiza provedenih i prikazanih u ovom radu je aproksimirano kao jedinstveno opterećenje.

2.1. Općenito

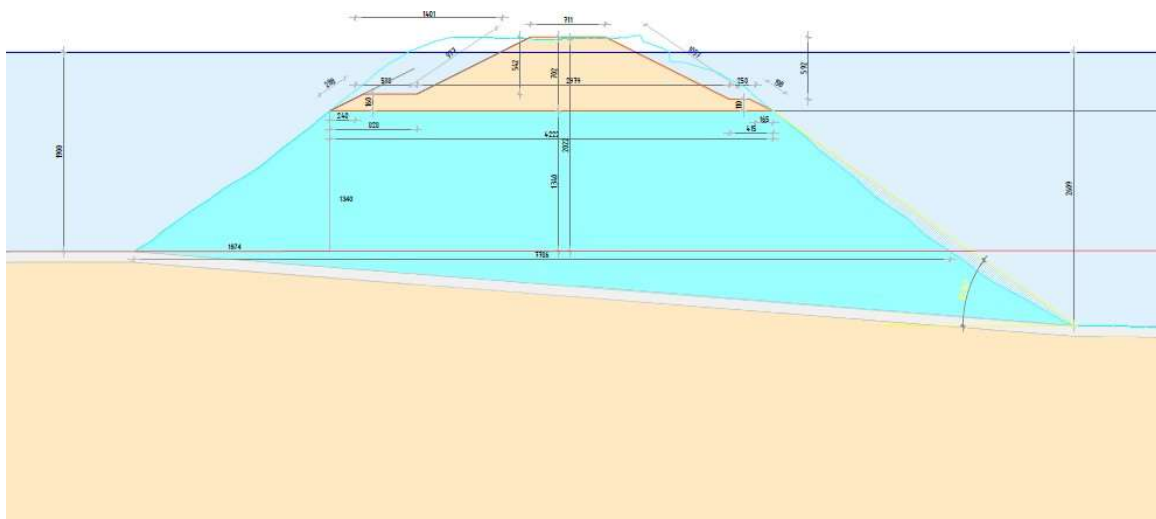
Proračuni stabilnosti kosina pokosa izvršeni su na osnovu raspoloživih podataka o geometriji planirane građevine, planiranih iskopa i geološkoj građi terena. Proračuni su izvršeni prema EN 1997-1:2010.

Prema EN 1997-1 sve navedene geotehničke konstrukcije pripadaju Geotehnička kategoriji građevine: GC3.

2.2. Geometrija nasipa



Slika 1. Prikaz geometrije primarnog nasipa



Slika 2. Prikaz geometrije sekundarnog nasipa

Zbog heterogenog sastava nasipa, dolazi do pojava lokalnih obrušavanja. Zbog toga je izrađena prikazana aproksimacija za kutovima koji osiguravaju stabilnost nasipa i sprječavaju spomenuta obrušavanja.

2.3. Projektni slučajevi

Proračun se vrši prema **HRN EN 1997-1:2012**

Granično stanje nosivosti GEO/STR, projektni pristup 3: (A_1^d ili A_2^e) + M_2 + R_3

| Parametar tla | Oznaka | Vrijednost |
|--------------------------------|-------------------|------------|
| Kut unutarnjeg trenja | $\gamma_{tg\phi}$ | 1,25 |
| Efektivna kohezija | γ_c | 1,25 |
| Nederenirana posmična čvrstoća | γ_{cu} | 1,40 |
| Otpornost tlačnih pilota | $\gamma_{s,1}$ | 1,40 |
| Otpornost sidara | γ_a | 1,40 |

Tablica 4. Parcijalni faktori po PP3

HRN EN 1997-1:2012

Za proračun stabilnosti na klizanje i nosivost tla koristimo granično stanje nosivosti: GEO

- Za proračunski pristup 3: $(A1 \frac{d}{e} \text{ ili } A2) + M2 + R3$
 d - za sile od konstrukcije
 e - za geotehničke sile

Parcijalni faktori za granična stanja STR i GEO:

| (1) Parcijalni faktori djelovanja (γF) i učinka djelovanja (γE) Djelovanja simbol A1 A2 | | | | | |
|---|------------------|------|------|-----|----|
| trajna nepovoljna | $\gamma_{G,dat}$ | 1,35 | 1,0 | | |
| povoljna | $\gamma_{G,ttb}$ | 1,0 | 1,0 | | |
| promjenjiva nepovoljna | $\gamma_{Q,dat}$ | 1,5 | 1,3 | | |
| povoljna | $\gamma_{Q,ttb}$ | 0 | 0 | | |
| (2) Parcijalni faktori svojstva materijala (tlo, stijena) (γM) Svojstvo simbol M1 M2 | | | | | |
| tangens efektivnog kuta trenja | γ_{ϕ} | 1,0 | 1,25 | | |
| efektivna kohezija | γ_c | 1,0 | 1,25 | | |
| težinska gustoća | γ_r | 1,0 | 1,0 | | |
| (3) Parcijalni faktori otpora (γR): | | | | | |
| Otpornost | simbol | R1 | R2 | R3 | R4 |
| Potporne konstrukcije nosivost | $\gamma_{R,v}$ | 1,0 | 1,4 | 1,0 | - |
| klizanje | $\gamma_{R,h}$ | 1,0 | 1,1 | 1,0 | - |
| otpor tla | $\gamma_{R,e}$ | 1,0 | 1,4 | 1,0 | - |
| prevrtanje | γ_R | 1,0 | 1,0 | 1,0 | - |

Tablica 4. Prikaz parcijalnih faktora za proračunski princip 3

2.4. Proračun stabilnosti nasipa

Rekonstrukcija lukobrana je planirana na nabačaju koji se već nalazi na predmetnoj lokaciji. Provedena su ispitivanja te analize samog sloja nabačaja.

Naslage nabačaja su u sklopu predmetne lokacije zastupljene kontinuirano, u sklopu nasutih rubnih obalnih dijelova predmetne lokacije te gatova.

Prema podacima provedenih istraživačkih radova, nabačaj je predstavljen heterogenom mješavinom vapnenačkih blokova i blokova betona sa šljunkom, pijeskom, i sitnozrnatim česticama.

U geomehničkom smislu, naslage nabačaja kao cjelina predstavljaju naslage slabo graduiranog šljunka (GP) s karbonatnim blokovima veličine do cca 30 cm i odlomcima opeke, srednje do dobre zbijenosti, koja je prema tim parametrima podijeljena u dvije geotehničke jedinice. Debljina nabačaja utvrđena istraživačkim radovima iznosi od 7,0 m, do 26,00 m. Veličina karbonatnih blokova u sklopu nabačaja kreće se do cca 30 cm.

Proračun je izvršen sa programom Slide. Analiza je izvršena metodom graničnih stanja sa kružnim kliznim plohama i automatskim traženjem kritične klizne plohe.

Korištene metode su Bishop, Spencer i Janbu.

Proračunske (projektne vrijednosti) za analize graničnog stanja nosivosti izvode se iz karakterističnih vrijednosti uz primjenu parcijalnih koeficijenata.

$$c_d = \frac{c_k}{1.25}$$
$$\tan\varphi_d = \frac{\tan\varphi_k}{1.25}$$





Analiza za statičku kombinaciju opterećenja provedena je uzimajući u obzir geometriju nasipa, debljinu i karakteristike slojeva nasipa te opterećenje uslijed konstrukcija koje su planirane na sloju nabačaja. Korišten je proračunski pristup 3 te pripadajući parcijalni faktori.

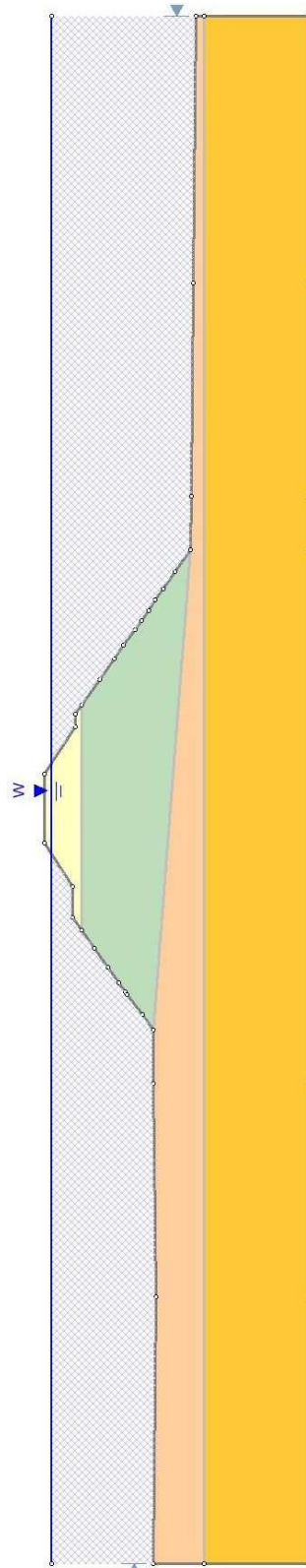
Naime, u slučaju da karakteristične vrijednosti parametara geotehničkih jedinica nisu korigirane parcijalnim faktorima PP3, faktor sigurnosti bi zadovoljavao minimalnu vrijednost (cca. 1,00).

Međutim, proračun je proveden prema PP3 te su u obzir uzeti pripadajući parcijalni faktori, a karakteristične vrijednosti parametara tla korigirane njima. Samim time, faktor sigurnosti je manji od minimalne vrijednosti te na lukobranu nije postignuta razina sigurnosti.

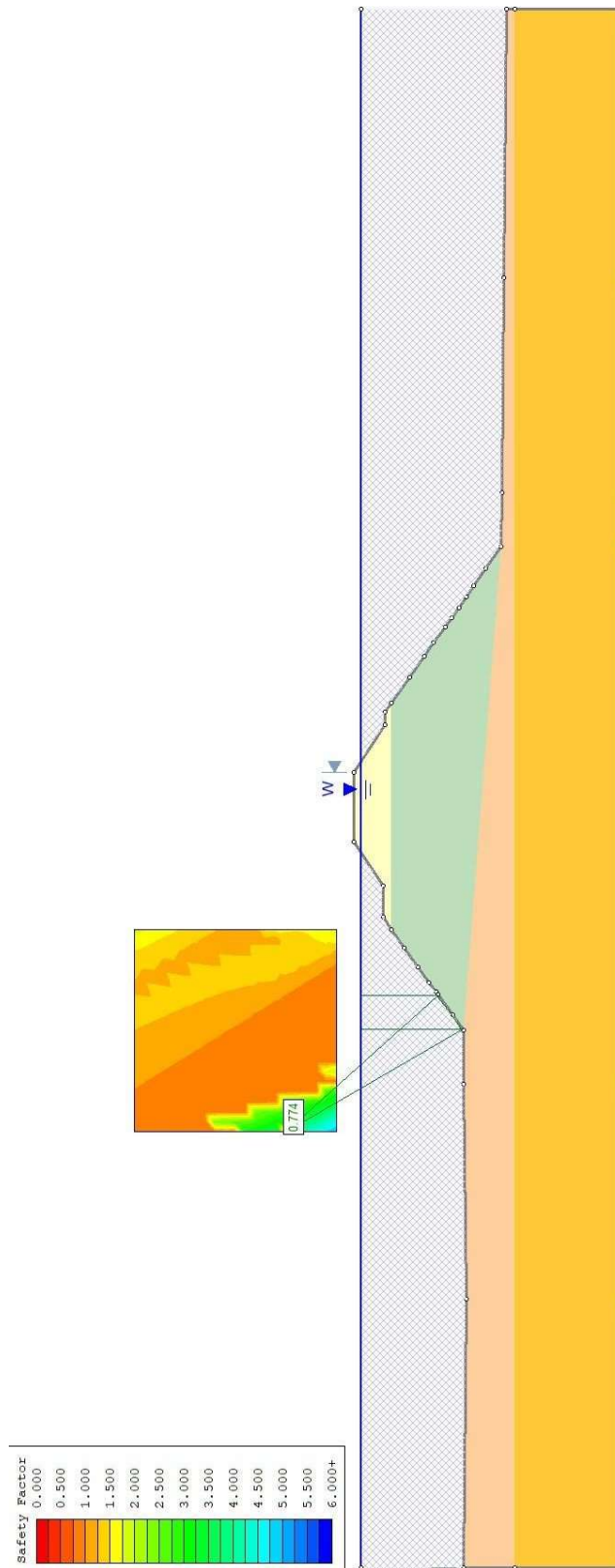
Rezultati tako provedenog proračuna su prikazani u nastavku.

2.5. Primarni lukobran – Analiza za statičke uvjete

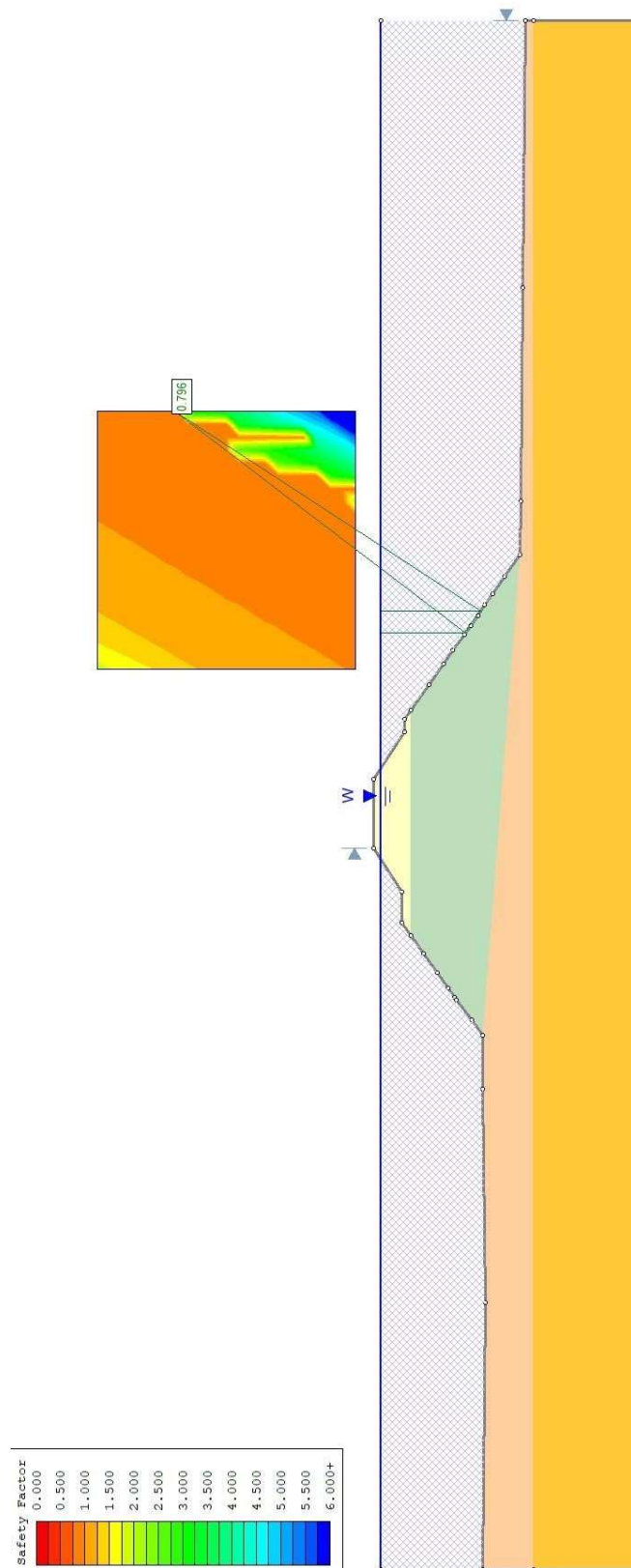
| Material Name | Color | Unit Weight (kN/m ³) | Strength Type | Cohesion (kPa) | Phi (deg) | Water Surface | Hu Type |
|---------------------|---|----------------------------------|---------------|----------------|-----------|---------------|----------|
| Nasipni materijal |  | 22 | Mohr-Coulomb | 0 | 42 | Water Surface | Constant |
| Nabavaj |  | 18 | Mohr-Coulomb | 0 | 35 | Water Surface | Constant |
| Marrinski sedimenti |  | 16 | Mohr-Coulomb | 2 | 32.5 | Water Surface | Constant |
| Deluvijalne brece |  | 17.5 | Mohr-Coulomb | 2 | 35 | Water Surface | Constant |



Slika 1. Model presjeka primarnog lukobrana

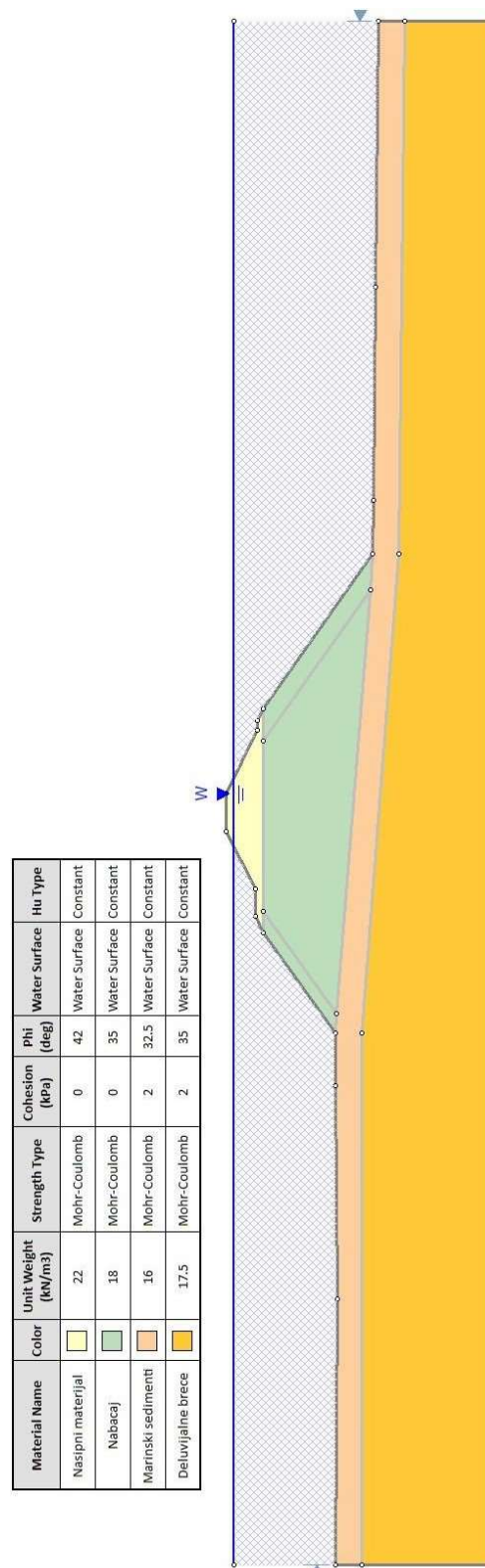


Slika 2. Rezultati analize stabilnosti za lijevu stranu primarnog lukobrana
Kritična klizna ploha za lijevu stranu primarnog lukobrana čiji je koeficijent sigurnosti $F_s = 0,774$.

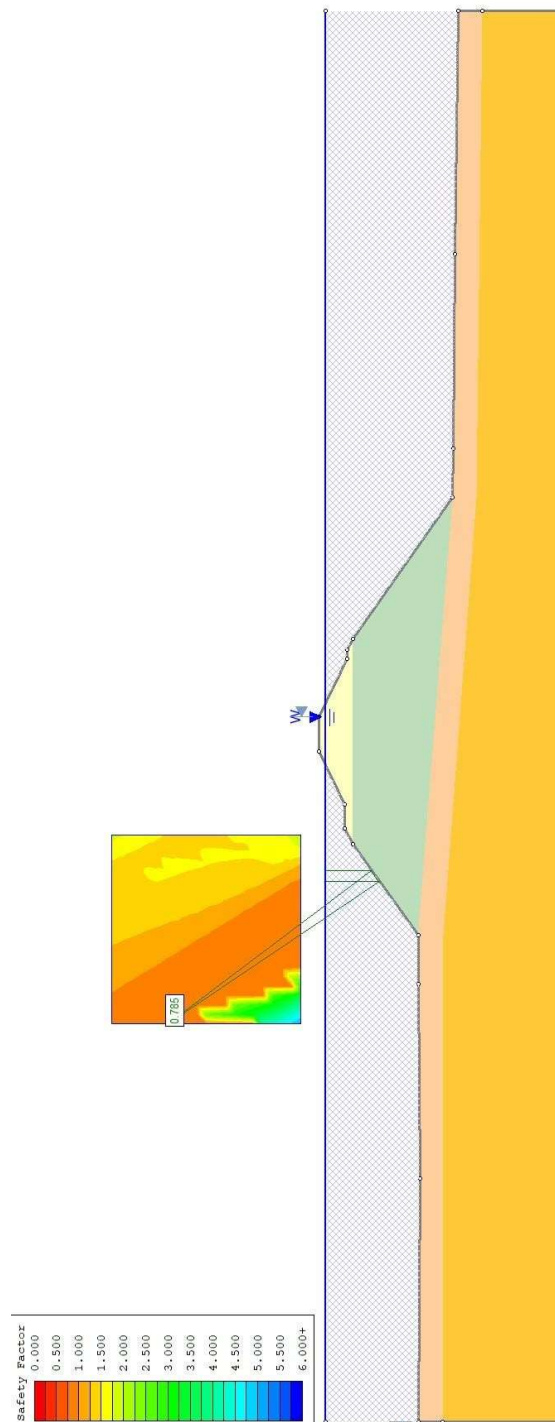


Slika 3. Rezultati analize stabilnosti za desnu stranu primarnog lukobrana
Kritična klizna ploha za desnu stranu primarnog lukobrana čiji je koeficijent sigurnosti $F_s = 0,796$.

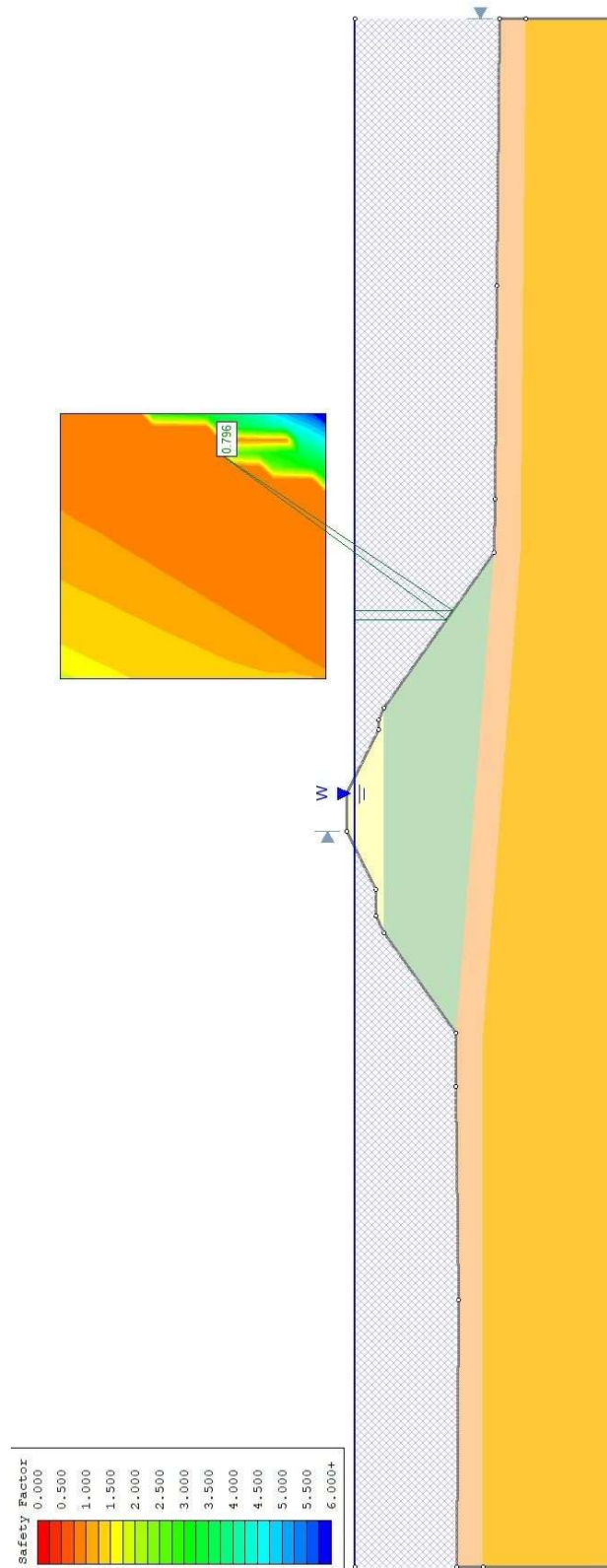
2.6. Sekundarni lukobran – trenutno stanje



Slika 4. Model presjeka sekundarnog lukobrana



Slika 5. Rezultati analize stabilnosti za lijevu stranu sekundarnog lukobrana
Kritična klizna ploha za lijevu stranu sekundarnog lukobrana čiji je koeficijent sigurnosti $F_s = 0,785$.



Slika 6. Rezultati analize stabilnosti za desnu stranu sekundarnog lukobrana

Kritična klizna ploha za desnu stranu sekundarnog lukobrana čiji je koeficijent sigurnosti $F_s = 0,796$.

2.7. Sanacija pokosa nasipa






Iz rezultata dobijenih pomoću programa Slide, vidljivo je da koeficijenti sigurnosti ne zadovoljavaju po PP3. Zbog toga se predlaže sanacija nasipa.

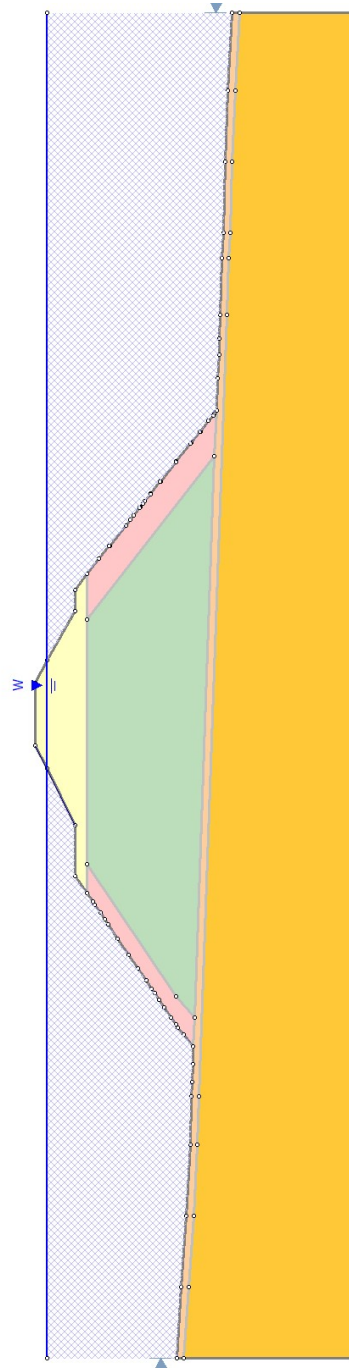
Sanacija se izvodi na način da se prvo pristupa uklanjanju površinskog dijela nasipa i vrši se zamjena kvalitetnim kamenim nabačajem sa svojstvima koja osiguravaju zadovoljavajući kut trenja. Naime kut trenja će se povećati što će utjecati na rezultate stabilnosti samog nasipa.

Nakon što se ukloni površinski sloj sa nasipa, postavlja se sloj geomreže prije nasipavanja kamenog materijala.

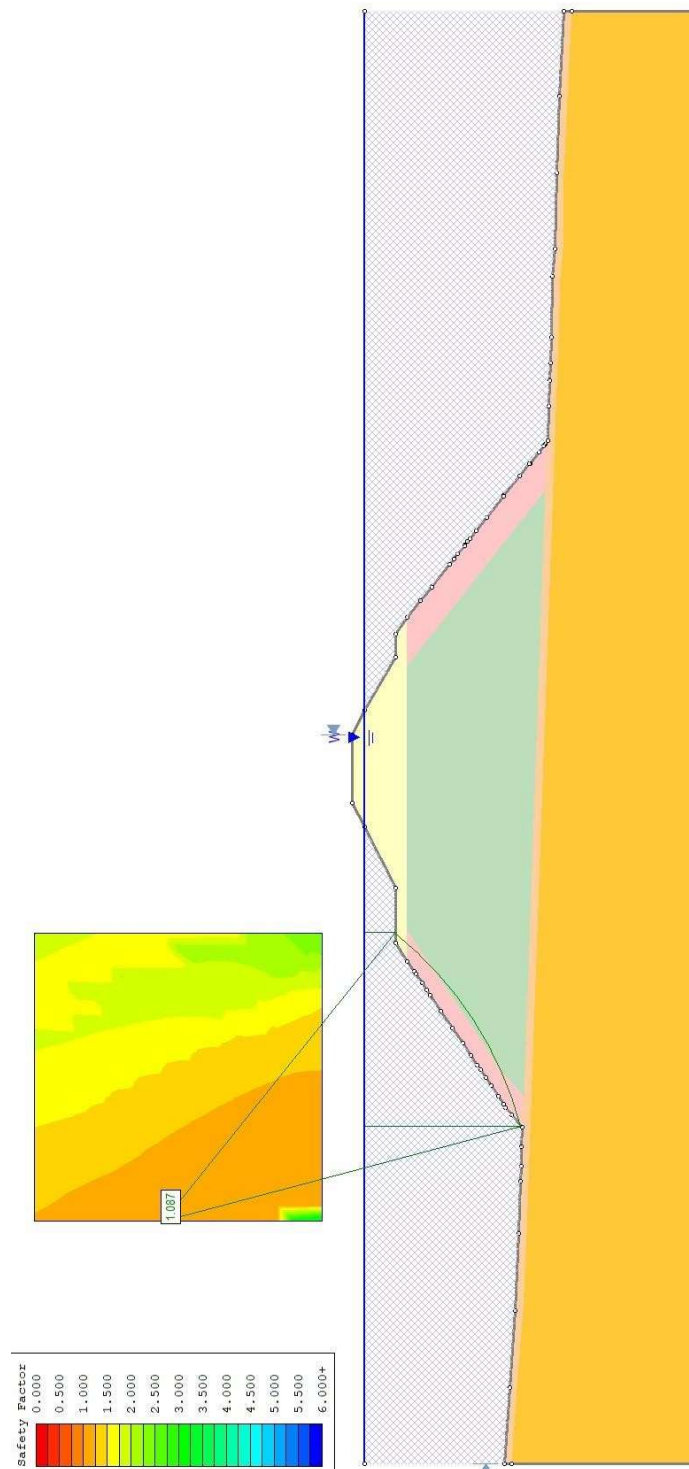
Prikaz geometrije saniranog nasipa i rezultati stabilnosti statičke analize su prikazani u nastavku rada.

2.7.1. Primarni lukobran – Analiza za statičke uvjete

| Material Name | Color | Unit Weight (kN/m ³) | Strength Type | Cohesion (kPa) | Phi (deg) | Water Surface | Hu Type |
|-------------------|---|----------------------------------|---------------|----------------|-----------|---------------|----------|
| Nasipni materijal |  | 22 | Mohr-Coulomb | 0 | 45 | Water Surface | Constant |
| Nabačaj |  | 18 | Mohr-Coulomb | 0 | 38 | Water Surface | Constant |
| Mariški sedimenti |  | 16 | Mohr-Coulomb | 2 | 32.5 | Water Surface | Constant |
| Eocenski fliš |  | 20 | Mohr-Coulomb | 5 | 25 | Water Surface | Constant |
| Kameni materijal |  | 22 | Mohr-Coulomb | 0 | 45 | Water Surface | Constant |

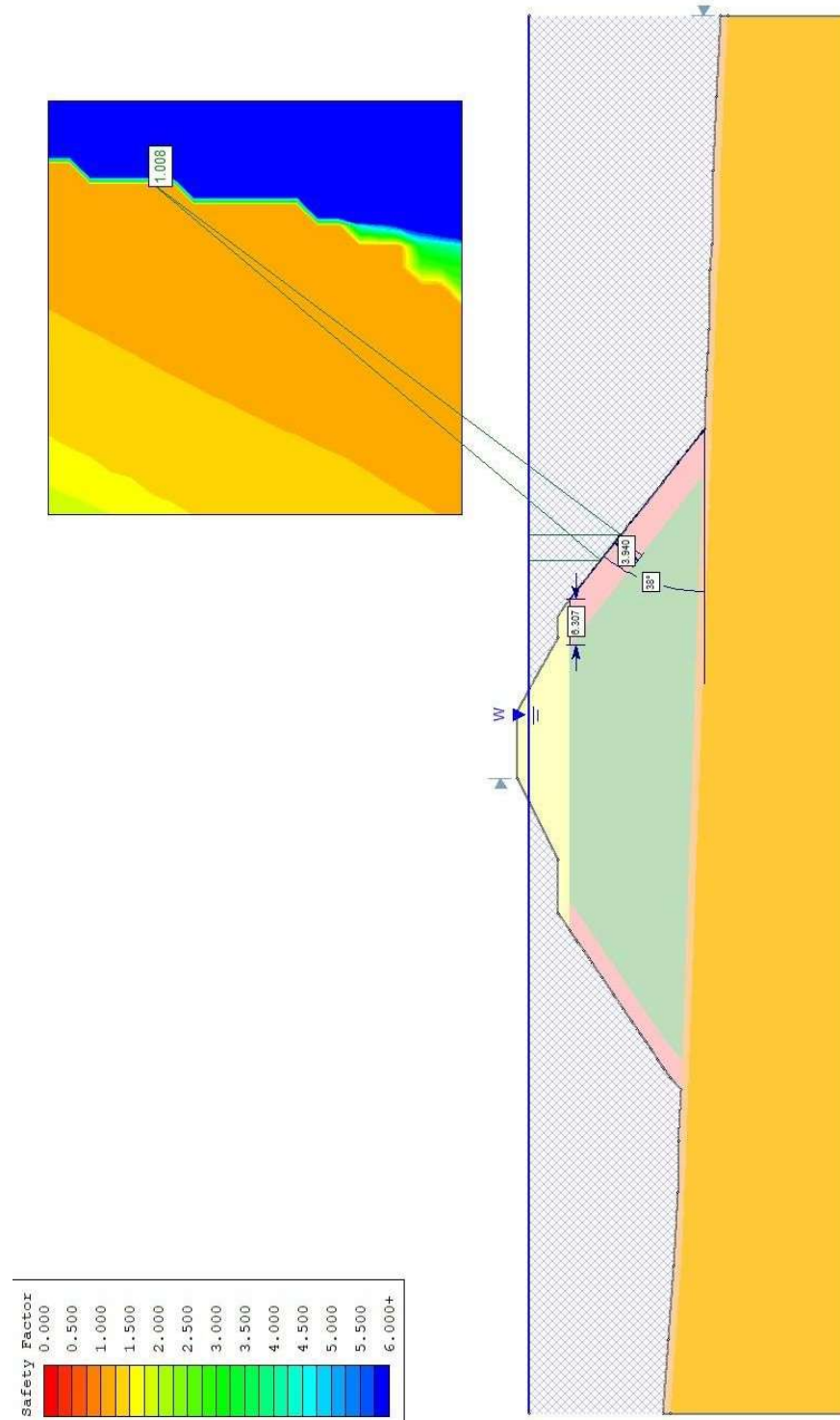


Slika 7. Model primarnog lukobrana sa saniranim pokosom nasipa



Slika 8. Rezultati analize stabilnosti lijeve strane primarnog nosača sa saniranim pokosom nasipa

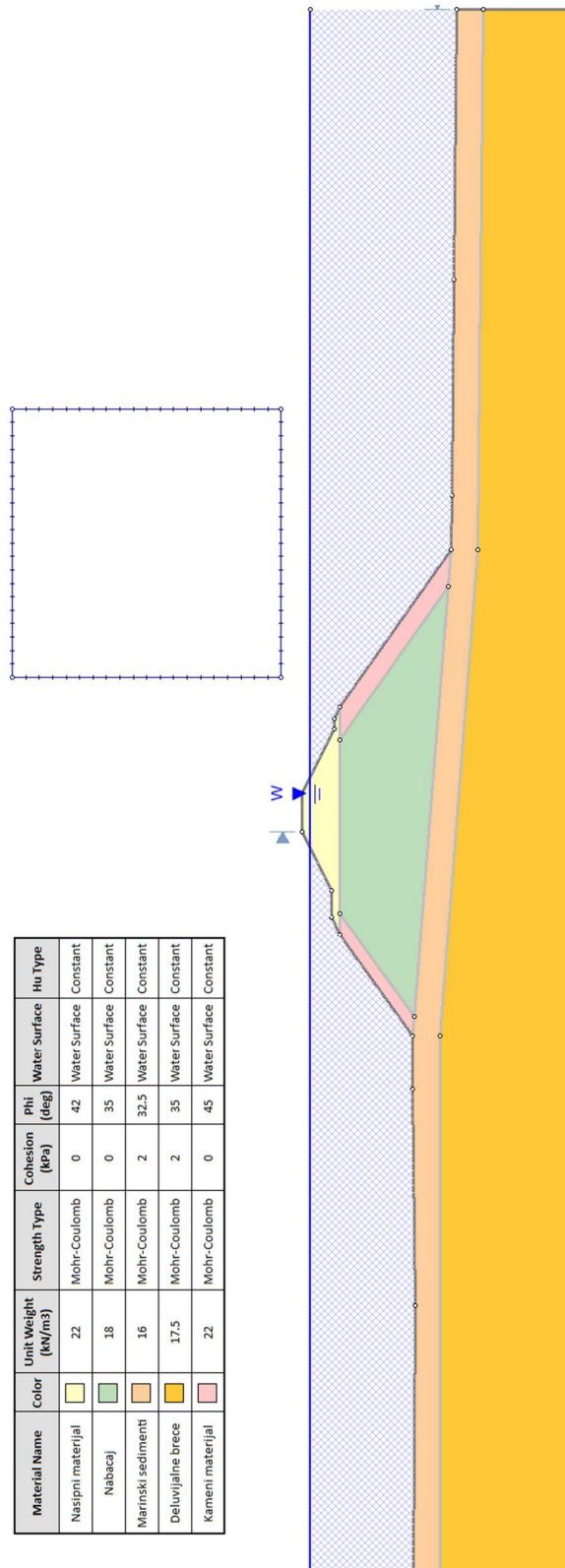
Kritična klizna ploha za lijevu stranu primarnog lukobrana čiji je koeficijent sigurnosti $F_s = 1,087$.



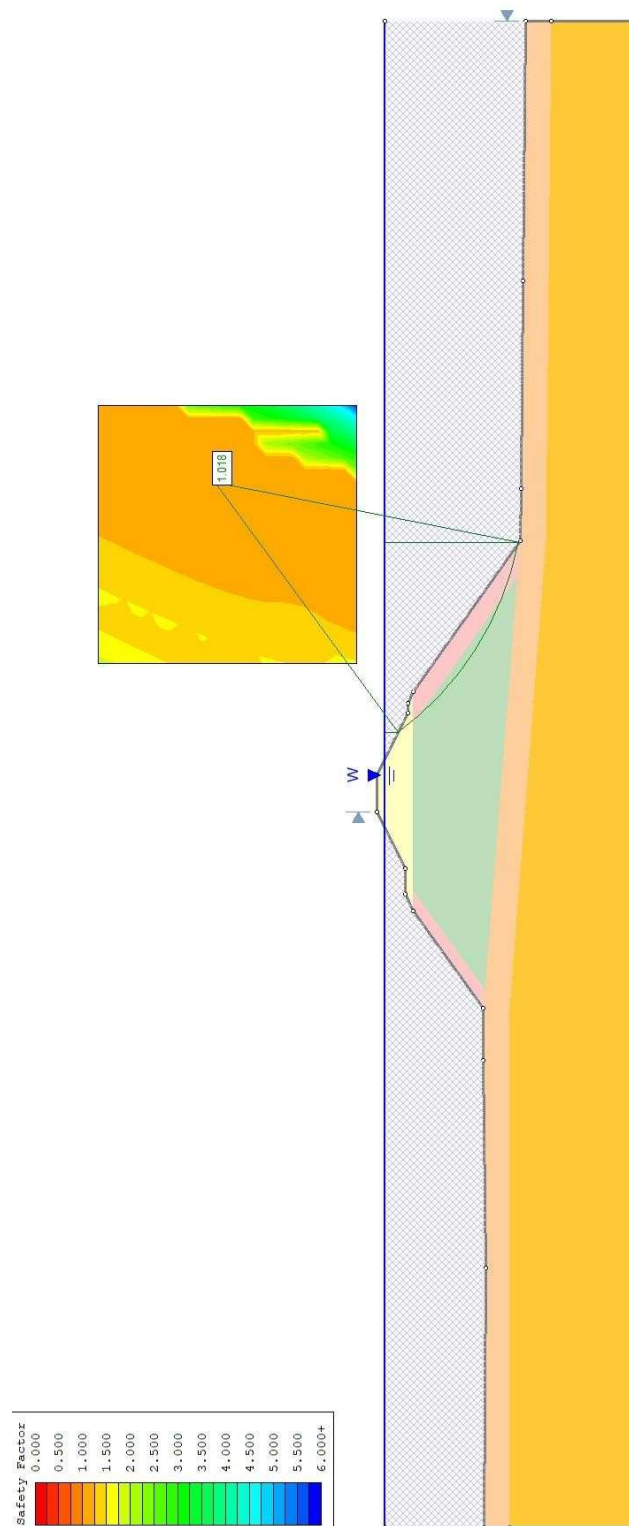
Slika 9. Rezultati analize stabilnosti desne strane primarnog nosača sa saniranim pokosom nasipa

Kritična klizna ploha desne strane primarnog lukobrana čiji je koeficijent sigurnosti $F_s = 1,008$.

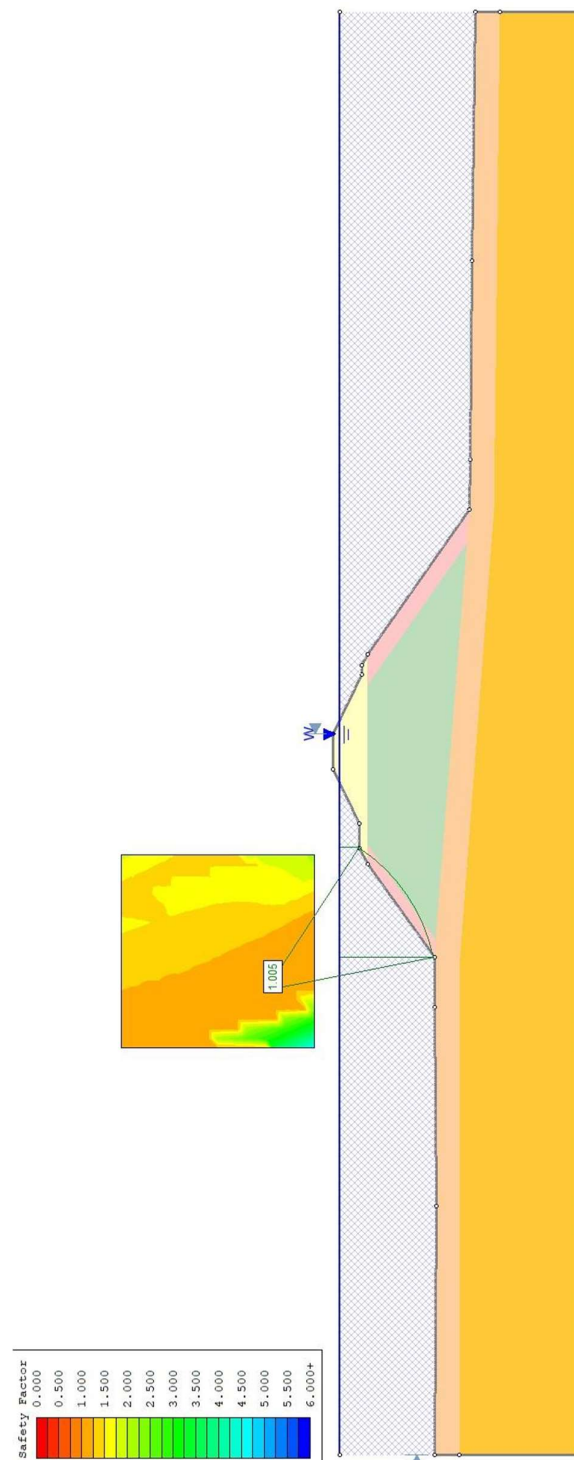
2.7.2. Sekunadni lukobran – sanirana situacija



Slika 10. Model sekundarnog lukobrana sa saniranim pokosom nasipa



Slika 11. Rezultati analize stabilnosti desne strane sekundarnog lukobrana sa saniranim pokosom
Kritična klizna ploha desne strane sekundarnog lukobrana čiji je koeficijent sigurnosti $F_s = 1,018$.



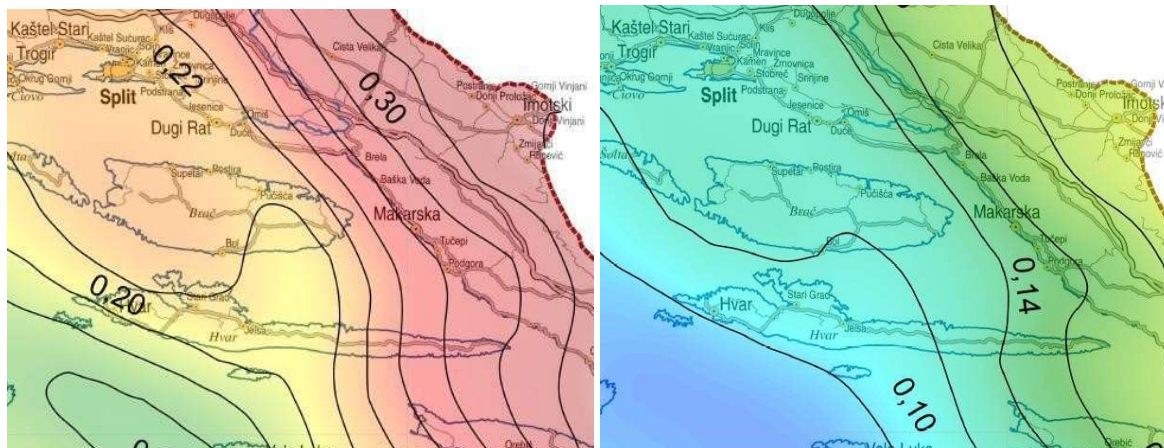
Slika 12. Rezultati analize stabilnosti lijeve strane sekundarnog lukobrana sa saniranim pokosom

Kritična klizna ploha lijeve strane sekundarnog lukobrana čiji je koeficijent sigurnosti $F_s = 1,005$.

3. Seizmička projektna situacija

3.1. Općenito

Predmetna lokacija nalazi se u općini Dugi Rat, u Splitsko-dalmatinskoj županiji. Vrijednost poredbenih vršnih ubrzanja temeljnog tla a_gR (za temeljno tlo tipa A), s vjerojatnosti prekoračenja 10 % u 50 godina, za poredbeno povratno razdoblje $TNCR = 475$ godina te poredbenih vršnih ubrzanja temeljnog tla a_gR (za temeljno tlo tipa A), s vjerojatnosti prekoračenja 10 % u 10 godina, za poredbeno povratno razdoblje $TDLR = 95$ godina prikazane su na sljedećim slikama.



Karta poredbenih vršnih ubrzanja temeljnog tla a_gR (temeljno tlo tipa A), s vjerojatnosti prekoračenja 10% u 50 godina, za poredbeno povratno razdoblje $TNCR = 475$ god. (slika lijevo) te karta poredbenih vršnih ubrzanja temeljnog tla a_gR (temeljno tlo tipa A), s vjerojatnosti prekoračenja 10 % u 10 godina, za poredbeno povratno razdoblje $TNCR = 95$ god. (slika desno).

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

3.2. Proračun za seizmičku situaciju

Pri seizmičkom djelovanju seizmički val predaje konstrukciji i tlu iza konstrukcije horizontalno k_h i vertikalno k_v ubrzanje. Ovisno o smjeru nailaska seizmičkog vala, vertikalna komponenta ubrzanja može djelovati prema gore ili prema dolje.

Horizontalno ubrzanje tla određeno je geotehničkim izvještajem; $a_g = 0,219g$.

Parametar S za tip tla A i horizontalno ubrzanje za povratno razdoblje od 475 godina ; $S = 1,0$.

Horizontalni seizmički koeficijent prema HRN EN 1998-5:

$$k_h = 0,5 \cdot \alpha \cdot S = 0,5 \cdot 0,219 \cdot 1,0 = 0,1095$$
$$\alpha = \frac{a_g}{g} = \frac{0,219g}{g} = 0,219$$

gdje je;

α – omjer proračunskog ubrzanja i ubrzanja sile teže

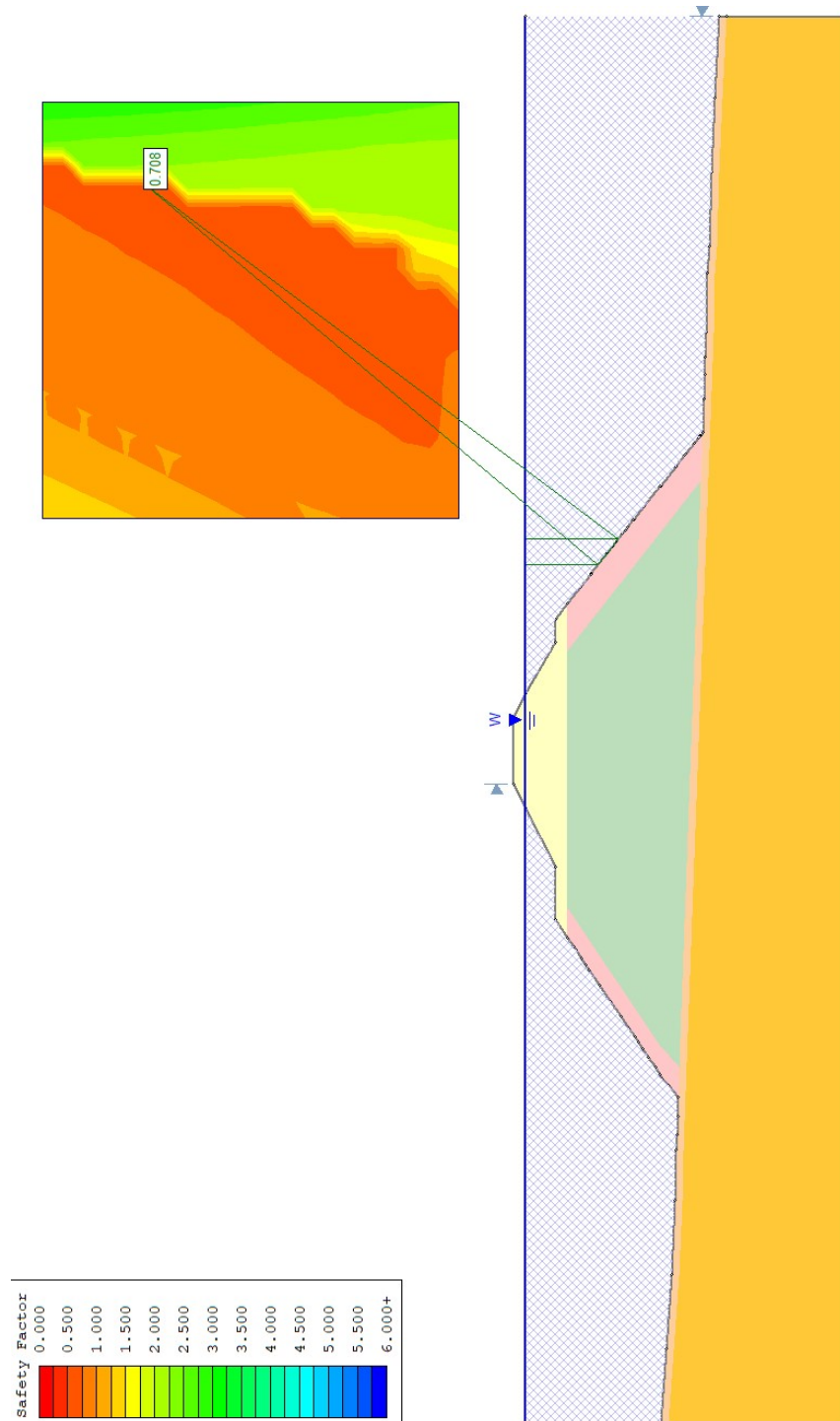
S – faktor tipa tla

W – vlastita težina

Vertikalni seizmički koeficijent;

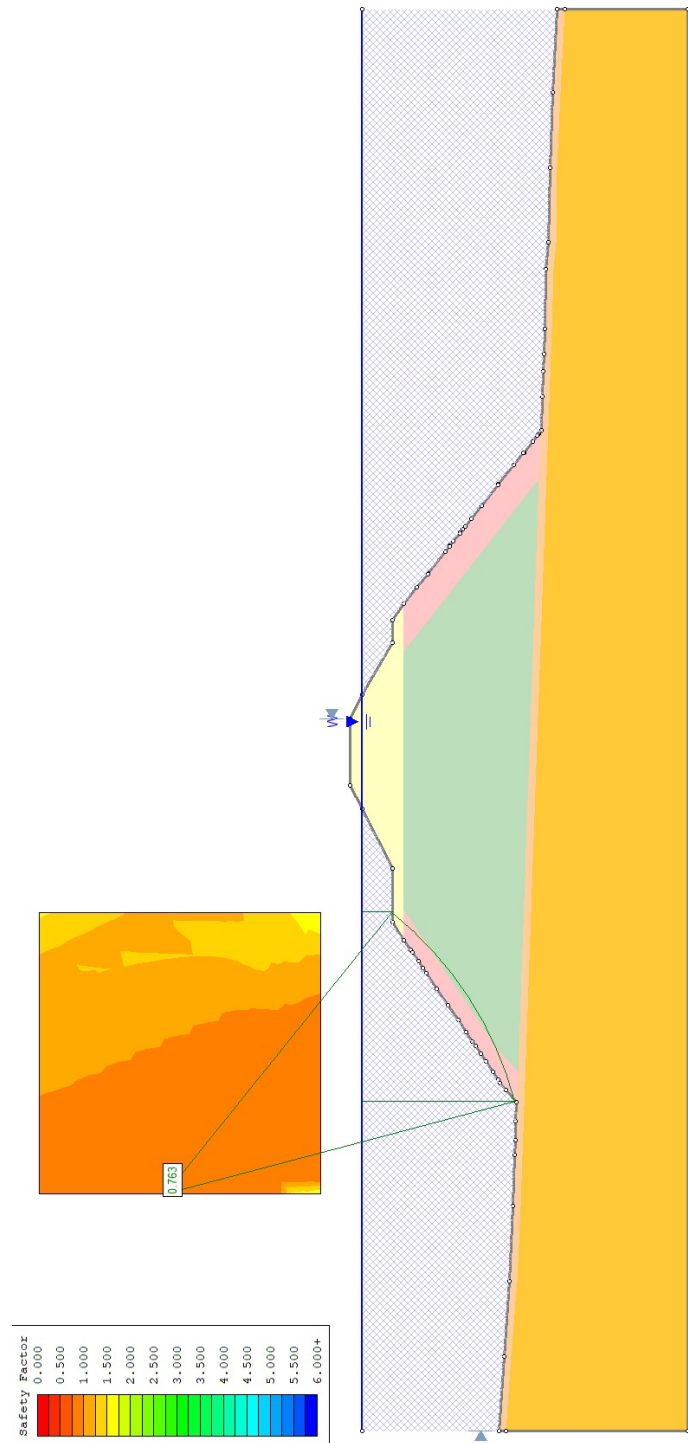
$$k_v = 0,5 \cdot k_h = 0,5 \cdot 0,1095 = 0,05475$$

3.3. Primarni lukobran – seizmičko opterećenje



Slika 13. Rezultati za desnu stranu primarnog lukobrana sa saniranim pokosom uslijed djelovanja seizmičkog opterećenja

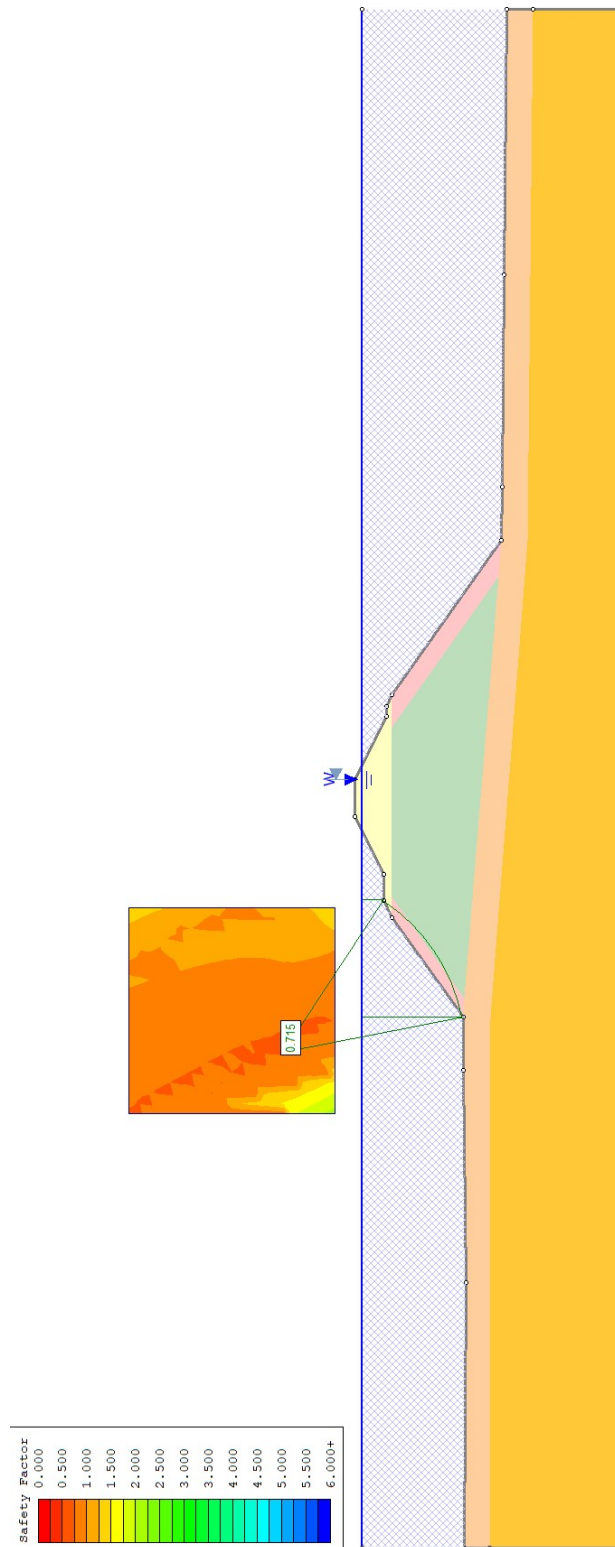
Provedenom analizom dobijen je faktor sigurnosti $F_s = 0,708$ što ne zadovoljava minimalnu vrijednost koja zadovoljava uvjet stabilnosti na seizmičko opterećenje.



Slika 14. Rezultati za lijevu stranu primarnog lukobrana sa saniranim pokosom uslijed djelovanja seizmičkog opterećenja

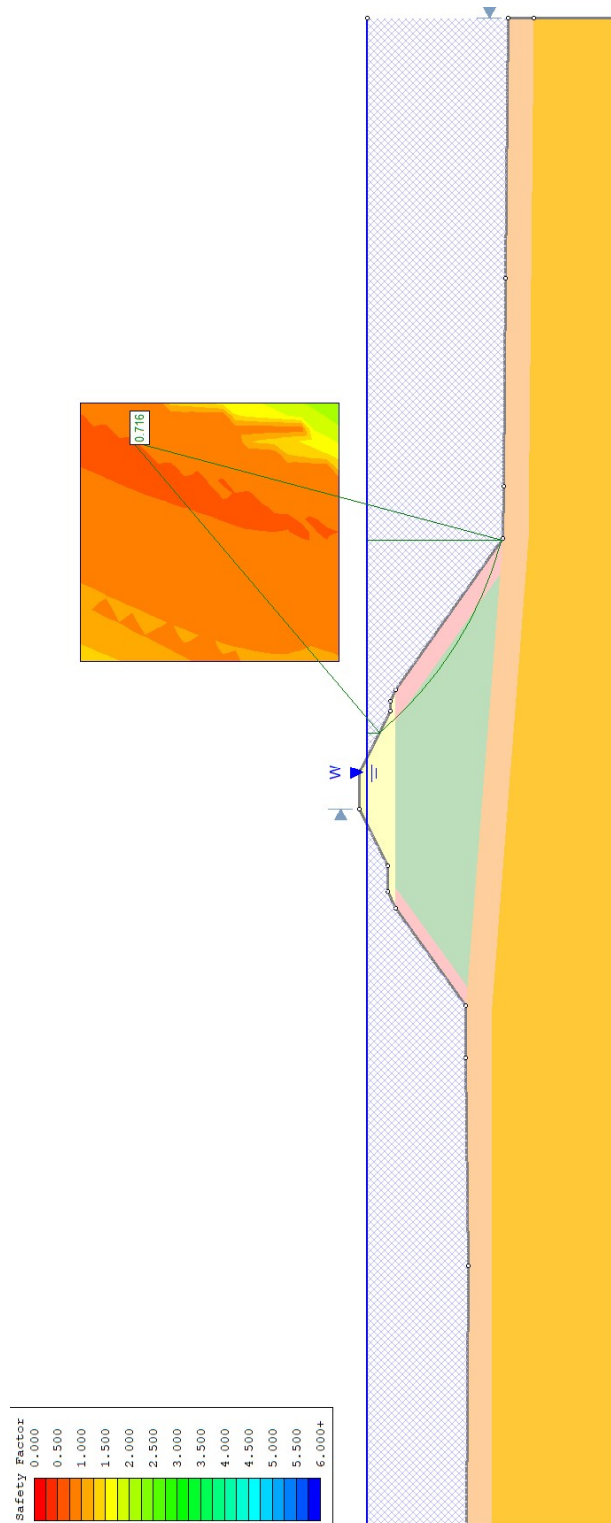
Provedenom analizom dobijen je faktor sigurnosti $F_s = 0,763$ što ne zadovoljava minimalnu vrijednost koja zadovoljava uvjet stabilnosti na seizmičko opterećenje.

3.4. Sekundarni lukobran – seizmičko opterećenje



Slika 15. Rezultati za lijevu stranu sekundarnog lukobrana sa saniranim pokosom uslijed djelovanja seizmičkog opterećenja

Provedenom analizom dobijen je faktor sigurnosti $F_s = 0,715$ što ne zadovoljava minimalnu vrijednost koja zadovoljava uvjet stabilnosti na seizmičko opterećenje.



Slika 16. Rezultati za desnu stranu sekundarnog lukobrana sa saniranim pokosom uslijed djelovanja seizmičkog opterećenja

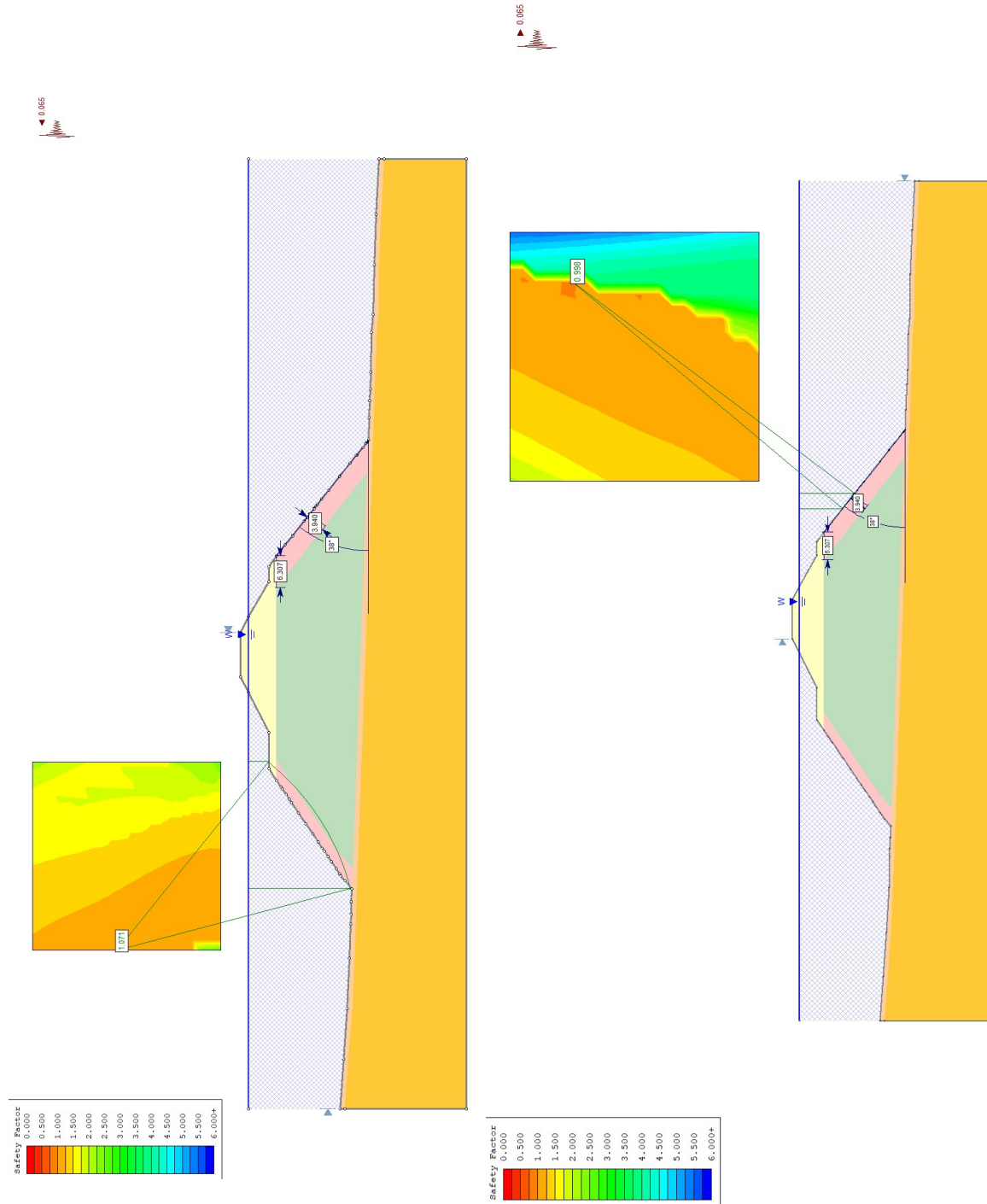
Provedenom analizom dobijen je faktor sigurnosti $F_s = 0,716$ što ne zadovoljava minimalnu vrijednost koja zadovoljava uvjet stabilnosti na seizmičko opterećenje.

Na temelju gore prikazanih rezultata dolazi se do zaključka da nasipi nisu zadovoljili uvjete seizmičke stabilnosti unatoč intervencijama poduzetim na njima. Predložene intervencije su rezultirale zadovoljavanjem minimalnih vrijednosti faktora sigurnosti u analizi statičke sigurnosti ali ipak njihov učinak je nedovoljan kako bi se osigurali i minimalni faktori sigurnosti u analizi seizmičke stabilnosti.

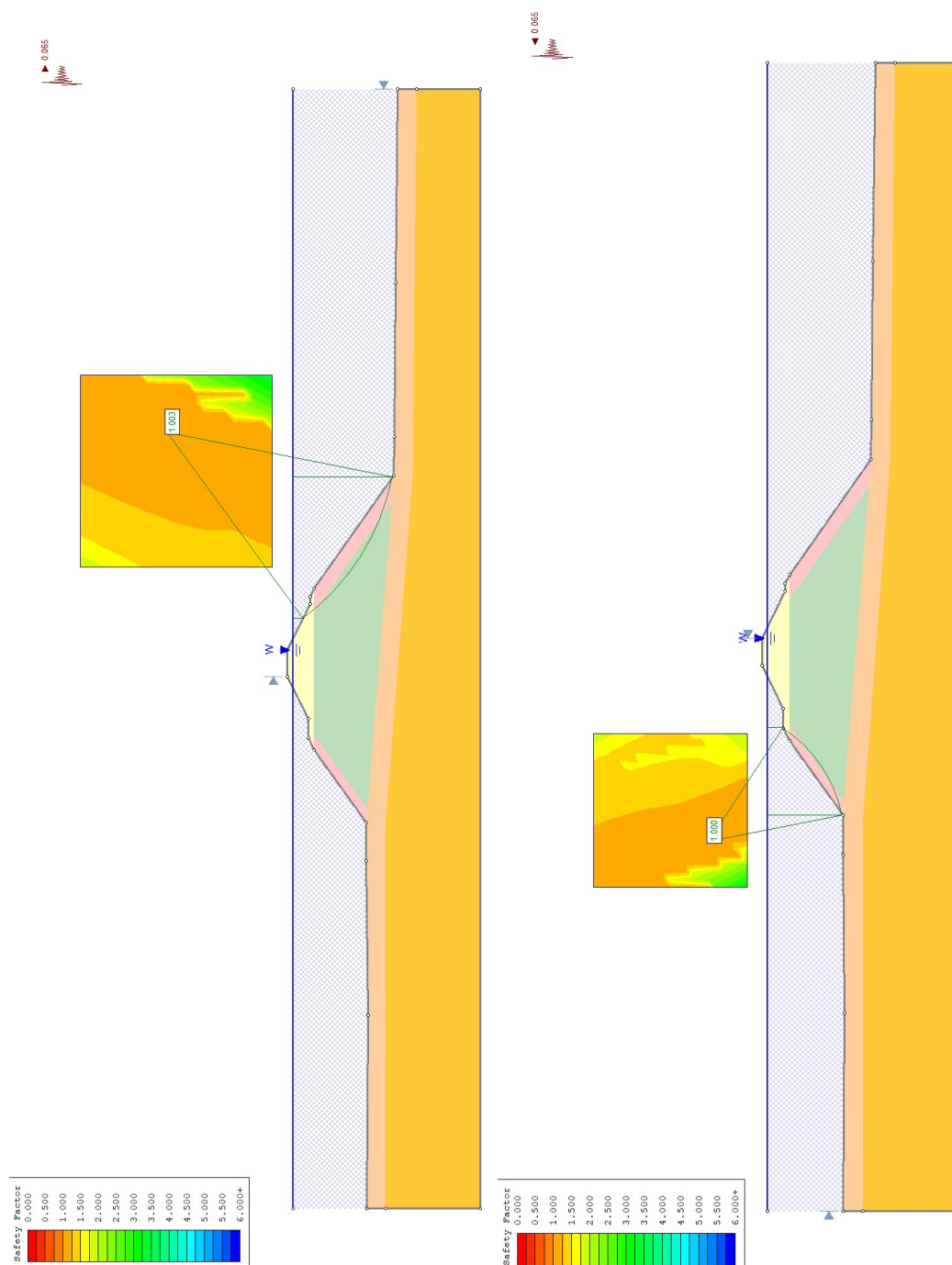
Zbog navedenih razloga, u računalnom programu Slide je određeno kritično horizontalno ubrzanje tla za ove nasipe i ono iznosi $a_g = 0,065g$.

Kritična akceleracija (ubrzanje) je ubrzanje potrebno da izazove pomak bloka, tl.aktivira kliznu plohu (granično stanje stabilnosti). Pomak bloka će nastati kada ubrzanje izazvano potresom, koje djeluje na blok, odgovara inercijalnoj sili izazvanoj potresom koji proizvede kritično ubrzanje.

U nastavku su prikazani rezultati analize seizmičke stabilnosti nasipa pri djelovanju kritične akceleracije.



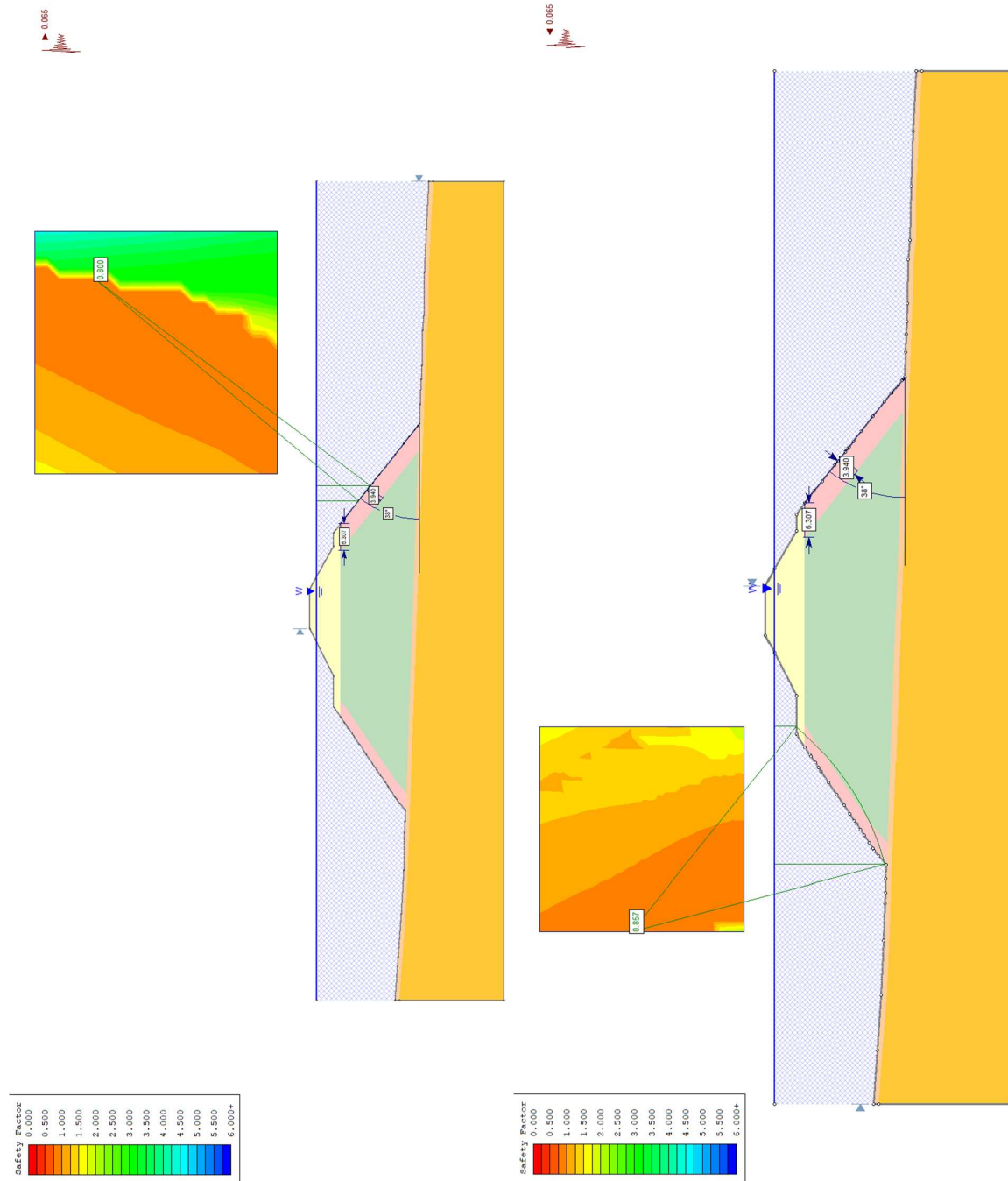
Slika 17. Lijeva i desna strana primarnog nasipa pri djelovanju kritične akceleracije bez uključenog proračunskog pristupa



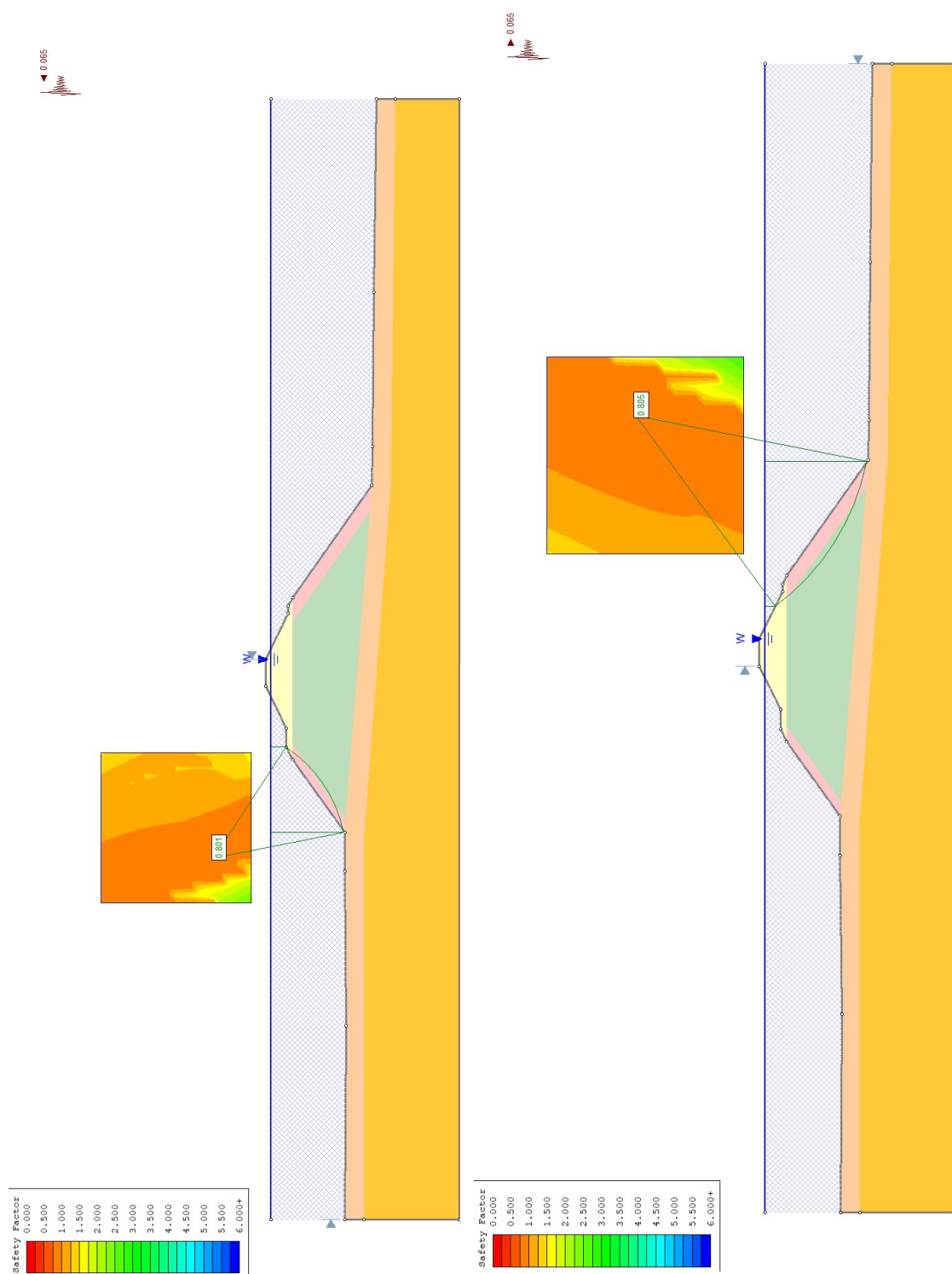
Slika 18. Lijeva i desna strana sekundarnog nasipa pri djelovanju kritične akceleracije bez uključenog proračunskog pristupa

Rezultati provedene analize seizmičke stabilnosti su dokazale da je faktor sigurnosti cca. 1,0 što zadovoljava uvjet. Ipak, treba uzeti u obzir da u prethodno prikazanim i objašnjenim rezultatima u provedbi analize karakteristične vrijednosti parametara tla nisu korigiranje parcijalnim faktorima prema PP3.

Ukoliko karakteristične vrijednosti korigiramo sa spomenutim parcijalnim faktorima, to utejeće na rezultate analize.



Slika 19. Lijeva i desna strana primarnog nasipa pri djelovanju kritične akceleracije sa uključenim proračunskim pristupom 3 (Eurocod 7)



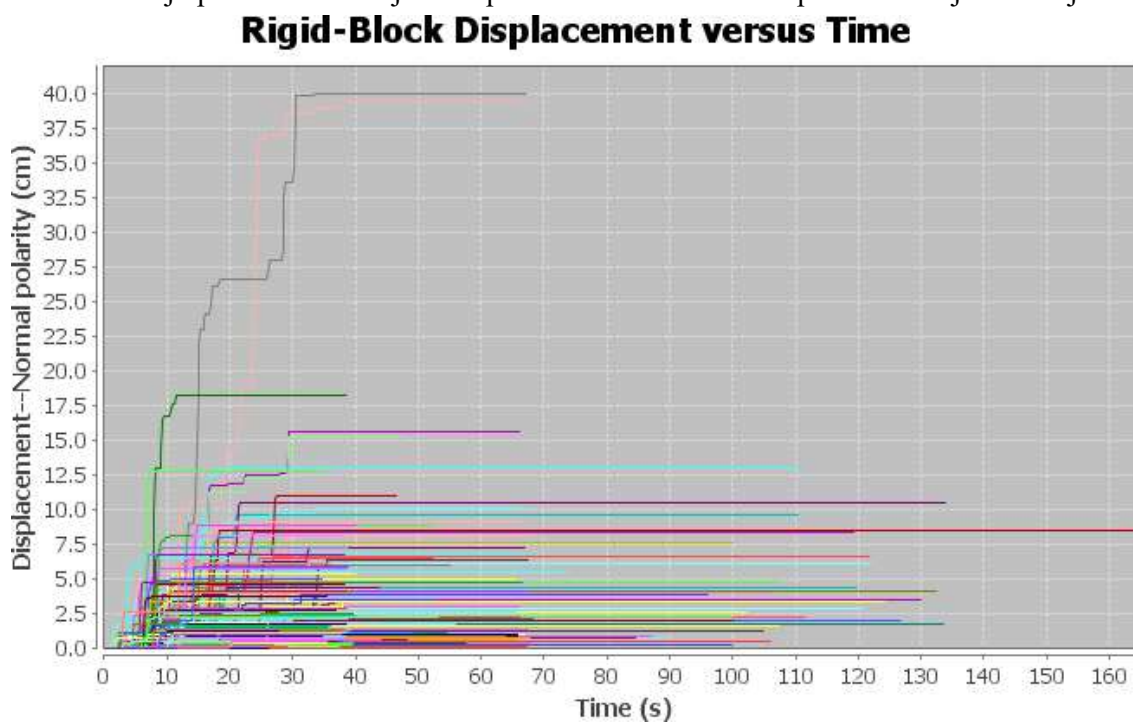
Slika 20. Lijeva i desna strana sekundarnog nasipa pri djelovanju kritične akceleracije sa uključenim proračunskim pristupom 3 (Eurocod 7)

Očekivano, faktori sigurnosti, nakon korekcije vrijednosti karakterističnih parametara tla parcijalnim faktorima, znatno su smanjenog iznosa. Time je zaključeno da i nakon izvedene sanacije nasipa i dalje nije u seizmičkom pogledu siguran.

3.5. Analiza horizontalnih pomaka vrha nasipa u računalnom programu Slammer

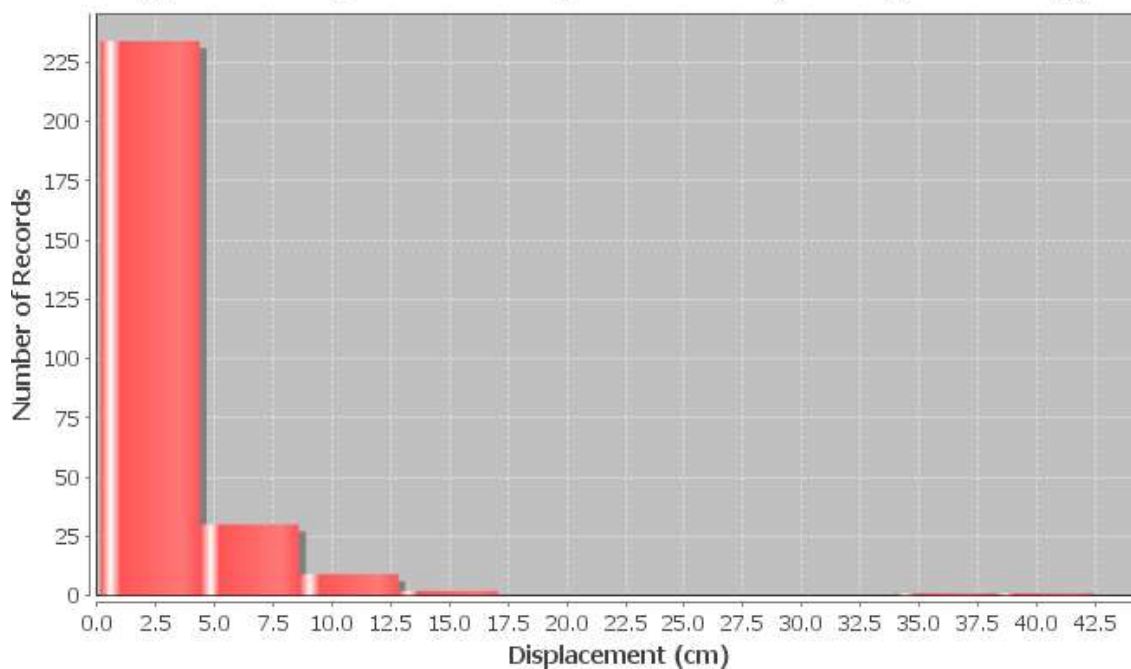
SLAMMER je Java program koji olakšava izvođenje različitih analiza kliznih blokova. Funkcije programa uključuju i složene i pojednostavljene analize krutih kliznih blokova (tj. Newmarkova analiza) kao i fleksibilnih kliznih blokova (tj. razdvojeni i potpuno povezani pristupi). U program su uključene i složene i empirijske pojednostavljene metode. Više od 2100 akcelorograma zabilježenih potresa tla iz PEER baze podataka o kretanju tla uključeno je u program, a korisnici mogu uvesti vlastite zapise o kretanjutla za analizu.

Na temelju određenog horizontalnog kritičnog ubrzanja $a_g = 0,065g$ određeni su maksimalni pomaci u slučaju potresa na temelju baze podataka sa makismalnih potresima koji su zabilježeni.



Slika 21. Grafički prikaz pomaka u ovisnosti o trajanju potresa za odabrano horizontalno ubrzanje tla

Histogram of Rigid-Block Displacements (Average Polarity)



Slika 22. Grafički prikaz pomaka u ovisnosti o trajanju potresa za odabrano horizontalno ubrzanje tla

Na temelju rezultata iz *Slammer-a*, vidljivo je da je maksimalni horizontalni nasipamanji od 0,5 m i to u najkritičnijem trenutku najjačeg potresa koji je zabilježen u zapisima kojima raspolaže *Slammer*.

Predložena sanacija nakon koje su zadovoljeni uvjeti statičke stabilnosti, ali ne i seizmička stabilnost, se prihvaća zbog niza razloga uzetih u obzir. Neki od glavnih su i vjerojatnost pojave najvećeg mogućeg potresa a samim time i horizontalnog pomaka, ekonomski utjecaj dodatnih izvođenja sanacija pored one već predložene (objašnjene i analizirane ranije u ovom radu) te činjenicu da se ovdje radi o objektu koji nema stambenu/poslovnu namjenu zbog koje bi u svakom trenutku na njemu boravio veći broj ljudi, a i ne postoji opasnost od urušavanja bilo kakvih konstrukcija na nasip. Najvažnja je činjenica da i u slučaju najgoreg slučaja potresa opasnost po ljudski život koji bi se u tom trenutku našao na lukobranu nije dovedena u značajnu opasnost koju bi eventualno izazvao horizontalni pomak.

Ukoliko investitor prihvati predloženo rješenje, prihvaća i ekonomsku odgovornost za sanaciju lukobrana. Ukoliko se ikada ostvari slučaj najvećeg potresa, horizontalnog pomaka i posljedičnih oštećenja na lukobranu troškove sanacije istih je dužan podmiriti investitor.

4. Literatura

[1] Roje Bonacci, T. (2012.). *Zemljani radovi*. Split: Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije

[2] Mišćević, P. (2017.). *Geotehničko inženjerstvo: predavanja*, Fakultet građevinarstva arhitekture i geodezije sveučilišta u Splitu, 2017.

[3] Roje Bonacci, T. (2015.). *Nasute građevine*. Split: Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije

5. Prilozi

5.1. Situacija - MJ 1:1000

5.2. Geotehnički profil bušotine B1

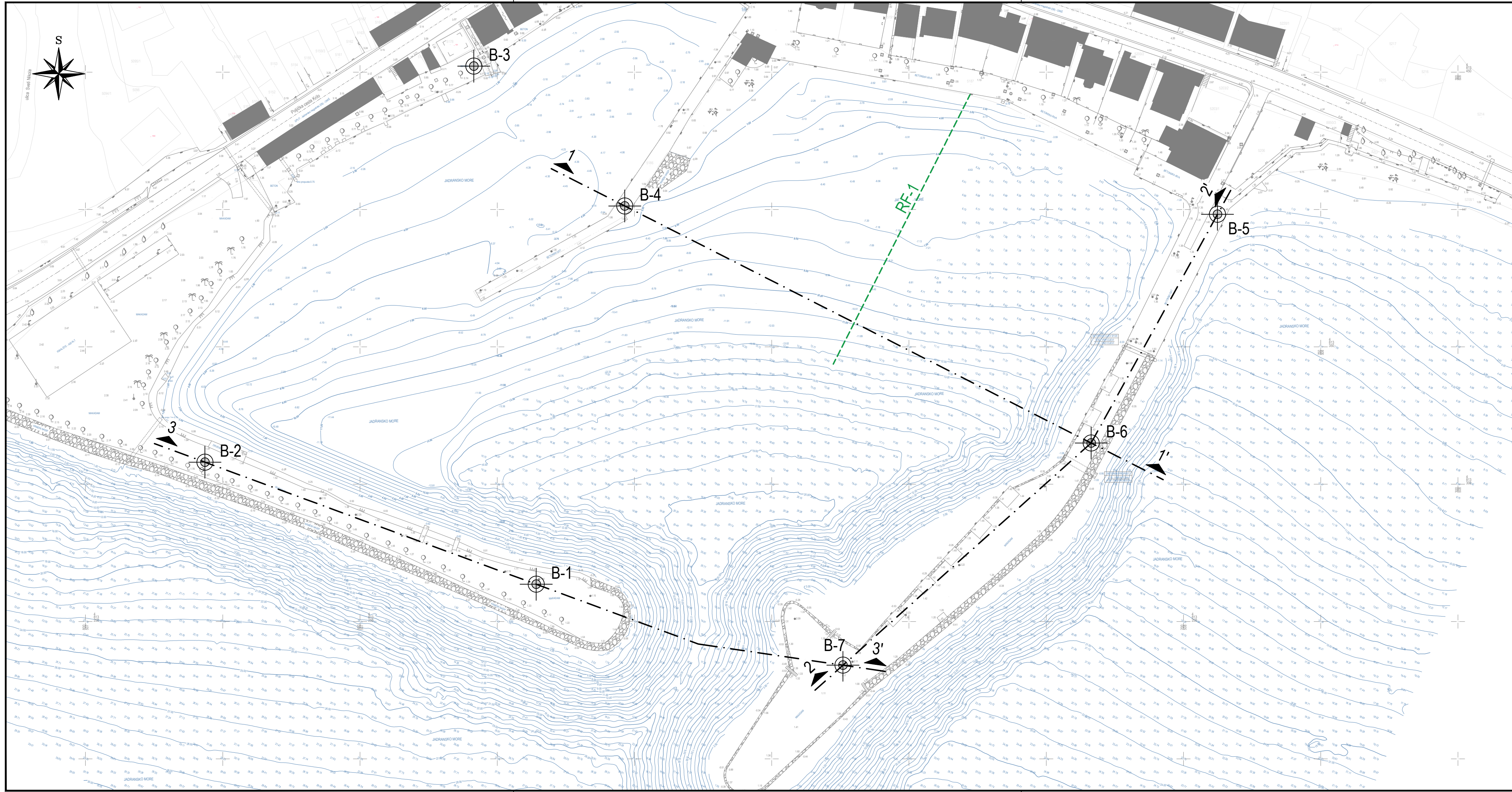
5.3. Geotehnički profil bušotine B7

5.4. Karakteristični poprečni presjek primarnog lukobrana - MJ 1:50 (*)

5.5. Karakteristični poprečni presjek sekundarnog lukobrana - MJ 1:50 (*)

5.6. Geotehnički presjek – MJ 1:500

() Priloženi presjeci sadrže i predviđenu obalnu konstrukciju na samom lukobranu, ali ona nije predmet ove analize.*



3.1.1. SITUACIJA S POZICIJAMA ISTRAŽIVAČKIH RADOVA

TUMAČ OZNAKA

| | | |
|--|------|--|
| | 1 1' | GEOTEHNIČKI PRESJECI |
| | B-1 | ISTRAŽIVAČKE BUŠOTINE RJEKAPROJEKT GEOTEHNIČKO ISTRAŽIVANJE d.o.o., lipanj, 2022. |
| | | POLOŽAJ GEOFIZIČKOG PROFILA |

GEOTECH d.o.o.
 Ciottina 21, HR-51000 Rijeka
 www.geotech.hr - info@geotech.hr



NARUČITELJ:
 B.C.D.E. d.o.o.
 Hrvatske mornarice 1/J, HR 21000 Split


GRADEVINA:
 LUKA OTVORENA ZA JAVNI PROMET KRILO JESENICE

RAZINA PROJEKTA:
 GLAVNI PROJEKT

VRSTA DOKUMENTA:
 GEOTEHNIČKI ELABORAT

BROJ I NASLOV NACRTA:
**3.1.1. SITUACIJA S POZICIJAMA
 ISTRAŽIVAČKIH RADOVA**

PROJEKTANT:
 dr.sc. MIRKO GROŠIĆ, dipl.ing.grad.



HRVATSKA KOMORA INŽENJERA GRAĐEVINARSTVA
 dr.sc. Mirko Grošić
 dipl.ing.grad.
 Ovlašteni inženjer građevinarstva
 G 3923

NACRT IZRADILA:
 VALENTINA KOCUJAN, mag.ing.geol.

MJESTO I DATUM:
 RIJEKA, SRPANJ 2022.

BROJ PROJEKTA:
 EL 22-108-01/R1

MJERILO:
 1:1000

3.1.4. GEOTEHNIČKI PROFIL BUŠOTINE B-1

KOORDINATA X: 507964,1809

KOORDINATA Y: 4813263,5669

NADMORSKA VISINA: 1,2 m

TEHNOLOGIJA BUŠENJA: Rotacijsko bušenje

POČETAK BUŠENJA: 15.06.2022.

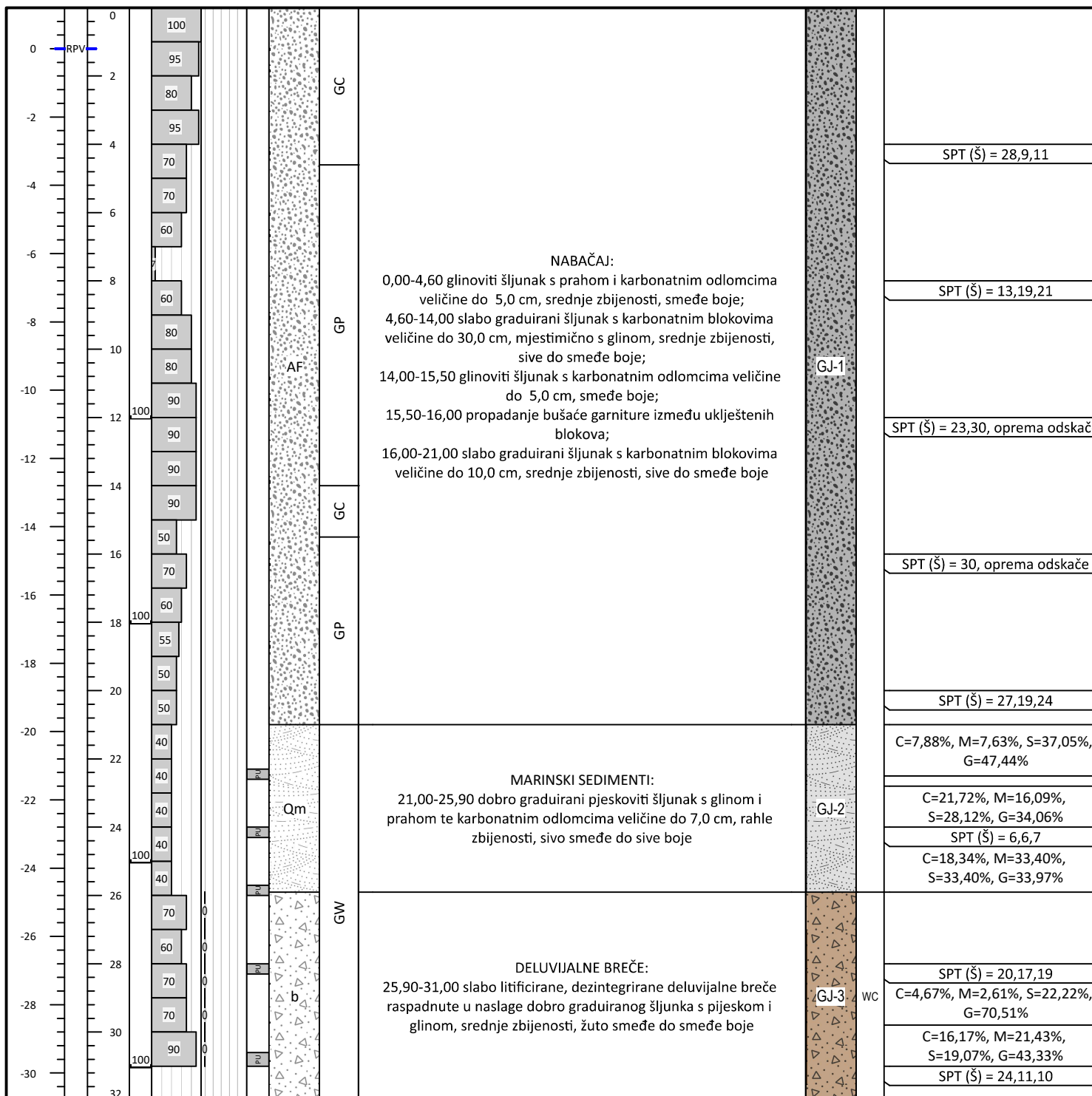
ZAVRŠETAK BUŠENJA: 18.06.2022.

DETERMINIRAO: Valentina Kocijan, mag.ing.geol.

DATUM DETERMINACIJE: 18.06.2022.

VODITELJ BUŠENJA: Marin Birkić, Rijekaprojekt geotehničko istraživanje d.o.o.

| NADMORSKA VISINA (m.n.m.) | PODZEMNA VODA | DUBINA (m) | PROFIL BUŠENJA (mm) | POSTOTAK JEZGRE (%) | RQD (%) | UZORAK | INŽENJERSKOGEOLOŠKI SIMBOL | GEOMEHANIČKI SIMBOL (USCS) | INŽENJERSKOGEOLOŠKI I GEOTEHNIČKI OPIS | GEOTEHNIČKA JEDINICA | TROŠNOST | TERENSKA I LABORATORIJSKA ISPITIVANJA |
|------------------------------|---------------|------------|---------------------|---------------------|---------|--------|-------------------------------|-------------------------------|--|----------------------|----------|---|
|------------------------------|---------------|------------|---------------------|---------------------|---------|--------|-------------------------------|-------------------------------|--|----------------------|----------|---|



NAPOMENA: Isplaka se gubi.

NARUČITELJ: B.C.D.E. d.o.o.
Hrvatske mornarice 1/J, HR 21000 Split

GRAĐEVINA: LUKA OTVORENA ZA JAVNI PROMET KRILLO JESENICE

BROJ PROJEKTA: EL
22-108-01 / RO

MJESTO I DATUM:
Rijeka, 07/2022.

BROJ PRILOGA:
3.1.4.



3.1.9. GEOTEHNIČKI PROFIL BUŠOTINE B-7

KOORDINATA X: 508075,9416

KOORDINATA Y: 4813234,0953

NADMORSKA VISINA: 1,15 m

TEHNOLOGIJA BUŠENJA: Rotacijsko bušenje

POČETAK BUŠENJA: 27.06.2022.

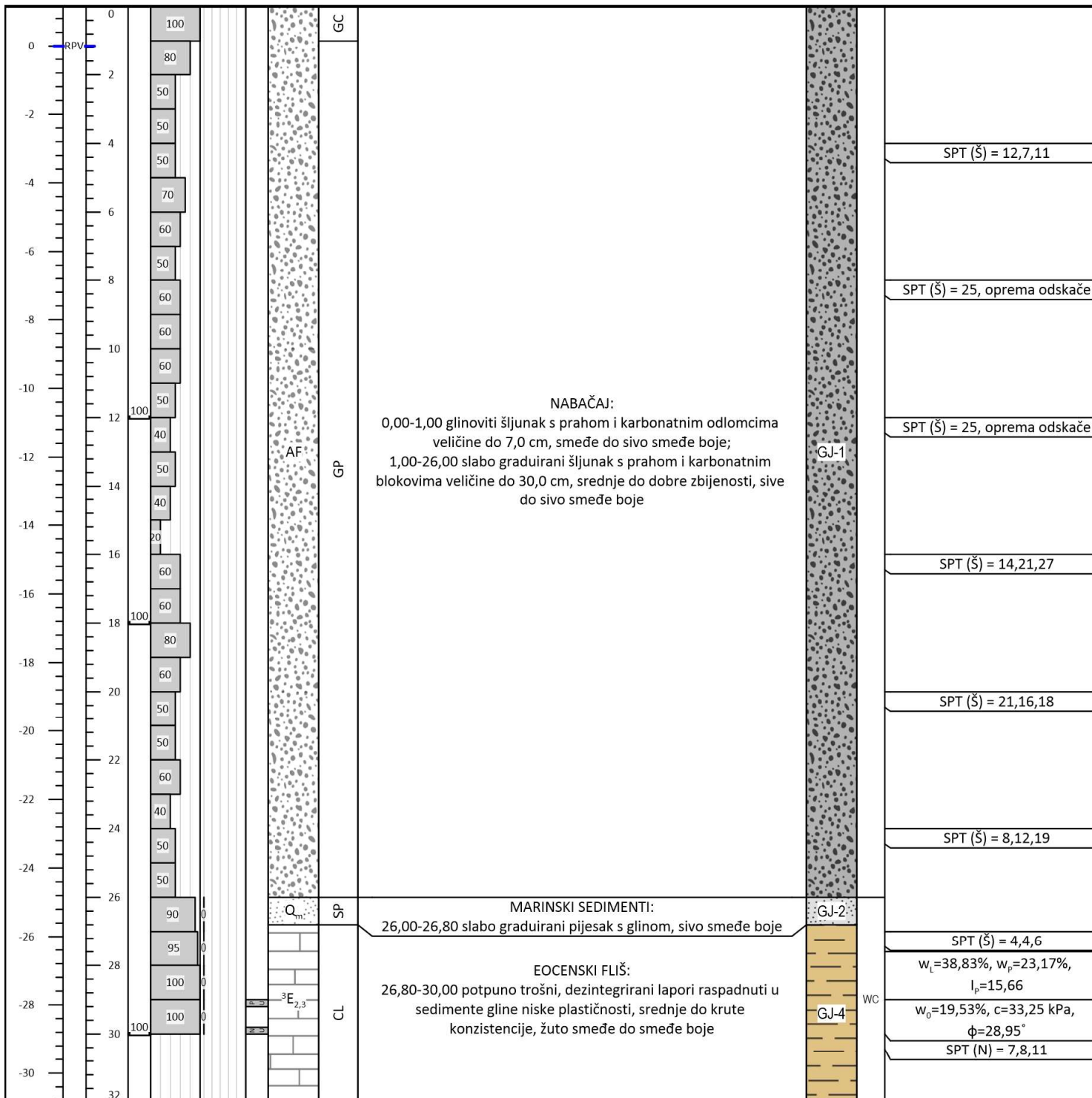
ZAVRŠETAK BUŠENJA: 29.06.2022.

DETERMINIRAO: Valentina Kocijan, mag.ing.geol.

DATUM DETERMINACIJE: 29.06.2022.

VODITELJ BUŠENJA: Marin Birkić, Rijekaprojekt geotehničko istraživanje d.o.o.

| NADMORSKA VISINA (m.n.m.) | PODZEMNA VODA | DUBINA (m) | PROFIL BUŠENJA (mm) | POSTOTAK JEZGRE (%) | RQD (%) | UZORAK | INŽENJERSKOGEOLOŠKI SIMBOL | GEOMEHANIČKI SIMBOL (USCS) | INŽENJERSKOGEOLOŠKI I GEOTEHNIČKI OPIS | GEOTEHNIČKA JEDINICA | TROŠNOST | TERENSKA I LABORATORIJSKA ISPITIVANJA |
|------------------------------|---------------|------------|---------------------|---------------------|---------|--------|-------------------------------|-------------------------------|--|----------------------|----------|---|
|------------------------------|---------------|------------|---------------------|---------------------|---------|--------|-------------------------------|-------------------------------|--|----------------------|----------|---|



NAPOMENA: Isplaka se gubi.

NARUČITELJ: B.C.D.E. d.o.o.
Hrvatske mornarice 1/J, HR 21000 Split

GRAĐEVINA: LUKA OTVORENA ZA JAVNI PROMET KRILLO
JESENICE

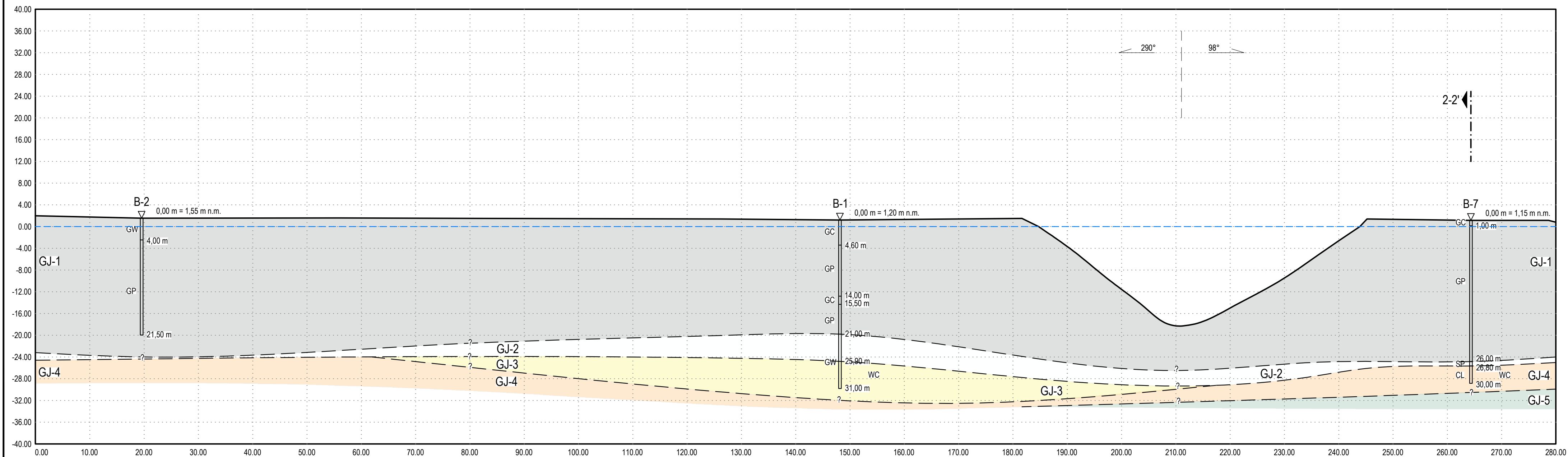
BROJ PROJEKTA: EL
22-108-01 / R0

MJESTO I DATUM:
Rijeka, 07/2022.

BROJ PRILOGA:
3.1.9.



GEOTEHNIČKI PRESJEK 3-3'

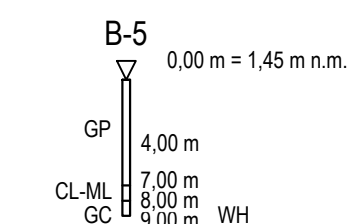


TUMAČ GEOTEHNIČKIH OZNAKA

| | |
|------|---|
| GJ-1 | NABAČAJ (AF): NASLAGE SLABO GRADUIRANOG ŠLJUNKA (GP), SREDNJE DO DOBRE ZBIJENOSTI |
| GJ-2 | MARINSKI SEDIMENTI (Q _m): NASLAGE DOBRO GRADUIRANOG PJEŠKOVITOG ŠLJUNKA (GW) S GLINOM I PRAHOM, SREDNJE ZBIJENOSTI |
| GJ-3 | DELUVIJALNE BREČE (d): DEZINTEGRIRANA (D) STIJSKA MASA / NASLAGE DOBRO GRADUIRANOG ŠLJUNKA (GW) S GLINOM, SREDNJE ZBIJENOSTI |
| GJ-4 | POTPUNO TROŠNI LAPORI (E _{2,3}): DEZINTEGRIRANA STIJSKA MASA LAPORA / GLINA NISKE PLASTIČNOSTI, SREDNJE DO KRUTE KONZISTENCIJE |
| GJ-5 | VISOKO TROŠNI LAPORI (E _{2,3}): BLOKOVITO-POREMEČENA (B/D), SLABA STIJSKA MASA LAPORA / NASLAGE GLINOVITOG ŠLJUNKA (GC), DOBRE ZBIJENOSTI |
| | GEOTEHNIČKE GRANICE |
| | RAZINA MORA |

TUMAČ OZNAKA PROVEDENIH ISTRAŽIVAČKIH RADOVA

ISTRAŽIVAČKE BUŠOTINE



3.1.3. GEOTEHNIČKI PRESJECI - LIST 2

GEOTECH d.o.o.
Clottina 21, HR-51000 Rijeka
www.geotech.hr - info@geotech.hr



NARUČITELJ:
B.C.D.E. d.o.o.
Hrvatske mornarice 1/J, HR 21000 Split

GRAĐEVINA:
LUKA OTVORENA ZA JAVNI PROMET KRILO JESENICE

RAZINA PROJEKTA:
GLAVNI PROJEKT

VRSTA DOKUMENTA:
GEOTEHNIČKI ELABORAT

BROJ I NASLOV NACRTA:

3.1.3. GEOTEHNIČKI PRESJECI - LIST 2

PROJEKTANT:
dr.sc. MIRKO GROŠIĆ, dipl.ing.grad.

HRVATSKA VEŠTAČKA I INŽENJERSKA GRAĐEVINARSTVA
dr.sc. Mirko Grošić
dipl.ing.grad.
Ovlašten inženjer građevinarstva
G 3923

NACRT IZRADILA:
VALENTINA KOČIJAN, mag.ing.geol.

MJESTO I DATUM:
RIJEKA, SRPANJ 2022.

BROJ PROJEKTA:
EL 22-108-01/RO

MJERILO:
1:500