

# Glavni projekt zaštite građevne jame za objekt "Atlantske plovidbe" na predjelu Gruž u Dubrovniku

---

Duvnjak, Filip

Master's thesis / Diplomski rad

2019

*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:123:579328>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-29**



*Repository / Repozitorij:*

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



UNIVERSITY OF SPLIT



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

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

# **DIPLOMSKI RAD**

**Filip Duvnjak**

**Split, 2019.**

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

**Filip Duvnjak**

**Glavni projekt zaštite građevne jame za objekt  
"Atlantske plovidbe" na predjelu Gruž u Dubrovniku**

**Diplomski rad**

**Split, 2019.**

# **Glavni projekt zaštite građevne jame za objekt "Atlantske plovidbe" na predjelu Gruž u Dubrovniku**

## ***Sažetak:***

Za potrebe temeljenja objekta "Atlantske plovidbe" u Dubrovniku, dimenzionirana je zaštitna konstrukcija građevne jame. Za dimenzioniranje je korištena kombinacija armirano betonskih bušenih pilota, glino betonskih pilota i samobušivih injektiranih sidara.

## ***Ključne riječi:***

Građevna jama, bušeni piloti, glino betonski piloti, samobušiva injektirana sidra

# **The main project: Construction of the foundation pit and its protection for „Atlantska plovidba“ building in Gruž, Dubrovnik**

## ***Abstract:***

For the purpose of "Atlantska plovidba" building foundation in the Dubrovnik, retaining structure for construction pit has been designed. Combination of bored piles, clay concrete piles and self-drilling anchors has been used in design.

## ***Keywords:***

Foundation pit, bored piles, clay piles, self-drilling anchors

*Zahvaljujem se mentoru Prof.dr.sc. Predragu Mišćeviću na pomoći tijekom izrade ovoga diplomskog rada i svojoj obitelji na podršci tijekom studiranja.*

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

STUDIJ: **DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**  
KANDIDAT: DUVNJAK FILIP  
BROJ INDEKSA: 712  
KATEDRA: **Katedra za geotehniku**  
PREDMET: Mehanika stijena

**ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD**

Tema: Glavni projekt zaštite građevne jame za objekt "Atlantske plovidbe" na predjelu Gruž u Dubrovniku

Opis zadatka: Projektom objekta trgovačkog centra predviđena je izgradnja dvije podzemne etaže. Zbog blizine okolnih objekata s obzirom na granicu obuhvata potrebno je izvesti vertikalne zasjeka na stranicama građevne jame. Potrebno je projektirati konstrukciju koja će omogućiti iskop stabilnih zasjeka građevne jame i omogućiti izvođenje radova "u suho" u građevnoj jami. Projekt je potrebno izraditi na osnovi podataka iz geotehničkih istražnih radova koji su provedeni na predmetnoj lokaciji.

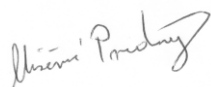
Prilozi: - idejno rješenje trgovačkog centra  
- izvještaj o geotehničkim istražnim radovima na predmetnoj lokaciji

U Splitu, 20.06.2019.

Voditelj Diplomskog rada:

prof.dr.sc. Predrag Mišćević

Predsjednik Povjerenstva  
za završne i diplomske ispite:  
Doc. dr. sc. Ivo Andrić



## Sadržaj

1. Tehnički opis.....	1
1.1. Uvod.....	1
1.2. Geotehnička obilježja tla i stijene na lokaciji istraživanja .....	2
1.2.1. Geotehnički istražni radovi.....	2
1.2.2. Laboratorijska ispitivanja .....	3
1.2.3. Odabir parametara slojeva tla i stijene .....	3
1.2.4. Seizmički parametri .....	10
1.3. Tehnologija izvođenja.....	12
1.3.1. Pripremni radovi.....	12
1.3.2. Izvedba armirano-betonskih i glino-betonskih pilota .....	12
1.3.3. Izvedba sidara.....	14
1.3.4. Kategorizacija i izvođenje iskopa.....	16
2. Model tla i geotehnički proračun.....	16
2.1. Općenito o programu Plaxis 2D .....	16
2.2. Proračun građevne jame u Plaxisu .....	17
2.3. Rezultati proračuna .....	27
2.3.1. Treća faza: aktivacija sidara.....	27
2.3.2. Četvrta faza: iskop građevne jame i snižavanje nivoa podzemne vode do dna građevne jame .....	33
2.3.3. Određivanje globalnog faktora sigurnosti cijelog presjeka, $c-\phi$ redukcija .....	39
2.4. Dimenzioniranje sidara .....	41
2.5. Dimenzioniranje pilota .....	43
2.6. Analiza količina vode koju treba crpiti.....	45
3. Troškovnik radova .....	46
4. Prilozi.....	50
4.1. Prilog 1: Rezultati laboratorijskih ispitivanja .....	50
4.2. Prilog 2: Karakteristični presjek .....	51
5. Literatura.....	52

# 1. Tehnički opis

## 1.1. Uvod

U ovom diplomskom radu obrađena je zaštita građevinske jame za potrebe izgradnje poslovno-stambenog objekta Atlantske plovidbe koji se nalazi u Dubrovniku, na k.č. 619/6 k.o. Gruž (Polje od Gruža). Predviđena poslovno stambena zgrada ima tri podrumске etaže (cca 12 m ispod razine terena tj. oko 9m ispod razine mora), a opseg građevinske jame iznosi približno 250 m. Prije izvođenja građevinskih radova parcela je služila kao parking. Sa sjeverne, zapadne i južne strane parcela graniči sa gradskim prometnicama.

Prethodnim ispitivanjima i istražnim bušenjem ustanovljeno je da se na predmetnoj lokaciji teren generalno sastoji od 6 različitih slojeva tla.

Kota temeljne ploče nalazi se na koti -8.65 m.n.m. tj. približno 11,65 m ispod razine postojećeg terena. Na toj dubini temeljenja prevladava dolomitna breča gornjeg pojasa trošenja, koja ima dobra mehanička svojstva, te je vrlo povoljna što se tiče nosivosti i slijeganja tla.

Zbog blizine i velikog utjecaja mora razina podzemne vode na predmetnoj lokaciji je vrlo visoka, te imamo veliki hidrostatički tlak na temeljnu konstrukciju. Iz tih razloga, kao i potrebe za zadovoljavanjem vodo nepropusnosti konstrukcije podrumskih etaža temeljenje se vrši na armiranobetonskoj temeljnoj ploči.

Veliki problem tijekom iskopa konstrukcije predstavlja visoka razina podzemne vode, njeno snižavanje i održavanje potrebne razine tijekom iskopa. Geotehničkim istraživanjima utvrđeni su veliki koeficijenti filtracije ( $k_{\text{prosječno}} \approx 3,5 \cdot 10^{-5}$  m/s, a maksimalno do  $1,2 \cdot 10^{-4}$  m/s), što uvelike otežava sniženje razine podzemne vode tijekom radova. Radi prethodno navedenog bočne strane građevne jame moraju biti izvedene tako da postignu potpunu vodo nepropusnost.

Obodna potporna konstrukcija izvodi se od armirano betonskih pilota promjera  $D_{AB}=0,96$  m i osnog razmaka od 1 metra. Vrh zida pilota postavlja se na kotu 2.40 m.n.m tj. 0.60 m ispod razine postojećeg terena. Da bi se postigla zahtijevana vodo nepropusnost između armirano betonskih pilota ugrađuju se glino-betonski piloti promjera  $D_{GB}=0,40$  m i osnog razmaka od 1 metra. Dužina pilota iznosi 24 metra.

Pomoću sidara osigurava se horizontalno pridržanje pilotne stjenke. Ugrađuje se jedan red samobušivih mlazno injektiranih sidara tipa kao što je R38x5,2 Termic. Sidra se ugrađuju pod kutom od 25° u odnosu na horizontalu na osnom razmaku od 2 metra. Ukupne su duljine 12 m, od čega je 2 m slobodna dionica, a 10 m injektirana dionica. Sidra predstavljaju vlačni element potporne konstrukcije koji prenosi pritiske tla izvan zone aktivnog klina tla.

Prethodno navedenim se mora osigurati stabilnost i nepropusnost građevne jame.



## 1.2. Geotehnička obilježja tla i stijene na lokaciji istraživanja

### 1.2.1. Geotehnički istražni radovi

Na prostoru izgradnje budućeg poslovno-stambenog objekta na k.č. 619/6. k.o. Gruž (Polje od Gruža) u Dubrovniku izvedena su opsežna geotehnička istraživanja. Izvedene su tri istražne bušotine s jezgrovanjem do dubine 20,0 m. U bušotini B-2 izvedena su karotažna mjerenja kojom se utvrdila zaglinjenost, gustoća i porozitet stjenovite mase. Nadalje, u bušotini B-2 izvedena su down-hole ispitivanja brzine širenja elastičnih valova. Tijekom bušenja izvedena su mjerenja vodopropusnosti slug-testom. Ukupno je izvedeno 17 mjerenja. Na 17 uzoraka tla i stijene obavljena su laboratorijska ispitivanja. U okviru geofizičkih istraživanja izvedena su 2 profila plitkom refrakcijskom seizmikom, te 2 profila metodom refrakcijskog mikrotremora (ReMi). Prema rezultatima geotehničkih istraživanja može se utvrditi da se podzemlje ispod istraživane lokacije sastoji generalno od 6 slojeva s različitim karakteristikama stjenovitog materijala. Prvotna površina terena pokrivena je nasipom koji se sastoji od izmjena krupnih odlomaka stijene i mješavine gline i sitnih odlomaka stijene i kršja. Ispod se nalazi visoko plastična glina. Slijede slojevi površinskog pojasa trošenja od potpuno rastrošne dolomitne breče, rastrošne do čestica veličine pijeska, zaglinjeni u gornjem dijelu, prahoviti u donjem dijelu ovog pojasa. Slijedi dolomitna breča gornje krede, u gornjem pojasu trošenja vrlo razlomljena i jako trošna, dok je osnovna stijena razlomljena, jako do umjereno trošna. Bušenjem istražne bušotine B-3, na dubini od 11,70 m do 14,50m, mjereno od površine terena, evidentirana je kaverna ispunjena pjeskovitim materijalom. Razina podzemne vode mjereno od površine terena u više navrata tijekom istražnog bušenja ustanovljena je maksimalno na dubini cca 1,4 m ispod površine terena. Predviđena stambeno-poslovna zgrada ima 3 podrumске etaže. Na projektiranoj dubini temeljenja (cca 12 m u odnosu na površinu terena) tlo je predstavljeno dolomitnom brečom dobrih mehaničkih svojstava tako da temeljenje sa stanovišta nosivosti tla i slijeganja nije upitno. Zbog visoke razine podzemne vode (max. cca 1 m ispod površine terena), tj. velikog hidrostatskog tlaka na temeljnu konstrukciju (oko 100-110 kPa) i potrebe izvedbe kvalitetne hidroizolacije podrumskog dijela zgrade predlaže se temeljenje zgrade na armiranobetonskoj temeljnoj ploči. Zaštita građevinske jame je na predmetnoj lokaciji vrlo zahtjevan zadatak prvenstveno zbog velikog sniženja i održanja razine podzemne vode tijekom izvedbe iskopa i podzemnog dijela građevine. Naime ispitivanjima vodopropusnosti u bušotinama utvrđeni su relativno veliki koeficijenti filtracije izazvani izraženim pukotinskim sustavom, zdrobljenim zonama i kavernama ( $k \approx 2 \cdot 10^{-5}$  m/s do  $6 \cdot 10^{-5}$  m/s), što zbog velikog gabarita zahvata uvelike otežava sniženje razine vode tijekom radova.

### 1.2.2. Laboratorijska ispitivanja

U laboratoriju su provedena sljedeća ispitivanja:

- granulometrijski sastav
- određivanje granice tečenja i plastičnosti
- ispitivanje jednodimenzionalne konsolidacije tla
- ispitivanje tla izravnim posmikom
- ispitivanje čvrstoće stijene pri opterećenju u točki (PLT)

Rezultati laboratorijskih ispitivanja su prikazani u prilogu 2.

### 1.2.3. Odabir parametara slojeva tla i stijene

Rezultati geotehničkih istražnih radova i laboratorijskih ispitivanja pokazuju da se na području istraživanja generalno nalazi 6 pojaseva s različitim karakteristikama :

- – **nasip (N)** – od površine terena do dubine 1,80 m-2,65 m; Površina je pokrivena s oko 5 cm debelim slojem asfalta. Nasipni materijal sastavljen je od izmjene krupnih odlomaka stijene i gline koja u sebi sadrži sitnije odlomke stijene ili kršje. Krupni odlomci prisutni su ispod asfalta pa do 0,5 m, te od 0,80 m do mjestimice 1,30 m. Glina je visoko plastična, crveno smeđe boje, mjestimice je prahovita. Efektivni kut unutarnjeg trenja  $\phi'=28^\circ$  i kohezija  $c'=15 \text{ KN/m}^2$  su određeni iskustveno. Youngov modul elastičnosti iznosi  $E=0,66 \text{ GPa}$ , a Poissonov koeficijent  $\nu=0,4$ . Jedinična težina vlažnog tla iznosi:  $\gamma=\rho \cdot g=1870 \text{ (kg/m}^3) \cdot 9,81 \text{ (m/s}^2) = 18,71 \text{ kN/m}^3$   
Jedinična težina zasićenog tla je određena iskustveno na temelju procjene i iznosi:  $\gamma_{ZAS}=20,58 \text{ kN/m}^3$ .
- – **glina (CH;dl)** – od dubine 1,80 m-2,65 m do 4,60 m-7,20 m; Dominantno je to visoko plastična glina, najčešće teško gnječive do polu čvrste konzistencije (mjereno džepnim penetrometrom gdje je u većini slučajeva vrijednost prelazila 200 kPa). Crvenosmeđe je boje. Mjestimice sadrži tamnosive do crne uklopke manganskog oksida. Potrebni parametri za ovaj sloj su dobiveni pomoću Standardnog penetracijskog testa u bušotinama B1 i B2.
  - Bušotina B1-Na dubini 4,60-5,05 m izveden je standardni penetracijski pokus (SPP) s 14 udaraca nožem (5,7,7).
  - Bušotina B2-Na dubini 3,10-3,55 m izveden je standardni penetracijski pokus (SPP) s 12 udaraca nožem (3,5,7).

U geotehničkom elaboratu se iz korelacije SPT broja udaraca i indeksa plastičnosti odredila nedrenirana posmična čvrstoća ( $C_u$ ), efektivna kohezija ( $C'$ ) i efektivni kut unutarnjeg trenja ( $\phi'$ ) za mjerenja u bušotinama:

- Bušotina B1  
 $N_{SR}=6$   
 $N_{60}=(ER/60) \cdot C_s \cdot C_B \cdot C_N \cdot \lambda \cdot N_{SR}$   
 gdje su:

(ER/60)=1 – koeficijent energije korištene opreme

$\lambda=0,95$  – korekcijski faktor zbog gubitka energije zbog dužine potisne šipke

$C_s=1$  – korekcija detalja uzorkivača

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

$C_N=1,25$  – korekcijski faktor zbog efektivnog pritiska nadsloja na mjestu ispitivanja

$N_{sr}$  – srednja vrijednost broja udaraca

$N_{60}=7.48$

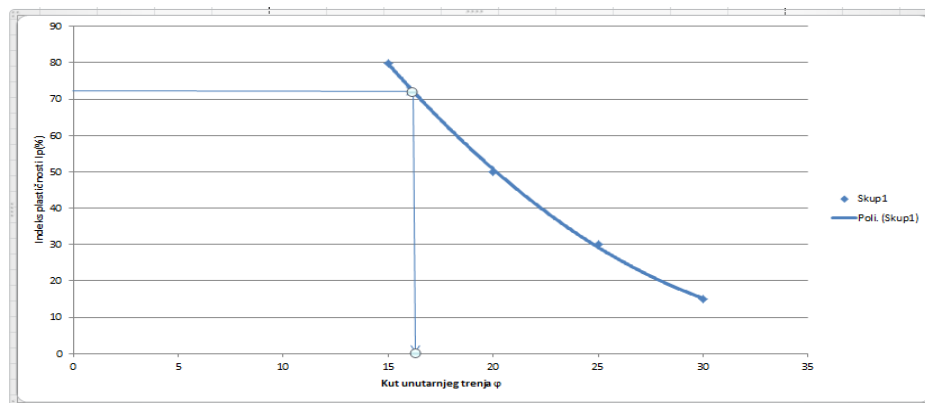
$C_u=f_1 \cdot N_{60} \cdot p_a$

Tablica broj 1. Korelacija između  $I_p$  i  $f_1$

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

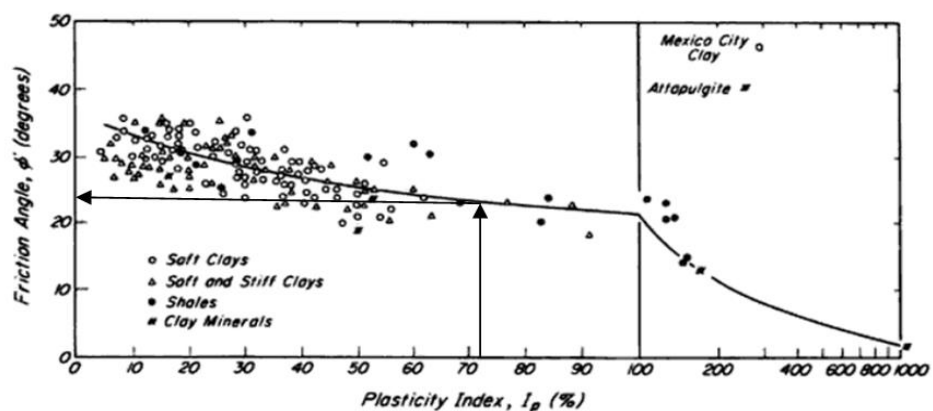
$I_p=72,57\%$  odakle slijedi  $f_1=0,045$

$C_u=0,045 \cdot 7,48 \cdot 100=33,66$  kPa



Slika 1. Korelacija između  $I_p$  i  $\phi'$  (British standard)

Očitano sa slike 1:  $\phi'=16.25^\circ$



Slika 2. Korelacija između  $I_p$  i  $\phi'$  (Terzaghi)

Očitano sa slike 2:  $\phi'=23^\circ$

- Bušotina B2

$$N_{SR}=5$$

$$N_{60} = (ER/60) * C_s * C_B * C_N * \lambda * N_{SR}$$

gdje su:

$(ER/60)=1$  – koeficijent energije korištene opreme

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

$C_s=1$  – korekcija detalja uzorkivača

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

$C_N=1,25$  – korekcijski faktor zbog efektivnog pritiska nadsloja na mjestu ispitivanja

$N_{sr}$  – srednja vrijednost broja udaraca

$$N_{60}=6,23$$

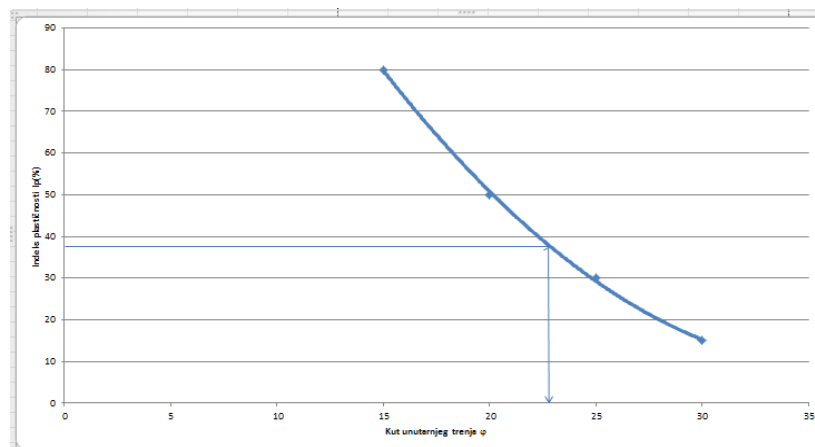
$$C_U=f_1 * N_{60} * p_a$$

Tablica broj 2. Korelacija između  $I_p$  i  $f_1$

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

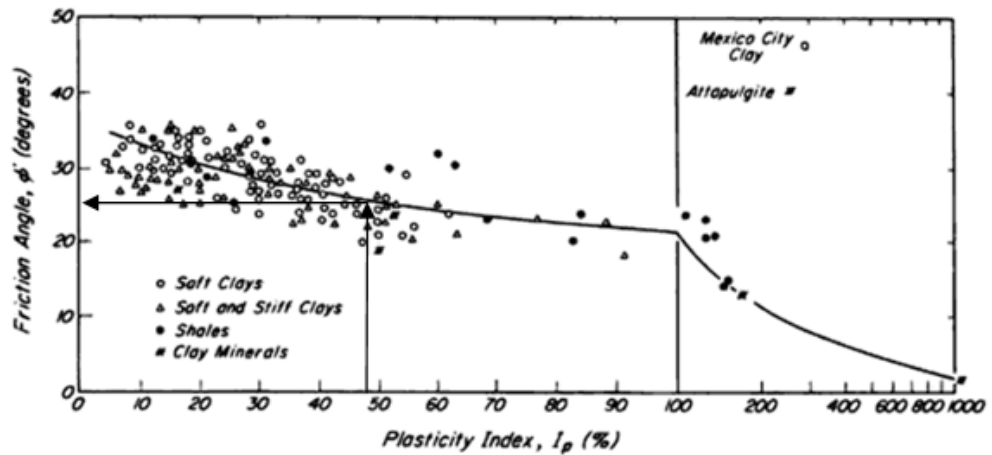
$I_p=38,59$  % odakle slijedi:  $f_1=0,045$

$$C_U=0,045 * 6,23 * 100=28,035 \text{ kPa}$$



Slika 3. Korelacija između  $I_p$  i  $\varphi'$  (British standard)

Očitano sa slike 3:  $\varphi'=23^\circ$

Slika 4. Korelacija između  $I_p$  i  $\phi'$  (Terzaghi)

Očitano sa slike 4:  $\phi' = 25,5^\circ$

Srednja vrijednost nedrenirane posmične čvrstoće je  $c_u = 30,8$  kPa, a efektivnog kuta unutarnjeg trenja  $\phi' = 22^\circ$ .

Efektivna kohezija je određena iz korelacije sa nedreniranom posmičnom čvrstoćom:  $c' = (1/3)c_u = 10,26$  kPa

Udio praha u glini je 30-40 %, a pijeska najčešće manji od 10 %. To je deluvijalna glina nastala potpunim trošenjem i raspadanjem stijene podloge, te kratkotrajnim transportom na blagoj padini. Youngov modul elastičnosti iznosi  $E = 0,59$  GPa, a Poissonov koeficijent  $\nu = 0,4$ .

Jedinična težina vlažnog tla iznosi:

$$\gamma = \rho * g = 1780 \text{ (kg/m}^3\text{)} * 9,81 \text{ (m/s}^2\text{)} = 17,46 \text{ kN/m}^3$$

Jedinična težina zasićenog tla je određena iskustveno na temelju procjene i iznosi:

$$\gamma_{ZAS} = 18 \text{ kN/m}^3$$

- – **potpuno rastrošna dolomitna breča do čestica veličine pijeska, zaglinjeno (Cb-SC(D);PP)** – od dubine 4,60 m-7,20 m do dubine 6,30 m-7,50 m; To je srednje zbijena mješavina sitnozrnatih oštrobriđnih čestica veličine pijeska, povezanih s glinom. Nerijetko sadrži do 5mm sitne pjeskovito-prahovite kongregacije. Debljina ovih naslaga povećava se prema sjevernom dijelu istraživane lokacije. To je gornji dio površinskog pojasa trošenja dolomitne breče iz podloge. Efektivni kut unutarnjeg trenja  $\phi' = 38^\circ$  i kohezija  $c' = 20$  kN/m<sup>2</sup> su određeni na osnovu procjene (karakteristične vrijednosti). Youngov modul elastičnosti iznosi  $E = 0,77$  GPa, a Poissonov koeficijent  $\nu = 0,4$ . Jedinična težina vlažnog tla iznosi:  $\gamma = \rho * g = 2330 \text{ (kg/m}^3\text{)} * 9,81 \text{ (m/s}^2\text{)} = 22,85 \text{ kN/m}^3$  Jedinična težina zasićenog tla je određena iskustveno na temelju procjene i iznosi:  $\gamma_{ZAS} = 23,153 \text{ kN/m}^3$
- – **potpuno rastrošna dolomitna breča do čestica veličine pijeska, prahovito (Cb-SM(D);PP)** – od dubine 6,30 m-7,50 m do dubine 7,80 m-8,90 m; Za razliku od pojasa iznad ovog razlikuje se po tome što osim sitnozrnatih i oštrobriđnih čestica veličine pijeska sadrži u znatnoj mjeri čestice veličine praha. Također sadrži mjestimice sitne odlomke stijene veličine do 1 cm. Prevladava sivo smeđa do svjetlo smeđa boja

naslaga. Mješavina je generalno slabo vezana, rastresita do srednje zbijena. Zajedno s naslagama opisanim gore pripada površinskom pojasu trošenja stjenovite mase u podlozi. Propusnost u ovim naslagama je oko  $1,15 \times 10^{-6}$  m/s. Efektivni kut unutarnjeg trenja  $\phi' = 38^\circ$  i kohezija  $c' = 20$  kN/m<sup>2</sup> su određeni na osnovu procjene (karakteristične vrijednosti). Youngov modul elastičnosti iznosi  $E = 1,11$  GPa, a Poissonov koeficijent  $\nu = 0,4$ .

Jedinična težina vlažnog tla iznosi:  $\gamma = \rho * g = 2150 \text{ (kg/m}^3) * 9,81 \text{ (m/s}^2) = 21,09 \text{ kN/m}^3$

Jedinična težina čvrstih čestica iznosi:  $\gamma_S = G * \gamma_W = 2,95 * 9,81 \text{ (kN/m}^3) = 28,94 \text{ kN/m}^3$

Jedinična težina zasićenog tla iznosi:  $\gamma_{ZAS} = (1-n) * \gamma_S + n * \gamma_W = 0,8 * 28,94$

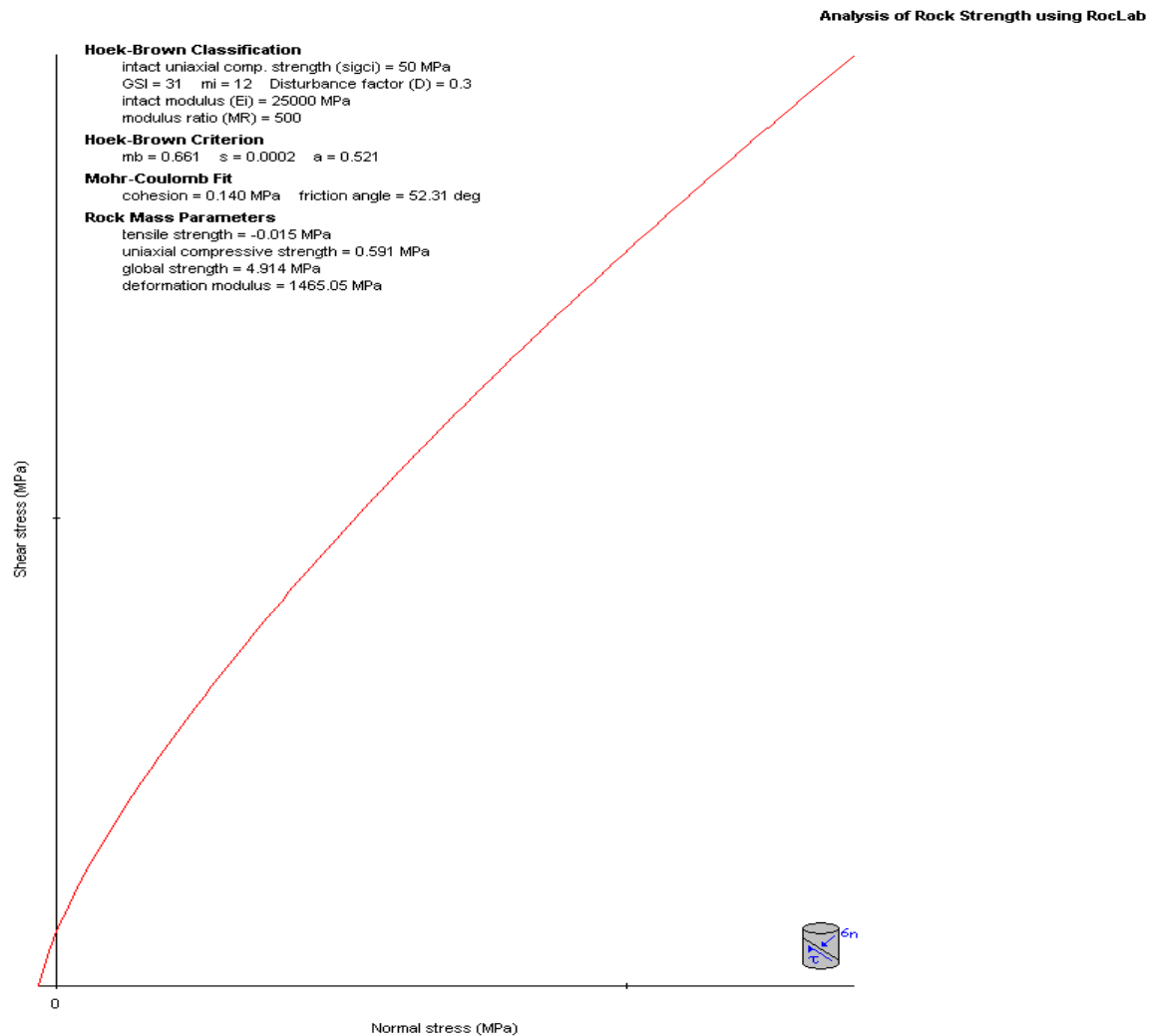
$\text{(kN/m}^3) + 0,2 * 9,81 \text{ (kN/m}^3) = 25,114 \text{ kN/m}^3$

- – **dolomitna breča gornjeg pojasa trošenja (Br(D);GP)** – od dubine 7,80 m-8,90 m do dubine približno 14,00 m-17,00 m; To je vrlo razlomljena i vrlo trošna (HW) stjenovita masa, gornjokredne starosti (K23–mastriht). Često se izmjenjuju zone krupnog i sitnog kršja. Na rijetkim cjelovitim blokovima zapažaju se diskontinuiteti nagiba oko  $45^\circ$  što bi odgovaralo slojnim plohama. Nadalje se javljaju subvertikalne pukotine, većinom bez ispune, ili je ispunjena glinovita, ali bušenjem isprana. Zijev pukotina je veći od 5 mm. Plohe pukotina su ravne do umjereno valovite, umjereno hrapave. Pukotine nagiba oko  $75^\circ$ , sadrže rasjedne strije s kutom od  $45^\circ$ , ravnih su i glatkih ploha. Vjerojatna je pojava kaverni sa ili bez ispune. Bušenjem na lokaciji B-3 na dubini od 11,70 m do 14,50 m evidentirana je kaverna ispunjena sitno zrnatim pjeskovitim materijalom, sive boje. Izmjerene su vodopropusnosti u rasponu od  $6,31 \times 10^{-5}$  m/s do  $4,81 \times 10^{-6}$  m/s, a srednja vrijednost iznosi  $2,77 \times 10^{-5}$  m/s. GSI se kreće od 30 do 32. Uz zone rasjeda koje su zabilježene geofizičkim istraživanjima GSI se može kretati od 25 do 29. Kut unutarnjeg trenja  $\phi' = 52,3^\circ$  i kohezija  $c' = 140$  kN/m<sup>2</sup> su određeni pomoću računalnog programa RockLab. Youngov modul elastičnosti iznosi  $E = 2,47$  GPa, a Poissonov koeficijent  $\nu = 0,4$ .

Jedinična težina vlažnog tla iznosi:  $\gamma = \rho * g = 2640 \text{ (kg/m}^3) * 9,81 \text{ (m/s}^2) = 25,84 \text{ kN/m}^3$

Jedinična težina čvrstih čestica iznosi:  $\gamma_S = G * \gamma_W = 2,95 * 9,81 \text{ (kN/m}^3) = 28,94 \text{ kN/m}^3$

Jedinična težina zasićenog tla iznosi:  $\gamma_{ZAS} = (1-n) * \gamma_S + n * \gamma_W = 0,9 * 28,94$   
 $\text{(kN/m}^3) + 0,2 * 9,81 \text{ (kN/m}^3) = 26,94 \text{ kN/m}^3$



Slika 5. Prikaz ulaznih veličina sa kojima se ušlo u analizu u programu RockLab za peti sloj

- – **dolomitna breča osnovne stijene (Br(D);OS)** – od dubine približno 14,00 m-17,00 m; Prijelaz između gornjeg pojasa trošenja i osnovne stijene je postepen i nepravilan. Osnovna stijena je razlomljena, mjestimice jače gdje se pojavljuje i dolomitno kršje. Jako do umjereno trošna (HW-MW). Najveća razlomljenost stjenovite mase, evidentirana je na bušotini B-3, koja je smještena u južnom dijelu istraživane lokacije. Slojevitost je nagiba oko 45°, s kalcitnom ispunom, ravnih do valovitih, glatkih ploha. Rasjedne strije na ovim plohama ukazuju da je bilo i međuslojnih pomaka. Također se javljaju subvertikalne pukotine valovitih ploha, umjereno hrapavih, ali uz moguće zone rasjeda i glatkih do skliskih ploha osobito ako sadrže glinovito-kalcitnu ispunu. Jednoosna tlačna čvrstoća uzoraka stijene dobivena PLT-metodom kretala se u rasponu od 36,55 MPa do 72,84 MPa. Izmjerene su vodopropusnosti u rasponu od  $1,77 \times 10^{-4}$  m/s do  $3,33 \times 10^{-5}$  m/s, a srednja iznosi  $8,59 \times 10^{-5}$  m/s. GSI se kreće od 45 do 47. U zonama rasjeda koje su zabilježene geofizičkim istraživanjima GSI se može kretati od 25 do 29. Kut unutarnjeg trenja  $\phi' = 56,8^\circ$  i kohezija  $c' = 254$  KN/m<sup>2</sup> su

određeni pomoću računalnog programa RockLab. Youngov modul elastičnosti iznosi  $E=4,23\text{GPa}$ , a Poissonov koeficijent  $\nu=0,47$ .

Jedinična težina vlažnog tla iznosi:

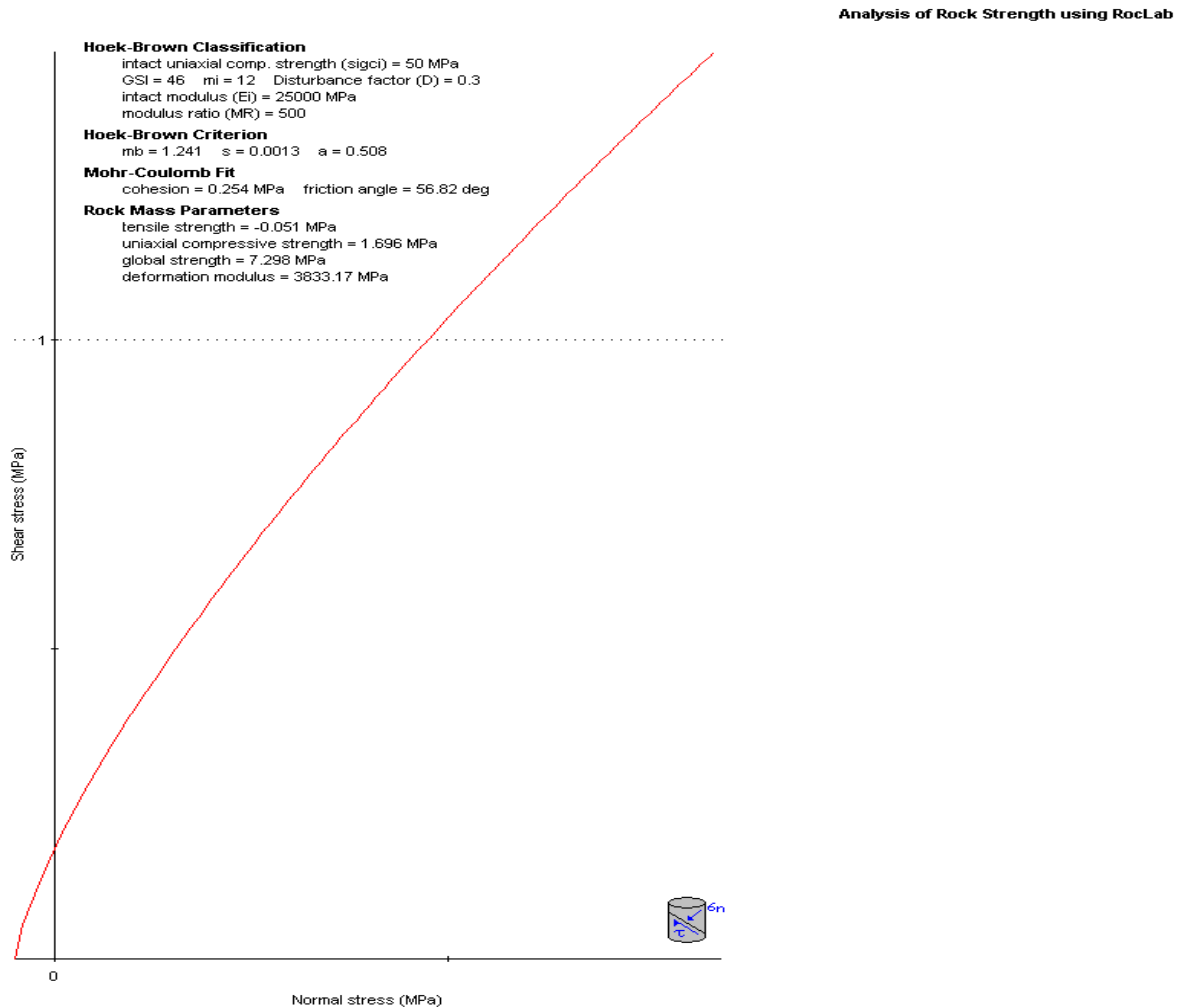
$$\gamma = \rho * g = 2720 \text{ (kg/m}^3\text{)} * 9,81 \text{ (m/s}^2\text{)} = 26,68 \text{ kN/m}^3$$

Jedinična težina čvrstih čestica iznosi:

$$\gamma_s = G * \gamma_w = 2,95 * 9,81 \text{ (kN/m}^3\text{)} = 28,94 \text{ kN/m}^3$$

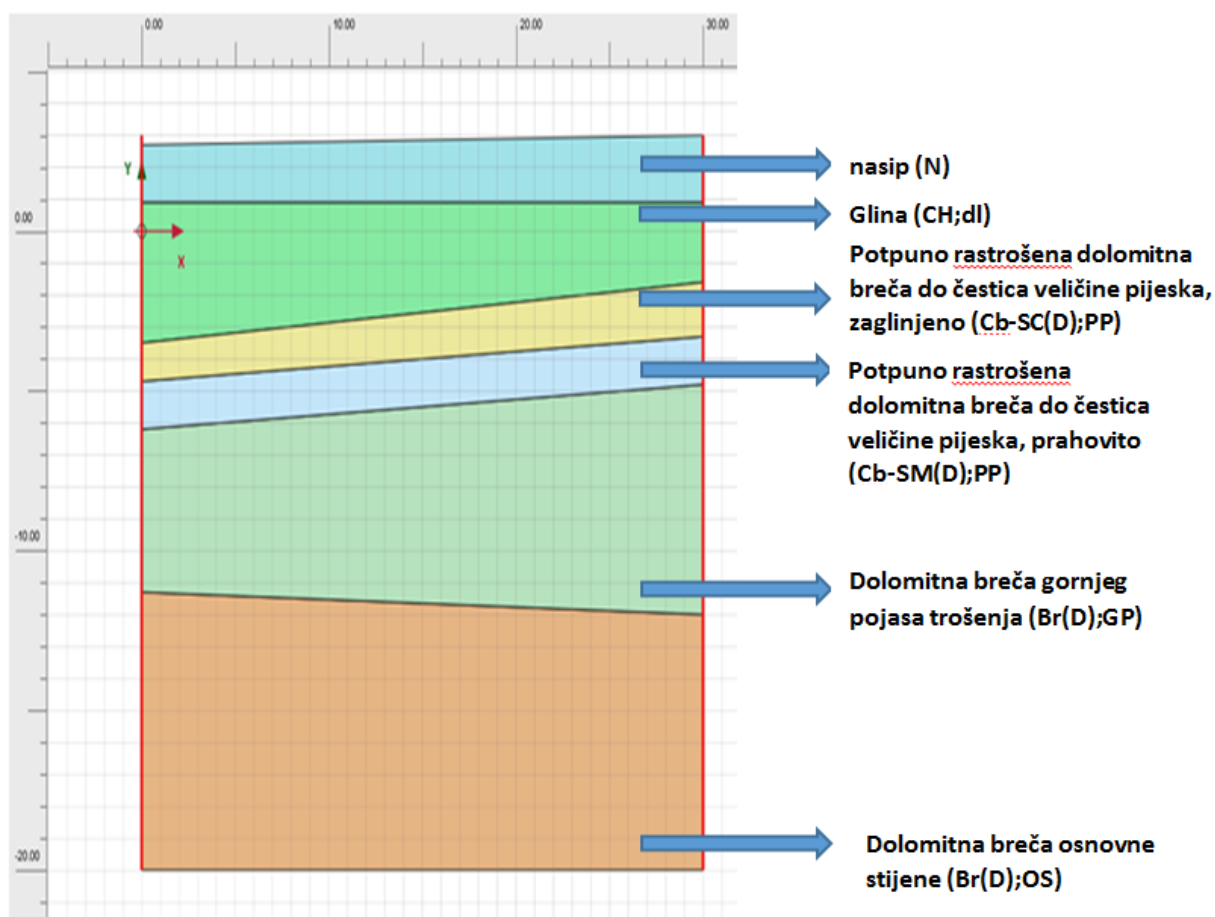
Jedinična težina zasićenog tla iznosi:

$$\gamma_{ZAS} = (1-n) * \gamma_s + n * \gamma_w = 0,95 * 28,94 \text{ (kN/m}^3\text{)} + 0,05 * 9,81 \text{ (kN/m}^3\text{)} = 27,98 \text{ kN/m}^3$$



Slika 6. Prikaz ulaznih veličina sa kojima se ušlo u analizu u programu RockLab za šesti sloj





Slika 7. Presjek između bušotina B2 i B1 u računalnom programu PLAXIS-2D

Tablica 3. Parametri slojeva tla (karakteristične vrijednosti)

	$\gamma(\text{kN/m}^3)$	$\gamma_{\text{SAT}}(\text{kN/m}^3)$	$C_k'(\text{kN/m}^2)$	$\varphi_k'(^{\circ})$	$E_{\text{oed}}(\text{GPa})$	$\nu'$
Prvi sloj	18,71	20,58	15	28	0,66	0,4
Drugi sloj	17,46	18,5	10,26	22	0,59	0,4
Treći sloj	22,85	23,154	20	38	0,77	0,4
Četvrti sloj	21,09	23,146	20	38	1,11	0,4
Peti sloj	22,56	24,81	140	52,3	2,47	0,4
Šesti sloj	23,84	25,64	254	56,8	4,23	0,4

#### 1.2.4. Seizmički parametri

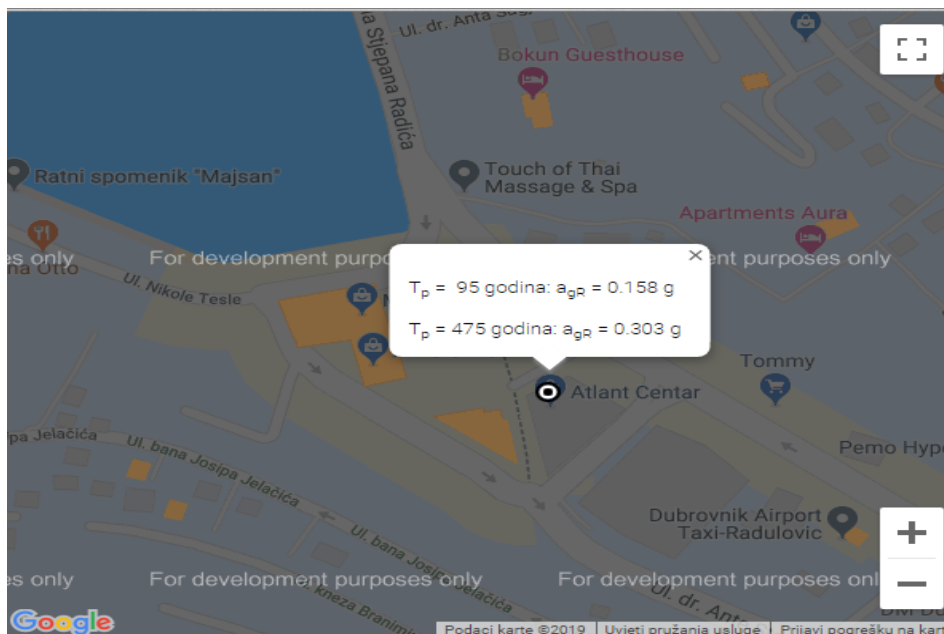
Temeljno tlo se prema Eurocodu može svrstati u razred "B" po dokumentu (HRN ENV, 1998-1-1:2011). Razred „B“ je definiran kao: Naslage gusto zbijenog pijeska, šljunka ili čvrstih glina, debele najmanje nekoliko desetaka metara, karakterizirane postepenim porastom mehaničkih karakteristika sa dubinom. Brzina širenja poprečnih valova  $V_{s,30}=360-800$  m/s.

Treba napomenuti da je dobiveni model, prema litološkoj determinaciji (trošna stjenovita masa, dolomitna breča), bliži kategoriji tla tipa "A", prema EC8. Razloge treba tražiti u stanju

tektonizirane razlomljene stjenovite mase podloge, kaverni ispunjenih pijeskom, što po karakteristikama elastičnog odziva spada u kategoriju "B" tipa tla prema EC8.

Tablica 4. Litološka obilježja po EC8

EC8 Tip tla	Litološka obilježja presjeka	Parametri		
		$V_{s,30}$ (m/s)	$N_{SPT}$ (br. udaraca /30cm)	$C_u$ (kPa)
A	Stijena ili stjenovita masa, uključujući manje od 5 m trošnog materijala na površini.	> 800	-	-
B	<b>OBJEKT ATLANTSKE PLOVIDBE / GRUŽ</b> Naslage gusto zbijenog pijeska, šljunka ili čvrstih glina, debele najmanje nekoliko desetaka metara, karakterizirane postepenim porastom mehaničkih karakteristika sa dubinom.	360 - 800	> 50	> 250



Slika 8. 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):

Maksimalna horizontalna akceleracija:  $a_{gR}=0.158g$

Horizontalni seizmički koeficijent:  $k_h=\alpha*S/r=0,0948$

$\alpha=a_{gR}/g=0.158g/g=0.158$

$S=1,2$  - parametar tipa tla

$R=2,0$  - parametar dozvoljenog pomaka konstrukcije

Vertikalni seizmički koeficijent:  $k_v=0.5k_h=0,0474$

## 1.3. Tehnologija izvođenja

### 1.3.1. Pripremni radovi

U pripreme radove spada organizacija gradilišta, organizacija transporta i deponiranja materijala potrebnog za rad, priprema radnog platoa. Također je potrebno osigurati pristupne putove i nesmetano kretanje vozila i ljudi na gradilištu.

### 1.3.2. Izvedba armirano-betonskih i glino-betonskih pilota

Prije početka izvođenja iskopa pilota potrebno je iskolčiti uzdužnu poziciju osi pojedinih pilota. Posebno se kolče armirano-betonski piloti, a posebno glino-betonski piloti. Armirano-betonski piloti su promjera  $D_{AB}=0,96$  m i osnog razmaka  $z_{AB}=1,0$  m, a glino-betonski piloti promjera  $D_{GB}=0,40$  m i osnog razmaka  $z_{GB}=1,0$  m. Dužina svih pilota je  $H=24,0$  m. Bušenje do kontakta sa zonama kompaktne stijene (cca 50 % iskopa) izvodi se rotacionom bušilicom uz istovremeno napredovanje zaštitne kolone cikličkom rotacijom (laviranjem) i hidrauličkim utiskivanjem (Slika ). Bušenje u zonama kompaktne stijene izvodi se klaster čekićem (cluster hammer) i bez zaštitne kolone (Slika ). Zatim se vrši čišćenje dna bušotine. Da bi se osigurala vododrživost potrebno je osigurati vertikalnost pilota tijekom izvedbe. Tijekom iskopa geotehnički nadzor treba provjeriti odgovara li iskopana dubina projektnoj dubini te da li slojevi tla odgovaraju onima iz geotehničkog elaborata.

#### Armirano betonski piloti

Nakon iskopa ugrađuju se armaturni koševi, gdje se koristi armatura razreda B500B. Armaturni koševi složeni su od tri grupe šipki:

- Obruči, koji služe za ukrućenje koševa
- Uzdužne šipke, za preuzimanje momenta savijanja
- Spiralna armatura za preuzimanje poprečnih sila

Armatura se veže čeličnom paljenom žicom. Radi simetričnog postavljanja koševa potrebno je ugraditi vodilice, što se definira u armaturnom planu. Unutar armirano-betonskih pilota na mjestima gdje je potrebno bušenje sidara postaviti će se cijevi da bi se to bušenje izbjeglo.

Nakon postavljanja armature ugrađuje se beton razreda čvrstoće C 25/30 kontraktor postupkom uz istovremeno izvlačenje kolone (tamo gdje je postavljena kolona). Betoni koji se koriste za izvedbu pilota prema važećim normama moraju ispunjavati kriterije koji su definirani projektom. Kvaliteta čelika, betona i njegovih komponenti treba odgovarati tehničkim propisima za betonske konstrukcije.

**Glino-betonski piloti**

Glino-betonski piloti su ne armirani, rade se od bentonita sa dodatkom do 5% cementa i imaju slijedeće karakteristike:

- $C_d=10$  kPa
- $\varphi_d=28^\circ$
- $E=80\ 000$  kPa

Nakon iskopa ugrađuje se glino-beton kontraktor postupkom uz istovremeno izvlačenje kolone (tamo gdje je postavljena). Glino-betoni koji se koriste za izvedbu pilota prema važećim normama moraju ispunjavati kriterije koji su definirani projektom.

Međutim tijekom samog modeliranja njihovi parametri nisu ni bitni jer cijelo opterećenje preuzimaju armirano betonski piloti.

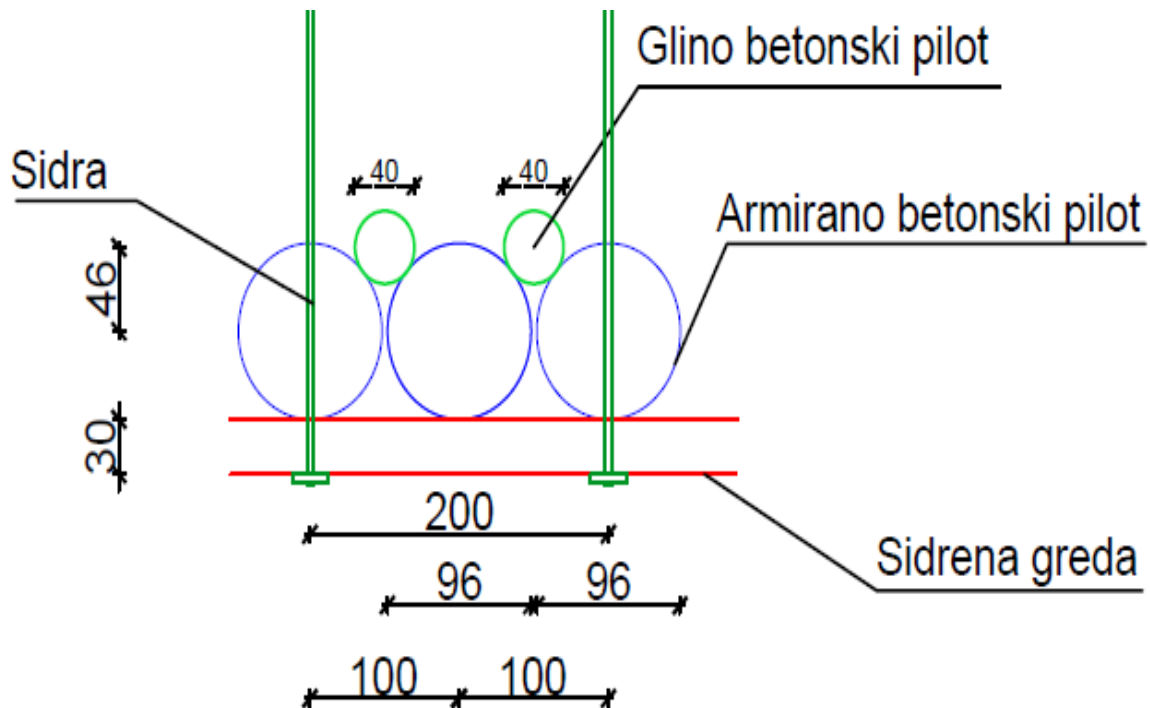
**Izrada naglavne grede pilotne stijene**

Nakon ugradnje armirano-betonskih i glino-betonskih pilota uređuje se gornji rub pilota na projektnu visinu (skida se zadnjih 50 cm pilota), te se nakon toga izrađuje naglavna greda koja povezuje pilote čime se postiže cjelovitost sustava pilota. Preko naglavne grede se vrši stalna preraspodjela sila i deformacija. Zbog toga naglavna greda predstavlja element kontinuiteta pilotne stijene. Da bi tu ulogu naglavna greda mogla stvarno preuzeti, treba je izvesti prije iskopa unutar građevne jame. Izvodi se betoniranjem u dvostranoj oplati. Ugrađuje se beton razreda čvrstoće C 25/30 i armatura razreda B500B. Dimenzije naglavne grede su 100x60 cm. U gredu se ugrađuje konstruktivna armatura. Način pripreme betona, ugradnja betona i armature, kao i kvaliteta ugrađenog materijala trebaju biti u skladu s odgovarajućim propisima. Kvaliteta čelika, betona i njegovih komponenti treba odgovarati tehničkim propisima za betonske konstrukcije.

**Faznost izvedbe pilotne stijene:**

1. Kolčenje uzdužne pozicije osi pojedinih pilota
2. Bušenje AB pilota do kontakta sa zonama kompaktne stijene
3. Bušenje AB pilota u zonama kompaktne stijene
4. Ugradnja armaturnih koševa
5. Ugradnja betona
6. Bušenje GB pilota do kontakta sa zonama kompaktne stijene
7. Bušenje GB pilota u zonama kompaktne stijene
8. Ugradnja glinobetona
9. Uređenje gornjeg ruba pilota
10. Izrada naglavne grede pilotne stijene

(Karakteristični presjek u prilogu 2.)



Slika 9. Tlocrtni prikaz armirano betonskih i glino betonskih pilota

### 1.3.3. Izvedba sidara

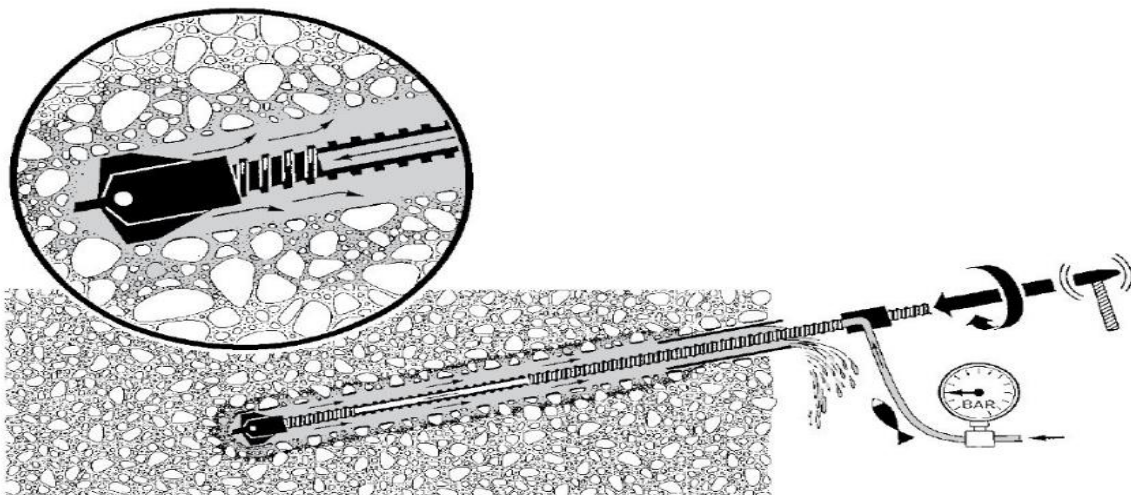
Nakon prve faze iskopa ugrađuju se samobušeca sidra, 50cm iznad razine iskopa, na dubini cca 5,5m ispod postojeće razine terena. Samobušiva sidra su posebna vrsta štapnih sidara. Sastoje se od bušaće krune, šuplje čelične cijevi odgovarajućeg vanjskog i unutarnjeg promjera te tipskih spojnicama. Tijelo sidra čini čelična cijev s vanjskim oblim navojem koja na jednom kraju ima bušeću krunu, a na drugom odgovarajuću maticu s podložnom pločom. Samobušiva sidra se koriste na način da se umjesto bušeće šipke koristi čelična cijev (šipka) sidra, koja na svom vrhu ima odgovarajuću bušeću krunu. Distanceri osiguravaju stalni zaštitni sloj injekcijske smjese oko čelične cijevi te da cijev bude u sredini bušotine. Šuplje čelične cijevi sidra se proizvode u sekcijama standardnih dužina od 1,0, 2,0, 3,0, 4,0, 6,0 i 12,0 m. Standardni vanjski promjeri čeličnih cijevi se kreću od 30,0 mm do 127,0 mm. Po potrebi se nastavljaju tipskim spojnicama. Ovisno o materijalu u kojemu se izvode koriste se različite vrste bušačkih kruna. Šuplja čelična cijev je bolja od pune šipke istog poprečnog presjeka zbog povoljnijeg konstrukcijskog ponašanja obzirom na izvijanje, opseg (površinu prijanjanja) i otpornost na savijanje. Rezultat je veća otpornost na izvijanje i savijanje za istu količinu čelika (cijena materijala). Šuplja čelična cijev se ugrađuje do potrebne dubine metodom udarno rotacijskog bušenja. Kod samobušivog sidra injektiranje se izvodi kroz šuplju čeličnu cijev, a injekcijska smjesa izlazi kroz otvore na bušačkoj kruni. Injekcijska smjesa stabilizira izvedenu bušotinu. Injektiranje završava u trenutku kada injekcijska smjesa počne izlaziti na ušću bušotine ili dođe do planirane razine injektiranja. Za injektiranje sidra se najčešće koristi cementni mort. Uobičajeni vodocementni faktor se kreće u rasponu od 0,40 do 0,50.

Odabrana sidra su tipa kao što je R38x5,2 Termic CE promjera tetive  $\varnothing 38$  mm i promjera bušeće glave  $\varnothing 90$ mm.

Tip šipke		R32x5,6 Standard CE	R32x7,2 Standard	R32x5,2 Termic CE	R38x8,2 Standard	R38x5,2 Termic CE	R38x7,1 Termic CE	R51x9,4 Standard	R51x7 Termic CE
		RR03206S	RR03207S	RR03205T	RR03808S	RR03805T	RR03807T	RR05109S	RR05107T
Sila loma	kN	300	400	450	600	580	700	800	1000
Granica istezanja $f_y$ 0,2%	kN	240	320	380	450	480	600	630	800
Istezanje Agt	%	> 12,0	> 15,0	> 5,0	> 15,0	> 5,0	> 5,0	> 15,0	> 5,0
Nominalni diameter	mm	32,0	32,0	32,0	38,0	38,0	38,0	51,0	51,0
Efektivni diameter	mm	31,3	31,3	31,3	38,0	38,0	38,0	51,0	51,0
Interni diameter	mm	17,0	14,0	18,0	18,5	25,0	20,5	19,0	37,0
Debljina	mm	5,3	7,2	5,2	8,2	5,2	7,1	9,4	7,1
Srednji presjek	mm <sup>2</sup>	450	530	430	750	530	680	1150	950
Težina	kg/mt	3,5	4,2	3,3	6,2	4,2	5,5	9,4	7,5
Lom R	Mpa	> 550	> 630	> 1100	> 630	> 1100	> 1100	> 630	> 1100
Istezanje Reh	Mpa	> 370	> 345	> 900	> 345	> 900	> 900	> 345	> 900
Postotak istezanja	%	> 15,0	> 17,0	> 5,0	> 17,0	> 5,0	> 5,0	> 17,0	> 5,0
Navoj		R32 -lijevi navoj			R38 -lijevi navoj			R51 - lijevi navoj	
Broj sidara u buntu	n°	50			50			50	
Duljine sidara	mt				1, 2, 3, 4, 6, 12 (ostalo po upitu)				

Slika 10. Tipovi šipki RBO

Ukupna dužina sidara je 12 metara, od čega je 10 metra injektirano, a 2 metra slobodna dionica. Ugrađuju se na razmaku od 2 metra i pod kutom  $25^\circ$  u odnosu na horizontalu. Sila popuštanja sidara iznosi  $P_{yd}=480$  kN, a sila sloma  $P_{yk}=580$  kN. Sidra se sastoje od šipki dužine 12m, spojnica, matica i podložnih pločica. Sidra se postavljaju na način da se istovremeno vrši bušenje, injektiranje i ugradnja sidara. Nakon toga se uređuje spoj sidra i sidrene grede. Sidrena greda je armirano betonska greda ,koja se nalazi u razini sidara na dubini cca 5,5 m ispod postojeće razine terena, dimenzija 30x30 cm.



Slika 11. Samobušivo injektirano sidro



Slika 12. Presjek samobušivog injektiranog sidra

#### 1.3.4. 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 slojevima: nasip (N), glina (CH;dl), potpuno rastrošna dolomitna breča do čestica veličine pijeska, zaglinjeno (Cb-SC(D);PP), potpuno rastrošna dolomitna breča do čestica veličine pijeska, prahovito (Cb-SM(D);PP) pripadaju C kategoriji iskopa
- Iskopi u slojevima: dolomitne breče gornjeg pojasa trošenja (Br(D);GP) i dolomitne breče osnovne stijene (Br(D);OS) pripadaju B kategoriji iskopa

Iskop se vrši strojno, kombinacijom rovokopača i hidrauličnog čekića u cijeloj širini pokosa. Iskop započinje nakon ugradnje armirano-betonskih i armirano glinenih pilota. Prva faza iskopa je do razine sidara na dubini od 6 metara i cijela faza iskopa je u C kategoriji. Druga faza iskopa je do dna jame (dubina 12 metara) te je dijelom u C, a dijelom u B kategoriji iskopa. Tijekom cijelog izvođenja iskopa potrebno je osigurati pražnjenje vode iz jame.

## 2. Model tla i geotehnički proračun

### 2.1. Općenito o programu Plaxis 2D

PLAXIS 2D je softver koji radi na principu metode konačnih elemenata, prilagođen korisnicima, koji je namijenjen dvodimenzionalnoj analizi deformacija i stabilnosti u geotehničkom inženjerstvu i mehanici stijena. PLAXIS koriste inženjerske tvrtke i institucije u geotehničkom inženjerstvu i rudarstvu. Primjenjuje se kod modeliranja iskopa, nasipa, temelja, tunela itd.

PLAXIS je opremljen širokim spektrom naprednih značajki za modeliranje širokog spektra geotehničkih problema, a sve iz jednog integriranog softverskog paketa.

PLAXIS koristi unaprijed definirane strukturne elemente i vrste opterećenja, što omogućuje korisniku brzu i učinkovitu izradu modela, omogućavajući više vremena za interpretaciju rezultata.

Ključne prednosti Plaxisa 2D:

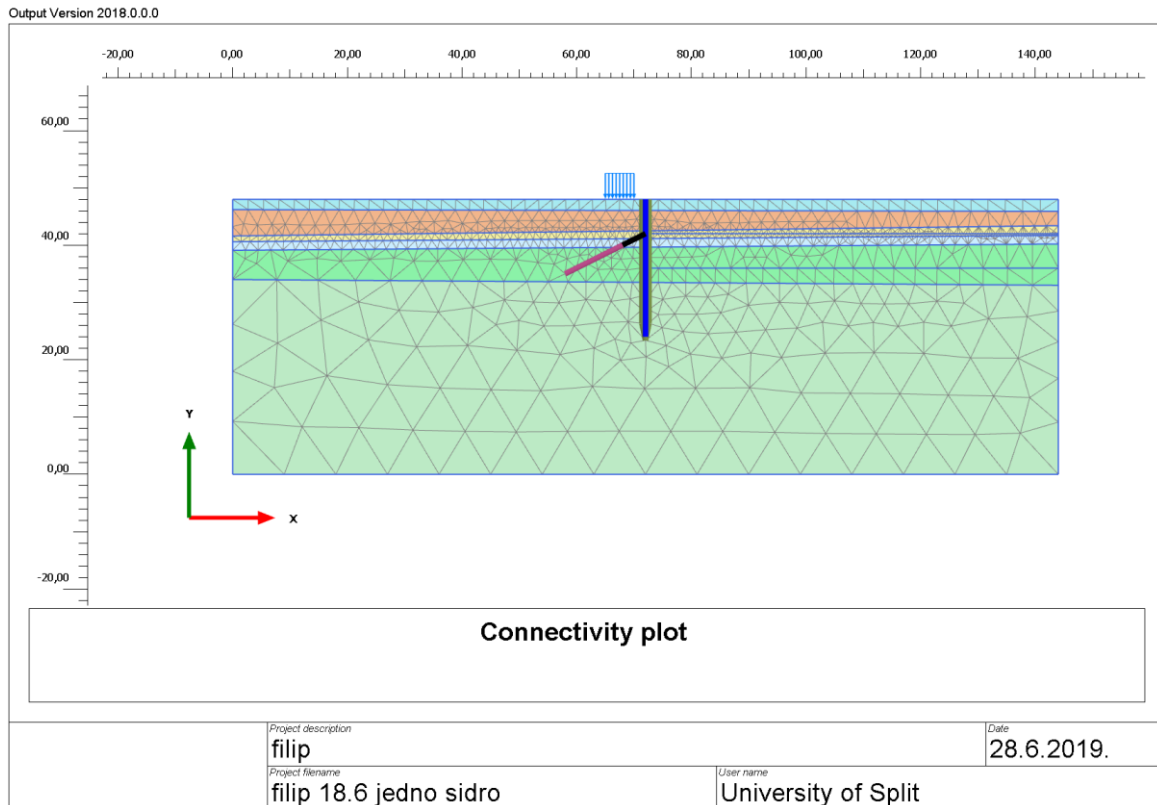
- Brzo i učinkovito stvaranje modela s konačnim elementima  
Korisničko sučelje vodi korisnika prema učinkovitom kreiranju modela s logičkim redoslijedom izvođenja geotehničkih zahvata. Korisnici putem bušotina mogu definirati složene profile tla ili geološke presjeke. U modu za odabir struktura (Structures mode) mogu se definirati konstrukcijski elementi poput pilota, sidara, geotekstila i propisanih opterećenja i pomaka. Geometrija se također može uvesti iz CAD datoteka. Postupak automatskog povezivanja stvara mrežu konačnih elemenata gotovo odmah.
- Realna procjena naprezanja i pomaka  
U modu za definiranje fazne izgradnje (Staged construction) korisnici mogu precizno modelirati proces izgradnje, aktiviranjem i deaktiviranjem slojeva tla i strukturnih elemenata u svakoj fazi izračuna. Pomoću različitih vrsta izračuna plastične, konsolidacijske i sigurnosne analize može se analizirati širok raspon geotehničkih problema. Modeli variraju od jednostavnih linearnih do naprednih nelinearnih modela preko kojih se može simulirati ponašanje tla i stijena. Dobro dokazani proračunski postupci osiguravaju konvergencijske proračune i točne rezultate. S više jezgrenim proračunima i 64-bitnom arhitekturom PLAXIS se može nositi s najvećim i najsloženijim modelima.
- Snažna i svestrana obrada rezultata proračuna  
Svestrani izlazni program (Output program) nudi različite načine prikazivanja podataka o silama, pomacima, naprezanju i protocima. Alati presjeka omogućuju detaljniju analizu rezultata. Podaci se mogu kopirati iz tablica ili putem ispisa temeljenog na Pythonu za daljnju obradu izvan PLAXIS-a. Upravitelj krivulja (Curve manager) omogućuje izradu grafikona, crtajući različite vrste iz dostupnih podataka izračuna.

## 2.2. Proračun građevne jame u Plaxisu

Dimenzioniranje predmetnog objekta izvedeno je računalnim programom Plaxis 2D-V8, metodom konačnih elemenata. U Plaxisu su obavljani proračuni i analize stanja naprezanja te deformacija konstrukcije zaštite građevne jame. Mreža konačnih elemenata generirana je u trokutnim oblicima s 15 čvorova po elementu. Mreža elemenata dodatno se može progustiti na mjestima na kojima se očekuje povećanje koncentracije naprezanja, a to su područja ispod opterećenja, oko armirano betonskih pilota te sidrišne dionice.



Dimenzioniranje i analiza izvode se u fazama u kojima će teći i izvedba građevne jame kako bi se osigurala stabilnost tokom cijelog projekta na terenu. Radi postizanja vodo nepropusnosti armirano-betonski piloti u Plaxisu su aproksimirani armirano betonskom dijafragmom.



Slika 13. Generirana mreža elemenata

### Parametri slojeva tla modeliranih u proračunu (proračunske vrijednosti):

Kako je ranije navedeno, model tla sastoji se od šest slojeva tla. Model je izrađen Mohr-Coulombovim modelom tla te su proračunske vrijednosti parametara čvrstoće i krutosti temeljnog tla odabrane na temelju analize rezultata provedenih geotehničkih istražnih radova te empirijski. Linearni elastični idealno plastični Mohr-Coulombov model zahtijeva ukupno pet parametara, koji su uglavnom poznati većini geotehničkih inženjera i koji se mogu dobiti iz osnovnih testova na uzorcima tla. To su sljedeći parametri:

- $E$  : Youngov modul elastičnosti [ $\text{kN/m}^2$ ]
- $\nu$  : Poissonov koeficijent [-]
- $c$  : Kohezija [ $\text{kN/m}^2$ ]
- $\phi$  : Kut unutarnjeg trenja [ $^\circ$ ]
- $\psi$  : Kut dilatancije [ $^\circ$ ]

Za analizu se koristi granično stanje STR/GEO s proračunskim pristupom 3 (A+M+R).

Parcijalni faktori za materijal:

$$c_d = c_k / \gamma_c = c_k / 1,25$$

$$\text{tg}\varphi_d = \text{tg}\varphi_k / \gamma_{\text{tg}\varphi} = \text{tg}\varphi_k / 1,25$$

Tablica 5. Proračunske vrijednosti parametara

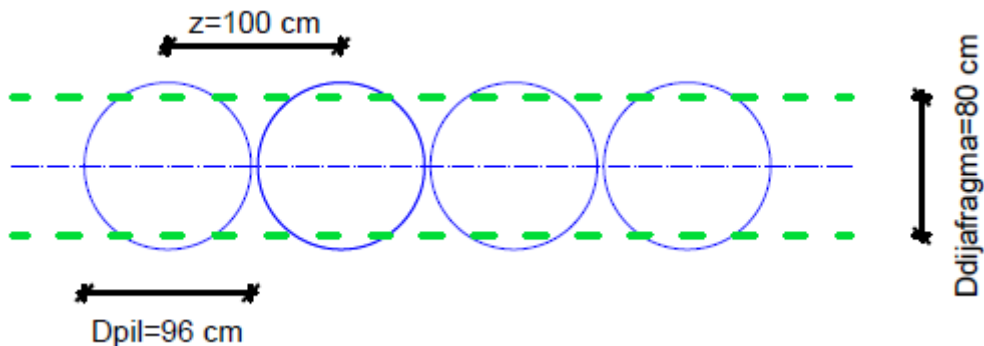
	$\gamma(\text{kN/m}^3)$	$\gamma_{\text{SAT}}(\text{kN/m}^3)$	$C_d'(\text{kN/m}^2)$	$\Phi_d'(^{\circ})$	$E_{\text{Oed}}(\text{GPa})$	$\nu'$
Prvi sloj	18,71	20,58	12	23,04	0,66	0,4
Drugi sloj	17,46	18,5	8,208	17,91	0,59	0,4
Treći sloj	22,85	23,154	16	32	0,77	0,4
Četvrti sloj	21,09	23,146	16	32	1,11	0,4
Peti sloj	22,56	24,81	112	45,98	2,47	0,4
Šesti sloj	23,84	25,64	203	50,71	4,23	0,4

### Vanjsko opterećenje

Vanjsko opterećenje u Plaxisu modelirano je kao linijsko opterećenje (line load). To je opterećenje od utjecaja strojeva i usvojeno je u iznosu od  $30 \text{ kN/m}^2$  u rasponu od 3 metra, na udaljenosti od 1 metra od pilotne stijene.

### Parametri armirano-betonske dijafragme u Plaxisu:

- Tip materijala: Elastoplastičan
- $d=0,8 \text{ m}$
- $h=24 \text{ m}$
- $A=19,2 \text{ m}^2$
- $I=1,024 \text{ m}^4$
- $E=2\,119\,792 \text{ kN/m}^2$
- $EA=40,7 \cdot 10^6 \text{ kN/m}'$
- $EI=2,171 \cdot 10^6 \text{ kNm}^2/\text{m}'$



Slika 14. Tlocrtni presjek armirano betonskih pilota i dijafragme

**Parametri armirano-betonskih pilota ekvivalentni parametrima armirano-betonske dijafragme:**

- $d_{\text{diafragma}} = 0,8 \text{ m}$
- $I_{\text{dijafragma}/m'} = (0,8^3 * 1) / 12 = 0,04266 \text{ m}^4/m'$
- $z(\text{osni razmak pilota}) = 1 \text{ m}$  - odabrano
- $I_{\text{pilot}} = I_{\text{dijafragma}} * z = 0,04266 * 1 = 0,04266 \text{ m}^4$
- $d_{\text{pilot}} = \sqrt[4]{\frac{I_{\text{pilot}} * 64}{\pi}} = 0,96 \text{ m}$
- $A_{\text{pilot}} = 0,724 \text{ m}^2$

**Parametri slobodne dionice sidra, modelirane kao „node to node anchor“:**

- Tip materijala: Elastoplastičan
- $L = 2,0 \text{ m}$
- $\varnothing = 38 \text{ mm}$
- $A = 1,1945 * 10^{-3} \text{ m}^2$
- $E = 2 * 10^8 \text{ kN/m}^2$  – modul elastičnosti čelika
- $EA = 2,389 * 10^5 \text{ kN}$
- $L_{\text{osni razmak}} = 2,0 \text{ m}$
- $F_{\text{max,tens}} = 600 \text{ kN}$

**Parametri sidrišne dionice modelirane kao „embedded beam row“:**

- Tip materijala: Elastoplastičan
- $\varnothing = 90 \text{ mm}$
- $L = 10 \text{ m}$
- $A = 0,02545 \text{ m}^2$
- $E = 3,0 * 10^7 \text{ kN/m}^2$  – modul elastičnosti injekcijske smjese
- $L_{\text{osni razmak}} = 2,0 \text{ m}$
- $T_{\text{skin,res}} = 200 \text{ kN/m'}$

**Parametri potresnog opterećenja:**

- $k_h = 0,0948$  - horizontalni seizmički koeficijent
- $k_v = 0,0474$  - vertikalni seizmički koeficijent

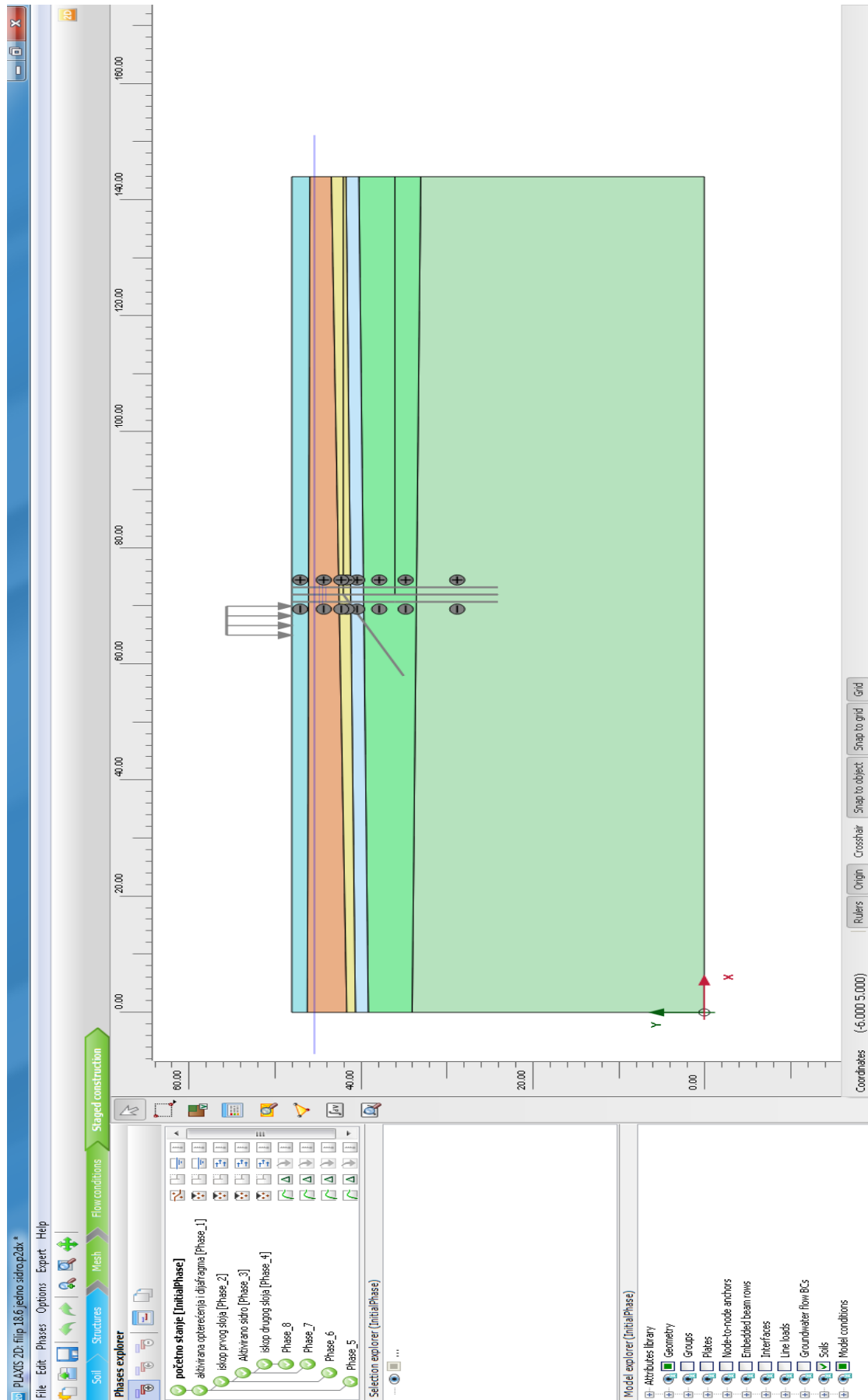
**Proračun zaštitne konstrukcije proveden je u fazama:**

- 0. faza: početno stanje
- 1. faza: aktivacija vanjskog opterećenja i dijafragme
- 2. faza: iskop građevne jame i snižavanje nivoa podzemne vode
- 3. faza: aktivacija sidara
- 4. faza: iskop građevne jame i snižavanje nivoa podzemne vode

**Nulta faza: početno stanje**

Izrada modela u računalnom programu započinje se geometrijom. Zadaju se koordinate rubnih točaka modela, a nakon toga zadaju se unutarnja geometrijska obilježja modela. Slojevi tla i razina podzemne vode zadaju se pomoću bušotina (boreholes), te na predmetnoj lokaciji imamo 6 različitih slojeva tla. S obzirom na zadanu dubinu iskopa koja iznosi -12 m od površine terena zadaju se koordinate iskopa slojeva tla. Prvi sloj iskopa je na dubini od 6 m ispod površine terena, a drugi sloj na dubini od 12 m od površine terena. Zatim se zadaju konstruktivni elementi građevne jame. Armirano betonski piloti i glino betonski piloti modeliraju se pomoću armirano betonske dijafragme visine 24 m čime se postiže vodo nepropusnost obodne konstrukcije. Samobušiva injektirana sidra modeliraju se pomoću sustava koji čine „node to node anchor“ što predstavlja slobodnu dionicu i „embedded beam row“ što predstavlja injektiranu dionicu. Sidra se postavljaju na dubinu 5,5 m od površine terena (cca 50 cm iznad razine iskopa prvoga sloja). Nakon zadavanja geometrije konstruktivnim elementima i slojevima tla zadaju se parametri. Na kraju se zadaje vanjsko kontinuirano opterećenje, na površinu terena na udaljenosti od 1 m od građevne jame, u rasponu od 3 m i u iznosu od 30 kN/m<sup>2</sup>.

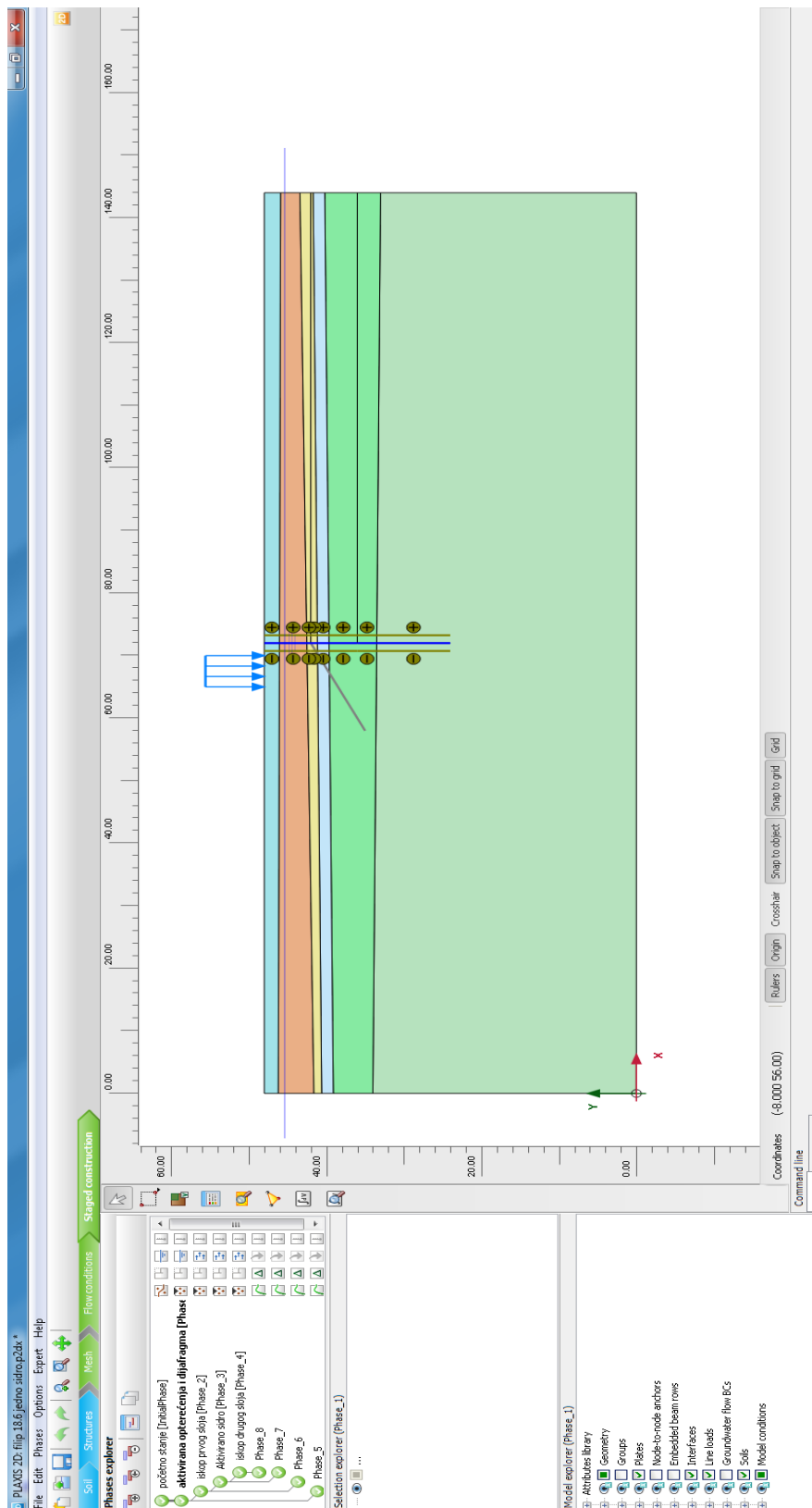
Potres je modeliran pseudostatičkom analizom. U Plaxisu se koristi prethodno navedeni model te se zadaju horizontalni i vertikalni seizmički koeficijent. Za pseudostatičku analizu razina podzemne vode se postavi na konačni nivo (dno građevinske jame), tj. ne modelira se sniženje nivoa podzemne vode tijekom faza proračuna.



Slika 15. Početno stanje

### Prva faza: aktivacija vanjskog opterećenja i dijafragme

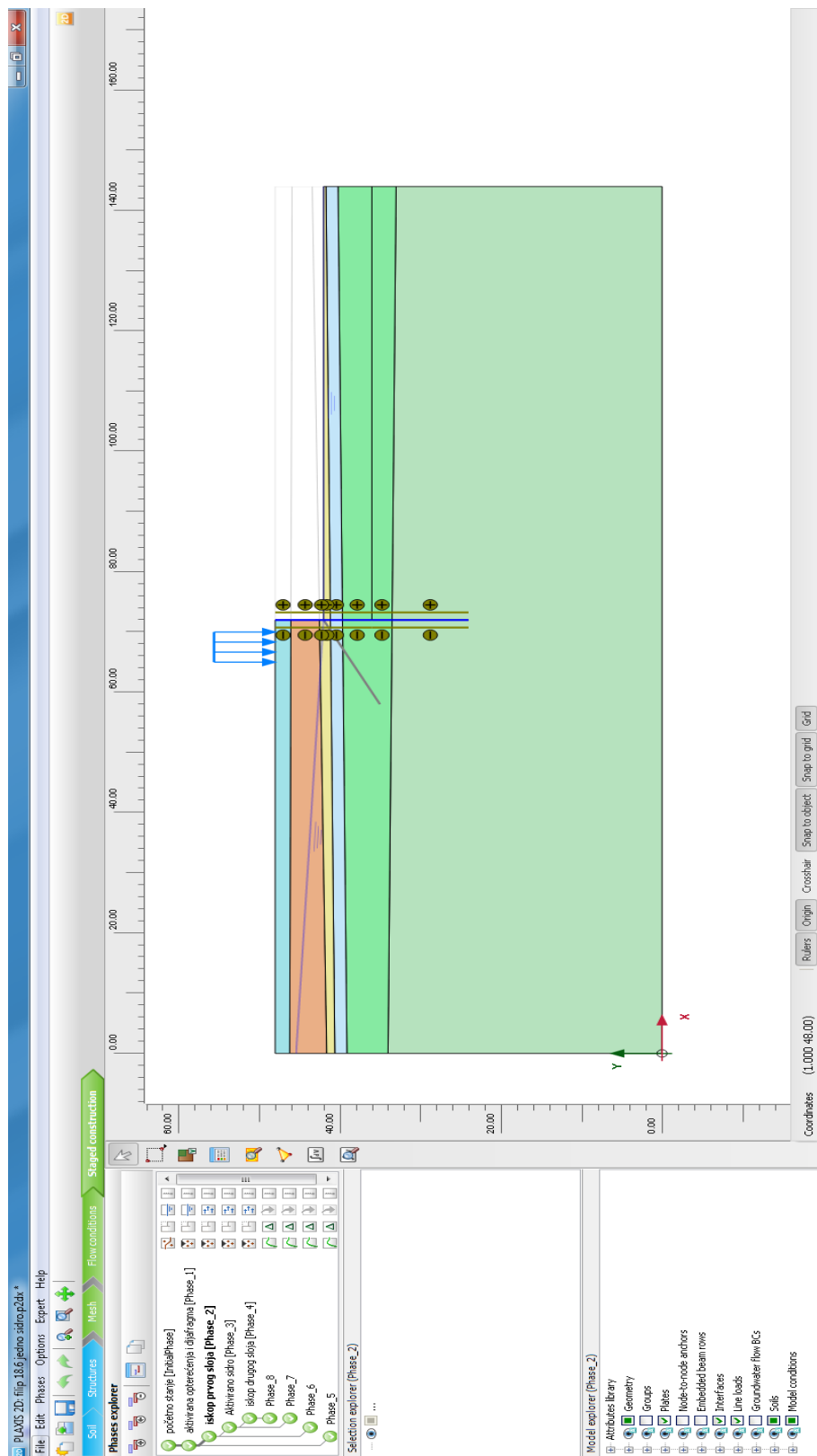
U prvoj fazi proračuna ide se na aktivaciju vanjskoga opterećenja i armirano betonske dijafragme, što omogućuje da se ide u slijedeću fazu proračuna.



Slika 16. Prva faza

### Druga faza: iskop građevne jame i snižavanje nivoa podzemne vode

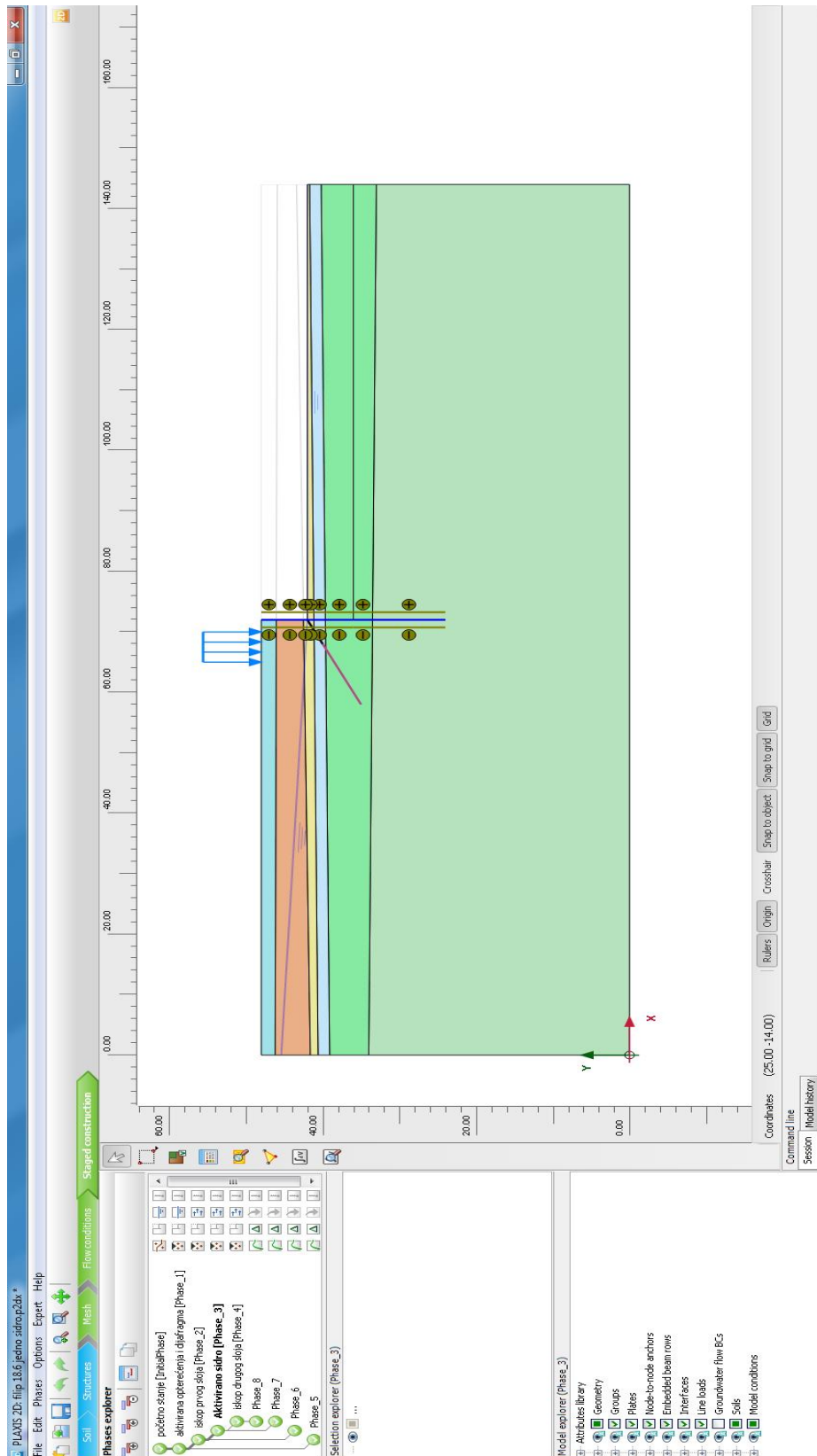
U drugoj fazi simulira se iskop prvoga sloja do dubine 6 m ispod površine terena, brisanjem toga sloja u modelu, istovremeno snižavajući razinu podzemne vode na kotu iskopa.



Slika 17. Druga faza

### Treća faza: aktivacija sidara

Nakon iskopa prvoga sloja aktiviraju se sidra čime i ona preuzimaju opterećenje.

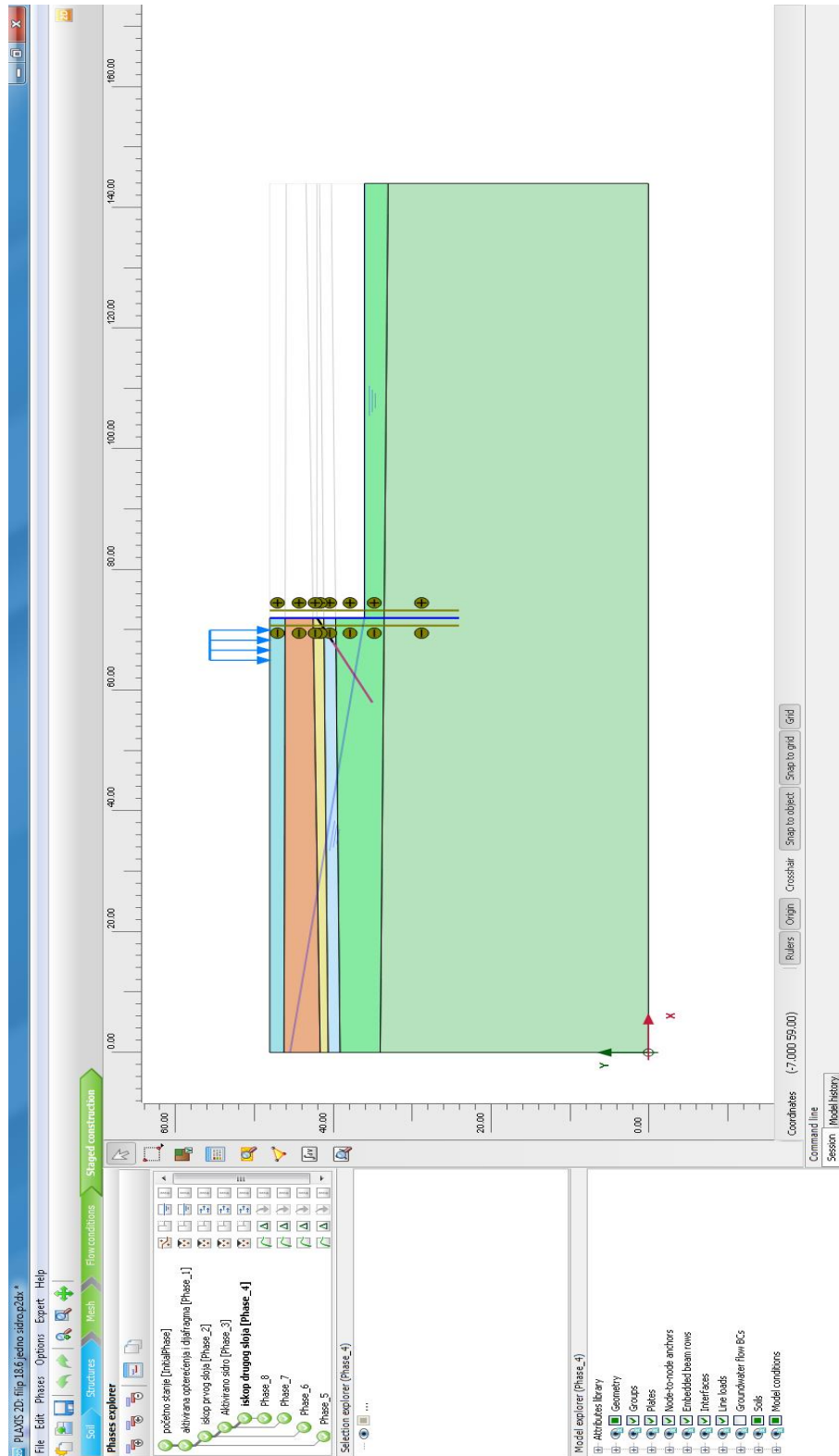


Slika 18. Treća faza



### Četvrta faza: iskop građevne jame i snižavanje nivoa podzemne vode do dna građevne jame

U četvrtoj fazi vrši se iskop građevne jame do dna, čime sidra i armirano betonska dijafragma preuzimaju konačna opterećenja.

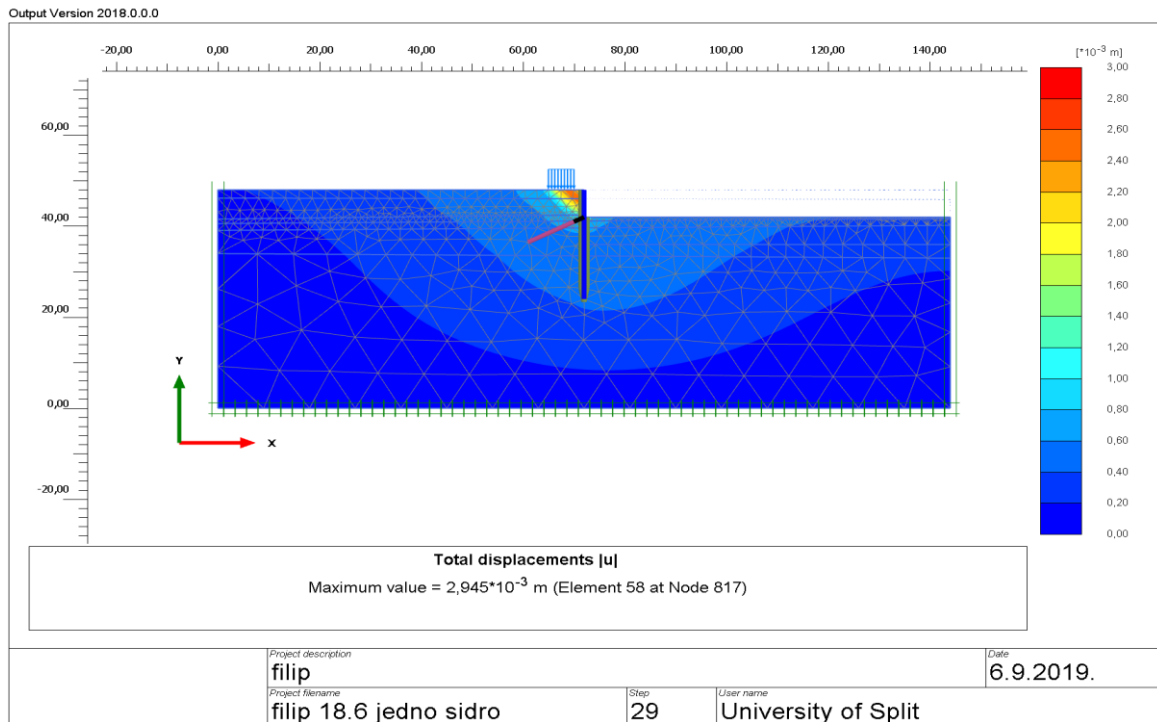


Slika 19. Četvrta faza

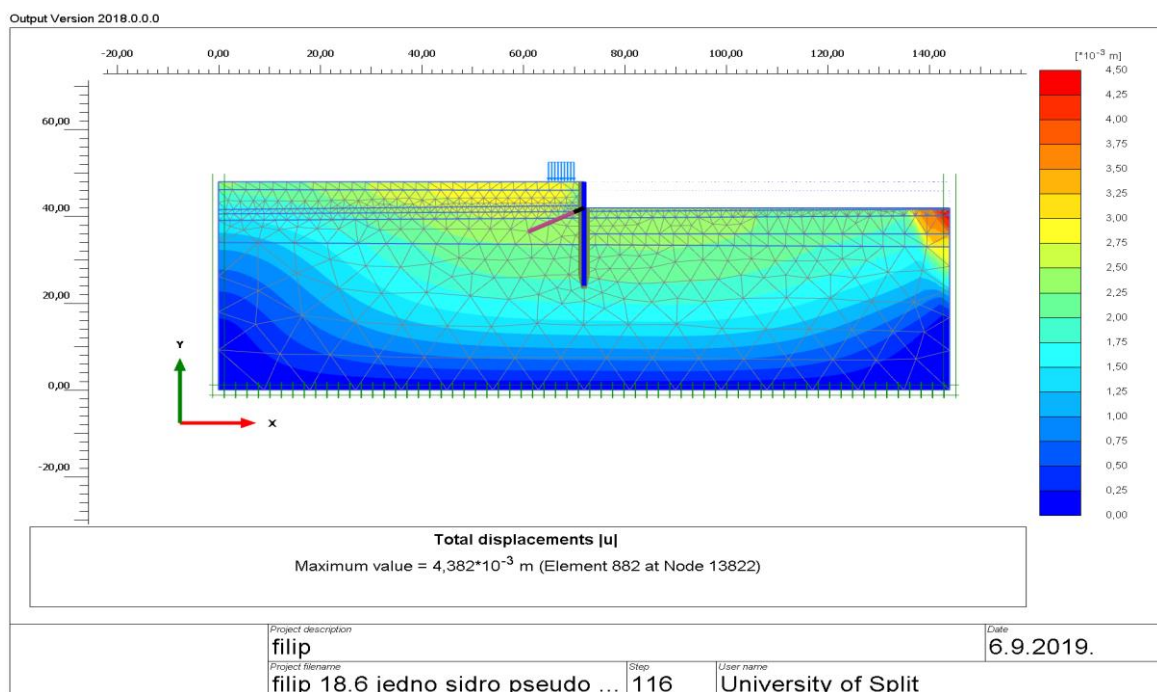
### 2.3. Rezultati proračuna

U nastavku su prikazani samo rezultati nakon treće i četvrte faze proračuna, jer se tek tada javljaju kritične vrijednosti pomaka i sila. Na osnovu tih rezultata vršiti će se dimenzioniranje konstruktivnih elemenata, koji služe za zaštitu građevinske jame.

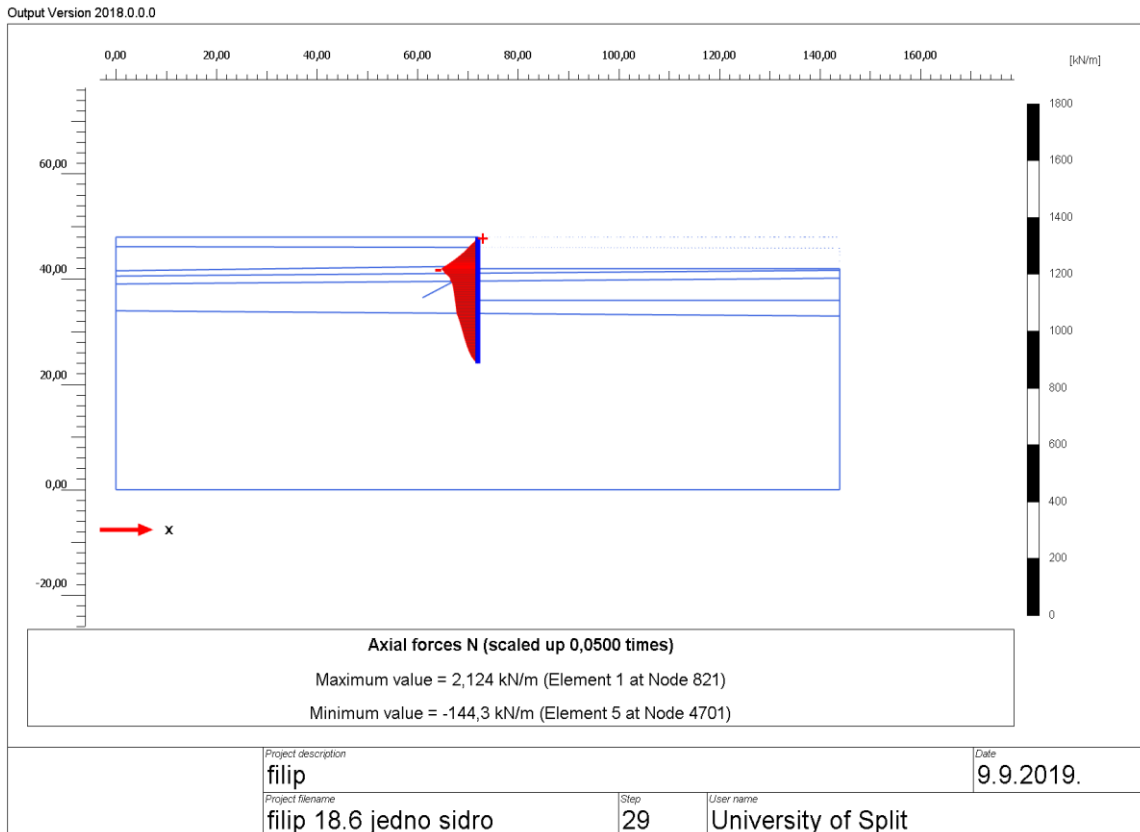
#### 2.3.1. Treća faza: aktivacija sidara



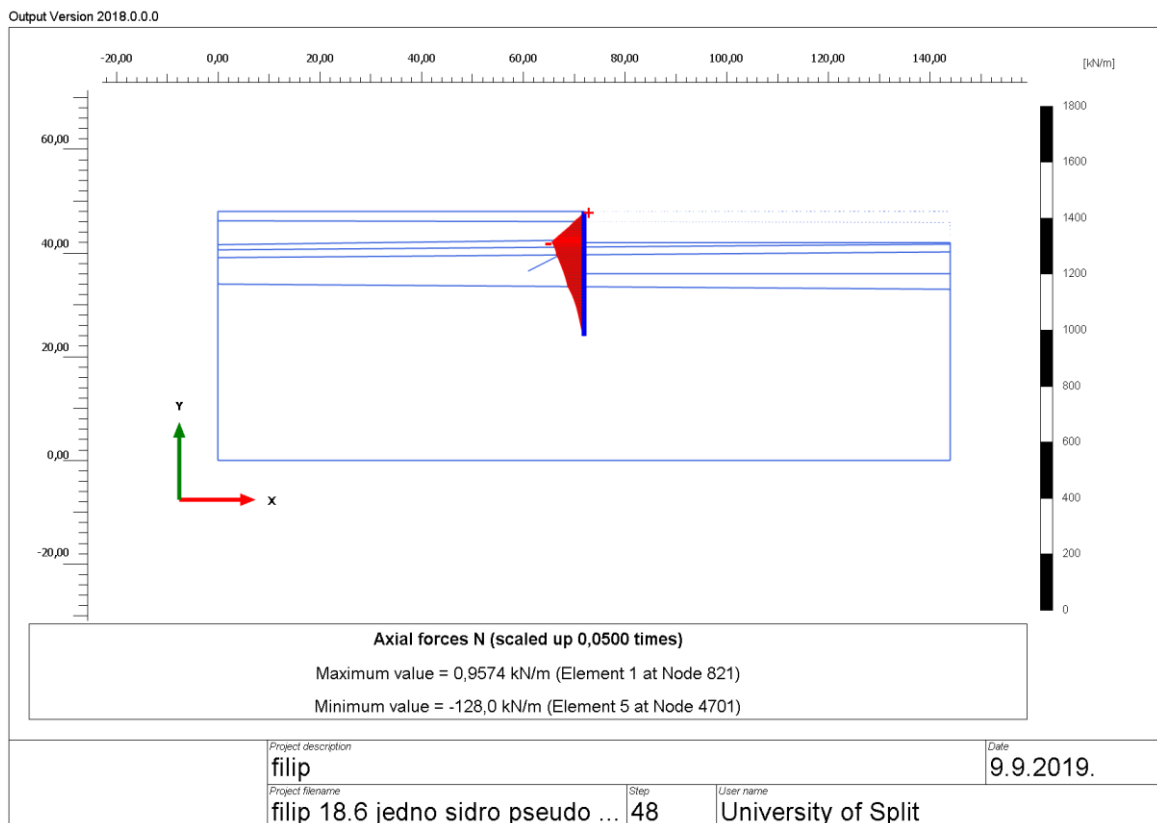
Slika 20. Ukupni pomaci



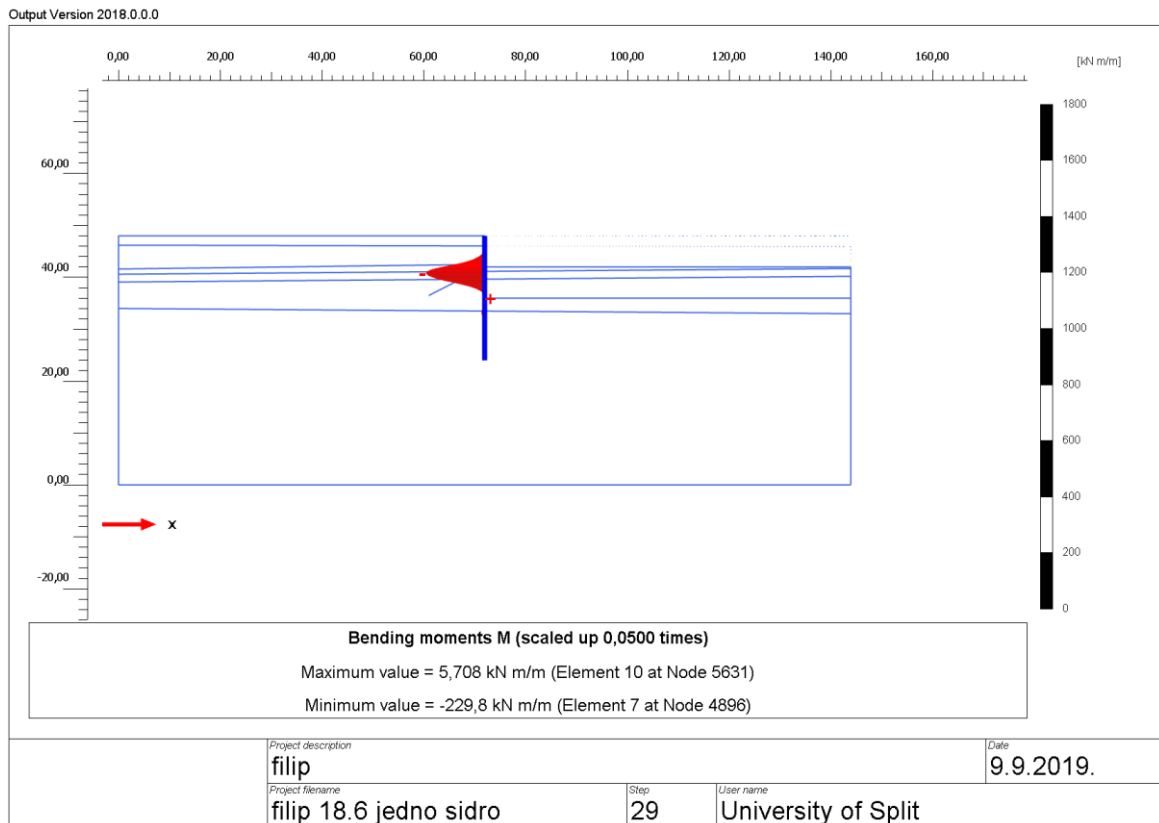
Slika 21. Ukupni pomaci (pseudostatička analiza)



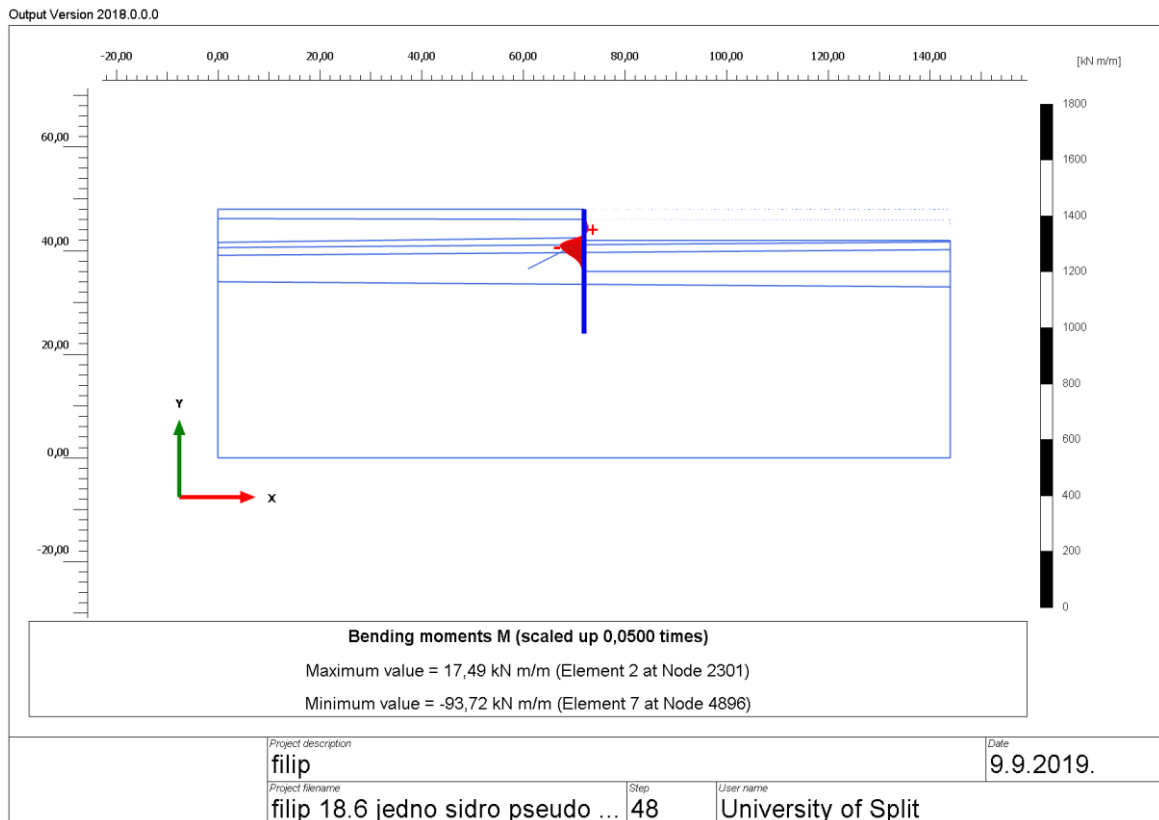
Slika 22. Uzdužna sila N u armiranobetonskoj dijafragmi



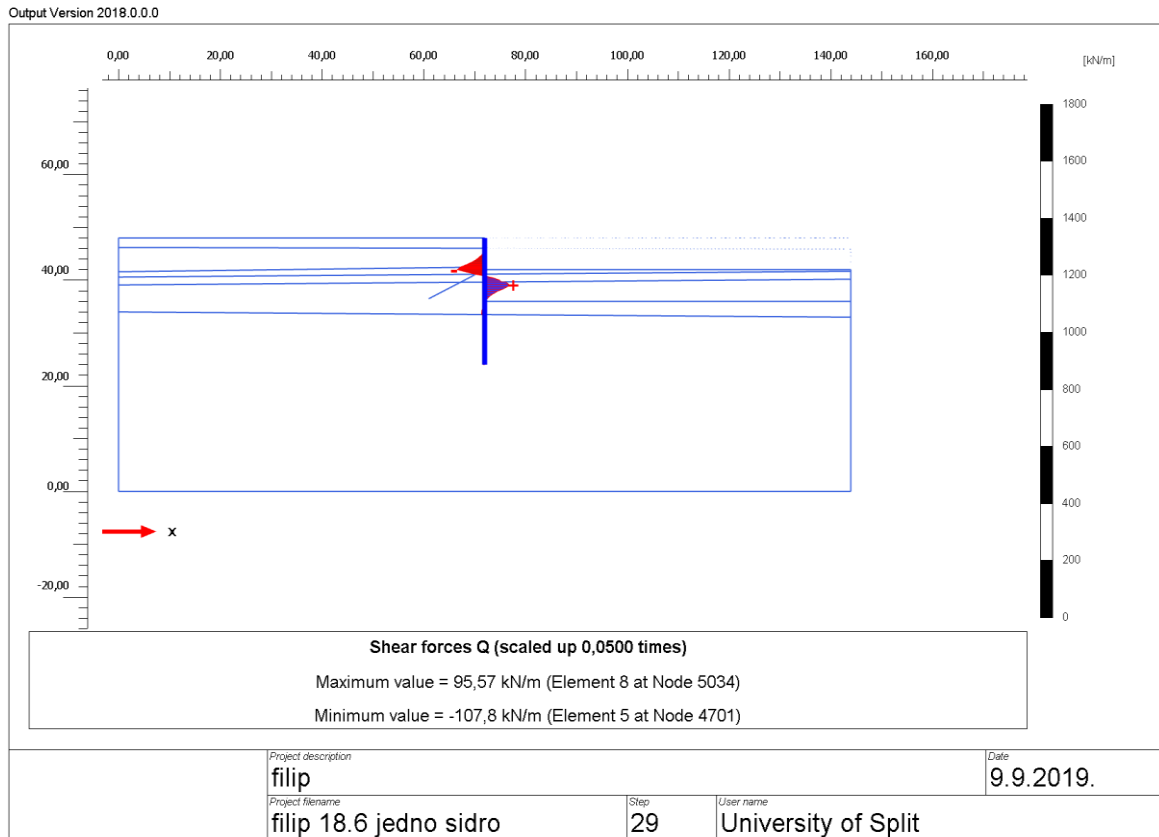
Slika 23. Uzdužna sila N u armiranobetonskoj dijafragmi (pseudostatička analiza)



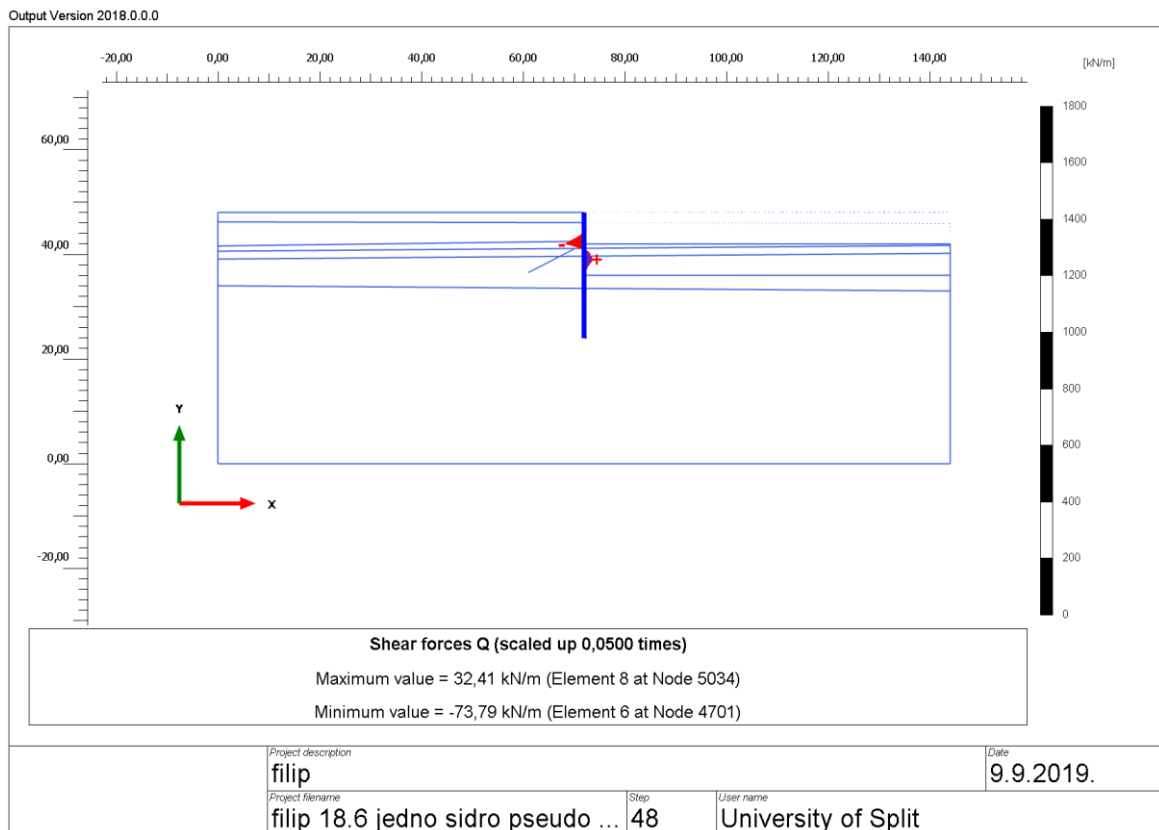
Slika 24. Moment savijanja u armiranobetonskoj dijafragmi



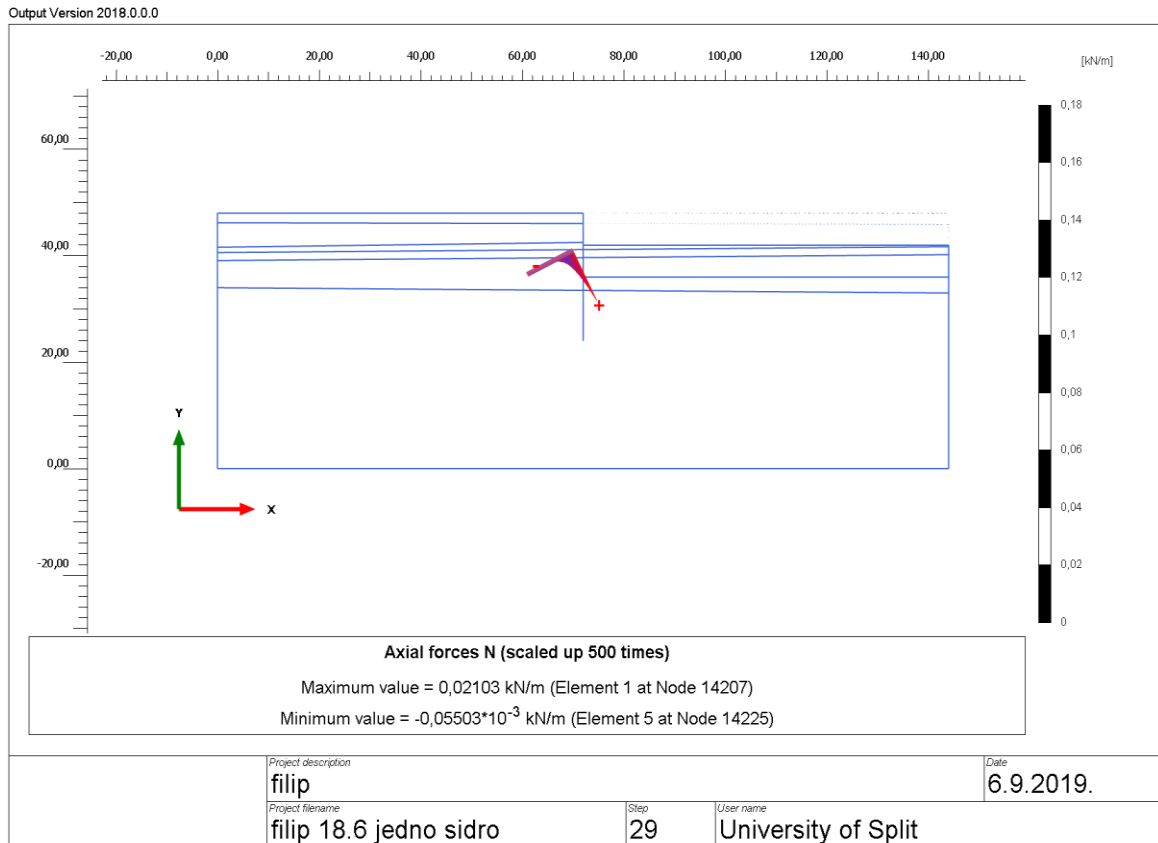
Slika 25. Moment savijanja u armiranobetonskoj dijafragmi (pseudostatička analiza)



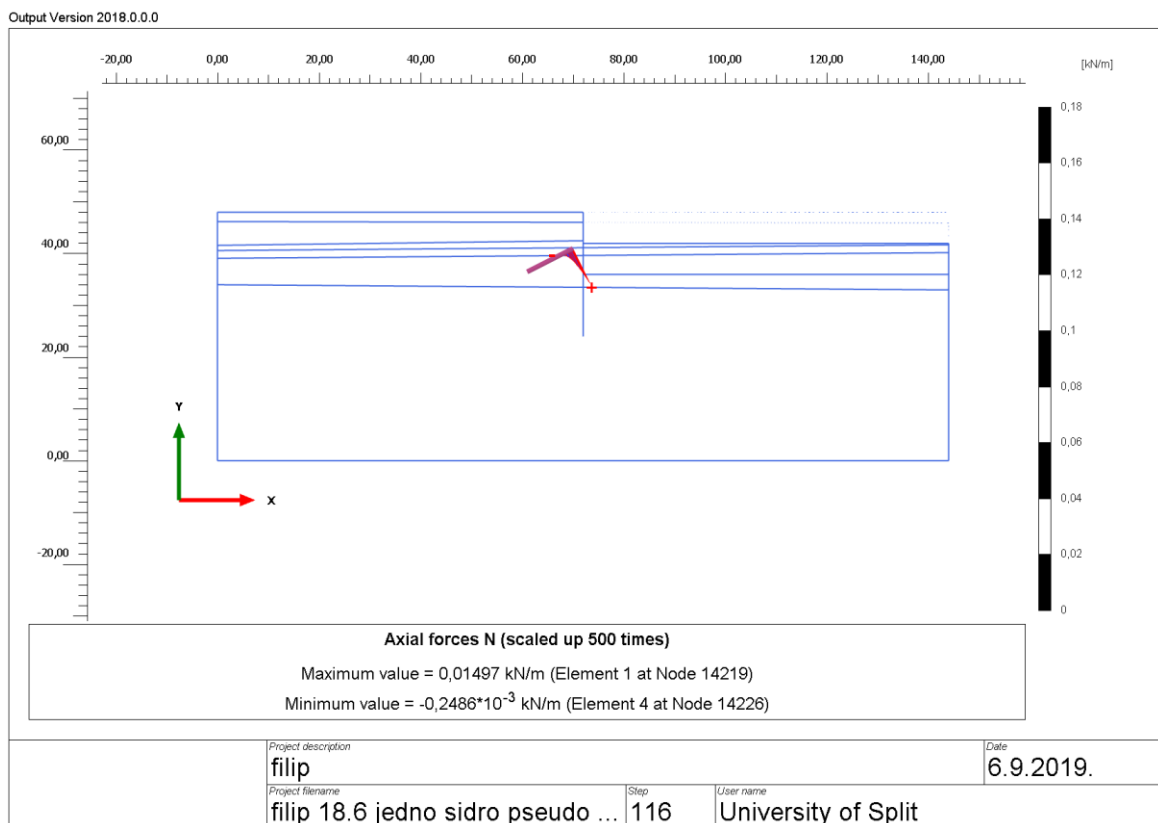
Slika 26. Posmična sila u armiranobetonskoj dijafragmi



Slika 27. Posmična sila u armiranobetonskoj dijafragmi (pseudostatička analiza)



Slika 28. Uzdužna sila u injektiranom dijelu sidra



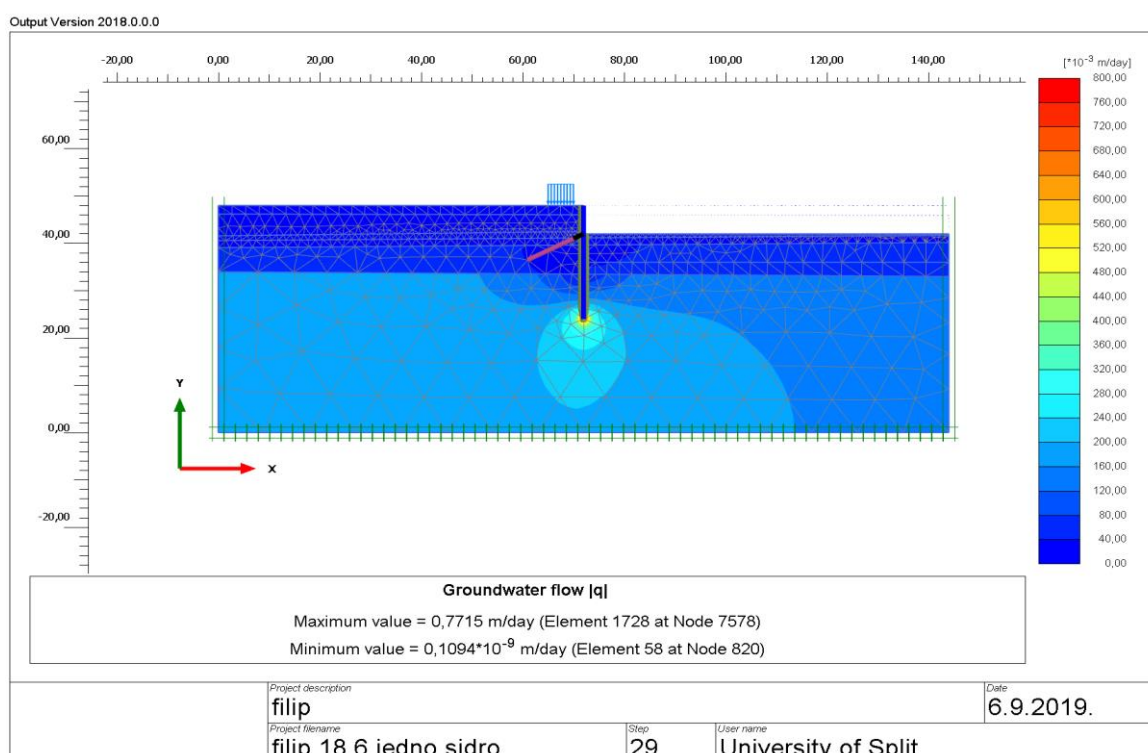
Slika 29. Uzdužna sila u injektiranom dijelu sidra (pseudostatička analiza)

Structural element	Node	Local number	X [m]	Y [m]	N [10 <sup>-3</sup> kN]	N <sub>min</sub> [kN]	N <sub>max</sub> [10 <sup>-3</sup> kN]
NodeToNodeAnchor_1_1	14207	1	70,000	41,000	42,074	0,000	42,074
Element 1-1 (Node-to-node anchor)	4701	2	72,000	42,000	42,074	0,000	42,074

Slika 30. Uzdužna sila u slobodnoj dionici sidra

Structural element	Node	Local number	X [m]	Y [m]	N [10 <sup>-3</sup> kN]	N <sub>min</sub> [kN]	N <sub>max</sub> [10 <sup>-3</sup> kN]
NodeToNodeAnchor_1_1	4701	1	72,000	42,000	29,951	0,000	29,951
Element 1-1 (Node-to-node anchor)	14219	2	70,000	41,000	29,951	0,000	29,951

Slika 31. Uzdužna sila u slobodnoj dionici sidra (pseudostatika analiza)



Slika 32. Dotok vode u građevinsku jamu

Maksimalni pomak u trećoj fazi:  $u = 4,382 \text{ mm}$

Maksimalni moment savijanja prema iskopu:  $M_{\text{max,pilot}} = 17,49 \text{ kNm/m'}$

Maksimalni moment savijanja prema tlu:  $M_{\text{max,pilot}} = -229,8 \text{ kNm/m'}$

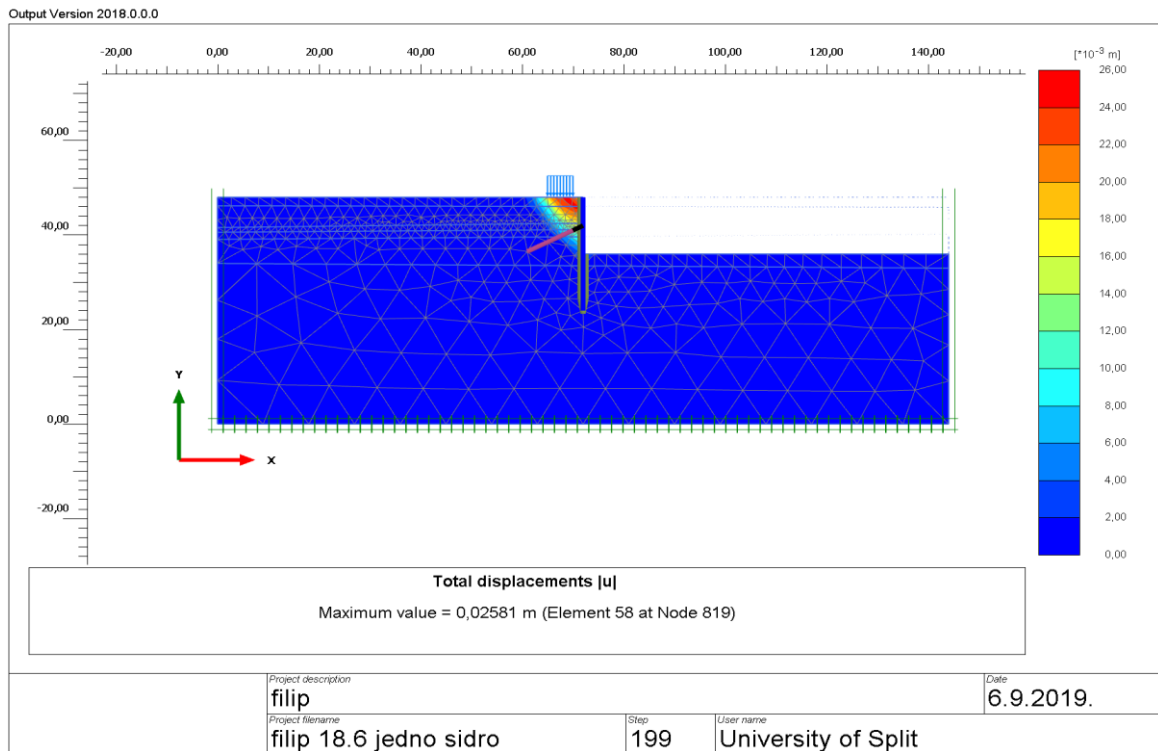
Maksimalna posmična sila:  $T_{\text{max,pilot}} = 107,8 \text{ kNm/m'}$

Maksimalna uzdužna sila:  $N_{\text{max,pilot}} = 144,3 \text{ kN}$

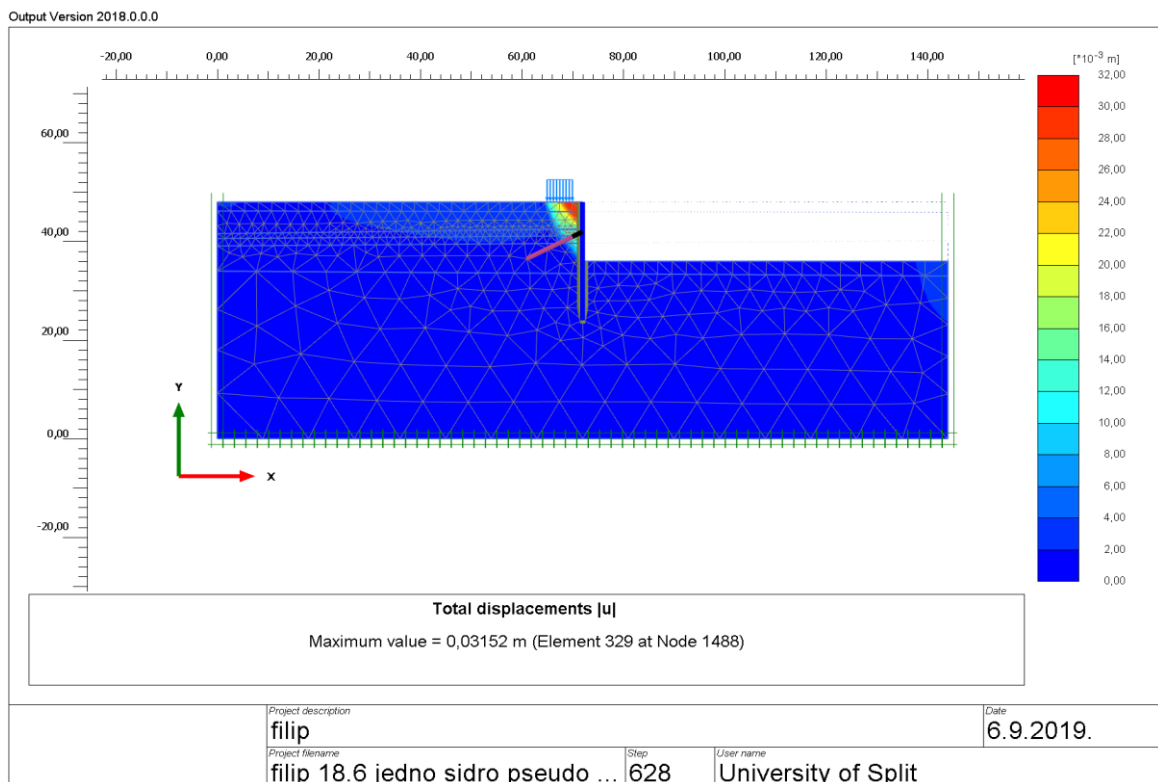
Maksimalna uzdužna sila u sidru:  $N_{\text{max,sidro}} = 42,074 \text{ kN}$

Dotok vode u građevnu jamu:  $Q = A \cdot q = 10 \text{ m} \cdot 1 \text{ m} \cdot 0,360 \text{ m/dan} = 3,6 \text{ m}^3/\text{dan/m'}$  obodne konstrukcije

### 2.3.2. Četvrta faza: iskop građevne jame i snižavanje nivoa podzemne vode do dna građevne jame

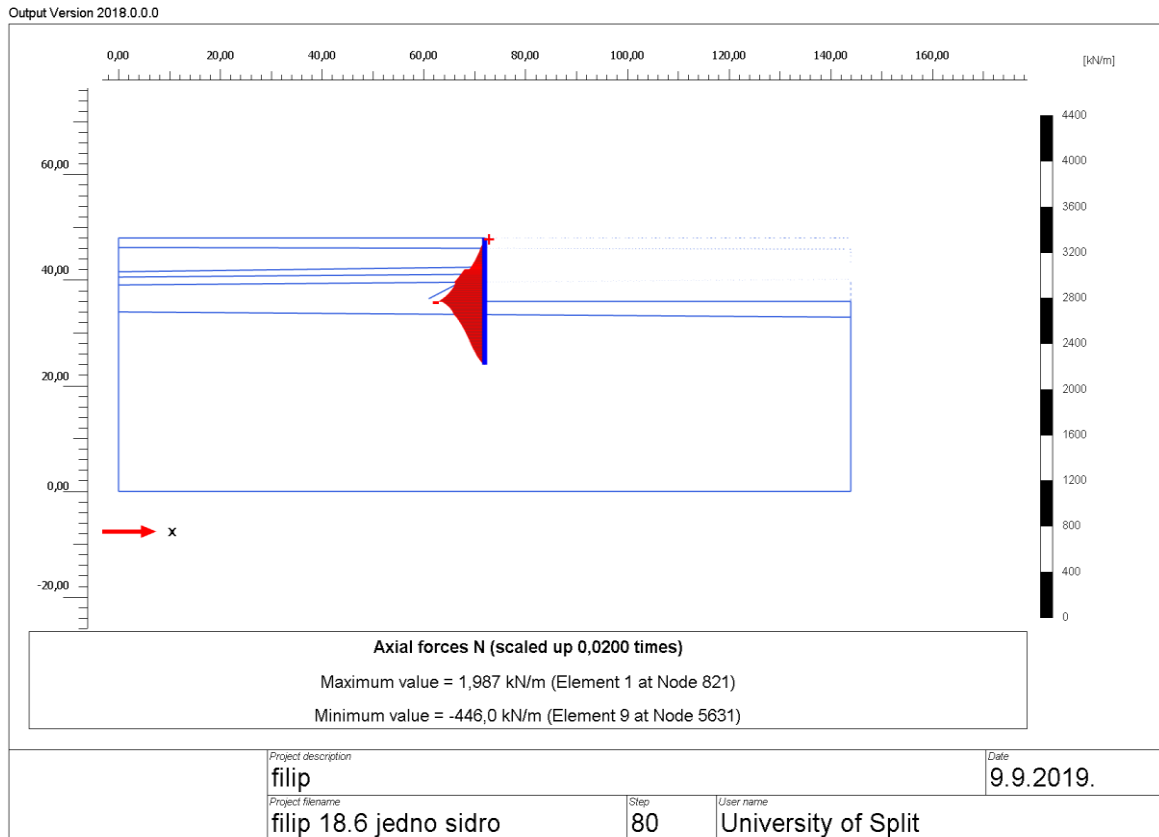


Slika 33. Ukupni pomaci

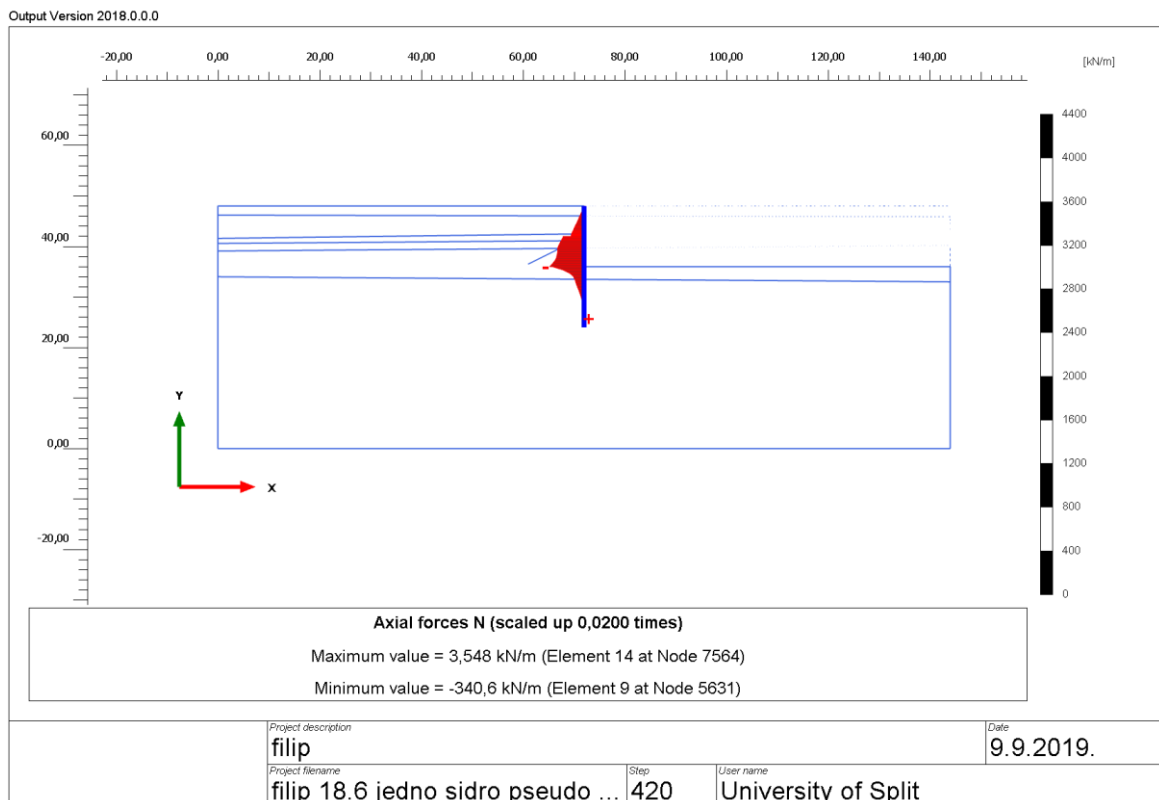


Slika 34. Ukupni pomaci (pseudostatička analiza)

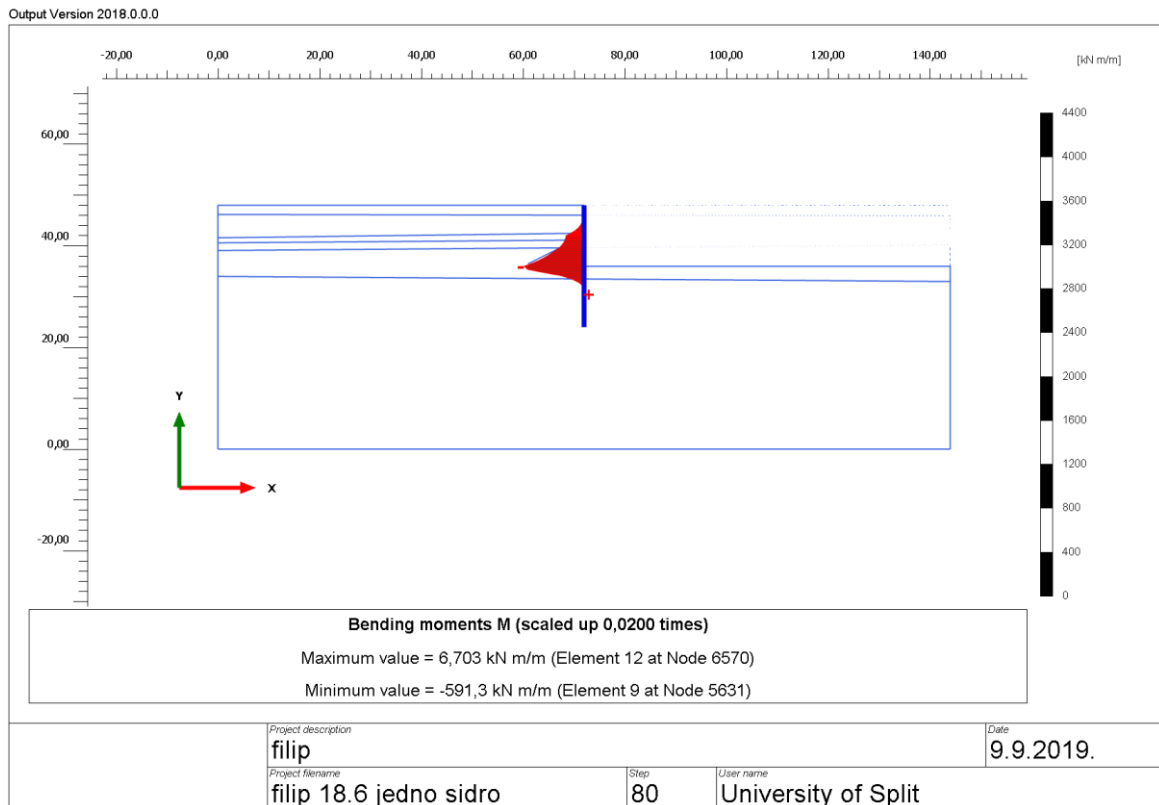




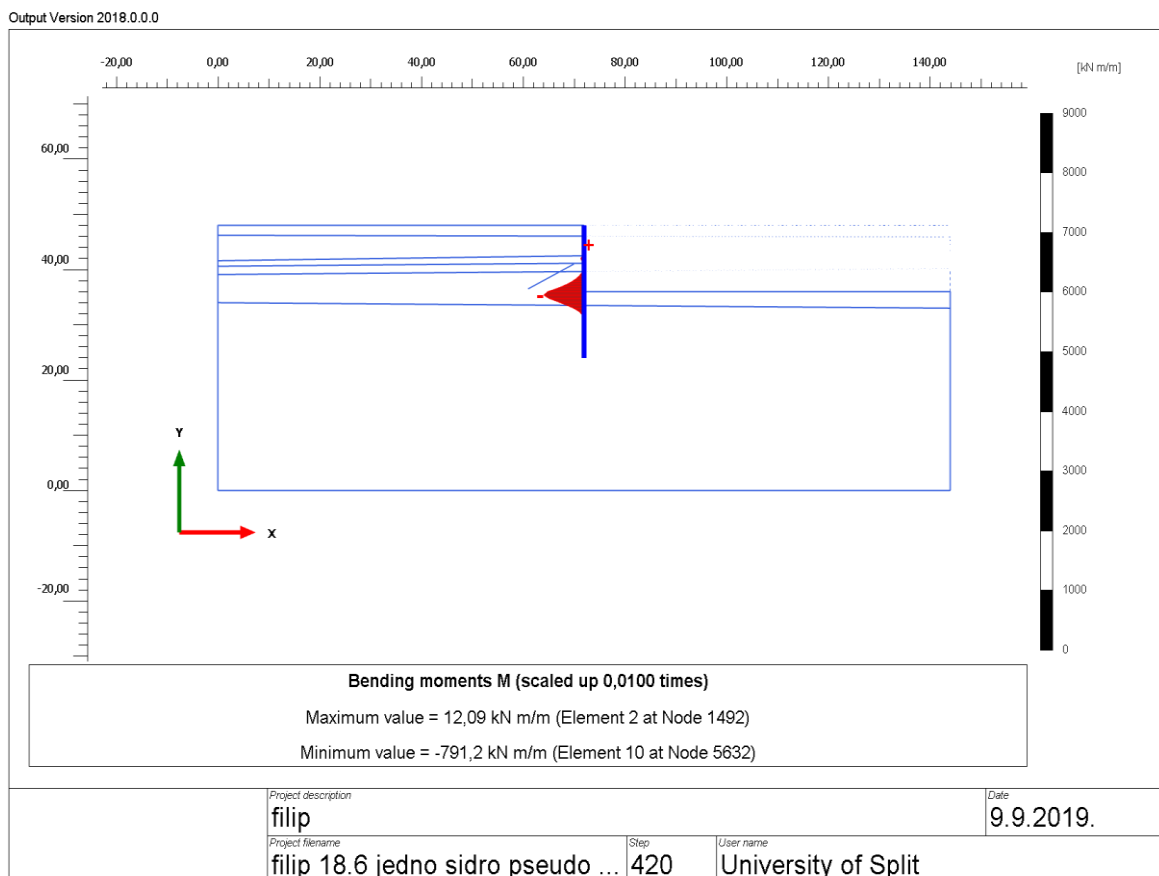
Slika 35. Uzdužna sila  $N$  u armiranobetonskoj dijafragmi



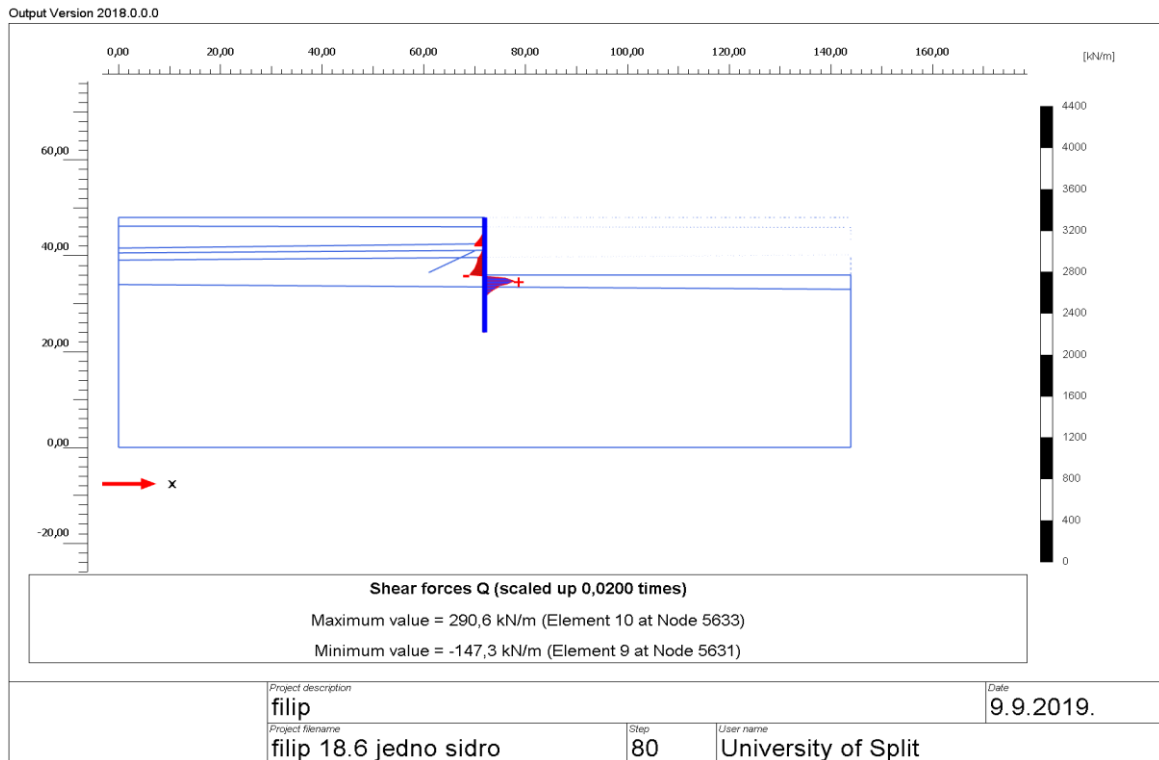
Slika 36. Uzdužna sila  $N$  u armiranobetonskoj dijafragmi (pseudostatička analiza)



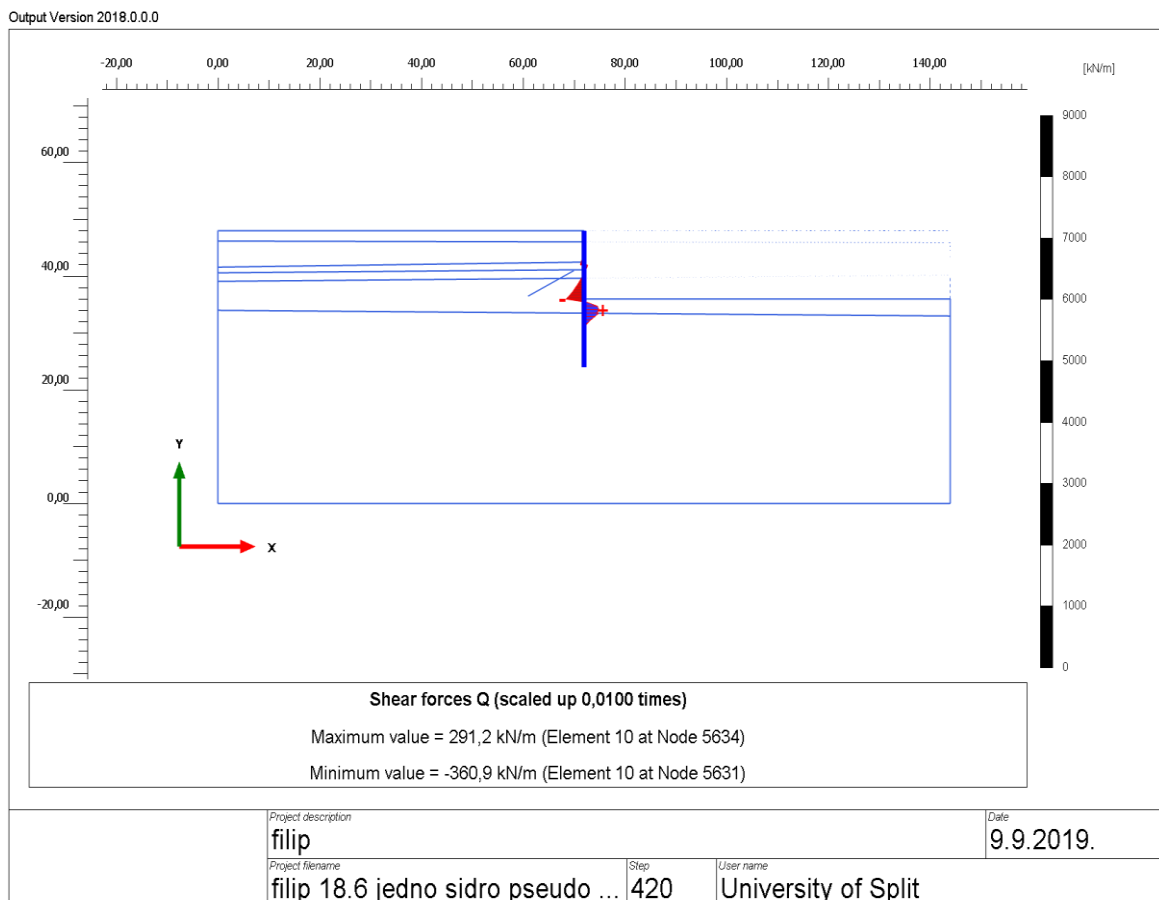
Slika 37. Moment savijanja u armiranobetonskoj dijafragmi



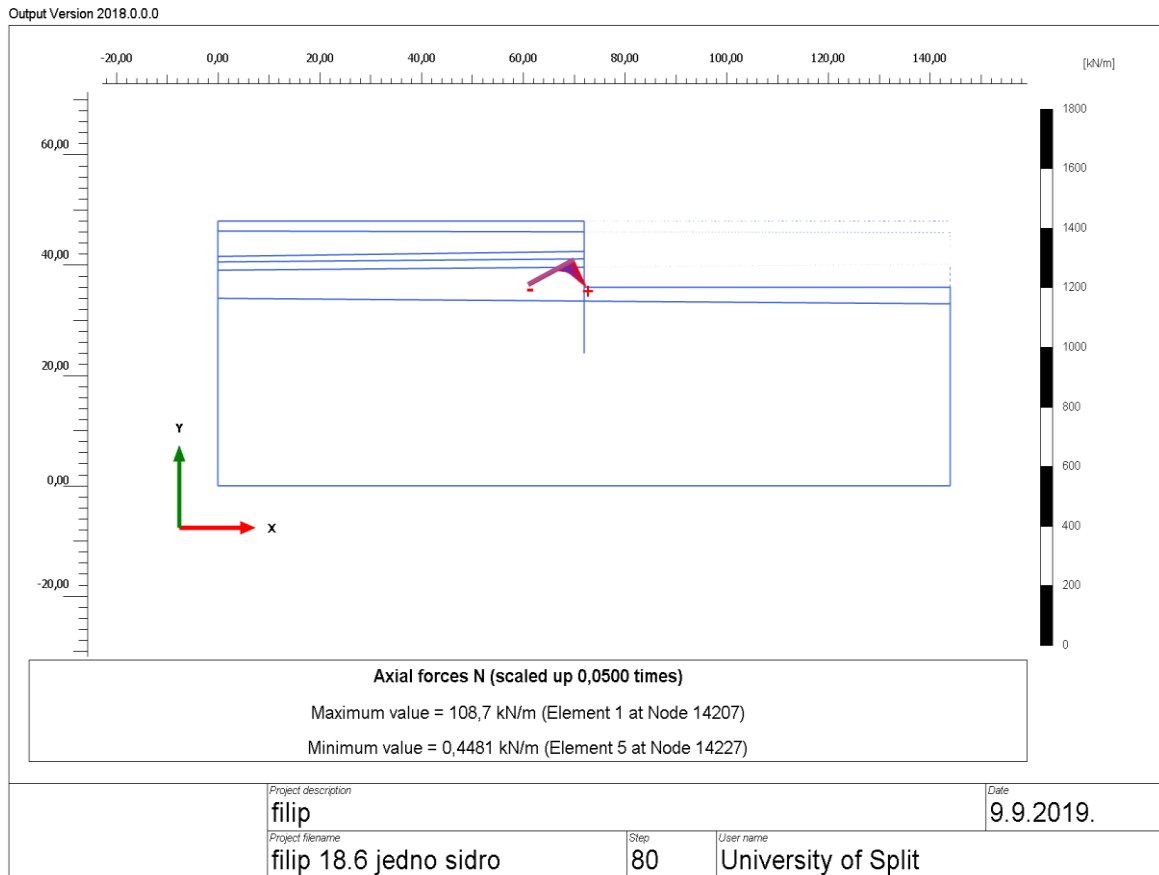
Slika 38. Moment savijanja u armiranobetonskoj dijafragmi (pseudostatička analiza)



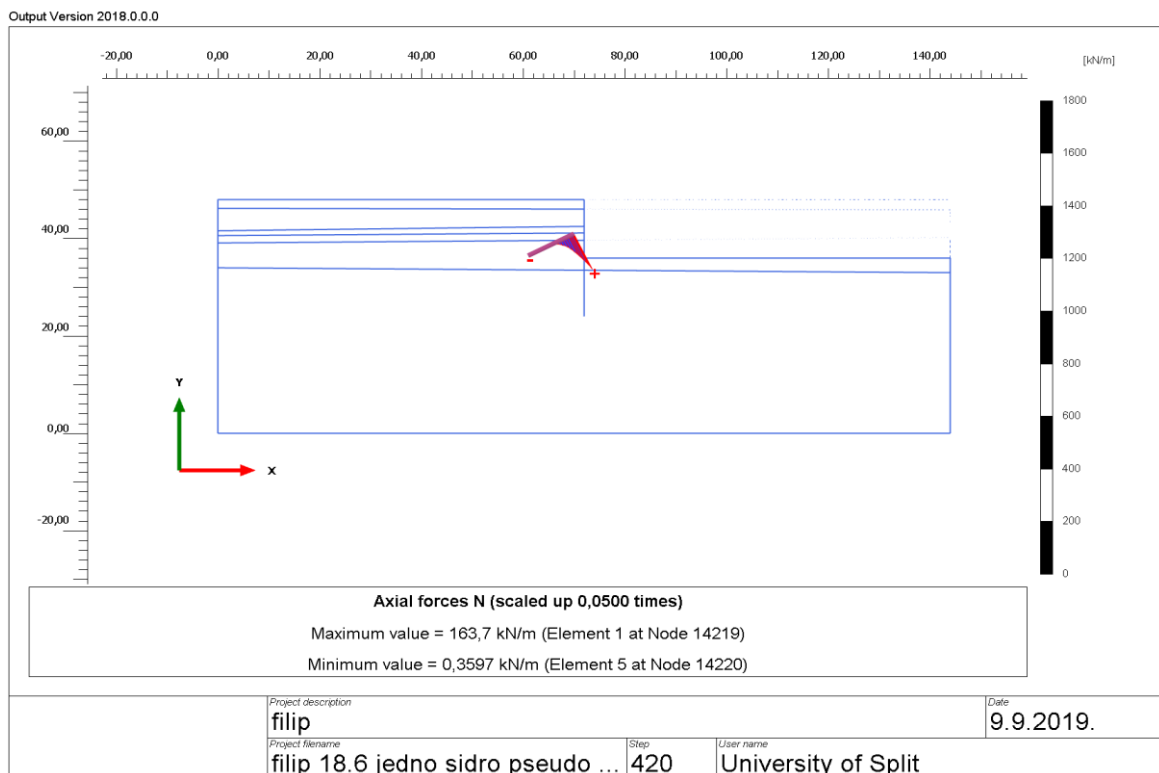
Slika 39. Posmična sila u armiranobetonskoj dijafragmi



Slika 40. Posmična sila u armiranobetonskoj dijafragmi (pseudostatička analiza)



Slika 41. Uzdužna sila u injektiranom dijelu sidra



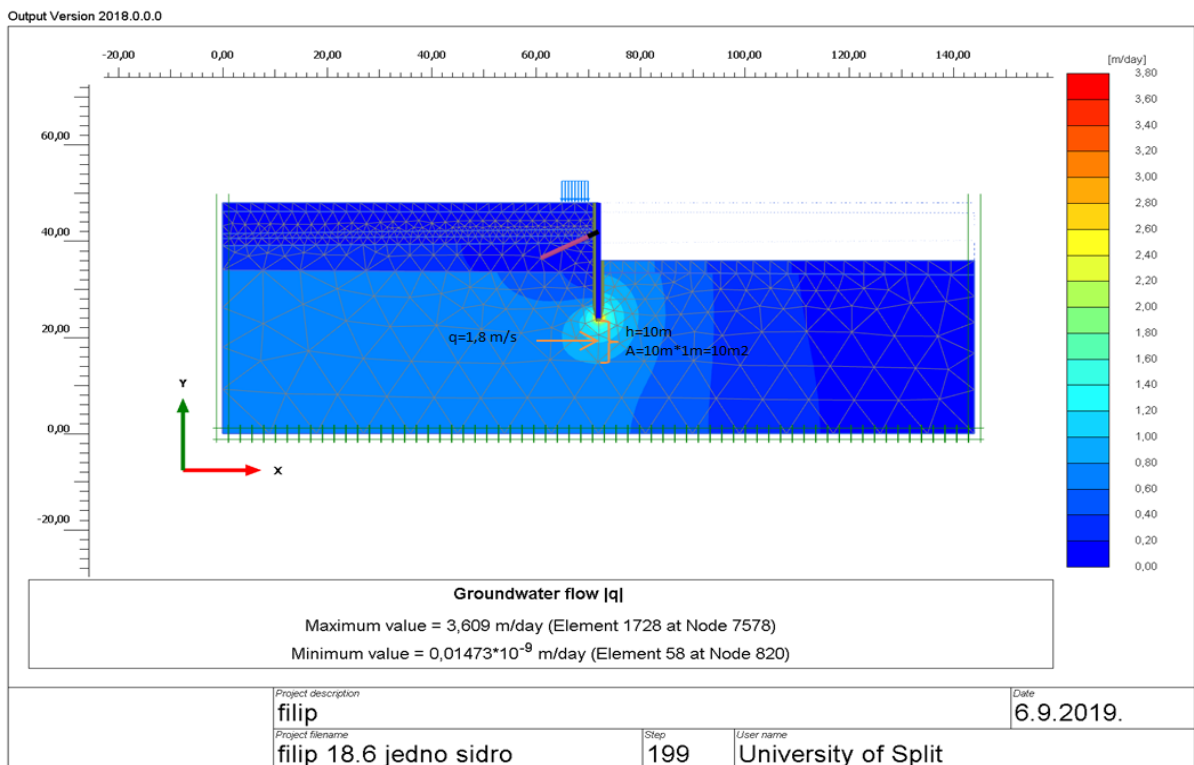
Slika 42. Uzdužna sila u injektiranom dijelu sidra (pseudostatička analiza)

Structural element	Node	Local number	X [m]	Y [m]	N [kN]	N <sub>min</sub> [kN]	N <sub>max</sub> [kN]
NodeToNodeAnchor_1_1	14207	1	70,000	41,000	217,432	0,000	217,432
Element 1-1 (Node-to-node anchor)	4701	2	72,000	42,000	217,432	0,000	217,432

Slika 43. Uzdužna sila u slobodnoj dionici sidra

Structural element	Node	Local number	X [m]	Y [m]	N [kN]	N <sub>min</sub> [kN]	N <sub>max</sub> [kN]
NodeToNodeAnchor_1_1	4701	1	72,000	42,000	327,036	0,000	327,036
Element 1-1 (Node-to-node anchor)	14219	2	70,000	41,000	327,036	0,000	327,036

Slika 44. Uzdužna sila u slobodnoj dionici sidra (pseudostatička analiza)



Slika 45. Dotok vode u građevinsku jamu

Maksimalni pomak u četvrtoj fazi:  $u = 31,52 \text{ mm}$

Maksimalni moment savijanja prema iskopu:  $M_{\text{max,pilot}} = 12,09 \text{ kNm/m'}$

Maksimalni moment savijanja prema tlu:  $M_{\text{max,pilot}} = -791,2 \text{ kNm/m'}$

Maksimalna posmična sila:  $T_{\text{max,pilot}} = 360,9 \text{ kNm/m'}$

Maksimalna uzdužna sila:  $N_{\text{max,pilot}} = 446,0 \text{ kN}$

Maksimalna uzdužna sila u sidru:  $N_{\text{max,sidro}} = 327,36 \text{ kN}$

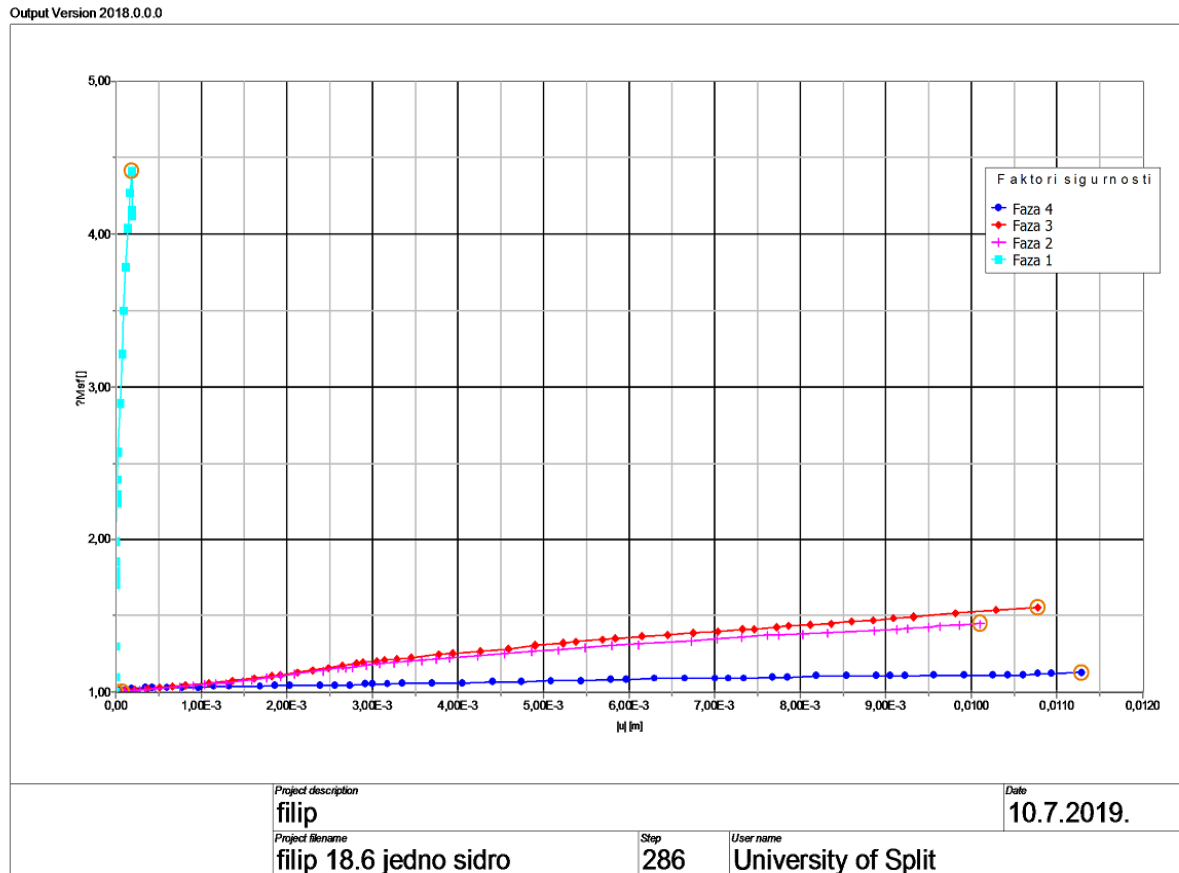
Dotok vode u građevnu jamu:  $Q = A \cdot q = 10 \text{ m} \cdot 1 \text{ m} \cdot 1,8 \text{ m/dan} = 18 \text{ m}^3/\text{dan}/\text{m'}$  obodne konstrukcije

### 2.3.3. Određivanje globalnog faktora sigurnosti cijelog presjeka, c-φ redukcija

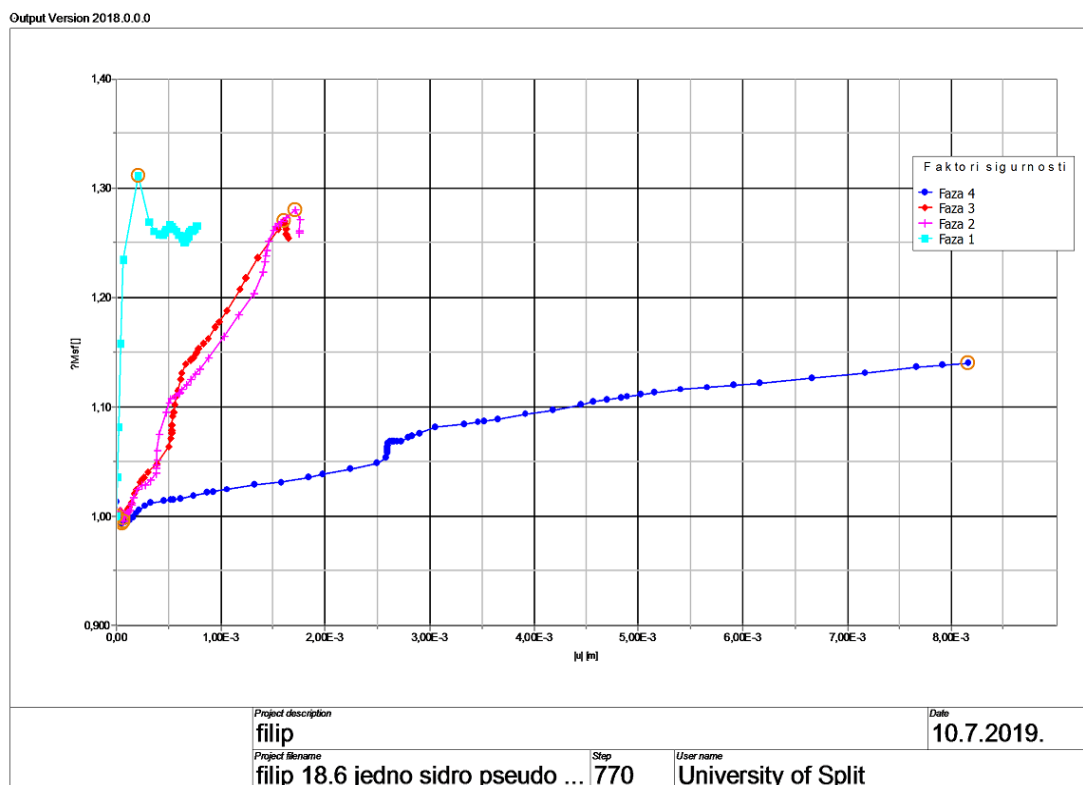
Uvođenjem standardnog Coulombovog uvjeta dobiva se slijedeći faktor sigurnosti:

$$\text{Faktor sigurnosti FS} = \frac{c - \sigma_n \cdot \tan \varphi}{c_r - \sigma_n \cdot \tan \varphi_r}$$

Gdje su c i φ ulazni parametri (proračunske vrijednosti), a σ<sub>n</sub> normalna naprezanja. Parametri c<sub>r</sub> i φ<sub>r</sub> reducirani parametri čvrstoće koji su toliki da su tek dovoljni za postizanje ravnoteže. Prethodna formula za faktor sigurnosti je osnovni princip po kojemu Plaxis izračunava globalni faktor sigurnosti.



Slika 46. Faktori sigurnosti za pojedine faze proračuna



Slika 47. Faktori sigurnosti za pojedine faze proračuna (pseudostatička analiza)

Tablica 6. Faktori sigurnosti

	Prva faza	Druga faza	Treća faza	Četvrta faza
FS	4,408	1,446	1,641	1,188
FS <sub>pseudostatička analiza</sub>	1,377	1,280	1,272	1,08

## 2.4. Dimenzioniranje sidara

Odabrana sidra su tipa kao što je R38x5,2 Termic CE promjera tetive  $\phi=38$  mm i bušeće glave promjera  $\phi=90$  mm. Ukupna dužina sidara je 12 m, od čega je 10 m injektirano, a 2 m slobodna dionica. Ugrađuju se na razmaku od 2 m i pod kutom od  $25^\circ$  u odnosu na horizontalu. Sila popuštanja odabranog sidra iznosi  $P_{yd}=480$  kN, sila sloma  $P_{yk}=580$  kN.

### Proračunska nosivost po vanjskom plaštu sidrišnog tijela:

$$R_d = \tau_f \times (2r\pi) \times L_s$$

gdje su:

$\tau_f$  – odabrana iskustvena prionjivost cementne injekcijske smjese na okolno tlo

$r$  – polumjer presjeka sidrišnog tijela

$L_s$  – duljina sidrišne dionice

Predviđeni promjer bušotine iznosi 90 mm, odakle slijedi da je  $r=45$  mm.

$L_s = 10,0$  m – duljina sidrišne dionice sidara – od toga 8 m izvan kliznog tijela

Odabrana iskustvena prionjivost cementne injekcijske smjese na okolno tlo u ovom primjeru iznosi:  $\tau_f = 300$  kN/m<sup>2</sup>

Proračunska vanjska otpornost sidra:  $R_d = 300 \times 2 \times 0,045 \times \pi \times 8 = 678,58$  kN

Maksimalna sila iz proračuna (proračunski učinak djelovanja):  $S_d = 327,36$  kN < 678,58 kN

### Proračun karakteristične unutrašnje otpornosti sidra

Potrebno je odrediti konstrukcijsku otpornost svih elemenata sidra za granično stanje nosivosti ( $R_{t,d}$ ) i to prema konstrukcijskim eurokodovima EN 1992 i EN 1993. Za proračun se koristi granica popuštanja sidra (Yield load). Ova vrijednost se prema EN 1973:2013 naziva „karakteristična otpornost natege“.

$$R_{t,d} = P_{yd} / 1,15$$

$$R_{t,d} = 480 \text{ kN} / 1,15 = 417,4 \text{ kN}$$

Maksimalna sila iz proračuna (proračunski učinak djelovanja):  $S_d = 327,36$  kN < 417,4 kN

### Dimenzioniranje sidrene grede

Kontrola armirano betonskog presjeka je provedena prema HRN EN1993 pomoću računalnog programa Aspalathos Kalkulator, ver. 2.1. Za proračun armature pilota usvajaju se vrijednosti proračunskih sila.

Odabrana je armirano betonska greda dimenzija 30x30 cm.

Maksimalna proračunska uzdužna sila u sidru:  $S_{d1} = 1,35 \times 327,6 = 441,936$  kN

Horizontalna komponenta sile u sidru:  $S_{d1, \text{hor}} = S_{d1} \times \cos 25^\circ = 395,30$  kN

Proračunski moment savijanja u sredini raspona:  $M_{sd} = S_{d1, \text{hor}} \times (R/2) = 395,30 \times 1 = 395,30$  kNm

$R=2$  m - osni razmak sidara

Maksimalna proračunska posmična sila u sidrenoj gredi:  $V_{sd} = S_{d1, \text{hor}} / 2 = 395,30 / 2 = 197,65$  kN



**BETON**

MB-30

$$f_b = 20,5 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_r = 1,1 \text{ N/mm}^2$$

**UZDUŽNA ARMATURA**

RA 400/500

$$\sigma_{vi} = 400 \text{ N/mm}^2$$

**VILICE**

ϕ10

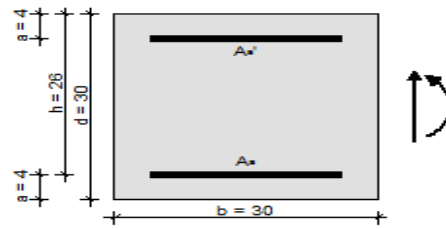
GA 240/360

$$\sigma_{vi} = 240 \text{ N/mm}^2$$

**REZNE SILE**

$$T_u = 197,65 \text{ kN}$$

$$M_u = 395,3 \text{ kNm}$$



**UZDUŽNA ARMATURA**

$$\epsilon_a = 3,5 \text{ ‰} \quad \epsilon_b = 3,5 \text{ ‰} \quad k_x = 0,500 \quad k_z = 0,792$$

$$m_u = \frac{M_{au}}{b \cdot h^2 \cdot f_b} = 0,951 > m_u^* = 0,321$$

$$M_{Nb}^* = m_u^* \cdot b \cdot h^2 \cdot f_b = 133,28 \text{ kNm}$$

$$A_a = \frac{M_{Nb}^*}{k_z \cdot h \cdot \sigma_{vi}} + \frac{M_{au} - M_{Nb}^*}{(h - a) \cdot \sigma_{vi}} = 45,96 \text{ cm}^2$$

$$A_{a'} = \frac{M_{au} - M_{Nb}^*}{(h - a) \cdot \sigma_{vi}} = 29,78 \text{ cm}^2$$

$$A_{a, \min} = 0,25 \text{ ‰} \cdot b \cdot d = 2,25 \text{ cm}^2$$

$$A_{a, \max} = 0,6 \text{ ‰} \cdot b \cdot d = 5,40 \text{ cm}^2$$

**VILICE**

$$\tau_u = \frac{T_u}{b \cdot z} = 2,82 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_r \leq \tau_u \leq 3 \cdot \tau_r$$

$$\tau_{bu} = \frac{1}{2} (3 \cdot \tau_r - \tau_u) = 0,24 \text{ N/mm}^2$$

$$e_v = 4,9 \text{ cm} \leq \begin{cases} b = 30 \text{ cm} \\ h/2 = 15 \text{ cm} \\ 25 \text{ cm} \\ \frac{A_{av} \cdot m \cdot \sigma_{vi}}{(\tau_u - \tau_{bu}) \cdot b} = 4,9 \text{ cm} \end{cases}$$

$$e_v = \frac{\phi_{vil}^2 \cdot m \cdot \pi}{0,002 \cdot 4 \cdot b} = 26,2 \text{ cm}$$

Slika 48. Proračun armature sidrene grede

Odabrana armatura:

- Odabrana uzdužna armatura 6ϕ10 mm = 4,71 cm<sup>2</sup>
- vilice ϕ10 mm/20 cm

## 2.5. Dimenzioniranje pilota

Kontrola betonskog presjeka je provedena prema HRN EN1992 pomoću računalnog programa Aspalathos Kalkulator, ver. 2.1.

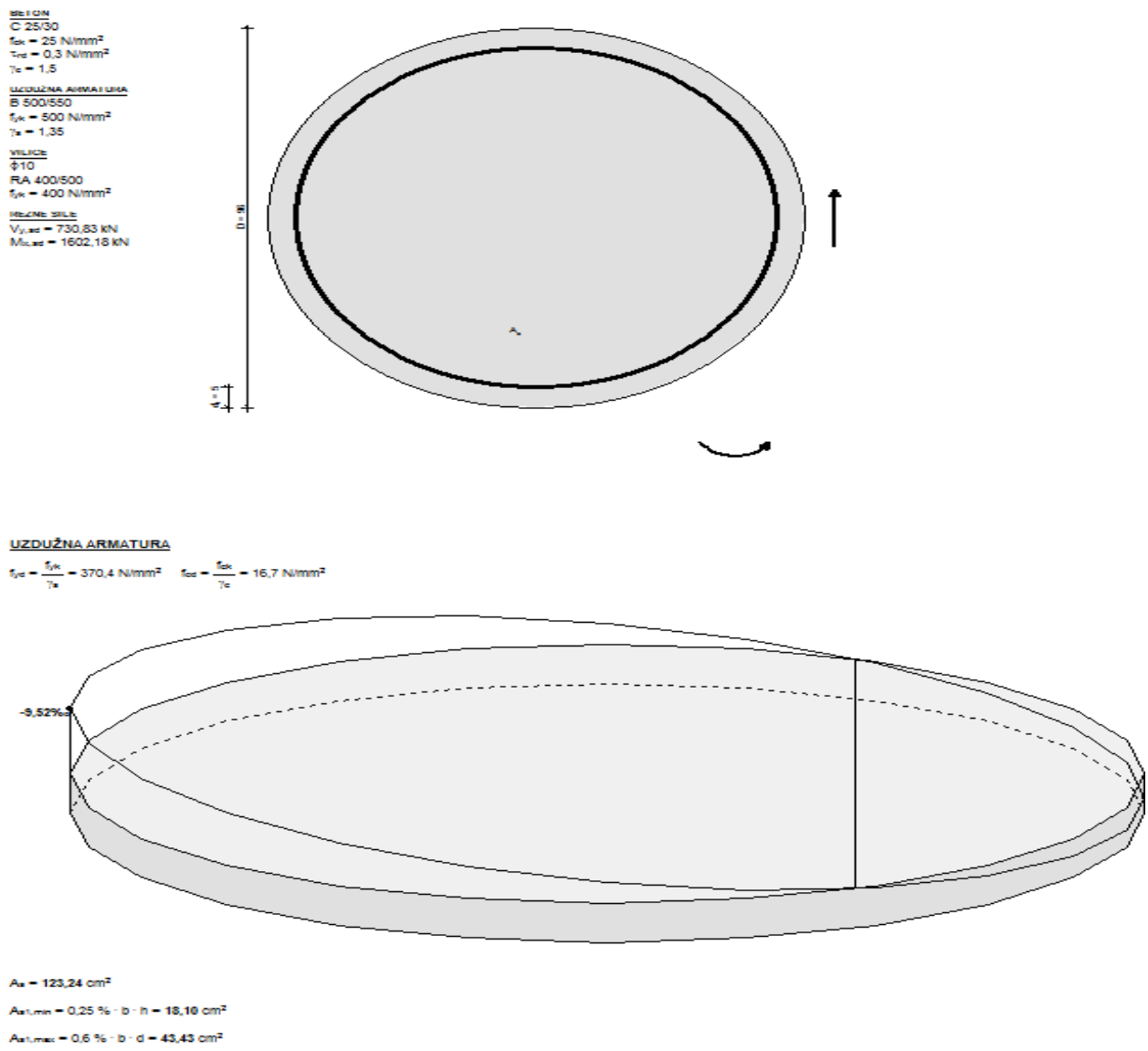
Za proračun armature pilota usvajaju se vrijednosti proračunskog momenta savijanja i proračunske poprečne sile:

$$M_{sd} = \gamma_s \times M_{ed} \times \gamma_c = 1,35 \times 791,2 \times 1,5 = 1602,8 \text{ kNm/pilot}$$

$$V_{sd} = \gamma_s \times M_{ed} \times \gamma_c = 1,35 \times 360,9 \times 1,5 = 730,83 \text{ kN/pilot}$$

$\gamma_s = 1,35$  –koeficijent sigurnosti za promjenjivo opterećenje

$\gamma_c = 1,5$  –koeficijent sigurnosti za stalno opterećenje



Slika 49. Proračun uzdužne armature pilota

**VILICE**

$$f_{yk} = \frac{f_{tk}}{\gamma_s} = 400,0 \text{ N/mm}^2$$

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

$$\rho_1 = \frac{A_{s1}}{b \cdot d} \leq 0,02, \quad \rho_1 = 0,02$$

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

$$V_{Re1} = \left( \tau_{Re} \cdot k \cdot (1,2 + 40 \cdot \rho_1) + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right) \cdot b \cdot d = 232,93 \text{ kN}$$

$$V_{Sd} > V_{Re1}$$

$$v = 0,7 - \frac{f_{yk}}{200} \geq 0,5, \quad v = 0,57$$

$$V_{Re2} = 0,5 \cdot v \cdot f_{yk} \cdot b \cdot z = 2511,3 \text{ kN}$$

$$V_{Sd} \leq V_{Re2}$$

$$s_w = 12,9 \text{ cm} \leq \begin{cases} 30 \text{ cm} \\ 0,6 \cdot d = 54,6 \text{ cm} \\ \frac{A_{sw} \cdot m}{\rho_{min} \cdot b} = 48,3 \text{ cm} \end{cases}$$

Slika 50. Proračun spiralne armature pilota

Odabrana glavna armatura:  $12\phi 20\text{mm} = 37,2 \text{ cm}^2$

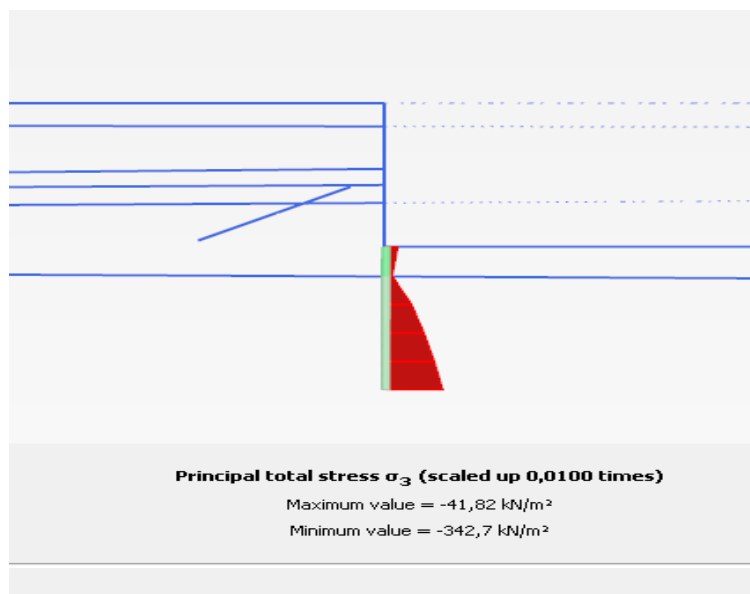
Spiralna armatura  $\phi 12\text{mm}/10\text{cm}$

### Dimenzioniranje naglavne grede pilota

Za naglavnu gredu dimenzija 130x60 cm odabrana je konstruktivna armatura:

- glavna armatura  $10\phi 20 \text{ mm}$
- vilice  $\phi 10 \text{ mm}/20 \text{ cm}$

### Provjera bočne nosivosti pilota



Slika 51. Totalna horizontalna naprezanja

Totalna horizontalna naprezanja trebaju biti manja od jednoosne tlačne čvrstoće stijenske mase:  $(\sigma_3/d_{\text{pilot}}) < \sigma_c$

Iz slike 6. vidimo da jednoosna tlačna čvrstoća za šesti sloj iznosi:

$$\sigma_{c6} = 1696 \text{ kN/m}^2$$

$$(342,7/0,96) < 1696$$

357 < 1696 – bočna nosivost pilota zadovoljena

## 2.6. Analiza količina vode koju treba crpiti

Nakon iskopa prvoga sloja tla do dubine od 6 m ispod površine terena dotok vode u građevnu jamu iznosi:

$$Q = 3,6 \text{ m}^3/\text{dan}/\text{m}' \text{ obodne konstrukcije.}$$

Opseg građevinske jame približno iznosi 250 m, pa je maksimalna količina vode koju treba crpiti iz građevinske jame tijekom iskopa prvoga sloja:

$$Q_{\text{max}} = 900 \text{ m}^3/\text{dan}$$

Nakon iskopa drugoga sloja tla do dubine od 12 m ispod površine terena dotok vode u građevnu jamu iznosi:

$$Q = 18 \text{ m}^3/\text{dan}/\text{m}' \text{ obodne konstrukcije.}$$

Opseg građevinske jame približno iznosi 250 m, pa je maksimalna količina vode koju treba crpiti iz građevinske jame tijekom iskopa drugoga sloja:

$$Q_{\text{max}} = 4500 \text{ m}^3/\text{dan}$$

### 3. Troškovnik radova

BROJ	OPIS STAVKE	JED. MJERE	KOLIČINA	JED. CIJENA	IZNOS
1.	PRIPREMNI RADOVI				
A 1.1.	Uklanjanje i odvoz na deponiju postojećeg kolničkog zastora na lokaciji debljine oko 10 cm. Obračun po m <sup>3</sup> kolničkog zastora u rastresitom stanju.	m <sup>3</sup>	550		
A 1.2.	Izrada elaborata organizacije gradilišta. Mobilizacija svih potrebnih strojeva, opreme, privremenih gradilišnih objekata, alata i ljudstva, kao i demobilizacija istih. Izrada i održavanje gradilišnih prometnica. Osiguranje svih potrebnih gradilišnih priključaka (struja, voda i sl.) s pripadajućim privremenim instalacijama kao i uklanjanje istih po dovršetku građenja. Osiguranje dovoljnog broja privremenih sanitarnih čvorova (npr. kemijski WC-i). Izrada gradilišne ograde sukladno važećim propisima i zakonima te održavanje iste tijekom gradnje objekta i odvoz iste nakon završetka svih radova tj. faze radova. Izrada i postavljanje table gradilišta te njeno uklanjanje po dovršetku građenja. Osiguranje čuvarske službe tijekom građenja. Obračun paušalno.	paušalno			
A1.3.	Iskolčenje objekta s osiguranjima u tlocrtnom i visinskom smislu kao i osiguranje istih tijekom građenja. Geodetsko snimanje i praćenje u fazi izvođenja s određivanjem repera, iskolčenjem objekta, trase instalacija i sl. Obračun paušalno.	paušalno			
2.	ZEMLJANI RADOVI				

A 2.1.	Strojni iskop terena prema projektu. Stavka predviđa iskop tla iskopne kategorije "C" i "B". Sve iskope treba obaviti prema predviđenim visinskim kotama i propisanim nagibima po projektu, odnosno po zahtjevima nadzornog inženjera. Kod izrade iskopa treba provesti sve mjere sigurnosti pri radu i sva potrebna osiguranja postojećih objekata. Iskop treba obavljati upotrebom odgovarajuće mehanizacije i drugih sredstava, a ručni rad ograničiti na neophodni (čišćenje temeljnog tla). Posebnu pažnju obratiti da se bočne strane pravilno odsijecaju. U jediničnu cijenu uključen je sav rad ljudstva, alata i strojeva, kao i utovar, transport i zbrinjavanje viška materijala iz iskopa. Iskop vršiti do projektirane kote sa točnošću $\pm 5$ cm. Obračun po m <sup>3</sup> iskopanog materijala.	m <sup>3</sup>	45.600,00		
3.	BETONSKI I ARMIRANOBETONSKI RADOVI				
A 3.1.	Postavljanje dvostrane oplata za betoniranje naglavne grede pilota. U jediničnu cijenu uračunata je nabava, transport na gradilište, montaža, razupiranje, podupiranje i demontaža oplata. Obračun po m <sup>2</sup> gotove oplata.	m <sup>2</sup>	15.000,00		
A 3.2.	Postavljanje dvostrane oplata za betoniranje sidrene grede. U jediničnu cijenu uračunata je nabava, transport na gradilište, montaža, razupiranje, podupiranje i demontaža oplata. Obračun po m <sup>2</sup> gotove oplata.	m <sup>2</sup>	10.000,00		
A 3.3.	Armatura B500B naglavne grede pilota. U jediničnu cijenu uračunata je dobava, transport na gradilište, postavljanje i vezanje armature. Obračun po kg ugrađene armature.	kg	9.193,00		

A 3.4.	Armatura B500B sidrene grede. U jediničnu cijenu uračunata je dobava, transport na gradilište, postavljanje i vezanje armature. Obračun po kg ugrađene armature.	kg	1.665,00		
A 3.5.	Beton C25/30 za izvedbu naglavne grede pilota. U jediničnu cijenu je uključena nabava materijala, izrada, transport na gradilište i ugradnja betona. Obračun po m <sup>3</sup> ugrađenog betona	m <sup>3</sup>	180,00		
A 3.6.	Beton C25/30 za izvedbu sidrene grede. U jediničnu cijenu je uključena nabava materijala, izrada, transport na gradilište i ugradnja betona. Obračun po m <sup>3</sup> ugrađenog betona	m <sup>3</sup>	22,50		
4.	POSEBNI RADOVI				
A 4.1.	Transport opreme i strojeva potrebnih za ugradnju pilota	paušalno			
A 4.2.	Iskop za izvedbu armirano betonskih pilota promjera ø90 cm, na osnovu razmaku od 1m. Dubina iskopa iznosi 24m ispod površine terena. Iskop se izvodi pomoću zaštitne kolone. Obračun po metru dužnom iskopa pilota.	m'	6.000,00		
A 4.3.	Utovar, odvoz i deponiranje iskopanog materijala na odlagalište. Obračun po m <sup>3</sup> u sraslom stanju.	m <sup>3</sup>	3.816,00		
A 4.4.	Armatura B500B pilota . Nabava, rezanje, savijanje armature, izrada armaturnih koševa duljine 24 m i transport na gradilište. Obračun po kg ugrađene armature.	kg	233.950,00		
A 4.5.	Ugradnja gotovih armaturnih koševa u izvedeni iskop za pilote. Obračun po kg ukupno ugrađenog čelika.	kg	233.950,00		
A 4.6.	Beton C 25/30 za izvedbu pilota. U cijenu je uključena nabava materijala, izrada i transport i do mjesta ugradnje (ušća kontraktora) i ugradnja. Obračun po m <sup>3</sup> ugrađenog betona u pilote.	m <sup>3</sup>	3.820,00		

B 4.7.	Iskop za izvedbu glino betonskih pilota promjera $\varnothing 40$ cm, na osnovom razmaku od 1m. Dubina iskopa iznosi 24m ispod površine terena. Iskop se izvodi pomoću zaštitne kolone. Obračun po metru dužnom iskopa pilota.	m'	6.000,00		
B 4.8.	Utovar, odvoz i deponiranje iskopanog materijala na odlagalište. Obračun po m <sup>3</sup> u sraslom stanju.	m <sup>3</sup>	3.016,00		
B 4.9.	Glinobeton za izvedbu pilota. U cijenu je uključena nabava materijala, izrada i transport do mjesta ugradnje (ušća kontraktora) i ugradnja. Obračun po m <sup>3</sup> ugrađenog glinobetona u pilote.	m <sup>3</sup>	3.016,00		
C 4.10.	Nabava, doprema, montaža i ugradnja samobušivih sidara tipa kao što je R38x5,2Termic (sila popuštanja Pyd = 480kN, sila sloma Pyk=580 kN) duljine 12 m. Konstrukcija sidra se sastoji od šipki tipa R38x5,2Termic, bušačih kruna promjera 90 mm, spojnice i podložnih pločica. Bušenje pod kutom 25 stupnjeva. Injektiranje injekcijskom smjesom . Obračun po komadu ugrađenih sidara.	kom	126		
C 4.11.	Utovar, odvoz i deponiranje iskopanog materijala na odlagalište. Obračun po m <sup>3</sup> u sraslom stanju.	m <sup>3</sup>	9,00		
D 4.12.	Crpljenje vode tijekom iskopa iz građevne jame. U cijenu je uračunat sav materijal, oprema i rad potreban za izvođenje. Obračun po m <sup>3</sup> /dan.				
	Tijekom iskopa prvoga sloja (debljine 6m).	m <sup>3</sup> /dan	900,00		
	Tijekom iskopa drugoga sloja (debljine 6m).	m <sup>3</sup> /dan	4.500,00		

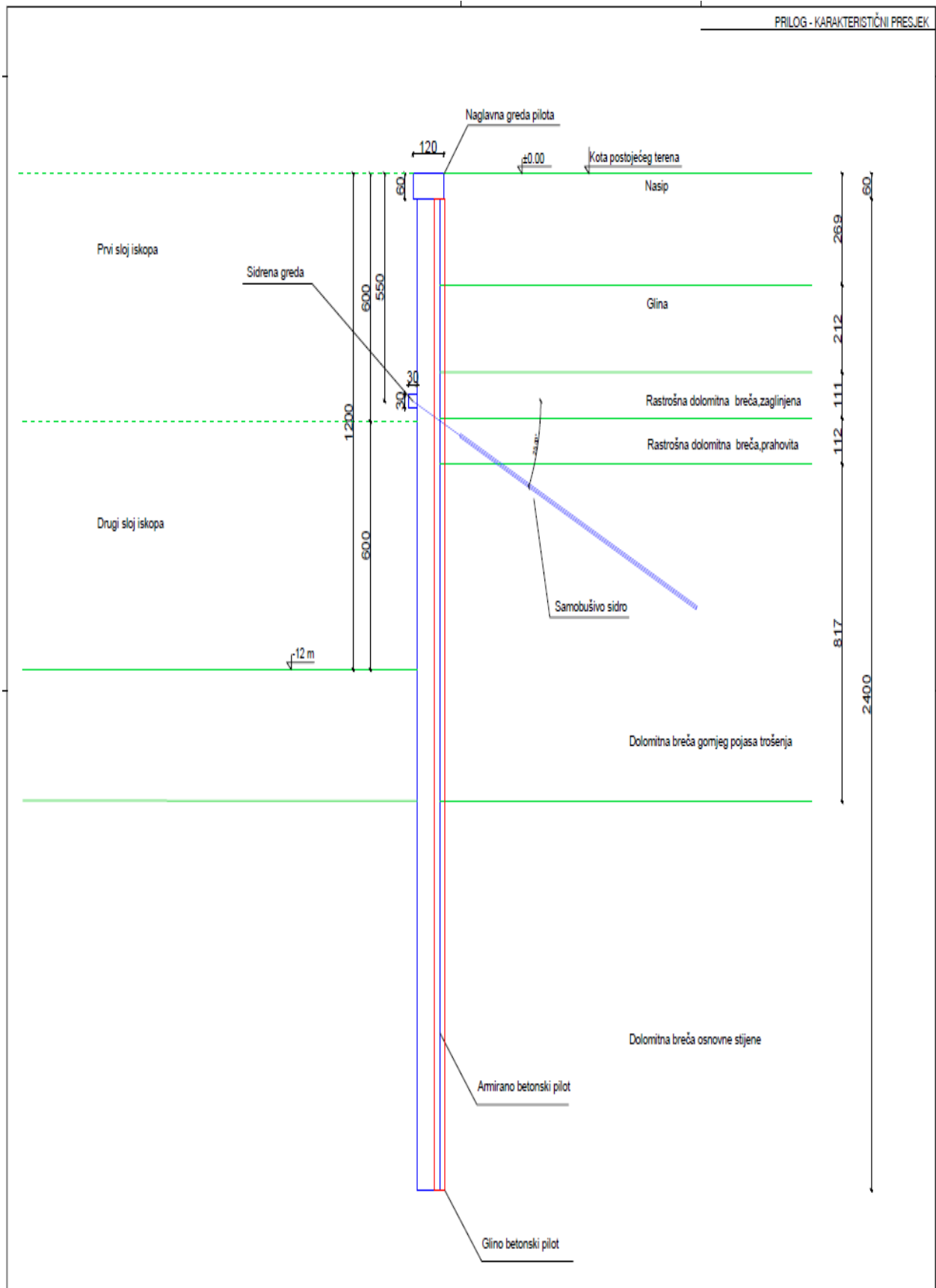


## 4. Prilozi

### 4.1. Prilog 1: Rezultati laboratorijskih ispitivanja

SONDA	DUBINA m	Točka	W <sub>0</sub> %	W <sub>1</sub> %	W <sub>p</sub> %	I <sub>p</sub> %	I <sub>k</sub>	□	□ <sub>k</sub> Mg/m <sup>3</sup>	□ <sub>h</sub>	MK (MPa)		q kPa	c (UU) kPa	□ (UU) 0	c (IP) kPa	□ (IP) 0	PROCTOR		GRANULOMETRIJSKI SASTAV			SMBOL		
											100-200 kPa	200-400 kPa						W <sub>opt</sub> %	□ <sub>max</sub> Mg/m <sup>3</sup>	G %	S %	M %		C %	
B-1	4,20-4,50	1	115,97	43,40	72,57				2,72		13,26	14,09				32,2	17,8			0	1	9	90	CH	
	4,90-5,10																			0	52	23	25	SC	
	6,30-6,50																			9	31	55	5	ML-SM	
B-2	2,60-2,80	2	53,29	23,85	29,44															0	19	31	50	CH	
	3,70-4,00	3	65,59	27,00	38,59				2,71		11,02	16,17				28,8	26,6			0	9	33	58	CH	
	5,4		24,60																						
	5,50-5,70																				0	8	26	66	CH
	7,00-7,20																				0	78	11	11	SC
B-3	3,60-3,80	4	68,09	26,30	41,79																1	13	31	55	CH
	4,40-4,60	5	64,64	26,60	38,04																0	10	44	46	CH
	6,20-6,40	6	66,57	25,70	40,87																0	9	34	57	CH
	7,30-7,50																				5	11	73	11	ML
	13,30-13,50																				0	65	31	4	SW
	5,5		27,60																						

## 4.2. Prilog 2: Karakteristični presjek



## **5. Literatura**

1. Mišćević, Predrag. Geotehničko inženjerstvo: predavanja, Split: Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, 2019.
2. Zavod za geotehniku, Institut građevinarstva hrvatske d.d., Geotehnički istražni radovi AP Dubrovnik Gruž, Zagreb, prosinac 2008.
3. Roje-Bonacci, Tanja. Zemljani radovi . Split : Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, 2012
4. Roje-Bonacci, Tanja. Duboko temeljenje i poboljšanje temeljnog tla . Split : Sveučilište u Splitu, Građevinsko-arhitektonski fakultet, 2010