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: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split

zir.nsk.hr

UNIVERSITY OF SPLIT

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

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 Diokelcijan″ na predjelu Trstenik u Splitu

Diplomski rad

Split, 2016.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

STUDIJ:	**DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**
KANDIDAT:	LJUBIČIĆ KRISTIJAN
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 Miščević

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

Glavni projekt zaštite građevne jame za potrebe temeljenja objekta hotela ″Imperator Diokelcijan″ 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, samobušeća sidra, injektirana štapna sidra

The main project: construction pit protection for hotel ″Imperator Diokelcijan″ 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-driling anchors has been used in design.

Keywords:

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

SADRŽAJ

1. Tehnički opis 1

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

2. Tehnički uvjeti izvedbe 8

2.1. Pripremni radovi 8

2.2. Zemljani radovi 8

2.3. Mlazno injektiranje 9

2.4. Mlazni beton i geotehnička sidra 10

3. Određivanje geotehničkih sredina i definiranje parametara 11

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

4. Geotehnički proračun 22

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

5. Troškovnik 58

6. Grafički prilozi 61

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
7. Literatura 68

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 (**$E_{2,3}$**) - matična stijena koja je prekrivena slojem degradiranog (rastrošenog) 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 + aramatura). 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 točci - 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.

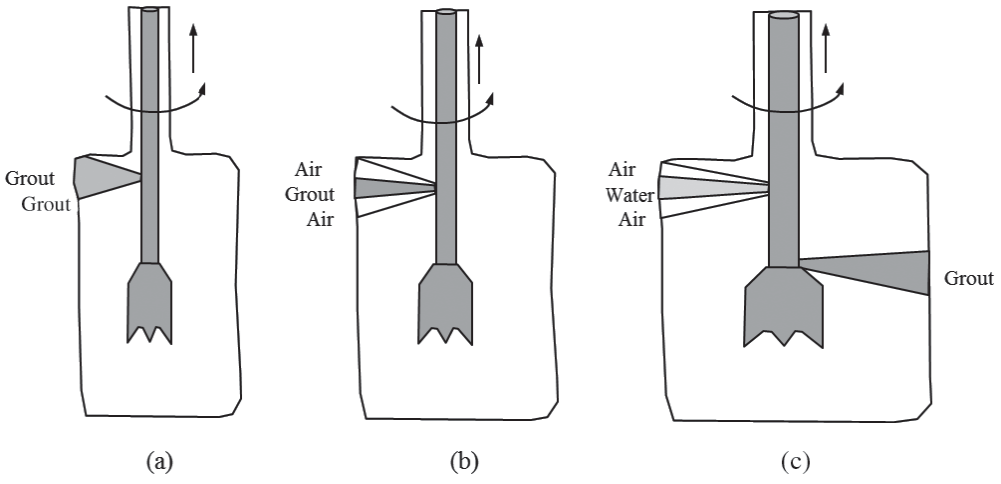
Iskop se vrši strojno, kombinacijom rovokopača i hidrauličnog čekića u cijeloj širini pokosa. Iskop na zapadnoj strani počinje nakon ugradbe mlazno injektiranih stupnjaka i dostizanja projektne čvrstoće. Prva faza iskopa je do razine sidra (dubina od 3,0 m), odnosno cca. 50 cm niže od navedene kote. 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:

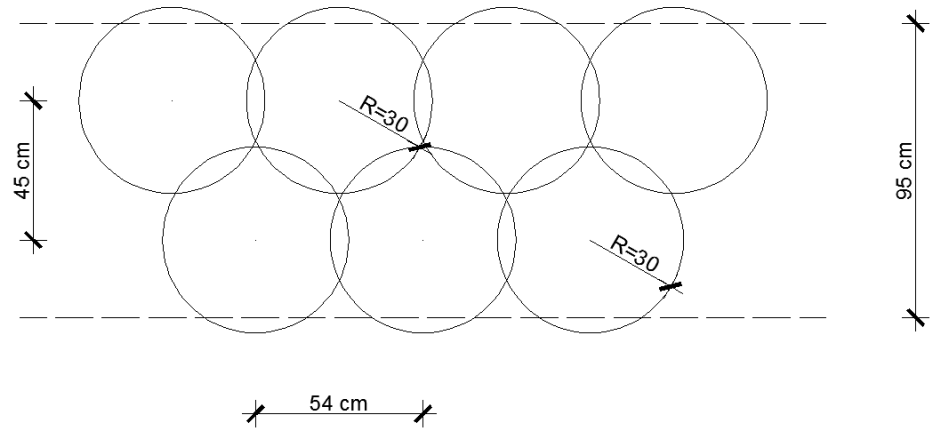
- Jednofluidni sustav – injekcijski mlaz pod visokim tlakom razara strukturu tla i miješa injekcijesku smjesu (jedna mlaznica);
- Dvofluidni sustav – razaranje strukture tla vodom ili zrakom pod visokim tlakom i miješanje tla s injekcijskom smjesom (dvije mlaznice);
- Trofluidni sustav – razaranje strukture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

Projektni parametri i izvedba

Projektni 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 projektnih parametara

Potrebno je izvesti probno polje na kojemu će se provjeriti projektni 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 laboratorijaska 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 samobušeća sidra promjera tetive ϕ26.5 mm i promjera bušeće glave ϕ76 mm. Sidra se nalaze na razmaku 2,5x2,5 m. Duljine gornja 2 reda sidara su 8 m, a donja 2 reda 6 m. Promjer bušotine za sidra je ϕ76 mm. Ugrađuju se po kutom od 25° i u potpunosti se injektiraju. Između njih nalaze se sekundarna sidra iz konstruktivnih razloga promjera tetive ϕ26.5 mm, promjera bušeće glave ϕ51 mm i duljine 1,5 m. Na zapadnom dijelu koriste se injektirana štapna sidra promjera tetive ϕ26.5 mm. Sidra se ugrađuju u jednom redu bočnog razmaka 2 m, pod kutom od 32°, 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

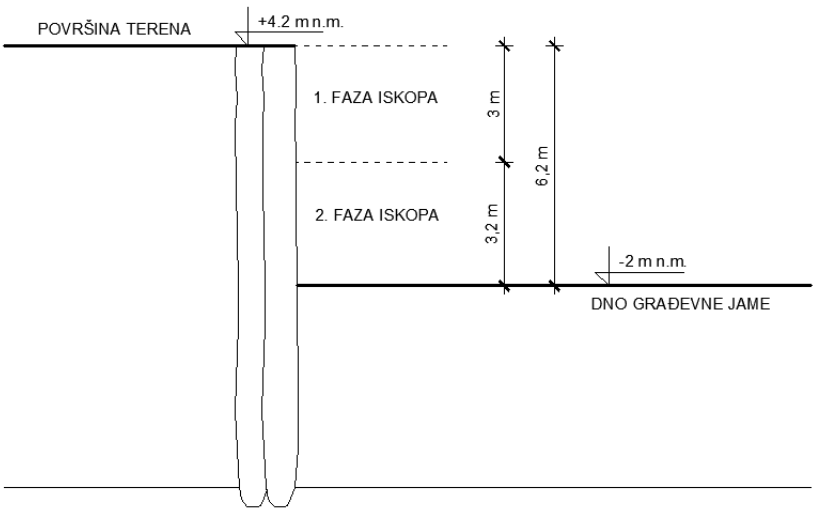
2.1. Pripremni radovi

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. Dopušteno odstupanje je ±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.

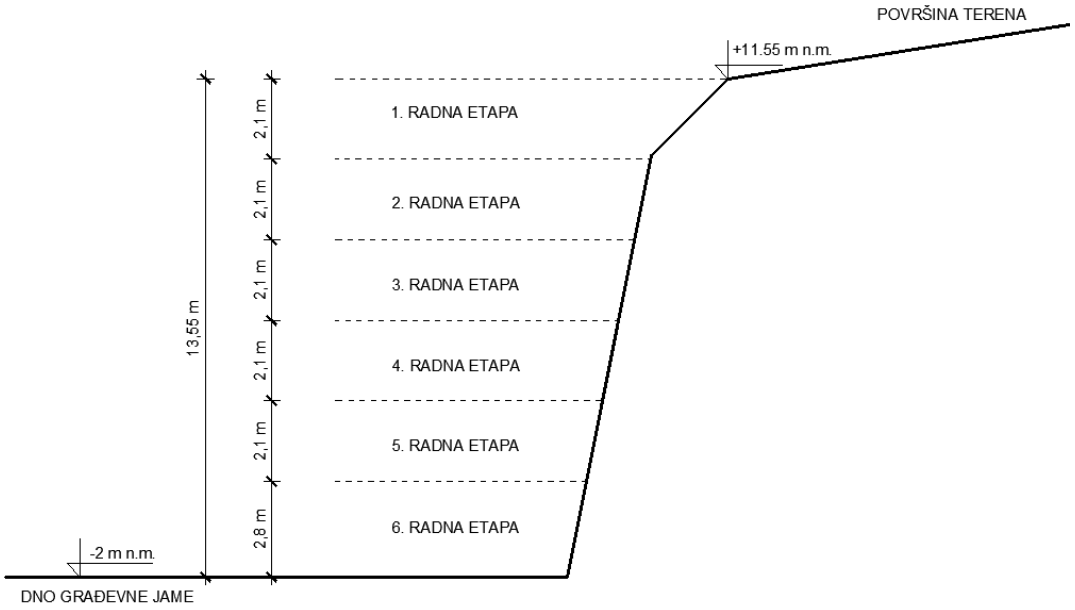
Na zapadnoj i dijelovima sjevere i južne strane iskop se vrši nakon ugradnje mlazno injektiranih stupnjaka. Prva faza iskopa je do dubine 3 m tj. aps. kote 1,2 m n.m. gdje se ugrađuju geotehnička sidra. Druga faza iskopa je do dna jame tj. aps. kote -2 m n.m.. Iskop je u materijalu C kategorije.



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 korisiti 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 ±1 cm. Tijekom ugradbe stupnjaka, dok je injekcijska smjesa još svježa, 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 ϕ32 mm, promjera bušeće glave ϕ76 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 ϕ26.5 mm, promjera bušeće glave ϕ51 mm i duljine 1,5 m (karakteristike tipa DYWI R26.5, Dywidag). Sidra se ugrađuju pod kutom od 25° od horizontale.

Na zapadnoj strani odabrana su injektirana štapna sidra promjera tetive ϕ26.5 mm (karakteristike tipa sidra Dywidag Y1050H, ϕ26.5), 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° 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 prašinaste 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}:

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

$\frac{ER_r}{60} = 1,0$ - 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_{sr}
B3	1,0-1,45	2 4 7	4
B4	1,0-1,45	5 7 10	7
	2,0-2,45	5 4 5	4
B5	1,0-1,45	5 7 10	7
	2,0-2,45	5 7 4	5
	4,0-4,45	7 13 16	12
B6	1,0-1,45	3 5 6	4
	2,7-3,15	4 5 7	5
B6	4,7-5,15	4 4 6	4
	7,0-7,6	0 2 2 3	1
B7	1,0-1,45	7 10 12	9
	3,2-3,85	0 1 3 3	1
	5,3-5,75	3 3 4	3
	6,3-7,05	0 1 1 2	1
	10,1-10,55	16 16 20	17

$$N_{sr} = \frac{\sum N_{sr}}{n} = 5$$

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

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

Nedrenirana čvrstoća c_u:

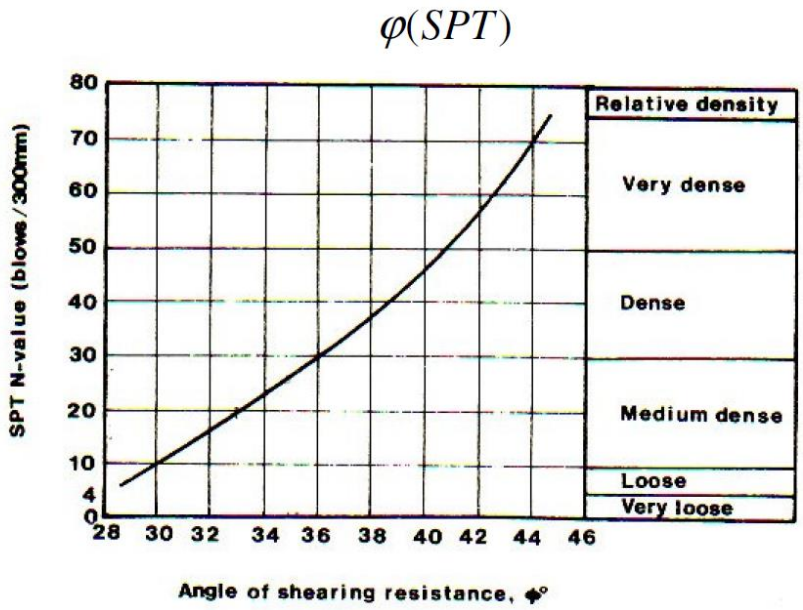
$c_u = 4,5 \cdot N_{60} = 4,5 \cdot 6,23 = 28,04\ kPa \rightarrow$ Za sitnozrnata tla (Stroud)

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

Kut unutarnjeg trenja φ_k:

$\varphi = 29° \rightarrow$ Očitano iz grafa za krupnozrnata tla u ovisnosti o N (slika 3.1.)

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



Slika 3.1. *Preporuke za određivanje kuta unutarnjeg trenja φ (Peck 1974.)*

Modul elastičnosti E:

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

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

Gustoća tla:

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

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

			gustoća tla [t/m^3]	
vrsta materijala	N_{60}	opis	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:

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

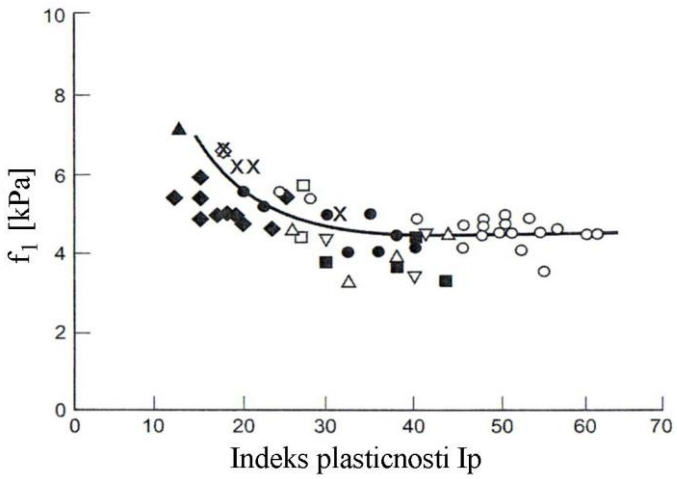
Tablica 3.2. *Vrijednosti faktora f_1u ovisnosti o indeksu plastičnosti I_P (Stroud)*

I_p	f_1
10	0.080
20	0.075
>30	0.045

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

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

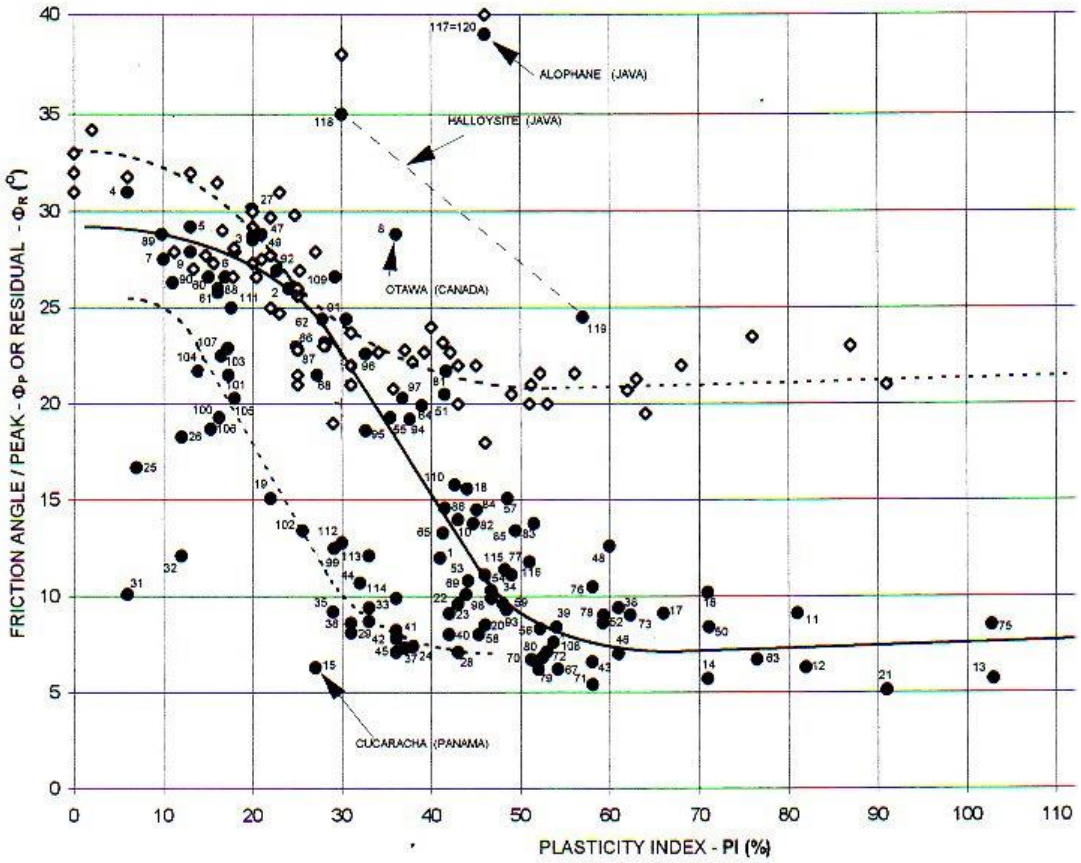
$\sigma_v' = z_{sr} \cdot \gamma = 5,7 \cdot 19 = 108,3\ kPa \rightarrow$ efektivno naprezanje na srednjoj dubini sloja



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

Kut unutarnjeg trenja φ_k:

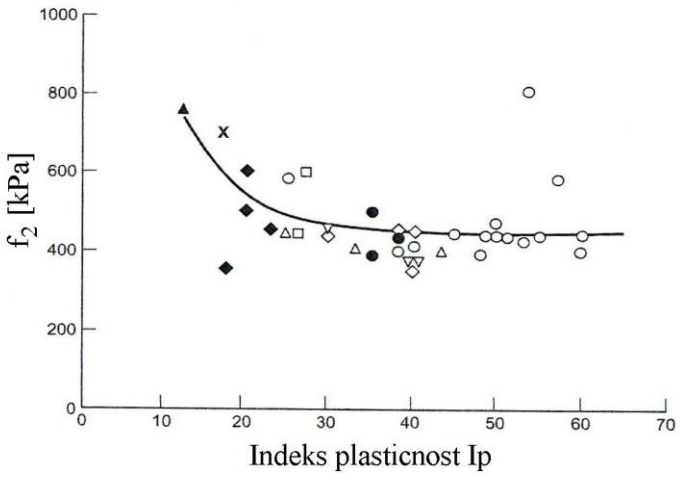
$\varphi = 26° \rightarrow$ Očitano iz grafa za sitnozrnata tla u ovisnosti o I_P (slika 3.4.)



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

Modul elastičnosti E:

$E = f_2 \cdot N_{60} = 500 \cdot 6,23 = 3,12$ 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)	φ (°)	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 φ 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	
zijev	<0,1 mm i 0.1-1 mm	4	
hrapavost	neznatno hrapave do glatke	2	
ispuna	meka ispuna <5 mm	2	
rastrošenost	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
	UKUPNO:		**36**

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 $CaCO_3$ 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:

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

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

GSI = 31

σ_{ci} = 15 MPa (iskustvena vrijednost)

m_i = 7

D = 0 (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/m3			
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: $D = 0,6\ m$

Tlačna čvrstoća: $\sigma_c = 2$ MPa

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

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

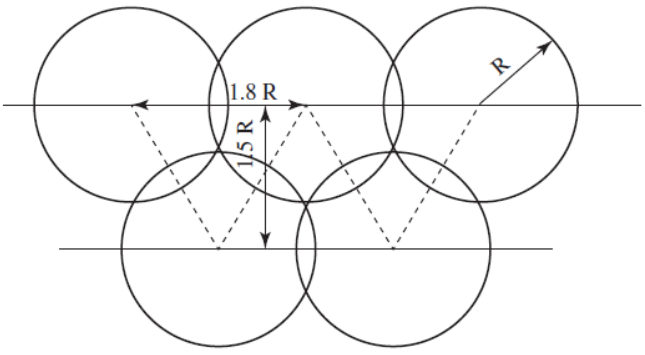
Poissonov koeficijent: $\nu = 0,3$

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

Kohezija: $c_k = 300\ kPa$

Kut unutarnjeg trenja: $\varphi_k = 35\ °$

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



Slika 3.6. *Preporučene vrijednosti razmaka mlazno injektiranih stupnjaka*

$R = 30$ cm
$1,5 \cdot R = 45$ cm
$1,8 \cdot R = 54$ cm

3.4. Odabrani parametri

Karakteristične vrijednosti:

Tablica 3.5. *Prikaz karakterističnih vrijednosti odabranih parametara*

	γ_{sat} (kN/m^3)	c_{uk} (kPa)	c_k (kPa)	φ_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:

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

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

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

Tablica 3.6. *Prikaz projektnih vrijednosti odabranih parametara*

	γ_{sat} (kN/m^3)	c_u' (kPa)	c' (kPa)	φ' (°)	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: $k_h = \dfrac{\alpha \cdot S}{r} = \dfrac{0{,}112 \cdot 1{,}0}{2{,}0} = 0{,}056$

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

$S = 1{,}0 \rightarrow$ 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^2 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 Š=0,95 m. Tlačna čvrstoća stupnjaka je $\sigma_c = 2$ MPa , a vlačna $\sigma_c = 0,2$ 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°, duljine 10 m. Nosivost je određena trenjem po plaštu.

Proračunska nosivost trenjem po plaštu:

$\tau = \sigma \cdot tg\varphi_d$ - 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

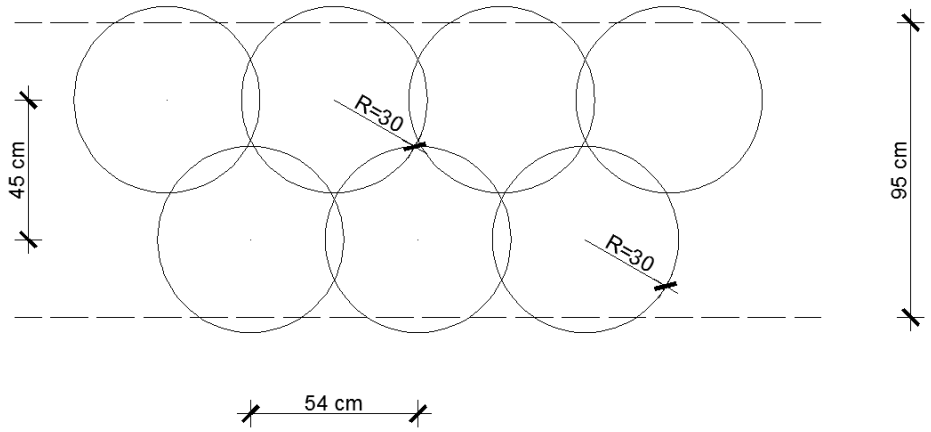
$\sigma = 19 \cdot 6,45 = 122,55\ kPa$

$\tau = 122,55 \cdot tg21° = 47,04\ kPa$

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

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

Raspored mlazno injektiranih stupnjaka:



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

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

−moment inercije za stvarni oblik stupnjaka:

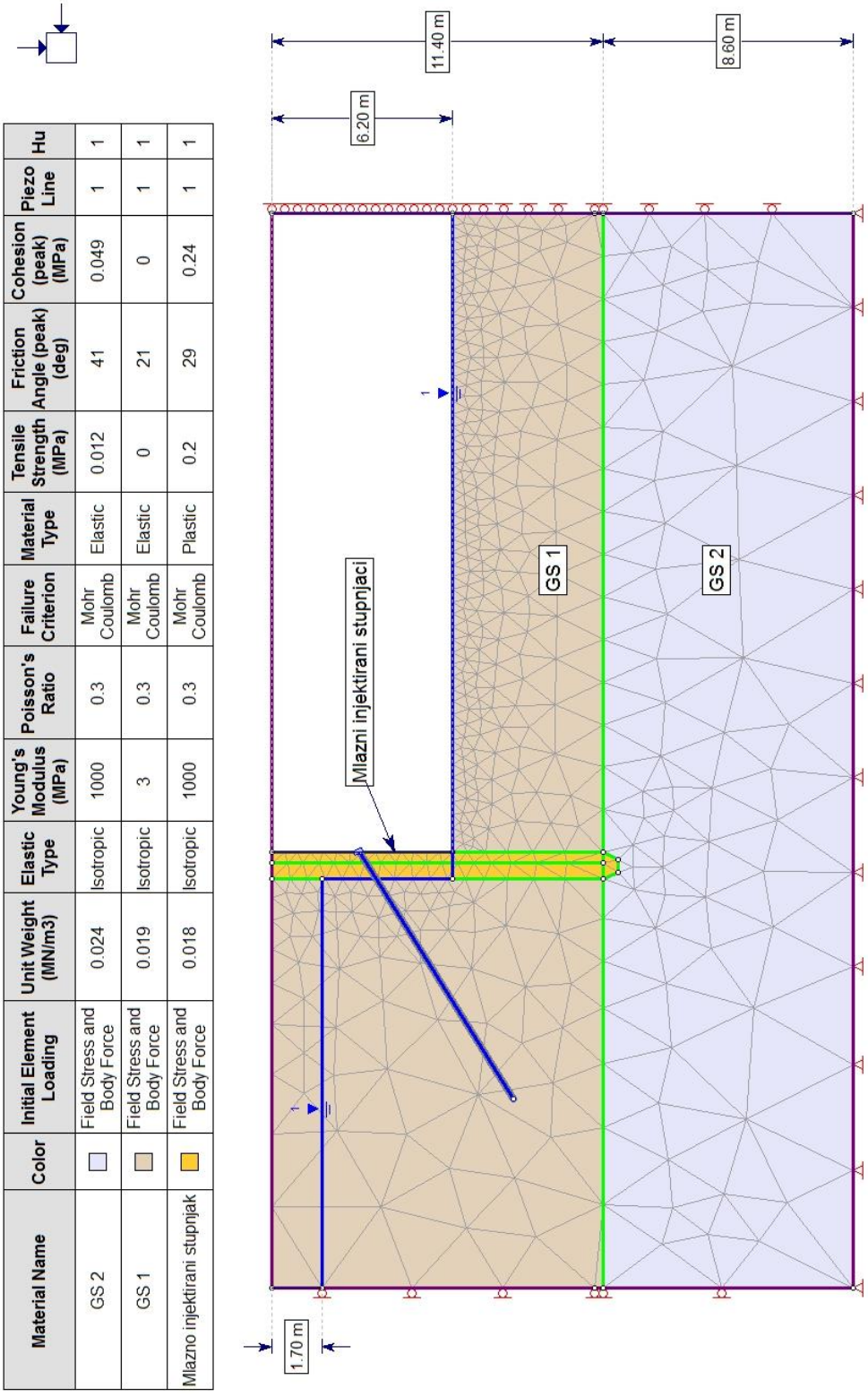
$$I=\left(\frac{\pi\cdot r^4}{4}+\pi\cdot r^2\cdot y_T^2\right)\cdot 4=\left(\frac{3{,}14\cdot 0{,}3^4}{4}+3{,}14\cdot 0{,}3^2\cdot 0{,}225^2\right)\cdot 4=0{,}08\ \mathrm{m}^4$$

−moment inercije za ekvivalentni zid :

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

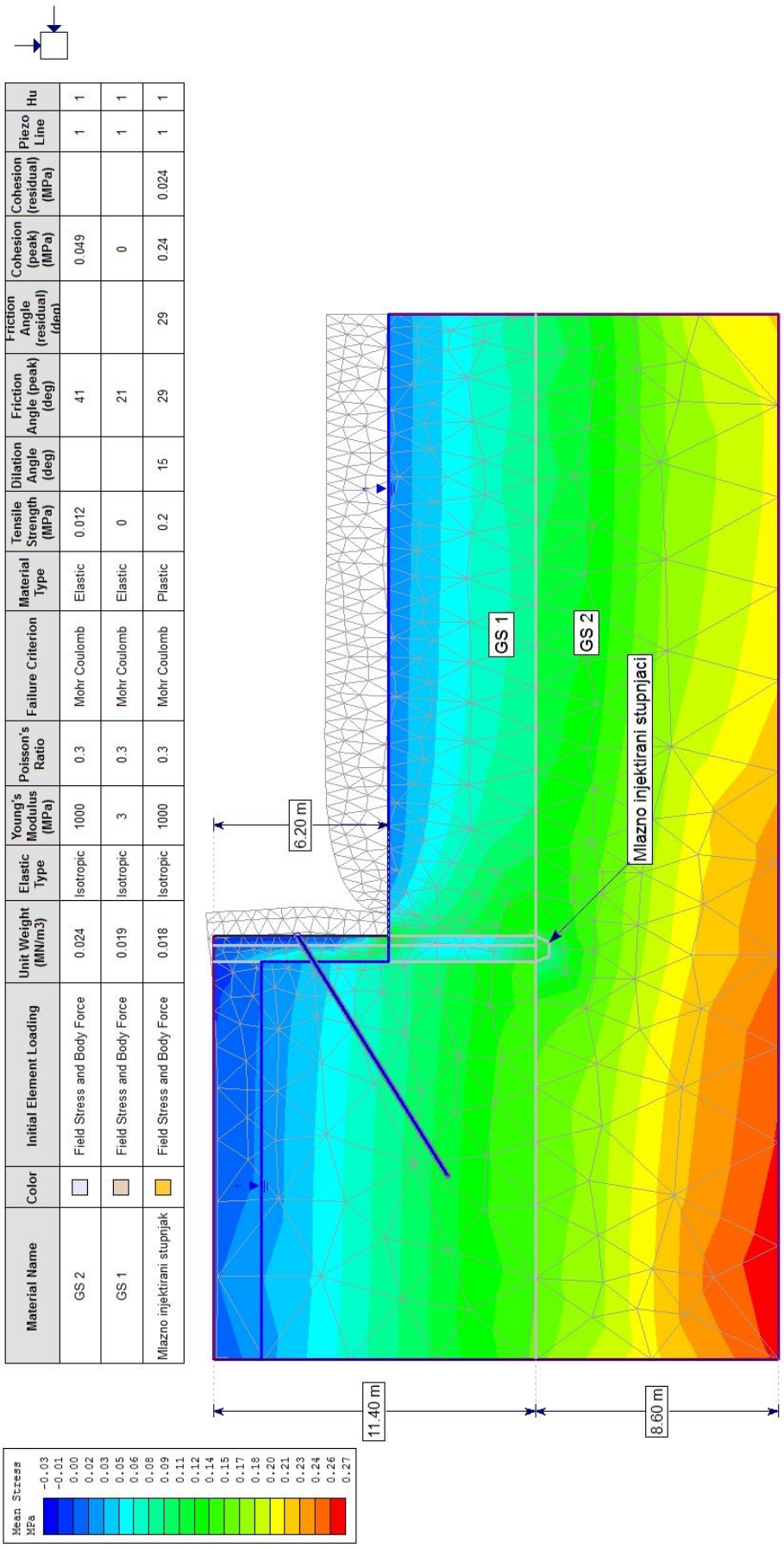
4.1.1. Proračun za drenirano stanje – zapadni dio

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 $\sigma_{c,\max} = 0,20\ MPa$, dok je maksimalno vlačno naprezanje $\sigma_{t,\max} = 0,04\ MPa$.

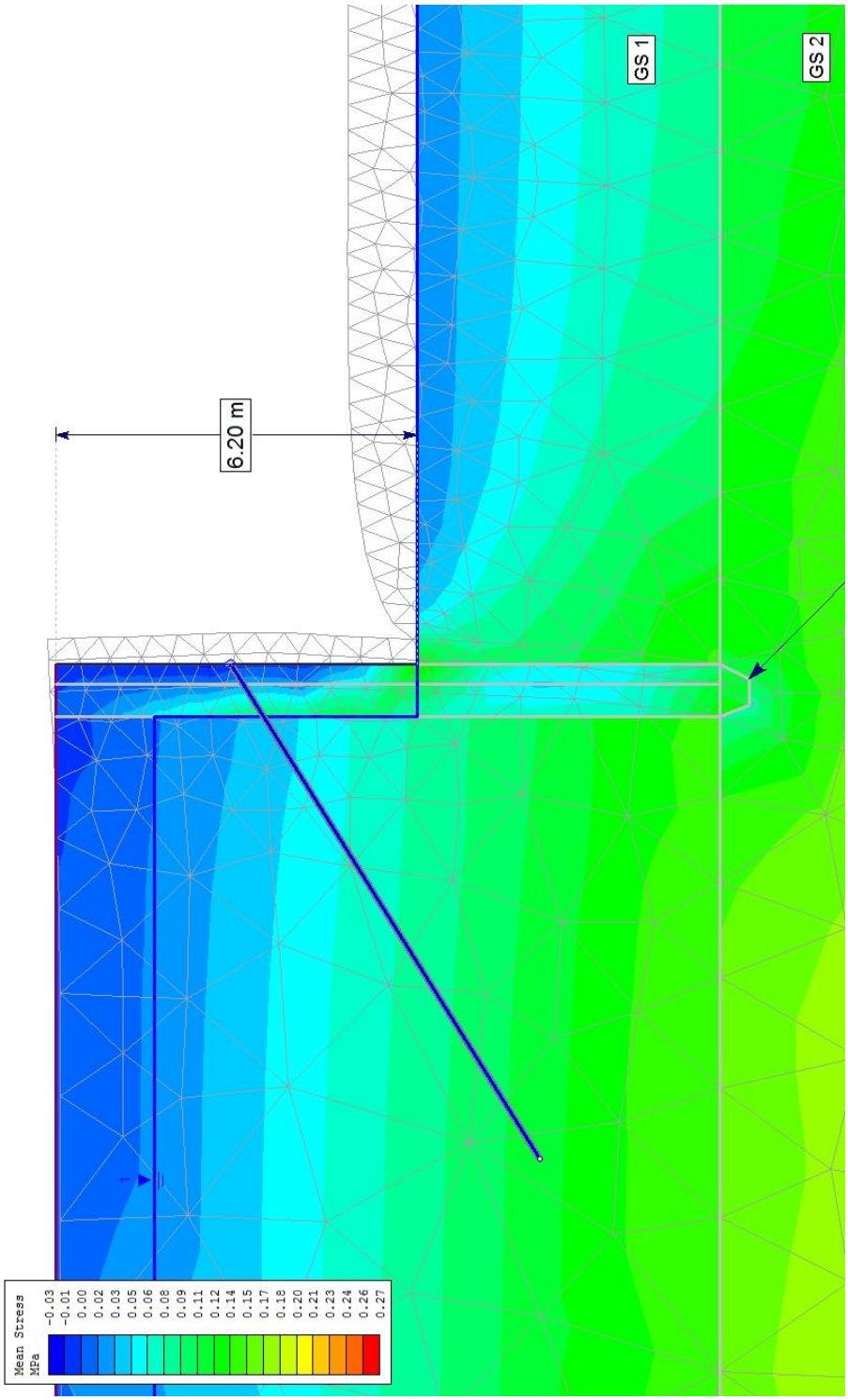


Material Name	Color	Initial Element Loading	Unit Weight (MN/m3)	Elastic Type	Young's Modulus (MPa)	Poisson's Ratio	Failure Criterion	Material Type	Tensile Strength (MPa)	Friction Angle (peak) (deg)	Cohesion (peak) (MPa)	Piezo Line	Hu
GS 2		Field Stress and Body Force	0.024	Isotropic	1000	0.3	Mohr Coulomb	Elastic	0.012	41	0.049	1	1
GS 1		Field Stress and Body Force	0.019	Isotropic	3	0.3	Mohr Coulomb	Elastic	0	21	0	1	1
Mlazno injektirani stupnjak		Field Stress and Body Force	0.018	Isotropic	1000	0.3	Mohr Coulomb	Plastic	0.2	29	0.24	1	1

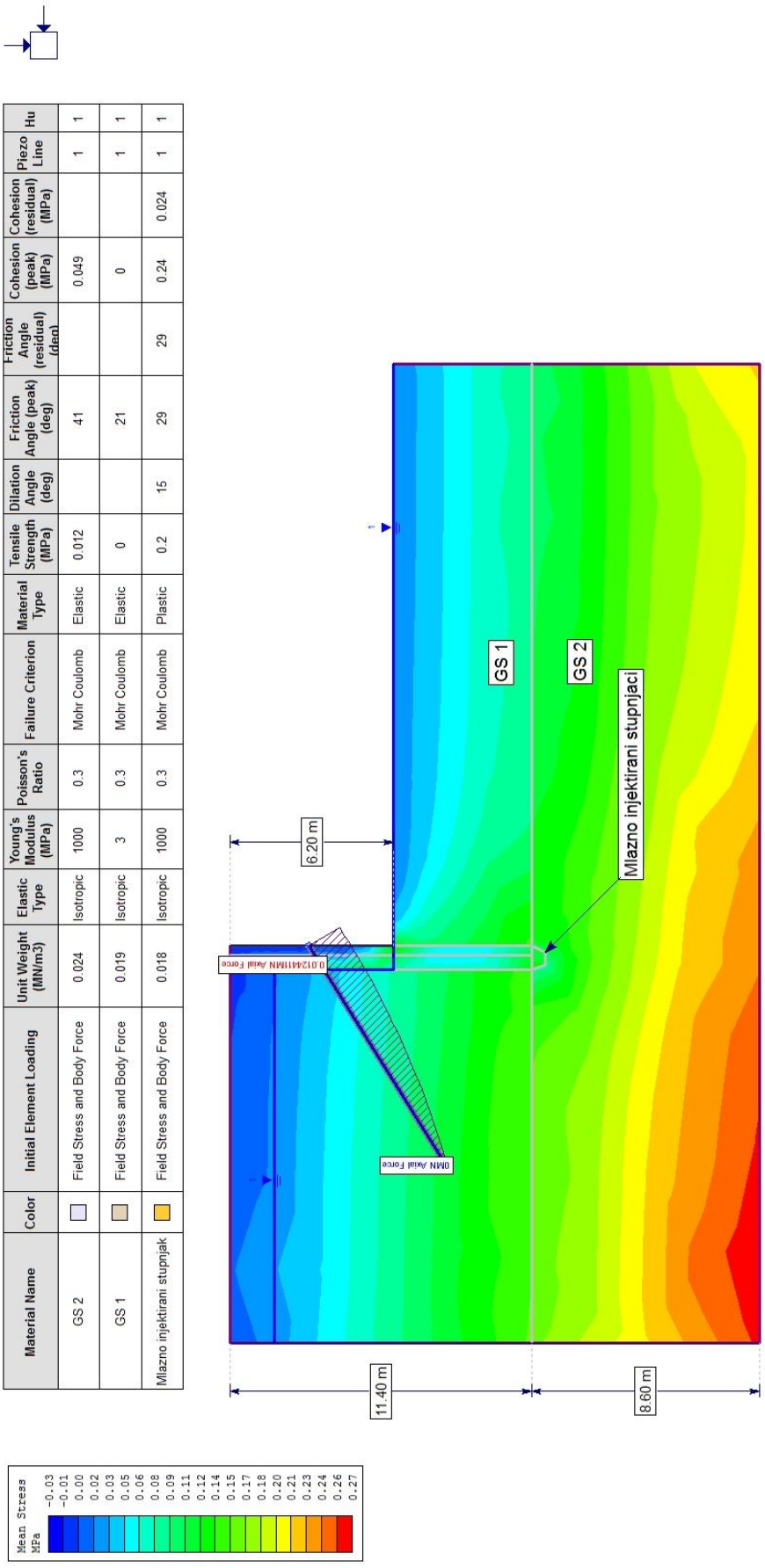
Slika 4.2. *Prikaz modela za drenirano stanje sa ulaznim parametrima*



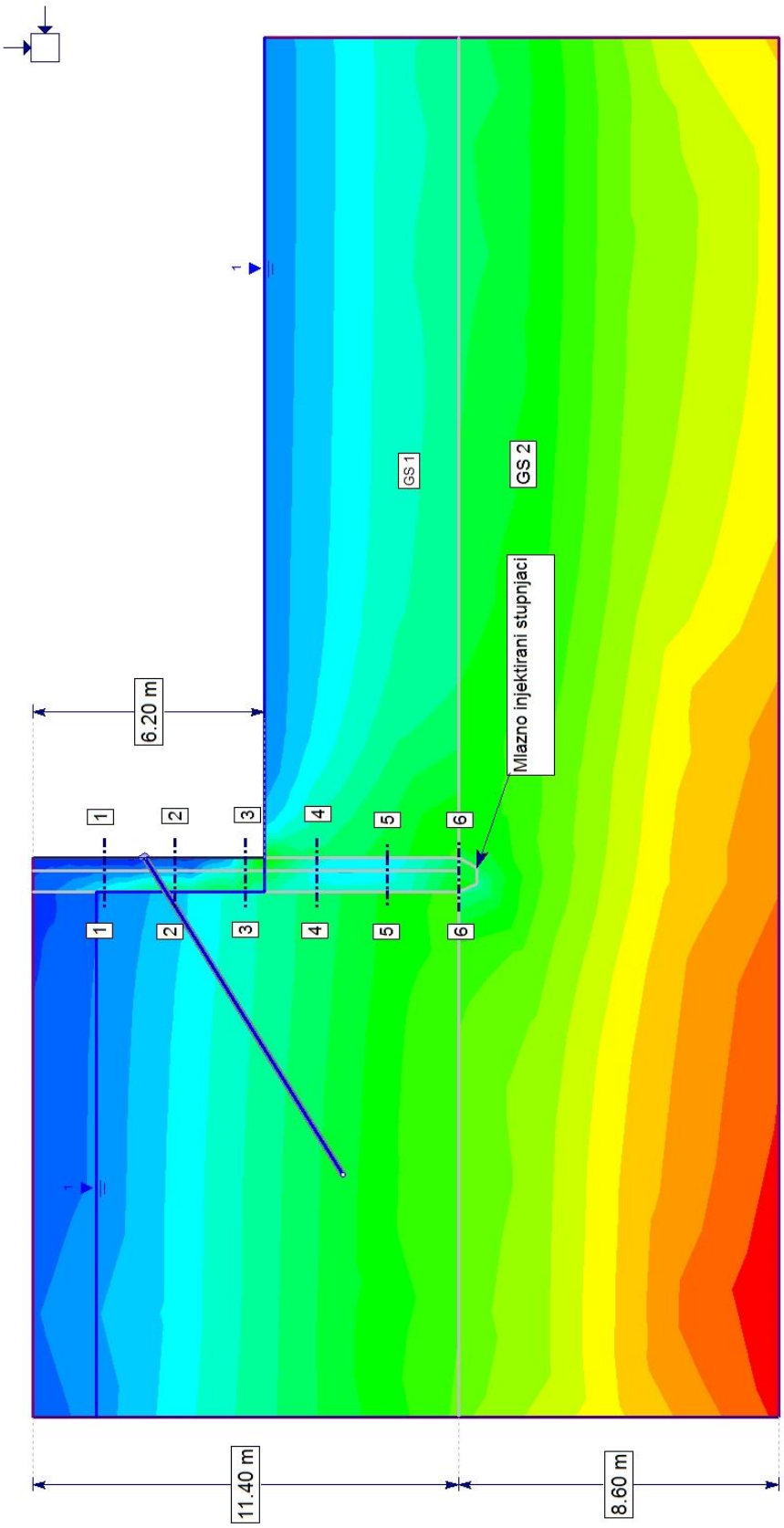
Slika 4.3. *Prikaz deformacije stupnjaka*



Slika 4.4. *Uvećani prikaz deformacije stupnjaka*



Slika 4.5. *Prikaz rezultata ukupnih naprezanja*

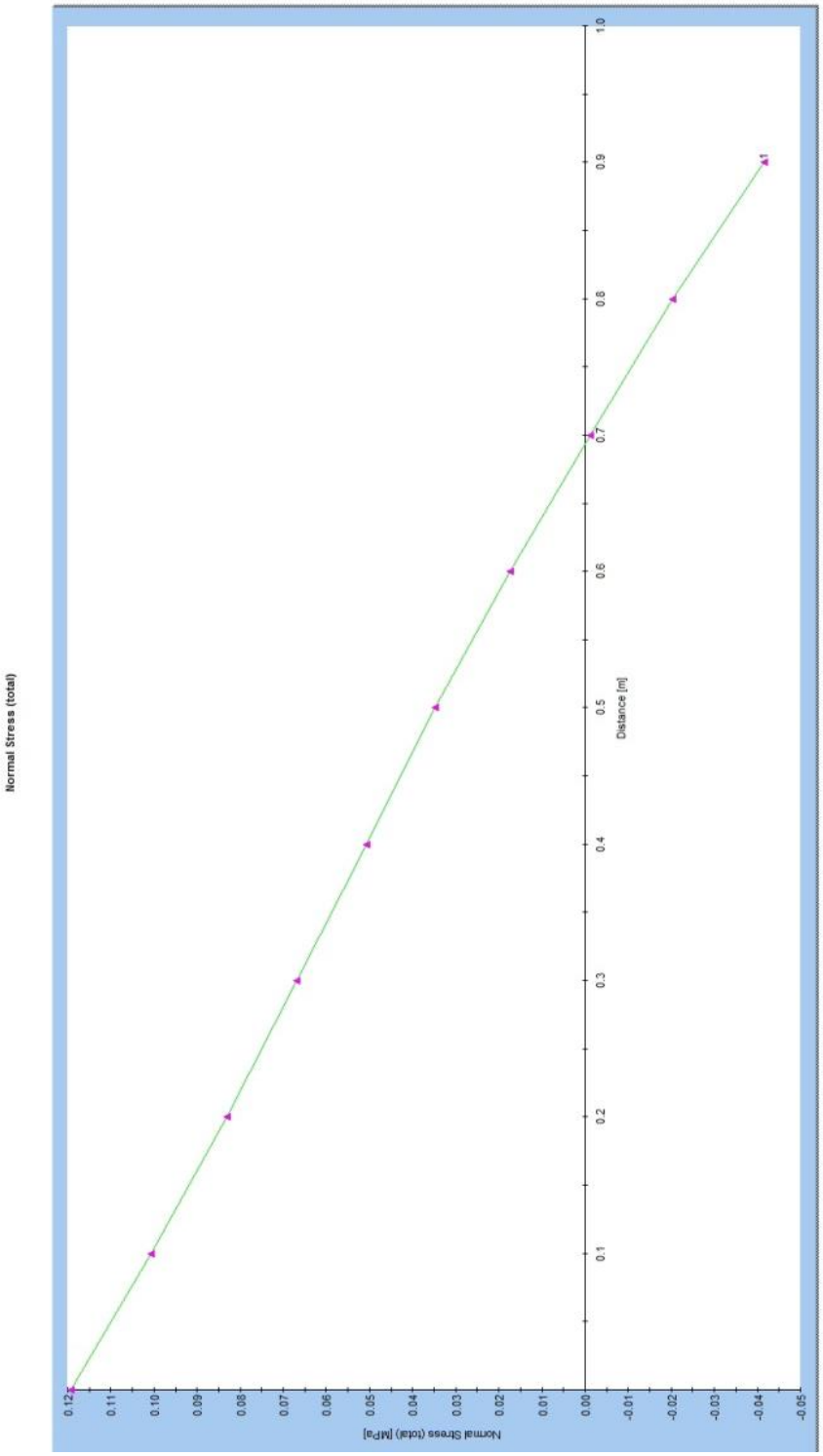


Slika 4.6. *Prikaz položaja presjeka mlazno injektiranih stupnjaka*

Presjek 1-1

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

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



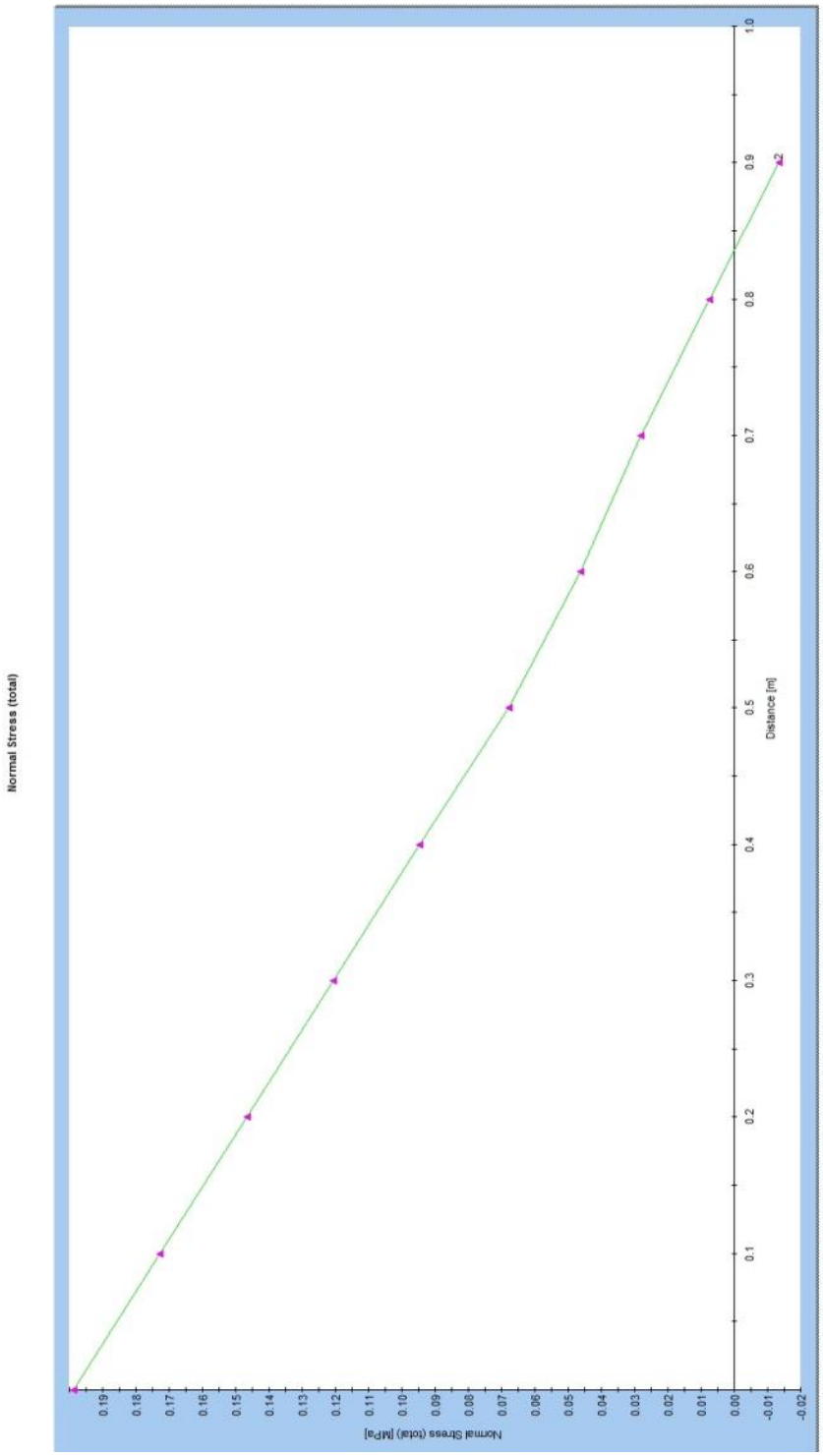
Slika 4.7. *Prikaz ukupnih naprezanja mlazno injektiranih stupnjaka presjeka 1-1*

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

Presjek 2-2

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

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



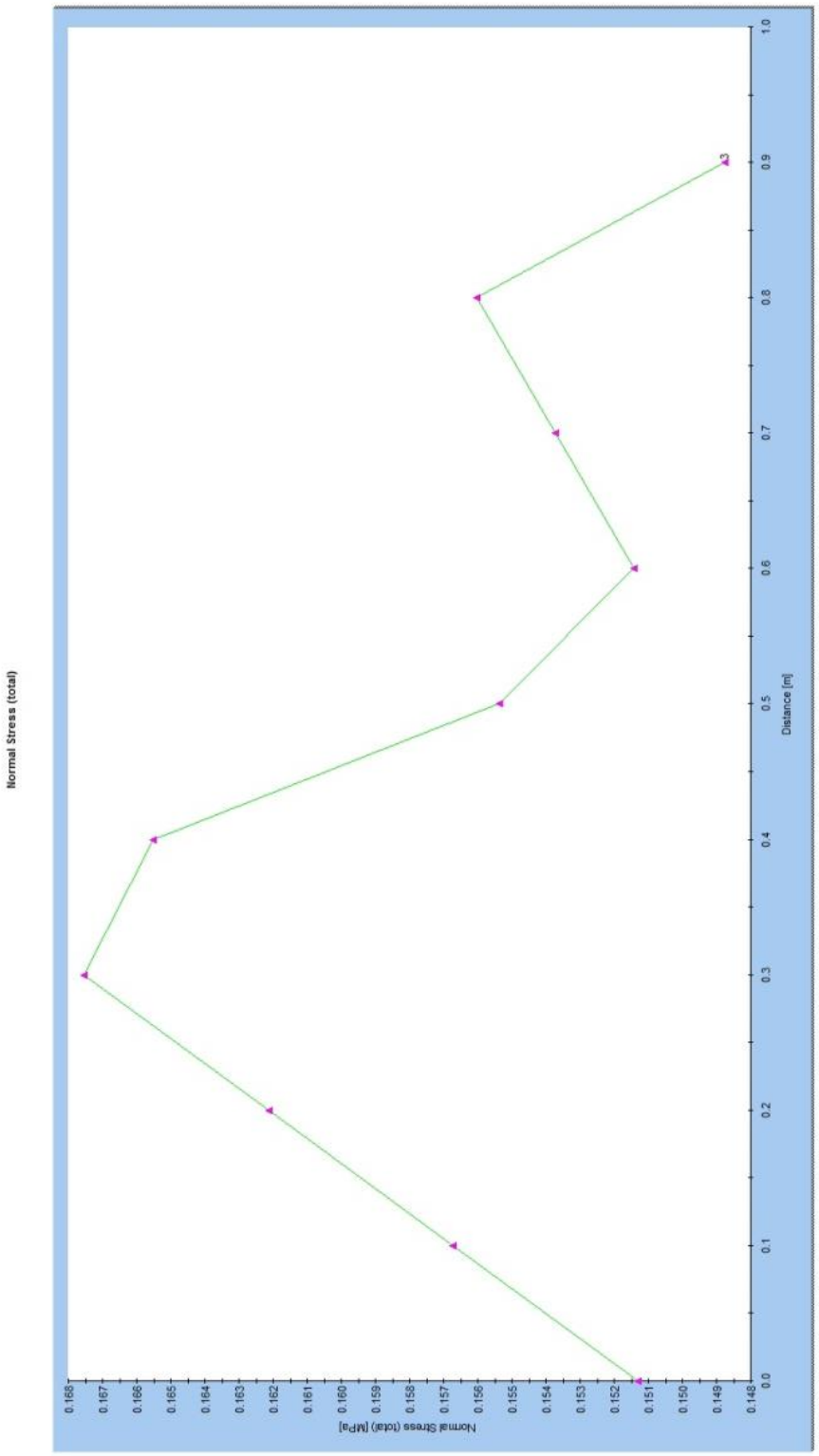
Slika 4.8. *Prikaz ukupnih naprezanja mlazno injektiranih stupnjaka presjeka 2-2*

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

Presjek 3-3

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

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

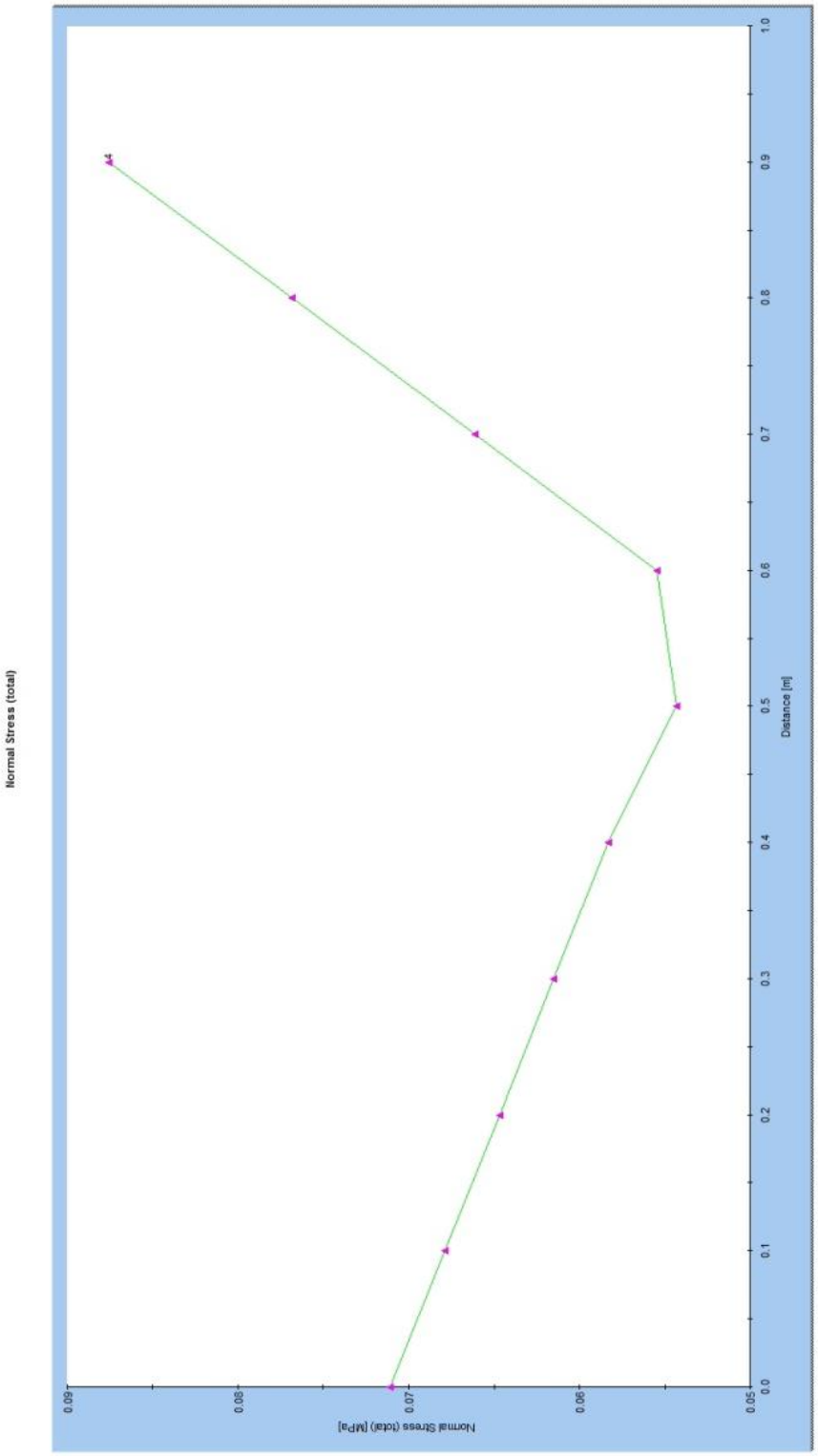


Slika 4.9. *Prikaz ukupnih naprezanja mlazno injektiranih stupnjaka presjeka 3-3*

Presjek 4-4

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

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

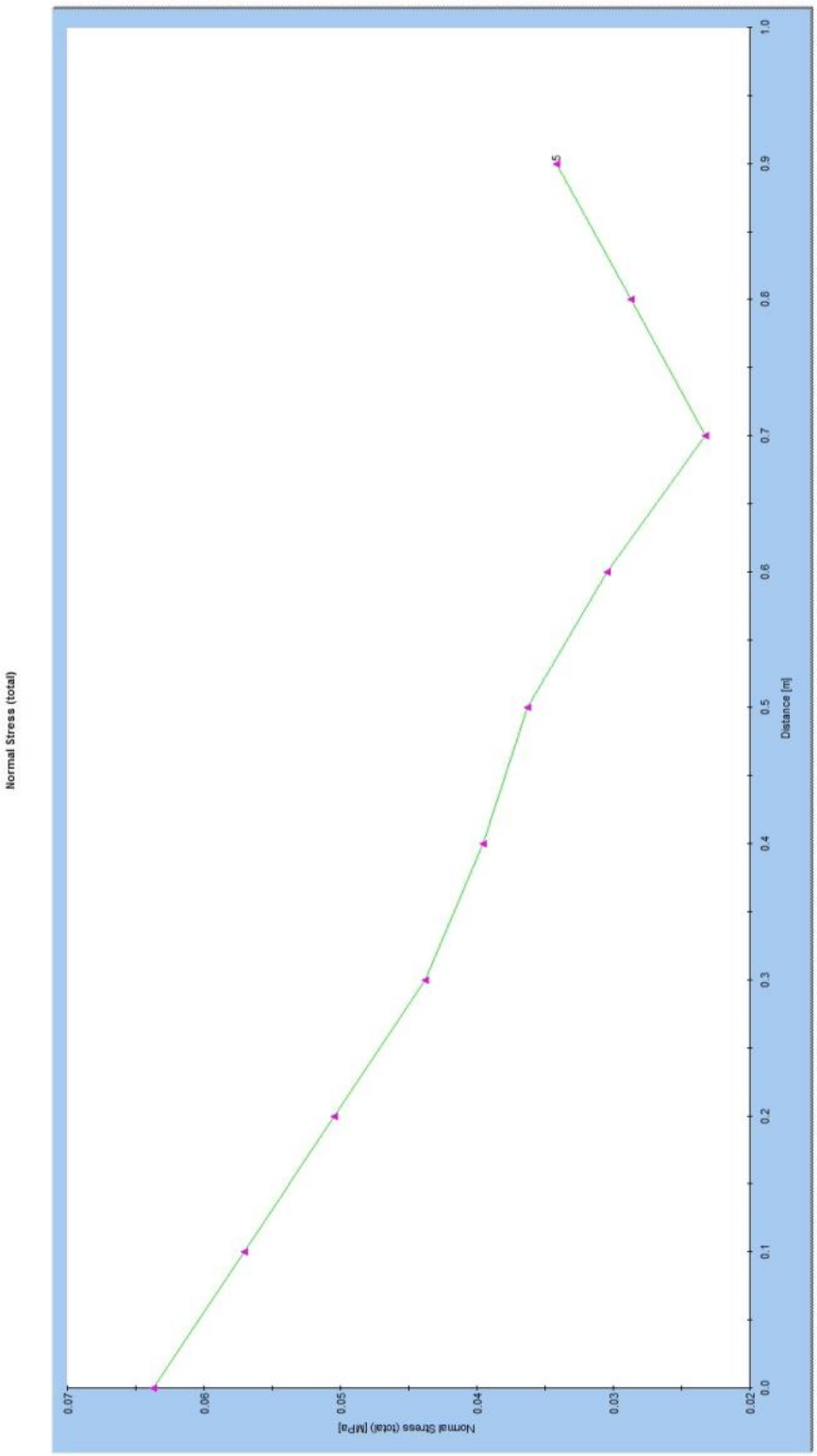


Slika 4.10. *Prikaz ukupnih naprezanja mlazno injektiranih stupnjaka presjeka 4-4*

Presjek 5-5

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

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

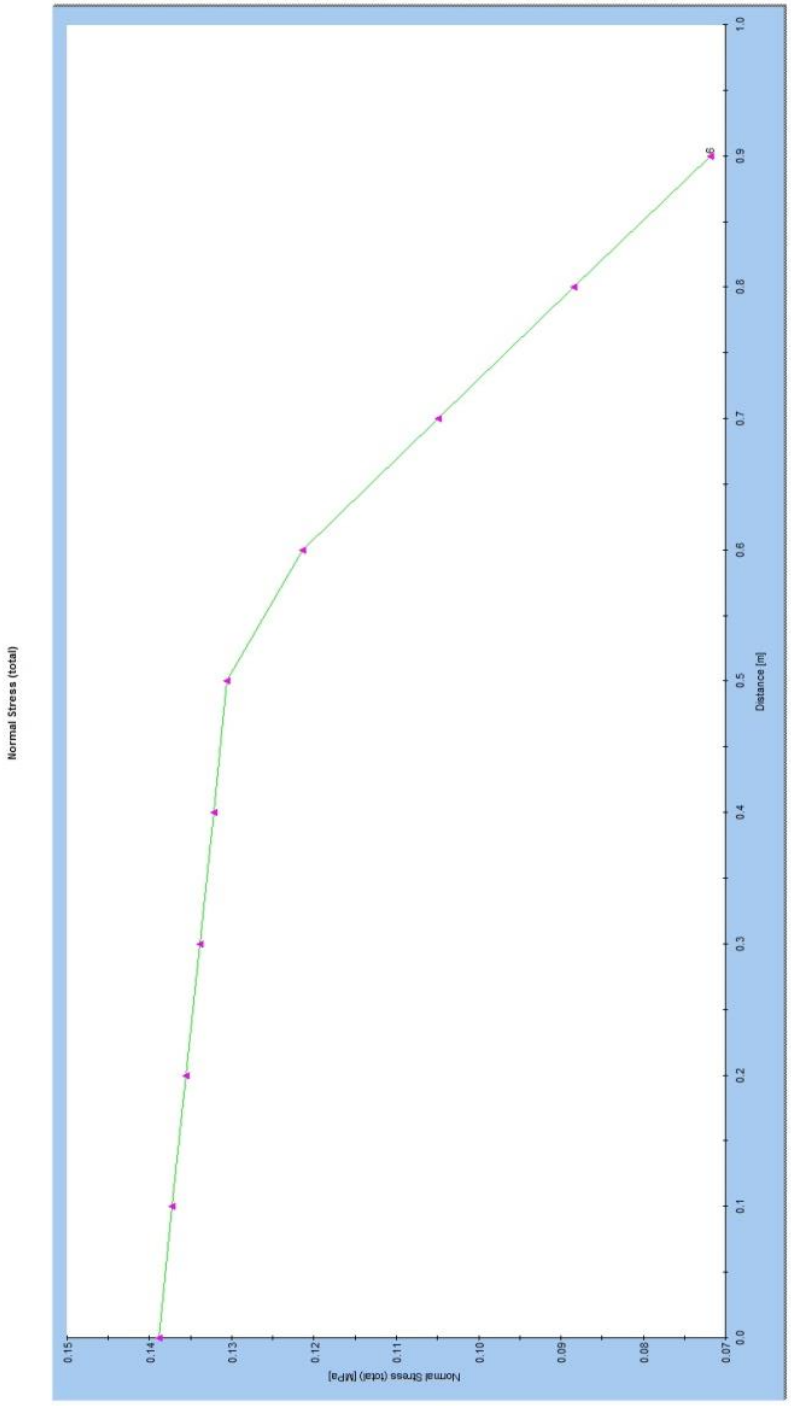


Slika 4.11. *Prikaz ukupnih naprezanja mlazno injektiranih stupnjaka presjeka 5-5*

Presjek 6-6

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

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

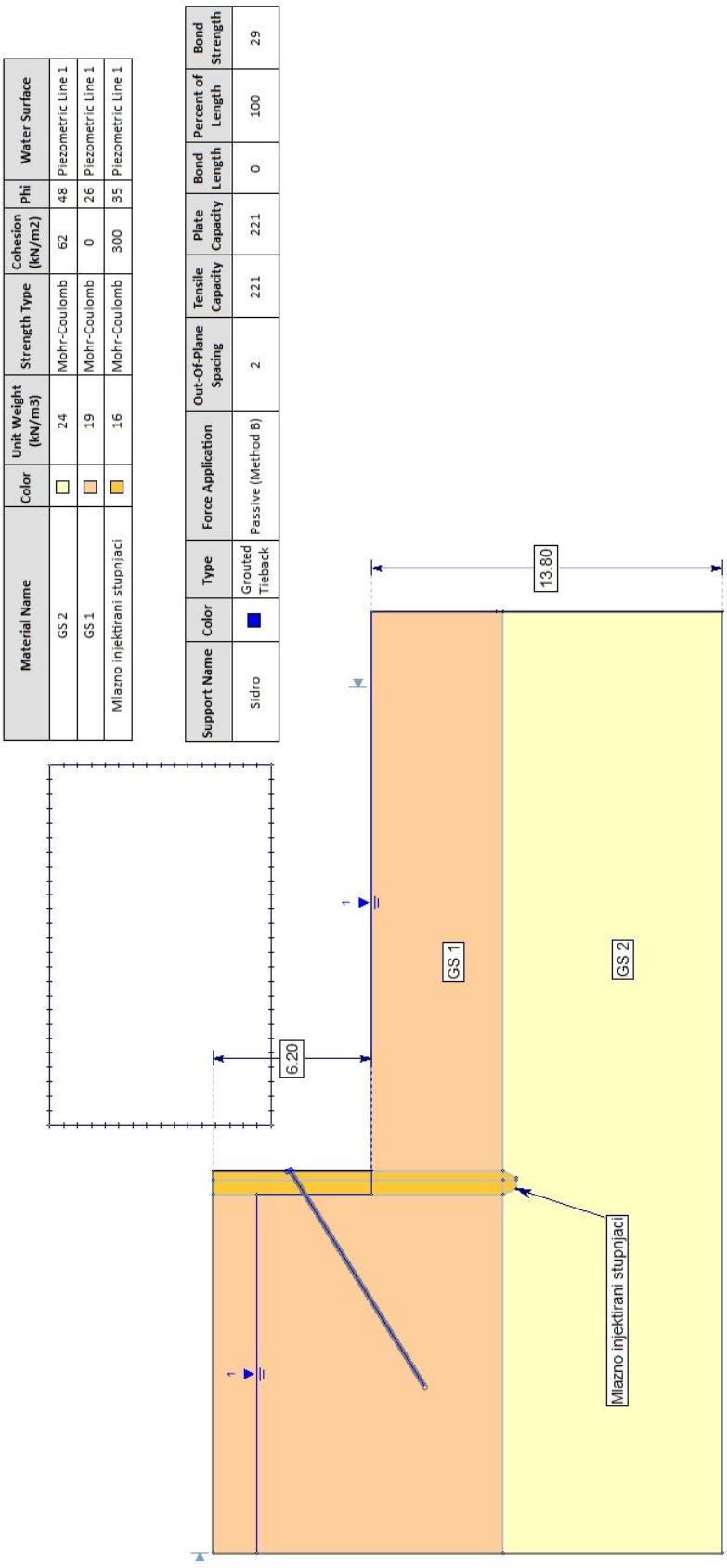


Slika 4.12. *Prikaz ukupnih naprezanja mlazno injektiranih stupnjaka presjeka 6-6*

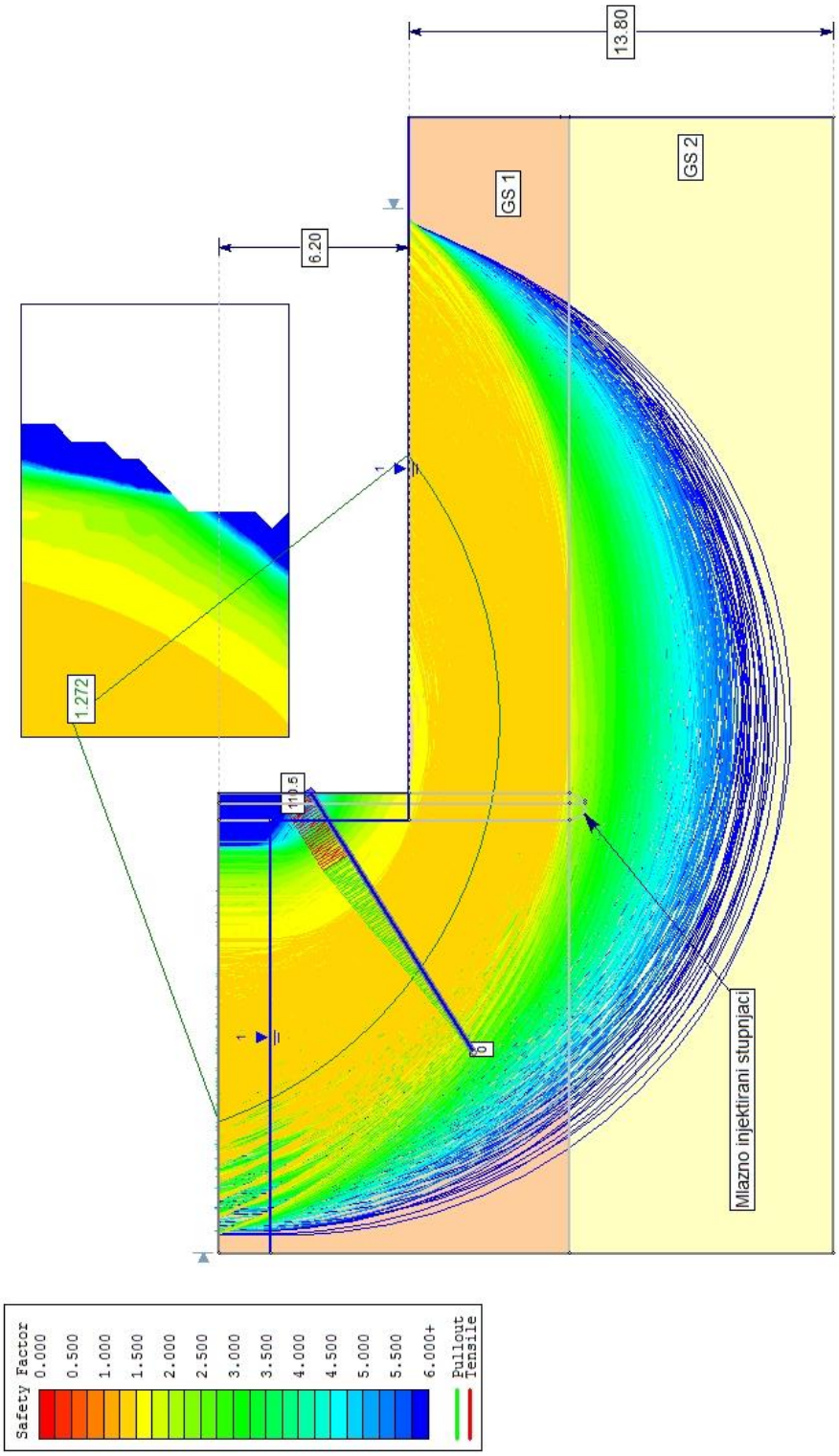
Iz prikazanih rezultata vidljivo je da su naprezanja manja od čvrstoće materijala pa je nosivost osigurana.

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*

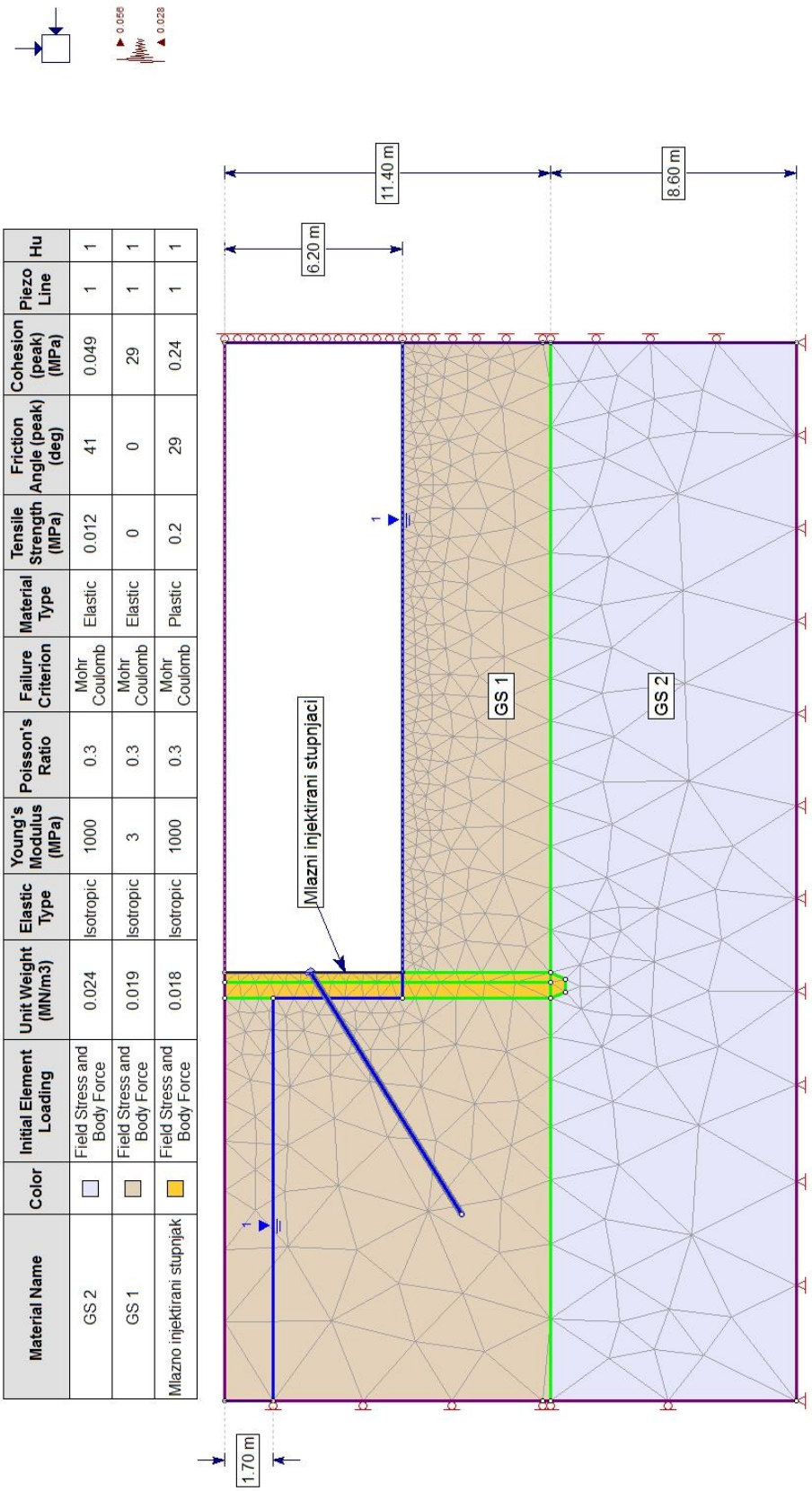


Slika 4.14. *Prikaz rezultata modela za globalnu stabilnost pokosa*

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

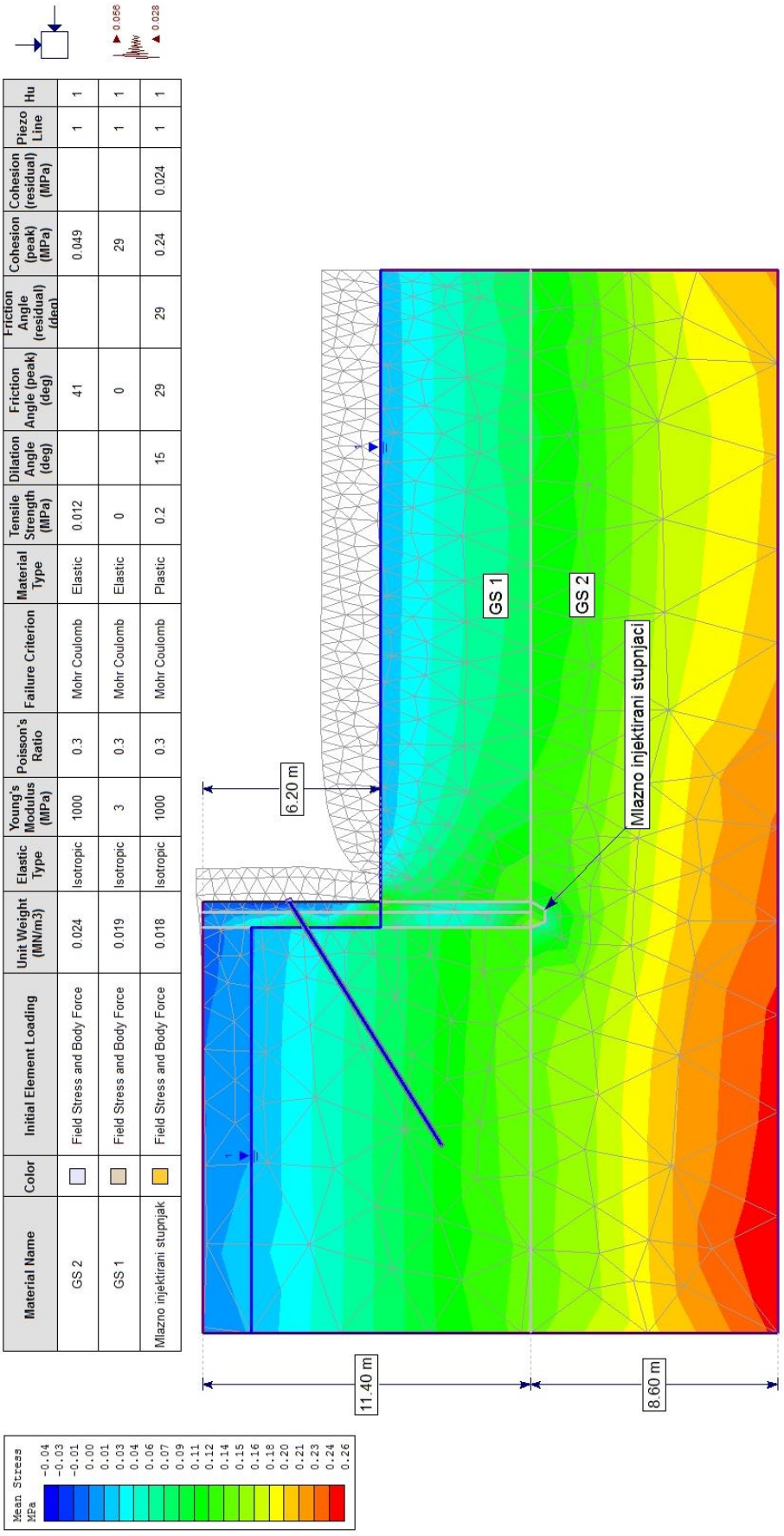
4.1.3. Proračun za nedrenirano stanje (seizmika) – zapadni dio

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 $\sigma_{c,\max} = 0,21\,MPa$, dok je maksimalno vlačno naprezanje $\sigma_{t,\max} = 0,05\,MPa$.

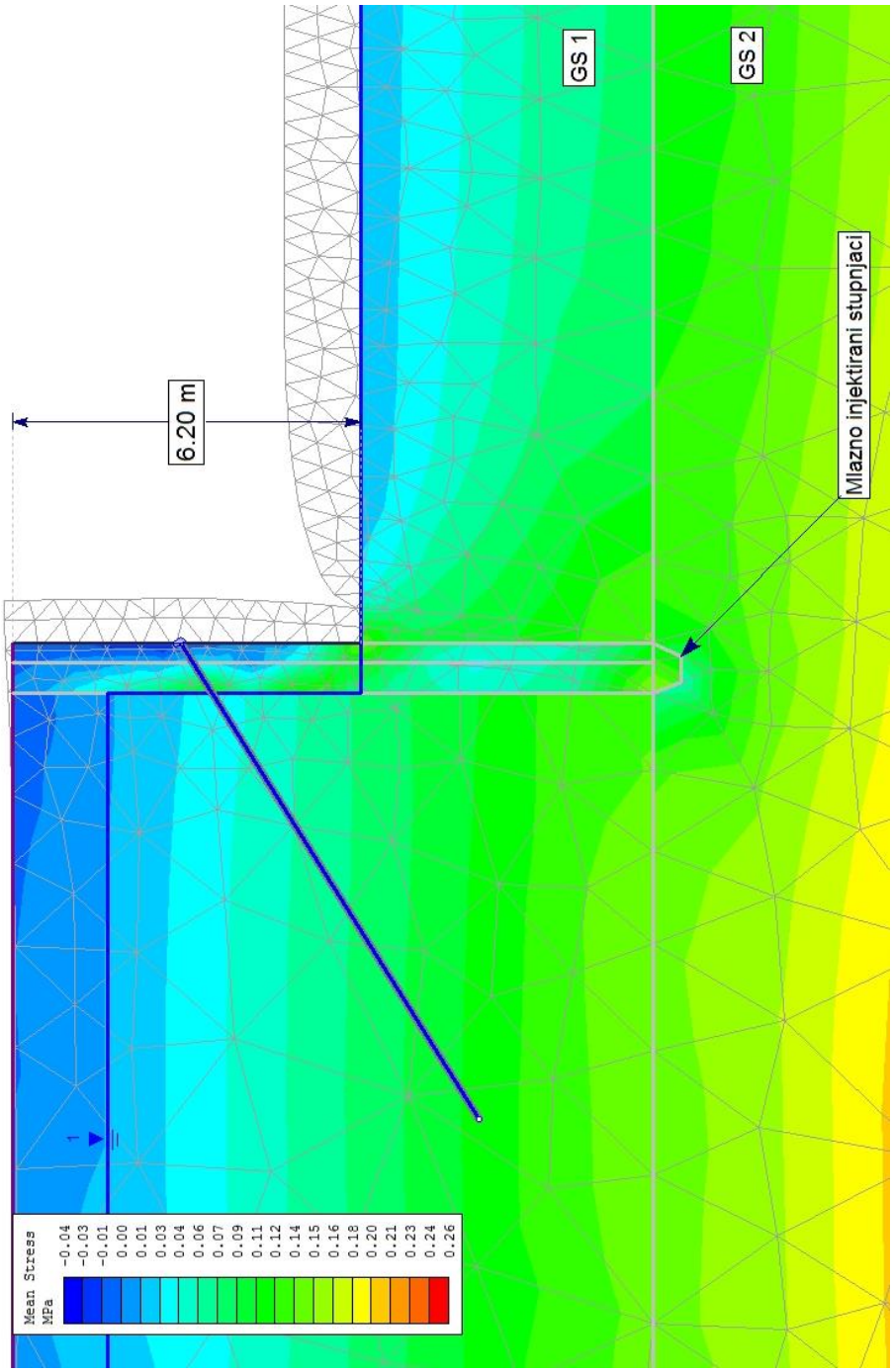


Material Name	Color	Initial Element Loading	Unit Weight (MN/m3)	Elastic Type	Young's Modulus (MPa)	Poisson's Ratio	Failure Criterion	Material Type	Tensile Strength (MPa)	Friction Angle (peak) (deg)	Cohesion (peak) (MPa)	Piezo Line	Hu
GS 2		Field Stress and Body Force	0.024	Isotropic	1000	0.3	Mohr Coulomb	Elastic	0.012	41	0.049	1	1
GS 1		Field Stress and Body Force	0.019	Isotropic	3	0.3	Mohr Coulomb	Elastic	0	0	29	1	1
Mlazno injektirani stupnjak		Field Stress and Body Force	0.018	Isotropic	1000	0.3	Mohr Coulomb	Plastic	0.2	29	0.24	1	1

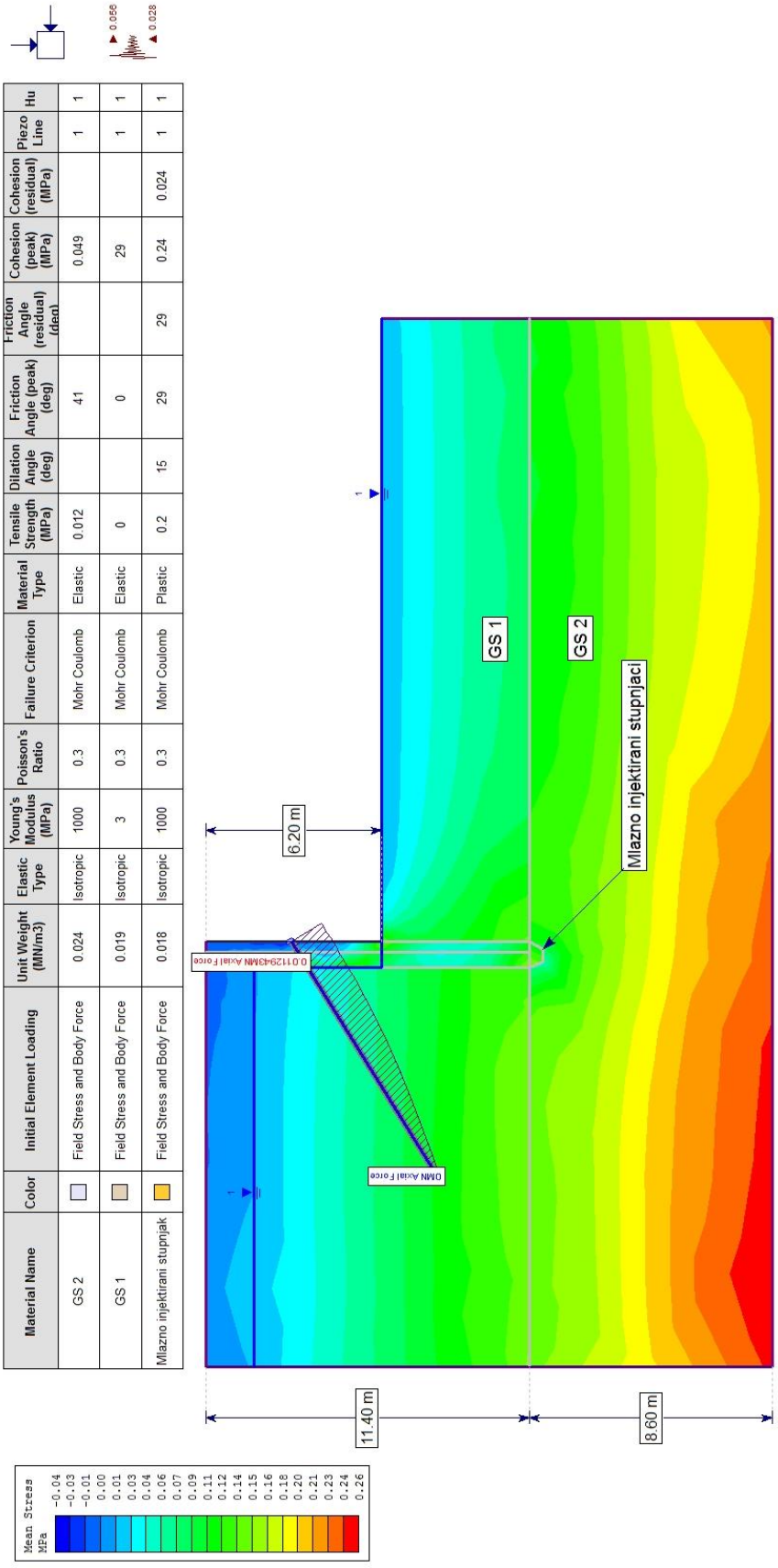
Slika 4.15. *Prikaz modela za nedrenirano stanje sa ulaznim parametrima*



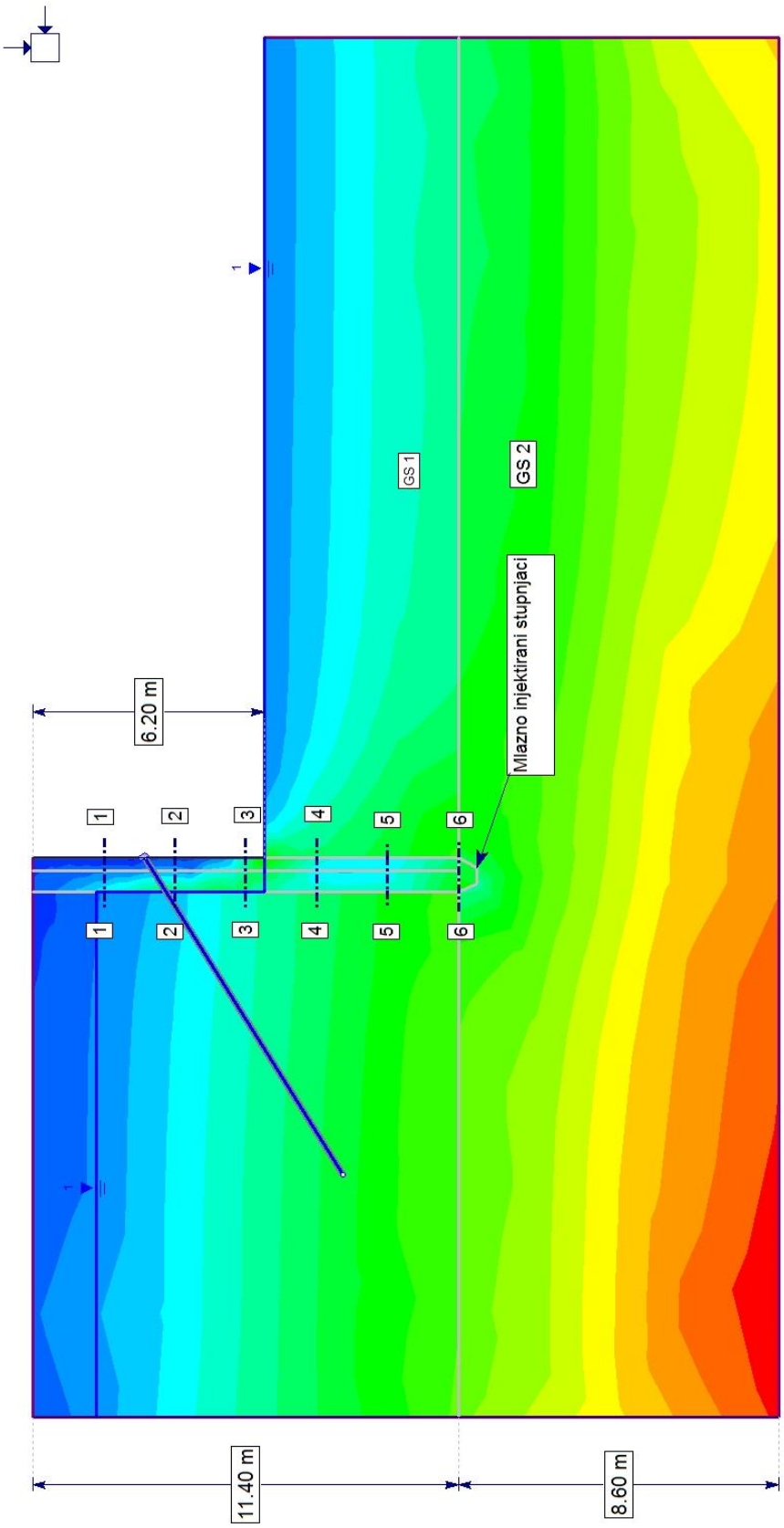
Slika 4.16. *Prikaz deformacije stupnjaka*



Slika 4.17. *Uvećani prikaz deformacije stupnjaka*



Slika 4.18. *Prikaz ukupnih naprezanja*

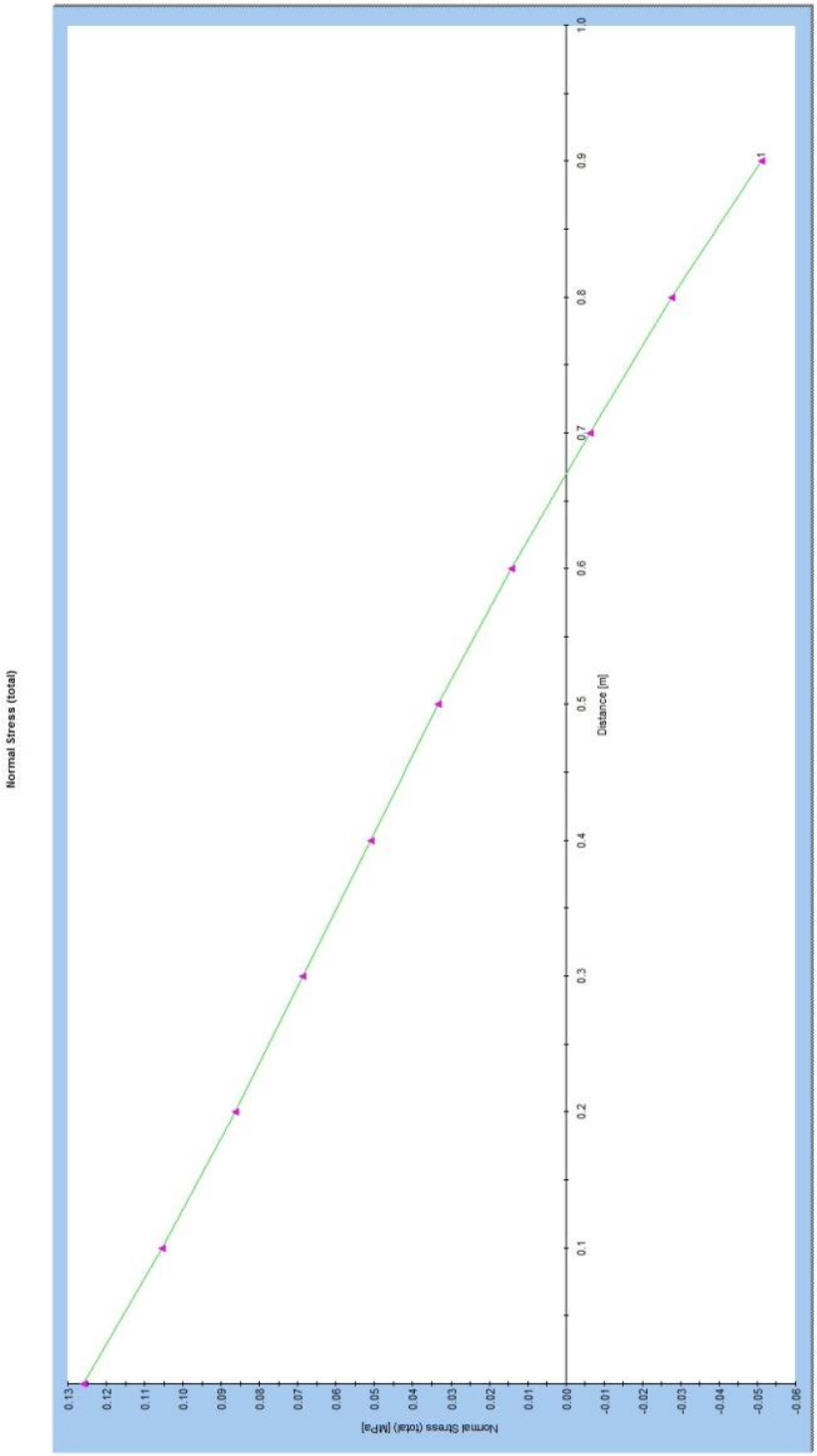


Slika 4.19. *Prikaz položaja presjeka mlazno injektiranih stupnjaka*

Presjek 1-1

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

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



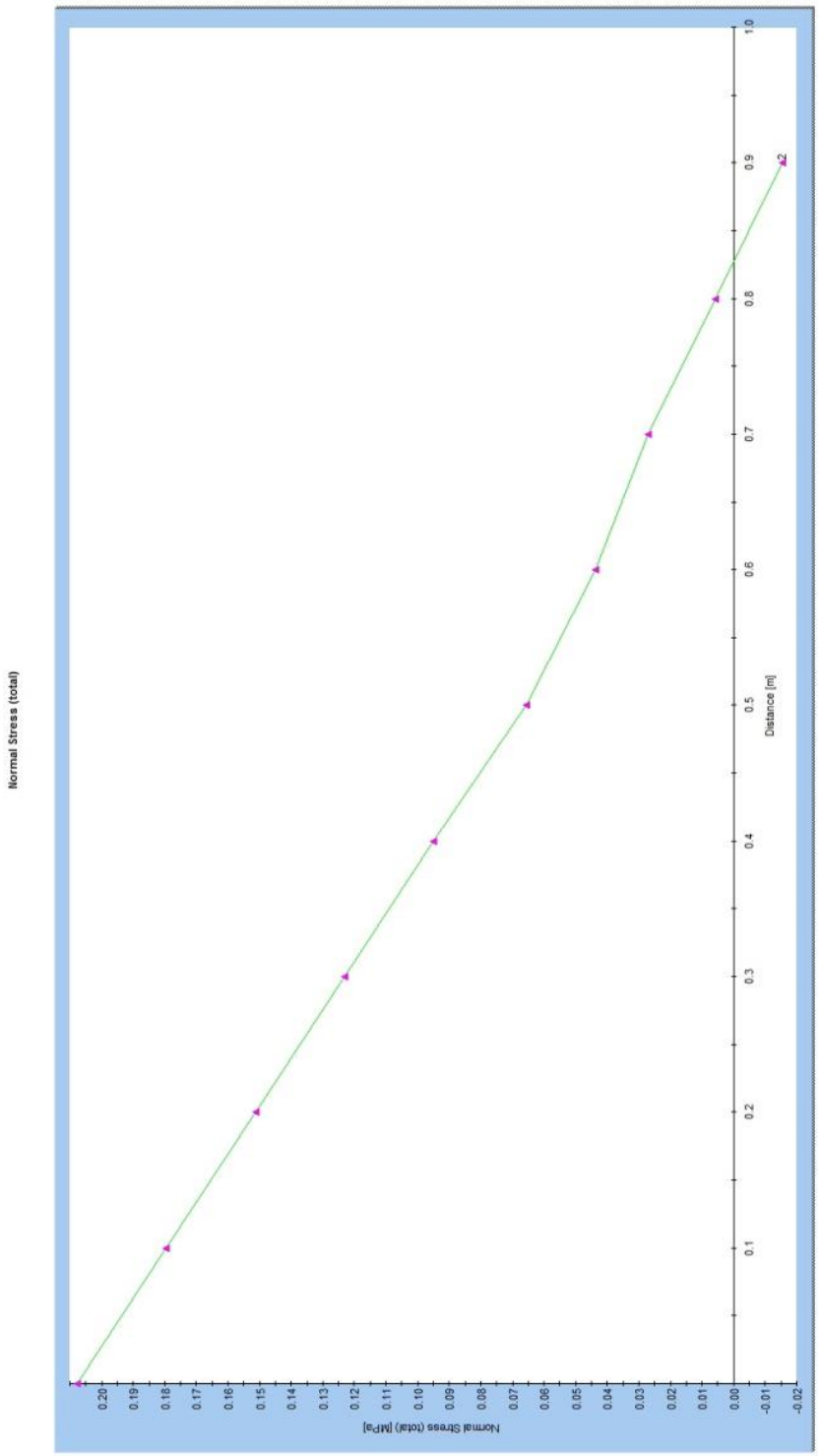
Slika 4.20. *Prikaz ukupnih naprezanja mlazno injektiranih stupnjaka presjeka 1-1*

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

Presjek 2-2

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

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



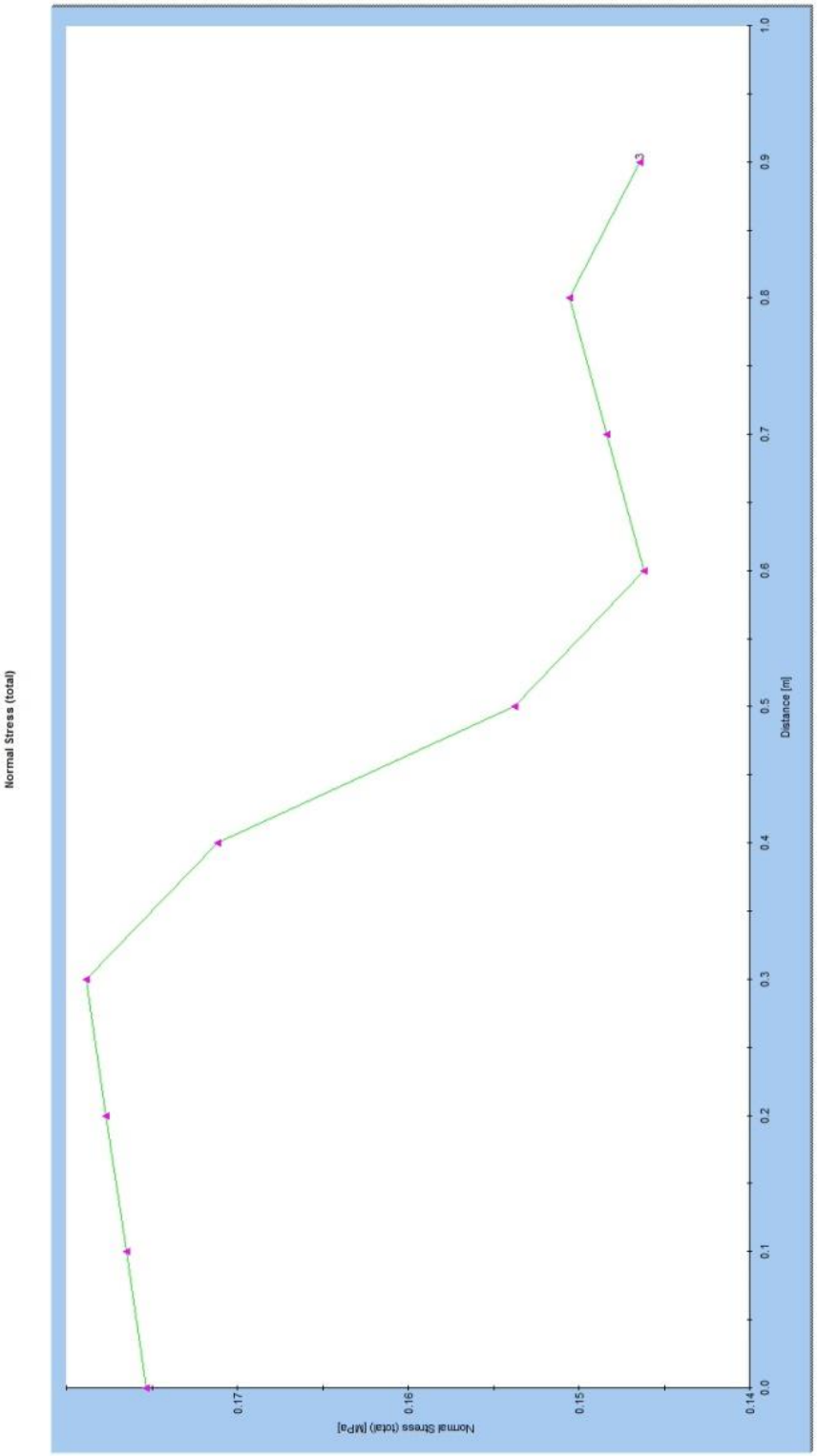
Slika 4.21. *Prikaz ukupnih naprezanja mlazno injektiranih stupnjaka presjeka 2-2*

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

Presjek 3-3

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

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

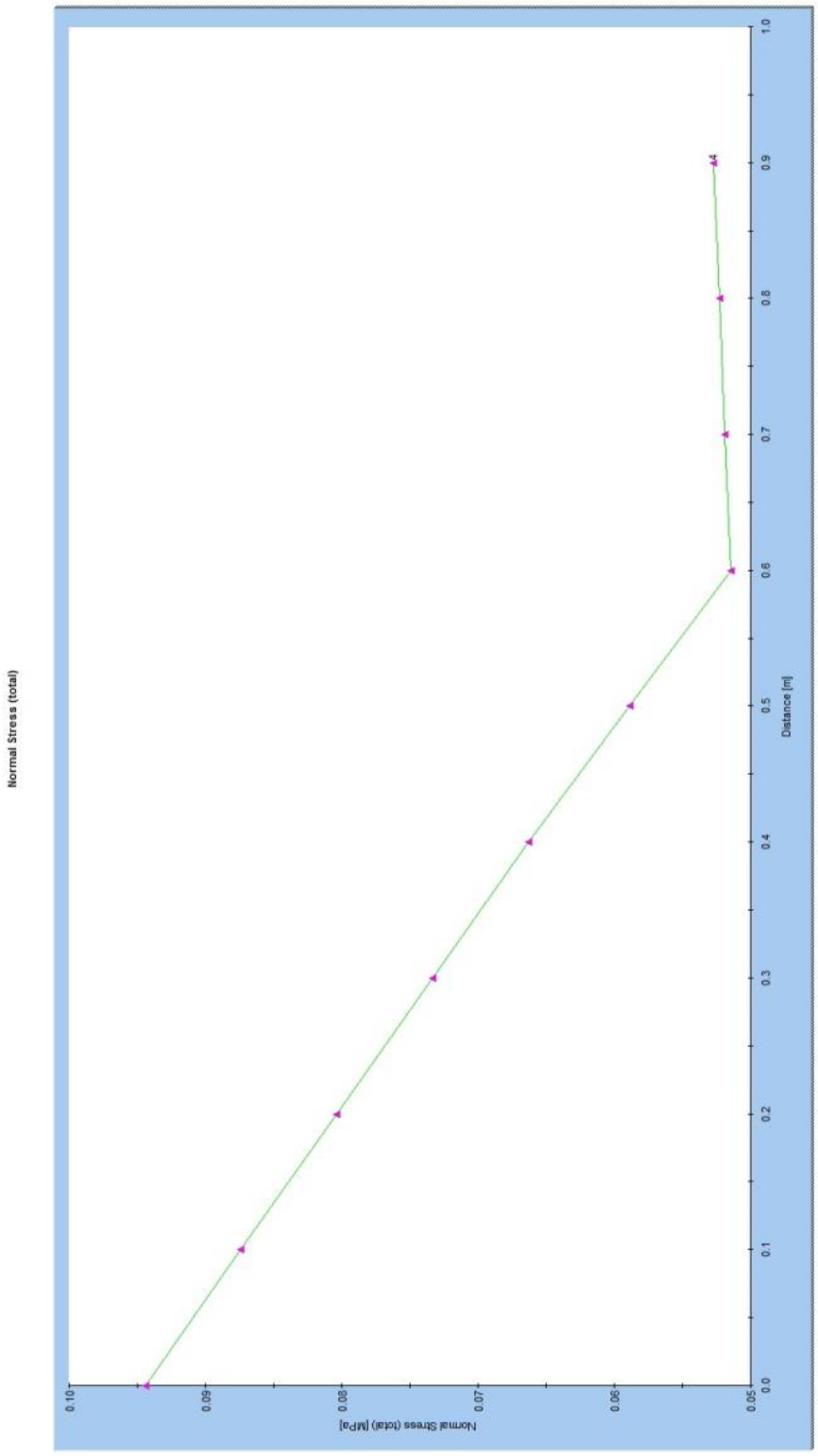


Slika 4.22. *Prikaz ukupnih naprezanja mlazno injektiranih stupnjaka presjeka 3-3*

Presjek 4-4

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

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

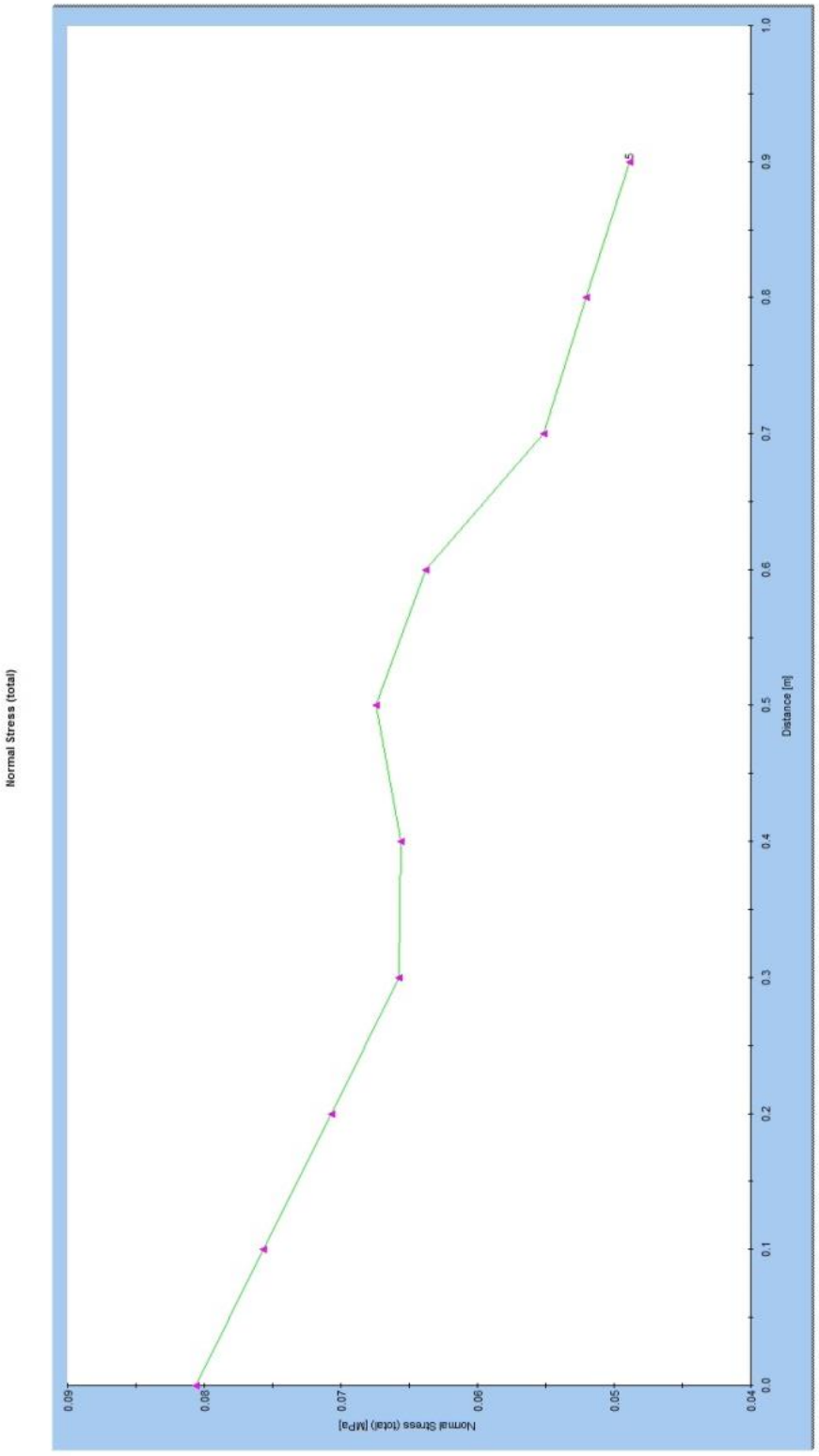


Slika 4.23. *Prikaz ukupnih naprezanja mlazno injektiranih stupnjaka presjeka 4-4*

Presjek 5-5

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

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

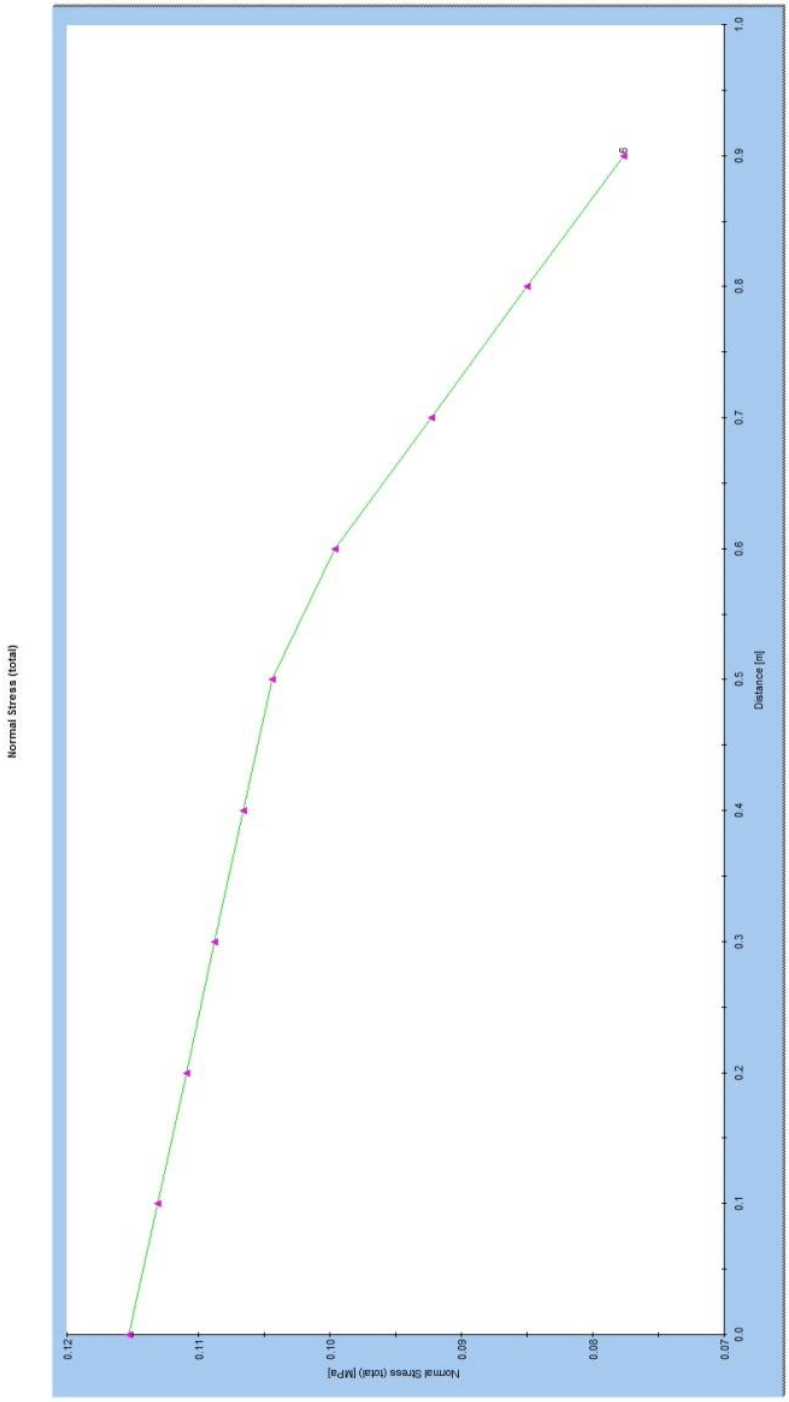


Slika 4.24. *Prikaz ukupnih naprezanja mlazno injektiranih stupnjaka presjeka 5-5*

Presjek 6-6

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

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

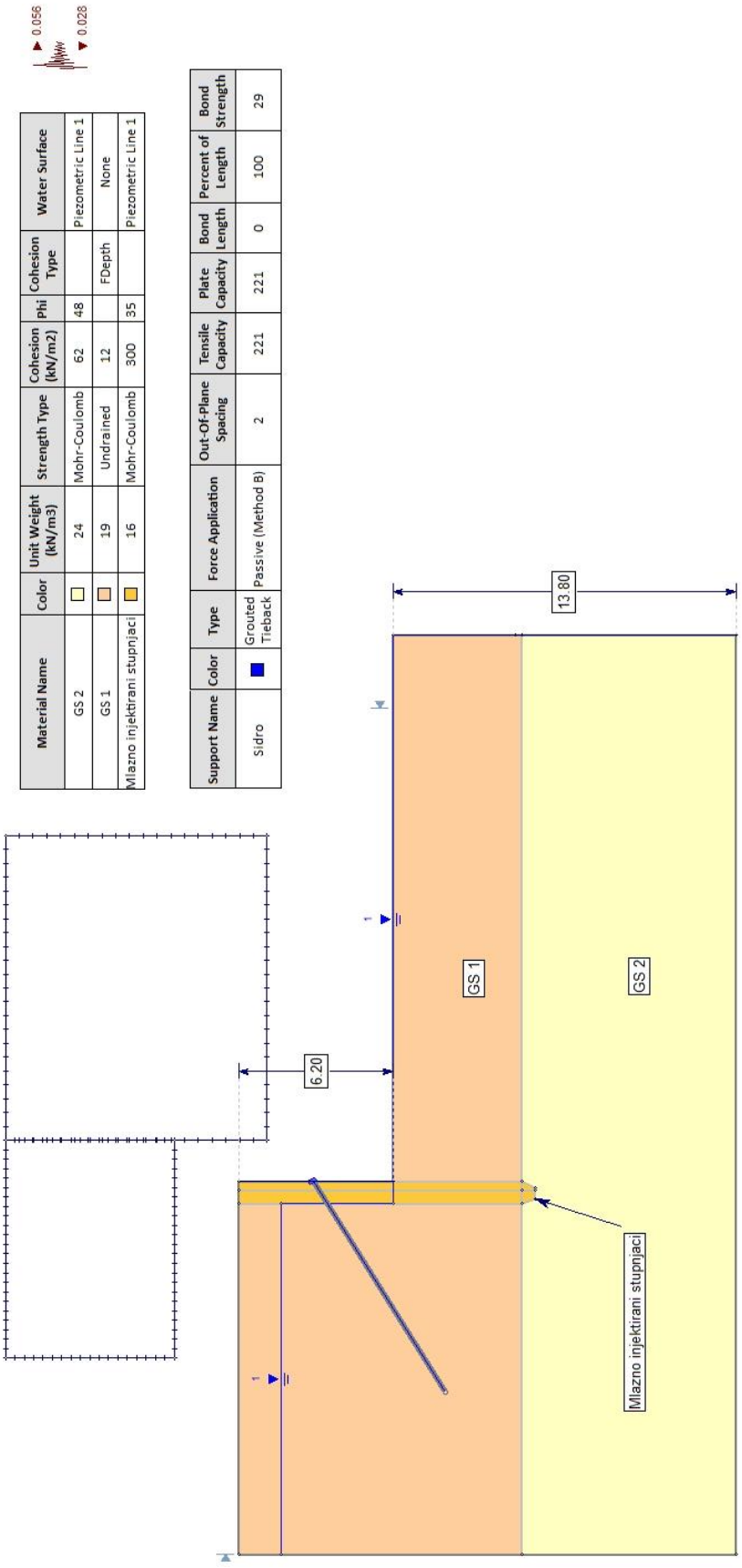


Slika 4.25. *Prikaz ukupnih naprezanja mlazno injektiranih stupnjaka presjeka 6-6*

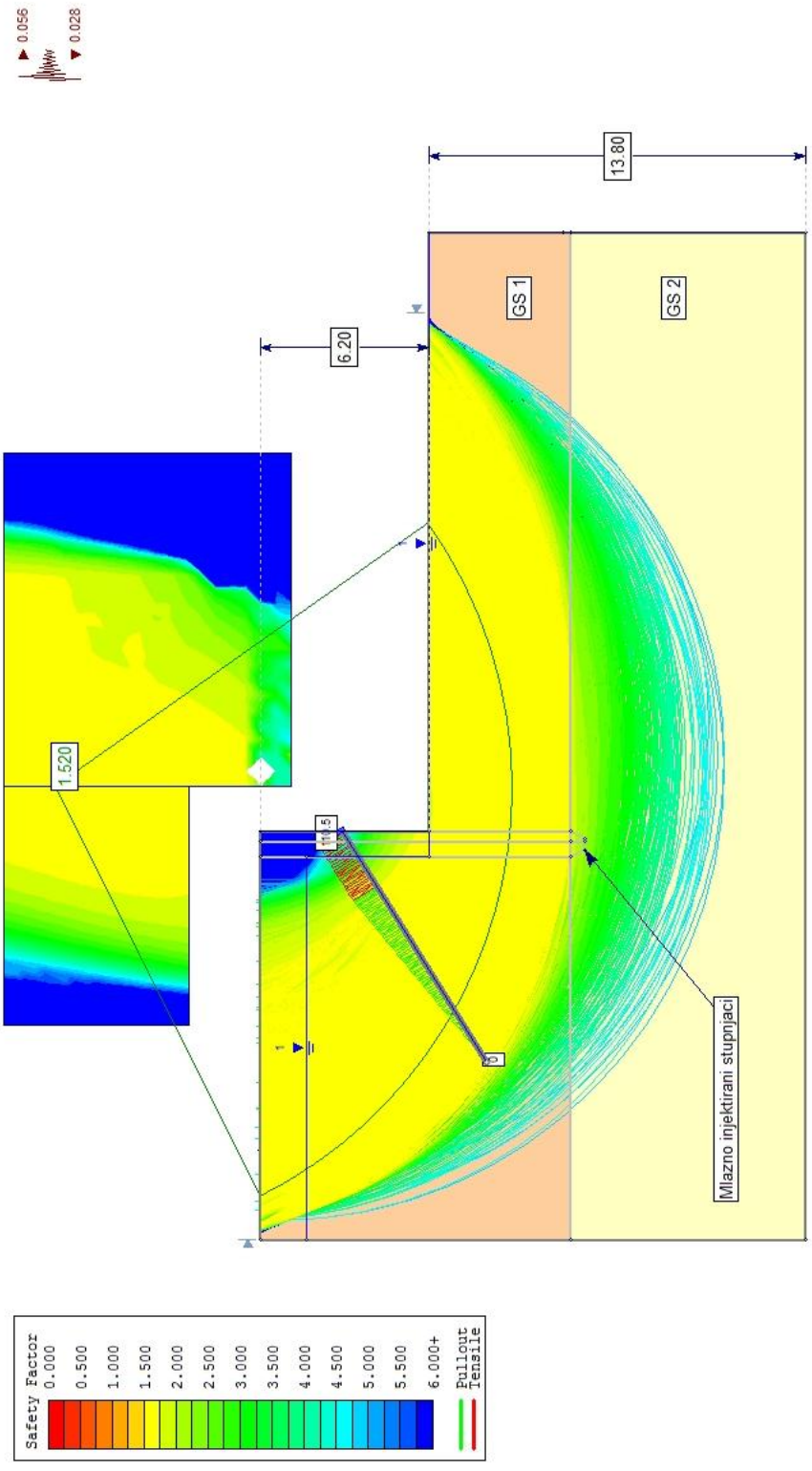
Iz prikazanih rezultata vidljivo je da su naprezanja manja od čvrstoće materijala te je nosivost osigurana.

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 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: $\sigma_c = 30$ MPa

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

Kohezija: $c_k = 250\ kPa$

Kut unutarnjeg trenja: $\varphi_k = 0\ °$

Proračunska nosivost trenjem po plaštu:

$\tau = \sigma \cdot tg\varphi_d$ - 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

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

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

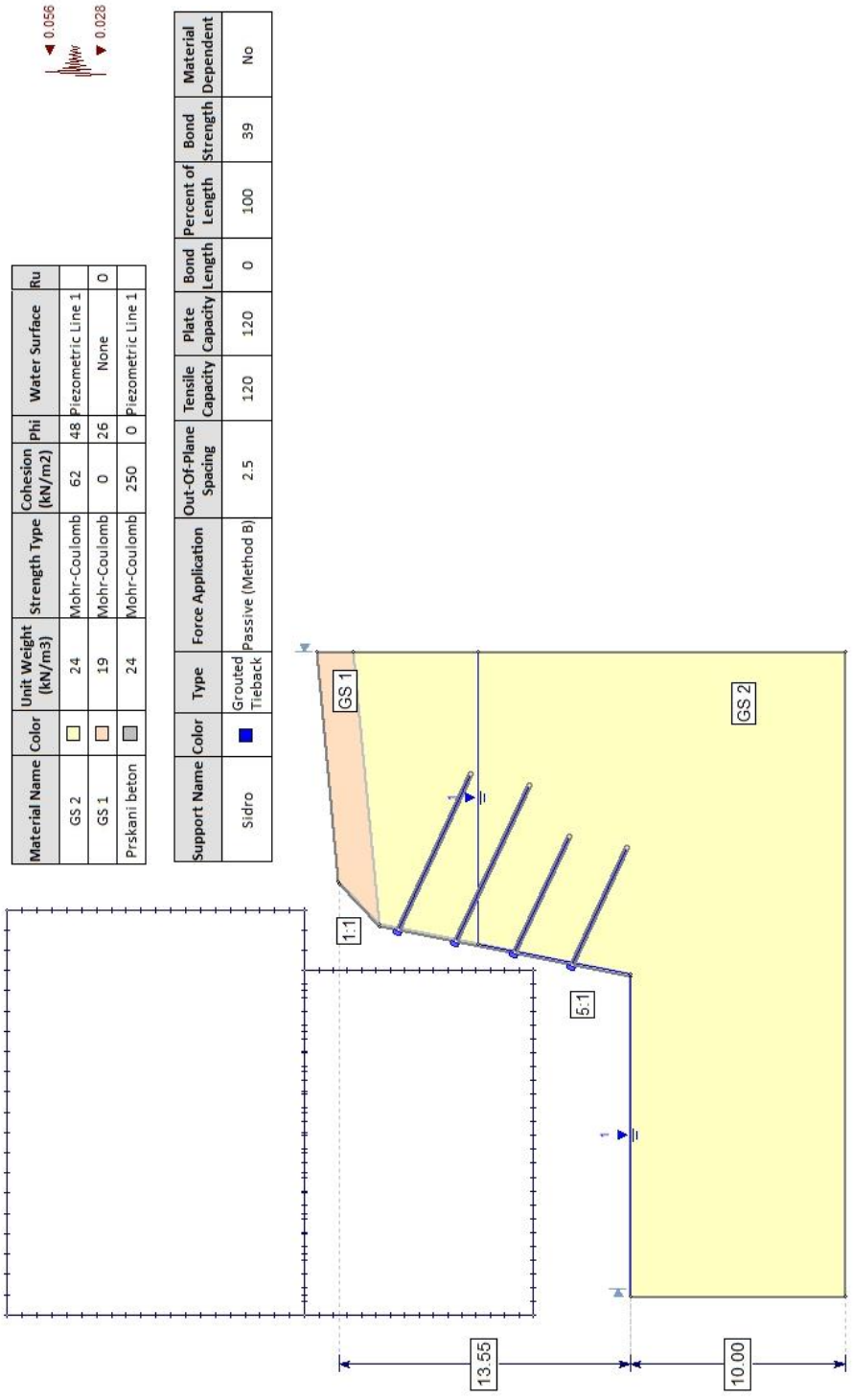
$\tau = (32,3 + 154,8) \cdot tg\,41° = 187,1 \cdot tg\,41° = 162,64\ kPa$

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

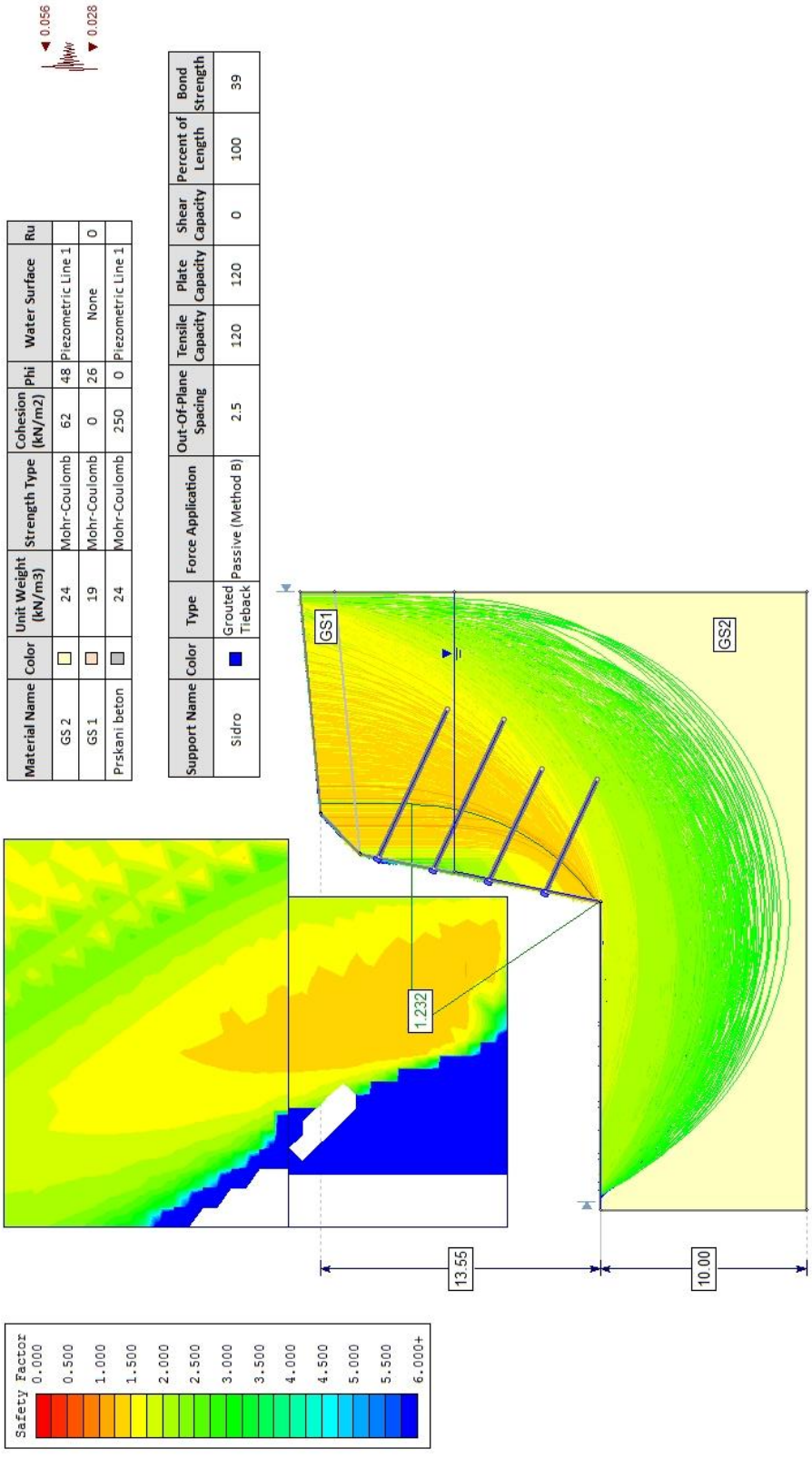
$R_d = 38,81 \cdot l_s\ kN/m$

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 RADOVI				
1	- Troškovi pripreme gradilišta za izvedbu radova		paušalno	
2	- Obračun troškova geodetskog iskolčenja osi mlazno injektiranih stupnjaka		paušalno	
BETONSKI RADOVI				
3	- Izvedba mlaznog betona debljine 10 cm (5 + 5 cm) (1 977 m2 x 0,1 m = 198 m^3)	m^3	198	
ARMIRAČKI RADOVI				
4	- Armiranje mlaznog betona armaturnim mrežama Q-196 (3,07 kg/m^2) (1977 m^2 x 3,07 kg/m^2 = 6 070 kg)	kg	6 070	
ZEMLJANI RADOVI				
5	- Strojni iskop u materijalu A kategorije. U cijenu stavke uključen je i trošak odvoza materijala. (2855 m^2 x 7,7 m = 21 983 m^3)	m^3	21 983	

6	- Strojni iskop u materijalu C kategorije. U cijenu stavke uključen je i trošak odvoza materijala. (4238 m^2 x 3,6 m = 15 256 m^3)	m^3	15 256	
POSEBNI RADOVI				
7	- Izvedba mlazno injektiranih stupnjaka promjera 60 cm. Količina cementa potrebne za izradu injekcijske smjese. (350 kg/ m') (335 x 12 m' = 4 020 m')	m'	4 020	
8	- Izvedba samobušećih sidara promjera tetive ϕ32 mm i bušeće glave ϕ76 mm. U cijenu je uključen i trošak nabave i pripreme injekcijske smjese za ugradnju sidara. (S_1 - 78 x 8 m' = 624 m' S_2 - 128 x 6 m' = 768 m' Ukupno: 1 392 m')	m'	1 392	
9	- Izvedba samobušećih sidara promjera tetive ϕ26.5 mm i bušeće glave ϕ51 mm. U cijenu je uključen i trošak nabave i pripreme injekcijske smjese za ugradnju sidara. (S_3 - 147 x 1,5 m' = 221 m')	m'	221	

10	- Izvedba injektiranih štapnih sidara promjera tetive ϕ26.5 mm i promjera bušotine 20 cm. U cijenu je uključen i trošak nabave i pripreme injekcijske smjese za ugradnju sidara. (S_4 - 53 x 10 m' = 530 m')	m'	530	
11	- Ispitivanje probnih tijela mlazno injektirani stupnjaka	kom.	10	
12	- Ispitivanje sidara (2% x ukupni broj sidara = 0,02 x 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 Miščević, 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 Miščević, Geotehničko inženjerstvo: predavanja, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije Sveučilišta u Splitu, 2014.

[7] Igor Sokolović, Geotehničko inženjerstvo, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2012.