

# Glavni projekt zaštite građevne jame za potrebe temeljenja objekta hotela "Imperator Dioklecijan" na predjelu Trstenik u Splitu

---

Ljubičić, Kristijan

Master's thesis / Diplomski rad

2016

*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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:123:936111>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-27**



*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**

**Kristijan Ljubičić**

**Split, 2016.**

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

**Kristijan Ljubičić**

**Glavni projekt zaštite građevne jame za potrebe  
temeljenja objekta hotela "Imperator Dioklecijan" na  
predjelu Trstenik u Splitu**

**Diplomski rad**

**Split, 2016.**

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

STUDIJ: **DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**  
KANDIDAT: LJUBIČIĆ KRISTIЈAN  
BROJ INDEKSA: 516/2014  
KATEDRA: **Katedra za geotehniku**  
PREDMET: Geotehničko inženjerstvo

**ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD**

**Tema:** Glavni projekt zaštite građevne jame za potrebe temeljenja objekta hotela "Imperator Dioklecijan" na predjelu Trstenik u Splitu

**Opis zadatka:** Svojstva slojeva tla na lokaciji su određena istražnim radovima prikazanim u geotehničkom elaboratu izrađenim za predmetnu lokaciju. Dubina temeljenja i tlocrtni položaj objekta određeni su idejnim projektom predmetnog objekta. Za tako definirane parametre potrebno je odabrati zaštitnu konstrukciju za stabilizaciju pokosa građevne jame, te izraditi glavni projekt zaštite građevne jame.

U Splitu, 04.03.2016. godine

Voditelj Diplomskog rada:

prof.dr.sc. Predrag Mišćević

Predsjednik Povjerenstva  
za završne i diplomske ispite:  
Prof. dr. sc. Ivica Boko

# **Glavni projekt zaštite građevne jame za potrebe temeljenja objekta hotela "Imperator Dioklecijan" na predjelu Trstenik u Splitu**

## ***Sažetak:***

Za potrebe temeljenja hotela "Imperator Dioklecijan" na predjelu Trstenika u Splitu, dimenzionirana je zaštitna konstrukcija građevne jame. Za dimenzioniranje je korištena kombinacija mlaznog injektiranja i injektiranih štapnih sidara, te mlaznog betona i samobušivih sidara.

## ***Ključne riječi:***

građevna jama, zaštitna konstrukcija, mlazno injektiranje, samobušuća sidra, injektirana štapna sidra

# **The main project: construction pit protection for hotel "Imperator Dioklecijan" foundation in the area Trstenik in Split**

## ***Abstract:***

For the purpose of hotel "Imperator Dioklecijan" foundation in the area Trstenik in Split, protective structure of construction pit has been designed. Combination of Jet Grouting with grouted rock bolts, and shotcrete with self-drilling anchors has been used in design.

## ***Keywords:***

construction pit, protective structure, Jet Grouting, self-drilling anchors, grouted rock bolts

## SADRŽAJ

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. Tehnički opis.....</b>  | <b>1</b>  |
| 1.1. Općenito .....   | 1         |
| 1.2. Istražni radovi .....  | 1         |
| 1.3. Kategorizacija i izvođenje iskopa .....  | 2         |
| 1.4. Zaštita pokosa mlazno injektiranim stupnjacima .....                               | 3         |
| 1.5. Zaštita pokosa mlaznim betonom i geotehničkim sidrima.....                         | 5         |
| 1.6. Popis primijenjenih propisa i normi .....  | 7         |
| <b>2. Tehnički uvjeti izvedbe.....</b>  | <b>8</b>  |
| 2.1. Pripremni radovi .....   | 8         |
| 2.2. Zemljani radovi .....  | 8         |
| 2.3. Mlazno injektiranje .....  | 9         |
| 2.4. Mlazni beton i geotehnička sidra .....   | 10        |
| <b>3. Određivanje geotehničkih sredina i definiranje parametara .....</b>               | <b>11</b> |
| 3.1. Određivanje parametara GS 1 .....  | 11        |
| 3.1.1. Određivanje parametara GS 1 iz rezultata SPT-a.....                              | 11        |
| 3.1.2. Određivanje parametara GS 1 iz indeksa plastičnosti:.....                        | 14        |
| 3.2. Određivanje parametara GS 2 .....  | 17        |
| 3.3. Parametri mlazno injektiranih stupnjaka.....                                       | 19        |
| 3.4. Odabrani parametri .....   | 20        |
| 3.5. Seizmički parametri .....  | 21        |
| <b>4. Geotehnički proračun .....</b>  | <b>22</b> |
| 4.1. Model – zapadna strana.....  | 22        |
| 4.1.1. Proračun za drenirano stanje – zapadni dio.....                                  | 24        |
| 4.1.2. Analiza globalne stabilnosti za drenirano stanje– zapadni dio .....              | 36        |
| 4.1.3. Proračun za nedrenirano stanje (seizmika) – zapadni dio .....                    | 39        |
| 4.1.4. Analiza globalne stabilnosti za nedrenirano stanje (seizmika) – zapadni dio..... | 51        |
| 4.2. Model - istočna strana .....   | 54        |
| 4.2.1. Analiza stabilnosti – istočna strana .....                                       | 55        |
| <b>5. Troškovnik.....</b>   | <b>58</b> |
| <b>6. Grafički prilozi .....</b>  | <b>61</b> |

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| 6.1.      | Tlocrt zaštite građevne jame .....         | 61        |
| 6.2.      | Karakteristični poprečni presjek 1-1 ..... | 61        |
| 6.4.      | Karakteristični poprečni presjek 2-2 ..... | 61        |
| 6.4.      | Uzdužni presjek 3-3 .....                  | 61        |
| 6.5.      | Uzdužni presjek 4-4 .....                  | 61        |
| 6.6.      | Uzdužni presjek 5-5 .....                  | 61        |
| <b>7.</b> | <b>Literatura.....</b>                     | <b>68</b> |

## 1. Tehnički opis

### 1.1. Općenito

Predmetna lokacija planiranog hotela IMPERATOR DIOKLECIJAN je na predjelu Trstenik u Splitu (trstenička uvala). Planirana je izgradnja predmetne građevine na ukupnoj tlocrtnoj površini dimenzija 90x50 m, ukupne visine P+4 i P+8. Projektirana kota poda najniže etaže (garaža) je na aps. koti -2.00 m n. m.

Teren na predmetnoj lokaciji izgrađuju flišne naslage srednjeg do gornjeg eocena (**E<sub>2,3</sub>**) - matična stijena koja je prekrivena slojem degradiranog (rastršenog) fliša (**Qel**), slojem kvartarnih deluvijalnih naslaga (**Qd**), a u zoni potoka slojem aluvijalnih naslaga (**Qal**). Za vrijeme provedbe istražnih radova registrirana je podzemna voda u terenu. Razine podzemne vode mjerene 9. prosinca su prikazane u profilima terena i bile su znatno više u odnosu na središnju razinu Jadranskog mora (znatniji dotok slatke vode iz zaleđa lokacije).

Zaštita pokosa građevne jame osigurat će se sa dvije različite tehnologije. Istočna strana građevne jame te dijelovi sjeverne i južne strane osigurat će se pomoću geotehničkih sidara na razmaku 2,5x2,5 m i mlaznog betona debljine 10 cm (2 sloja debljine 5 cm + armatura). Zapadna strana i dijelovi sjeverne i južne strane osigurat će se pomoću mlazno injektiranih stupnjaka (Jet Grouting) i geotehničkih sidara razmaka 2 m. Tlocrtni prikaz rasporeda mlazno injektiranih stupnjaka i prijelaz na sustav mlaznog betona i geotehničkih sidara prikazani su na nacrtima u prilogu.

### 1.2. Istražni radovi

Za potrebe razrade rješenja navedenog problema provedeni su geotehnički terenski i laboratorijski istražni radovi. Na temelju njih dobijeni su podaci o sastavu i uslojenosti temeljnog tla i fizičko-mehaničkim svojstvima slojeva tla te pojavi i razini podzemne vode na predmetnoj lokaciji.

Terenski istražni radovi sastojali su se od istražnog bušenja na ukupno sedam (7) pozicija do dubine 8.0 m (B-4 i B-5), 12.0 m (B-1, B-2 i B-3), 13.0 m (B-7) i 13.50 m (B-6), mjereno od sadašnje površine terena. Na temelju saznanja dobivenih na terenu formirani su presjeci istražnih bušotina kao i prognozni inženjerskogeološki profili terena. U profilima je prikazan prostorni položaj registriranih naslaga s utvrđenim i pretpostavljenim litološkim



granicama. Tijekom bušenja izvedeno je ispitivanje zbijenosti pokrovnih kvartarnih naslaga primjenom standardnog penetracijskog pokusa (SPP).

U laboratoriju su provedena sljedeća ispitivanja:

- granulometrijski sastav
- gustoća čvrstih čestica
- vlažnost
- jednoosna čvrstoća
- sadržaj karbonata
- indeks čvrstoće stijene s opterećenjem u točki - Point Load Test

Sva ispitivanja provedena su prema normi BS 1377: 1990 (ASTM D 7012: 2010, ASTM D 4543: 2008).

Na temelju terenskih i laboratorijskih istražnih radova određene su geotehničke sredine i pripadajući parametri koji su kasnije korišteni u modelima za određivanje stabilnosti pokosa građevne jame.

### 1.3. Kategorizacija i izvođenje iskopa

Kategorizacija iskopa provodi se prema normama propisanim u “Opći tehnički uvjeti za radove na cestama” – knjiga II, 2-02, a može se dati sljedeća kategorizacija:

- iskopi u debljim slojevima čvrstih vapnenačkih lapora i pješčenjaka ( $E_{2,3}$ ) pripadaju “A” kategoriji iskopa,
- iskopi u kvartarnim naslagama (**Qd, Qal, Qel**) pripadaju “C” kategoriji iskopa.

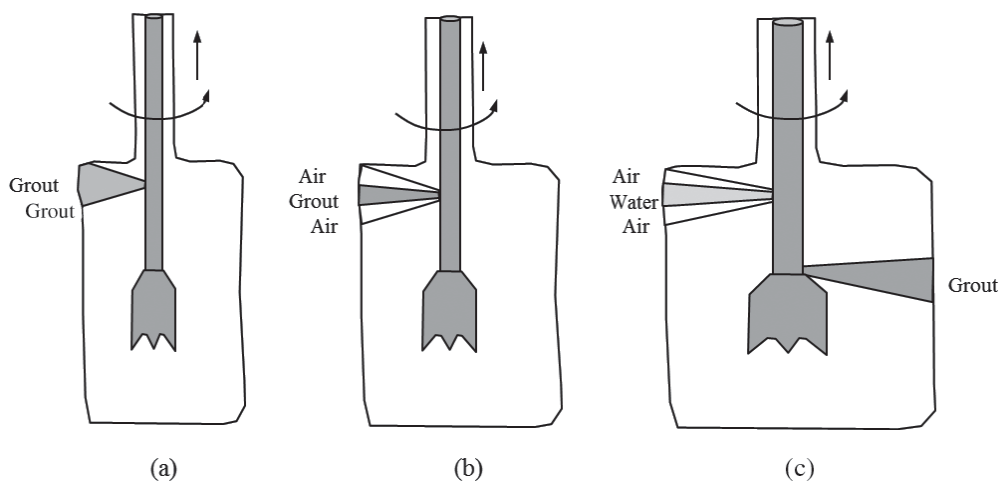
Iskop se vrši strojno, kombinacijom rovokopača i hidrauličnog čekića u cijeloj širini pokosa. Iskop na zapadnoj strani počinje nakon ugradbe mlazno injektiranih stupnjaka i dostizanja projektne čvrstoće. Prva faza iskopa je do razine sidra (dubina od 3,0 m), odnosno cca. 50 cm niže od navedene kote. Druga faza je iskop do projektne dubine 6,2 m, tj. dna jame aps. kote -2 m n.m. Obje faze iskopa su u tlu “C” kategorije. Na istočnoj strani iskop se vrši u radnim etažama u visini 2,1 m što odgovara širini jedne armaturne mreže. Usporedno s iskopom obavljaju se radovi zaštite pokosa nanošenjem prvog sloja mlaznog betona, postavljanje armaturne mreže, nanošenje drugog sloja mlaznog betona te ugradnja geotehničkih sidara. Iskop je pretežno u tlu “A” kategorije.

## 1.4. Zaštita pokosa mlazno injektiranim stupnjacima

### Općenito o mlaznom injektiranju

Mlazno injektiranje ili Jet Grouting je tehnologija poboljšanja svojstava tla koja se može koristiti i za izradu potpornih konstrukcija, vododrživih zavjesa, temeljenje i ojačanje postojećih temelja. Ova tehnologija razlikuje se od ostalih tehnologija injektiranja u tome što se njezinom primjenom razara struktura tla. Čestice tla miješaju se s vezivnim sredstvom čime nastaje homogenizirana masa poboljšanih svojstava – Soilcrete. Najčešće injekcijske smjese su vodo-cementne, ali se koriste i kombinacije s bentonitom i vapnom. Danas su u primjeni 3 osnovna postupka izvedbe mlaznog injektiranja:

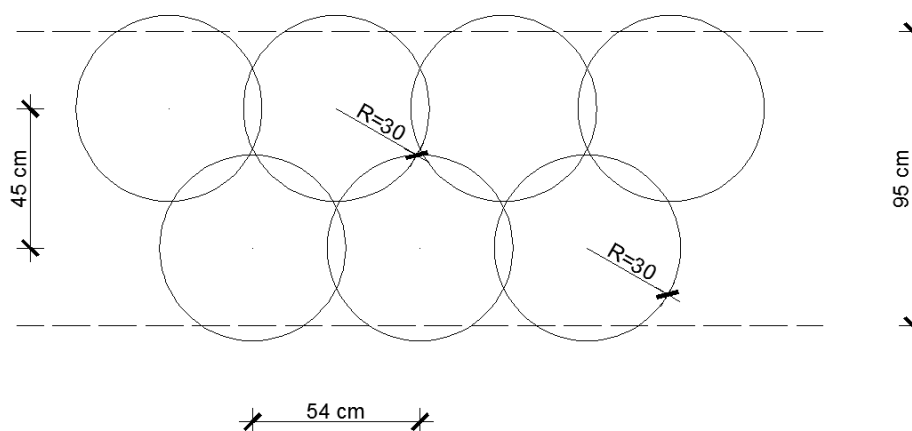
- Jednofluidni sustav – injekcijski mlaz pod visokim tlakom razara strukturu tla i miješa injekcijsku smjesu (jedna mlaznica);
- Dvofluidni sustav – razaranje strukture tla vodom ili zrakom pod visokim tlakom i miješanje tla s injekcijskom smjesom (dvije mlaznice);
- Trofluidni sustav – razaranje strukture tla smjesom vode i zraka pod visokim tlakom i miješanje tla injekcijskom smjesom (tri mlaznice).



*Slika 1.1. Vrste mlaznog injektiranja: a) jednofluidni sustav; b) dvofluidni sustav; c) trofluidni sustav*

## Projektne parametri i izvedba

Projektne parametri mlazno injektiranih stupnjaka odabrani su na temelju iskustva i preporučenih vrijednosti. Njih je potrebno provjeriti izradom probnog polja. Vrijednosti parametara prikazane su u poglavlju 3. Za tehnologiju izvođenja odabrana je jednofluidna vrsta mlaznog injektiranja. Stupnjaci se izvode u 2 reda, projektirani promjer stupnjaka je 0,6 m. Osni razmak u uzdužnom smjeru je 0,54 m, a u poprečnom 0,45 m (slika 1.2.). Stupnjaci se izvode do temeljne stijene čija dubina varira. U prvih 6 m stupnjaka postavljaju se armaturne šipke zbog pojave malih vlačnih naprezanja.



Slika 1.2. Prikaz rasporeda mlazno injektiranih stupnjaka

## Izvedba probnog polja i kontrola projektne parametara

Potrebno je izvesti probno polje na kojemu će se provjeriti projektne parametri mlazno injektirane konstrukcije. U sklopu probnog polja predviđa se izvođenje najmanje 10 mlazno injektiranih stupnjaka postupkom koji je predviđen projektom. Potrebno je uzeti uzorke iz stupnjaka i izvršiti laboratorijska ispitivanja s ciljem određivanja fizikalno-mehaničkih svojstava. Potrebno je provesti pokus izravnog smicanja, jednoosne čvrstoće te izvršiti provjeru dimenzija (promjera) iskopom navedenih stupnjaka. Moguće je izvršiti injektiranje pod različitim tlakovima da bi se utvrdilo pri kojem se dostižu vrijednosti promjera najbliže projektiranim vrijednostima. U slučaju odstupanja izmjerenih parametara u odnosu na projektne parametre potrebno je izvršiti korekciju parametara.

## 1.5. Zaštita pokosa mlaznim betonom i geotehničkim sidrima

### Mlazni beton

Mlazni beton u svemu treba zadovoljiti uvjete normi:

- HRN EN 14487-1 Mlazni beton - 1.dio: Definicije, specifikacije i sukladnosti
- HRN EN 14487-2 Mlazni beton - 2.dio: Izvedba
- HRN EN 14488-6 Ispitivanje mlaznog betona - 6.dio: Debljina mlaznog betona na podlozi

Mlazni beton mora imati sljedeće karakteristike:

- debljina  $d=10$  cm (5+5 cm)
- čvrstoća betona C25/30
- minimalni odskok (10-40%)

Može se koristiti suhi i mokri postupak. Materijali za pravljanje mlaznog betona moraju zadovoljavati uvjete predviđene normom HRN U.E3.011. U mlaznom betonu su predviđene armaturne mreže tipa Q-196. Prije početka gradnje potrebno je obaviti prethodna, a tijekom gradnje vršiti tekuća i kontrolna ispitivanja. Kontrola ispitivanja armaturnih mreža provodi se prema standardu HRN UM1.091.

### Geotehnička sidra

Sidreni dio zaštitne konstrukcije sastoji se od niza geotehničkih sidara. Na istočnoj strani koriste se IBO samobušeca sidra promjera tetive  $\phi 26.5$  mm i promjera bušeće glave  $\phi 76$  mm. Sidra se nalaze na razmaku  $2,5 \times 2,5$  m. Duljine gornja 2 reda sidara su 8 m, a donja 2 reda 6 m. Promjer bušotine za sidra je  $\phi 76$  mm. Ugrađuju se po kutom od  $25^\circ$  i u potpunosti se injektiraju. Između njih nalaze se sekundarna sidra iz konstruktivnih razloga promjera tetive  $\phi 26.5$  mm, promjera bušeće glave  $\phi 51$  mm i duljine 1,5 m. Na zapadnom dijelu koriste se injektirana štapna sidra promjera tetive  $\phi 26.5$  mm. Sidra se ugrađuju u jednom redu bočnog razmaka 2 m, pod kutom od  $32^\circ$ , duljine 10 m i promjera bušotine za sidra 20 cm. Sidra su u potpunosti injektirana. Geotehnička sidra potrebno je izvesti prema normi HRN EN 1997: 2012 i HRN EN 1537: 2008.

**Drenaža**

Da bi se spriječilo stvaranje hidrostatskog pritiska između stijene i betona i osiguralo dreniranje vode iza leđa pokosa, potrebno je ugraditi procjednice. Procjednice su PVC cijevi promjera 12 cm i duljine 3 m. Izvode se po nagibom od 5° na međusobnom razmaku 2,5m x 2,5m. Procjednice se ugrađuju u bušotini promjera 15 cm.

## 1.6. Popis primijenjenih propisa i normi

- Zakon o gradnji (NN br. 153/13)
- Tehnički propis za betonske konstrukcije (NN br. 139/09, 14/10, 125/10, 136/12)
- HRN EN 1997-1: 2012 en (Eurokod 7 - Geotehničko projektiranje - 1. dio: Opća pravila)
- HRN EN 1997-1: 2012 / NA: 2012 (Eurokod 7 - Geotehničko projektiranje - 1. dio: Opća pravila – Nacionalni dodatak)
- HRN EN 1997-2: 2012 en (Eurokod 7 - Geotehničko projektiranje - 2. dio: Istraživanje i ispitivanje temeljnog tla)
- HRN EN 1992: 2004 en (Eurokod 2 – Projektiranje betonskih konstrukcija )
- HRN EN 1537: 2008 en (Izvedba posebnih geotehničkih radova - Sidra u tlu i stijeni)
- HRN EN 12716: 2012 en (Izvedba posebnih geotehničkih radova - Mlazno injektiranje)
- HRN EN 1994-1-1: 2011 en (Eurokod 4 – Projektiranje spregnutih konstrukcija od čelika i betona – dio 1-1: Opća pravila i pravila za zgrade)
- HRN EN 1998-1: 2011 en (Eurokod 8 – Projektiranje konstrukcija otpornih na potres)
- Opći tehnički uvjeti za radove na cestama – OTU (Knjige 1-6, Zagreb, 2001.)

## 2. Tehnički uvjeti izvedbe

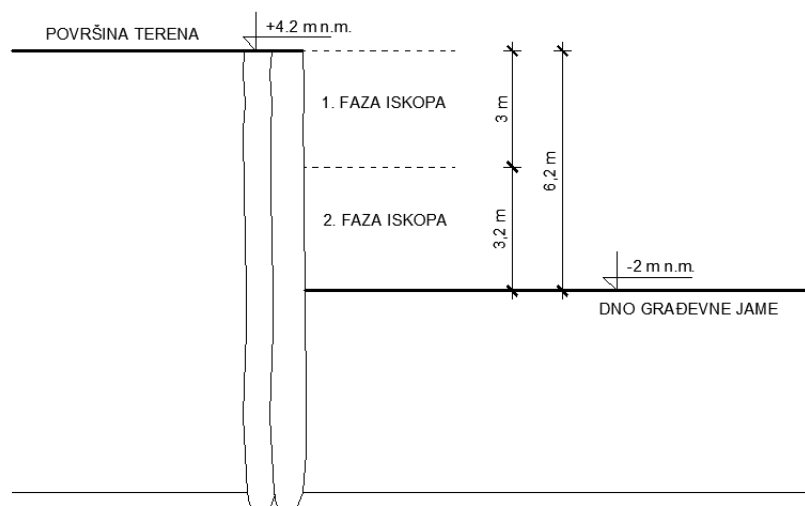
### 2.1. Pripremni radovi

U pripremne radove spada organizacija gradilišta, organizacija transporta i deponiranja materijala potrebnog za rad, priprema radnog platoa i iskolčenje osi mlazno injektiranih stupnjaka. Geodet treba iskolčiti osi stupnjaka da bi se znalo točno mjesto injektiranja. Dopusšteno odstupanje je  $\pm 1$  cm. Također je potrebno osigurati pristupne puteve i nesmetano kretanje vozila i ljudi na gradilištu.

### 2.2. Zemljani radovi

Zemljani radovi sastoje se od više faza. Prvo je potrebno pripremiti radni plato za potrebe korištenja mehanizacije. Tijekom iskopa organiziran je prijevoz materijala na predviđene deponije.

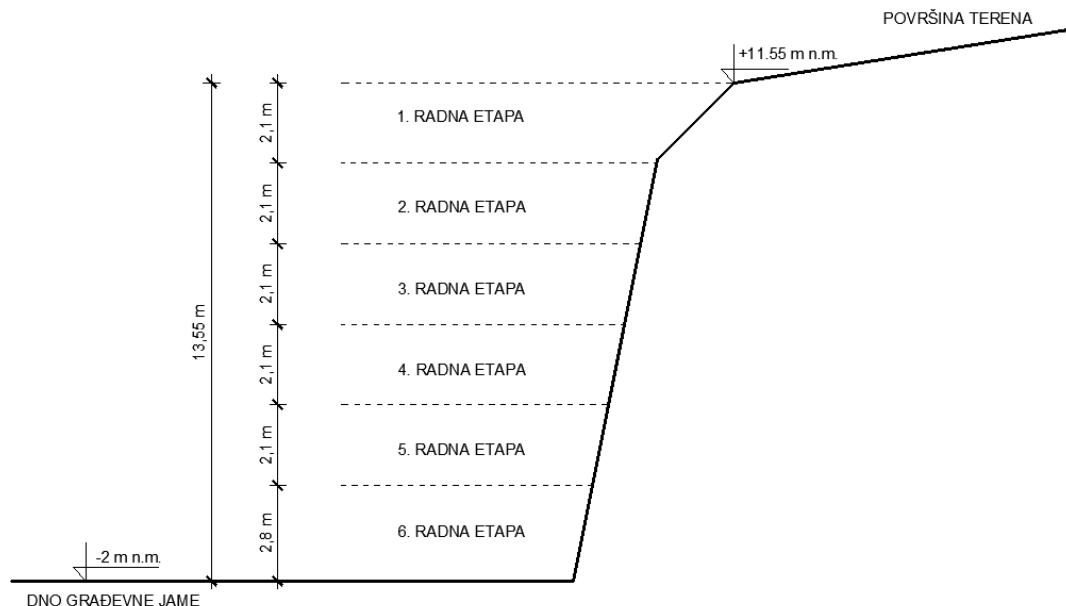
Na zapadnoj i dijelovima sjeverne i južne strane iskop se vrši nakon ugradnje mlazno injektiranih stupnjaka. Prva faza iskopa je do dubine 3 m tj. aps. kote 1,2 m n.m. gdje se ugrađuju geotehnička sidra. Druga faza iskopa je do dna jame tj. aps. kote -2 m n.m.. Iskop je u materijalu C kategorije.



Slika 2.1. Prikaz faza iskopa na zapadnoj strani

Na istočnoj i dijelovima sjeverne i južne strane gdje se zaštita pokosa ostvaruje pomoću mlaznog betona i sustava geotehničkih sidara iskop se vrši u radnim etažama. Visina radne

etaže odgovara dimenziji armaturne mreže koja se postavlja u mlazni beton, a iznosi 2,1 m. Iskop u idućoj radnoj etaži nastavlja se kada se izvrši nanošenje mlaznog betona i ugradnja geotehničkih sidara. Iskop je pretežito u materijalu A kategorije s dijelovima u materijalu C kategorije.



*Slika 2.2. Prikaz radnih etapa iskopa na istočnoj strani*

### 2.3. Mlazno injektiranje

Prije ugradbe mlazno injektiranih stupnjaka zahtijeva se izvedba probnog polja s minimalno 10 stupnjaka izvedenih istim postupkom predviđenim projektom. Poželjno je koristiti različite veličine tlakova. Na njima će se provjeriti odgovara li stvarno stanje projektnim parametrima. Potrebno je otkopati stupnjake da bi se utvrdio postignuti promjer stupnjaka i obaviti laboratorijska ispitivanja. Tek nakon provjere projektnih parametara može početi izrada stupnjaka. Injektiranje će se izvršiti jednofluidnom vrstom mlaznog injektiranja. Osi stupnjaka je potrebno iskolčiti na terenu s točnošću  $\pm 1$  cm. Tijekom ugradbe stupnjaka, dok je injekcijska smjesa još svježja, potrebno je umetnuti armaturne šipke u prvih 6 m (ugrađuju se u sredinu).



## 2.4. Mlazni beton i geotehnička sidra

Mlazni beton izvodi se u sloju debljine 10 cm (5+5 cm). Nakon prvog sloja (5 cm) ugrađuje se armaturna mreža Q-196. Nakon toga slijedi drugi sloj iste debljine (5 cm). Na mjestu gdje se ugrađuju sidra kroz mlazno injektirane stupnjake potrebno je izvesti traku od mlaznog betona širine 50 cm i debljine 10 cm (2 x 5 cm + armatura). Ugradnju je potrebno provesti prema svim normama. Tehnologija izvedbe daje se u izbor izvođaču (mokri ili suhi postupak).

Na istočnoj strani odabrana su IBO samobušiva geotehnička sidra promjera tetive  $\phi 32$  mm, promjera bušće glave  $\phi 76$  mm (karakteristike tipa DYWI R32, Dywidag). Sidra se izvode na razmaku 2,5 m x 2,5 m, duljine 8 m (prva dva reda) i 6 m (druga dva reda). Između njih potrebno je ugraditi konstruktivna sidra promjera tetive  $\phi 26.5$  mm, promjera bušće glave  $\phi 51$  mm i duljine 1,5 m (karakteristike tipa DYWI R26.5, Dywidag). Sidra se ugrađuju pod kutom od  $25^\circ$  od horizontale.

Na zapadnoj strani odabrana su injektirana štapna sidra promjera tetive  $\phi 26.5$  mm (karakteristike tipa sidra Dywidag Y1050H,  $\phi 26.5$ ), promjera bušotine za sidra 20 cm. Sidra se izvode kroz mlazno injektirane stupnjake u razmaku 2 m, duljine 10 m. Sidra se ugrađuju pod kutom od  $32^\circ$  od horizontale.

### 3. Određivanje geotehničkih sredina i definiranje parametara

Na temelju geotehničkih istražnih radova i rezultata laboratorijskih ispitivanja definirane su dvije geotehničke sredine:

**Geotehnička sredina GS 1**- sloj kvartarnih naslaga sastavljenih od gline prašinate u površini, humuzirane, nisko plastične i praha glinovitog, visoko plastičnog, sive do sivosmeđe boje, teško gnječive konzistencije s učešćem šljunka i pijeska.

**Geotehnička sredina GS 2** - Eocenske flišne naslage sastavljene od tankoslojevitih sedimenata koje čine meki lapori do čvrsti vapnenački lapori sive boje, s proslojcima vapnenačkih pješčenjaka, trošnih lapora i laporovitog praha.

#### 3.1. Određivanje parametara GS 1

##### 3.1.1. Određivanje parametara GS 1 iz rezultata SPT-a

Zbog različitih gubitaka energije prilikom izvođenja testa, izmjereni broj udaraca (N) se korigira na kvocijent energije  $ER=0.6$ , na normalizirani broj udaraca  $N_{60}$ :

$$N_{60} = \frac{ER}{60} \cdot C_S \cdot C_B \cdot C_N \cdot \lambda \cdot N_{sr}$$

$$\frac{ER_r}{60} = 1,0 \text{ - koeficijent energije korištene opreme}$$

$\lambda = 0,95$  - korekcijski faktor zbog gubitka energije zbog dužine potisne šipke u pijesku

$C_S = 1,0$  - korekcija detalja uzorkivača

$C_B = 0,95$  - korekcija na standardni promjer bušotine

$C_N = 1,25$  - korekcijski faktor zbog efektivnog pritiska nadsloja ( $\sigma'_v$ ) na mjestu ispitivanja

$N_{sr}$  – srednja vrijednost broja udaraca

Tablica 3.1. Prikaz rezultata broja udaraca po pojedinim bušotinama

| Broj bušotine | z (m)    | N  | N <sub>sr</sub> |
|---------------|----------|----|-----------------|
| B3            | 1,0-1,45 | 2  | 4               |
|               |          | 4  |                 |
|               |          | 7  |                 |
| B4            | 1,0-1,45 | 5  | 7               |
|               |          | 7  |                 |
|               |          | 10 |                 |
|               | 2,0-2,45 | 5  | 4               |
| 4             |          |    |                 |
| B5            | 1,0-1,45 | 5  | 7               |
|               |          | 7  |                 |
|               |          | 10 |                 |
|               | 2,0-2,45 | 5  | 5               |
|               |          | 7  |                 |
|               |          | 4  |                 |
|               | 4,0-4,45 | 7  | 12              |
| 13            |          |    |                 |
| 16            |          |    |                 |
| B6            | 1,0-1,45 | 3  | 4               |
|               |          | 5  |                 |
|               |          | 6  |                 |
|               | 2,7-3,15 | 4  | 5               |
|               |          | 5  |                 |
|               |          | 7  |                 |

|            |          |    |   |
|------------|----------|----|---|
| B6         | 4,7-5,15 | 4  | 4 |
|            |          | 4  |   |
|            | 7,0-7,6  | 6  | 1 |
|            |          | 0  |   |
| 2          |          |    |   |
| B7         | 1,0-1,45 | 2  | 9 |
|            |          | 10 |   |
|            |          | 12 |   |
|            | 3,2-3,85 | 0  | 1 |
|            |          | 1  |   |
|            |          | 3  |   |
|            |          | 3  |   |
|            | 5,3-5,75 | 3  | 3 |
|            |          | 4  |   |
|            | 6,3-7,05 | 0  | 1 |
|            |          | 1  |   |
| 2          |          |    |   |
| 10,1-10,55 | 16       | 17 |   |
|            | 16       |    |   |
|            | 20       |    |   |

$$N_{sr} = \sum_n N_{sr} = 5$$

$$N_{60} = \frac{ER}{60} \cdot C_S \cdot C_B \cdot C_N \cdot \lambda \cdot N_{sr}$$

$$N_{60} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,05 \cdot 1,25 \cdot 0,95 \cdot 5 = 6,23$$

#### Nedrenirana čvrstoća $c_u$ :

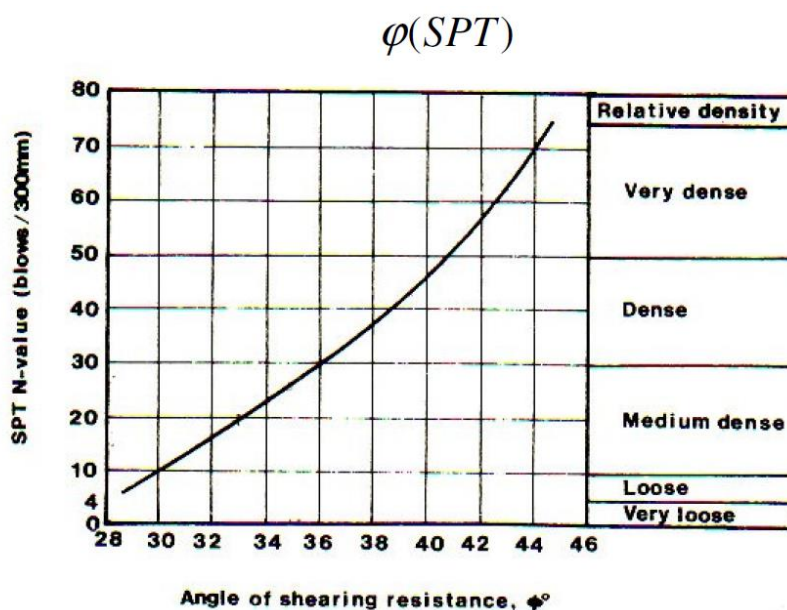
$$c_u = 4,5 \cdot N_{60} = 4,5 \cdot 6,23 = 28,04 \text{ kPa} \rightarrow \text{Za sitnozrnata tla (Stroud)}$$

$$c_u = 10,5 \cdot N_{60} = 10,5 \cdot 6,23 = 65,42 \text{ kPa} \rightarrow \text{Za sitnozrnata tla (Decourt)}$$

#### Kut unutarnjeg trenja $\varphi_k$ :

$$\varphi = 29^\circ \rightarrow \text{Očitano iz grafa za krupnozrnata tla u ovisnosti o } N \text{ (slika 3.1.)}$$

$$\varphi' = 15^\circ + \sqrt{24 \cdot N_{60}} = 27,23^\circ \rightarrow \text{Za krupnozrnata tla (Teixeira)}$$



Slika 3.1. Preporuke za određivanje kuta unutarnjeg trenja  $\varphi$  (Peck 1974.)

### Modul elastičnosti E:

$$\frac{E}{N_{60}} = 1,0 - 1,2 \text{ MPa} \rightarrow E = 1,0 \cdot N_{60} = 6,23 \text{ MPa} \rightarrow \text{Za sitnozrnata tla (Butler)}$$

$$\frac{E}{N_{60}} = 1,7 - 2,5 \text{ MPa} \rightarrow E = 1,7 \cdot N_{60} = 10,59 \text{ MPa} \rightarrow \text{Za krupnozrnata tla}$$

### Gustoća tla:

$$\gamma_{sat} = 19 \text{ kN/m}^3 \rightarrow \text{Pocjena saturirane gustoće tla (slika 3.2.)}$$

$$\gamma_d = 14 \text{ kN/m}^3 \rightarrow \text{Pocjena suhe gustoće tla (slika 3.2.)}$$

| vrsta materijala | $N_{60}$ | opis           | gustoća tla [ $\text{t/m}^3$ ] |           |
|------------------|----------|----------------|--------------------------------|-----------|
|                  |          |                | saturirano                     | suho      |
| pijesak          | 0 - 4    | vrlo rahli     | 1,7 - 1,8                      | 1,3 - 1,4 |
|                  | 4 - 10   | rahli          | 1,8 - 1,9                      | 1,4 - 1,5 |
|                  | 10 - 30  | srednje zbijen | 1,9 - 2,1                      | 1,5 - 1,8 |
|                  | 30 - 50  | zbijen         | 2,0 - 2,2                      | 1,7 - 2,0 |
|                  | > 50     | vrlo zbijen    | 2,2 - 2,3                      | 2,0 - 2,2 |
| glina            | 0 - 4    | vrlo meka      | 1,6 - 1,7                      | 0,9 - 1,1 |
|                  | 4 - 8    | meka           | 1,7 - 1,9                      | 1,1 - 1,4 |
|                  | 8 - 15   | srednje meka   | 1,8 - 2,2                      | 1,3 - 1,9 |
|                  | 15 - 30  | kruta          | 1,9 - 2,3                      | 1,8 - 1,9 |
|                  | 30 - 60  | vrlo kruta     |                                |           |
|                  | > 60     | 'čvrsta'       |                                |           |

Slika 3.2. Pocjena gustoće tla ovisno o izmjerenom broju udaraca SPT-a  $N_{60}$ .

### 3.1.2. Određivanje parametara GS 1 iz indeksa plastičnosti:

Indeks plastičnosti određen je ispitivanjem granica plastičnosti u laboratoriju metodom pomoću Cassegrandeovog uređaja. Prosječni indeks plastičnosti iznosi:

$$I_p = 22,58\%$$

Na temelju njega određeni su sljedeći parametri tla:

#### Nedrenirana čvrstoća $c_u$ :

$$c_u = f_1 \cdot N_{60} \cdot p_a = 0,075 \cdot 6,23 \cdot 100 = 46,73 \text{ kPa} \rightarrow \text{Za sitnozrnata tla (tablica 3.2.)}$$

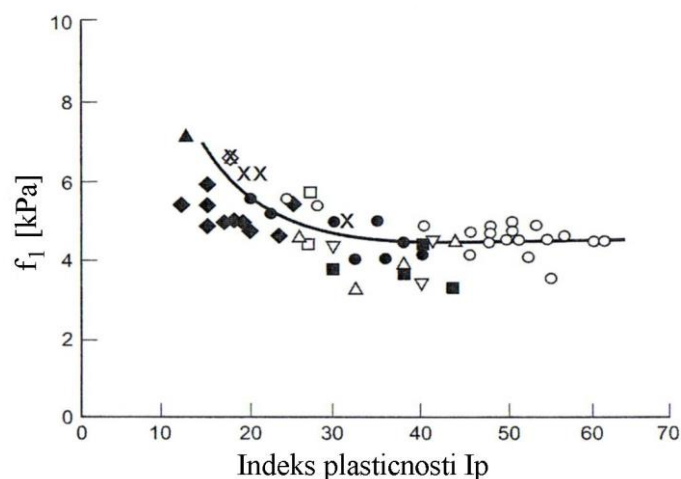
**Tablica 3.2.** Vrijednosti faktora  $f_1$  u ovisnosti o indeksu plastičnosti  $I_p$  (Stroud)

| $I_p$ | $f_1$ |
|-------|-------|
| 10    | 0.080 |
| 20    | 0.075 |
| >30   | 0.045 |

$$c_u = f_1 \cdot N_{60} = 5 \cdot 6,23 = 31,15 \text{ kPa} \rightarrow \text{Očitano } f_1 \text{ za indeks plastičnosti } I_p \text{ (slika 3.3.)}$$

$$\frac{c_u}{\sigma_v'} = 0,11 + 0,037 \cdot I_p \rightarrow c_u = 12,82 \text{ kPa} \rightarrow \text{Iz indeksa plastičnosti } I_p \text{ (Skempton)}$$

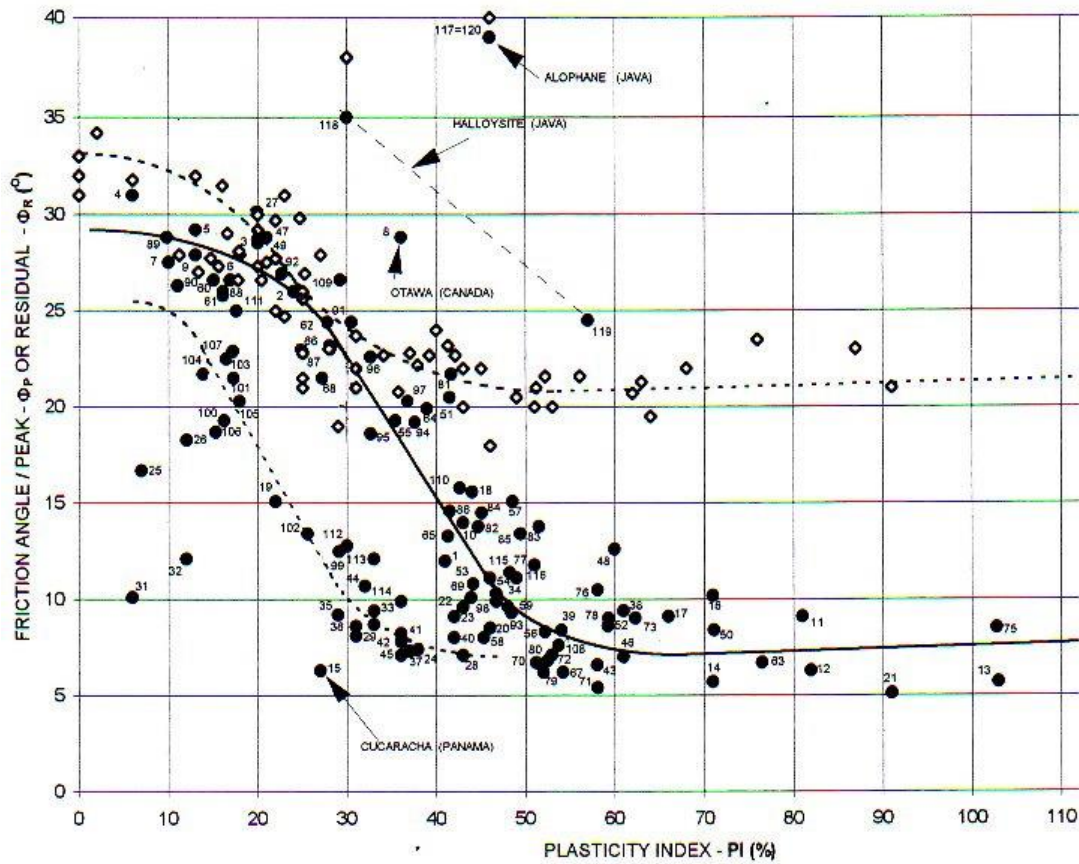
$$\sigma_v' = z_{sr} \cdot \gamma = 5,7 \cdot 19 = 108,3 \text{ kPa} \rightarrow \text{efektivno naprezanje na srednjoj dubini sloja}$$



**Slika 3.3.** Preporuke za određivanje nedrenirane čvrstoće  $c_u$  (Clayton, 1995.)

**Kut unutarnjeg trenja  $\varphi_k$ :**

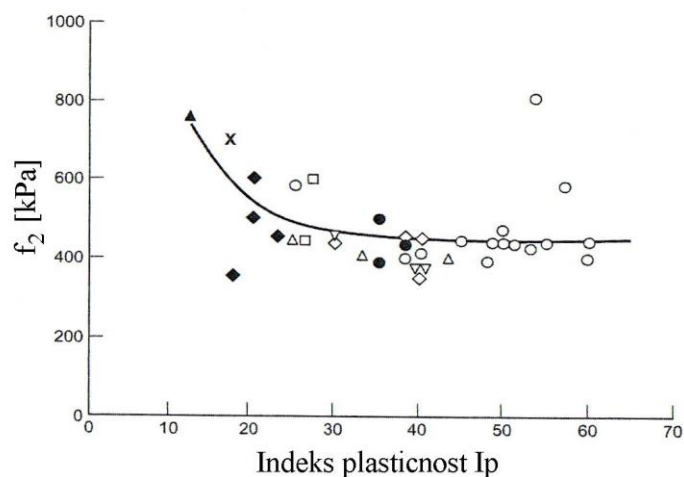
$\varphi = 26^\circ \rightarrow$  Očitano iz grafa za sitnozrnata tla u ovisnosti o  $I_p$  (slika 3.4.)



*Slika 3.4. Vršni i rezidualni kut unutarnjeg trenja za sitnozrnate materijale ovisno o indeksu plastičnosti (Ortolan 2009).*

**Modul elastičnosti E:**

$E = f_2 \cdot N_{60} = 500 \cdot 6,23 = 3,12 \text{ MPa} \rightarrow$  Očitano  $f_2$  za indeks plastičnosti  $I_D$  (slika 3.5.)



Slika 3.5. Preporuke za određivanje Youngova modula elastičnosti  $E$  (Clayton, 1995.)

Tablica 3.3. Vrijednosti parametara dobivene iz korelacija SPT-a i indeksa plastičnosti  $I_p$

|                              | $c_u$ (kPa) | $\phi$ (°) | $E$ (MPa)  |
|------------------------------|-------------|------------|------------|
| SPT-korelacija (Stroud)      | 28,04       | -          | -          |
| SPT-korelacija (Decourt)     | 65,42       | -          | -          |
| SPT-korelacija (Peck)        | -           | 29         | -          |
| SPT-korelacija (Teixeira)    | -           | 27,13      | -          |
| SPT-korelacija (Butler)      | -           | -          | 6,23-10,59 |
| $I_p$ –korelacija (Clayton)  | 31,15       | -          | 3,12       |
| $I_p$ –korelacija (Stroud)   | 46,73       | -          | -          |
| $I_p$ –korelacija (Ortolan)  | -           | 26         | -          |
| $I_p$ –korelacija (Skempton) | 12,82       | -          | -          |

Na temelju vrijednosti iz tablice 3.3. odabrani su parametri prikazani u poglavlju 3.4.. Za nedreniranu čvrstoću  $c_u$  odabrana je aritmetička sredina svih vrijednosti, dok je za kut unutarnjeg trenja  $\phi$  i modul elastičnosti  $E$  odabrana najmanja vrijednost.

### 3.2. Određivanje parametara GS 2

Na temelju rezultata dobivenih geotehničkim istraživanjima i iskustvenih podataka dobivenih u istovjetnim naslagama, određena je vrijednost geološkog indeksa čvrstoće GSI, prema dijelu geomehaničke klasifikacije – RMR sistem (Bieniawski 1989), koja uzima stanje podzemne vode “potpuno suho”, a ne uzima u obzir i utjecaj pružanja i nagiba diskontinuiteta.

*Tablica 3.4. Određivanje geološkog indeksa čvrstoće GSI*

| PARAMETAR   | PODRUČJE VRIJEDNOSTI        | BROJ BODOVA |           |
|---|-----------------------------|-------------|-----------|
| Jednoosna tlačna čvrstoća   | <1 MPa i 1-25 MPa           |             | 1         |
| Pokazatelj ispucalosti stijenske mase RQD   | <25 %                       |             | 3         |
| Razmak diskontinuiteta  | <60 i 60-200 mm             |             | 6         |
| Stanje diskontinuiteta:   |                             |             |           |
| dužina diskontinuiteta  | 3–10 i 10-20 m              | 1           |           |
| zijeve  | <0,1 mm i 0.1-1 mm          | 4           |           |
| hrapavost   | neznatno hrapave do glatke  | 2           |           |
| ispuna  | meka ispuna <5 mm           | 2           |           |
| rastršenost   | umjereno do jako rastrošene | 2           |           |
| Ukupno stanje diskontinuiteta:  |                             |             | 11        |
| Pružanje i pad diskontinuiteta  | -                           |             | 0         |
| Stanje podzemne vode (Napomena: za proračun GSI-a uzima se kao da nema podzemne vode) | nema                        |             | 15        |
|   | <b>UKUPNO:</b>              |             | <b>36</b> |

$GSI = RMR_{(89)} - 5$ ;  $GSI = 36 - 5 = 31$ , tj. “slaba stijenska masa“ (21-40 bodova).

#### Čvrstoća stijenske mase

Za definiranje čvrstoće stijenske mase provedena su laboratorijska ispitivanja indeksa čvrstoće stijene s opterećenjem u točki - PLT ("Point Lod Test") na uzorcima uzetim iz bušotina.



Vrijednost jednoosne čvrstoće određena je na osnovu korelacije s indeksom PLT za lapore (sadržaj  $\text{CaCO}_3$  35-65%), *Miščević et al*, 1999, *Korelacija između PLT-a i jednoosne čvrstoće za lapore*:

$$q_u = 7,5 \cdot I_{S(50)}$$

Sa uzorka iz bušotine B-5, dubina 7.0-7.2 m, za dobiveni rezultat ispitivanja PLT-a  $I_{S(50)} = 0,483$ , prema prethodnoj korelaciji dobivena je jednoosna čvrstoća stijenske mase:

$$q_u = 7,5 \cdot 0,483 = 3,6 \text{ MPa}$$

Proračun parametara čvrstoće stijenske mase izrađen je pomoću softvera "RocLab" za **GS 2**:

$$\text{GSI} = 31$$

$$\sigma_{ci} = 15 \text{ MPa (iskustvena vrijednost)}$$

$$m_i = 7$$

$$D = 0 \text{ (mehanički iskop)}$$

|                                     |                      |
|-------------------------------------|----------------------|
| Hoek Brown Classification           | Mohr-Coulomb Fit     |
| sigci 15 MPa                        | c 0.062 MPa          |
| GSI 31                              | phi 47.99 degrees    |
| mi 7                                | Rock Mass Parameters |
| D 0                                 | sigt -0.012 MPa      |
| Ei 2625                             | sigc 0.277 MPa       |
| Hoek Brown Criterion                | sigcm 1.407 MPa      |
| mb 0.595                            | Erm 227.94 MPa       |
| s 0.0005                            |                      |
| a 0.521                             |                      |
| Failure Envelope Range              |                      |
| Application Slopes                  |                      |
| sig3max 0.1311 MPa                  |                      |
| Unit Weight 0.024 MN/m <sup>3</sup> |                      |
| Slope Height 6.2 m                  |                      |

### 3.3. Parametri mlazno injektiranih stupnjaka

Odabir parametara napravljen na temelju iskustvenih vrijednosti prema literaturi ( [1] Klaus Kirch, Alan Bell, Ground Improvement, 2013., [2] Jie Han, Principles and Practices of Ground Improvement, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2015., [5] Damir Čorko, Davorin Kovačić, Davorin Lovrenčić, Božica Marić, Mlazno injektiranje: Prikaz tehnologije i primjene mlaznog injektiranja, “CONNEX“ d.o.o., 1997.).

Promjer:  $D = 0,6 \text{ m}$

Tlačna čvrstoća:  $\sigma_c = 2 \text{ MPa}$

Vlačna čvrstoća:  $\sigma_t = 0,1 \cdot \sigma_c = 0,2 \text{ MPa}$

Modul elastičnosti:  $E = (100 - 1000) \cdot \sigma_c = 1 \text{ GPa}$

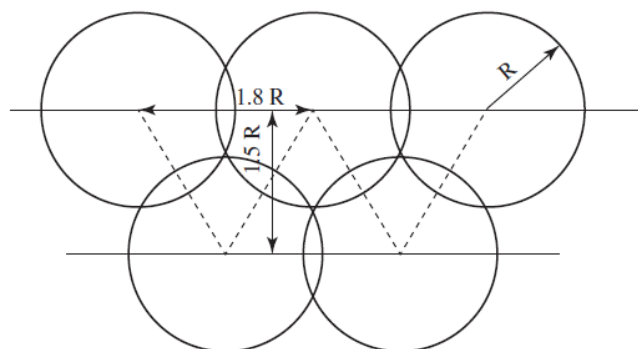
Poissonov koeficijent:  $\nu = 0,3$

Jedinična težina:  $\gamma_d = 16 \text{ kN} / \text{m}^3$   
 $\gamma_{sat} = 18 \text{ kN} / \text{m}^3$

Kohezija:  $c_k = 300 \text{ kPa}$

Kut unutarnjeg trenja:  $\varphi_k = 35^\circ$

Raspored mlazno injektiranih stupnjaka određen je prema preporučenim vrijednostima (slika 3.6.)



*Slika 3.6. Preporučene vrijednosti razmaka mlazno injektiranih stupnjaka*

$$R = 30 \text{ cm}$$

$$1,5 \cdot R = 45 \text{ cm}$$

$$1,8 \cdot R = 54 \text{ cm}$$

### 3.4. Odabrani parametri

#### Karakteristične vrijednosti:

*Tablica 3.5. Prikaz karakterističnih vrijednosti odabranih parametara*

|                              | $\gamma_{\text{sat}}$ (kN/m <sup>3</sup> ) | $c_{\text{uk}}$ (kPa) | $c_k$ (kPa) | $\varphi_k$ (°) | E (MPa) |
|------------------------------|--|-----------------------|-------------|-----------------|---------|
| GS 1 (nedrenirano stanje)    | 19   | 36                    | -           | 0               | 3,12    |
| GS 1 (drenirano stanje)      | 19   | -                     | 0           | 26              | 3,12    |
| GS 2                         | 24   | -                     | 62          | 48              | 1000    |
| Mlazno injektirani stupnjaci | 18   | -                     | 300         | 35              | 1000    |

#### Projektne vrijednosti:

Korekcijski faktori za proračunski pristup 3:

$$\gamma' = \frac{\gamma}{\gamma_\gamma} = \frac{\gamma}{1,0}$$

$$c' = \frac{c}{\gamma_c} = \frac{c}{1,25}$$

$$\text{tg}\varphi' = \frac{\text{tg}\varphi}{\gamma_{\text{tg}\varphi}} = \frac{\text{tg}\varphi}{1,25}$$

*Tablica 3.6. Prikaz projektних vrijednosti odabranih parametara*

|                              | $\gamma_{\text{sat}}$ (kN/m <sup>3</sup> ) | $c_u'$ (kPa) | $c'$ (kPa) | $\varphi'$ (°) | E (MPa) |
|------------------------------|--|--------------|------------|----------------|---------|
| GS 1 (nedrenirano stanje)    | 19   | 29           | -          | 0              | 3,12    |
| GS 1 (drenirano stanje)      | 19   | -            | 0          | 21             | 3,12    |
| GS 2                         | 24   | -            | 49         | 41             | 1000    |
| Mlazno injektirani stupnjaci | 18   | -            | 240        | 29             | 1000    |

### 3.5. Seizmički parametri

Temeljno tlo se prema Eurocodu može svrstati u razred "A" po dokumentu (HRN ENV, 1998-1-1:2011). Razred „A“ je definiran kao: stijena ili druga geološka formacija, uključujući i najviše 5 m najslabijeg materijala na površini. Brzina širenja poprečnih valova  $V_{s,30} \geq 800$  m/s.



**Slika 3.7.** Seizmička karta s povratnim periodima od 95 i 475 godina za lokaciju građevine.

Kao projektni seizmički parametar definirana je vrijednost maksimalne horizontalne akceleracije ( $a_{gR}$  izraženo u jedinici g) za povratni period od 95 godina (slika 3.7.):

Maksimalna horizontalna akceleracija:  $a_{gR} = 0,112 \cdot g$

Horizontalni seizmički koeficijent:  $k_h = \frac{\alpha \cdot S}{r} = \frac{0,112 \cdot 1,0}{2,0} = 0,056$

$$\alpha = \frac{a_{gR}}{g} = \frac{0,112 \cdot g}{g} = 0,112$$

$S = 1,0 \rightarrow$  parametar tipa tla

$r = 2,0 \rightarrow$  parametar dozvoljenog pomaka konstrukcije

Vertikalni seizmički koeficijent:  $k_v = 0,5 \cdot k_h = 0,5 \cdot 0,056 = 0,028$

## 4. Geotehnički proračun

Proračun stabilnosti pokosa izvršen je na osnovi raspoloživih podataka o geometriji zahvata i geološkoj građi terena. Proračuni su izvršeni prema normi HRN EN 1997-1: 2012, (Eurokod 7 - Geotehničko projektiranje) i HRN EN 1537: 2008 (Izvedba posebnih geotehničkih radova - Sidra u tlu i stijeni). Izvršen je proračun za drenirano i nedrenirano stanje. Seizmički proračun je izvršen prema normi HRN EN 1998: 2011 (Eurokod 8 - Projektiranje konstrukcija otpornih na potres) za povratni period 95 godina. Analiza stabilnosti zasjeka s mlazno injektiranim stupnjacima napravljena je u računalnom programu Phase<sup>2</sup> 7.0 (Rocscience Inc., Toronto, Canada), a analiza stabilnosti kosine u programu Slide 6.0 (Rocscience Inc., Toronto, Canada).

### 4.1. Model – zapadna strana

U modelu su korištena 2 reda mlazno injektiranih stupnjaka promjera  $D=0,6$  m čija je širina zamijenjena „ekivalentnim zidom“ širine  $\check{S}=0,95$  m. Tlačna čvrstoća stupnjaka je  $\sigma_c = 2$  MPa, a vlačna  $\sigma_t = 0,2$  MPa. Također je korišten sustav geotehničkih sidara, jedan red bočnog razmaka 2 m. Sidra su u potpunosti injektirana, promjer bušotine za sidro je 20 cm. Postavljena su pod kutom od  $32^\circ$ , duljine 10 m. Nosivost je određena trenjem po plaštu.

#### Proračunska nosivost trenjem po plaštu:

$$\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi_d \quad - \text{posmično naprezanje na plaštu sidrenog tijela}$$

$$\sigma = \gamma \cdot z_{sr} \quad - \text{normalno naprezanje u središtu sidrenog tijela}$$

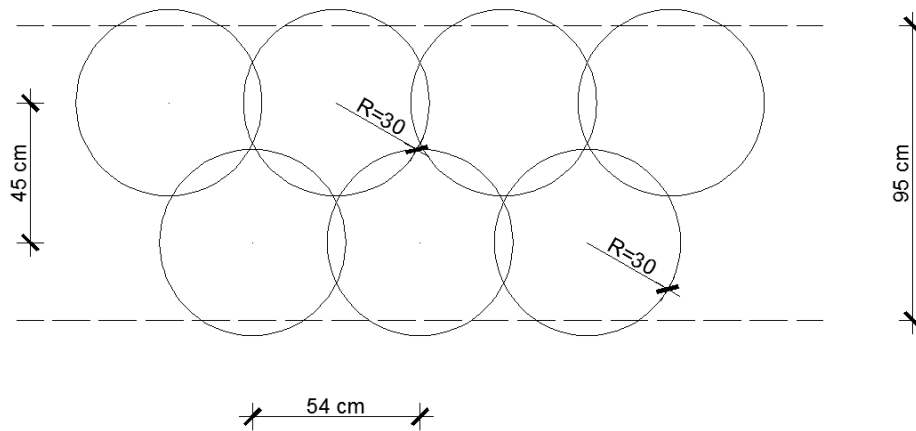
$$R_d = \tau \cdot l_s \cdot 2r\pi \quad - \text{proračunska nosivost po vanjskom plaštu sidrišnog tijela}$$

$$\sigma = 19 \cdot 6,45 = 122,55 \text{ kPa}$$

$$\tau = 122,55 \cdot \operatorname{tg} 21^\circ = 47,04 \text{ kPa}$$

$$R_d = 47,04 \cdot 0,2 \cdot \pi \cdot l_s$$

$$R_d = 29,54 \cdot l_s \text{ kN / m}$$

**Raspored mlazno injektiranih stupnjaka:**

*Slika 4.1. Prikaz rasporeda mlazno injektiranih stupnjaka i „ekvivalentnog zida“*

**Momenti inercije za stvarni oblik stupnjaka i „ekvivalentni zid“ koji je korišten u modelu:**

–moment inercije za stvarni oblik stupnjaka:

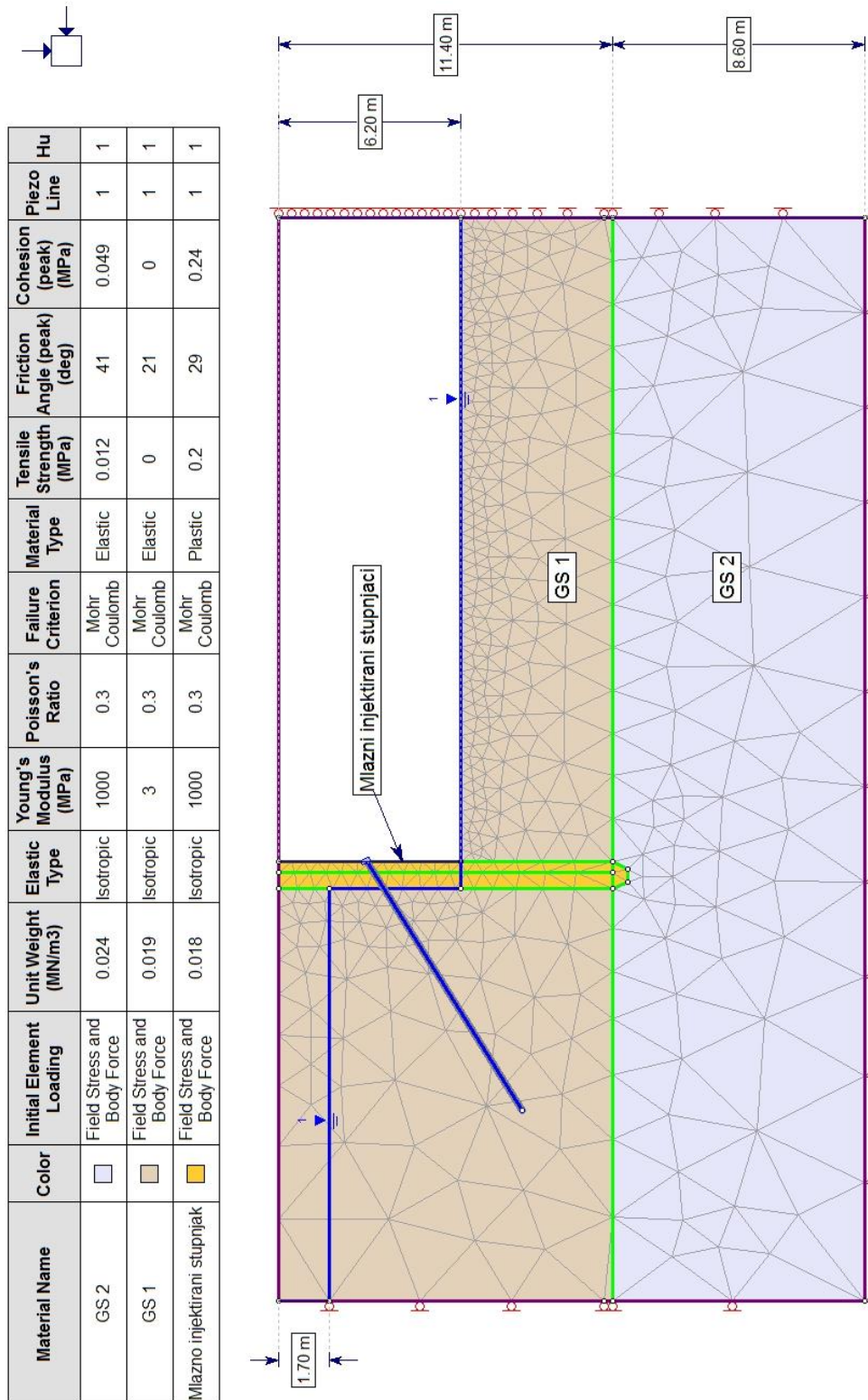
$$I = \left( \frac{\pi \cdot r^4}{4} + \pi \cdot r^2 \cdot y_T^2 \right) \cdot 4 = \left( \frac{3,14 \cdot 0,3^4}{4} + 3,14 \cdot 0,3^2 \cdot 0,225^2 \right) \cdot 4 = 0,08 \text{ m}^4$$

–moment inercije za ekvivalentni zid :

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{1,14 \cdot 0,95^3}{12} = 0,08 \text{ m}^4$$

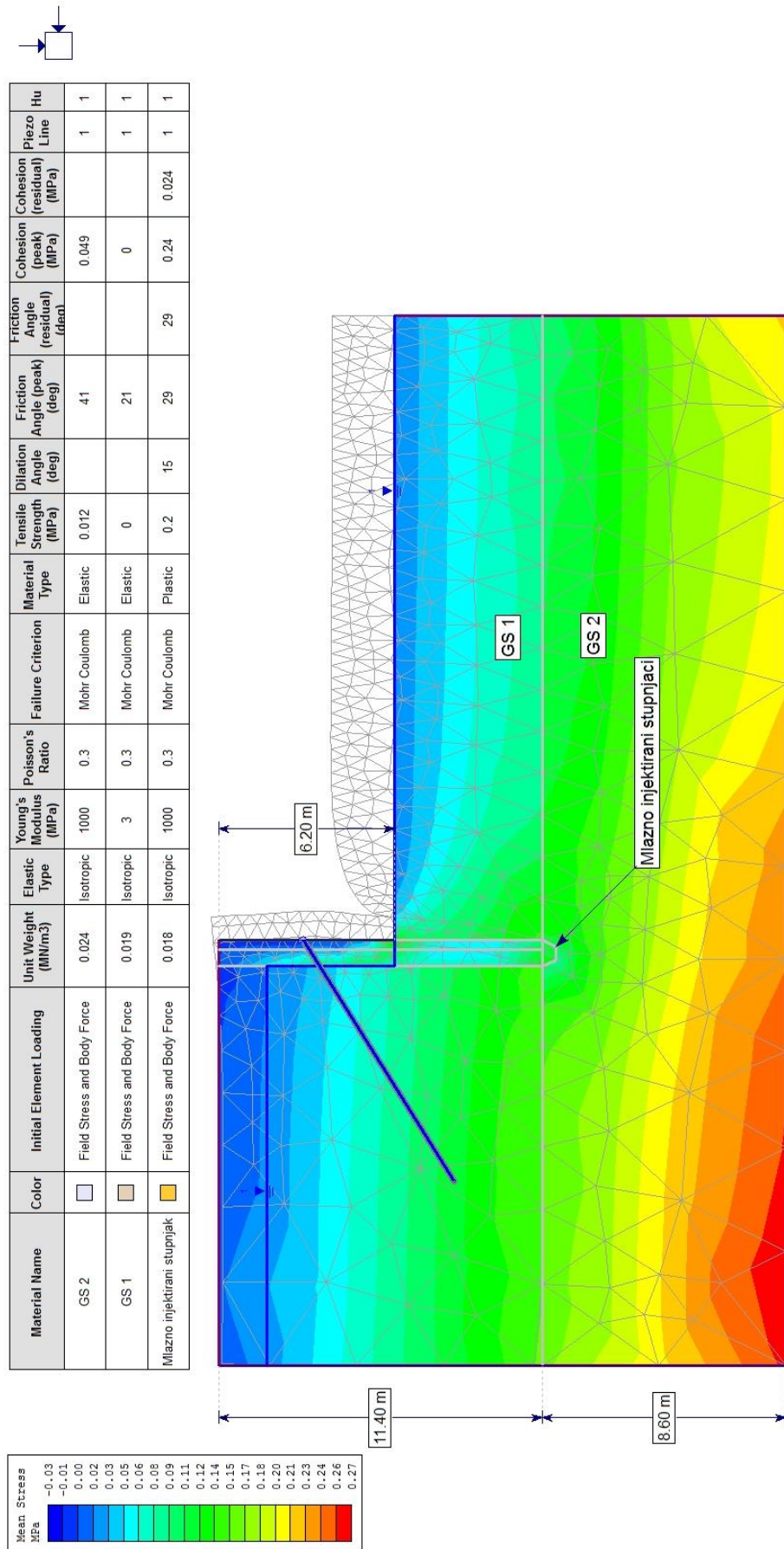
#### 4.1.1. Proračun za drenirano stanje – zapadni dio

Model je napravljen u računalnom programu Phase 7,0. Geometrija modela napravljena je na temelju geotehničkog profila, a ulazni podaci odabrani na temelju geotehničkih istražnih radova i laboratorijskih ispitivanja (prikazani u poglavlju 3.) Za drenirano stanje nije korišteno seizmičko opterećenje već samo opterećenje vlastite težine. Geometrija modela i ulazni podaci prikazani su na slici 4.2.. Proračun je izvršen prema projektnom pristupu 3. Rezultati deformacija i ukupnih naprezanja prikazani na slici 4.3. odnosno 4.5.. Na slici 4.6. prikazani su položaji presjeka mlazno injektiranih stupnjaka u kojima su promatrana ukupna naprezanja. Ukupno je promatrano 6 presjeka po dubini, a dijagrami ukupnog naprezanja prikazani su na slikama 4.7. – 4.12.. Na njima je vidljivo da naprezanja ne prelaze čvrstoću samih stupnjaka. Maksimalno tlačno naprezanje iznosi  $\sigma_{c,\max} = 0,20 \text{ MPa}$ , dok je maksimalno vlačno naprezanje  $\sigma_{t,\max} = 0,04 \text{ MPa}$ .

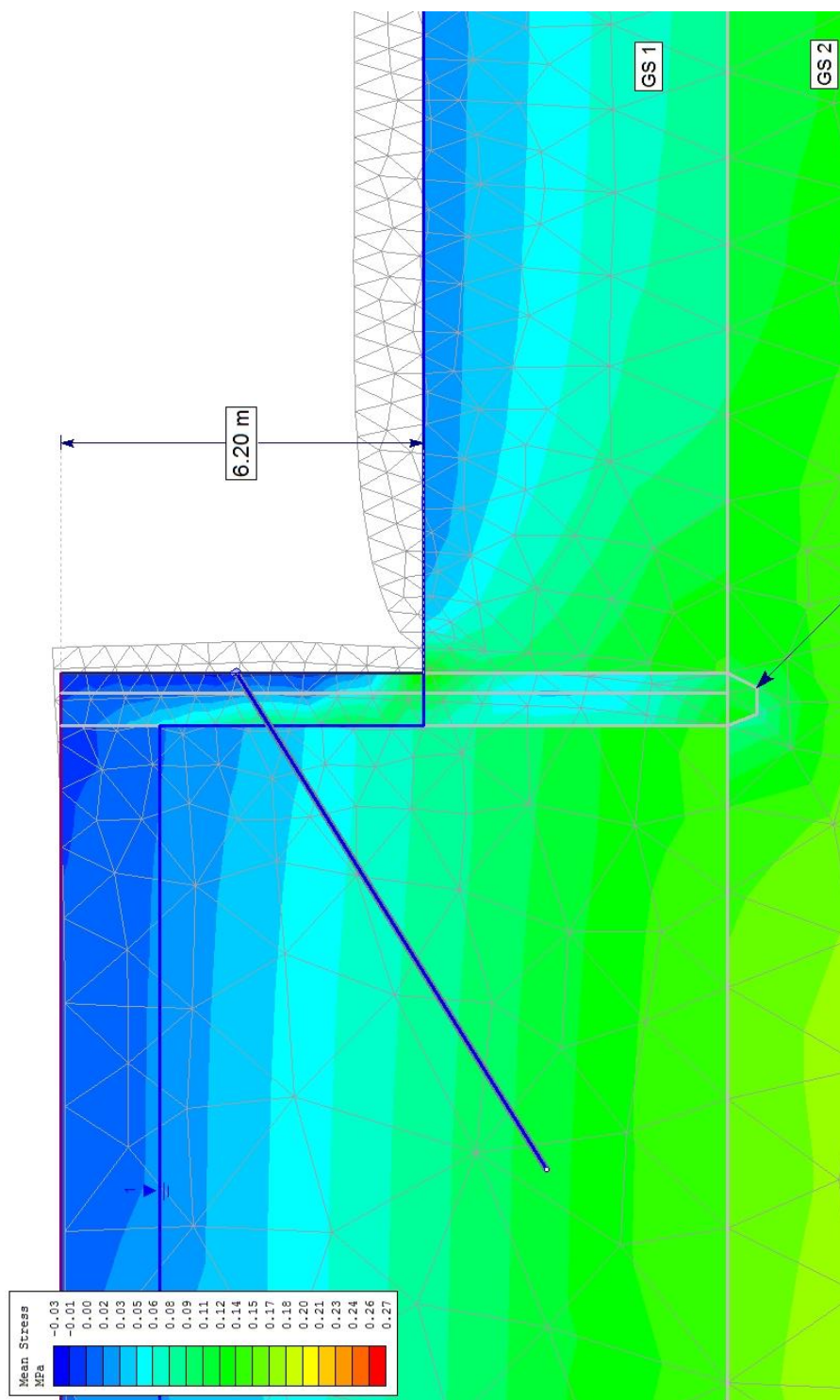


Slika 4.2. Prikaz modela za drenirano stanje sa ulaznim parametrima

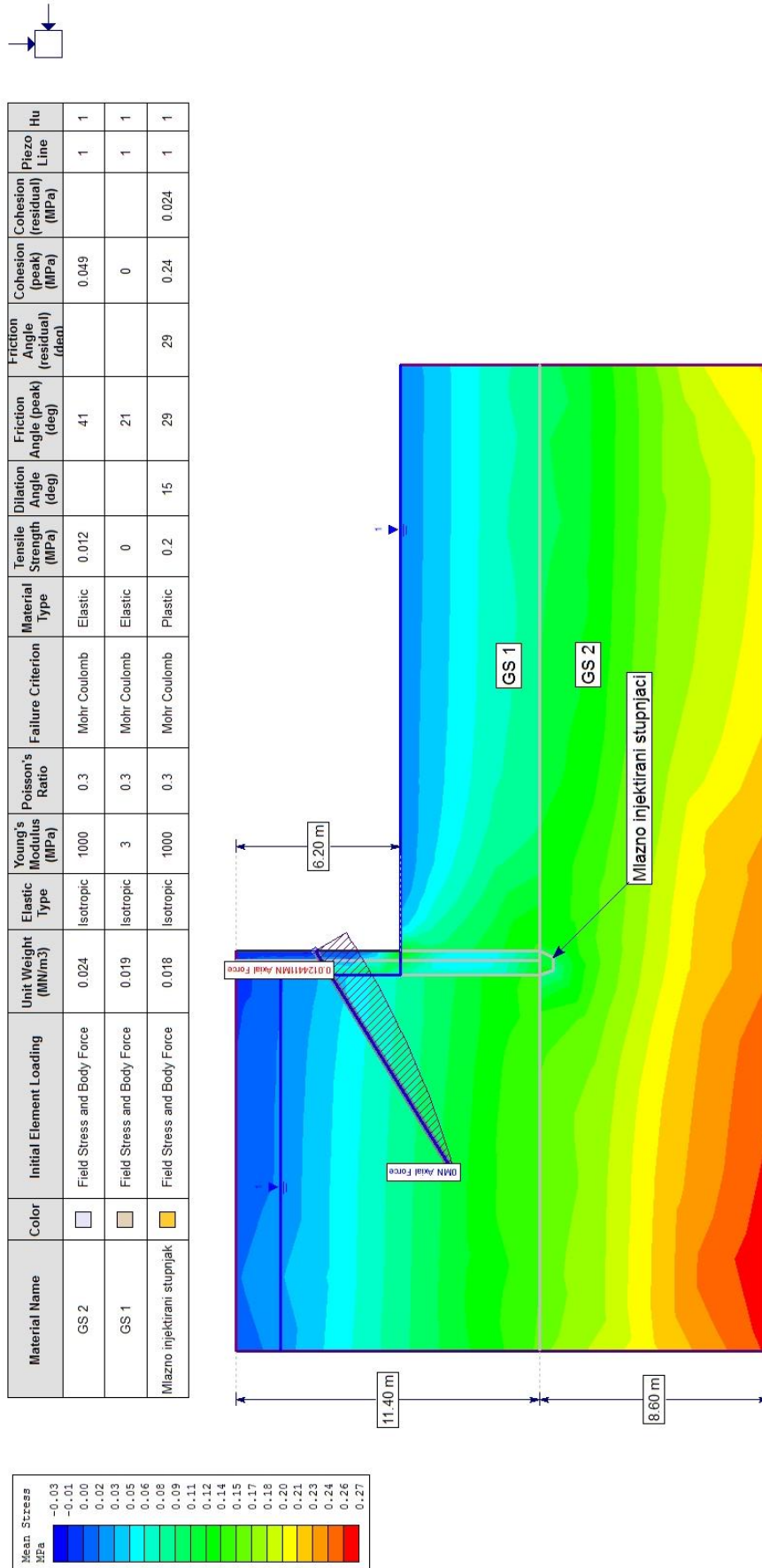




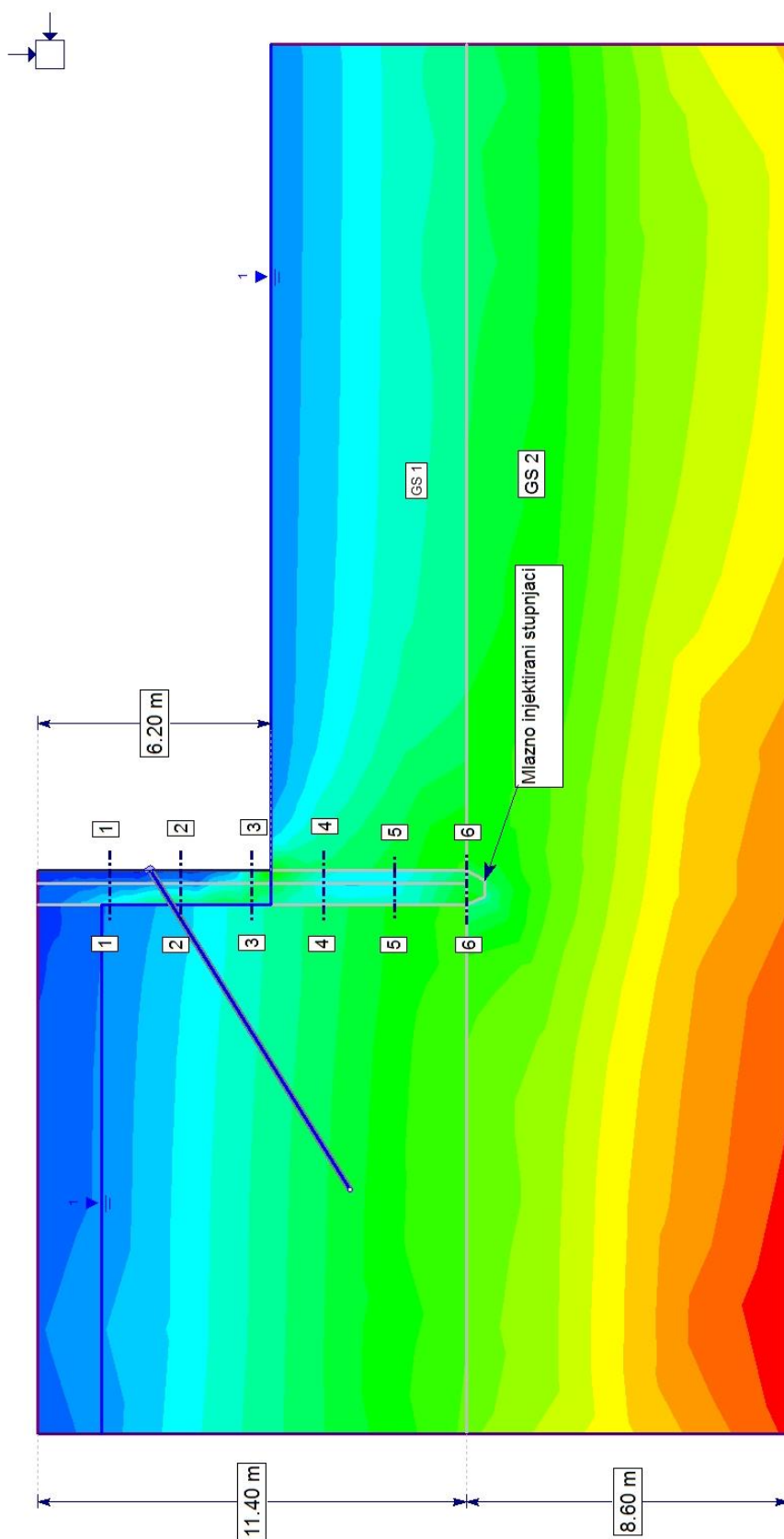
Slika 4.3. Prikaz deformacije stupnjaka



Slika 4.4. Uvećani prikaz deformacije stupnjaka



Slika 4.5. Prikaz rezultata ukupnih naprezanja

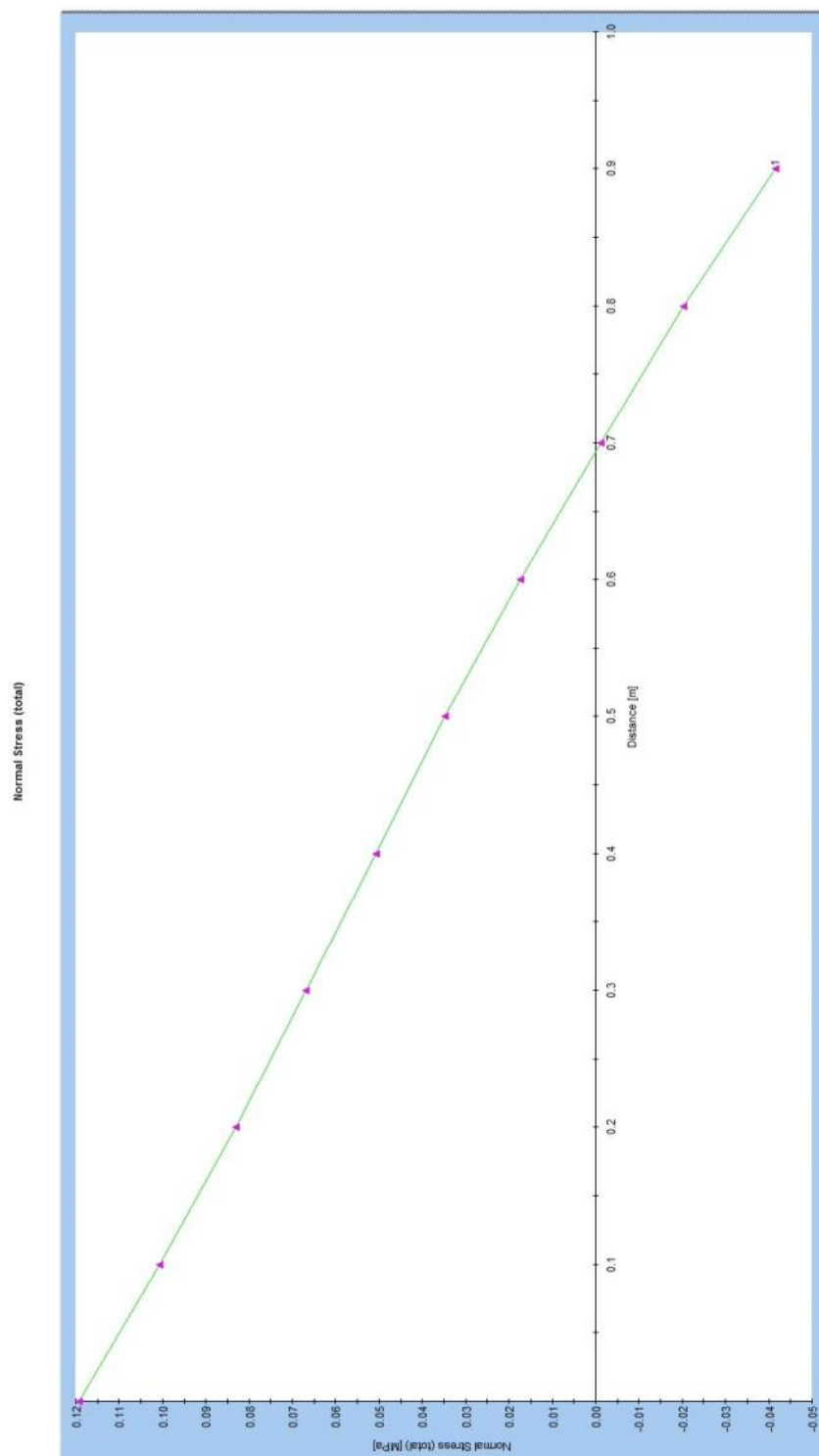


Slika 4.6. Prikaz položaja presjeka mlazno injektiranih stupnjaka

## Presjek 1-1

$$\sigma_{c,\max} = 0,12 \text{ MPa} \rightarrow \text{tlak}$$

$$\sigma_{c,\min} = -0,04 \text{ MPa} \rightarrow \text{vlak}$$



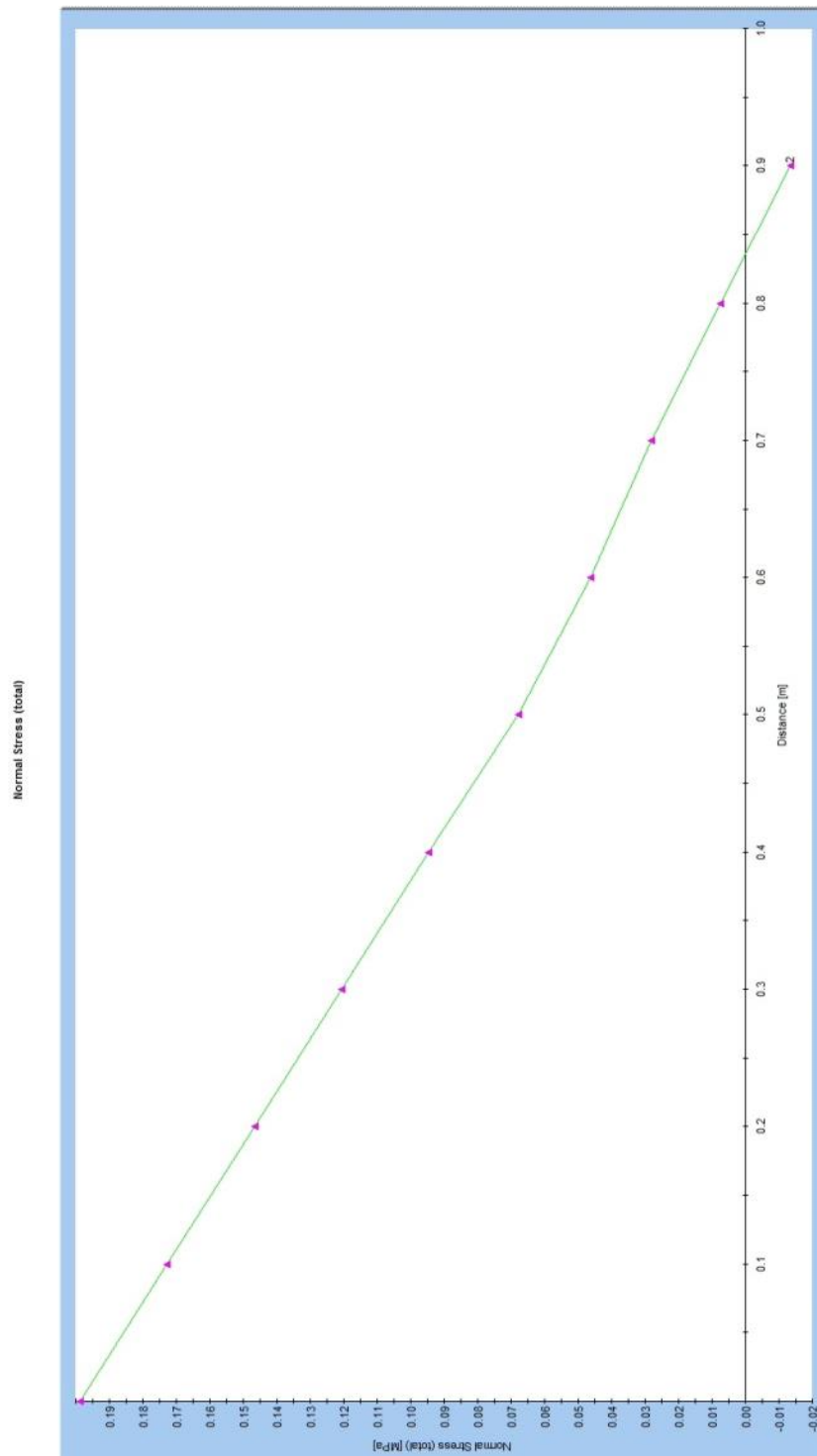
Slika 4.7. Prikaz ukupnih naprezanja mlazno injektiranih stupnjaka presjeka 1-1

Zbog javljanja vlačnih naprezanja u prvih 6 m stupnjaka ugradit će se armaturene šipke u sredinu stupnjaka.

## Presjek 2-2

$$\sigma_{c,\max} = 0,20 \text{ MPa} \rightarrow \text{tlak}$$

$$\sigma_{c,\min} = -0,01 \text{ MPa} \rightarrow \text{vlak}$$



*Slika 4.8. Prikaz ukupnih napreznja mlazno injektiranih stupnjaka presjeka 2-2*

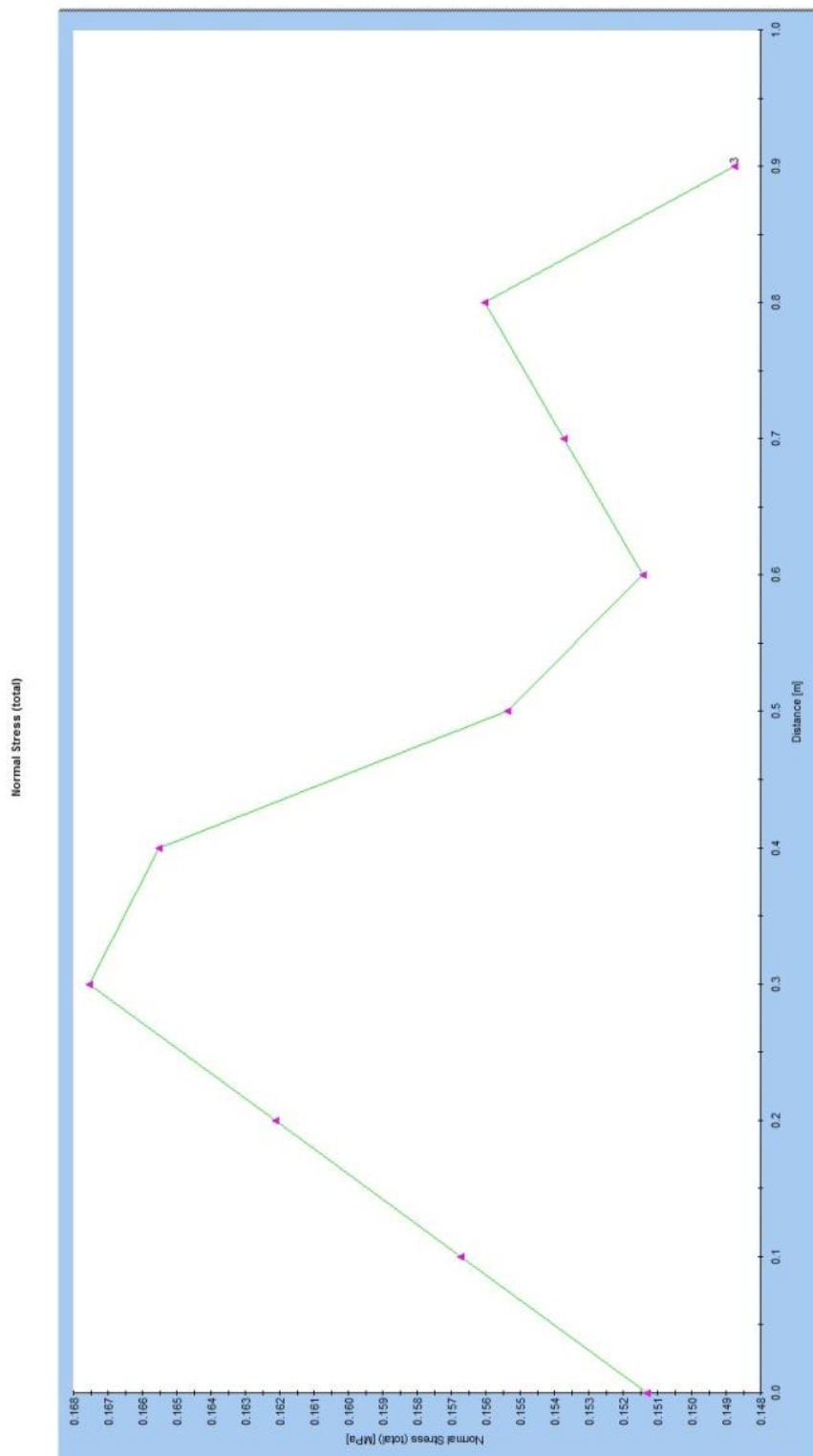
Zbog javljanja vlačnih napreznja u prvih 6 m stupnjaka ugradit će se armaturne šipke u sredinu stupnjaka.



## Presjek 3-3

$$\sigma_{c,\max} = 0,17 \text{ MPa} \rightarrow \text{tlak}$$

$$\sigma_{c,\min} = 0,15 \text{ MPa} \rightarrow \text{tlak}$$

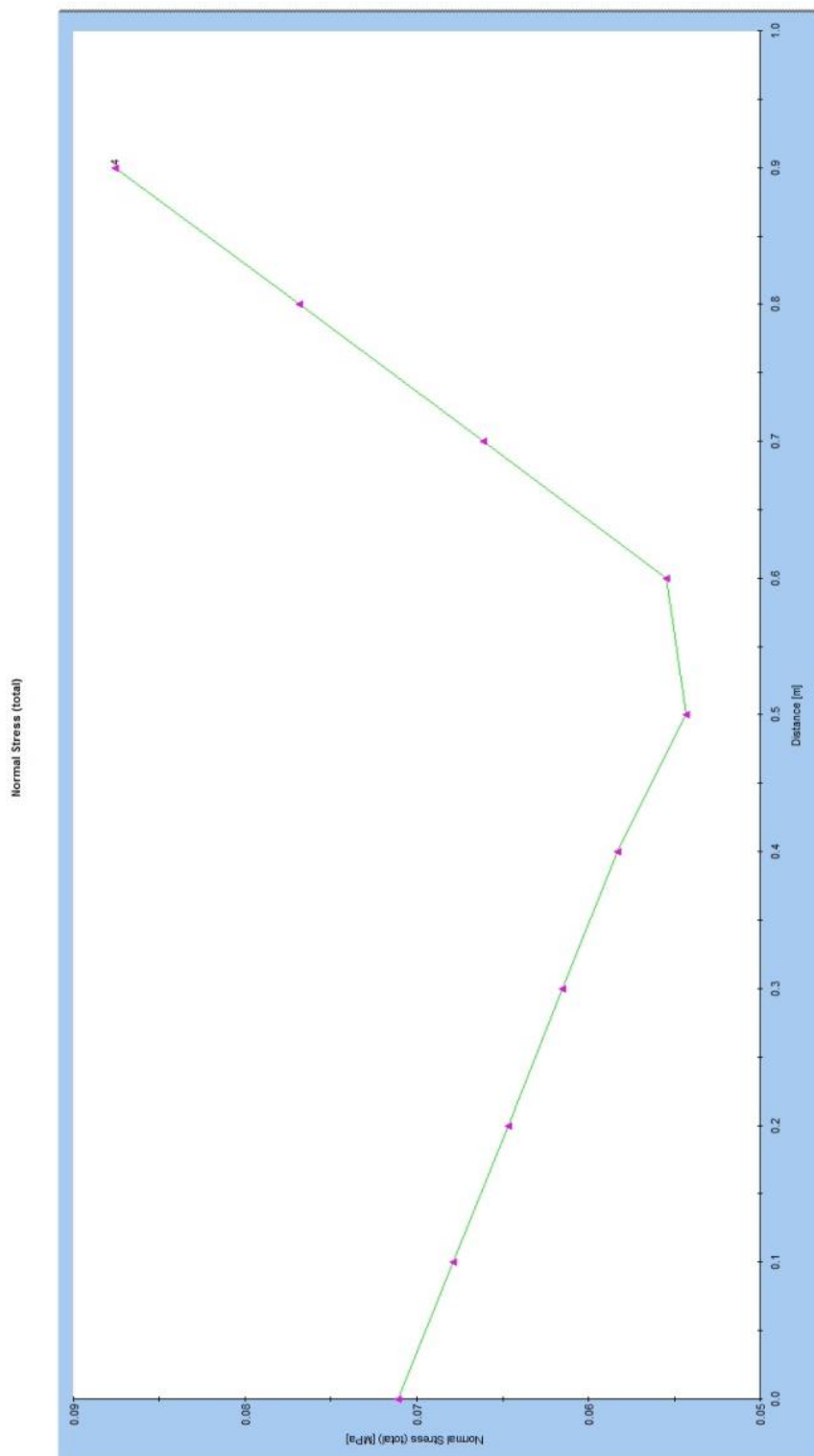


Slika 4.9. Prikaz ukupnih naprezanja mlazno injektiranih stupnjaka presjeka 3-3

## Presjek 4-4

$$\sigma_{c,\max} = 0,09 \text{ MPa} \rightarrow \text{tlak}$$

$$\sigma_{c,\min} = 0,05 \text{ MPa} \rightarrow \text{tlak}$$



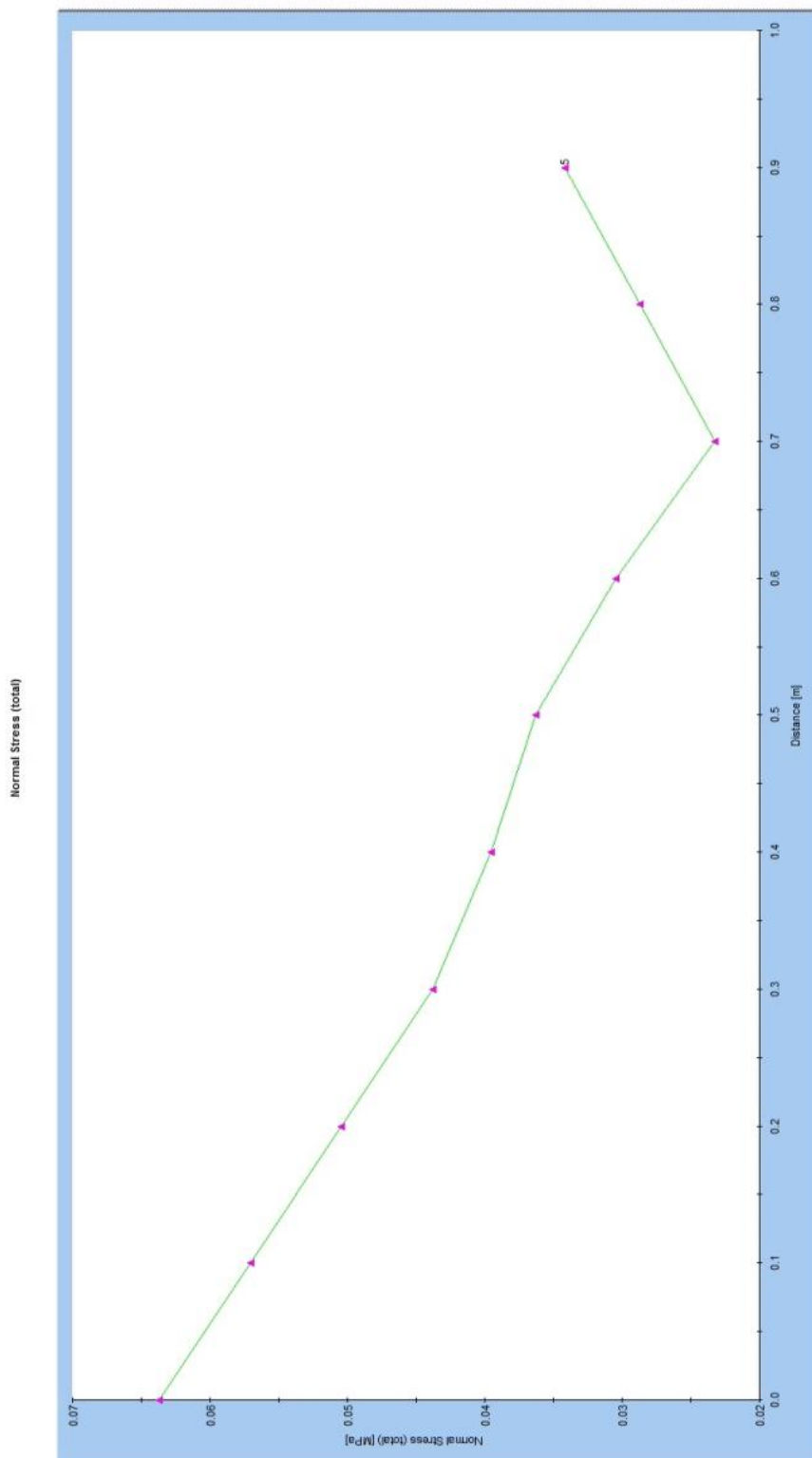
Slika 4.10. Prikaz ukupnih naprezanja mlazno injektiranih stupnjaka presjeka 4-4



## Presjek 5-5

$$\sigma_{c,\max} = 0,06 \text{ MPa} \rightarrow \text{tlak}$$

$$\sigma_{c,\min} = 0,02 \text{ MPa} \rightarrow \text{tlak}$$

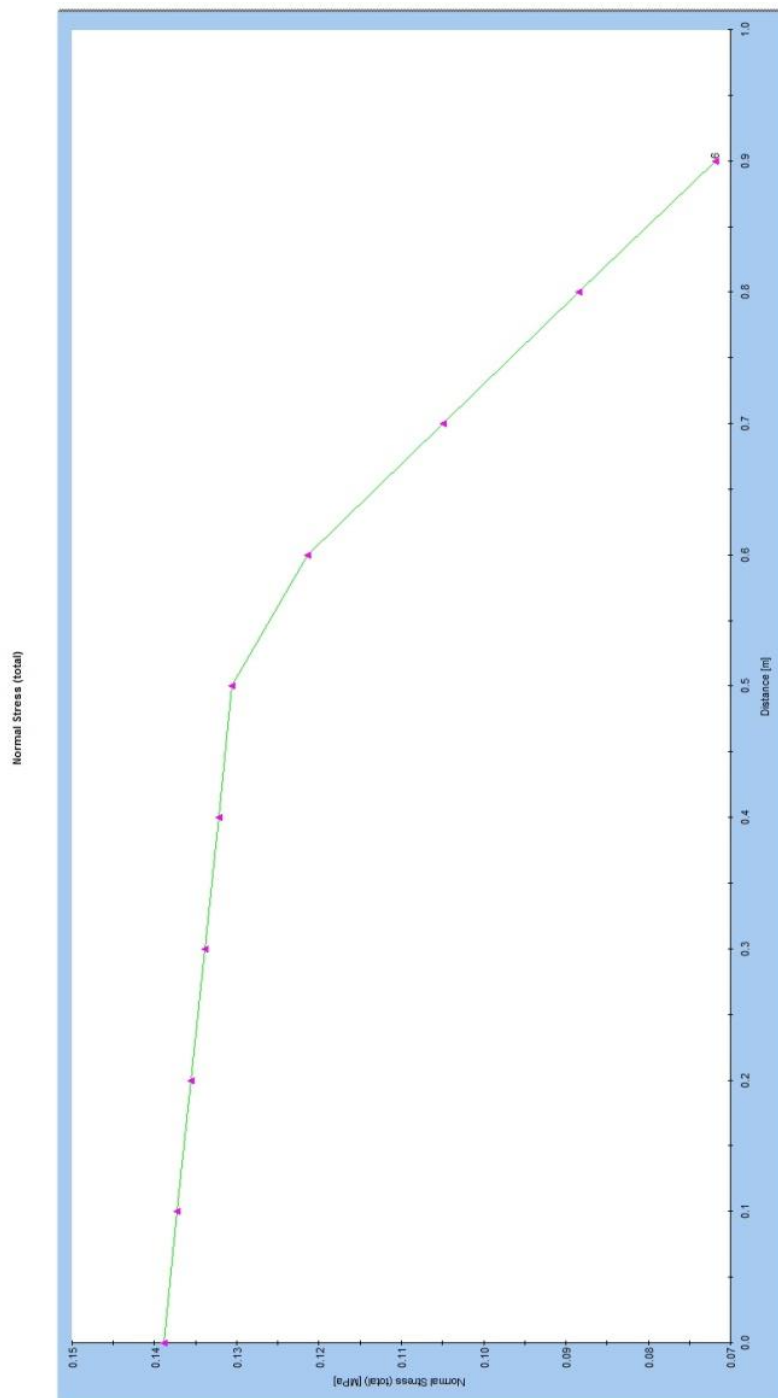


Slika 4.11. Prikaz ukupnih naprezanja mlazno injektiranih stupnjaka presjeka 5-5

## Presjek 6-6

$$\sigma_{c,\max} = 0,14 \text{ MPa} \rightarrow \text{tlak}$$

$$\sigma_{c,\min} = 0,07 \text{ MPa} \rightarrow \text{tlak}$$

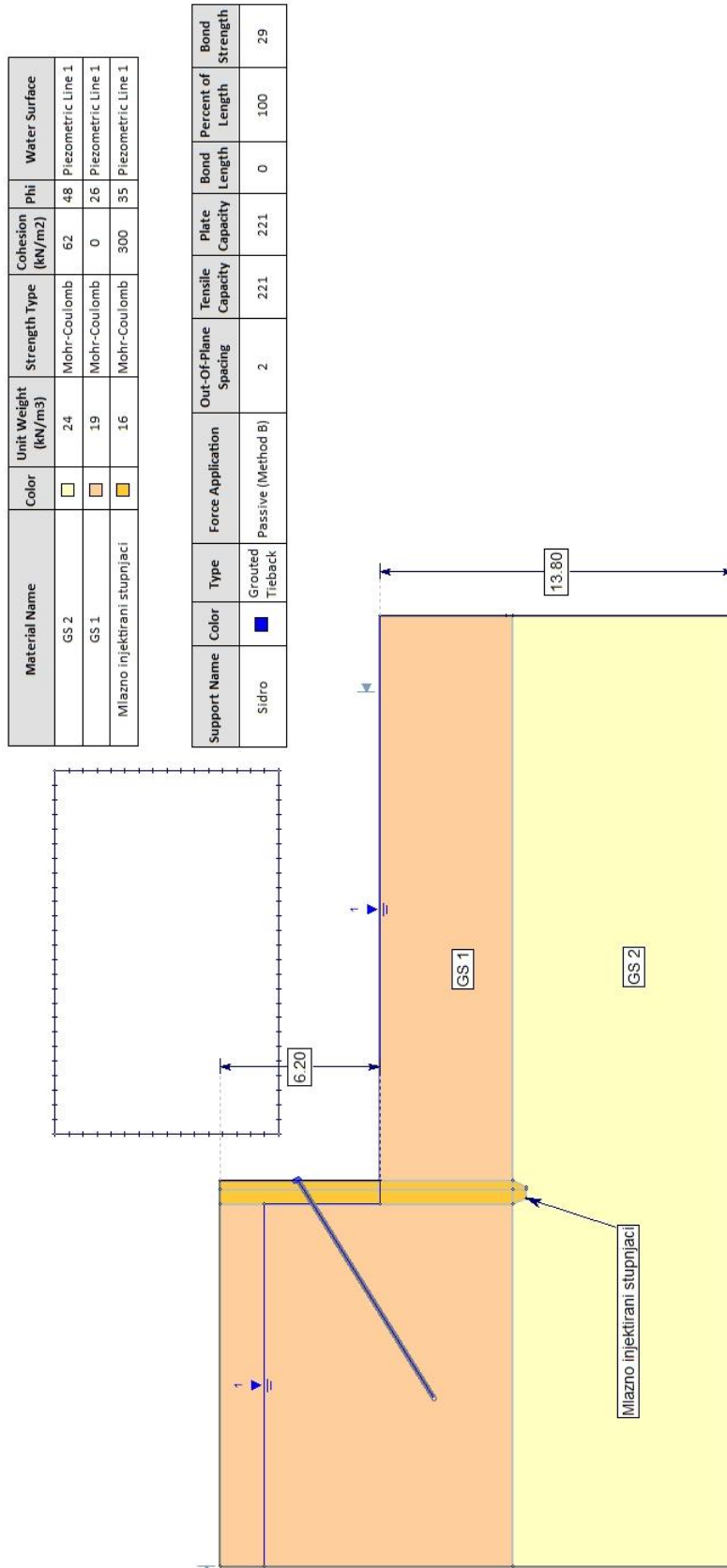


*Slika 4.12. Prikaz ukupnih napreznaja mlazno injektiranih stupnjaka presjeka 6-6*

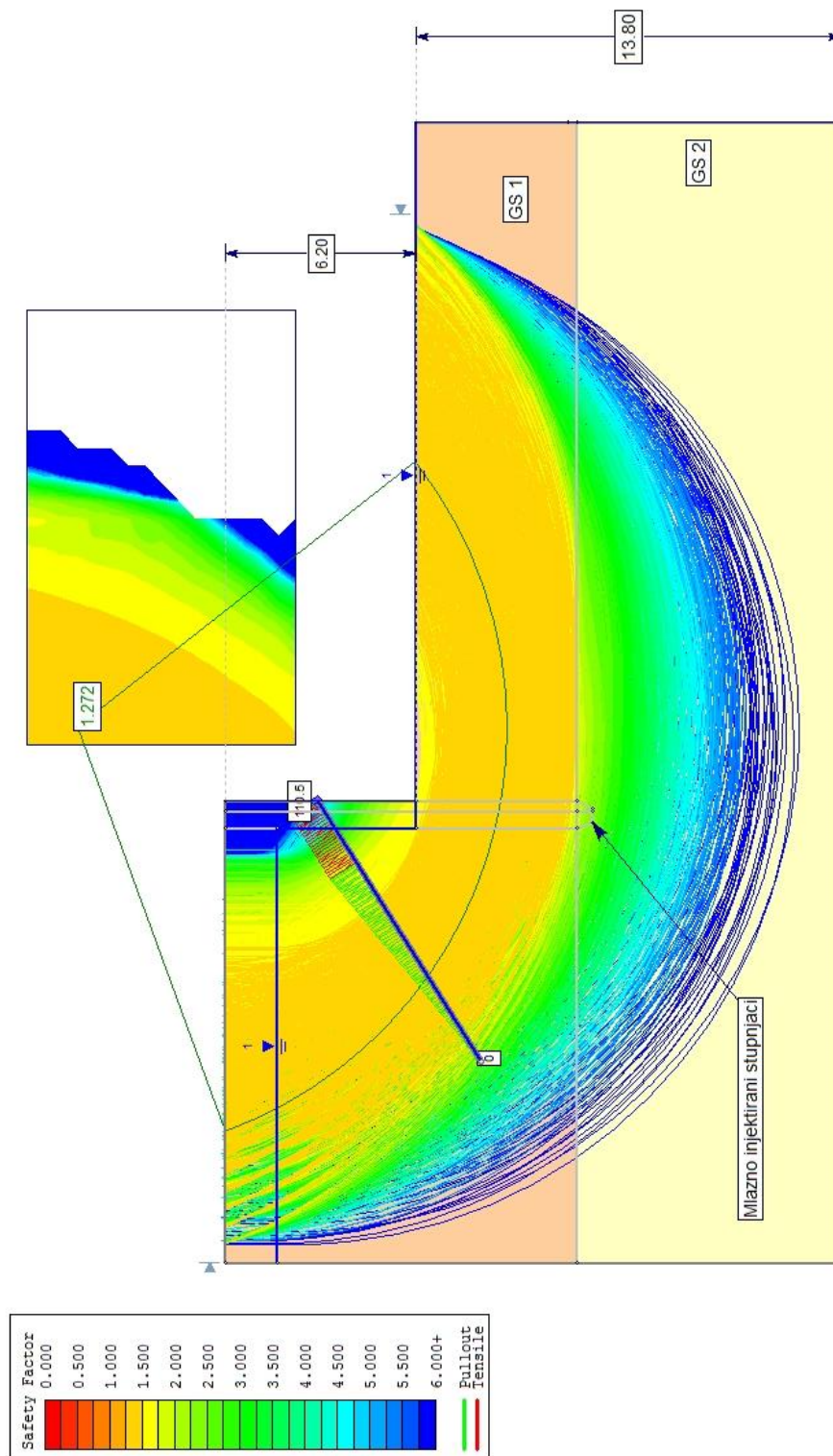
Iz prikazanih rezultata vidljivo je da su napreznaja manja od čvrstoće materijala pa je nosivost osigurana.

#### **4.1.2. Analiza globalne stabilnosti za drenirano stanje– zapadni dio**

Model je napravljen u računalnom programu Slide 6,0. Geometrija modela napravljena je na temelju geotehničkog profila, a ulazni podaci odabrani na temelju geotehničkih istražnih radova i laboratorijskih ispitivanja (prikazani u poglavlju 3.) U modelu nije korišteno seizmičko opterećenje već samo opterećenje vlastite težine. Geometrija modela i ulazni podaci prikazani su na slici 4.13.. Proračun stabilnosti izvršen je prema projektnom pristupu 3. Na slici 4.14. prikazani su rezultati stabilnosti pokosa gdje je vidljivo da koeficijent sigurnosti iznosi  $K_s = 1,272 > K_{s,min} = 1,0$  što znači da je stabilnost pokosa osigurana.



Slika 4.13. Prikaz modela za globalnu stabilnost pokosa

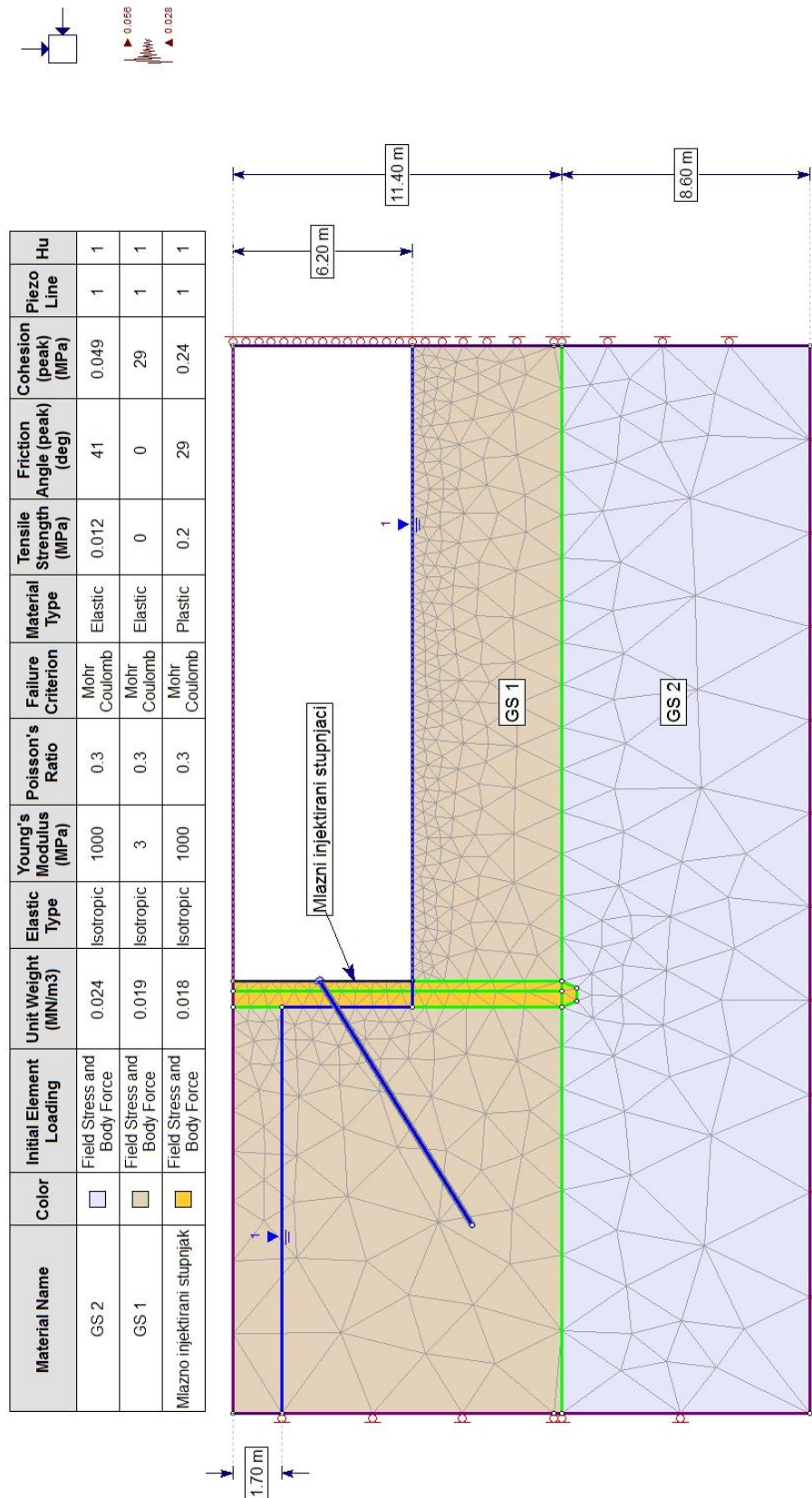


**Slika 4.14.** Prikaz rezultata modela za globalnu stabilnost pokosa

Koeficijent sigurnosti iznosi  $K_S = 1,272 > K_{S,min} = 1,0$  što znači da je stabilnost pokosa osigurana.

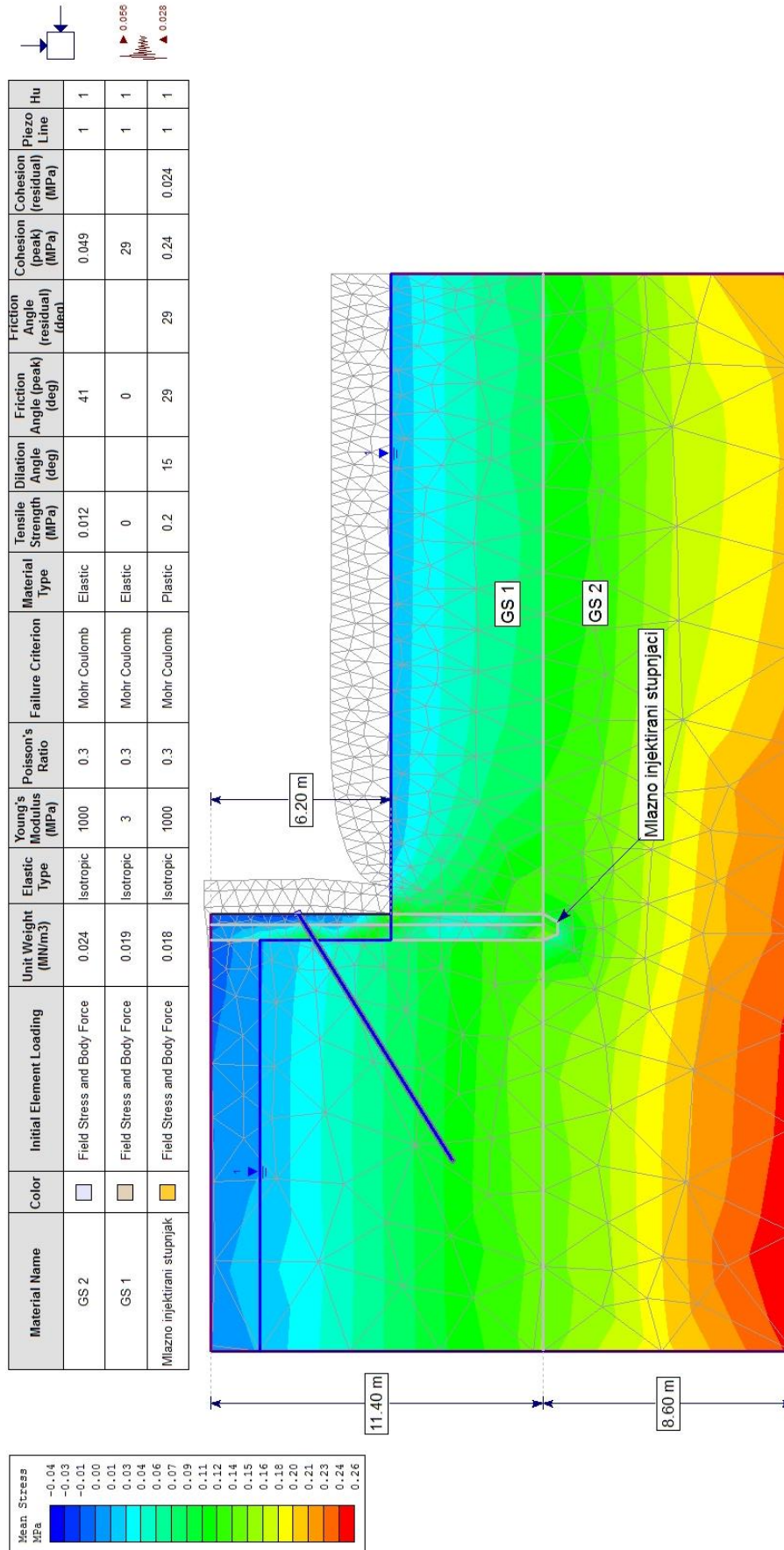
### 4.1.3. Proračun za nedrenirano stanje (seizmika) – zapadni dio

Model je napravljen u računalnom programu Phase 7,0. Geometrija modela napravljena je na temelju geotehničkog profila, a ulazni parametri odabrani na temelju geotehničkih istražnih radova i laboratorijskih ispitivanja (prikazani u poglavlju 3.) Za nedrenirano stanje korišteno je seizmičko opterećenje i opterećenje vlastite težine. Parametri za seizmičko opterećenje određeni su u poglavlju 3.5. Geometrija modela i ulazni parametri prikazani su na slici 4.15.. Proračun je izvršen prema projektnom pristupu 3. Rezultati deformacija i ukupnih naprezanja prikazani na slici 4.16. odnosno 4.18.. Na slici 4.19. prikazani su položaji presjeka mlazno injektiranih stupnjaka u kojima su promatrana ukupna naprezanja. Ukupno je promatrano 6 presjeka po dubini, a dijagrami ukupnog naprezanja prikazani su na slikama 4.20. – 4.25.. Na njima je vidljivo da naprezanja ne prelaze čvrstoću samih stupnjaka. Maksimalno tlačno naprezanje iznosi  $\sigma_{c,max} = 0,21 \text{ MPa}$ , dok je maksimalno vlačno naprezanje  $\sigma_{t,max} = 0,05 \text{ MPa}$ .



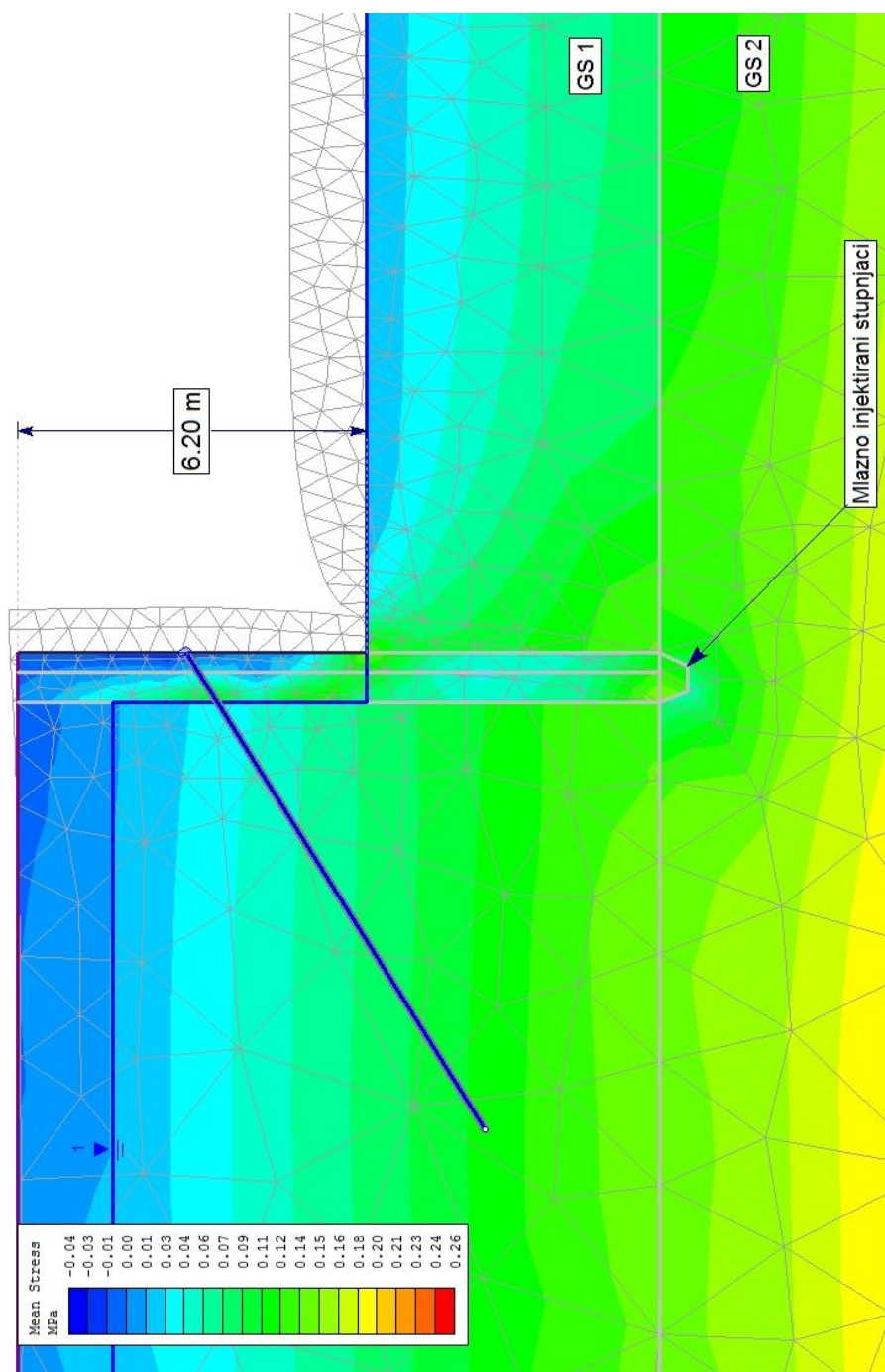
Slika 4.15. Prikaz modela za nedrenirano stanje sa ulaznim parametrima



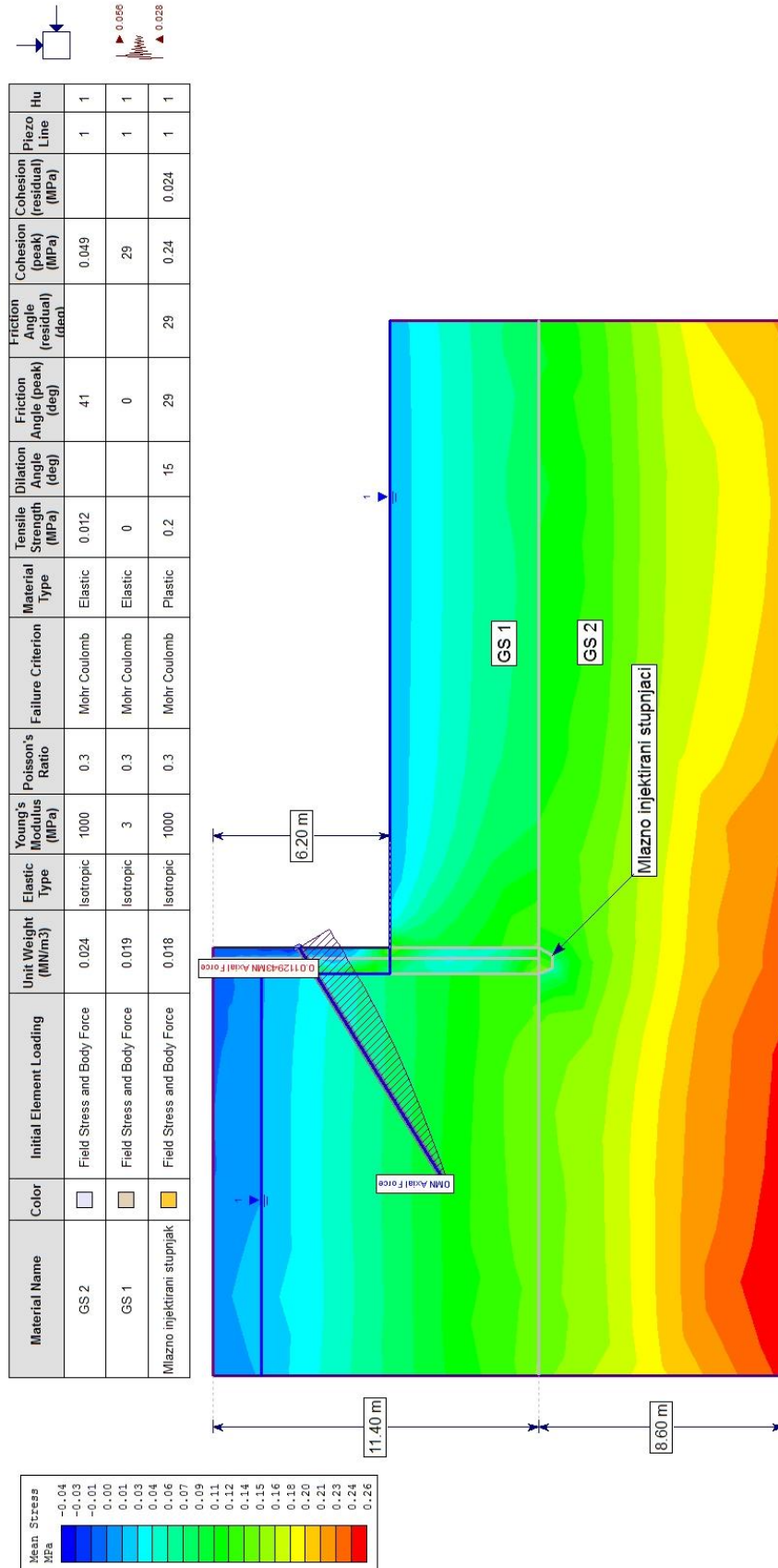


Slika 4.16. Prikaz deformacije stupnjaka

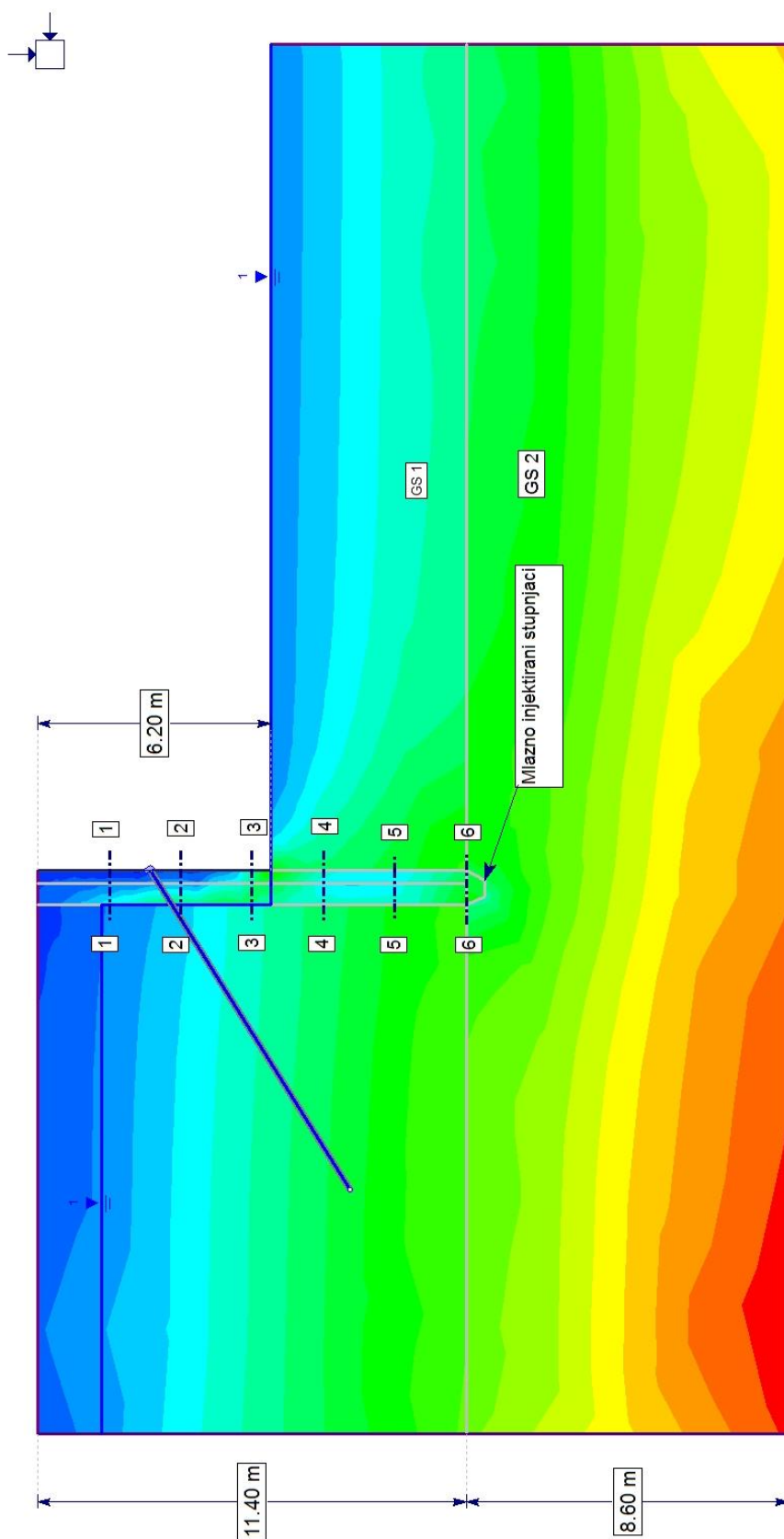




Slika 4.17. Uvećani prikaz deformacije stupnjaka



Slika 4.18. Prikaz ukupnih naprezanja

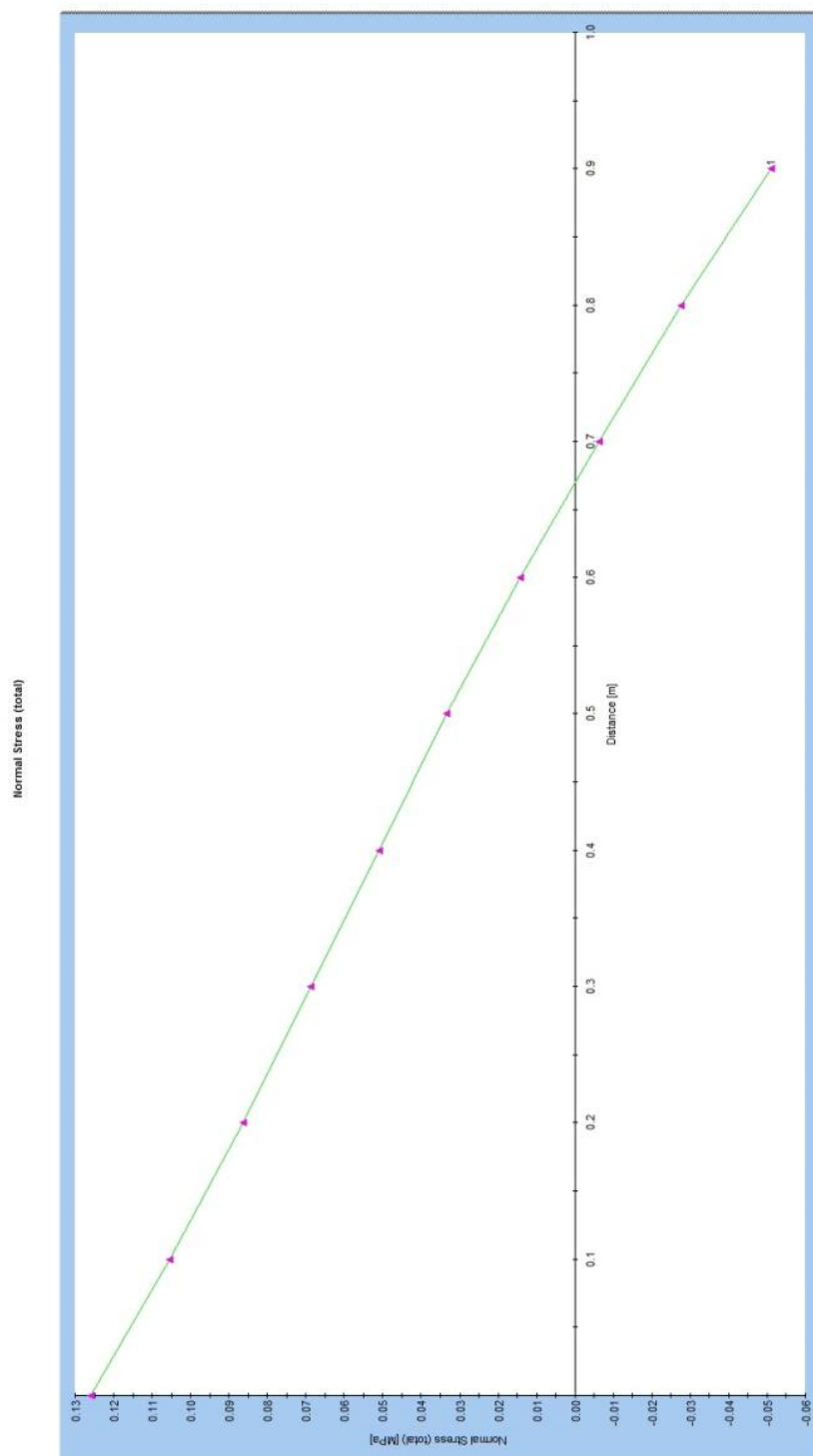


Slika 4.19. Prikaz položaja presjeka mlazno injektiranih stupnjaka

## Presjek 1-1

$$\sigma_{c,\max} = 0,13 \text{ MPa} \rightarrow \text{tlak}$$

$$\sigma_{c,\min} = -0,05 \text{ MPa} \rightarrow \text{vlak}$$



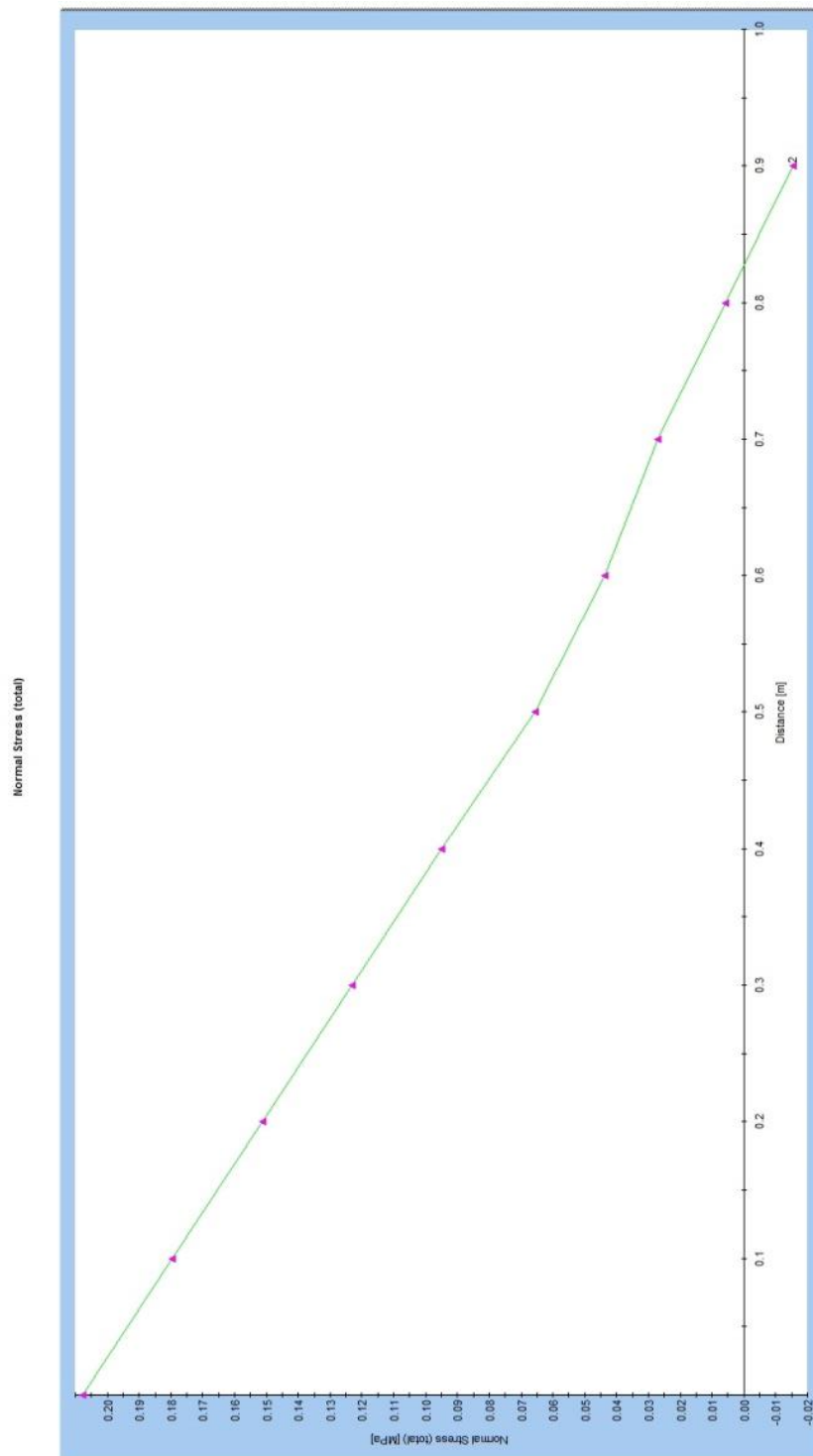
**Slika 4.20.** Prikaz ukupnih naprezanja mlazno injektiranih stupnjaka presjeka 1-1

Zbog javljanja vlačnih naprezanja u prvih 6 m stupnjaka, ugradit će se armaturne šipke u sredinu stupnjaka.

## Presjek 2-2

$$\sigma_{c,\max} = 0,21 \text{ MPa} \rightarrow \text{tlak}$$

$$\sigma_{c,\min} = -0,02 \text{ MPa} \rightarrow \text{vlak}$$



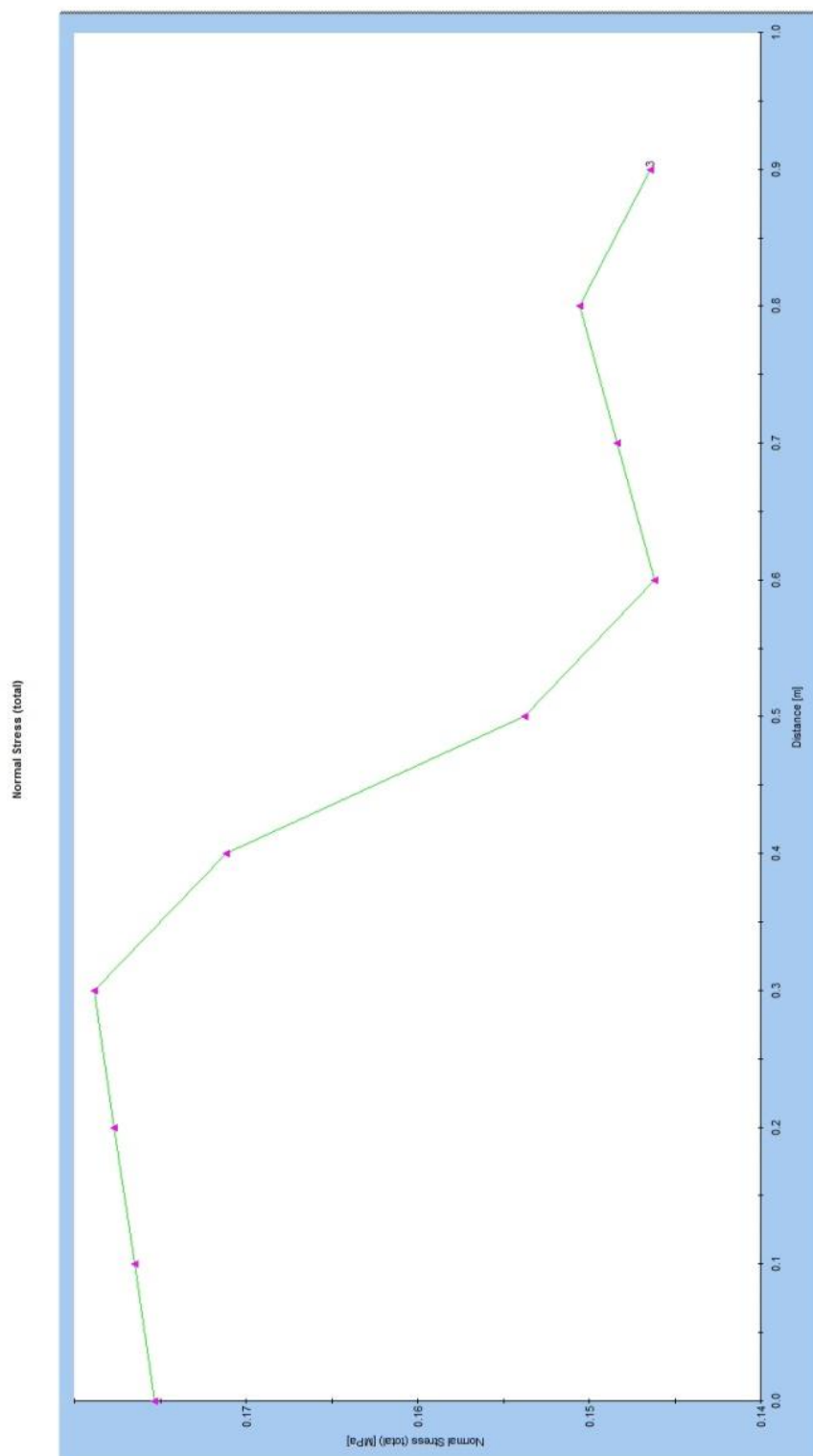
*Slika 4.21. Prikaz ukupnih naprezanja mlazno injektiranih stupnjaka presjeka 2-2*

Zbog javljanja vlačnih naprezanja u prvih 6 m stupnjaka, ugradit će se armaturne šipke u sredinu stupnjaka.

## Presjek 3-3

$$\sigma_{c,\max} = 0,18 \text{ MPa} \rightarrow \text{tlak}$$

$$\sigma_{c,\min} = 0,15 \text{ MPa} \rightarrow \text{tlak}$$

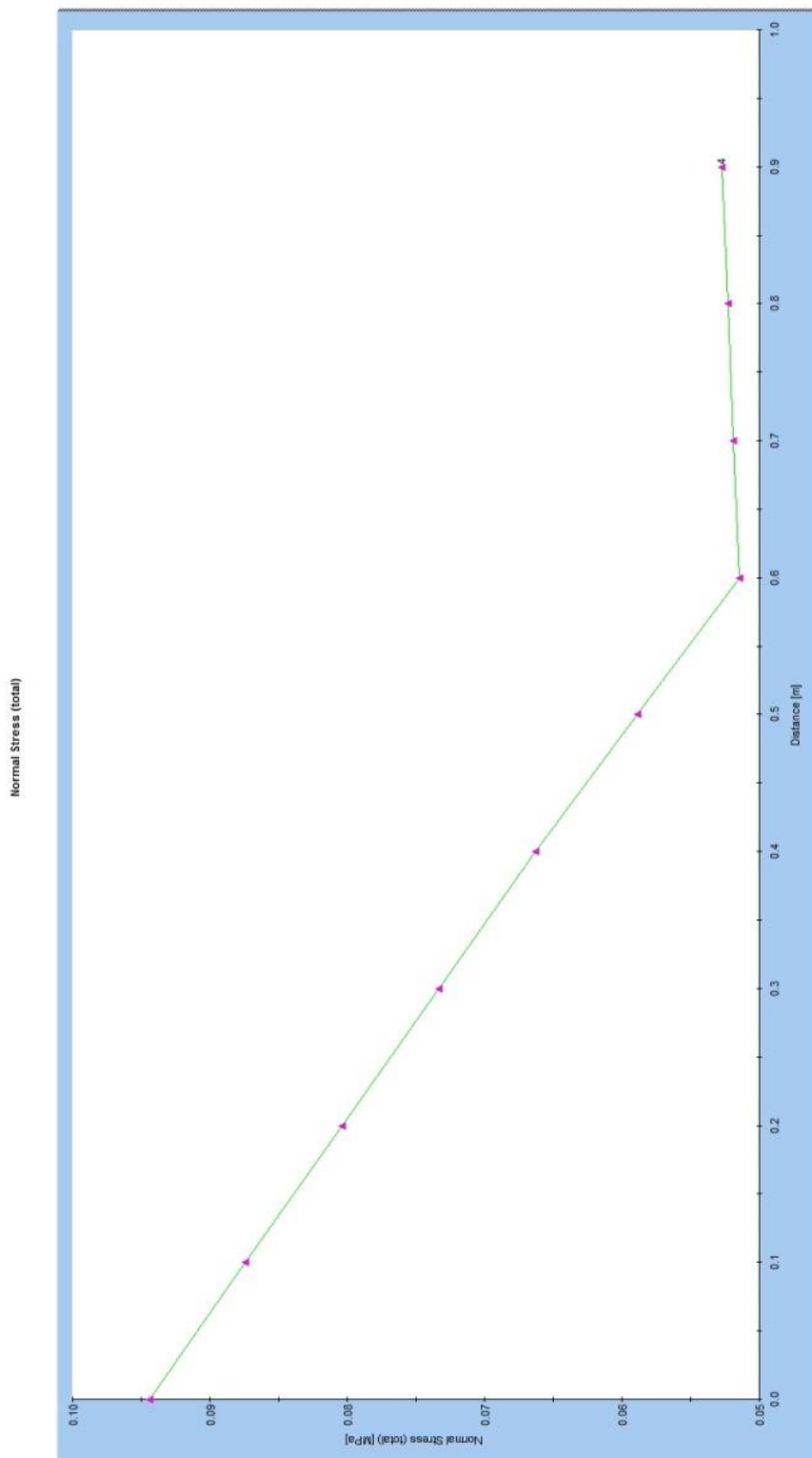


*Slika 4.22. Prikaz ukupnih naprezanja mlazno injektiranih stupnjaka presjeka 3-3*

## Presjek 4-4

$$\sigma_{c,\max} = 0,09 \text{ MPa} \rightarrow \text{tlak}$$

$$\sigma_{c,\min} = 0,05 \text{ MPa} \rightarrow \text{tlak}$$

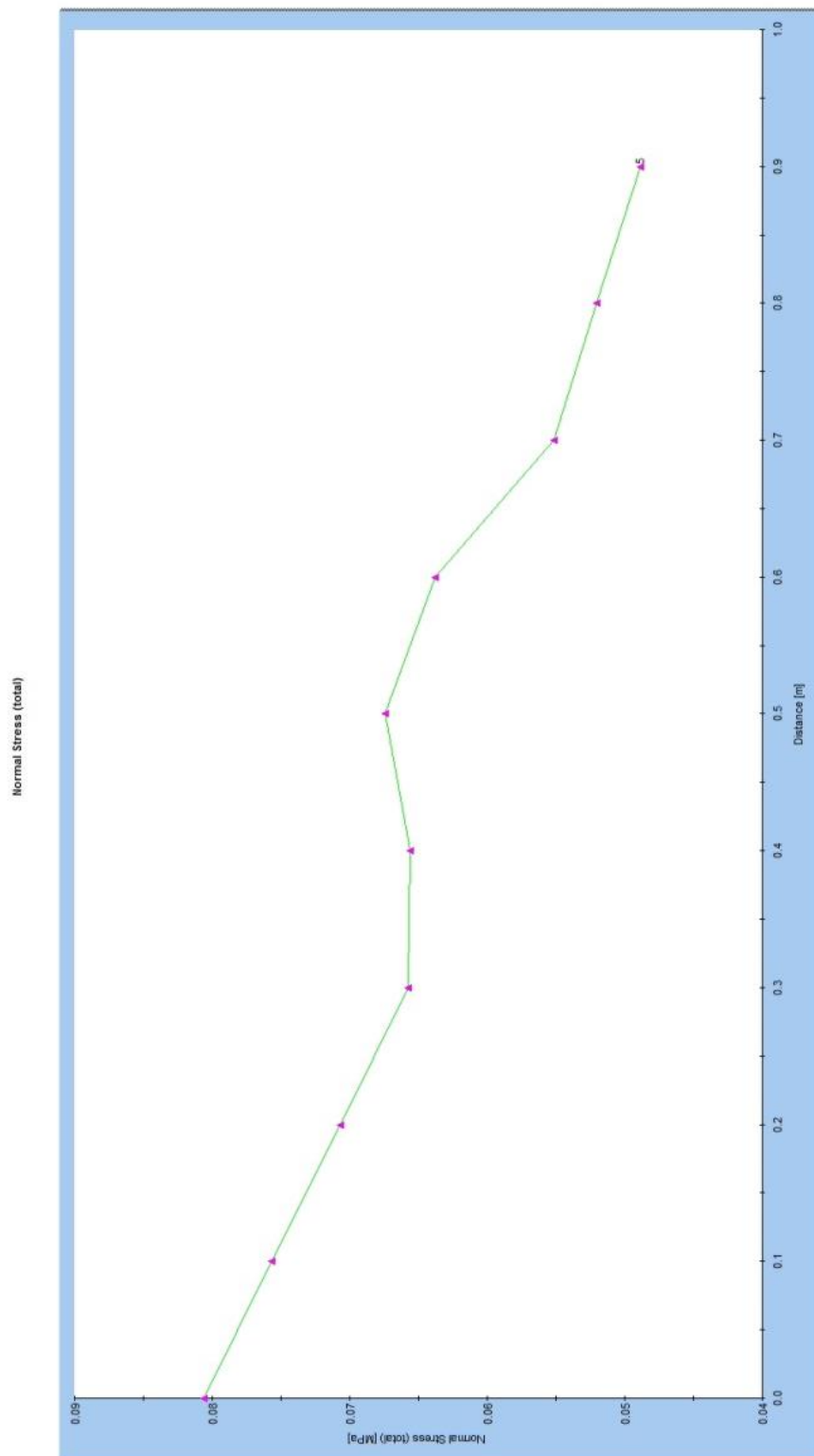


Slika 4.23. Prikaz ukupnih naprezanja mlazno injektiranih stupnjaka presjeka 4-4

## Presjek 5-5

$$\sigma_{c,\max} = 0,08 \text{ MPa} \rightarrow \text{tlak}$$

$$\sigma_{c,\min} = 0,05 \text{ MPa} \rightarrow \text{tlak}$$



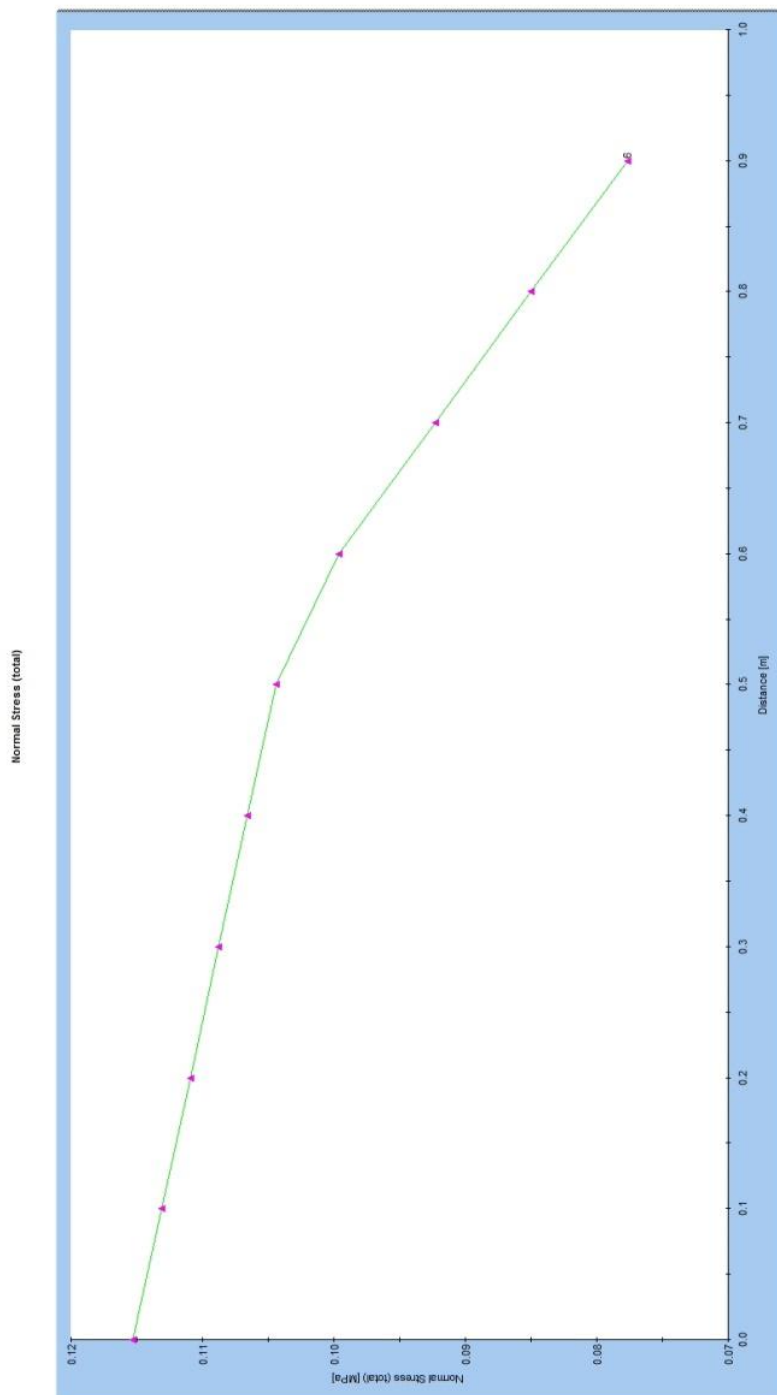
Slika 4.24. Prikaz ukupnih napreznaja mlazno injektiranih stupnjaka presjeka 5-5



## Presjek 6-6

$$\sigma_{c,\max} = 0,115 \text{ MPa} \rightarrow \text{tlak}$$

$$\sigma_{c,\min} = 0,08 \text{ MPa} \rightarrow \text{tlak}$$

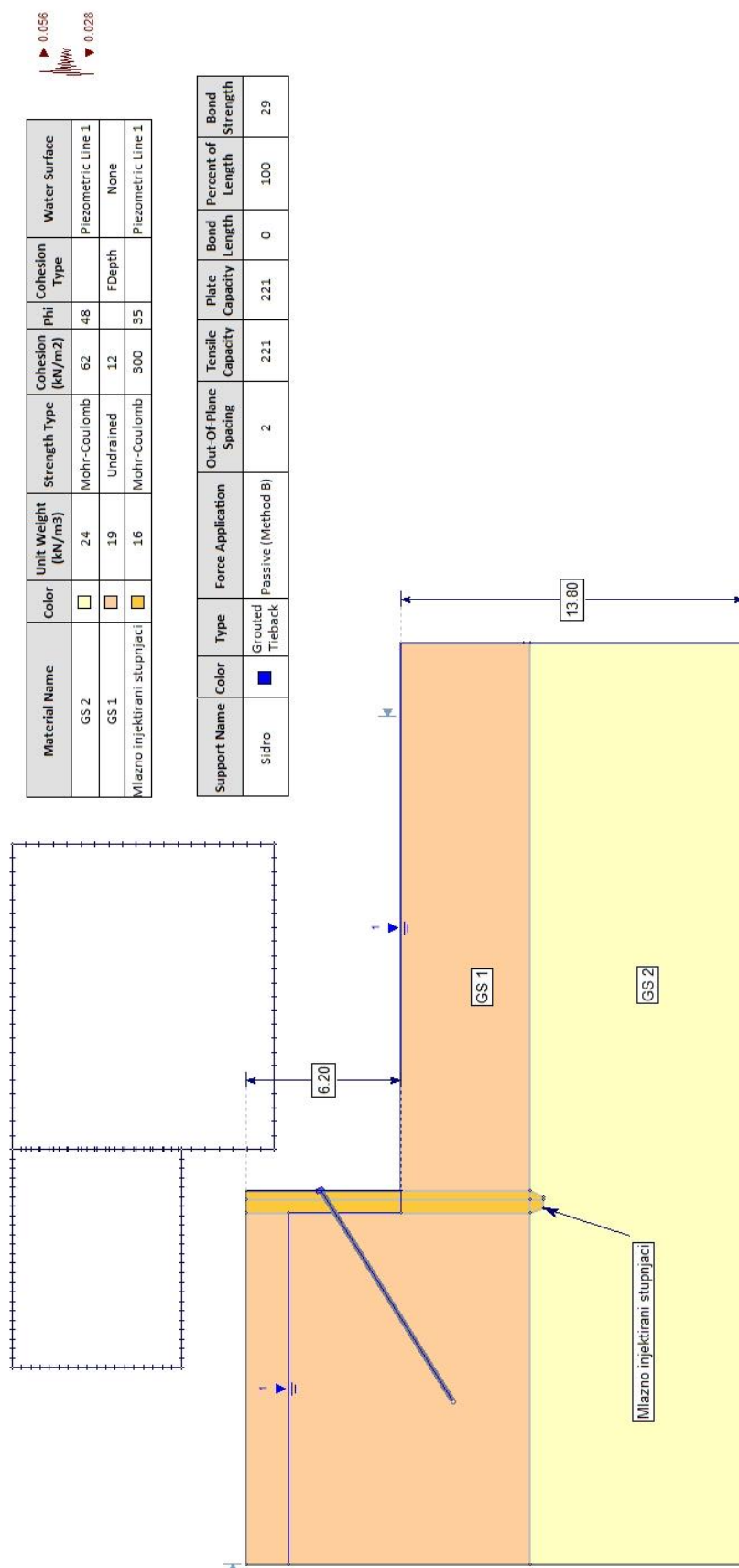


*Slika 4.25. Prikaz ukupnih naprezanja mlazno injektiranih stupnjaka presjeka 6-6*

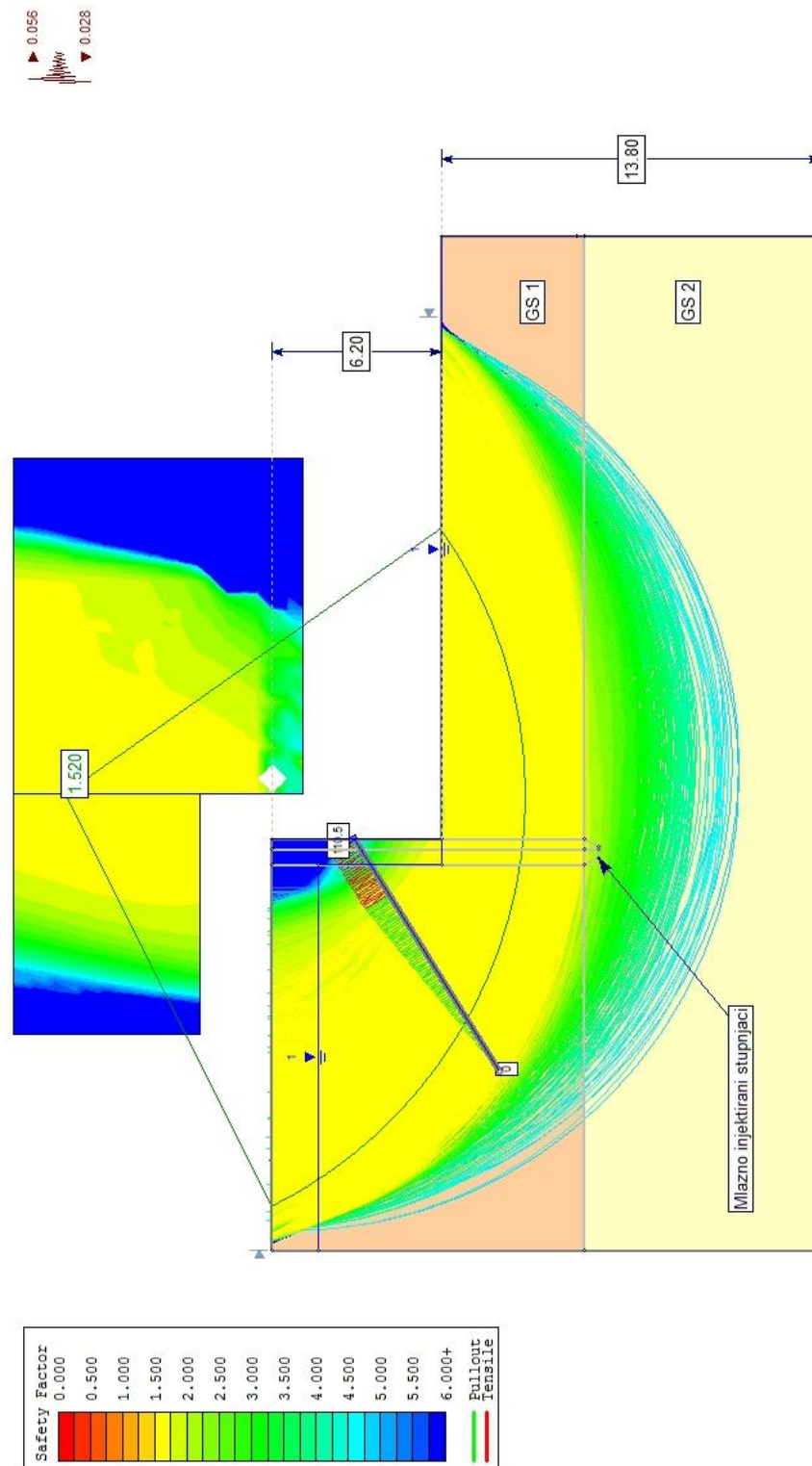
Iz prikazanih rezultata vidljivo je da su naprezanja manja od čvrstoće materijala te je nosivost osigurana.

#### 4.1.4. Analiza globalne stabilnosti za nedrenirano stanje (seizmika) – zapadni dio

Model je napravljen u računalnom programu Slide 6,0. Geometrija modela napravljena je na temelju geotehničkog profila, a ulazni podaci odabrani na temelju geotehničkih istražnih radova i laboratorijskih ispitivanja (prikazani u poglavlju 3.) U modelu je korišteno seizmičko opterećenje (parametri određeni u poglavlju 3.5.) i opterećenje vlastite težine. Geometrija modela i ulazni podaci prikazani su na slici 4.26.. Proračun stabilnosti izvršen je prema projektnom pristupu 3. Na slici 4.27. prikazani su rezultati stabilnosti pokosa gdje je vidljivo da koeficijent sigurnosti iznosi  $K_s = 1,520 > K_{s,min} = 1,0$  što znači da je stabilnost pokosa osigurana.



Slika 4.26. Prikaz modela za globalnu stabilnost pokosa



*Slika 4.27. Prikaz rezultata modela za globalnu stabilnost pokosa*

Koeficijent sigurnosti iznosi  $K_S = 1,520 > K_{S,min} = 1,0$  što znači da je stabilnost pokosa osigurana.

## 4.2. Model - istočna strana

Primijenjeni nagibi pokosa u modelu su 5:1 za GS 2, a 1:1 za GS 1. Za zaštitu i stabilnost pokosa primjenjuje se sloj prskanog betona debljine 10 cm te sustav geotehničkih sidara. Primijenjena su 4 reda sidara rastera 2,5x2,5m. Sidra su u potpunosti injektirana, duljine 8 m (gornja 2 reda), odnosno 6 m (donja 2 reda). Nosivost je određena trenjem po plaštu.

### Parametri prskanog betona:

Tlačna čvrstoća:  $\sigma_c = 30 \text{ MPa}$

Vlačna čvrstoća:  $\sigma_t = 0,1 \cdot \sigma_c = 3 \text{ MPa}$

Kohezija:  $c_k = 250 \text{ kPa}$

Kut unutarnjeg trenja:  $\varphi_k = 0^\circ$

### Proračunska nosivost trenjem po plaštu:

$\tau = \sigma \cdot \text{tg} \varphi_d$  - posmično naprezanje na plaštu sidrenog tijela

$\sigma = \gamma \cdot z_{sr}$  - normalno naprezanje u središtu sidrenog tijela

$R_d = \tau \cdot l_s \cdot 2r\pi$  - proračunska nosivost po vanjskom plaštu sidrišnog tijela

$$\sigma_{GS1} = 19 \cdot 1,7 = 32,3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{GS2} = 24 \cdot 6,45 = 154,8 \text{ kPa}$$

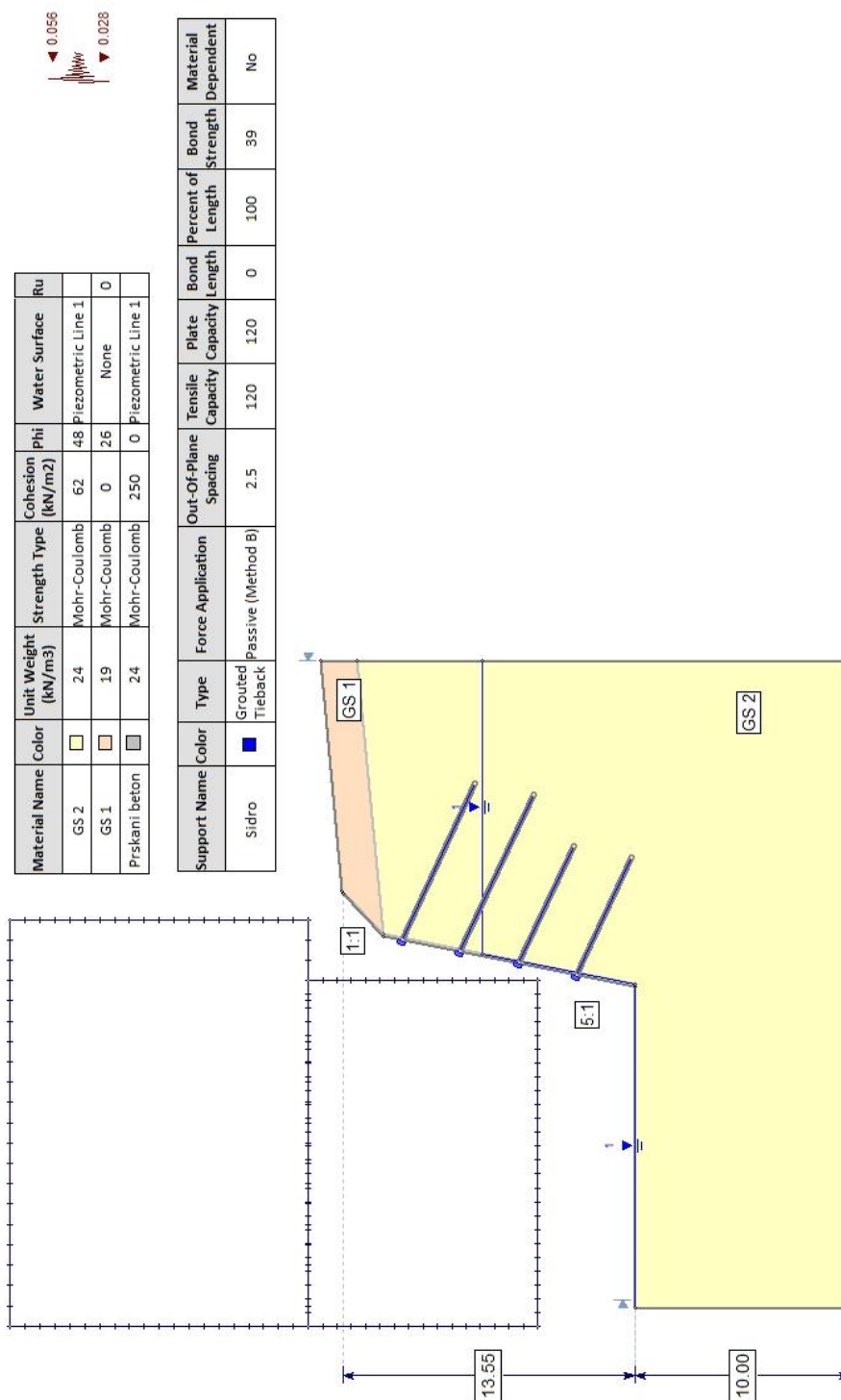
$$\tau = (32,3 + 154,8) \cdot \text{tg} 41^\circ = 187,1 \cdot \text{tg} 41^\circ = 162,64 \text{ kPa}$$

$$R_d = 162,64 \cdot 0,076 \cdot \pi \cdot l_s$$

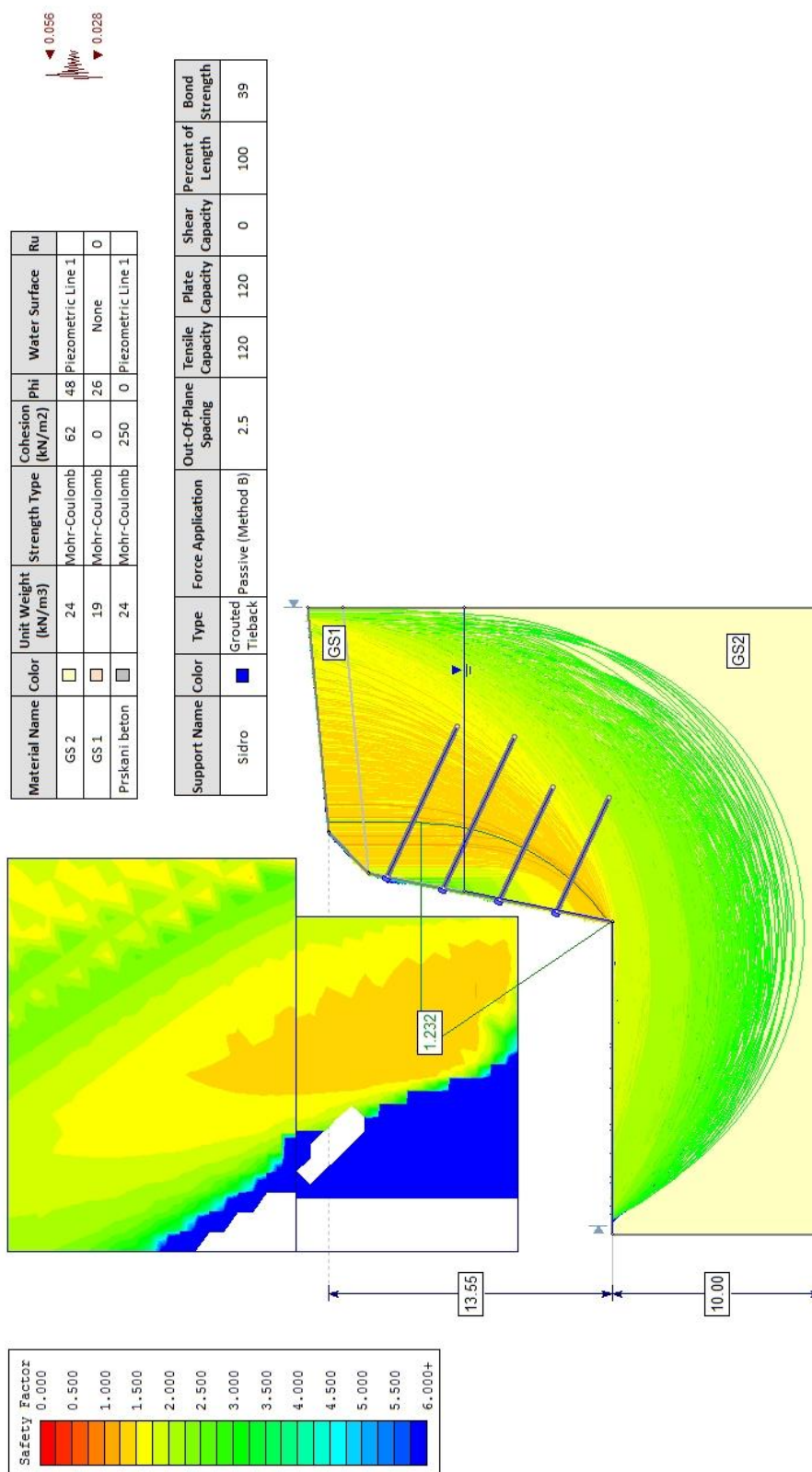
$$R_d = 38,81 \cdot l_s \text{ kN} / m$$

#### 4.2.1. Analiza stabilnosti – istočna strana

Model je napravljen u računalnom programu Slide 6,0. Geometrija modela napravljena je na temelju geotehničkog profila, a ulazni podaci odabrani na temelju geotehničkih istražnih radova i laboratorijskih ispitivanja (prikazani u poglavlju 3.) U modelu je korišteno seizmičko opterećenje i opterećenje vlastite težine. Geometrija modela i ulazni podaci prikazani su na slici 4.28.. Proračun stabilnosti izvršen je prema projektnom pristupu 3. Na slici 4.29. prikazani su rezultati stabilnosti pokosa gdje je vidljivo da koeficijent sigurnosti iznosi  $K_s = 1,232 > K_{s,min} = 1,0$  što znači da je stabilnost pokosa osigurana.



Slika 4.28. Prikaz modela za stabilnosti pokosa



Slika 4.29. Prikaz rezultata modela za stabilnosti pokosa

Koeficijent sigurnosti iznosi  $K_S = 1,232 > K_{S,min} = 1,0$  što znači da je stabilnost pokosa osigurana.



## 5. Troškovnik

| Stavka              | Vrsta i opis radova  | Jed. mjere     | Količina | Cijena |
|---------------------|--|----------------|----------|--------|
| PRIPREMNI<br>RADOVI |  |                |          |        |
| 1                   | - Troškovi pripreme gradilišta za izvedbu radova   |                | paušalno |        |
| 2                   | - Obračun troškova geodetskog iskolčenja osi mlazno injektiranih stupnjaka   |                | paušalno |        |
| BETONSKI<br>RADOVI  |  |                |          |        |
| 3                   | - Izvedba mlaznog betona debljine 10 cm (5 + 5 cm)<br>(1 977 m <sup>2</sup> x 0,1 m = 198 m <sup>3</sup> )   | m <sup>3</sup> | 198      |        |
| ARMIRAČKI<br>RADOVI |  |                |          |        |
| 4                   | - Armiranje mlaznog betona armaturnim mrežama Q-196 (3,07 kg/m <sup>2</sup> )<br>(1977 m <sup>2</sup> x 3,07 kg/m <sup>2</sup> = 6 070 kg)                   | kg             | 6 070    |        |
| ZEMLJANI<br>RADOVI  |  |                |          |        |
| 5                   | - Strojni iskop u materijalu A kategorije. U cijenu stavke uključen je i trošak odvoza materijala.<br>(2855 m <sup>2</sup> x 7,7 m = 21 983 m <sup>3</sup> ) | m <sup>3</sup> | 21 983   |        |

|                           |  |              |        |  |
|---------------------------|--|--------------|--------|--|
| 6                         | - Strojni iskop u materijalu C kategorije.<br>U cijenu stavke uključen je i trošak odvoza materijala.<br>( $4238 \text{ m}^2 \times 3,6 \text{ m} = 15 256 \text{ m}^3$ )  | $\text{m}^3$ | 15 256 |  |
| <b>POSEBNI<br/>RADOVI</b> |  |              |        |  |
| 7                         | - Izvedba mlazno injektiranih stupnjaka promjera 60 cm. Količina cementa potrebne za izradu injekcijske smjese.<br>(350 kg/ m')<br>( $335 \times 12 \text{ m}' = 4 020 \text{ m}'$ )   | m'           | 4 020  |  |
| 8                         | - Izvedba samobušećih sidara promjera tetive $\phi 32$ mm i bušeće glave $\phi 76$ mm.<br>U cijenu je uključen i trošak nabave i pripreme injekcijske smjese za ugradnju sidara.<br>( $S_1 - 78 \times 8 \text{ m}' = 624 \text{ m}'$<br>$S_2 - 128 \times 6 \text{ m}' = 768 \text{ m}'$<br>Ukupno: 1 392 m') | m'           | 1 392  |  |
| 9                         | - Izvedba samobušećih sidara promjera tetive $\phi 26.5$ mm i bušeće glave $\phi 51$ mm.<br>U cijenu je uključen i trošak nabave i pripreme injekcijske smjese za ugradnju sidara.<br>( $S_3 - 147 \times 1,5 \text{ m}' = 221 \text{ m}'$ )   | m'           | 221    |  |

|    |  |      |     |  |
|----|--|------|-----|--|
| 10 | - Izvedba injektiranih štapnih sidara promjera tetive $\phi 26.5$ mm i promjera bušotine 20 cm. U cijenu je uključen i trošak nabave i pripreme injekcijske smjese za ugradnju sidara.<br>( $S_4 - 53 \times 10 \text{ m}' = 530 \text{ m}'$ ) | m'   | 530 |  |
| 11 | - Ispitivanje probnih tijela mlazno injektirani stupnjaka  | kom. | 10  |  |
| 12 | - Ispitivanje sidara (2% x ukupni broj sidara = $0,02 \times 406 = 9$ sidara)  | kom. | 9   |  |

## **6. Grafički prilozi**

### **6.1. Tlocrt zaštite građevne jame**

### **6.2. Karakteristični poprečni presjek 1-1**

### **6.4. Karakteristični poprečni presjek 2-2**

### **6.4. Uzdužni presjek 3-3**

### **6.5. Uzdužni presjek 4-4**

### **6.6. Uzdužni presjek 5-5**

## **7. Literatura**

- [1] Klaus Kirch, Alan Bell, Ground Improvement, 2013.
- [2] Jie Han, Principles and Practices of Ground Improvement, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2015.
- [3] Predrag Mišćević, Uvod u inženjersku mehaniku stijena, Građevinsko - arhitektonski fakultet Sveučilišta u Splitu, 2004.
- [4] Tanja Roje – Bonacci, Potporne građevine i građevne jame, Građevinsko - arhitektonski fakultet Sveučilišta u Splitu, 2005.
- [5] Damir Čorko, Davorin Kovačić, Davorin Lovrenčić, Božica Marić, Mlazno injektiranje: Prikaz tehnologije i primjene mlaznog injektiranja, "CONNEX" d.o.o., 1997.
- [6] Predrag Mišćević, Geotehničko inženjerstvo: predavanja, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije Sveučilišta u Splitu, 2014.
- [7] Igor Sokolović, Geotehničko inženjerstvo, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2012.