

# Glavni projekt zaštite građevne jame za objekt hotel "Kadulja" u Splitu

---

**Katalinić, Dino**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2023**

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

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:123:457817>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-22**



*Repository / Repozitorij:*

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



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

# **DIPLOMSKI RAD**

**Dino Katalinić**

**Split, 2023.**

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

**Dino Katalinić**

**Glavni projekt zaštite građevne jame za objekt  
"Hotel KADULJA" u Splitu**

**Diplomski rad**

**Split, 2023.**

# **Glavni projekt zaštite građevne jame za objekt "Hotel KADULJA" u Splitu**

## ***Sažetak:***

Za potrebe temeljenja objekta "HOTEL KADULJA" u Splitu, dimenzionirana je zaštitna konstrukcija građevne jame pomoću računalnog programa Plaxis 2D. Za dimenzioniranje zaštite građevne jame korištena je kombinacija armiranog mlaznog betona i samobušivih injektiranih sidara.

## ***Ključne riječi:***

Građevna jama, samobušiva sidra, mlazni beton.

# **The main project: construction pit protection for "HOTEL KADULJA" in Split**

## ***Abstract:***

For the purpose of "HOTEL KADULJA" building foundation in Split, a protective construction of the construction pit has been designed using computer program Plaxis 2D. For construction pit protection, a combination of the jet concrete and self drilling anchors has been used.

## ***Keywords:***

Foundation pit, self drilling anchors, shotcrete.

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

STUDIJ: **DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**

KANDIDAT: Dino Katalinić

MATIČNI BROJ (JMBAG): 0083219842

KATEDRA: **Katedra za tehničku mehaniku / Katedra za geotehniku**

PREDMET: Mehanika stijena

**ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD**

Tema: Glavni projekt zaštite građevne jame za objekt "HOTEL KADULJA" u Splitu

Opis zadatka: Za potrebe izrade diplomskog rada na raspolaganju su arhitektonski nacrti i geotehnički elaborat. Potrebno je izvršiti dimenzioniranje zaštite zasjeka građevne jame pomoću računalnog programa Plaxis 2D.

U Splitu, 21. ožujak 2023 godine

Voditelji Diplomskog rada:

Doc. dr. sc. Mijo Nikolić

Prof. dr. sc. Predrag Mišćević

Predsjednik Povjerenstva

za završne i diplomske ispite:

Izv. prof. dr. sc. Ivan Balić

## Sadržaj

1. Uvod .....	1
2. Građevna jama .....	3
2.1. Armirano – betonske dijafragme.....	6
2.2. Čavljano tlo.....	9
2.3. Čelično žmurje (talpe) .....	10
2.4. Zaštita berlinskim zidom.....	13
3. Geološke, inženjerskogeološke i hidrogeološke značajke terena .....	15
3.1. Sastav tla i značajke terena .....	15
3.2. Kategorizacija iskopa .....	16
3.3. Očitovanje o potencijalnim mineralnim sirovinama iz iskopa na lokaciji.....	16
3.4. Seizmičke značajke lokacije .....	17
3.5. Klasifikacija stijenskih masa.....	18
4. Opis tehničkog rješenja .....	21
4.1. Pripremni radovi.....	21
4.2. Izvedba iskopa .....	21
4.3. Mlazni beton.....	22
4.4. Geotehnička sidra.....	23
5. Model tla i geotehnički proračun .....	26
5.1. Općenito o programu Plaxis .....	26
5.2. Proračunska nosivost sidra.....	27
5.3. Parametri tla i elemenata konstrukcije u Plaxis-u.....	30
5.4. Proračun građevne jame u Plaxis-u.....	31
6. Presjeci i rezultati proračuna.....	33
6.1. Presjek A-A .....	33
6.2. Dinamički proračun za presjek A-A.....	39
6.3. Presjek B1-B1.....	42
6.4. Presjek B2-B2.....	48
6.5. Presjek C-C.....	52
7. Literatura .....	60
8. Grafički prilozi.....	61
8.1. Situacija .....	61
8.2. Poprečni presjek A-A .....	61
8.3. Poprečni presjek B1-B1 .....	61
8.4. Poprečni presjek C-C.....	61
8.5. Uzdužni presjek A-A.....	61

8.6. Uzdužni presjek B1-B1.....	61
8.7. Uzdužni presjek C-C.....	61

## 1. Uvod

Ovim diplomskim radom obrađena je zaštita kosina zasjeka građevne jame planiranog hotela „KADULJA“. Lokacija planiranog hotela „KADULJA“ nalazi se na predjelu Trstenik u Splitu (k.č.z. 10050/1 i 10048/1; K.O. Split). Izgradnja se planira na tlocrtnoj površini u obliku slova „T“, ukupne površine 2400 m<sup>2</sup>.



Slika 1. Lokacija planiranog objekta

Građevina se sastoji od četiri etaže podruma, prizemlja, suterena i tri kata te nadgrađe s ravnim krovom. Planirano ukopavanje u teren iznosi od oko 10 do 14,5 m, a temeljenje se planira izvesti na temeljnoj ploči sa sustavom nosivih zidova na rasteru 7,5 m. Najniža kota građevine iznosi aps: +1,98, a najviša iznosi aps: +38,29 m.

Prema procjeni navedenoj u elaboratu matična stijena na sjevernom dijelu lokacije, uz ulicu Put Radoševca, nalazi se na dubini od oko 1.0 do 1.50 m. Na središnjem dijelu lokacije matična stijena nalazi se na dubini od oko 1.50 do 2.0 m, dok na južnom dijelu na vrhu zasjeka matična stijena se nalazi na dubini od oko 2.50 do 3.0 m.



Temeljenje je prema projektu predviđeno na temeljnoj ploči stoga je potrebno iskope izvoditi s posebnim oprezom kako se ne bi izvršio prekop. Nakon obavljenog iskopa do kote temeljenja potrebno je temeljnu plohu pripremiti za ugradnju podložnog betona tako da uklonimo višak razlomljenog materijala koji se stvorio prilikom iskopa. Podložni beton (C 16/20) koristimo za popunjavanje svih neravnina i udubljenja te da bi se zaštitilo temeljno tlo od degradacije uslijed djelovanja atmosferilija. Podložni beton ugraditi na proširenoj površini minimalno 20 do 30 cm u odnosu na širinu temelja.

Zbog planiranog većeg ukopavanja u teren moguće je očekivati pojavu procjednih voda na stijenci zasjeka kao i na koti temeljenja, a koje bi se trebale prikupiti sustavom obodne drenaže te kanalizirati prema južnoj strani lokacije. Zbog smanjene vodopropusnosti trošnih flišnih naslaga potrebno je upojne bunare izvesti u većim tlocrtnim dimenzijama u cilju osiguranja veće akumulativne sposobnosti za prihvata većih kratkotrajnih padalina. Predmetni kompleks zbog planirane izgradnje podzemnih etaža upojno polje se može smjestiti jedino s južne strane građevine. U tu svrhu predlaže se izvedba tzv. linijskog upojnog bunara koji bi se izveo duž cijele dužine južnog pročelja u dužini oko 90 m neposredno uz temelje podrumske etaže.

Predloženo rješenje moglo bi omogućiti trenutni prihvata značajnih količina oborinske i drenažne vode s postupnim otjecanjem u smjeru mora. Budući da se u kišnom periodu mogu pojaviti procjedne vode potrebno je izvesti kvalitetnu hidroizolaciju ukopanog dijela građevine te izraditi obodnu drenažu na nivou najniže podrumske etaže odnosno na koti temeljenja.

## 2. Građevna jama

Građevna jama se može definirati kao prostor, nastao prilikom iskopa, u kojem se izvodi temeljenje. Građevna jama mora zadovoljavati uvjete kao što su sigurnost za rad i mogućnost pristupa radnicima i strojevima. Odabir rješenja ovisi o samoj građevini, karakteristikama terena, prisutnosti vode na tlu ili podzemne vode i o drugim ambijentalnim okolnostima. Primjer građevne jame možemo vidjeti na slici 2.



*Slika 2. Primjer građevne jame*

U slučaju da je razina podzemne vode ispod kote temeljenja, može se u nekoherentnom i koherentnom materijalu kopati otvorena jama s određenim nagibom ako na toj lokaciji nema zapreka koje bi onemogućile iskop.

Kada je razina podzemne vode vrlo blizu koti temeljenja ili je iznad, radi se u suhome uz zaštitu zagata s crpljenjem vode iz građevne jame. Ako nema opasnosti od hidrauličkog sloma onda se voda izravno crpi iz građevne jame. Ako se radi o lokaciji na kojoj prevladava pjeskovito ili pjeskovito prašinski materijal primjenjuje se metoda u kojoj se smanjuje razina podzemne vode crpući iz bunara oko građevne jame.

Za odabir najboljeg rješenja izvedbe građevne jame za temelje, treba procijeniti utjecaj:

- Hidroloških i hidrauličkih uvjeta na gradilištu
- Karakteristike materijala u kojem vršimo iskop
- Dostupnost metoda, pazeći na ekonomičnost, trajanje i sigurnost izvedbe

Građevna jama je privremena građevina koja nam omogućuje pristup temeljenju i gradnji donjih etaža planiranog objekta. Razvojem novije tehnologije i gradnja složenijih građevina nam stvaraju nove uvjete, da barem neki dijelovi ili cijela građevna jama, postaju trajni dijelovi same građevine koju je jama štitila tokom gradnje. Nonveiller (1979.) nam daje sistematizaciju uvjeta za rad i metoda izvedbe građevne jame, što je prikazano u tablici 1. Također tvrdi da s obzirom na velik broj načina izvedbe građevne jame tablica služi kao podsjetnik na neke od mogućnosti, jer je nemoguće sve opisati.

Položaj vode	Vrsta tla		Uvjeti rada	Način odvodnje
		Neograničeni	Ograničeni	
Razina vode ispod temeljne plohe	Koherentno	Iskop bez ograničenja	Uspravne stijenske iskopa	Crpljenje kišnice iz jame
	Bilo koje	Iskop s privremeno stabilnim pokosom ( $F_s=1,2$ )	Podupore*	Crpljenje kišnice iz jame
Plitko ispod površine tla	Koherentni i šljunak	Iskop s privremeno stabilnim pokosom uz moguće strujanje niz kosinu	Podupore*	Crpljenje kišnice i procjedne vode iz jame
	Pijesak	Iskop s privremeno stabilnim pokosom ( $F_s=1,2$ )	Podupore*	Crpljenje iz bunara u ili oko jame
			Podupore* koje sprječava hidraulički slom tla	Crpljenje iz jame
			Podupore* uz iskop pod vodom	
			Smrzavanje	
Iznad površine tla	Tlo bez samaca	Zagati, otoci, bunari, kesoni	Plivajući sanduci, bunari, kesoni, zagati s ispunom	Iz jame između zagata
	Tlo sa samcima i stijena	Zagati, plivajući sanduci	Čelijasti zagati	Iz jame između zagata

Tablica 1. Uvjeti rada i metode izvođenja građevnih jama (Nonveiller, 1979.)

U praksi postoji jako velik broj konstrukcija i rješenja u svrhu zaštite građevne jame od deformacija i urušavanja, a izdvojiti ćemo par koji se najviše primjenjuju:

- Armirano – betonske dijafragme
- Čavljano tlo
- Čelično žmurje
- Zaštita berlinskim zidom

## 2.1. Armirano – betonske dijafragme

Armirano – betonska dijafragma kao i sve ostale zaštite pokosa imaju funkciju da zaštite i osiguraju stabilnost vertikalnog iskopa građevne jame. Ovo rješenje zaštite se koristi kod većih iskopa i dubljih građevnih jama u urbanim sredinama gdje je planirani objekt i gradilište u neposrednoj blizini postojećih objekata, u slučajevima kada je visoka razina podzemne vode te uskim i skućenim prostorima.

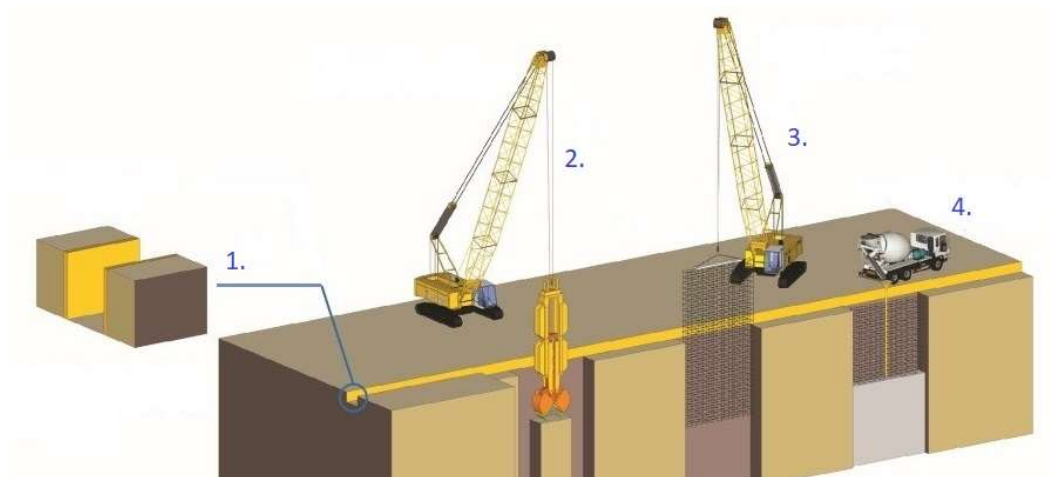


*Slika 3. Primjer armirano – betonske dijafragme*

Proces izvedbe zaštite građevne jame armirano – betonskom dijafragmom se sastoji od:

- 1) Izrade uvodnog kanala
- 2) Iskopa za armirano – betonsku dijafragmu
- 3) Postavljanja armaturnog koša
- 4) Betoniranja armirano – betonske dijafragme





*Slika 4. 1. Izvedba uvodnog kanala, 2. Iskop za AB dijafragme, 3. Postavljanje armaturnog koša, 4. Betoniranje AB dijafragme.*

Kako bi spriječili tečenje i eroziju tla prilikom iskopa koristimo isplaku. Isplaku je suspenzija bentonitne gline u vodi, a skladištimo je u uvodnom kanalu. Uvodni kanal najčešće izvodimo u jednostranoj oplati tako da se u tlu izvedu dva betonska zida visine od 0,8 do 1,0 m te širine ovisno o širini armirano – betonske dijafragme.

Iskop se vrši pomoću mehaničke grabilice. Najprije se izvodi iskop neparnih panela te nakon toga i parnih panela. Mehanička grabilica vrši iskop dubina većih od 30 m, a debljina grabilice kreće se od 0,5 do 1,2 m. Puni zagriz koji grabilica može izvršiti kreće se od 2 do 2,5 m. Paneli se pri iskopu odmah ispunjavu isplakom radi zadržavanja dobivenog oblika.



*Slika 5. Mehanička grabilica*

Armaturu u dijafragmama koristimo u slučajevima kada se javljaju sile momenata na savijanje ili kod građevine kod kojih će armirano – betonska dijafragma biti trajni dio konstrukcije. Armaturu ugrađujemo pomoću dizalice, a betoniranje se vrši kontraktor postupkom. Beton ugrađujemo preko lijevka koji se nalazi na vrhu cijevi čija je duljina približno jednaka kao i dubina iskopa. Zbog svoje gustoće ispuna se ugrađuje po principu stožastog razlijevanja. Nakon betoniranja i stvrdnjavanja započinje izvedba iskopa parnih panela. Parni paneli potpuno prijanjaju na već gotovi element te postiže nepropusnost i kontinuitet. Nakon stvrdnjavanja, naglavnom gredom povezujemo panele te započinjemo iskop građevne jame.

Kod građevnih jama većih dubina, postoji mogućnost da armirano – betonska dijafragma ne može osigurati stabilnost iskopa. U tom slučaju koristimo geotehnička sidra, razupore ili zatege kako bi osigurali dodatnu sigurnost.

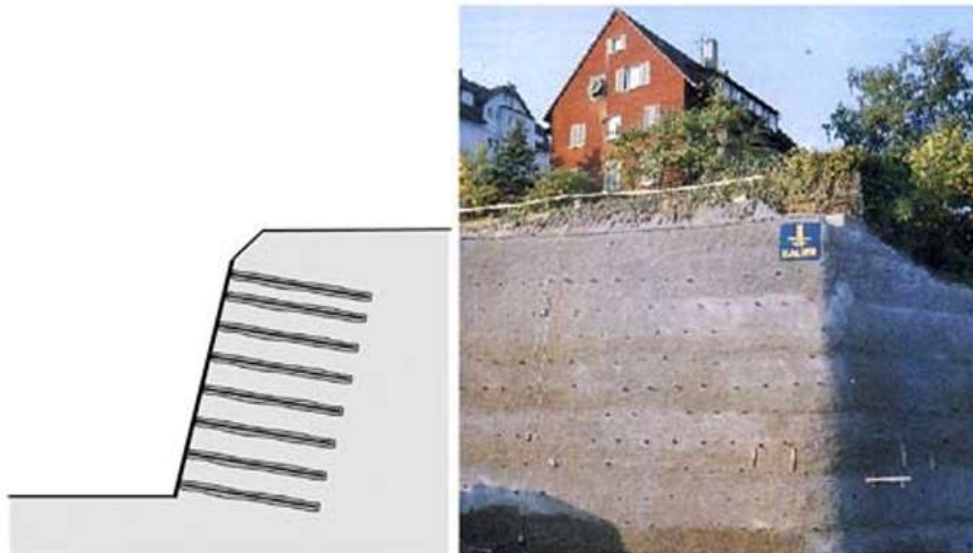


*Slika 6. Armirano - betonska dijafragma s pripadajućim ojačanjem*

## 2.2. Čavlorano tlo

Čavlorano odnosno iglorano tlo se sastoji od niza štapnih sidara u gustom rasporedu. Ovo rješenje zaštite građevnih jama primjenjuje se za jame manjih i srednjih dubina od 4 do 12 m, ali je i izvedeno do 18 m. Izvedba zaštite ovog tipa vrši se u visinskim etapama od po 2 m.

Na iskopnu površinu postavljamo 2 sloja armature te nanosimo mlaznicom beton do projektno planirane debljine. Odbačeni dio betona iznosi 30% od ukupne količine korištenog betona i treba ga uzeti u obzir pri izradi troškovnika. Slijedeća faza je bušenje rupa i postavljanje štapnih sidara te injektiranje mase za injektiranje. Nakon stvrdnjavanja mase, unosi se sila u sidro pomoću ključa za navijanje. Postupci se ponavljaju do odgovarajuće dubine.



*Slika 7. Pokos zaštićen mlaznim betonom i štapnim sidrima*



### 2.3. Čelično žmurje (talpe)

Žmurje ili takozvane talpe, mogu biti u više oblika i izrađeni od različitih materijala. To su predgotovljeni elementi koji mogu biti drveni, armirano-betonski ili čelični. U praksi se najčešće koriste čelične talpe. Slika 8. prikazuje dva tlocrta izvedbe žmurja od drva, a slika 9. presjeke drvenog žmurja.

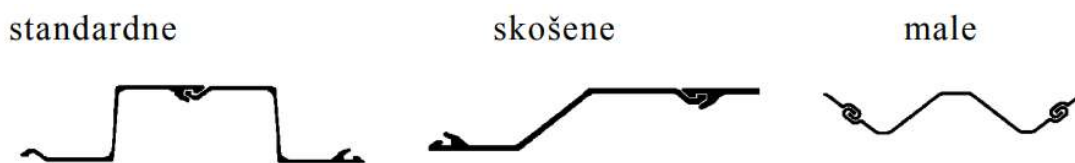


Slika 8. Talpa složena od 3 daske i povezana čavlima – dvoredno zbijena daske

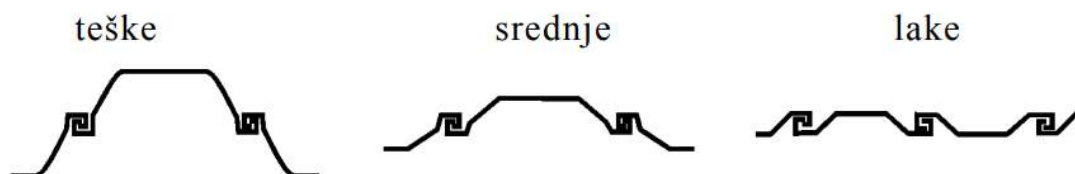


Slika 9. a) Riblja kost b) Talpa na pero i utor c) Talpa na utor s perom od tvrdog drva

U slučaju većih dubina građevne jame koriste se sidra ili razupore kao dodatni oslonci konstrukcije. Čelične talpe su uski i duguljasti čelični elementi izrađeni od valjanog čelika, a rubovi su im oblikovani tako da se mogu spajati s ostalim elementima u niz te na taj način formirati zid. Tako posebno oblikovani rubovi se nazivaju bravama. Velika prednost im je da brtvljenjem spojnica mogu ispuniti uvjet vodonepropusnosti. Također prednost čeličnih talpi kod privremenih zaštita građevne jame je da se, nakon završene gradnje planiranog objekta i završene funkcije zaštite građevne jame, talpe mogu izvaditi te ponovo iskoristiti za neku drugu lokaciju. Talpe se mogu produživati varenjem na licu mjesta s time mogu ostvariti veću duljinu konstrukcije. Na slikama 10 i 11 su prikazani neki od tipova čeličnog žmurja.



Slika 10. Tip Hoech



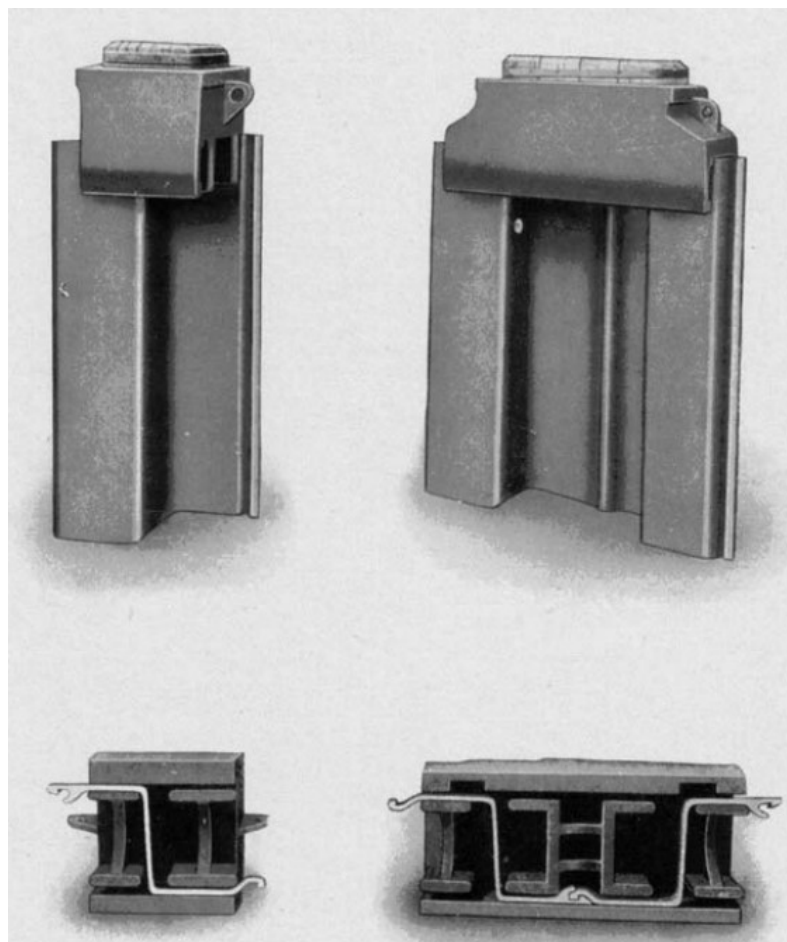
Slika 11. Tip Larsen

Ugradnja čeličnog žmurja se izvodi na način da se zbijaju u tlo. Za zbijanje u današnje vrijeme najčešće koristimo vibronabijače.



*Slika 12. Vibronabijač*

Između talpi i samog nabijača se nalazi nastavak za nabijanje, koji služi za bolje vođenje nabijanja te za umanjivanje buke pri udaru nabijača.



*Slika 13. Nastavak za nabijanje*

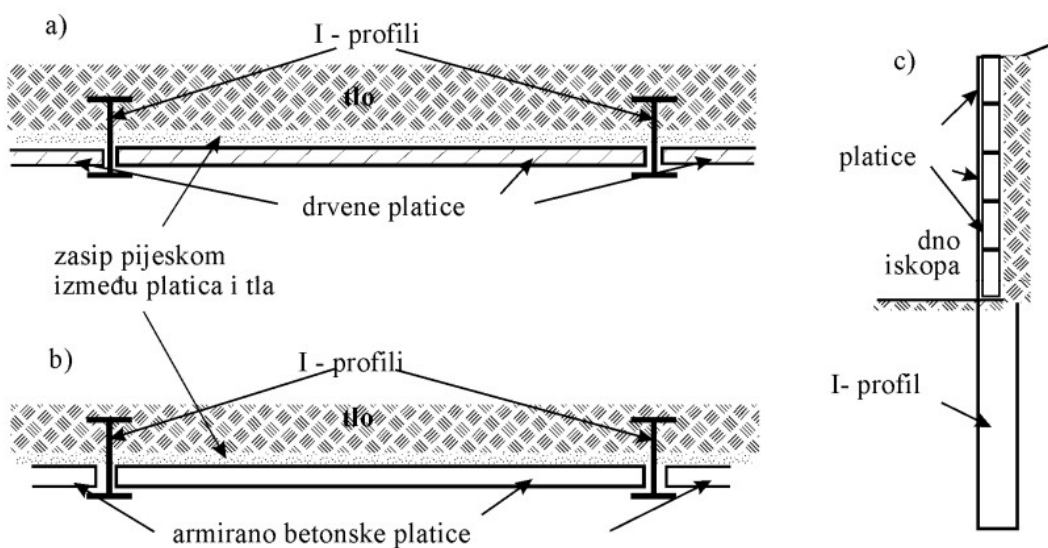


*Slika 14. Primjer zaštite čeličnim žmurjem*

## 2.4 Zaštita berlinskim zidom

Berlinsko zidiče spada u skupinu zaštita građevnih jama koje ne moraju biti vodonepropusne, pa u tom slučaju na njih ne djeluje hidrostatički tlak odnosno pritisak vode. Podgrada se sastoji od stupova postavljenih na određeni razmak, zabijeni u tlo do projektom planirane dubine, te platica postavljenih između tih stupova koje se pažljivo spuštaju prateći iskop.

U praksi najčešće koristimo čelične I profile. Platiche mogu biti izrađene od drva, armiranog betona ili metala. Za stupove berlinskog zida također možemo koristiti i željezničke tračnice koje se često koriste za radove na željeznici, ali i na drugim mjestima. Čelični profil koristi se najčešće na područjima mekog tla, odnosno na mjestima gdje nema skupina velikih komada kamena. U slučaju tvrdog tla, stupovi berlinskog zida se izvode istom tehnologijom ka i za bušene pilote. Ovaj način zaštite pokosa je naišao na veliku primjenu kod izgradnje željeznice u Berlinu. Stupovi se također moraju izvesti metodom mlaznog injektiranja s ugradnjom armature.



Slika 15. Detalji berlinskog zida: a) Drvene platice b) Armirano betonske platice c) Poprečni presjek



*Slika 16. Primjer Berlinskog zida*

### 3. Geološke, inženjerskogeološke i hidrogeološke značajke terena

#### 3.1. Sastav tla i značajke terena

Teren na lokaciji planiranog objekta izgrađuju flišne naslage srednjeg do gornjeg eocena (E<sub>2,3</sub>) – matična stijena. Matična stijena je prekrivena slojem degradiranog (rastrošnog) fliša (Q<sub>el</sub>), slojem kvartarnih deluvijalnih naslaga (Q<sub>d</sub>) te slojem nasipa (Q<sub>n</sub>) – ulice Put Radoševca.

Prema procjeni na sjevernom dijelu terena, uz ulicu Put Radoševca, matična stijena nalazi se na dubini od oko 1.0 m do 1.5 m. Pojava matične stijene na središnjem dijelu terena je na dubini od oko 1.5 m do 2.0 m, dok na južnom dijelu terena, na vrhu zasjeka, pojava matične stijene je na od oko 2.5 m do 3.0 m.

Na predmetnoj lokaciji registrirana su tri grebena, greben vapnenačkog pješčenjaka koji se nalazi na dnu suhozida, oko 10 m od ulice Put Radoševca. Drugi greben se nalazi 30-ak m južnije od prvog grebena. Treći greben, koji je djelomično erodiran jer se našao pod utjecajem mora, nalazi se na dnu zasjeka.

E<sub>2,3</sub> - Matična stijena sastavljena je od tankoslojevitih sedimenata koji čine meki lapori do čvrsti vapnenački lapori sive boje, s proslojcima vapnenačkih pješčenjaka, trošnih lapora i laporovitog praha.

Q<sub>d</sub> - Sloj kvartarnih deluvijalnih naslaga, sastavljene su od gline prašinate sive do sivosmeđe boje, nisko plastične, teško gnječive konzistencije s učešćem šljunka i stijenskog krša. Prema procijeni debljina ovog sloja kreće se od oko 0.5 m do 1.5 m.

Q<sub>el</sub> – Sloj degradiranog fliša, sastavljen je od laporovitog praha sive i žutosive boje, čvrste konzistencije, s učešćem stijenskog krša. Povećanjem dubine prah postupno prelazi u trošne lapore. Procjenom dubina ovog sloja kreće se od oko 0.5 m do 1.5 m.

Q<sub>n</sub> – Nasip ulice Put Radoševca, sloj je sastavljen od prašinate gline, laporovitog praha, stijenskog krša te manjih i većih fragmenata lapora i pješčenjaka. Nasip se nalazi sjeverno od predmetne lokacije, debljina sloja se kreće od oko 0.8 m do 1.2 m.

### 3.2. Kategorizacija iskopa

Kategorizacija iskopa predmetne stijenske mase vrši se prema normama propisanim u "Opći tehnički uvjeti za radove na cestama" - knjiga 2 (IGH – Zagreb, 2001.), definirali smo sljedeće:

- Naslage debljih slojeva čvrstih vapnenačkih pješčenjaka  $E_{2,3}$  pripadaju "A" kategoriji
- Naslage lapora i trošnih lapora  $E_{2,3}$  pripadaju "B" kategoriji
- Kvartarne naslage i nasip  $Q_{el}$ ,  $Q_d$  i  $Q_n$  pripadaju "C" kategoriji

### 3.3. Očitovanje o potencijalnim mineralnim sirovinama iz iskopa na lokaciji

Ispitivanje se provodi kako bi se ustanovilo postoji li mogućnost korištenja viška iskopanog materijala na predmetnoj lokaciji kao potencijalne mineralne sirovine. Sukladno članku 144. Zakona o rudarstvu, te sukladno odredbama Pravilnika o postupanju s viškom iskopa koji predstavlja potencijalnu mineralnu sirovinu kod izvođenja građevinskih radova, zaključujemo sljedeće:

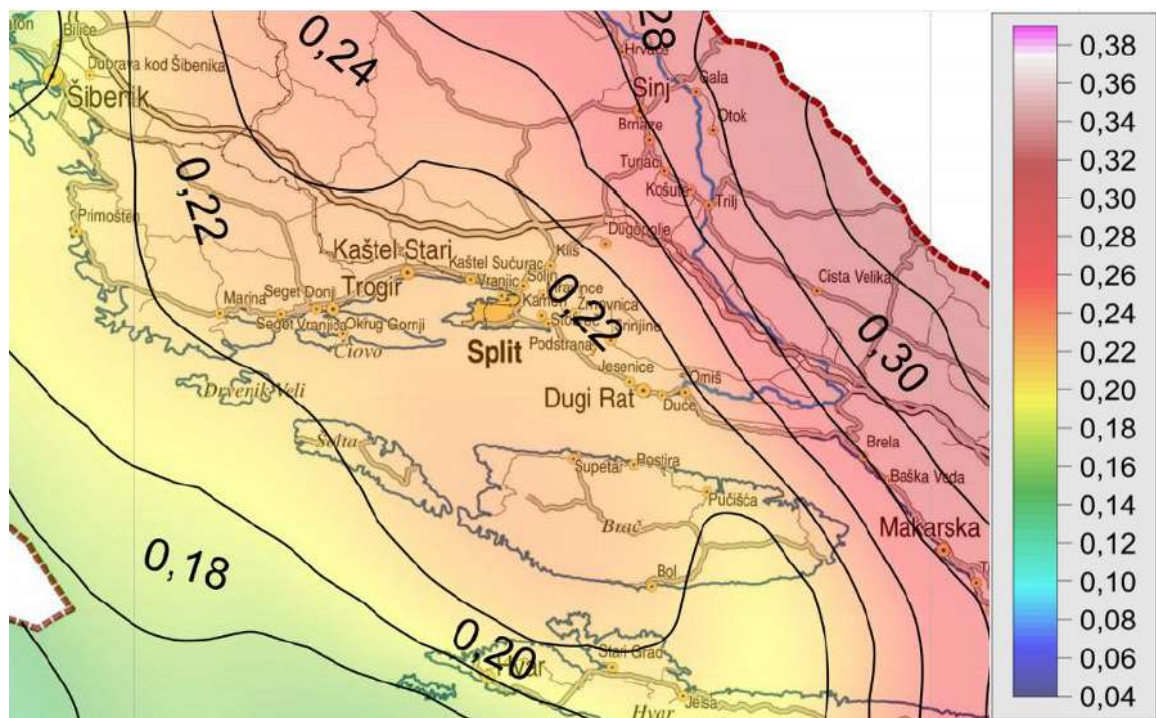
- S obzirom da su naslage matične stijene sastavljene od heterogenih naslaga fliša koji čine naizmjenični slojevi mekih i razlomljenih lapora i čvrstih vapnenačkih pješčenjaka, vrlo teško je izdvojiti dijelove stijene koje možemo koristiti na drugim mjestima kao što su zasipi/nasipi na terenu ili npr. korištenje lapora u industriji cementa. Zaključujemo da sve iskopane naslage u potpunosti predstavljaju otpadni materijal.
- Pokriva iznad matične stijene se također u potpunosti smatraju otpadnim materijalom koji je potrebno odvesti na uređena odlagališta.



### 3.4. Seizmičke značajke lokacije

Temeljno tlo predmetne lokacije se prema Eurocodu može svrstati u razred "A" po dokumentu (HRN EN 1998). Tlo razreda "A" opisujemo kao stijenu ili drugu geološku formaciju poput stijene, uključujući najviše 5 m najslabijeg materijala na površini. Brzina širenja poprečnih valova  $V_{s,30} \geq 800$  m/s.

Pomoću karte potresnih područja Republike Hrvatske očitavamo akceleraciju za temeljno tlo predmetne lokacije. Usvajamo maksimalnu horizontalnu akceleraciju, za povratni period od 475 godina, a iznosi  $a_{max} = 0,22$  g.



Slika 17. Izvadak iz karte potresnih područja Republike Hrvatske





Slika 18. Očitanje iznosa vršnih horizontalnih ubrzanja tla tipa "A" iz karte potresnih područja Republike Hrvatske

### 3.5. Klasifikacija stijenskih masa

U cilju dobivanja potrebnih parametara temeljnog tla, određujemo vrijednost geološkog indeksa čvrstoće odnosno GSI. Geološki indeks čvrstoće određujemo prema dijelu geomehaničke klasifikacije RMR – sistem (Bieniawski 1989.), koja uzima stanje podzemne vode "potpuno suho" s tim da ne uzima u obzir utjecaj pružanja i nagib diskontinuiteta.

- Matična stijena – naslage fliša sastavljene od tankih slojeva lapora s proslojcima trošnih lapora i pješčenjaka:

PARAMETAR	PODRUČJE VRIJEDNOSTI	BROJ BODOVA	
Jednoosna tlačna čvrstoća	1-5 i 5-25 MPa		1
Pokazatelj ispucalosti stijenske mase RQD	<25%		3
Razmak diskontinuiteta	<60 mm		5
Stanje diskontinuiteta:			
dužina diskontinuiteta	<1 m i 1-3 m	4	
zijev	0.1-1 mm, 1-5 mm i >5 mm	2	
hrapavost	neznatno hrapave do glatke	2	
ispuna	meka ispuna <5 mm i >5 mm	1	
rastrošenost	jako rastrošene	1	
Ukupno stanje diskontinuiteta:			10
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>34</b>

Tablica 2. RMR klasifikacija matične stijene – naslage fliša od tankih slojeva lapora s proslojcima trošnih lapora i pješčenjaka

$GSI = RMR_{(89)} - 5$  ;  $GSI = 34 - 5 = 29$ , tj. "slaba stijenska masa" (21-40)

- Matična stijena – naslage fliša sastavljene od debljih slojeva čvrstih vapnenačkih pješčenjaka:

PARAMETAR	PODRUČJE VRIJEDNOSTI	BROJ BODOVA	
Jednoosna tlačna čvrstoća	Ugl. 50-100 i 100-250 MPa		10
Pokazatelj ispucalosti stijenske mase RQD	50-75 i 75-90%		15
Razmak diskontinuiteta	20-60 i 60-200 cm		12
Stanje diskontinuiteta:			
dužina diskontinuiteta	10-20 m i >20 m	0	
zijev	1-5 i >5 mm	1	
hrapavost	hrapave do neznatno hrapave	4	
ispuna	meka ispuna >5 i <5 mm	1	
rastrošenost	neznatno rastrošene	5	
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>63</b>

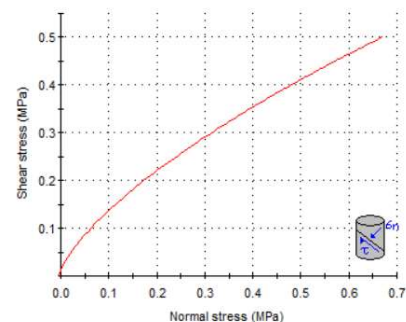
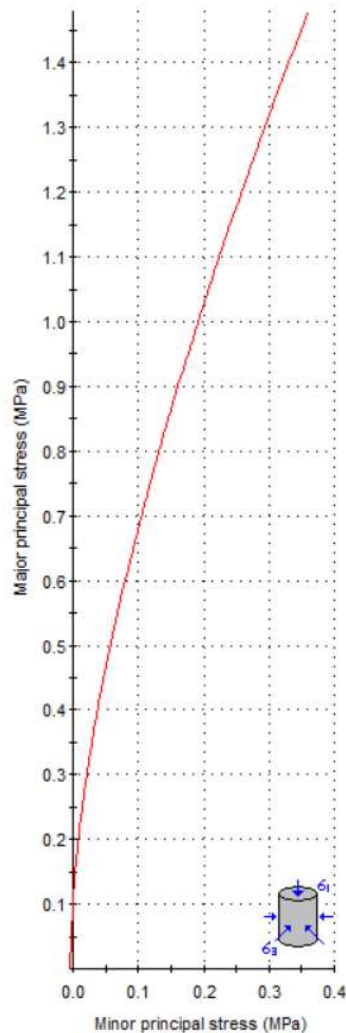
Tablica 3. RMR klasifikacija matične stijene – naslage fliša sastavljene od debljih slojeva čvrstih vapnenačkih pješčenjaka

$GSI = RMR_{(89)} - 5$  ;  $GSI = 63 - 5 = 58$ , tj. "povoljna stijenska masa" (41-60)

Pomoću programa RocLab određeni su parametri matične stijenske mase:

- Efektivna kohezija  $c_k' = 100$  kPa
- Efektivni kut unutarnjeg trenja  $\phi_k' = 45^\circ$

Hoek-Brown Classification	
sigci	10 MPa
GSI	29
mi	7
D	0.2
<input type="radio"/> Ei	1750 MPa
<input checked="" type="radio"/> MR	175
Hoek-Brown Criterion	
mb	0.418
s	0.0002
a	0.524
Failure Envelope Range	
Application:	Slopes
sig3max	0.3604 MPa
Unit Weight	0.024 MN/m <sup>3</sup>
Slope Height	20 m
Mohr-Coulomb Fit	
c	0.077 MPa
phi	33.76 deg
Rock Mass Parameters	
sigt	-0.005 MPa
sigc	0.119 MPa
sigcm	0.764 MPa
Erm	103.49 MPa



Slika 19. Dobiveni parametri u programu RocLab

Vrijednosti korištene u programu RocLab za dobivanje potrebnih parametara su iskustvene tj. pretpostavljene. Dobivena vrijednost kohezije od 77 kPa nije realna, stoga je zbog sigurnosti odabrana realnija vrijednost od 40 kPa.

Za slojeve Qd, Qel i Qn nisu provedena detaljna geotehnička ispitivanja, pa njihove parametre pretpostavljamo prema "Handbook of Geotechnical Investigation and Tables" :

- Efektivna kohezija  $c_k' = 15$  kPa
- Efektivni kut unutarnjeg trenja  $\phi_k' = 25^\circ$

## **4. Opis tehničkog rješenja**

### **4.1. Pripremni radovi**

Prije samog početka građenja potrebno je provesti pripremne radove. Neki od primjera pripremnih radova su:

- Uređenje prilaza, ulaza i platformi za strojeve te skladištenje konstrukcija i materijala
- Opskrba gradilišta vodom i električnom energijom
- Organizacija transporta i deponija materijala
- Mobilizacija ljudstva, potrebnih strojeva i ostale opreme
- Izrada gradilišnih ograda i ostalih oblika zaštita sigurnosti na gradilištu i oko njega prema određenim zakonima i propisima

Pripremnim radovima smatramo sve radove koji služe za bolju organizaciju i sigurnost na gradilištu.

### **4.2. Izvedba iskopa**

Nakon izvedenih prethodnih i pripremnih radova vrši se iskop građevne jame. Prilikom izrade podrumskih etaža planirane građevine formirati će se značajni iskopi za promatrane presjeke. Visina iskopa se kreće od oko 10 do 16 m, ovisno o lokaciji promatranog presjeka. Najstrmiji nagib ostvariti će se na jugozapadnom dijelu terena, prikazan presjekom A-A. Vrlo strmi nasip dobiven je radi nedostatka prostora između granice parcele i samog ruba objekta. Ostali zasjeci građevne jame formirati će nagib pokosa 3:1.

Radi velikih dubina iskopa i strmih nagiba izvodi se zaštita pokosa zasjeka. Odabrani način zaštite pokosa građevne jame je zaštita mlaznim betonom u kombinaciji s geotehničkim sidrima. Iskop se vrši strojno po etažama i kampadama uz paralelnu izvedbu zaštite mlaznim betonom i sidrenjem.

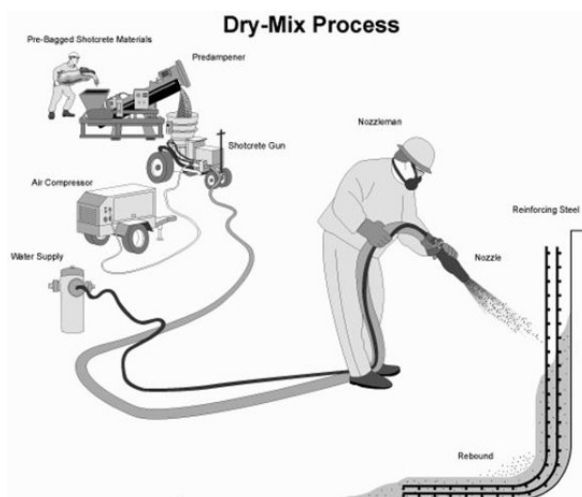
Najprije se izvodi iskop prve etaže, a zatim se nanosi prvi sloj mlaznog betona u debljini od 5 cm. Nakon toga se ugrađuje armaturna mreža i nanosi drugi sloj mlaznog betona u debljini također 5 cm. Nakon toga ugrađuju se geotehnička sidra. Postupak se ponavlja do projektom planirane kote temeljenja. Visina etaže u pravilu odgovara širini armaturne mreže, oko 2,20 m.

### 4.3. Mlazni beton

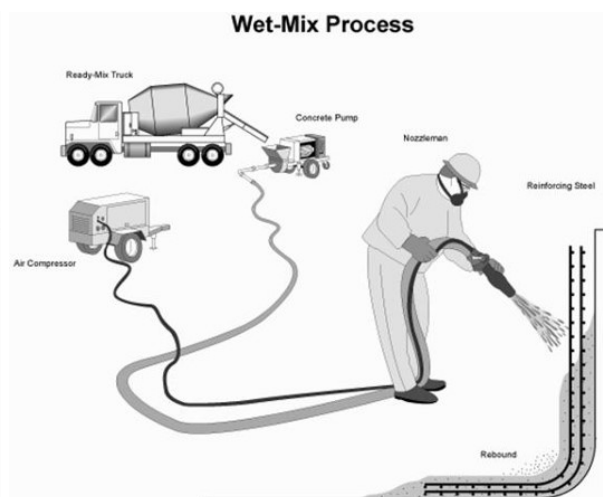
Mlazni beton se ugrađuje pomoću zraka pod tlakom kroz posebne mlaznice i velikom brzinom i energijom nanosi na podlogu. Dolazi i pod imenom torkret. Nanošenje mlaznog betona može biti suhim ili mokrim postupkom.

Kod suhog postupka, suha mješavina koju sačinjavaju agregat i cement, ubacuju se u miješalicu odakle se s zrakom pod tlakom transportira kroz crijevo do mlaznice. Voda se dovodi posebnim crijevom do mlaznice i dodaje suhoj smjesi. Pri mokrom postupku već gotovi beton, izrađen u betonari, ubacuje se u uređaj te obavlja nabacivanje. Usporedba suhog i mokrog postupka:

- Suhi postupak: bolja prionjivost na podlogu, kvalitetniji beton, veći odskok materijala, prašina koja otežava radne uvjete.
- Mokri postupak: beton slabije, ali ujednačenije kvalitete, manji odskok



Slika 20. Suhi postupak



Slika 21. Mokri postupak

Sastav mlaznog betona:

- Cement
- Agregat
- Voda
- Aditivi (mineralni ili kemijski)
- Vlakna

Za zaštitu pokosa projektne građevne jame ugraditi će se mlazni beton C 25/30 u debljini od 10 cm, odnosno u dva sloja po 5 cm između kojih će se ugraditi armaturna mreža Q-283.

Parametri mlaznog betona korišteni u proračunu:

- Kohezija  $c_k = 100$  kPa
- Kut unutarnjeg trenja  $\varphi_k = 45^\circ$

#### 4.4. Geotehnička sidra

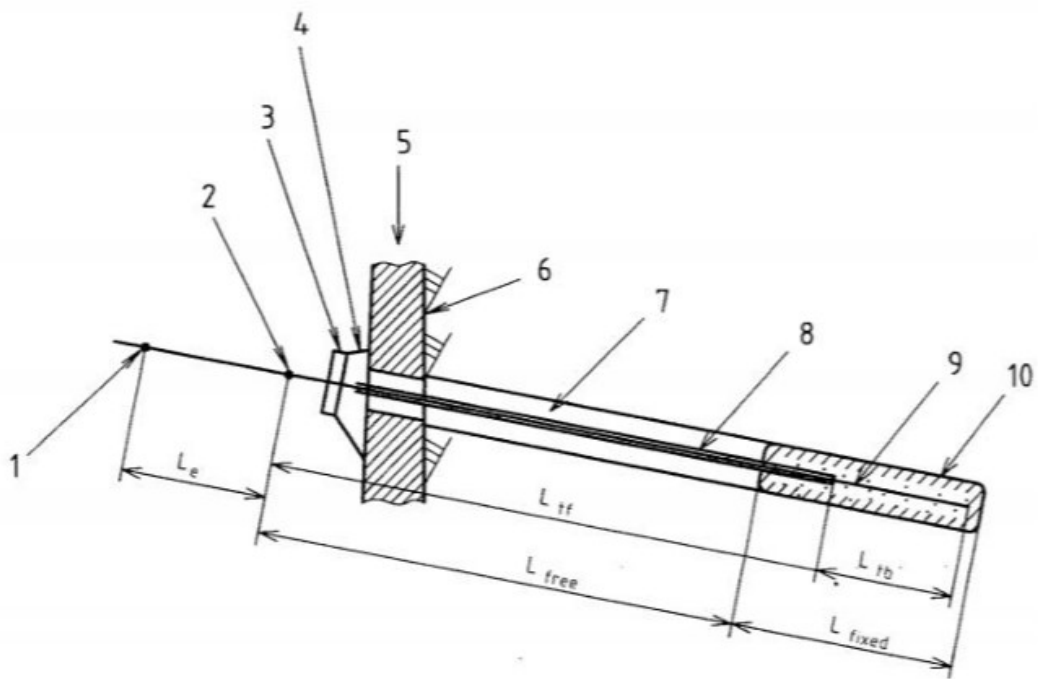
Geotehnička sidra su elementi koji se ugrađuju u tlo ili stijenu, a služe za prenošenje vlačnih sila iz građevine u tlo ili stijenu. Može se također koristiti i za prenošenje tlačnih sila, ali tada se promatra kao pilot malog promjera.

Tijelo sidra tj. tetiva je glavni nosivi dio sidra, a može se izraditi od:

- Čelične šipke
- Čelične žice
- Čeličnog kabela
- Stakloplastike

Glava sidra služi za prenošenje sile iz tetive sidra na elemente građevine. Injekcijska smjesa je uglavnom od cementnog morta bez agregata, a u slučaju da dolazi do velikih gubitaka injekcijske smjese kod injektiranja može se dodati inertno punilo kao što je pijesak. Sidrišno tijelo služi za prijenos opterećenja u tlo.

1. Točka sidrenja tijekom naprezanja
2. Točka sidrenja na glavi sidra
3. Nosiva pločica glave sidra
4. Dio glave sidra za prijenos opterećenja sa konstrukcije na sidro
5. Dio presjeka sidrene konstrukcije
6. Tlo ili stijena
7. Bušotina
8. Zaštitna cijev
9. Tetiva sidra
10. Tijelo sidrišne dionice



Slika 22. Elementi geotehničkog sidra

Za zaštitu pokosa građevne jame usvojeno je samobušivo sidro IBO R32-360 (R32S). Ugradnja samobušivog sidra slična je bušenju obične bušotine, šuplja šipka spojena na adapter preko spojke i koristi se kao bušilica. Svrđlo za jednokratnu uporabu postavlja se na vrh šuplje šipke. U slučajevima kada je potrebna veća duljina sidra, šipke se lako mogu produžiti spojka. Proizvode se u duljinama: 2,3,4,5,6,7,8 i 9 m.



Slika 23. Primjer samobušivog sidra

Injektiranje se provodi kroz samu cijev geotehničkog sidra, pri čemu injekcijska smjesa izlazi kroz otvore na bušećoj kruni, sve dok višak injekcijske smjese ne počne izlaziti na ušću bušotine ili do planirane razine injektiranja.

Geotehnička sidra su postavljena u rasteru 2 x 2,5 m ili 2 x 3 m, ovisno o lokaciji pokosa građevne jame, te se postavljaju pod kutom od 10° u odnosu na horizontalu. Za kritične presjeke korištena su sidra ukupne duljine od 6, 9 i 12 m. Ukupna duljina sidrišne dionice iznosi 98% od ukupne duljine sidra.



Bar	R32L	R32N/21	R32N/18.5	R32S	R32SS
Outside Diameter (mm)	32				
Internal Diameter (mm)	22	21	18.5	17	15
Cross Sectional Area (mm <sup>2</sup> )	356	363	433	440	522
Ultimate Load (kN)	260	280	280	360	405
Yield Load (kN)	200	230	230	280	300
Weight (kg/m)	2.8	2.85	3.4	3.45	4.1
Thread Type	ISO10208				
Type of Steel	EN10083-1				
Thread (Left / Right hand)	Left or Right				
Length (m)	(1) x 2, x3, x4, x5, x6, x7, x8, x9				
Optional of Anti-corrosion	Hot-dipped Galvanization: ISO 1461 Epoxy Coating Bending properties up to standard ISO 1519 Impact properties up to standard ASTM D 2794 Adhesion up to standard ISO 2409:2007				

Slika 24. Parametri samobušivog sidra IBO R32S

Potrebni parametri samobušivog sidra IBO R32S za proračun zaštite zasjeka građevne jame:

- Sila popuštanja (Yield Load): 280 kN
- Sila loma (Ultimate Load): 360 kN
- Profil bušenja: D = 0.1 m
- Površina poprečnog presjeka (Cross Sectional Area): 440 mm<sup>2</sup>



## 5. Model tla i geotehnički proračun

### 5.1. Općenito o programu Plaxis

Geotehnički proračun zaštite građevne jame izvodi se u računalnom programu Plaxis 2D. Softver radi na principu konačnih elemenata, a služi za 2D analizu deformacija i stabilnosti u geotehničkom inženjerstvu i mehanici stijena. Program se primjenjuje širom svijeta, a koriste ga velike inženjerske tvrtke i institucije u građevinarstvu i geotehnici. Softver se u geotehnici upotrebljava za širok raspon izazova, od iskopavanja nasipa, temelja na kopnu ili moru, tunela do rudarstva.

Prednosti plaxis-a 2D:

- Posebno prilagođeno sučelje nudi korisnicima više načina za učinkovitije stvaranje modela koji ima određeni geotehnički slijed. Mogućnost brze i učinkovite izrade modela konačnih elemenata pomoću alata za geotehničko crtanje. U strukturnom modu jednostavno dodavanje strukturnih elemenata kao što su ploče, diskontinuiteti, sidra, određena opterećenja, pomake, grede i slično. Mogućnost uvođenja gotove geometrije iz CAD-a. Mrežni način rada, odnosno Mesh, nudi provjeru kvalitete i automatsko generiranje nepravilnih i pravilnih mreža, čime stvara mrežu konačnih elemenata.
- U načinu rada "Faze gradnje" odnosno Staged Construction, možemo precizno izvršiti analizu gradnje pomoću aktivacije i deaktivacije pojedinih slojeva tla i/ili strukturnih elemenata u svakoj fazi geotehničkog proračuna. Softver nudi različite analize poput konsolidacije, plastične i sigurnosne, što može obuhvatiti široki spektar problema u geotehnici. Dobro provjereni postupci proračuna osiguravaju konvergenciju proračuna i daju točne rezultate za složene modele, termičku analizu, podzemne vode ili dinamičku analizu.

- Program Output prikazuje rezultate proračuna, različite načine prikazivanja sila u konstrukcijama ili u tlu, pomake, naprezanja, brzine, ubrzanja, temperature i podatke o protoku. Dobiveni podaci mogu se kopirati iz tablice te upotrijebiti u drugim programima. Mogućnost prikazivanja rezultata za cijeli model ili za jednu ili više njegovih točaka. Upravitelj krivulja nudi izradu grafova koji prikazuju različite rezultate za odabrane faze proračuna.

## 5.2. Proračunska nosivost sidra

### Proračun karakteristične unutrašnje otpornosti sidra

Samobušivo sidro IBO R32S dimenzionira se kao vlačno opterećen pilot, primjenjujemo pravila prema HRN EN 1997-1, poglavlje 7. Piloti. Za proračun unutrašnje otpornosti potrebna nam je sila popuštanja sidra koja iznosi 280 kN.

Proračunsku otpornost određujemo pomoću koeficijenta KM:

- 1,5 – za sve pilote PP2
- 1,1 – za pilot u krupnozrnom tlu PP3
- 1,2 – za pilot u sitnozrnom tlu

Piloti se mogu dimenzionirati prema proračunskim postupcima 2( A1 + M1 + R2 ) ili 3( A1 ili A2 + M2 + R3 ). Parcijalni koeficijent ( otpornost po plaštu za vlačni pilot ) očitavamo iz tablice.

Otpornost	Simbol	Skupina			
		R1	R2	R3	R4
Osnovica	$\gamma_b$	– <sup>a</sup>	1,2	1,0	– <sup>a</sup>
Plašt (tlačni piloti)	$\gamma_s$	– <sup>a</sup>	1,2	1,0	– <sup>a</sup>
Ukupna/kombinirana (tlačni piloti)	$\gamma_t$	– <sup>a</sup>	1,2	1,0	– <sup>a</sup>
Plašt (vlačni piloti)	$\gamma_{s,t}$	– <sup>a</sup>	1,2	1,0	– <sup>a</sup>

<sup>a</sup> R1 i R4 nisu primjenjivi u Republici Hrvatskoj jer se primjenjuju proračunski pristupi 2 i 3.

Tablica 4. Vrijednosti parcijalnog koeficijenta

$$R_{s;d} = \frac{R_{s;k}}{\gamma_{s;t} \cdot KM} = \frac{280}{1,0 \cdot 1,2} = 233,33 \text{ kN}$$

## Proračunska nosivost po vanjskom plaštu sidrišnog tijela

Otpornost po plaštu sidra određujemo pomoću koeficijenta modela (KM).

Proračunska vanjska otpornost sidra:

$$R_{s,d} \leq (l_s \cdot D \cdot \pi \cdot q_{s;k}) / (\gamma_{s;t} \cdot KM)$$

$R_{s,d}$  – proračunska vanjska otpornost sidra

$l_s$  – duljina sidrišne dionice

$D$  – promjer presjeka sidrišnog tijela

$q_{s,d}$  – prionjivost

$\gamma_{s;t}$  – otpornost po plaštu

KM – koeficijent modela

Promjer bušotine je  $\phi 100$  mm odnosno  $D = 0,1$  m. Iskustvena proračunska prionjivost cementne injekcijske smjese određujemo prema tablici 5. ovisno o vrsti tla.

vrsta tla/stijene	$q_{s;k}$ (N/mm <sup>2</sup> ) pri lomu
granit	0.93 - 1.72
vapnenac	0.63 - 1.19 (3.0)
pješčenjak	0.30 - 1.44 (4.0)
lapor	0.60
šljunkovito tlo	0.20 - 0.30
pieskovito tlo	0.15 - 0.22
koherentno tlo	0.10 - 0.15
	1 N/mm <sup>2</sup> = 1000 kN/m <sup>2</sup>

Tablica 5. Iskustvene vrijednosti jedinične otpornosti

Očitana je iskustvena prionjivost za koherentno tlo  $q_{s;k} = 100 - 150$  kN/m<sup>2</sup>.

Za zaštitu pokosa građevne jame, za odabrane presjeke, korištena su sidra duljine 6, 9 i 12 m.

**Proračunska vanjska otpornost sidra ukupne duljine 6 m:**

$$R_{s,d} \leq (l_s \cdot D \cdot \pi \cdot q_{s;k}) / (\gamma_{s;t} \cdot KM)$$

$$R_{s,d} \leq (5,88 \cdot 0,1 \cdot \pi \cdot 100) / (1 \cdot 1,2)$$

$$R_{s,d} = 153,938 \text{ kN}$$

**Proračunska vanjska otpornost sidra ukupne duljine 9 m:**

$$R_{s,d} \leq (l_s \cdot D \cdot \pi \cdot q_{s;k}) / (\gamma_{s;t} \cdot KM)$$

$$R_{s,d} \leq (8,82 \cdot 0,1 \cdot \pi \cdot 100) / (1 \cdot 1,2)$$

$$R_{s,d} = 230,907 \text{ kN}$$

**Proračunska vanjska otpornost sidra ukupne duljine 12 m:**

$$R_{s,d} \leq (l_s \cdot D \cdot \pi \cdot q_{s;k}) / (\gamma_{s;t} \cdot KM)$$

$$R_{s,d} \leq (11,76 \cdot 0,1 \cdot \pi \cdot 100) / (1 \cdot 1,2)$$

$$R_{s,d} = 307,876 \text{ kN}$$

### 5.3. Parametri tla i elemenata konstrukcije u Plaxis-u

$E$  – Youngov modul elastičnosti [ kN/m<sup>2</sup> ]

$\nu$  – Poissonov koeficijent [-]

$c$  – kohezija [kN/m<sup>2</sup>]

$\phi$  – kut unutarnjeg trenja [°]

$\gamma$  – jedinična težina [kN/m<sup>3</sup>]

#### Parametri slojeva tla:

$E_{2,3}$  – Matična stijena:

- Mohr-Coulombov model tla
- $E = 1 \cdot 10^5$  kN/m<sup>2</sup>
- $\gamma = 24$  kN/m<sup>3</sup>
- $c = 40$  kPa
- $\phi = 33,76^\circ$

$Q_d$ ,  $Q_{el}$  i  $Q_n$  – s obzirom da nije provedena druga faza detaljnih geotehničkih istraživanja, pretpostavljeni su sljedeći parametri:

- Mohr-Coulombov model tla
- $E = 3 \cdot 10^4$  kN/m<sup>2</sup>
- $Q_d$ :  $\gamma = 23$  kN/m<sup>3</sup> ;  $Q_{el}, Q_n$ :  $\gamma = 18$  kN/m<sup>3</sup>
- $c = 15$  kPa
- $\phi = 25^\circ$

#### Parametri elemenata konstrukcije:

**Mlazni beton:**

- Mohr-Coulombov model tla
- $E = 1 \cdot 10^7$  kN/m<sup>2</sup>
- $\gamma = 23,5$  kN/m<sup>3</sup>
- $c = 100$  kPa
- $\phi = 45^\circ$

#### **Slobodna dionica sidra ("node to node anchor"):**

- Tip materijala: Elastoplastičan
- $L = 2\%$  od ukupne duljine sidra
- $L_{\text{osni razmak}} = 2,5$  m (za presjek A-A), 3 m (za ostale presjeke)
- $E = 3 \cdot 10^7$  kN/m<sup>2</sup>

#### **Sidrišna dionica sidra ("embedded beam row"):**

- Tip materijala: Elastoplastičan
- $L = 98\%$  od ukupne duljine sidra
- $L_{\text{osni razmak}} = 2,5$  m (za presjek A-A), 3 m (za ostale presjeke)
- $EA = 92400$  kN

### **5.4. Proračun građevne jame u Plaxis-u**

Odabrana su 4 karakteristična presjeka, pomoću kojih provodimo proračun zaštite građevne jame. Slojevi tla su prikazani preko Mohr-Coulombovog modela. To je linearno elasto-plastični model. Preporuča se korištenje ovog tipa modela za prvu analizu promatranog problema. Zbog konstantne krutosti, proračuni su obično relevantno brzi i može se dobiti prva procjena deformacija. Izradu modela i geotehnički proračun smo podijelili na 3 koraka:

#### **1. Korak**

Crtanje geometrije presjeka pomoću "Soil polygon", odnosno alata za crtanje poligona tla. Slojevima tla dodjeljujemo parametre dobivene iz prethodnih geotehničkih ispitivanja i proračuna. Nakon zadavanja geometrije i parametara tla, vršimo proračun početne faze odnosno "InitialPhase". Pomoću početne faze provodimo proračun na gravitacijsko opterećenje ("Gravity loading"). To je vrsta plastičnog proračuna, početna napreznja se generiraju na temelju vlastite težine tla.

Proračunom početne faze moguća su dva ishoda rješenja, dolazak do rušenja ili ostvarivanje stabilnosti pokosa. U slučaju da je rezultat proračuna rušenje pokosa, potrebno je izvršiti zaštitu pokosa. Kada je ostvarena stabilnost pokosa, dodajemo novu fazu koja opisuje djelovanje potresa. Ako se nakon dodavanja potresa ostvari stabilnost pokosa, možemo zaključiti da neće doći do urušavanja te da nije potrebna zaštita pokosa građevne jame.

## **2. Korak**

Drugi korak proračuna odnosi se na konstruiranje zaštite pokosa i ispitivanje stabilnosti pokosa. Kreiramo dvije nove faze od početne faze. Prva stvorena faza provodi plastični proračun bez utjecaja potresa, dok druga uzima u obzir djelovanje potresa. Plastični proračuni provode elasto-plastične deformacijske analize, a služe za prikazivanje deformacija i pomaka u cilju proračuna sidra i ostale zaštite konstrukcije.

U strukturnom modu se najprije ucrtava sloj mlaznog betona debljine 10 cm i armaturna mreža Q-283 pomoću alata za crtanje poligona "Soil polygon". Geotehničko sidro zadaje se pomoću "node to node anchor" i "embbded beam row". Slobodnu dionicu sidra predstavlja "node to node anchor", dok sidrišnu dionicu sidra predstavlja "embbded beam row". Primarno "embbded beam row" predstavlja pilote, ali u opcijama ga definiramo kao tijelo za injektiranje, odnosno "grout body". Nakon što izvršimo proračun novih faza ulazimo u program Plaxis 2D Output, koji nam omogućava pregled dobivenih rezultata. Pomoću dobivenih rezultata možemo vidjeti nastalu kliznu plohu, deformacije i pomake, s kojima definiramo karakteristike sidra. U slučaju ako nam ne uspije izvršiti plastični proračun, znači da pokos nije stabilan te moramo promijeniti karakteristike sidra kao što su duljina, horizontalni i vertikalni razmak, promjer i slično.

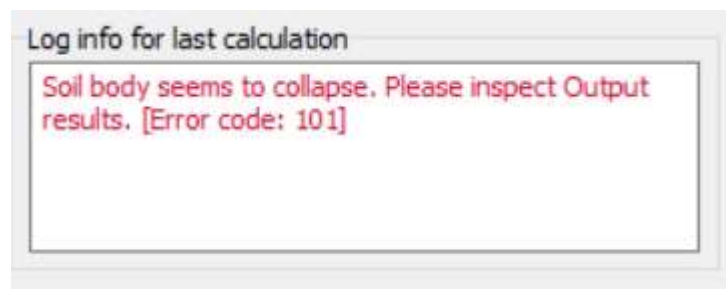
## **3. Korak**

U ovom koraku primjenjujemo proračun sigurnosti na sve prethodne faze. Proračun sigurnosti ili zvana "phi/c redukcija" radi na principu smanjivanja parametara posmične čvrstoće  $\phi$  i  $c$  dok ne dođe do loma konstrukcije. Kada faktor sigurnosti ima manju vrijednost od 1 pokos nije stabilan. Ukoliko faktor sigurnosti znatno prelazi vrijednost 1, potrebno je reducirati karakteristike zaštite pokosa.

## 6. Presjeci i rezultati proračuna

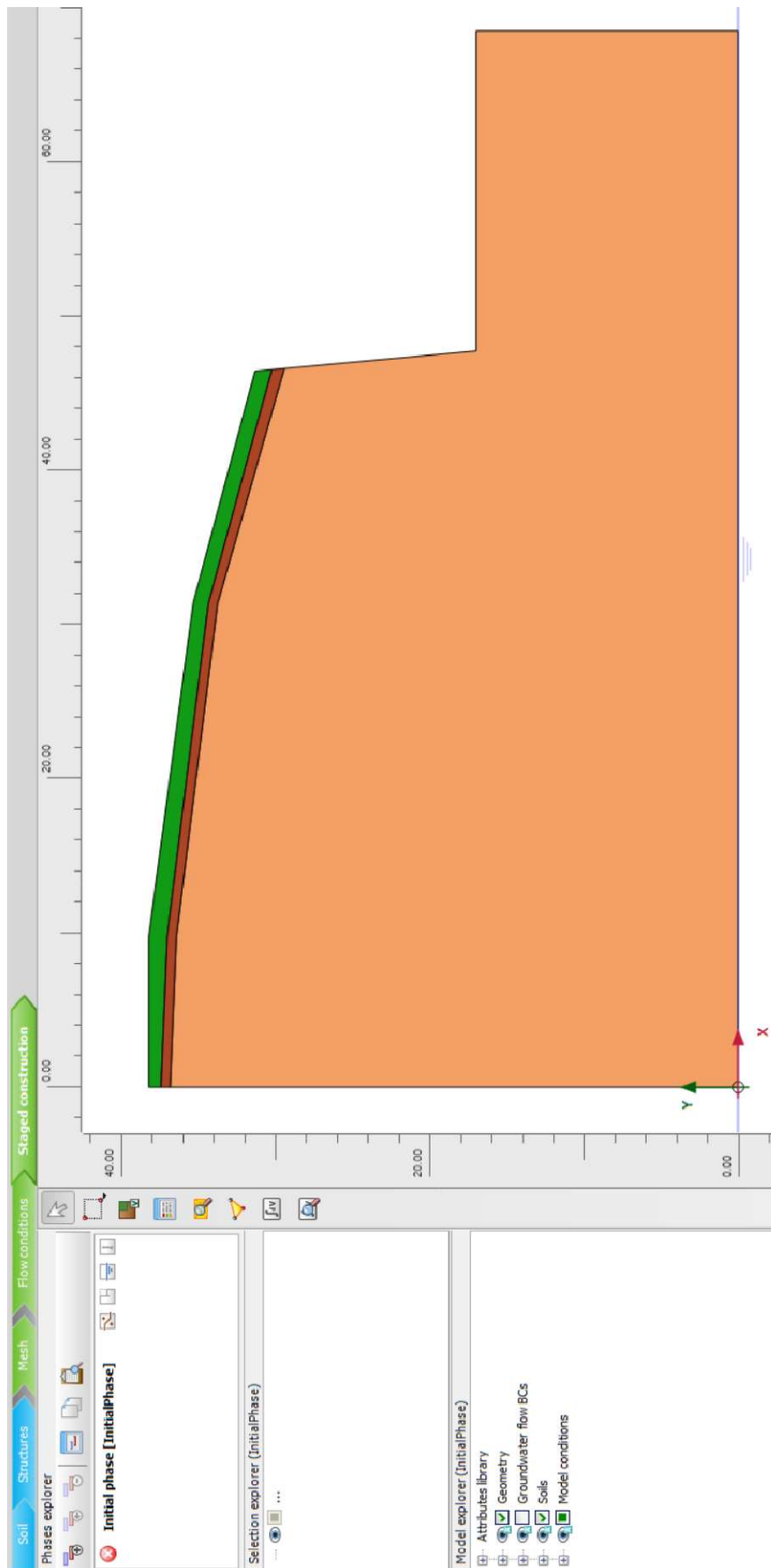
### 6.1. Presjek A-A

Proračun na gravitacijsko opterećenje prikazuje da je konstrukcija nestabilna, znači da dolazi do loma konstrukcije, stoga je potrebna zaštita pokosa mlaznim betonom s armaturnom mrežom i sidrenjem. Slika 25. prikazuje da informaciju da je došlo do kolapsa, a slika 26. prikazuje model te neuspjeli pokušaj proračuna početne faze.



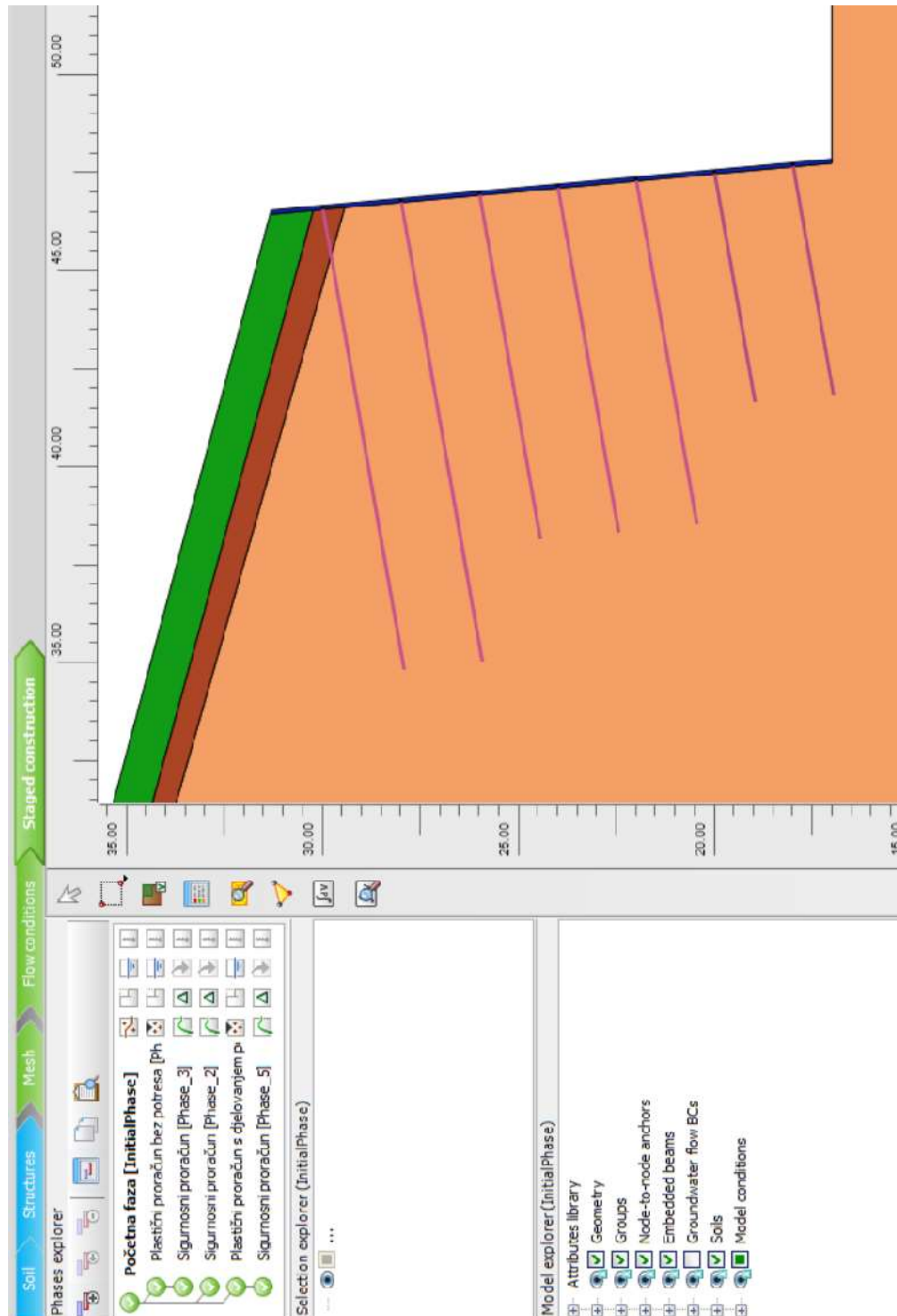
*Slika 25. Prikaz informacije o nestabilnosti pokosa*



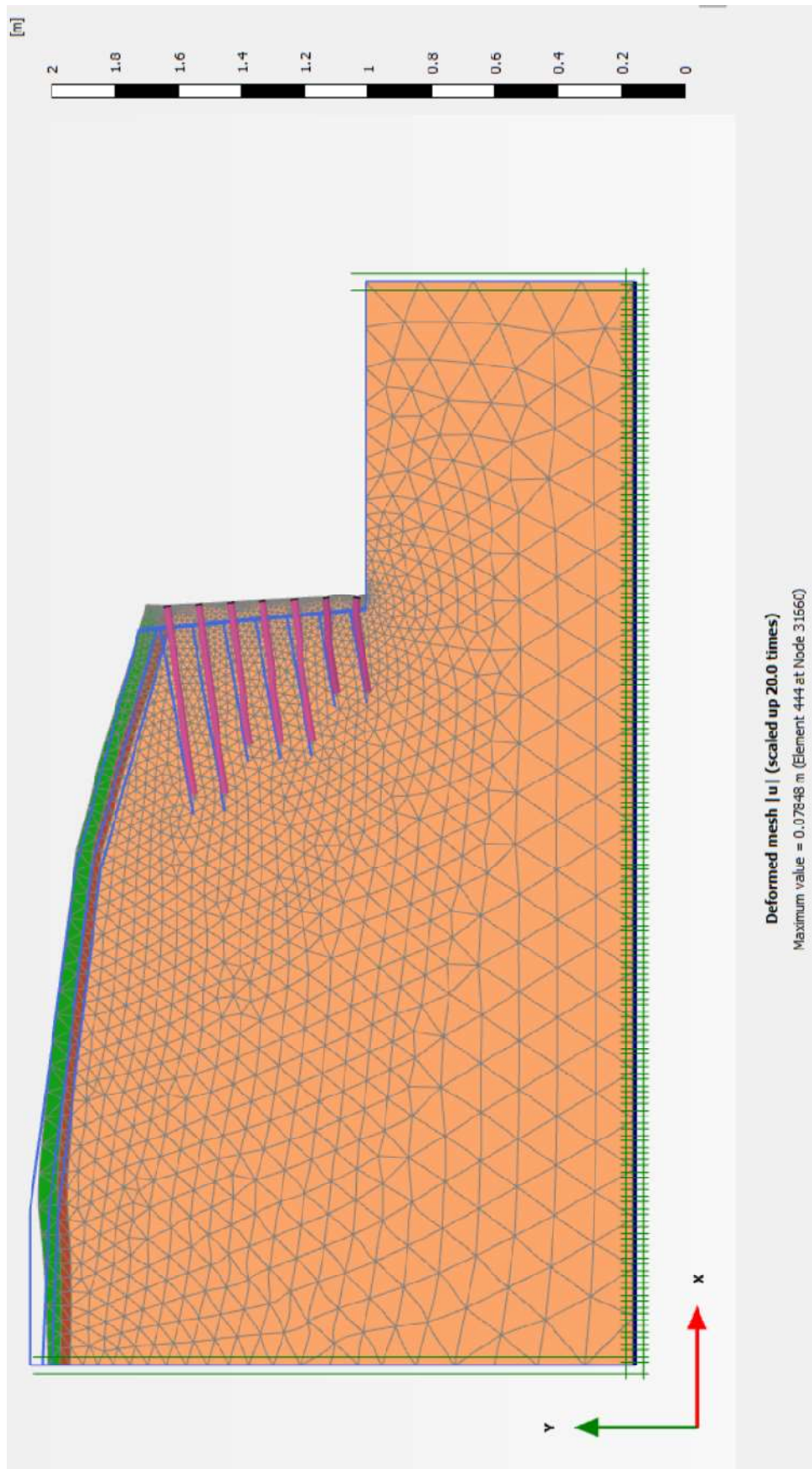


Slika 26. Izgled modela i neuspjeli proračun početne faze

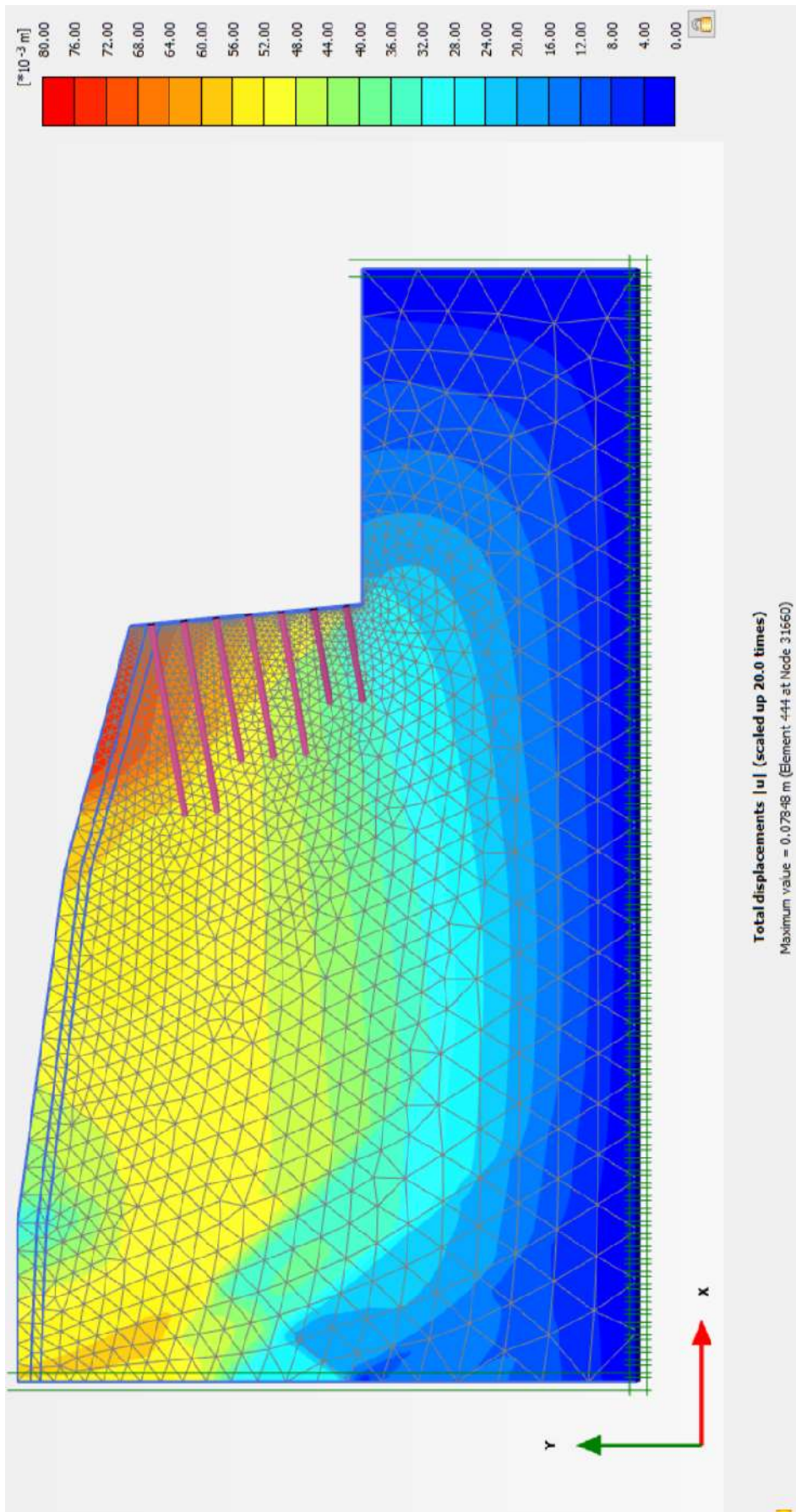
Primjenjuje se zaštita pokosa sustavom armiranog mlaznog betona i samobušivih sidara. Usvajamo duljine sidra od 6, 9 i 12 m na rasteru od 2 x 2,5m. Prikazivati će se samo rezultati negativnog utjecaja potresa na konstrukciju, jer su tu opterećenja znatno veća. Statički potres zadan je preko akceleracije u x smjeru u iznosu od -0.22 g.



Slika 27. Prikaz mlaznog betona i usvojenih samobušivih sidara

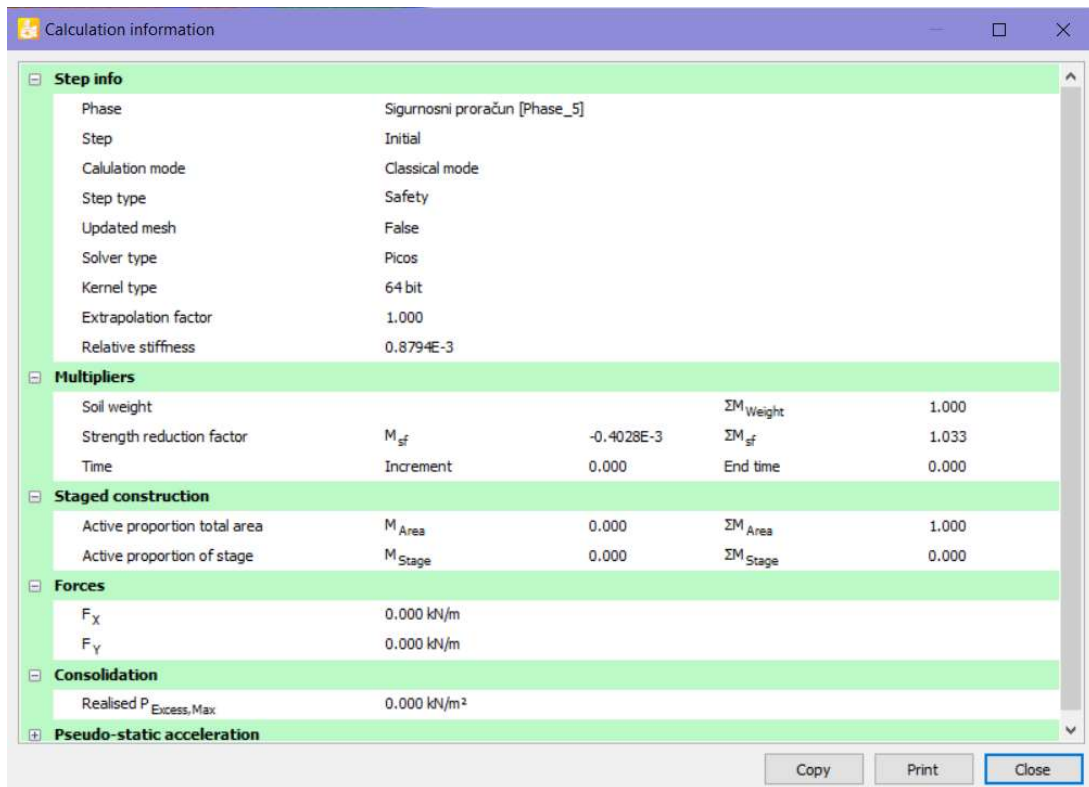


Slika 27. Prikaz deformacija modela uvećana za 20 puta

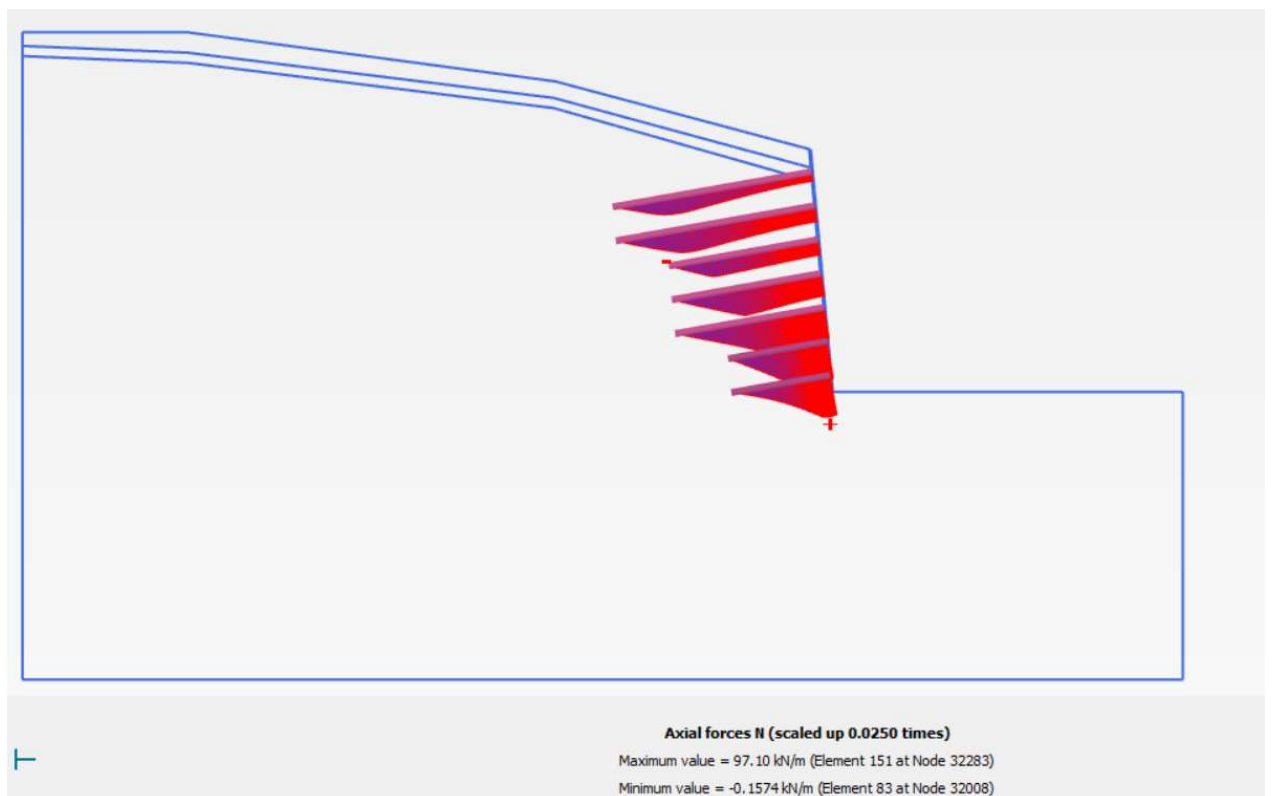


Slika 28. Prikazuje ukupne pomake





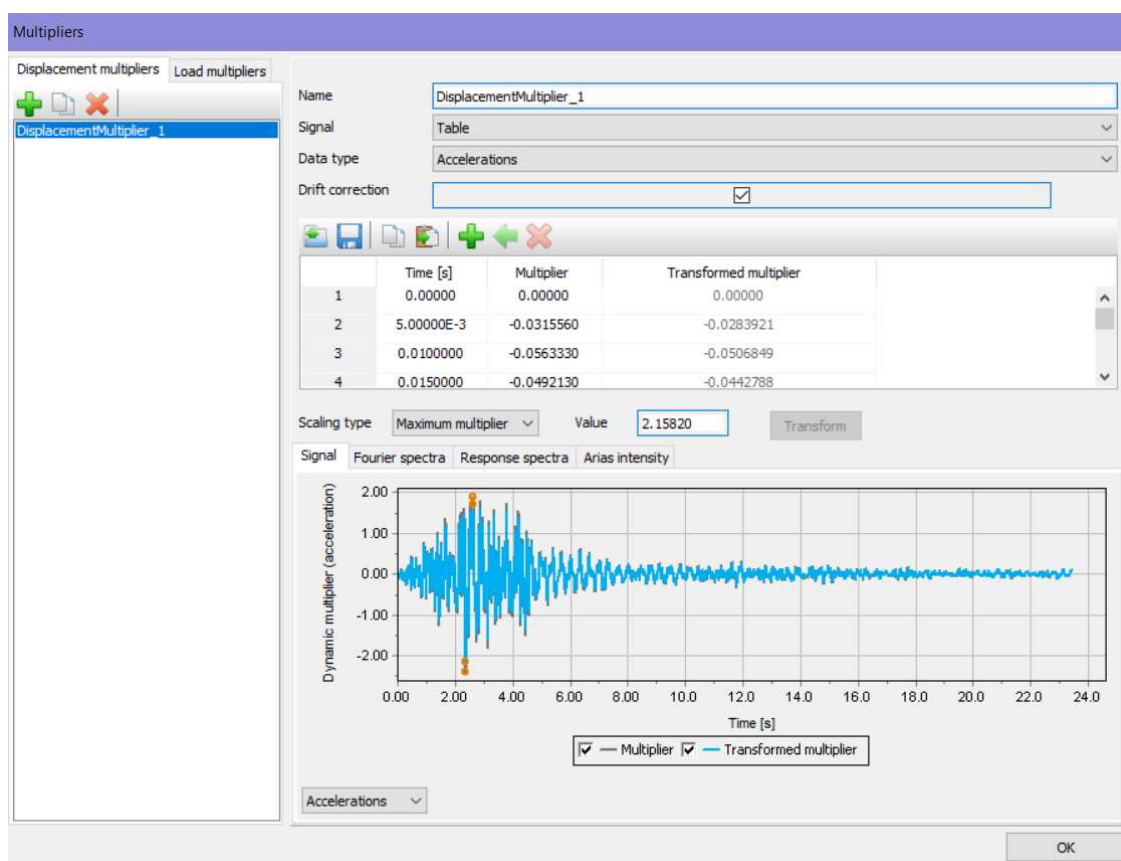
Slika 29. Prikazuje vrijednost faktora sigurnosti u iznosu od 1.033



Slika 30. Prikaz aksijalnih sila u sidrišnom dijelu sidra

## 6.2. Dinamički proračun za presjek A-A

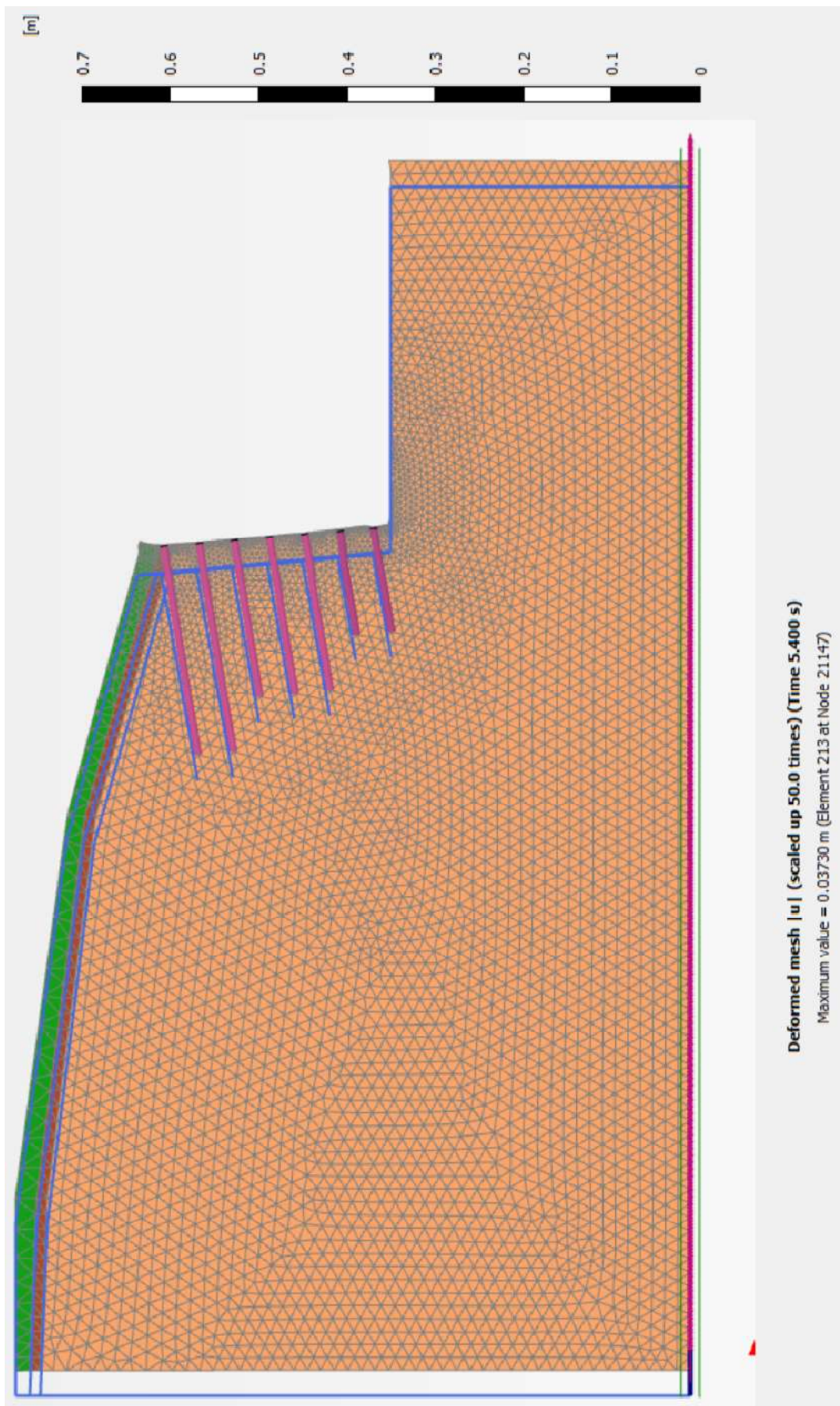
Dinamička analiza u programu Plaxis služi za proračun modela na dinamičko opterećenje. Inkrementalna dinamička analiza vremena, u kojoj je odabran potres iz baze računalnog programa Plaxis, a odabrani akcelelogram potresa prikazan je na slici 31.



Slika 31. Prikaza akcelelograma iz baze programa Plaxis

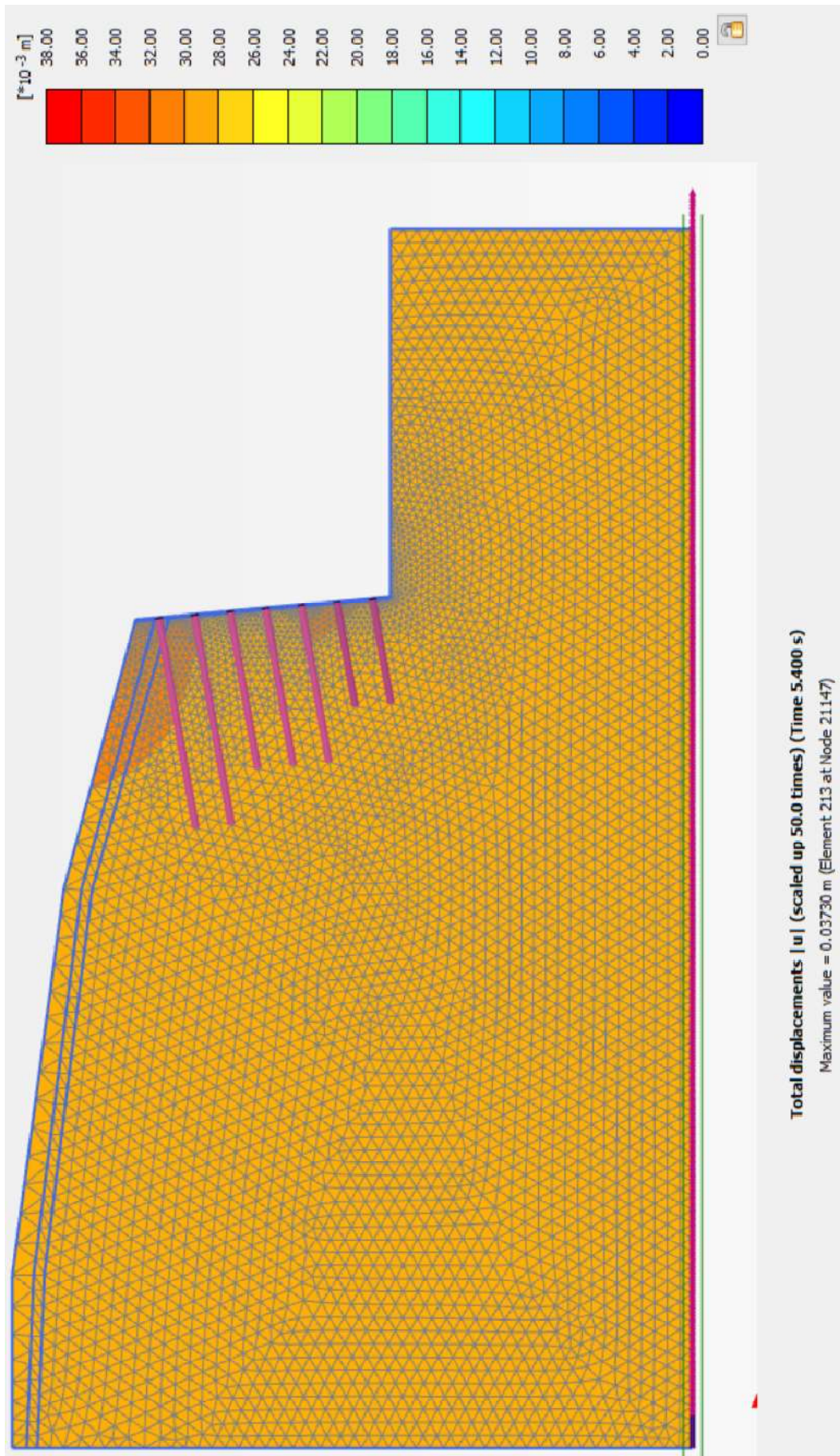
Mogućnost transformiranja amplitude akceleracije uzete iz baze u željenu vrijednost amplitude. Zbog prevelikog trajanja proračuna, za dinamički vremenski interval usvajamo vrijednost od 10s. U nastavku će se prikazati usporedba rezultata za statičko i dinamičko djelovanje potresa.

U programu Output prikazani su rezultati proračuna na dinamičko djelovanje potresa u 5,4 s jer se u tom trenutku javljaju najveći pomaci i deformacije.



Slika 32. Prikazuje deformacije pri dinamičkom djelovanju potresa u 5.4s





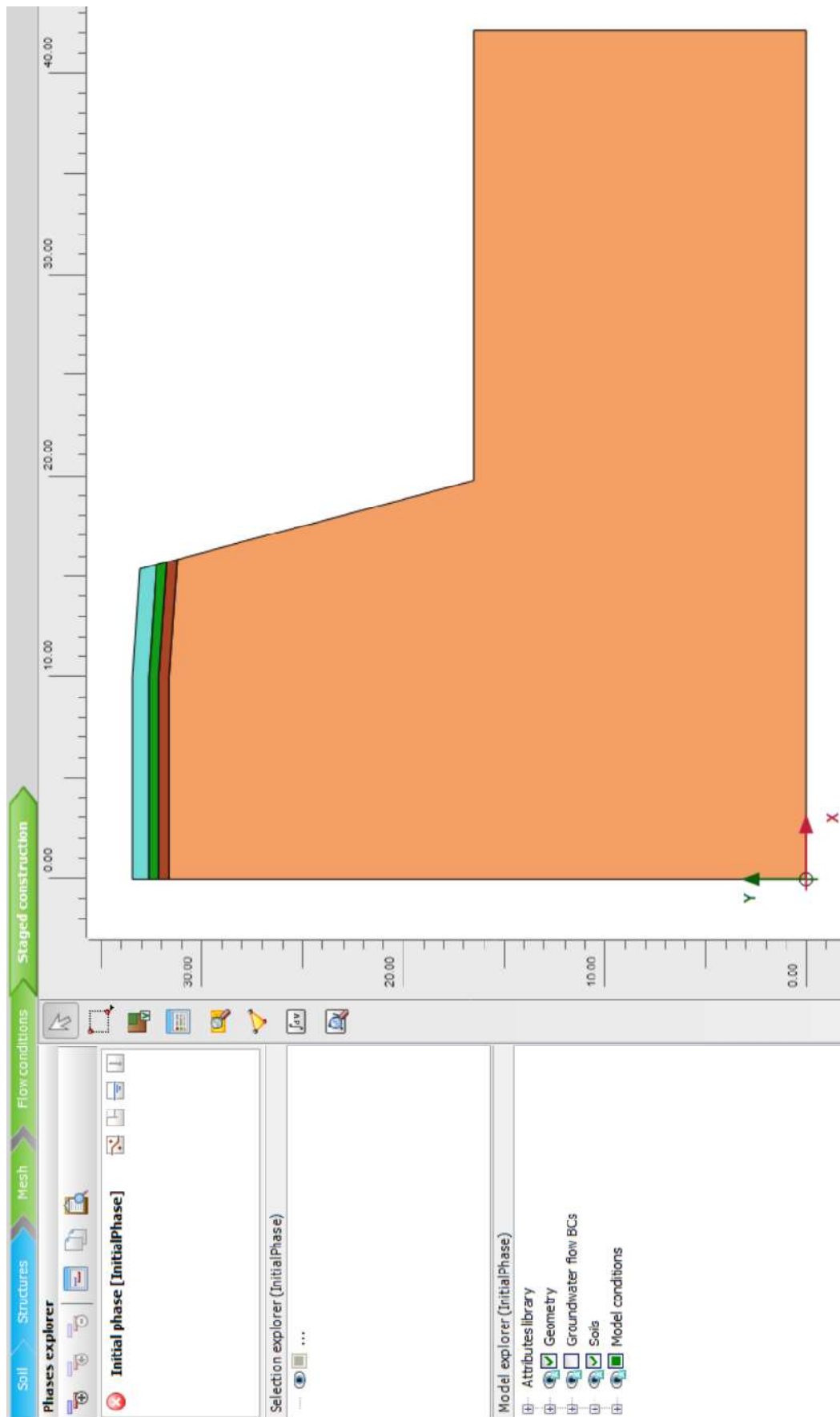
Slika 33. Prikazuje pomake pri djelovanju dinamičkog potresa u 5.4 s



Možemo zaključiti da se dinamičkom analizom modela javljaju manje deformacije i pomaci. U prikazanom primjeru pomaci dobiveni statičkom analizom duplo su veći u odnosu na dinamičku analizu.

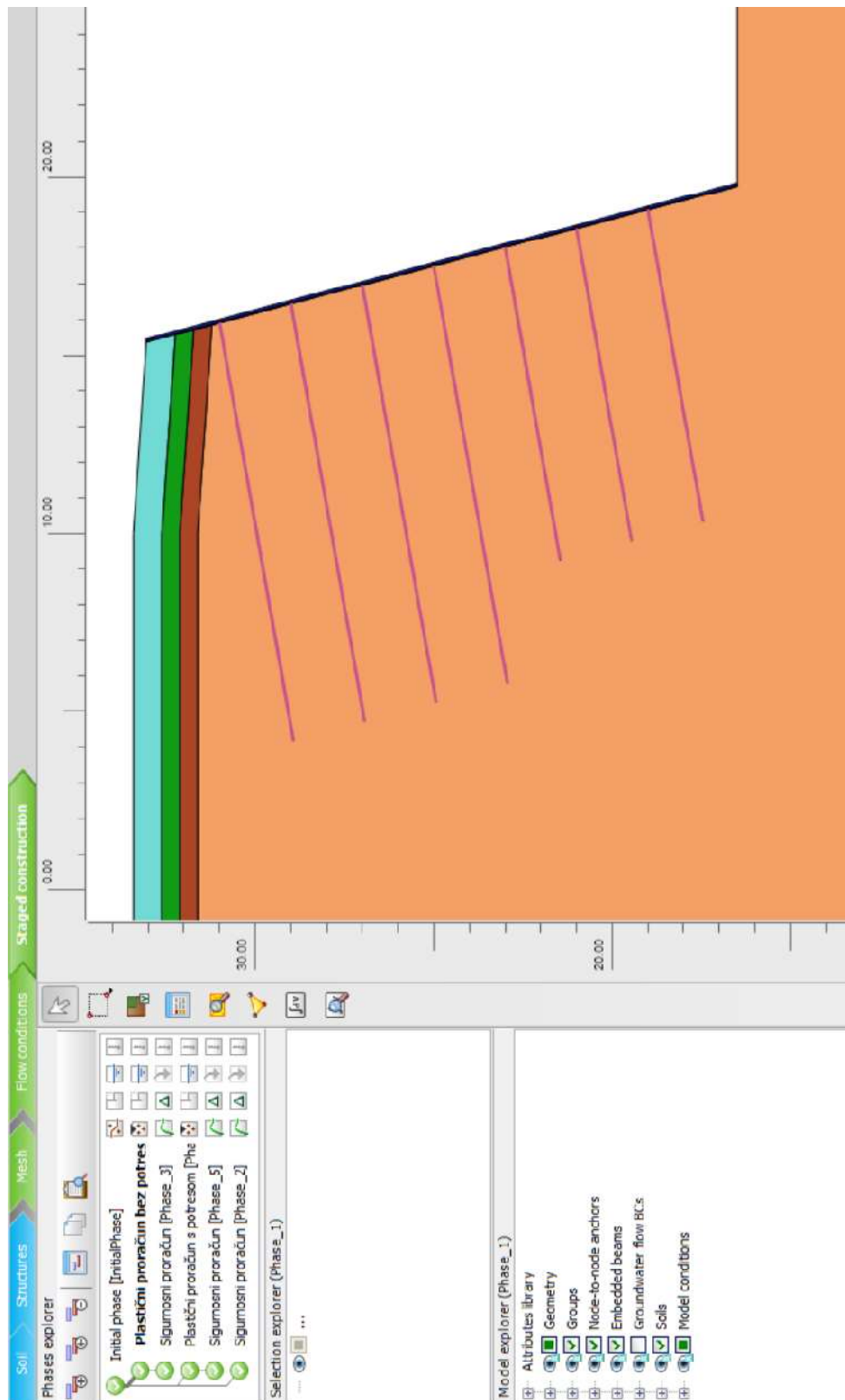
### **6.3. Presjek B1-B1**

Presjek B1-B1 nalazi se na sjevernom djelu terena. Također kao i kod proračuna presjeka A-A, proračun na gravitacijsko opterećenje ne prolazi, što znači da moramo raditi zaštitu pokosa. Slika 34. nam prikazuje model tla na presjeku B1-B1 te neuspjeli proračun početne faze.



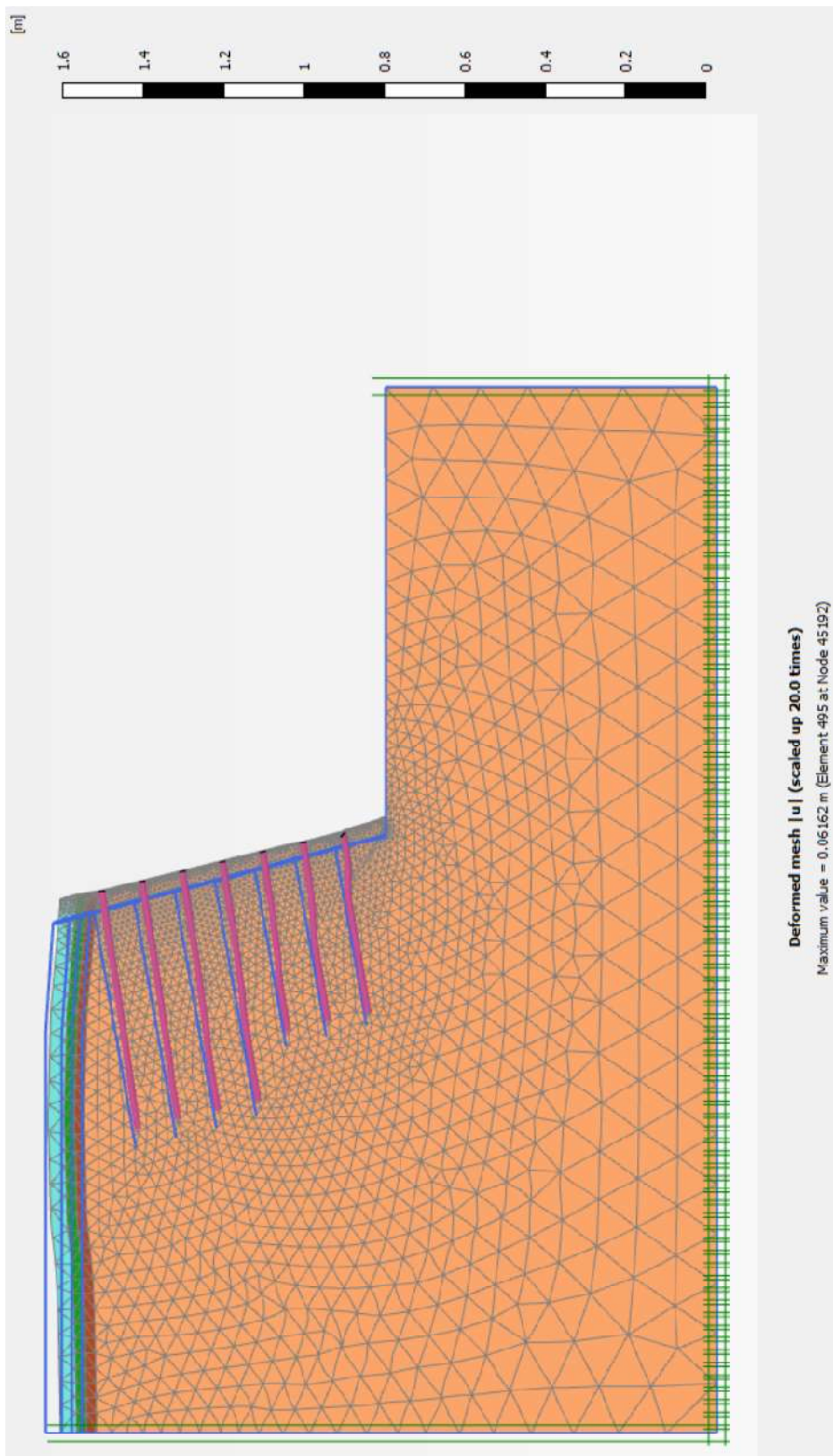
Slika 34. Model tla i početna faza

Slika 35. prikazuje armirani mlazni beton i raspored usvojenih sidara. Usvojena sidra su duljine 9 i 12 m na rasteru od 2 x 3m. Na slici također možemo vidjeti i raspored proračunatih faza.

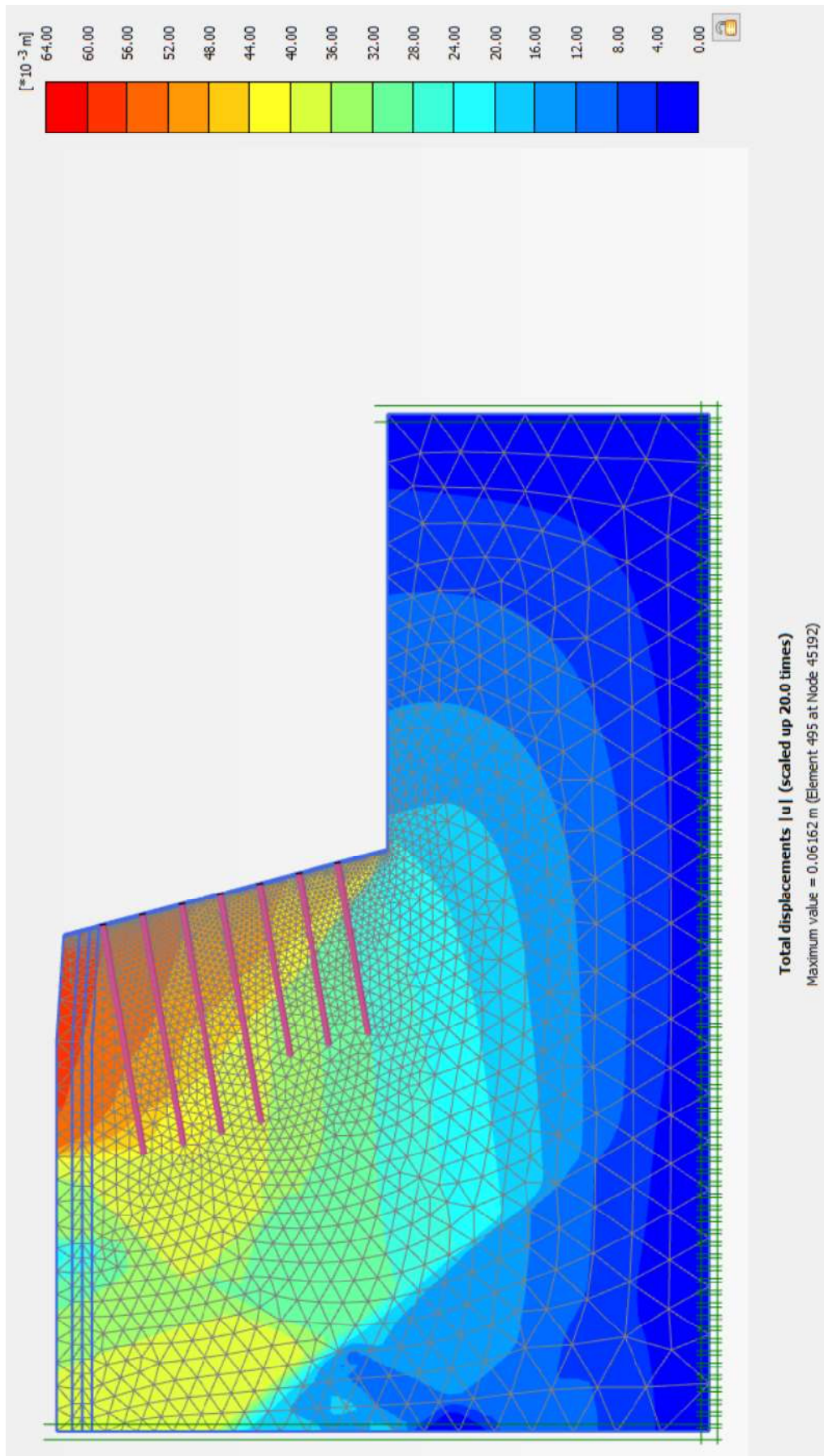


Slika 35. Raspored usvojenih sidara i mlazni beton

Output program prikazuje dobivene rezultate prikazane na slici 36. na kojoj vidimo deformacije modela uvećane 20 puta prilikom djelovanja statičkog potresa u iznosu od -0.22g.



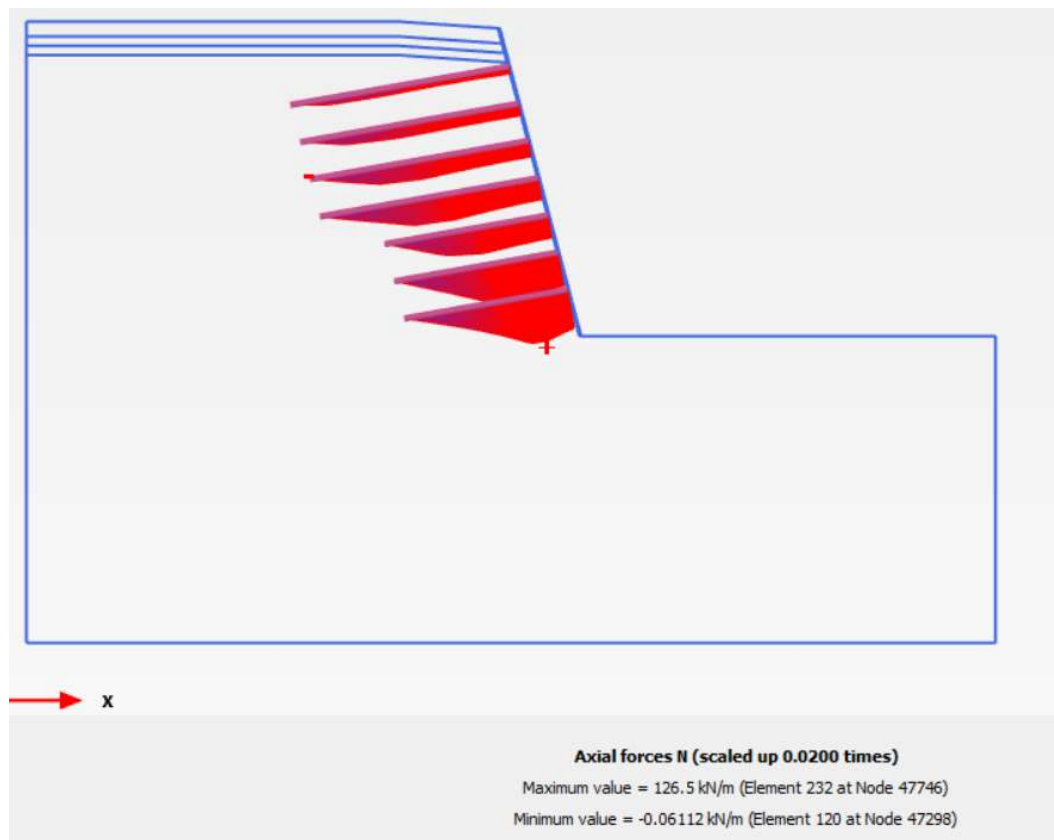
Slika 36. Prikaz deformacija modela pri djelovanju statičkog potresa



Slika 37. Prikaz ukupnih pomaka pri djelovanju statičkog potresa

Calculation information				
<b>Step info</b>				
Phase	Sigurnosni proračun [Phase_5]			
Step	Initial			
Calculation mode	Classical mode			
Step type	Safety			
Updated mesh	False			
Solver type	Picos			
Kernel type	64 bit			
Extrapolation factor	1.000			
Relative stiffness	1.471E-3			
<b>Multipliers</b>				
Soil weight			$\Sigma M_{Weight}$	1.000
Strength reduction factor	$M_{sf}$	-0.4748E-3	$\Sigma M_{sf}$	1.006
Time	Increment	0.000	End time	0.000
<b>Staged construction</b>				
Active proportion total area	$M_{Area}$	0.000	$\Sigma M_{Area}$	1.000
Active proportion of stage	$M_{Stage}$	0.000	$\Sigma M_{Stage}$	0.000
<b>Forces</b>				
$F_x$	0.000 kN/m			
$F_y$	0.000 kN/m			
<b>Consolidation</b>				
Realised $P_{Excess,Max}$	0.000 kN/m <sup>2</sup>			
<b>Pseudo-static acceleration</b>				

Slika 38. Faktor sigurnosti u vrijednosti od 1.006



Slika 39. Prikaz aksijalnih sila u sidrišnom dijelu sidra

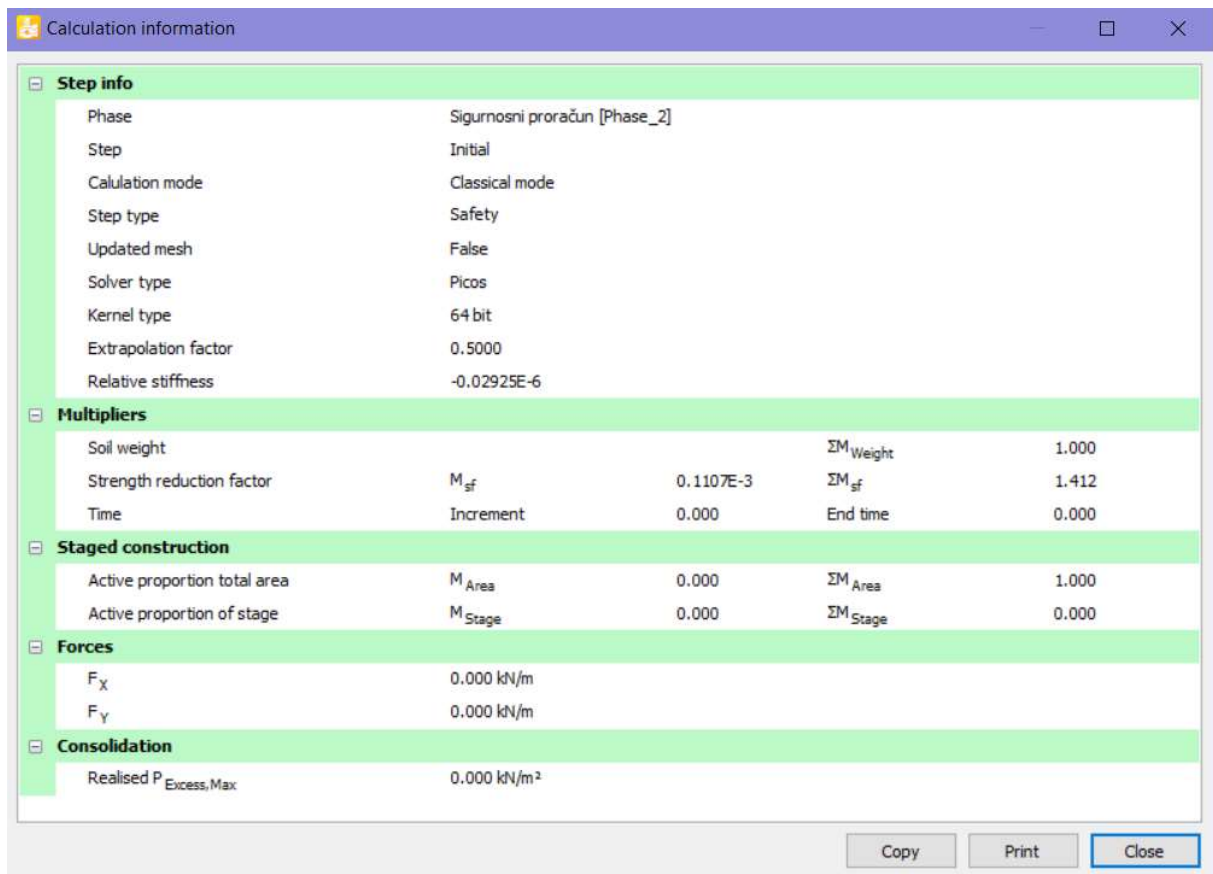


## 6.4. Presjek B2-B2

Proračun stabilnosti presjeka B2-B2 na gravitacijsko opterećenje prolazi, pa s tim zaključujemo da je ostvarena stabilnost pokosa. Zbog ostvarene stabilnosti pokosa nije potrebno raditi zaštitu. Ujedno možemo odmah i izračunati faktor sigurnosti za proračun na gravitacijsko opterećenje.

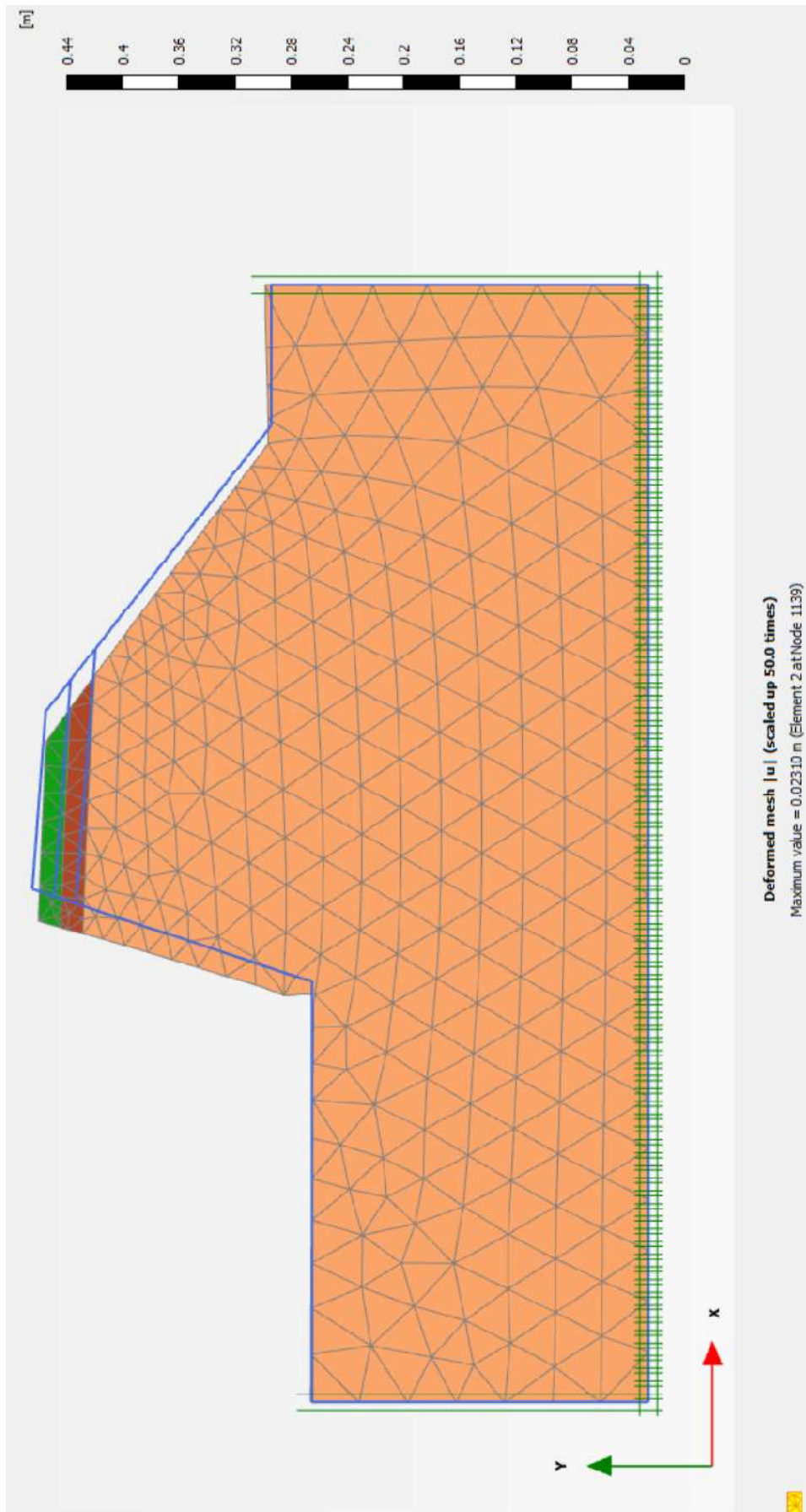


Slika 40. Prikaz modela i raspored faza proračuna

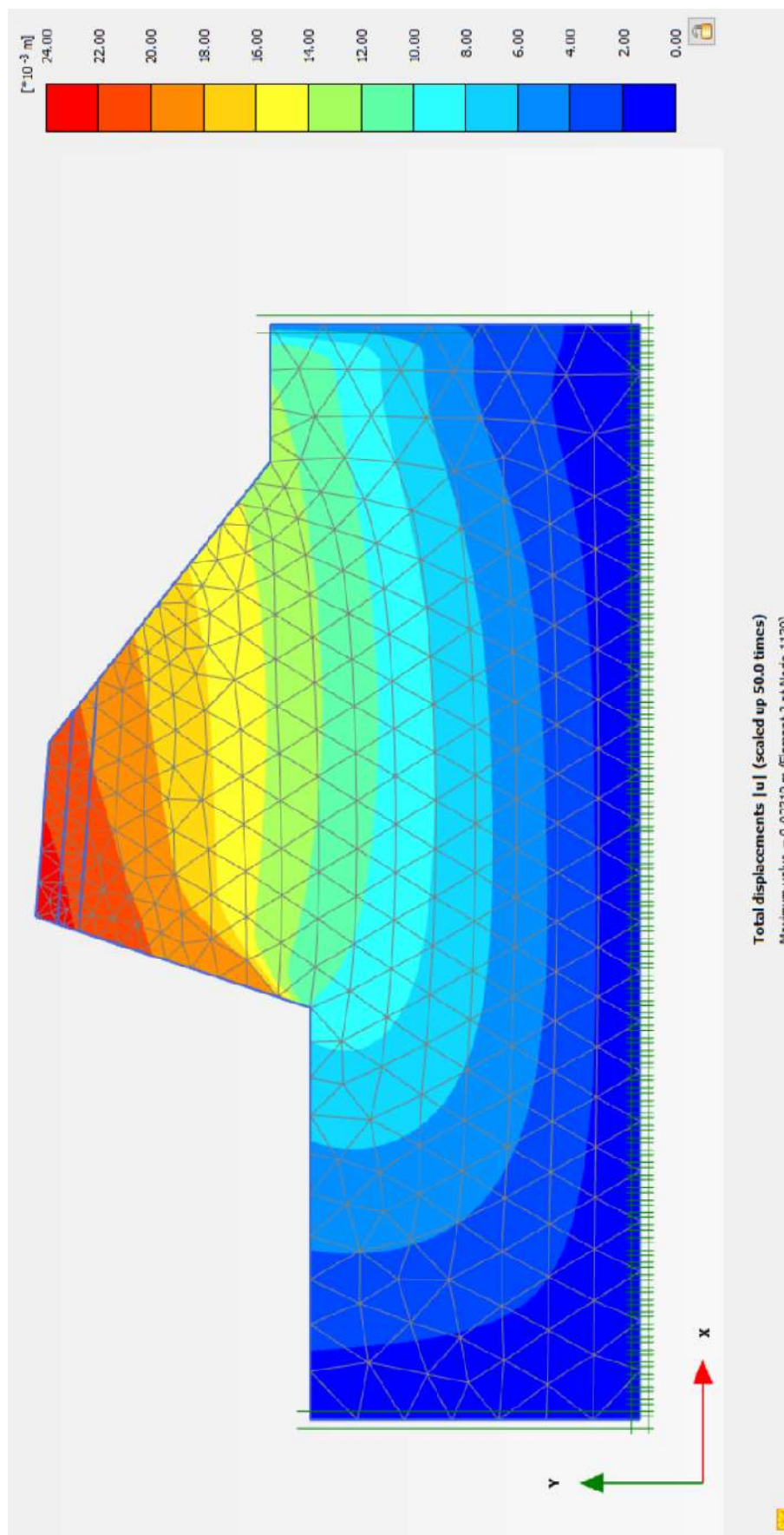


Slika 41. Prikaz vrijednosti faktora sigurnosti (1.412) bez djelovanja potresa

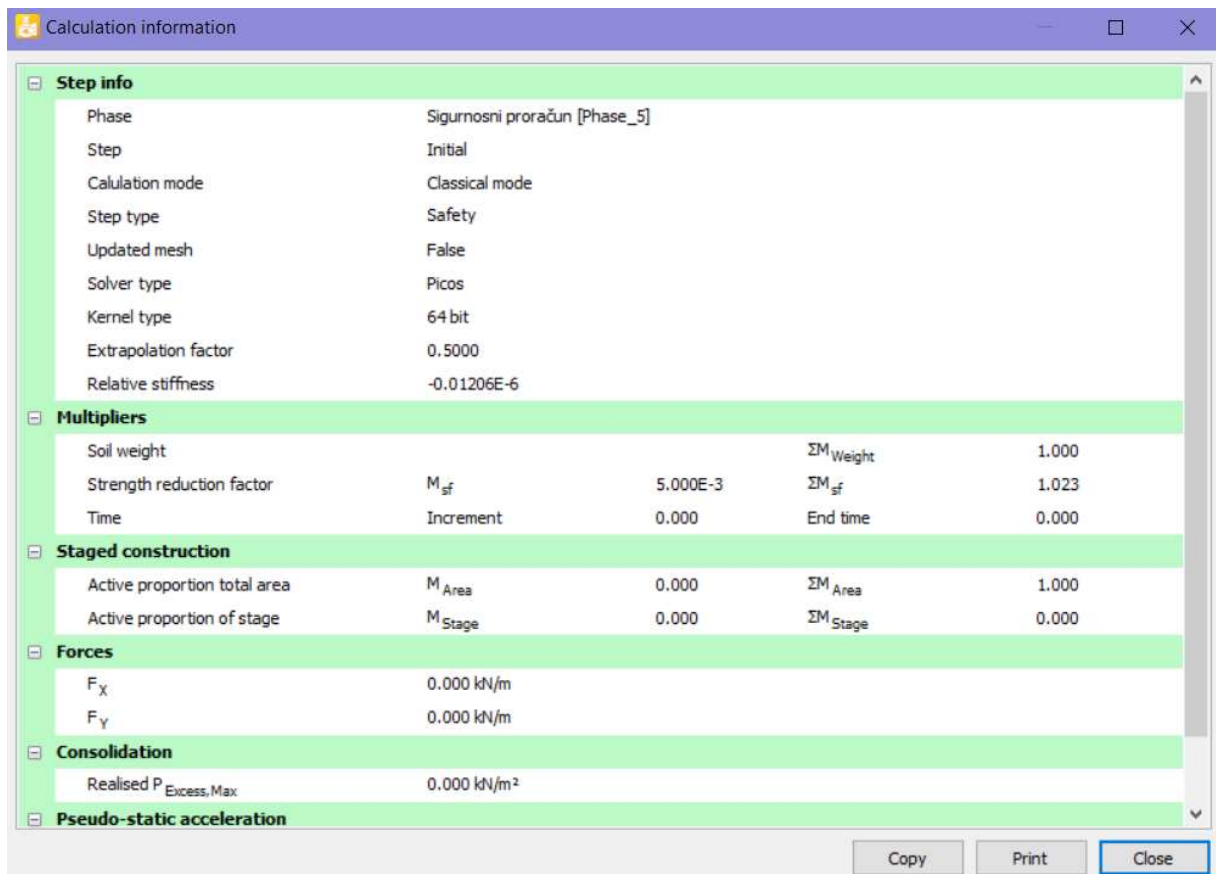




Slika 42. Prikaz deformacija modele pri djelovanju statičkog potresa



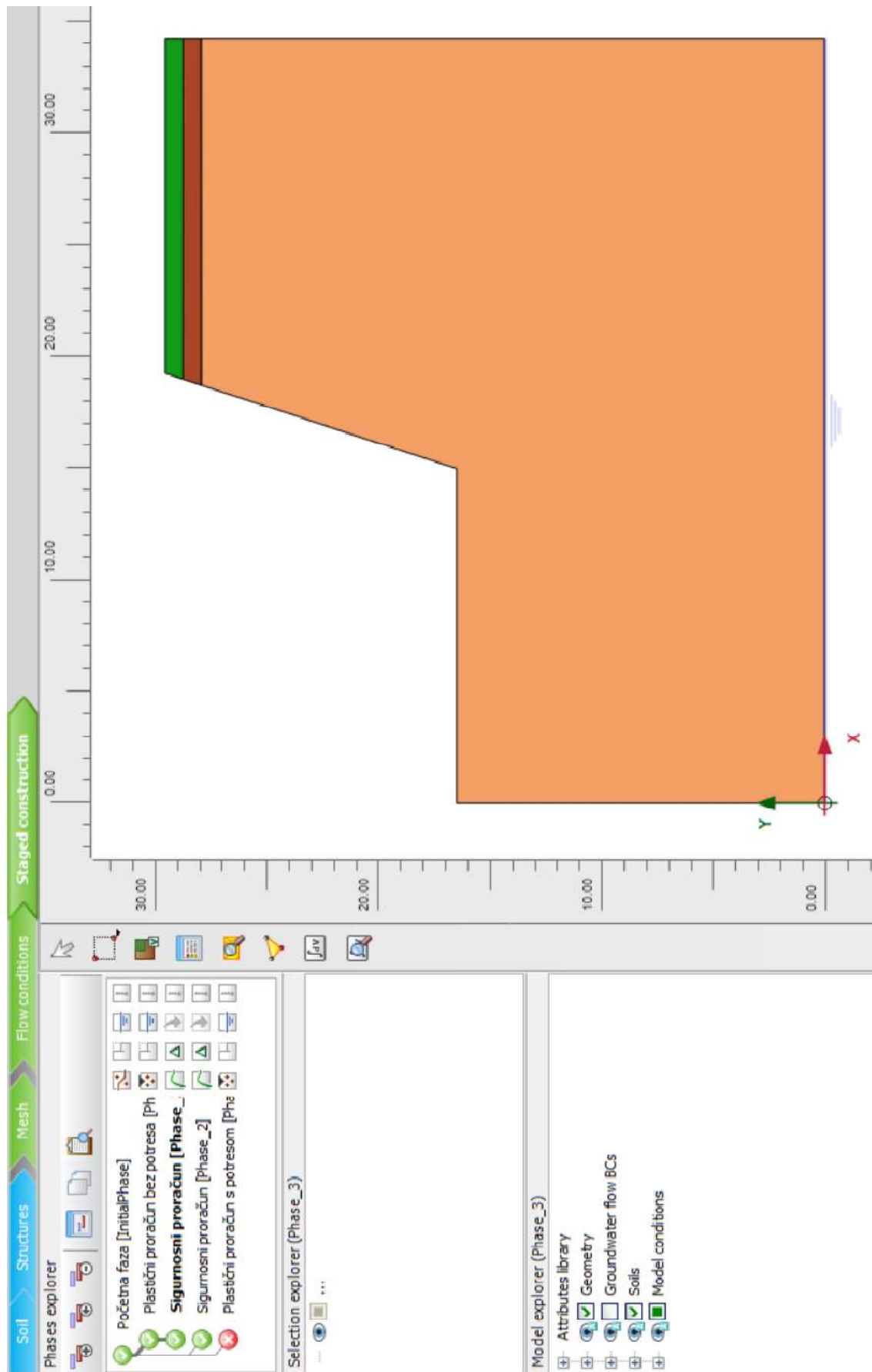
Slika 43. Prikaz ukupnih pomaka pri djelovanju statičkog potresa



Slika 44. Prikaz vrijednosti faktora sigurnosti (1.023) pri djelovanju statičkog potresa

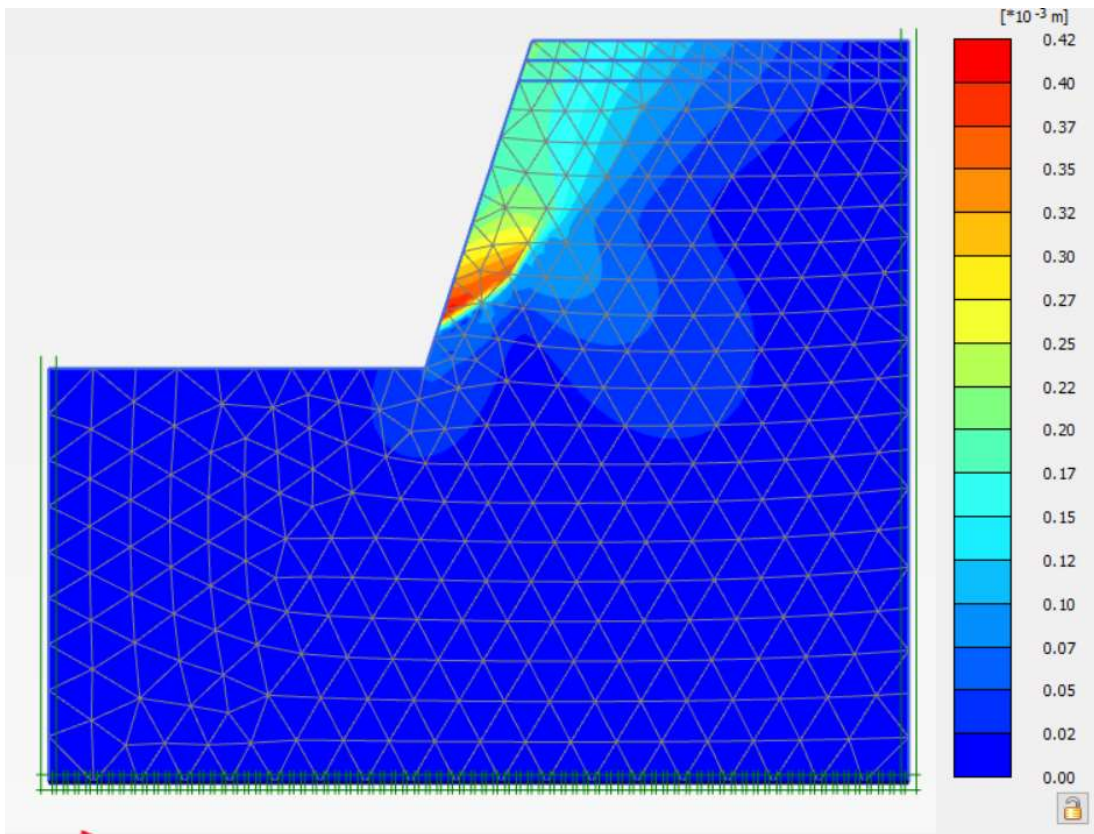
## 6.5. Presjek C-C

Proračun na gravitacijsko opterećenje kod presjeka C-C prolazi, kao i plastični proračun, ali čim smo aktivirali statički potres dolazi do nestabilnosti pokosa. S time zaključujemo da je potrebno izvršiti zaštitu pokosa.

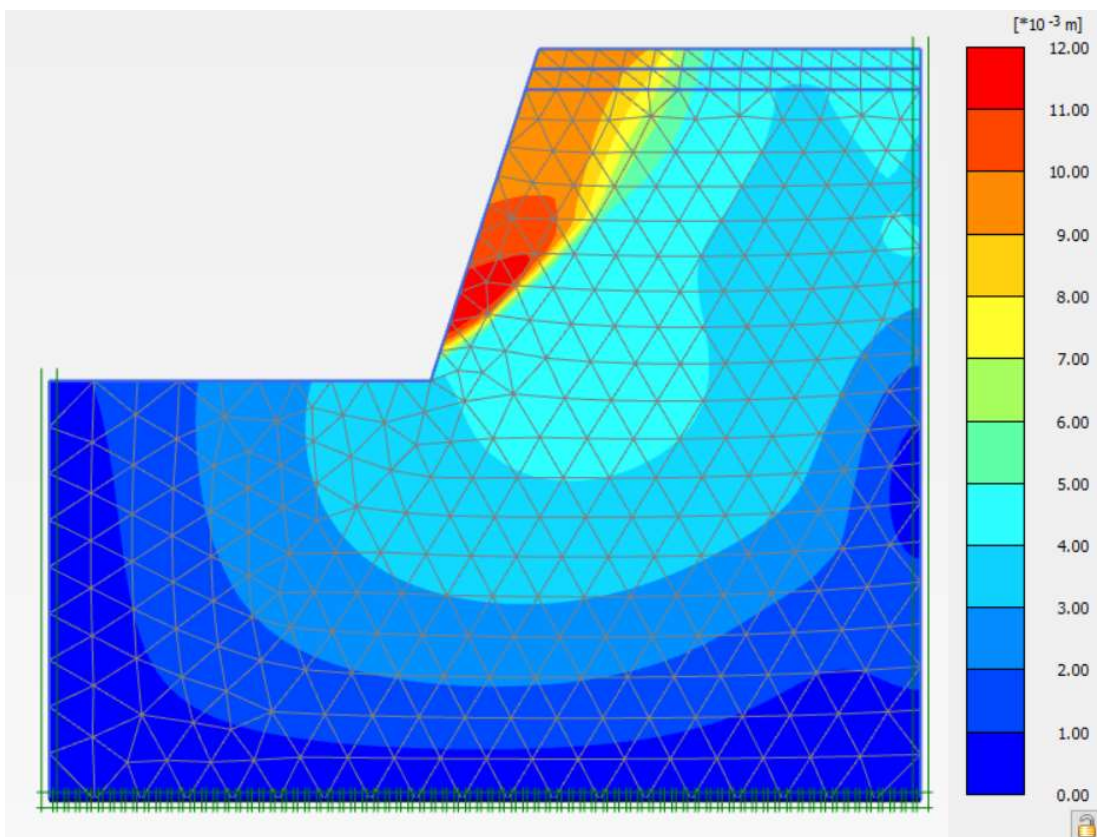


Slika 45. Prikaz modela i proračunate faze

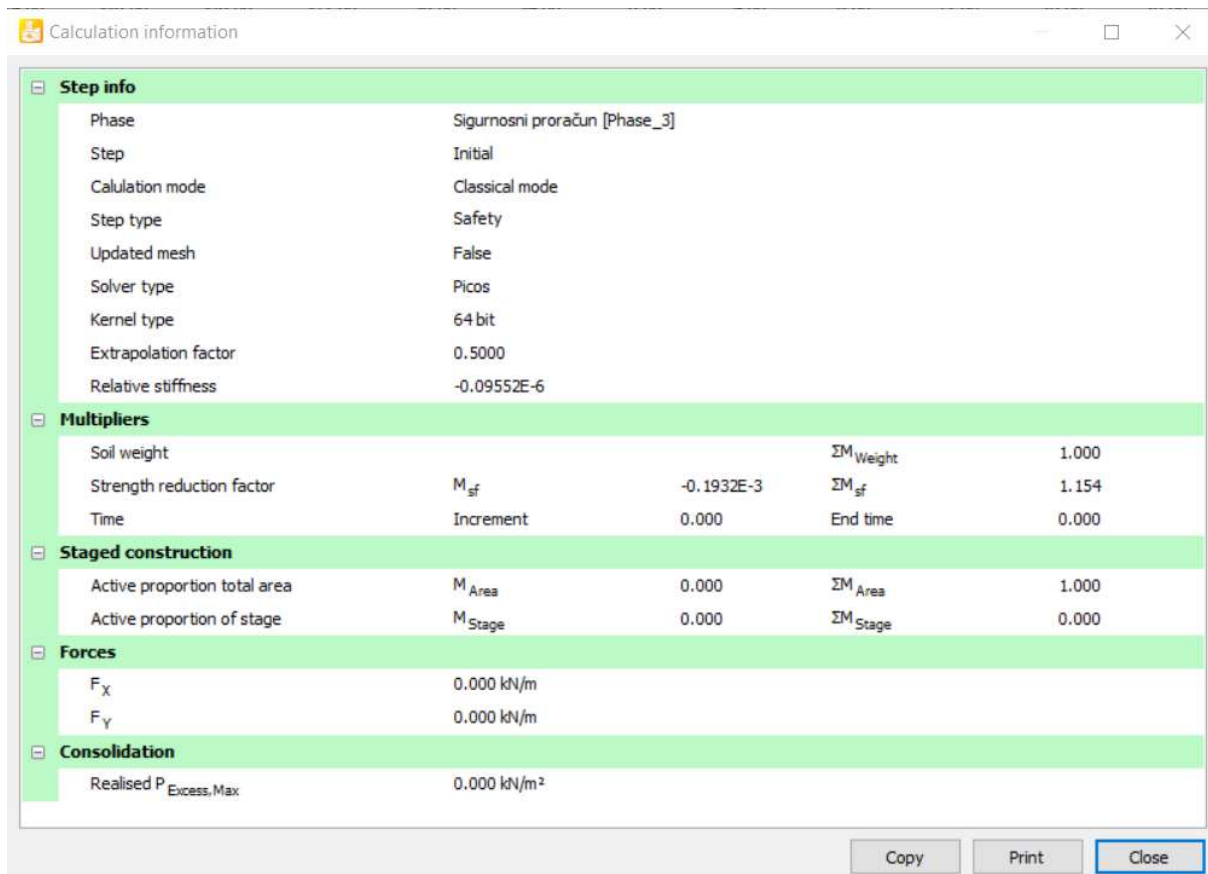




Slika 46. Prikaz pomaka bez djelovanja potres

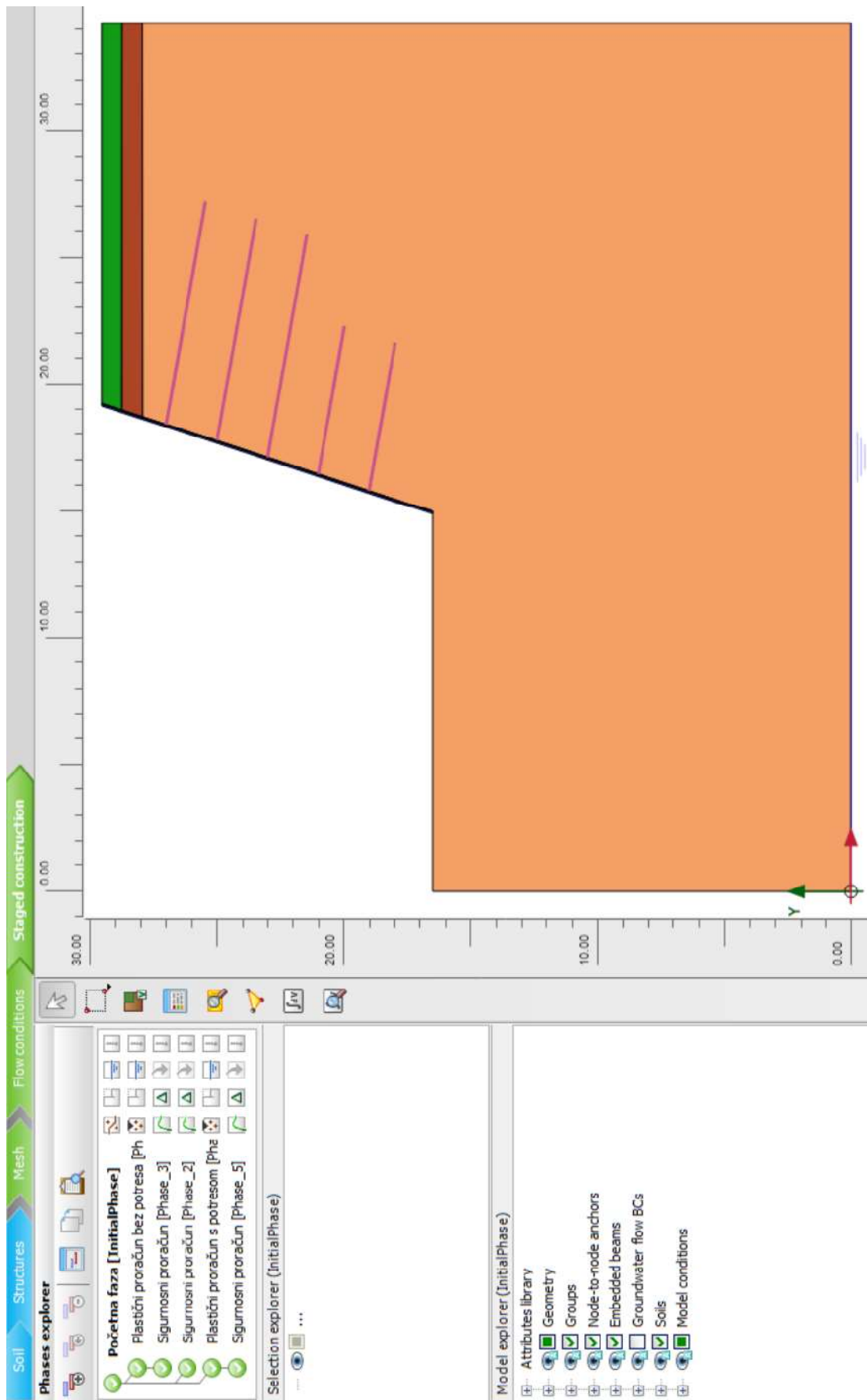


Slika 47. Prikaz pomaka s djelovanje potresa

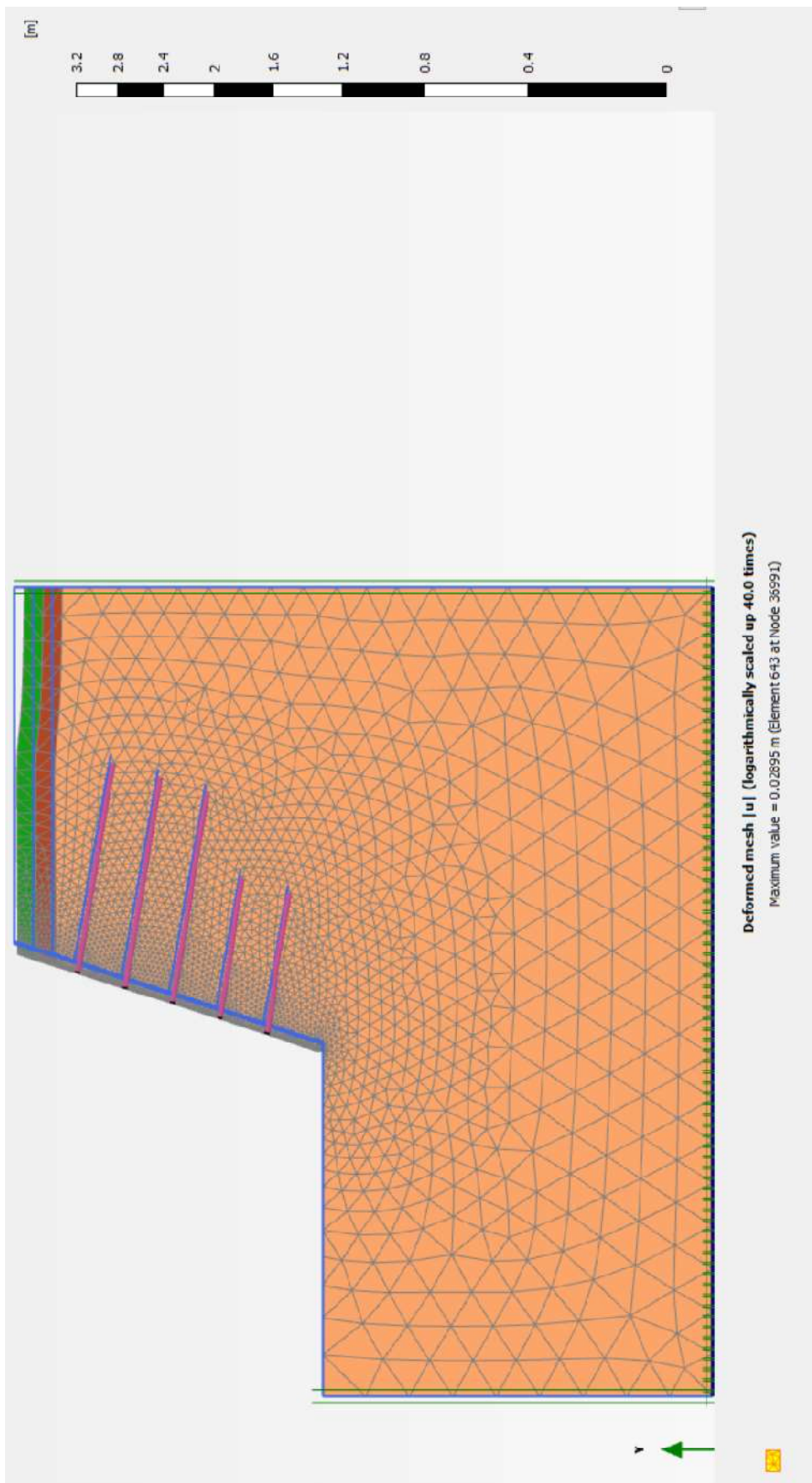


Slika 48. Prikaz vrijednosti faktora sigurnosti (1.154) bez djelovanja potresa

Usvojena su sidra duljine 6 i 9 m u rasteru 2 x 3 m. Sljedeća slika prikazuje raspored usvojenih slika.

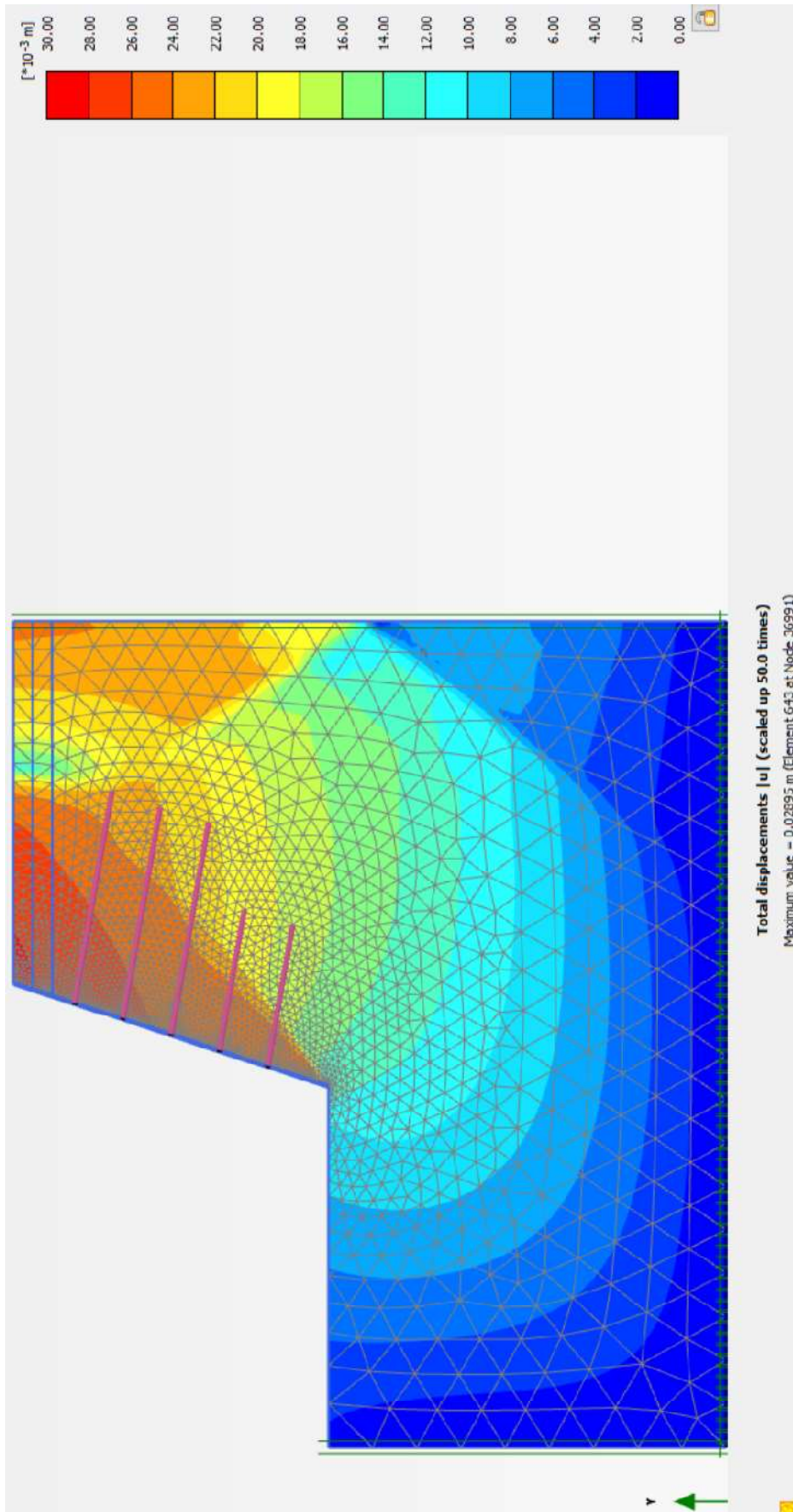


Slika 49. Prikaz modela, armiranog mlaznog betona, raspored sidara i proračunate faze

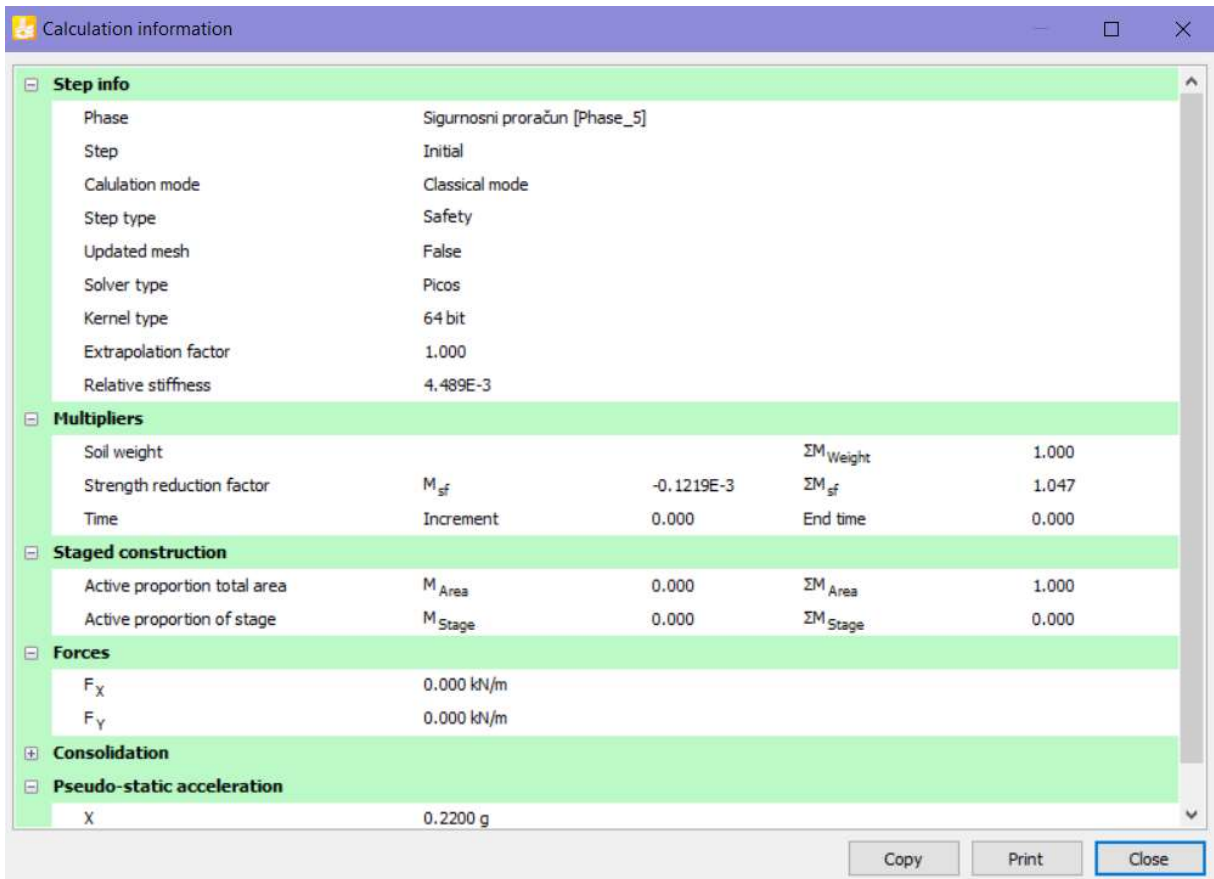


Slika 50. Prikaz deformacija modela pri djelovanju statičkog potresa





Slika 51. Prikaz ukupnih pomaka pri djelovanju statičkog potresa



Slika 52. Prikaz vrijednosti faktora sigurnosti (1.047) pri djelovanju statičkog potresa

## 7. Literatura

- [1] Noveiler, E.: Mehanika tla i temeljenje građevina., Školska knjiga, Zagreb, 1979.
- [2] Roje – Bonacci, T.: Potporne građevine i građevne jame, Sveučilište u Splitu, Građevinsko – arhitektonski fakultet, Split, 2005.
- [3] Ljupko Perić : Zaštita građevnih jama zidom od mlaznog betona i štapnih sidara, Baden i Zürich, Švicarska, 2007
- [4] Institut igh d.d., Matice hrvatske 15, 21000 Split : Preliminarni geotehnički elaborat , HOTEL KADULJA, rujan 2022.
- [5] Ivana Banjad Pečur, Posebni betoni I tehnologije: predavanja , Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet.
- [6] Mišćević, Predrag. Inženjerska mehanika stijena: Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, 2015.

## **8. Grafički prilozi**

### **8.1. Situacija**

### **8.2. Poprečni presjek A-A**

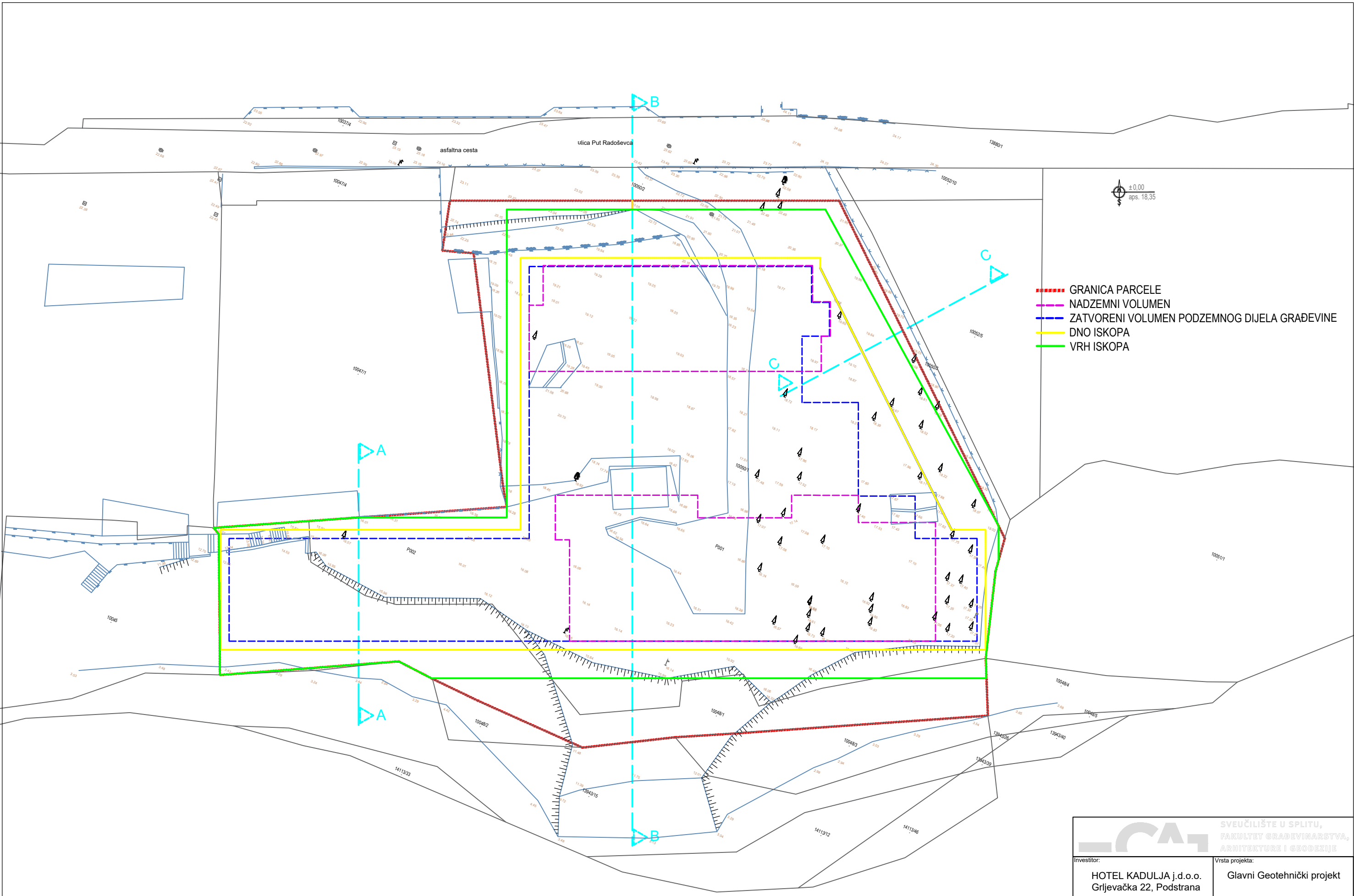
### **8.3. Poprečni presjek B1-B1**

### **8.4. Poprečni presjek C-C**

### **8.5. Uzdužni presjek A-A**

### **8.6. Uzdužni presjek B1-B1**

### **8.7. Uzdužni presjek C-C**



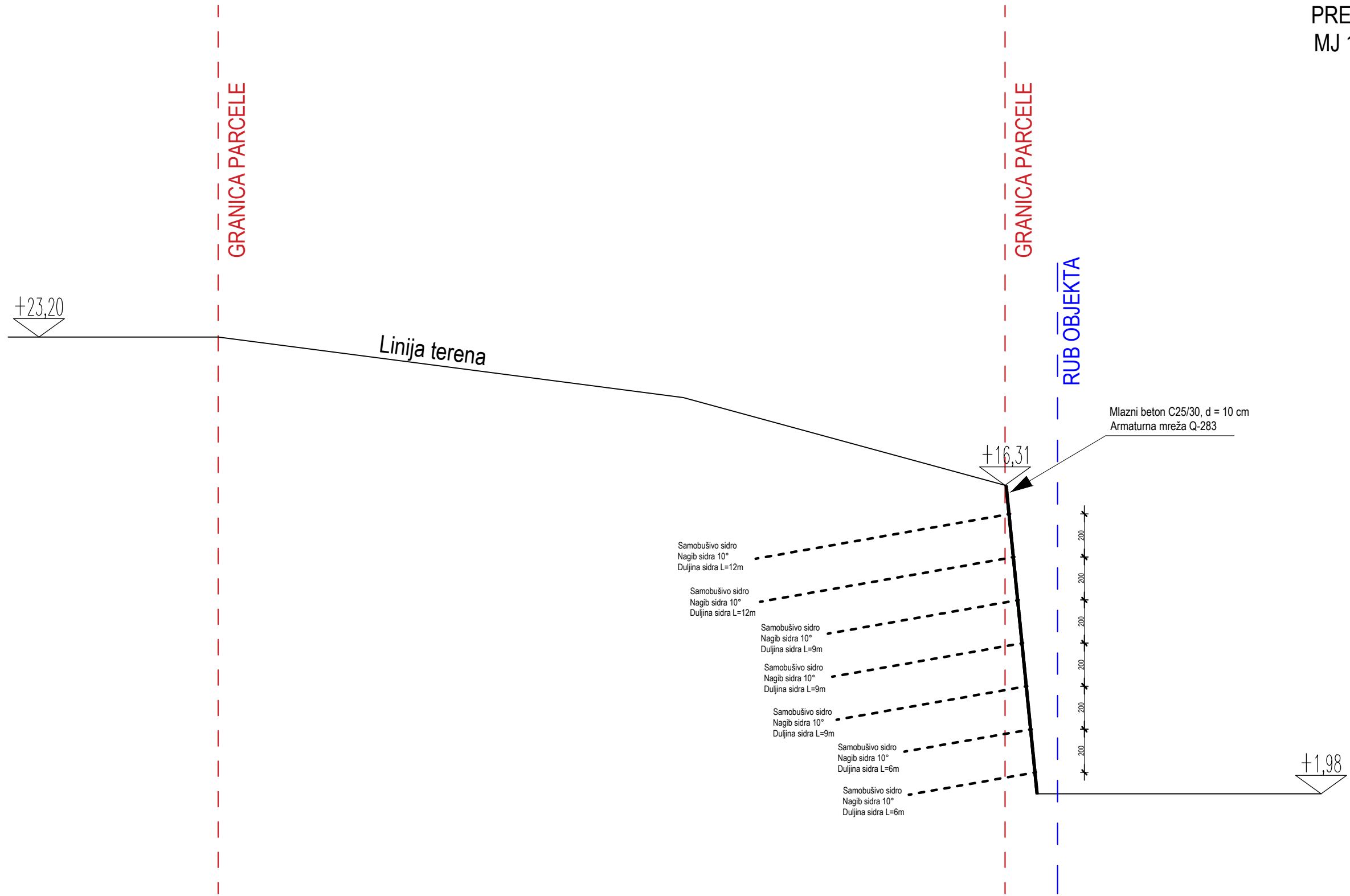
±0.00  
aps. 18.35

- GRANICA PARCELE
- NADZEMNI VOLUMEN
- ZATVORENI VOLUMEN PODZEMNOG DIJELA GRAĐEVINE
- DNO ISKOPA
- VRH ISKOPA

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

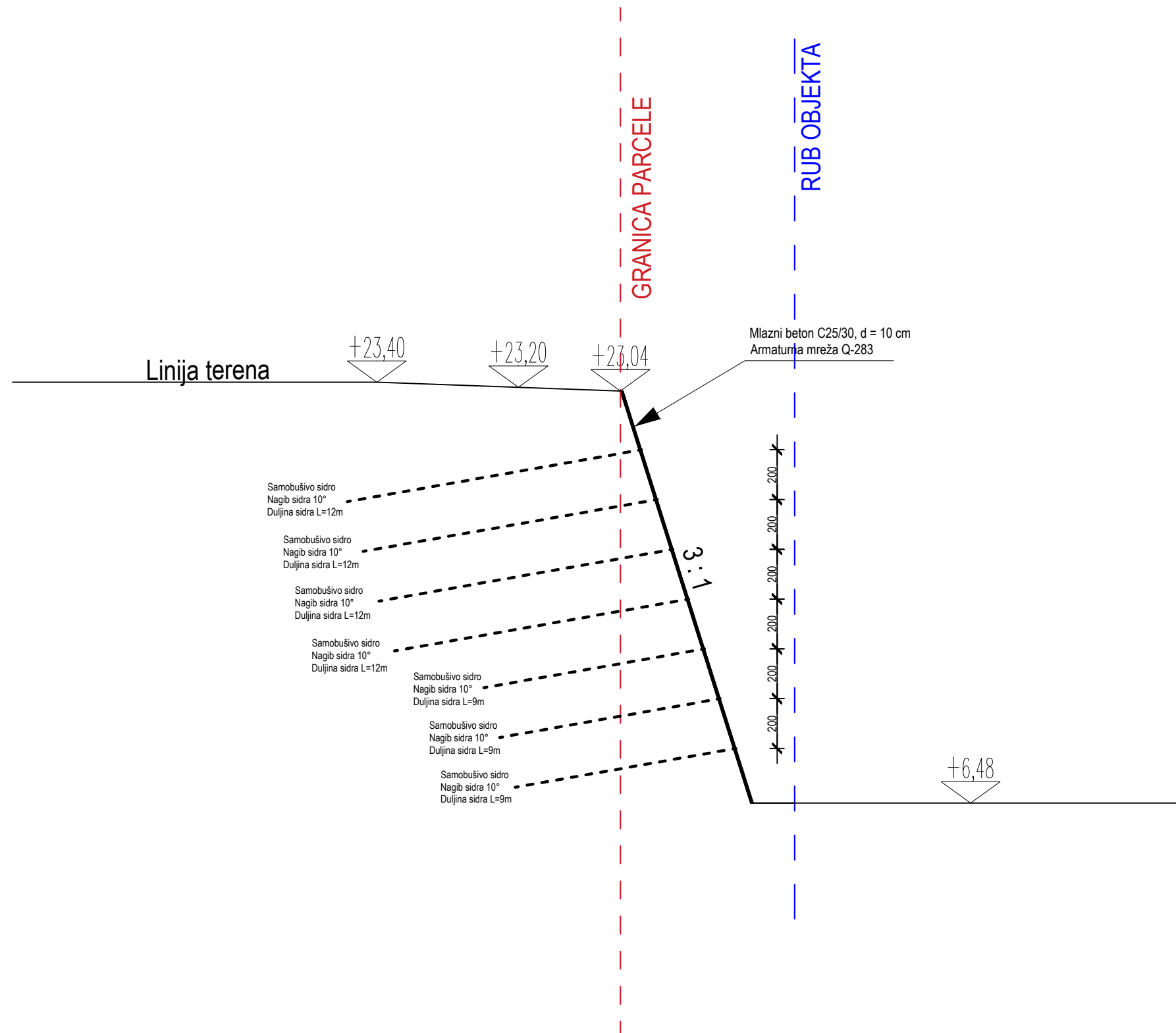
Investitor: <b>HOTEL KADULJA j.d.o.o.</b> Grljevačka 22, Podstrana	Vrsta projekta: <b>Glavni Geotehnički projekt</b>	
Građevina: <b>GRAĐEVINA UGOSTITELJSKO - TURISTIČKE NAMJENE -HOTEL</b> k.č.z 10050/1 i k.č.z 10048/1 k.o. Split		
Sadržaj nacrta: <b>SITUACIJA</b>	Mjerilo: <b>1:400</b>	Broj nacrta: <b>8.1</b>
Student: <b>Dino Katalinić</b>	Mjesto i datum: <b>Split, 2023</b>	

PRESJEK A-A  
MJ 1:200



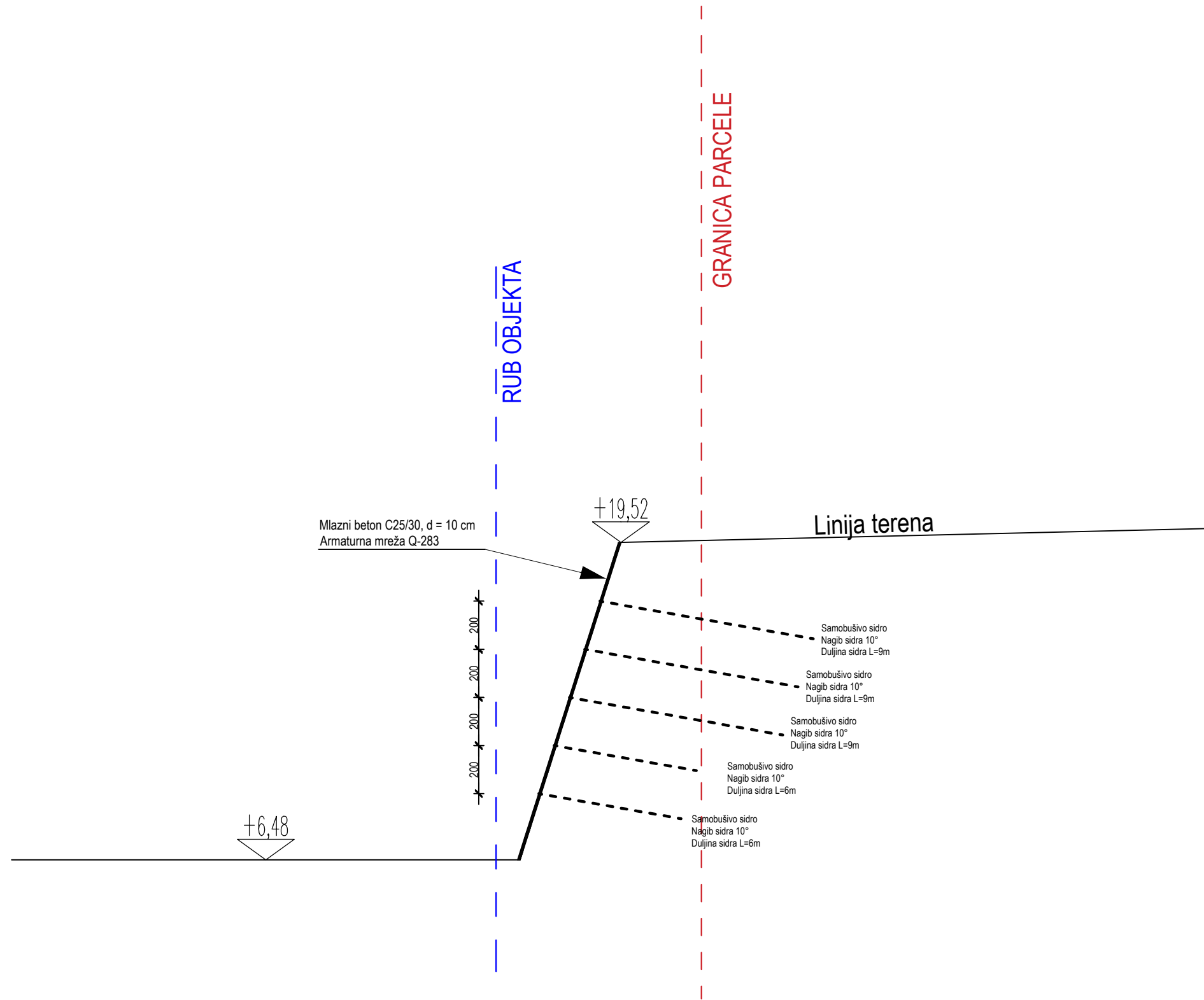
		
Investitor:	Vrsta projekta:	
HOTEL KADULJA j.d.o.o. Grljevačka 22, Podstrana	Glavni Geotehnički projekt	
Građevina:	GRAĐEVINA UGOSTITELJSKO - TURISTIČKE NAMJENE -HOTEL k.č.z 10050/1 i k.č.z 10048/1 k.o. Split	
Sadržaj nacrta:	Mjerilo:	Broj nacrta:
Poprečni presjek A-A	1:200	8.2
Student:	Mjesto i datum:	
Dino Katalinić	Split, 2023	

PRESJEK B1-B1  
MJ 1:200



		
Investitor:	Vrsta projekta:	
HOTEL KADULJA j.d.o.o. Grljevačka 22, Podstrana	Glavni Geotehnički projekt	
Građevina:	GRAĐEVINA UGOSTITELJSKO - TURISTIČKE NAMJENE -HOTEL k.č.z 10050/1 i k.č.z 10048/1 k.o. Split	
Sadržaj nacrta:	Mjerilo:	Broj nacrta:
Poprečni presjek B1-B1	1:200	8.3
Student:	Mjesto i datum:	
Dino Katalinić	Split, 2023	

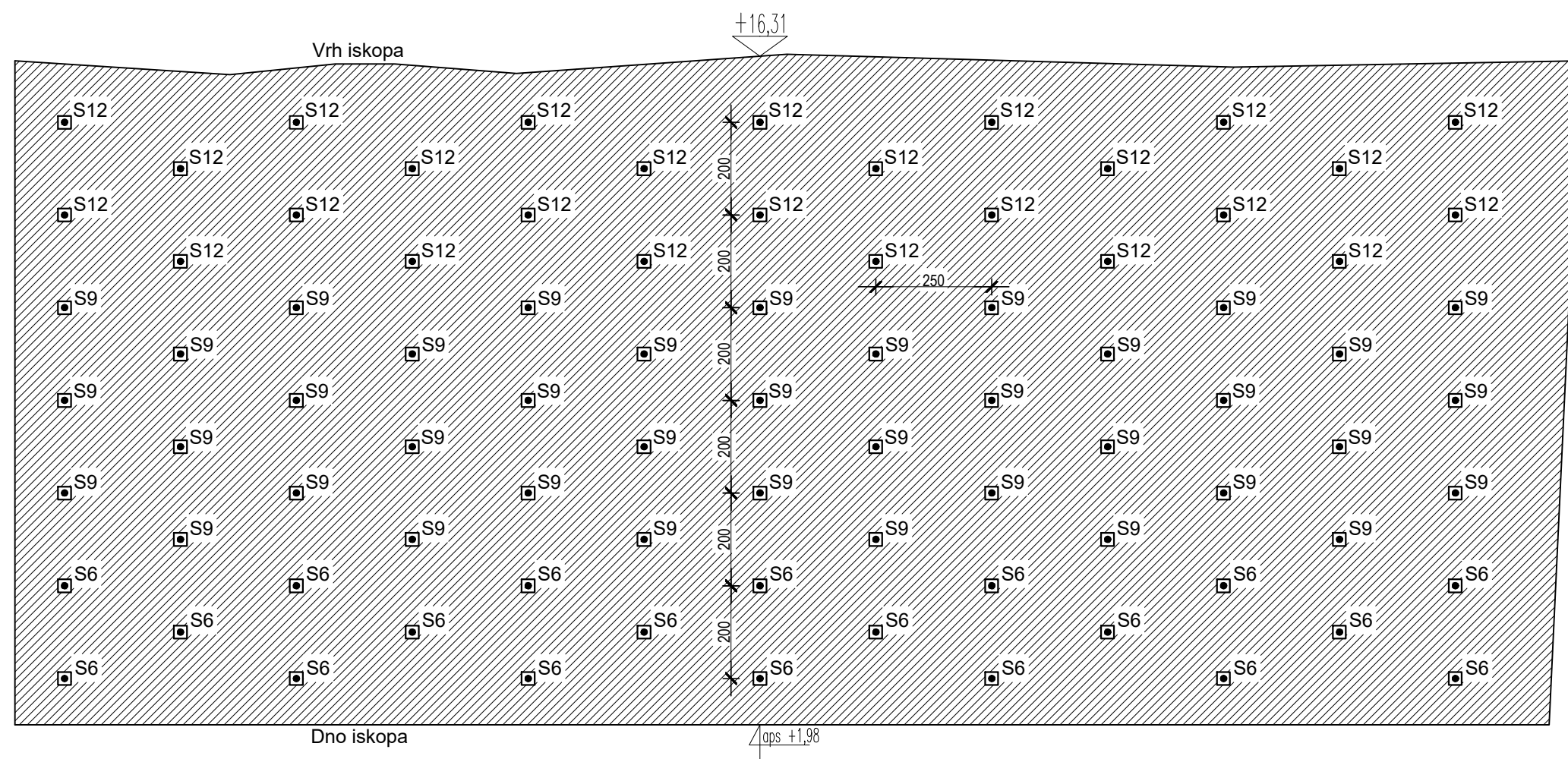
PRESJEK C-C  
MJ 1:200



		
Investitor: HOTEL KADULJA j.d.o.o. Grljevačka 22, Podstrana		Vrsta projekta: Glavni Geotehnički projekt
Građevina: GRAĐEVINA UGOSTITELJSKO - TURISTIČKE NAMJENE -HOTEL k.č.z 10050/1 i k.č.z 10048/1 k.o. Split		
Sadržaj nacрта: Poprečni presjek C-C	Mjerilo: 1:200	Broj nacрта: 8.4
Student: Dino Katalinić	Mjesto i datum: Split, 2023	



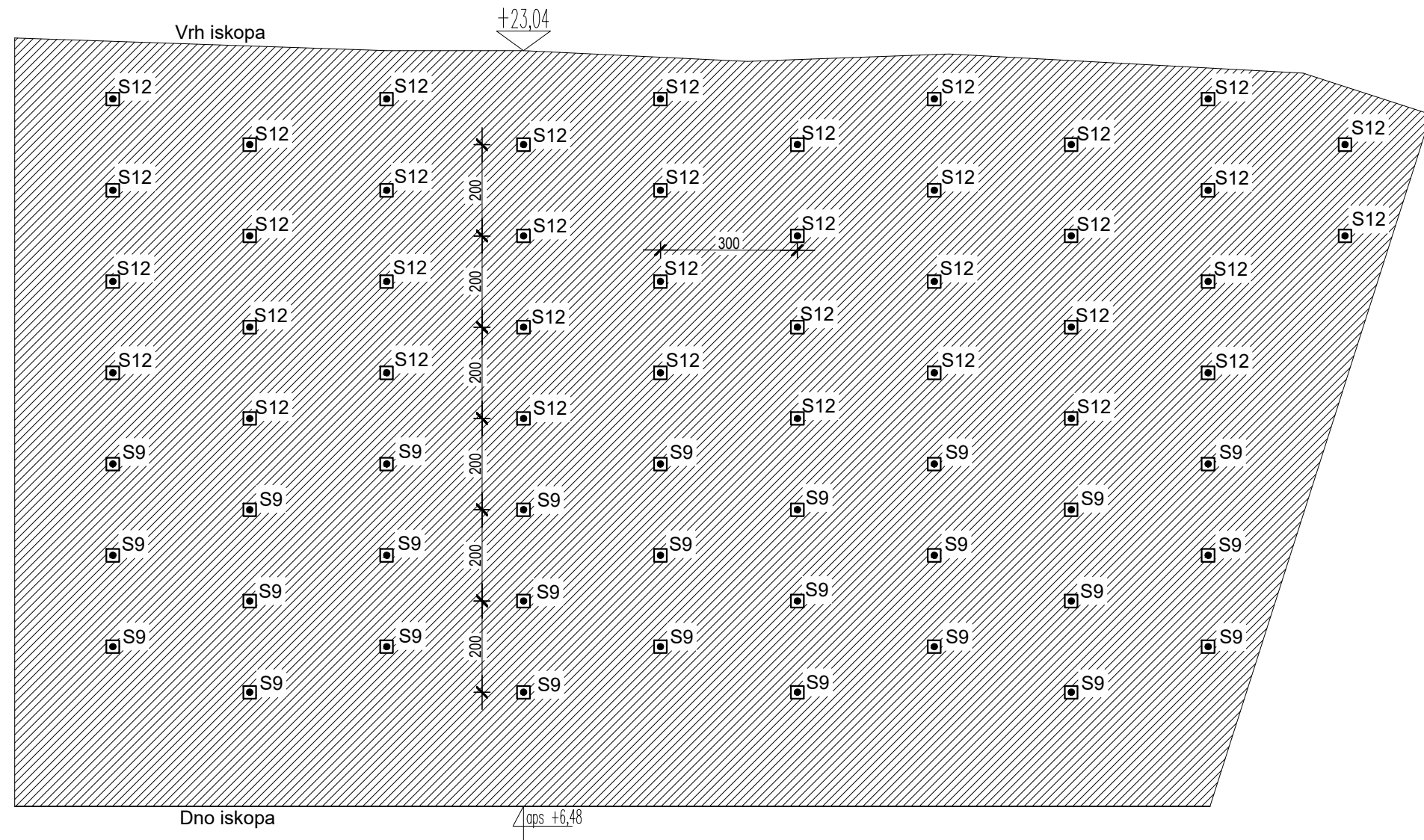
UZDUŽNI PRESJEK A-A  
MJ 1:200

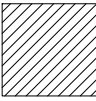



-  Mlazni beton  
C25/30, d=10cm  
Armatura mreža  
Q-283
-  Samobušivo sidro  
L=6,9,12 m

 SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE		
Investitor:	Vrsta projekta:	
HOTEL KADULJA j.d.o.o. Grjevačka 22, Podstrana	Glavni Geotehnički projekt	
Građevina: GRAĐEVINA UGOSTITELJSKO - TURISTIČKE NAMJENE -HOTEL k.č.z 10050/1 i k.č.z 10048/1 k.o. Split		
Sadržaj nacrt:	Mjerilo:	Broj nacrt:
Uzdužni presjek A-A	1:200	8.5
Student:	Mjesto i datum:	
Dino Katalinić	Split, 2023	

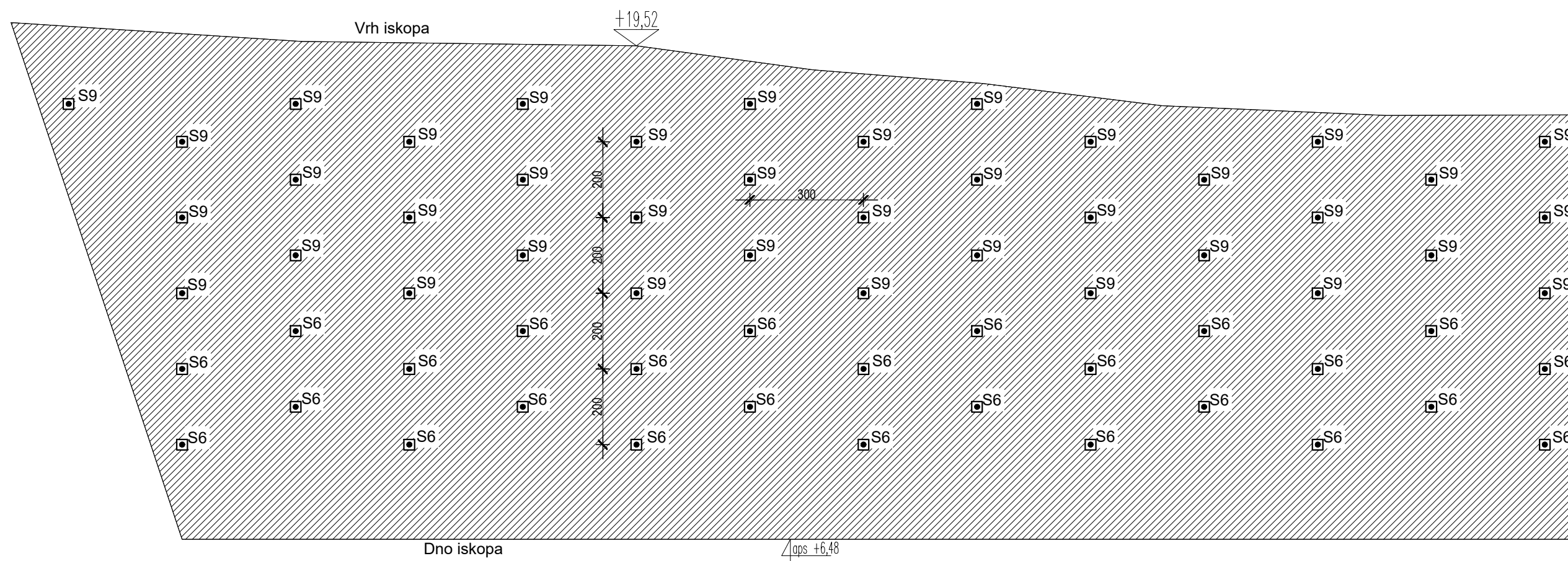
UZDUŽNI PRESJEK B1-B1  
MJ 1:200

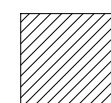



-  Mlazni beton  
C25/30, d=10cm  
Armatura mreža  
Q-283
-  Samobušivo sidro  
L=9 i 12 m

 SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE		
Investitor:	Vrsta projekta:	
HOTEL KADULJA j.d.o.o. Grjevačka 22, Podstrana	Glavni Geotehnički projekt	
Građevina: GRAĐEVINA UGOSTITELJSKO - TURISTIČKE NAMJENE -HOTEL k.č.z 10050/1 i k.č.z 10048/1 k.o. Split		
Sadržaj nacrt:	Mjerilo:	Broj nacrt:
Uzdužni presjek B1-B1	1:200	8.6
Student:	Mjesto i datum:	
Dino Katalinić	Split, 2023	

UZDUŽNI PRESJEK C-C  
MJ 1:200



-  Mlazni beton  
C25/30, d=10cm  
Armaturna mreža  
Q-283
-  Samobušivo sidro  
L=6 i 9 m m

 SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE		
Investitor:	Vrsta projekta:	
HOTEL KADULJA j.d.o.o. Grjevačka 22, Podstrana	Glavni Geotehnički projekt	
Građevina: GRAĐEVINA UGOSTITELJSKO - TURISTIČKE NAMJENE -HOTEL k.č.z 10050/1 i k.č.z 10048/1 k.o. Split		
Sadržaj nacrt:	Mjerilo:	Broj nacrt:
Uzdužni presjek C-C	1:200	8.7
Student:	Mjesto i datum:	
Dino Katalinić	Split, 2023	