

# Analiza primarne podgrade tunela Orgus-sjever

---

**Bušić, Davor**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2017**

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

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:123:488607>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-27**



*Repository / Repozitorij:*

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



UNIVERSITY OF SPLIT



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



**DIPLOMSKI RAD**

**Davor Bušić**

**Split, 2017.**

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

**Davor Bušić**

**Analiza primarne podgrade tunela  
Orgus-sjever**

**DIPLOMSKI RAD**

**Split, 2017.**

## **Analiza primarne podgrade tunela Orgus-sjever**

### ***Sažetak:***

U radu je prikazana analiza primarne podgrade tunela Orgus-sjever (lijeva os). Izvršena je analiza poprečnog presjeka u blizini portala, te je izvršena usporedba rezultata u ovisnosti o vrsti iskopa tunela (horizontalni i vertikalni iskop).

### ***Gljučne riječi:***

Primarna podgrada, Tunel, Iskop

## **Analysis of primary lining of tunnel Orgus-north**

### ***Abstract:***

This paper presents the analysis of primary lining of the tunnel Orgus-north (left axis). A cross section analysis near the portal was performed and a comparison of the results was made depending on the type of tunnel excavation (horizontal and vertical).

### ***Keywords:***

Primary lining, Tunnel, Excavation

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

STUDIJ: **DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**  
KANDIDAT: **Davor Bušić**  
BROJ INDEKSA: **584**  
KATEDRA: **Katedra za Betonske konstrukcije i mostove**  
PREDMET: **Betonske konstrukcije**

**ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD**

Tema: **Analiza primarne podgrade tunela Orgus-sjever**

Opis zadatka: Na temelju danih podloga te geotehničkog elaborata potrebno je izvršiti analizu ponašanja primarne podgrade tunela Orgus-sjever te usporedbu ponašanja za različite varijante iskopa.

U Splitu, 17.03.2017.

Voditelj Diplomskog rada:

Prof.dr.sc.Alen Harapin

Predsjednik Povjerenstva  
za završne i diplomske ispite:  
Doc. dr. sc. Veljko Srzić

|                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. TEHNIČKI OPIS .....                                                                   | 1  |
| 1.1. Uvod .....                                                                          | 1  |
| 1.2. Lijeva tunnelska cijev .....                                                        | 1  |
| 1.3. Osnovne geološke karakteristike terena .....                                        | 2  |
| 1.4. Rezultati istražnog bušenja .....                                                   | 4  |
| 1.5. Inženjerskogeološke karakteristike terena na području sjevernog tunela .....        | 5  |
| 1.6. Geotehničke karakteristike tunela .....                                             | 7  |
| 1.7. Karakteristični poprečni presjek tunela .....                                       | 8  |
| 1.8. Odvodnja tunela .....                                                               | 9  |
| 2. RAVNINSKI NELINEARNI MODEL .....                                                      | 10 |
| 2.1. Općenito o lambda metodi .....                                                      | 10 |
| 2.2. Diferencijalni pomaci krune i dna tunela .....                                      | 12 |
| 2.3. Bezdimezionalni parametar lambda .....                                              | 13 |
| 2.4. Reakcijske krivulje tla i primarne podgrade .....                                   | 15 |
| 2.5. Modul krutosti primarne podgrade .....                                              | 16 |
| 3. NUMERIČKA ANALIZA PRIMARNE PODGRADE .....                                             | 18 |
| 3.1. Podaci za primarnu konstrukciju .....                                               | 18 |
| 3.2. Izrada modela u Geo5-u .....                                                        | 20 |
| 3.2.1. Analiza primarne podgrade u varijanti s horizontalnim iskopom .....               | 24 |
| 3.2.1.1. Prva faza analize primarne podgrade s horizontalnim iskopom .....               | 25 |
| 3.2.1.2. Druga faza analize primarne podgrade s horizontalnim iskopom .....              | 25 |
| 3.2.1.3. Treća faza analize primarne podgrade s horizontalnim iskopom .....              | 27 |
| 3.2.1.4. Četvrta faza analize primarne podgrade s horizontalnim iskopom .....            | 29 |
| 3.2.1.5. Peta faza analize primarne podgrade s horizontalnim iskopom .....               | 31 |
| 3.2.1.6. Šesta faza analize primarne podgrade s horizontalnim iskopom .....              | 33 |
| 3.2.1.7. Sedma faza analize primarne podgrade s horizontalnim iskopom .....              | 35 |
| 3.2.1.8. Osma faza analize primarne podgrade s horizontalnim iskopom .....               | 37 |
| 3.2.1.9. Deveta faza analize primarne podgrade s horizontalnim iskopom .....             | 39 |
| 3.2.1.10. Deseta faza analize primarne podgrade s horizontalnim iskopom .....            | 41 |
| 3.2.2. Prikaz rezultata konvergenijskih točaka u varijanti s horizontalnim iskopom ..... | 43 |
| 3.2.3. Analiza primarne podgrade u varijanti s vertikalnim iskopom .....                 | 46 |
| 3.2.3.1. Prva faza analize primarne podgrade s vertikalnim iskopom .....                 | 47 |
| 3.2.3.2. Druga faza analize primarne podgrade s vertikalnim iskopom .....                | 48 |
| 3.2.3.3. Treća faza analize primarne podgrade s vertikalnim iskopom .....                | 49 |
| 3.2.3.4. Četvrta faza analize primarne podgrade s vertikalnim iskopom .....              | 50 |
| 3.2.3.5. Peta faza analize primarne podgrade s vertikalnim iskopom .....                 | 51 |

|                                                                                                              |        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 3.2.3.6. Šesta faza analize primarne podgrade s vertikalnim iskopom .....                                    | 52     |
| 3.2.3.7. Sedma faza analize primarne podgrade s vertikalnim iskopom .....                                    | 53     |
| 3.2.3.8. Osma faza analize primarne podgrade s vertikalnim iskopom .....                                     | 54     |
| 3.2.3.9. Deveta faza analize primarne podgrade s vertikalnim iskopom .....                                   | 55     |
| 3.2.3.10. Deseta faza analize primarne podgrade s vertikalnim iskopom .....                                  | 56     |
| 3.2.3.11. Jedanaesta faza analize primarne podgrade s vertikalnim iskopom.....                               | 57     |
| 3.2.3.12. Dvanaesta faza analize primarne podgrade s vertikalnim iskopom .....                               | 58     |
| 3.2.3.13. Trinaesta faza analize primarne podgrade s vertikalnim iskopom .....                               | 59     |
| 3.2.3.14. Četrnaesta faza analize primarne podgrade s vertikalnim iskopom .....                              | 60     |
| 3.2.3.15. Petnaesta faza analize primarne podgrade s vertikalnim iskopom.....                                | 61     |
| 3.2.3.16. Šesnaesta faza analize primarne podgrade s vertikalnim iskopom .....                               | 62     |
| 3.2.3.17. Sedamnaesta faza analize primarne podgrade s vertikalnim iskopom .....                             | 63     |
| 3.2.3.18. Osamnaesta faza analize primarne podgrade s vertikalnim iskopom.....                               | 64     |
| 3.2.3.19. Devetnaesta faza analize primarne podgrade s vertikalnim iskopom .....                             | 65     |
| 3.2.4. Prikaz rezultata konvergenijskih točaka u varijanti s vertikalnim iskopom .....                       | 66     |
| 3.3. Armatura primarne podgrade za slučaj horizontalnog i vertikalnog iskopa .....                           | 69     |
| 3.4. Usporedba rezultata u konvergenijskim točkama između horizontalnog i vertikalnog načina<br>iskopa ..... | 71     |
| 4. POTRESNO OPTEREĆENJE .....                                                                                | 75     |
| 5. GRAĐEVINSKI NACRTI.....                                                                                   | 77     |
| list 5.1. Situacija.....                                                                                     | 1:1000 |
| list 5.2. Prognozirani geotehnički uzdužni profil po osi sjevernog tunela .....                              | 1:1000 |
| list 5.3. Normalni poprečni presjek sjevernog tunela s podnožnim svodom .....                                | 1:25   |
| list 5.4. Podgradni sustav tip 3 za III. kategoriju iskopa.....                                              | 1:100  |
| list 5.5. Podgradni sustav tip 4 za IV. kategoriju iskopa .....                                              | 1:100  |
| list 5.6. Podgradni sustav tip 5 za V. kategoriju iskopa .....                                               | 1:100  |

# 1. TEHNIČKI OPIS

## 1.1. Uvod

U diplomskom radu je izvršena analiza ponašanja primarne podgrade tunela Orgus koji se nalazi na brzjoj cesti Solin-Klis-Sinj (Državna cesta D-1), dionica Podi-Križice.

Tunel Orgus sastoji se od dva dvotračna tunela, tj. od lijeve i desne tunelske cijevi.

U ovom radu će se razmatrati samo lijeva, tj. sjeverna tunelska cijev.

## 1.2. Lijeva tunelska cijev

Ukupna dužina iskopa sjevernog tunela iznosi 380,00 m. Početak iskopa južnog tunela projektiran je na stac. 2+385,00, a kraj iskopa tunela na stac. 2+730,00, tj. ukupna dužina iskopa južnog tunela iznosi 345,00 m.

Visina nadsloja na ulaznom portalu sjevernog tunela iznosi cca 6 m, na izlaznom portalu također cca 6 m, a u središnjem dijelu tunela do 30 m.

Geotehnički istražni radovi sastojali su se od obilaska terena i geološkog kartiranja užeg područja tunela, geofizičkih istraživanja, istražnog bušenja i laboratorijskih ispitivanja karakterističnih uzoraka stijenske mase. Također je izvršen uvid u Osnovnu geološku kartu-list Omiš u mj. 1:100000, te Seizmološku kartu (mj. 1:1000000), za područje predmetne lokacije, za povratni period od 200 i 500 godina.

Elementi položaja slojeva i pukotina vapnenačkih naslaga, mogli su se utvrditi samo na zapadnom dijelu predmetne lokacije, budući da su vapnenačke naslage na istočnom dijelu lokacije prekrivene kvartarnim naslagama, gdje mjestimično strše manji izdanci matične vapnenačke stijene.

Geotehnički istražni radovi su izvedeni s ciljem utvrđivanja sastava, te geološko-geotehničkih i hidrogeoloških karakteristika stijenske mase, dubine pojave matične vapnenačke stijene, položaja slojeva i pukotina, te njihovih geotehničkih karakteristika.

Na karakterističnim vapnenačkim uzorcima izvedena su i određena laboratorijska ispitivanja, tj. utvrđivanje sadržaja  $\text{CaCO}_3$ , jednoosne tlačne čvrstoće, modula deformacija i elastičnosti i sl.

Navedena istraživanja poslužiti će projektantu tunela kao osnova za geotehničku kategorizaciju stijenske mase (po RMR i Q sustavu), projektiranju podgradnog sustava, tehnologiji izvođenja iskopa tunela i sl.



Na sjevernom tunelu izvedene su dvije bušotine na istočnom dijelu tunela (B-1S i B-2S). Dubina istražne bušotine B-1S iznosi 23 m, a dubina bušotine B-2S iznosi 40 m, od ušća bušotine.

Na području tunela "Orgus" izvedena su i geofizička istraživanja od strane IGH d.d. Zavod za geotehniku, Zagreb. Rezultati geofizičkih istraživanja prikazani su u Izvještaju o geofizičkim istraživanjima na lokaciji tunela "Orgus", brza cesta Solin-Klis-Sinj (DC-1), dionica Podi-Križice. Navedenim istraživanjima izvedena je seizmička refrakcijska metoda, geoelektrično profiliranje LIS-tehnikom (geoelektrična tomografija), i georadarska metoda.

Rezultati geofizičkih istraživanja (zajedno s rezultatima ostalih sprovedenih geotehničkih istraživanja), poslužila su za izradu – formiranje prognoznih uzdužnih inženjerskogeoloških profila (po osi tunela), kao i karakterističnih poprečnih prognoznih inženjerskogeoloških profila, te za kategorizaciju stijenske mase.

### **1.3. Osnovne geološke karakteristike terena**

Teren na predmetnoj lokaciji izgrađuju gornjokredni vapnenci senona, s mjestimičnim proslojcima dolomitiziranih vapnenaca ( $K_2^3$ ) – matična stijena, koja je na istočnom dijelu lokacije prekrivena relativno tankim naslagama kvartarnih sedimenata, sastavljenim od vapnenačkog kršja i prašinastih glina (Q).

Na zapadnom dijelu lokacije izdanci vapnenačkih naslaga pojavljuju se od površine terena (vidi fototeku). Mjerenjem elemenata položaja slojeva (na zapadnom dijelu lokacije), utvrđen je njihov generalni nagib prema istoku, IJI-u i SI-u, pod kutem od 30 do 50 stupnjeva. Pružanje slojeva je u smjeru sjever-jug, IJI-ZSZ i SZ-JI (ss=105/40, 60/30-35, 95/30, 85/30-40, 90/40-45,75/45 i 50/40).

Na početku južnog tunela utvrđeno je i antiklinalno boranje slojeva (ss=280/40, 310/50, 90/40). Pružanje slojeva je povoljno s obzirom na os tunela, tj. praktično poprečno do koso u odnosu na os tunela.

Na središnjem dijelu lokacije registrirano je pružanje subvertikalnog rasjeda ( $R=230/80$ ), koji je nagnut prema JZ-u pod kutem od 80 stupnjeva, a generalno pružanje mu je u smjeru SZ-JI, tj. praktično poprečno (do koso), u odnosu na osi tunela.

Prema uvidu na terenu ovaj rasjed razdvaja slojevite vapnenačke nalage od pretežno gromadastih, raspucanih do zdrobljenih vapnenačkih naslaga, na istočnom dijelu lokacije.

Debljine slojeva vapnenačkih naslaga iznose uglavnom 20-60 cm, s hrapavim međuslojnim pukotinama. Pored međuslojnih pukotina utvrđena su (na zapadnom dijelu lokacije), i dva karakteristična pukotinska sustava.

Prvi pukotinski sustav je pružanja kosog do paralelnog u odnosu na pružanje slojeva (uglavnom povoljno u odnosu na os tunela), a nagnut je (na početku južnog tunela), prema JJI-u i ZJZ-u pod kutem od 25 do 60 stupnjeva. Na ostalom dijelu lokacije (prema središnjem dijelu), pukotine prvog pukotinskog sustava su nagnute prema ZJZ-u do SSZ-u pod kutem od 30 do 60 stupnjeva. Pukotine prvog pukotinskog sustava se nalaze na razmaku uglavnom od 20-60 cm, s hrapavim stijenkama.

Drugi pukotinski sustav (subvertikalni do vertikalni), je približno okomit do kos u odnosu na pružanje slojeva, mjestimično nepovoljnog – paralelnog pružanja u odnosu na os tunela. Nalaze se na međusobnom razmaku od uglavnom 20-60 cm, s hrapavim do neznatno hrapavim stijenkama.

Pružanje slojeva i pukotina prikazano je na situaciji s karakterističnim geološkim elementima u mj. 1:1000.

Hidrogeološki odnosi su posljedica litostratigrafske građe i tektonskih odnosa na terenu. U hidrogeološkom smislu kvartarne naslage posjeduju međuzrnsku poroznost. Naslage gornjokrednih vapnenaca s proslojcima dolomitiziranih vapnenaca posjeduju pukotinsku i kavernožnu poroznost, i predstavljaju hidrogeološke kolektore - sprovodnike podzemne vode. Za vrijeme istražnog bušenja nije registrirana podzemna voda do dubine bušenja. Za vrijeme iskopa tunela (prilikom kišnog razdoblja), očekuju se u tunelu pojave vlaženja, i koncentriranih procjeđivanja vode, naročito pri portalnim dijelovima.

Vapnenačke i dolomitizirane naslage predstavljaju dobro vodopropusne naslage, kroz koje se oborinske vode relativno brzo procjeđuju prema podzemlju – izvorima rijeke Jadro i Žrnovnice, te je potrebno voditi računa o zaštiti prostora.

Prema Seizmološkoj karti predmetna lokacija se nalazi u zoni za koju se predviđa za povratni period od 200 i 500 godina (uz 63 % vjerojatnosti), maksimalni intenzitet potresa u iznosu od 8° MSK-64 ljestvice.

#### 1.4. Rezultati istražnog bušenja

Na bušotini B-1S utvrđeno je do dubine 0,70 m vapnenačko kršje s učešćem gline prašinaste. U intervalu 0,70 m do 3,50 m utvrđene su vapnenačke naslage raspucane i okršene, s pukotinama "mm" do "cm" zijeva ispunjene crvenicom. U intervalu 3,5-7,8 m vapnenačka stijenska masa je dosta raspucana i kavernoza.

Kaverne su ispunjene glinom crvenicom i kršjem matične stijene. Od 7,8 m -15,0 m utvrđeni su gornjokredni vapnenci svijetlosive boje, raspucani duž čitavog intervala subvertikalnom do vertikalnom pukotinom "cm" zijeva, ispunjenom glinom crvenicom. U intervalu 12,5-13,0 m stijenska masa je zdrobljena. U intervalu 15,0 m - 23,0 m (dno bušotine), vapnenačka stijenska masa je dosta raspucana i kavernoza. U intervalu 18,3-18,8 m utvrđena je kaverna bez ispune, a od 19,5-20,3 m kaverna s ispunom crvenice i kršja. Vrijednost RQD (u intervalu 15,0 –16,0 m), iznosi 50-75 %, a u intervalu 16,0-18,3 m RQD iznosi <25 %. U intervalu 20,3-23,0 m RQD iznosi 25-50 %.

Na bušotini B-2S utvrđeno je do dubine 0,30 m vapnenačko kršje s humuziranom glinom. Od 0,30 m – 1,40 m registrirana je izrazito okršena zona od raspucanih vapnenaca u formi kršja. U intervalu 1,40 m - 2,70 m vapnenačka stijenska masa je dosta raspucana s pukotinama "mm" zijeva ispunjenih crvenicom (RQD=25-50 %). Od 2,70 m sve do dna bušotine (- 40,0 m), registrirani su raspucani gornjokredni masivni vapnenci svijetlosive boje, s mjestimičnim proslojcima dolomitiziranih vapnenaca, povoljnih fizikalno-mehaničkih karakteristika. Na jezgri se uočavaju stisnute pukotine, kao i vertikalne pukotine "mm" zijeva ispunjene crvenicom. U intervalu 28,2-28,6 m utvrđena je kaverna ispunjena crvenicom i kršjem. Stijenke pukotina su uglavnom hrapave – ravne. Vrijednost RQD uzduž intervala bušenja iznosi 75-90 % i 90-100 %.

## 1.5. Inženjerskogeološke karakteristike terena na području sjevernog tunela

Prema prognoznom uzdužnom inženjerskogeološkom profilu sjeverni tunel "Orgus" prolazi kroz naslage gornjokrednih vapnenaca s mjestimičnim prosljocima dolomitiziranih vapnenaca ( $K_2^3$ ).

Na osnovi rezultata geološkog kartiranja, geofizičkih i geotehničkih istraživanja, može se zaključiti sljedeće:

Od početka iskopa (na ulaznom portalu), tj. od stac. 2+365,00 do rasjeda na stac. cca 2+564,00 stijensku masu izgrađuju gornjokredne vapnenačke naslage sa izraženom slojevitošću. Debljine slojeva iznose uglavnom 20-60 cm. Pored međuslojnih pukotina registrirana su i dva karakteristična pukotinska sustava. Strukturne karakteristike svih diskontinuiteta opisane su u poglavlju 2.3.1. (Litostratigrafske karakteristike).

Sa istočne strane rasjeda pretpostavlja se da će tunel prolaziti kroz uglavnom raspucane gromadaste vapnence sa slabo izraženom slojevitošću, s mjestimičnim zonama zdrobljene stijenske mase, s glinovitom ispunom u pukotinama.

Od početka iskopa na stac. 2+365,00 do 2+422,00 stijensku masu izgrađuju veoma raspucani i okršeni vapnenci, s brzinama uzdužnih valova  $V_p = 1500-2000$  m/s (relativno mali nadsloj).

Od stac. 2+422,00-2+ 431,00 stijensku masu izgrađuju također veoma raspucani i okršeni vapnenci. Brzine uzdužnih valova  $V_p$  iznose 2000-2500 m/s.

Od stac. 2+431,00-2+453,00 stijensku masu izgrađuju veoma raspucani i okršeni vapnenci. Brzine uzdužnih valova  $V_p$  iznose 1500-2000 m/s.

Od stac. 2+453,00-2+474,00 područje tunela izgrađuju veoma raspucani i okršeni vapnenci. Brzine uzdužnih valova  $V_p$  iznose 2000-2500 m/s.

Sve gore navedene zone stijenske mase su relativno slabijih fizikalno-mehaničkih karakteristika.

Od stac. 2+474,00-2+494,00 područje tunela izgrađuju raspucani vapnenci, relativno povoljnih fizikalno-mehaničkih karakteristika. Brzine uzdužnih valova  $V_p$  iznose 2500 – 3000 m/s.

Od stac. 2+494,00-2+501,00 područje tunela izgrađuju veoma raspucani i okršeni vapnenci. Brzine uzdužnih valova  $V_p$  iznose 2000-2500 m/s.

Od stac. 2+501,00-2+544,00 područje tunela izgrađuju veoma raspucani i okršeni vapnenci. Brzine uzdužnih valova Vp iznose 1500-2000 m/s.

Od stac. 2+544,00-2+558,00 stijensku masu izgrađuju veoma raspucani i okršeni vapnenci. Brzine uzdužnih valova Vp iznose oko 2000 m/s.

Gore navedene zone stijenske mase (od stac. 2+494,00-2+558,00), su relativno nepovoljnih fizikalno-mehaničkih karakteristika.

Od stac. 2+558,00-2+584,00 područje tunela izgrađuju veoma raspucani do zdrobljeni vapnenci, nepovoljnih fizikalno-mehaničkih karakteristika. Brzine uzdužnih valova Vp iznose 1500-2000 m/s.

Od stac. 2+584,00-2+623,00 područje tunela izgrađuju vapnenačke naslage relativno povoljnih fizikalno-mehaničkih karakteristika. Brzine uzdužnih valova Vp iznose oko 2500 m/s.

Od stac. 2+623,00-2+676,00 područje tunela izgrađuju veoma raspucani do zdrobljeni vapnenci, relativno slabijih fizikalno-mehaničkih karakteristika. Brzine uzdužnih valova Vp iznose oko 2000 m/s.

Od stac. 2+676,00-2+710,00 područje tunela izgrađuju vapnenačke naslage relativno povoljnih fizikalno-mehaničkih karakteristika. Brzine uzdužnih valova Vp iznose 2500-3000 m/s.

Od stac. 2+710,00-2+745,00 (kraj iskopa), područje tunela izgrađuju veoma raspucane do zdrobljene vapnenačke naslage, nepovoljnih fizikalno-mehaničkih karakteristika. Brzine uzdužnih valova Vp iznose 1500-2000 m/s.

Laboratorijskim ispitivanjima karakterističnih vapnenačkih uzoraka iz istražnih bušotina, utvrđeno je, prema sadržaju  $\text{CaCO}_3$ , te strukturnim i teksturnim karakteristikama, da ispitani uzorci pripadaju gornjokrednim vapnencima. Sadržaj  $\text{CaCO}_3$  iznosi od 95,80 do 97,33 %. Ispitivanjem jednoosne čvrstoće vapnenačkih uzoraka, od uglavnom 25,0-50,0 Mpa i 50,00-100,00 Mpa.

Stijenke pukotina u vapnenačkim naslagama su uglavnom hrapave. Pukotine su od stisnutih do "mm" i "cm" zijeve ispunjene glinovitom ispunom.

## 1.6. Geotehničke karakteristike tunela

Procjena kategorija stijenske mase prema geotehničkoj klasifikaciji, kao i izbor podgradnog sustava dati su za svaku zonu u uzdužnom geotehničkom profilu.

Prema Geomehaničkoj klasifikaciji RMR, lijeva tunelska cijev Orgus duljine 380 metara će se graditi u sljedećim kategorijama stijenske mase:

- III.kategorija stijenske mase u dužini od 93,0 m (24,5%)
- IV.kategorija stijenske mase u dužini od 108,0 m (27,4%)
- V.kategorija stinske mase u dužini od 183,0 m (48,1%)

Odabrana su 3 tipa podgradnih sustava za lijevu tunelsku cijev:

- za III.kategoriju stijenske mase predviđen je podgradni sustav TIP 3
- za IV.kategoriju stijenske mase predviđen je podgradni sustav TIP 4
- za V.kategoriju stijenske mase predviđen je podgradni sustav TIP 5

| Tip podgradnog sustava | Osnovne karakteristike podgradnog sustava                                                                            | Ukupna dužina dionica (m) |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| TIP 3                  | Armirani mlazni beton debljine 10cm, čelična sidra dužine 4 m na razmaku 2x1.5 m                                     | 93,0                      |
| TIP 4                  | Armirani mlazni beton debljine 15cm, čelična sidra dužine 4 m na razmaku 2x1.5m, čelični lukovi na razmaku od 1.5 m  | 108,0                     |
| TIP 5                  | Armirani mlazni beton debljine 20cm, čelična sidra dužine 4 m na razmaku 2x1.0 m, čelični lukovi na razmaku do 1.0 m | 183,0                     |

Tablica 1. Pregled osnovnih karakteristika tipova podgradnih sustava za lijevu tunelsku cijev Orgus

## 1.7. Karakteristični poprečni presjek tunela

Poprečni presjek tunela odabran je iz uvjeta osiguranja slobodnog profila visine 4,5 m za dvije kolovozne trake. Poprečni nagib u tunelu je konstantan duž tunela i iznosi -2.5% za lijevu tunnelsku cijev. Visina od relativne kote 0.00 (razina kolovozne trake u osi tunela) do tjemnog svoda iznosi 6.85 m. Kota nivelete definirana je u osi tunela a razini kolnika.

Projektiran je uzdužni sustav ventilacije kojim se svježi zrak ubacuje s jedne strane tunela, a izbacuje na drugu stranu tunela, ovisno o vanjskim meteorološkim uvjetima. U središnjem dijelu tunela, iznad slobodnog profila, ostavljen je prostor za smještaj ventilatora i rasvjete.

Polumjer unutrašnjeg ruba armirano-betonske obloge u tjemnom svodu iznosi 4.85 m, a središte kružnog luka je na relativnoj koti 2.0 m. Radijus unutrašnjeg ruba armirano-betonske obloge u bokovima iznosi 6.6 m s centrom luka na 1.69 m od osi tunela do razine kolnika.

Debljina armirano-betonske obloge tunela iznosi minimalno 30 cm. Radijus zakrivljenosti valjske linije armirano-betonske obloge (rub betona u kontaktu s hidroizolacijom), iznosi 5.15 m u tjemnom svodu, a 9.50 m u bokovima. Ovime je osigurano da se debljina armirano-betonske obloge postupno povećava od 30 do odprilike 60 cm, kolika je debljina na razini temelja. Debljina temelja iznosi 35 cm na oba kraja. Temelji će se armirati i ostaviti armatura za preklap i vezu sa sekundarnom armirano-betonskom oblogom.

Betonska obloga izvesti će se u debljini od 30 cm u tjemnom svodu te u debljini od 30-60 cm u bokovima, sa betonom C 30/37. Armirati će se armaturnom mrežom R-335. Glavna armatura mreže je  $\Phi$  8/15 cm i položena je paralelno s osi tunela, a razdjelna armatura je  $\Phi$  5/25 cm i položena je okomito na os tunela. Orebrene šipke  $\Phi$  19 na međusobnom razmaku od 1 m vezane su u mrežastu armaturu u radijalnom smjeru.

Uloga armature je preuzimanje vlačnih naprezanja koja se najčešće javljaju na unutarnjem rubu betonske obloge u tjemnom svodu i pri dnu bokova, protiv stvaranja marko i mikropukotina, kao i preuzimanja vlačnih naprezanja od dinamičkog opterećenja (potres, promet i sl.), te zbog ostalih sekundarnih utjecaja. Navedena debljina betonske obloge ne smije biti manja od 30 cm (osim lokalno 25 cm), a za slučaj bitno većih debljina (prekoprofilski iskopi) potreban je statički proračun s određivanjem potrebne debljine količine armature.

Debljina armiranog mlaznog betona (mlazni beton C 30/37) za podgradni sustav TIP 5 iznosi 20 cm, za podgradni sustav TIP 4 iznosi 15 cm te za podgradni sustav TIP 3 iznosi 10 cm. Na mlazni beton postaviti će se geotekstil debljine cca 4 mm, a na njega dolazi hidroizolacija od plastične folije debljine 1.5 do 2 mm, koja se lijepi na prethodno postavljen plastične čepove. Uloga geotekstila je omogućavanje cijedenja procijednih voda do bočnih uzdužnih drenažnih cijevi, kao i zaštita hidroizolacije prilikom betoniranja betonske obloge.

Kolnik se sastoji od dvije kolovozne trake širine po 3.5 m s rubnom trakom širine 35 cm, tj. ukupno 2x3.85 m. Sa svake strane kolnika predviđen je nogostup za nužni prolaz.

## 1.8. Odvodnja tunela

Osnovni element odvodnje tunela je glavna odvodna cijev promjera 600 mm. Cijev se nalazi u kolniku, na 1.75 m desno od osi tunela. Svakih 50 m tunela (radi održavanja) predviđeno je kontrolno okno na glavnoj odvodnoj cijevi. Minimalni uzdužni nagib glavnog cjevovoda iznosi 0.3%, ali s obzirom da je tunel u stalnom nagibu cijevi se postavljaju tako da prate nagib tunela.

Između mlaznog betona i betona sekundarne betonske obloge postaviti će se sloj hidroizolacije. Podzemne procjedne vode cijedit će se po hidroizolaciji (kroz geotekstil) do bočnih drenažnih uzdužnih cijevi promjera 150 mm. Drenažne cijevi su plastične s minimalnim uzdužnim nagibom od 0.3%. Za prihvat koncentriranih dotoka procjednih voda predviđena je ugradnja cijevi i polucijevi promjera 50 mm, kojima se zahvaćene vode odvede do uzdužnih drenažnih cijevi u bokovima tunela.

Na istim stacionažama na kojima će se izgraditi kontrolna okna na glavnom odvodnom kolektoru, bit će izgrađena i okna s nišama na drenažnim cijevima. Iz tih okana prikupljene procjedne vode će se slijevati u glavna okna.

Vode koje se skupe na kolniku slijevaju se u cijev koja je ugrađena u nižem rubnom traku. Ta cijev je promjera 300 mm, s minimalnim uzdužnim nagibom od 0.3%. Svakih 50 metara, na istim stacionažama na kojima će se izgraditi i kontrolna okna na glavnom odvodnom kolektoru, predviđena su i sifonska okna u kojima je osiguran prekid kontinuiteta u cijevi promjera 300 mm, radi onemogućavanja širenja eventualnog požara kroz odvodnu cijev duž tunela. Iz sifonskog okna prikupljene vode s kolnika se ulijevaju u okno glavne odvodnje kroz cijev promjera 300 mm.

Za odvodnju voda ispod kolnika predviđena je uzdužna drenažna cijev promjera 150 mm, iz koje se voda također izlijeva u glavna okna odvodnje.

Za odvodnju lijeve tunelske cijevi Orgus predviđena su okna na glavnoj odvodnoj cijevi, te na istim stacionažama predviđena su okna s nišama na drenažnim cijevima i sifonska okna na cijevi odvodnje kolnika (promjera 300 mm).



## 2. RAVNINSKI NELINEARNI MODEL

### 2.1. Općenito o lambda metodi

Iako je iskop tunela očigledno trodimenzionalni problem zbog kompleksnosti simulacije iskopa (problemi u izradi modela, ocjenjivanju parametara materijala) u trodimenzionalnom prostoru problem rješavamo u ravnini iskopa primjenjujući lambda metodu koja se često koristi ako se iskop tunela radi po NATM.

Metoda pokušava predvidjeti stvarni gubitak volmena prilikom iskopa tunela na način da se vrši postepeno rasterećivanje opterećenja prije izgradnje podgrade.

Analiza je pojednostavljena na način da se problem svodi na dvodimenzionalni ravninski problem te promatranjem specifičnog poprečnog presjeka.

Postupno razvijanje diferencijalnih pomaka na određenom poprečnom presjeku nastalih kao rezultat iskopa tunela može se simulirati kontinuiranom redukcijom radijalnog naprezanja  $\sigma_r$  koje djeluje po obodu tunela i kreće se u vrijednostima od početne vrijednosti  $\sigma^0$  do nule.

Ostatak od početnog naprezanja  $\sigma^0$  tada predstavlja potporni pritisak  $p$  kako bi mogli simulirati efekt očvršćivanja stvarnog trodimenzionalnog sustava stijene te efekt očvršćivanja primarne podgrade u blizini promatranog poprečnog presjeka.

U metodi konačnih elemenata vektor sila  $F_0$  koji se dovodi u vezu s procesom iskopa koji je proporcionalan s početnim naprežanjem unutar tunela  $\sigma^0$  je podijeljena na dva dijela.

Jedan dio ovog vektora  $\lambda F_0$  se prvo primjenjuje na nepoduprtu granicu tunela kako bi se simulirala redukcija krutosti za određeni poprečni presjek prilikom kontinuiranog iskopa.

Pomak promatranog poprečnog presjeka tada postiže vrijednost  $u_{SR}$ . Odgovarajući podupirući pritisak tada iznosi  $p^s = (1 - \lambda_s) \sigma^0$ . Nakon toga se ugrađuje podgrada i tada ostatak naprezanja iznosi  $(1 - \lambda) F_0$ .

Nulta vrijednost podupirućeg pritiska predstavlja uvjete duž zida jednog beskonačnog dugog tunela bez podupora. Kako je originalno stanje naprezanja  $\sigma^0$  dovoljno udaljeno od radne površine tunela nije pod utjecajem radova u tunelu vrijednost skalarnog paramtera  $\lambda$  koji postepeno raste od 0 do 1 kako se radna površina približava analiziranom poprečnom presjeku.

Diferencijalna jednačina koja predstavlja analitičko rješenje za duboke kružne tunele s pretpostavkom elastičnog ponašanja tla u okolini tunela.

$$\frac{d}{dr} \left[ \frac{1}{r} \frac{d}{dr} (ru_r) \right] = 0.$$

Rješenje ove diferencijalne jednačine treba zadovoljiti rubni uvjet:

$$\sigma_r = (1-\lambda) \sigma^0 \quad \text{za } r=R$$

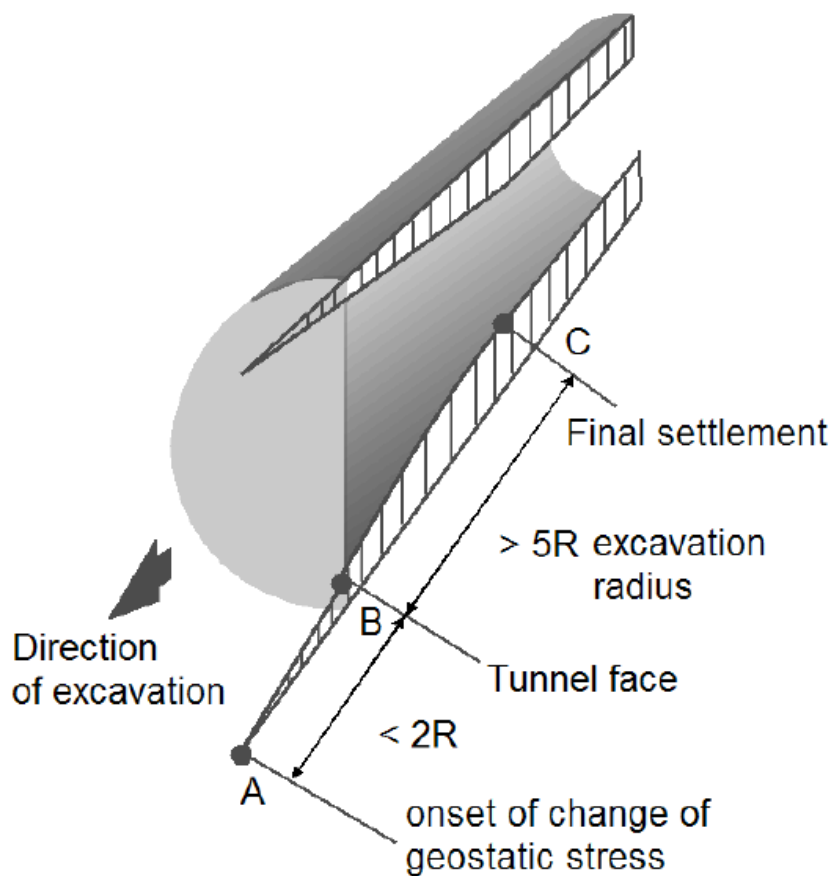
gdje je  $R$  radijus tunela,  $\sigma_r$  je radijalno naprežanje u tlu i  $p = (1-\lambda) \sigma^0$  je od prije definirani pritisak podupiranja.

Rezultirajući radijalni pomak  $u_R$  na granici nepoduprtog tunela izražen je kao:

$$u_R - u_{RS}^0 = R \frac{\sigma^0}{2\mu} \left( 1 - \frac{p}{\sigma^0} \right) = R \frac{\lambda \sigma^0}{2\mu},$$

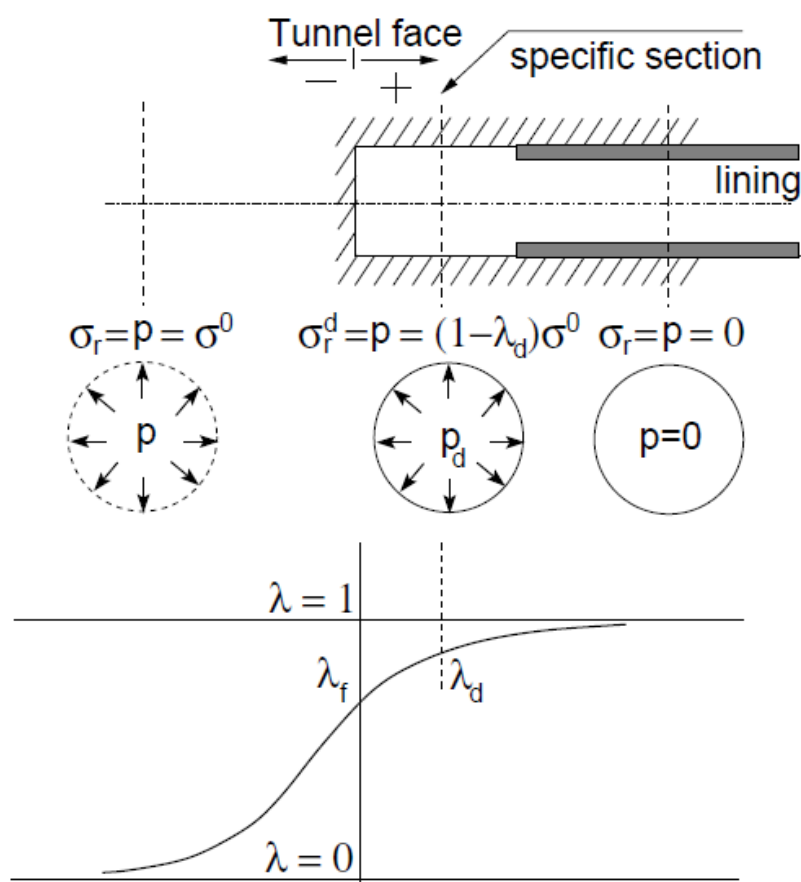
$\mu$ - modul posmika tla.

## 2.2. Diferencijalni pomaci krune i dna tunela

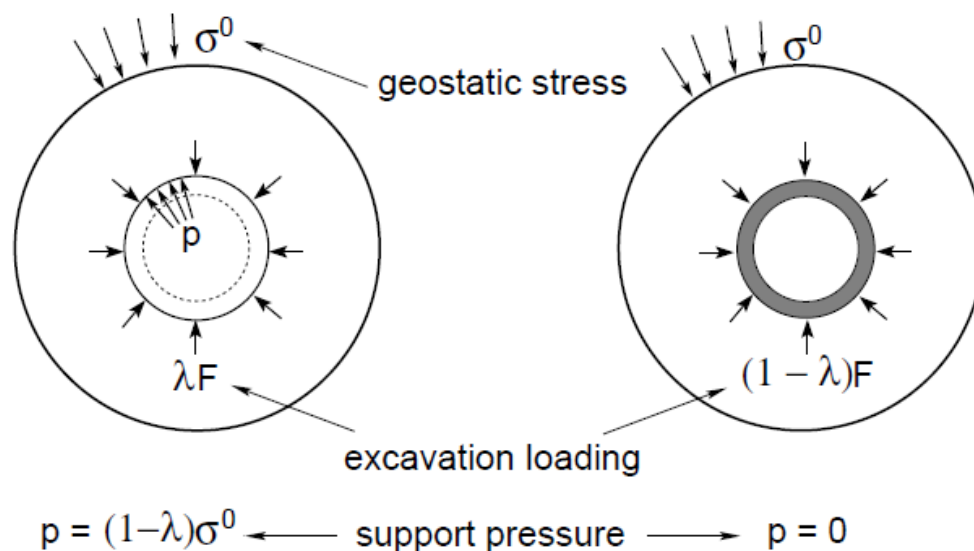


Slika 1. Diferencijalni pomaci krune i dna tunela s napretkom iskopa

### 2.3. Bezdimenzionalni parametar lambda

Slika 2. Varijacija skalarnog parametra  $\lambda$ 

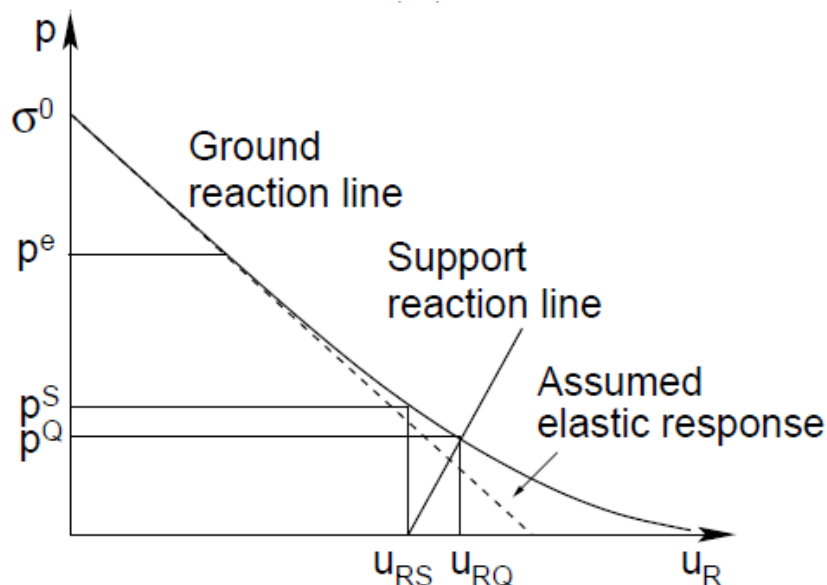
Faktor  $\lambda$  se može pouzdano procijeniti detaljnom trodimenzionalnom analizom uzimajući u obzir točnu geometriju tunela, nelinearni odgovor tla u okolini tunela, točnu krutost primarne podgrade te tijek iskopa tunela.



Slika 3. Efekt postepenog očvršćivanja u blizini iskopa

U metodi konačnih elemenata vektor sila  $F_0$  koji se dovodi u vezu s procesom iskopa koji je proporcionalan s početnim naprezanjem unutar tunela  $\sigma^0$  je podijeljena na dva dijela. Jedan dio ovog vektora  $\lambda F_0$  se prvo primjenjuje na nepoduprtu granicu tunela kako bi se simulirala redukcija krutosti za određeni poprečni presjek prilikom kontinuiranog iskopa.

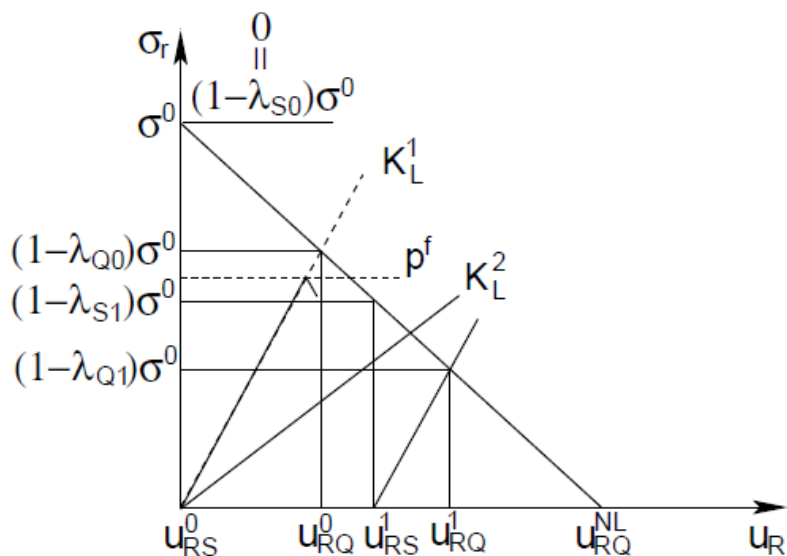
## 2.4. Reakcijske krivulje tla i primarne podgrade



Slika 4. Reakcijske krivulje tla i primarne podgrade

Ove dvije krivulje prikazuju postepeno smanjivanje pritiska na primarnu podgradu te postepeno povećavanje linijskog pritiska duž tunela. Pomak promatranog poprečnog presjeka postiže vrijednost  $u_{RS}$ . Odgovarajući podupirući pritisak tada iznosi  $p^S = (1 - \lambda_s) \sigma^0$ . Nakon toga se ugrađuje podgrada i tada ostatak naprezanja iznosi  $(1 - \lambda) F_0$ . Deformacija čela tunela tada odgovara vrijednosti  $u_{RQ}$ . Bez uključivanja primarne podgrade taj iznos bi bio jednak podupirućem pritisku  $p^S = (1 - \lambda_s) \sigma^0$ .

## 2.5. Modul krutosti primarne podgrade

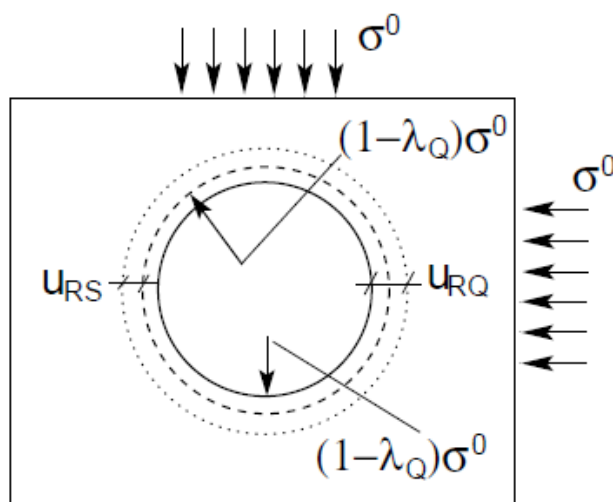


Slika 5. Modul normalne krutosti primarne podgrade

$K_L$  predstavlja modul normalne krutosti primarne podgrade te  $u_{RS}$  predstavlja radijalu pomak prije izrade primarne podgrade. Svaki tip primarne podgrade ima svoj specifični modul krutosti. Modul krutosti  $K_L$  kružnog tunela konstantne debljine se može izraziti kao:

$$K_L = \frac{E_L}{1 - \nu_L^2} \frac{e}{R},$$

gdje je  $E_L$  Youngov modul elastičnosti  $\nu_L$  Poissonov koeficijent primarne podgrade te  $e$  debljina primarne podgrade promatranog dijela tunela.



Slika 6. Naprezanja kod dubokog kružnog tunela okruženog elastičnim tlom

$u_{RS}$  predstavlja radijalni pomak prije izgrade primarne podgrade dok  $u_{RQ}$  predstavlja ukupni radijalni pomak.

U praktičnim slučajevima kod nesimetričnih uvjeta te nelinearnom odgovoru tla u okolini ustvrđivanje vrijednosti  $\lambda_S$  za vrijeme izvođenja primarne podgrade je veliki izazov i ovisi uvelike o profesionalnoj procjeni izvođača. Kvalitetni rezultati se mogu dobiti lambda metodom. Metoda se može nadalje još poboljšati skupljanjem različitih informacija prilikom izvođenja tunela te konstantnim monitoringom postavljenih konvergentnih točaka prilikom iskopa tunela.



### 3. NUMERIČKA ANALIZA PRIMARNE PODGRADE

#### 3.1. Podaci za primarnu konstrukciju

Projektiranu podgradu sačinjavaju mlazni beton, čelične rešetke, armaturna mreža te sidra. Nanošenje mlaznog betona izvršeno je suhim postupkom. Osnovne dimenzije presjeka dane su u nacrtima.

Za izračun naprezanja te deformacija u tlu korišten je software Geo 5 koji radi na principu metode konačnih elemenata u kojem su napravljene 2D modeli poprečnih presjeka koji se nalaze na stacionažama 2+600.071 i 2+715.075 gdje se nalaze istražne bušotine B-2S i B-1S. U ovom radu ćemo razmatrati samo poprečni presjek koji se nalazi na lokaciji bušotine B-1S koji se nalazi u blizini portala s relativno niskim nadslojem te ćemo dobiti vjerodostojnije rezultate.

Kako tunel čitavom svojom dužinom prolazi kroz različite materijale i stanja naprezanja (uvjetovano visinom nadsloja), tako se mijenjaju i karakteristike primarne podgrade (Tip III, IV, V).

| <b>SIDRA</b>                                   |            |
|------------------------------------------------|------------|
| GEOMETRIJSKA SVOJSTVA                          | Vrijednost |
| Duljina za glavnu cijev                        | 4          |
| Duljina za servisnu cijev                      | 3          |
| Promjer sidara (mm)                            | 25         |
| Razmak sidara u ravnini poprečnog presjeka (m) | 2          |
| Razmak sidara uzduž tunela (m)                 | 1          |
| Položaj u odnosu na konturu iskopa             | okomito    |
| PARAMETRI ELASTIČNOSTI                         |            |
| Youngov modul elastičnosti (Mpa)               | 210000     |
| Poissonov koeficijent                          | 0.25       |
| PARAMETRI ČVRSTOĆE                             |            |
| Ponašanje                                      | plastično  |
| Čvrstoća (Mpa)                                 | 500        |

Tablica 2. Karakteristike sidara

| <b>MLAZNI BETON</b>              |            |
|----------------------------------|------------|
| <b>GEOMETRIJSKA SVOJSTVA</b>     | Vrijednost |
| Debljina u kaloti i zidu (m)     | 4          |
| Debljina u podnožnom svodu (m)   | 3          |
| <b>PARAMETRI ELASTIČNOSTI</b>    |            |
| Youngov modul elastičnosti (Mpa) | 15000      |
| Poissonov koeficijent            | 0.25       |
| <b>PARAMETRI ČVRSTOĆE</b>        |            |
| Tlačna čvrstoća (Mpa)            | 30         |
| Vlačna čvrstoća (Mpa)            | 3          |

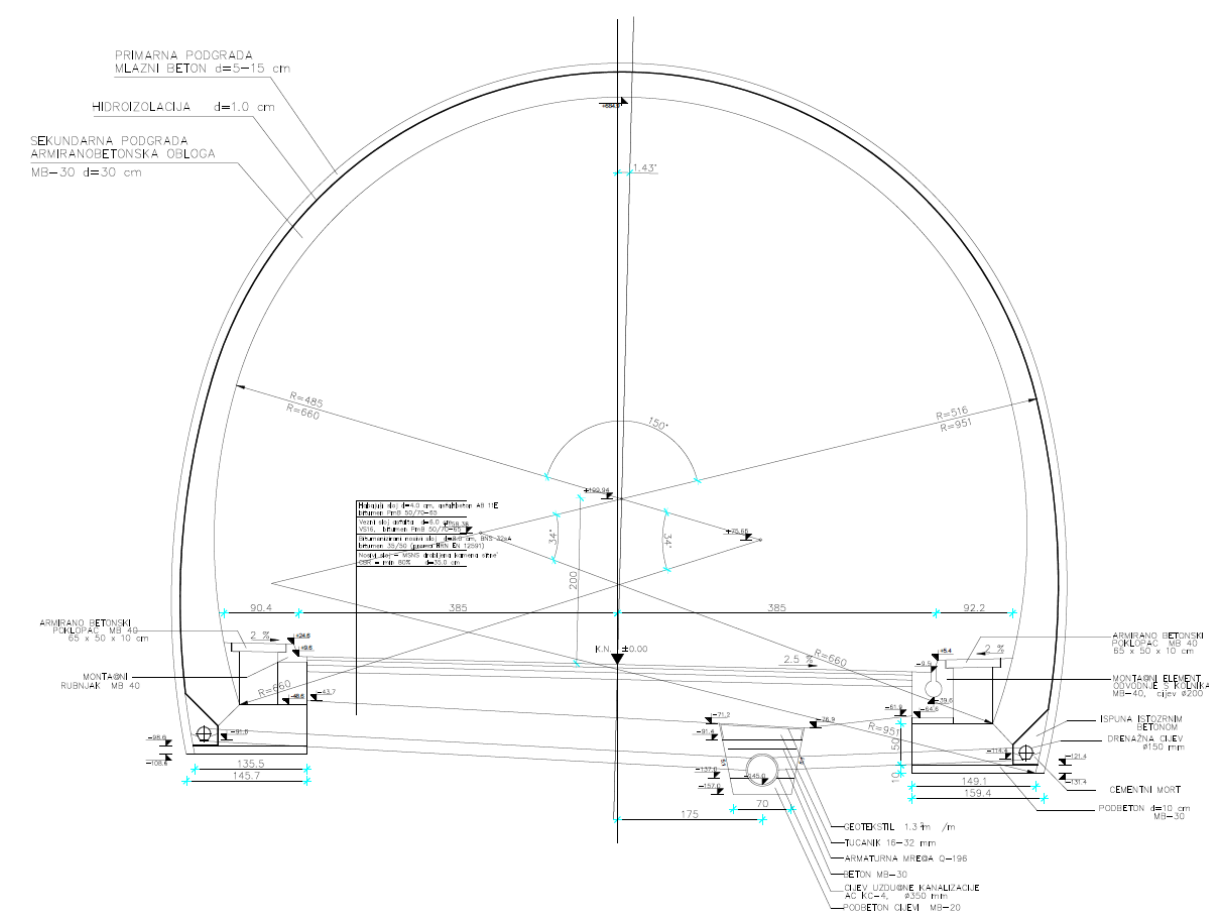
Tablica 3. Karakteristike mlaznog betona

| <b>ČELIČNI ELEMENTI</b>            |           |
|------------------------------------|-----------|
| <b>NAZIVNIK</b>                    | Tip       |
| Čelična rešetka (na razmaku od 1m) | R95/20/30 |
| Armatura podnožnog svoda           | Q335      |
| Armatura kalote i zida             | Q196      |
| <b>PARAMETRI ČVRSTOĆE</b>          |           |
| Tlačna čvrstoća (Mpa)              | 500       |
| Vlačna čvrstoća (Mpa)              | 500       |

Tablica 4. Karakteristike čeličnih elemenata

### 3.2. Izrada modela u Geo5-u

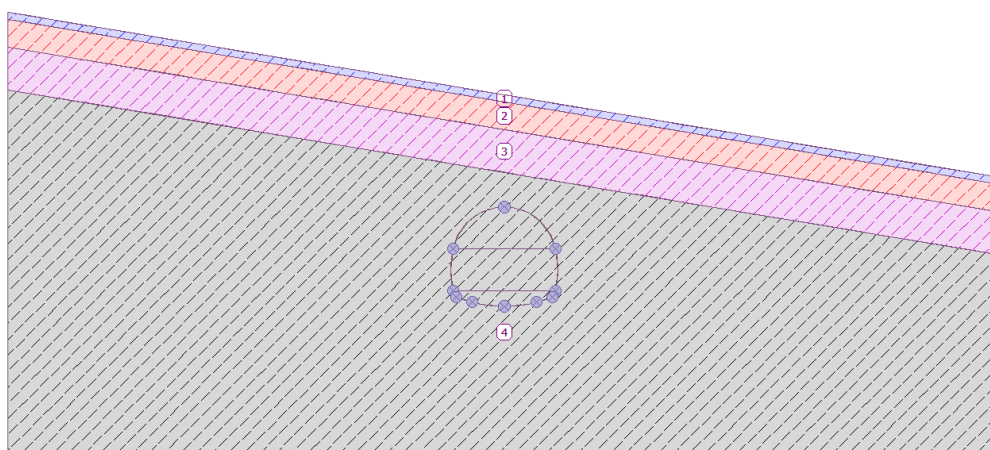
Numerički model poprečnog presjeka u blizini portala napravljen je u softwaru Geo5 sa svim prikupljenim podacima o vrsti tla iz geotehničkog elaborata na temelju kojeg smo izvršili podjelu slojeva po dubini. Software je baziran na linearno elastičnoj teoriji po kojoj je proveden proračun. Površinski sloj čine raspucali vapnenci čije su pukotine ispunjene crvenicom, zatim slijedi sloj raspucalih vapnenaca te sloj slabo raspucalih vapnenaca a cjelokupni poprečni presjek se nalazi u zadnjem sloju dosta raspucalih vapnenaca. Svaki sloj ima svoje pripadajuće vrijednosti kohezije, unutarnjeg trenja te ostalih parametara koji su nam potrebni za izradu modela.



Slika 7. Karakteristični poprečni presjek

U ovom projektu ćemo promatrati ponašanje primarne podgrade prilikom korištenja različitih načina iskopa tunela. U jednoj verziji ćemo razmotriti verziju s horizontalnim iskopom zatim ćemo razmotriti verziju s vertikalnim iskopom te usporediti rezultate.

Prilikom iskopa postaviti ćemo pet konvergentnih točaka, po jednu na vrhu te dnu tunela, jednu na desnoj te lijevoj konturi tunela te jednu na površini terena.



Slika 8. Poprečni presjek s slojevima tla

Karakteristike slojeva tla:

#### Raspucali vapnenci s crvenicom

|                              |                                       |
|------------------------------|---------------------------------------|
| Model materijala :           | Mohr - Coulomb                        |
| Jedinica težine :            | $\gamma = 20,75 \text{ kN/m}^3$       |
| Poissonov koeficijent :      | $\nu = 0,30$                          |
| Modul elastičnosti :         | $E = 60,00 \text{ MPa}$               |
| Kut unutarnjeg trenja :      | $\varphi_{ef} = 20,00^\circ$          |
| Kohezija :                   | $c_{ef} = 40,00 \text{ kPa}$          |
| Kut dilatacije :             | $\psi = 0,00^\circ$                   |
| Saturirana jedinica težine : | $\gamma_{sat} = 20,75 \text{ kN/m}^3$ |

#### Raspucani vapnenci

|                              |                                       |
|------------------------------|---------------------------------------|
| Model materijala :           | Mohr - Coulomb                        |
| Jedinica težine :            | $\gamma = 23,00 \text{ kN/m}^3$       |
| Poissonov koeficijent :      | $\nu = 0,25$                          |
| Modul elastičnosti :         | $E = 150,00 \text{ MPa}$              |
| Kut unutarnjeg trenja :      | $\varphi_{ef} = 25,50^\circ$          |
| Kohezija :                   | $c_{ef} = 80,00 \text{ kPa}$          |
| Kut dilatacije :             | $\psi = 0,00^\circ$                   |
| Saturirana jedinica težine : | $\gamma_{sat} = 23,00 \text{ kN/m}^3$ |

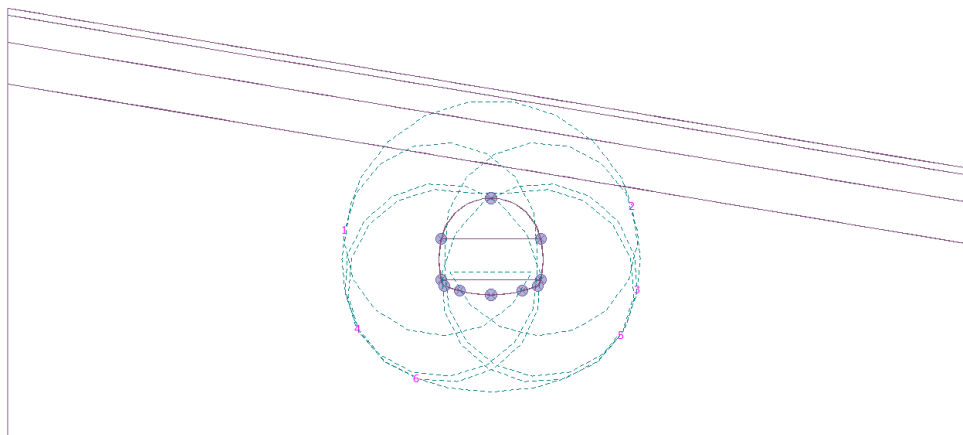
#### Slabo raspucali vapnenci

|                              |                                       |
|------------------------------|---------------------------------------|
| Model materijala :           | Mohr - Coulomb                        |
| Jedinica težine :            | $\gamma = 26,00 \text{ kN/m}^3$       |
| Poissonov koeficijent :      | $\nu = 0,25$                          |
| Modul elastičnosti :         | $E = 3350,00 \text{ MPa}$             |
| Kut unutarnjeg trenja :      | $\varphi_{ef} = 38,00^\circ$          |
| Kohezija :                   | $c_{ef} = 700,00 \text{ kPa}$         |
| Kut dilatacije :             | $\psi = 0,00^\circ$                   |
| Saturirana jedinica težine : | $\gamma_{sat} = 26,00 \text{ kN/m}^3$ |

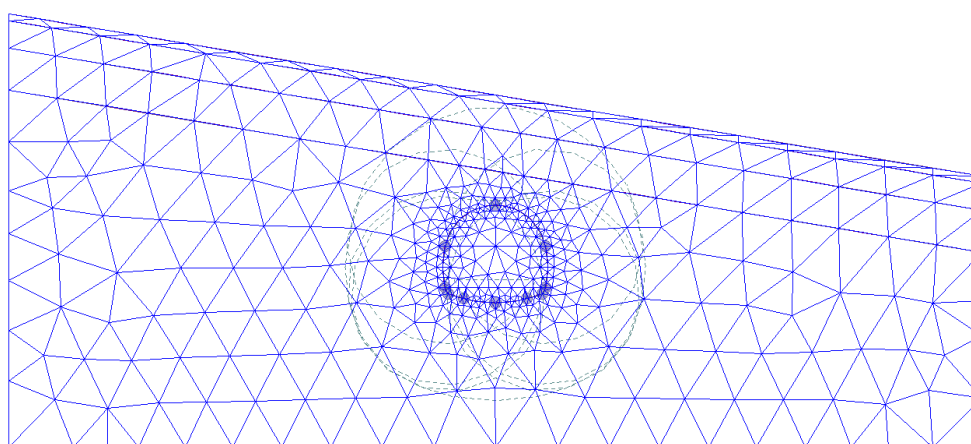
#### Dosta raspucali vapnenci

|                              |                                       |
|------------------------------|---------------------------------------|
| Model materijala :           | Mohr - Coulomb                        |
| Jedinica težine :            | $\gamma = 23,00 \text{ kN/m}^3$       |
| Poissonov koeficijent :      | $\nu = 0,25$                          |
| Modul elastičnosti :         | $E = 200,00 \text{ MPa}$              |
| Kut unutarnjeg trenja :      | $\varphi_{ef} = 24,00^\circ$          |
| Kohezija :                   | $c_{ef} = 100,00 \text{ kPa}$         |
| Kut dilatacije :             | $\psi = 0,00^\circ$                   |
| Saturirana jedinica težine : | $\gamma_{sat} = 23,00 \text{ kN/m}^3$ |

Prilikom generiranja mreže konačnih elemenata unutar zone utjecaja smo uzimali elemente veličine 0.5m s radijusom utjecaja od 10m, dok smo van zone utjecaja uzeli veličinu konačnih elemenata 5.0m.

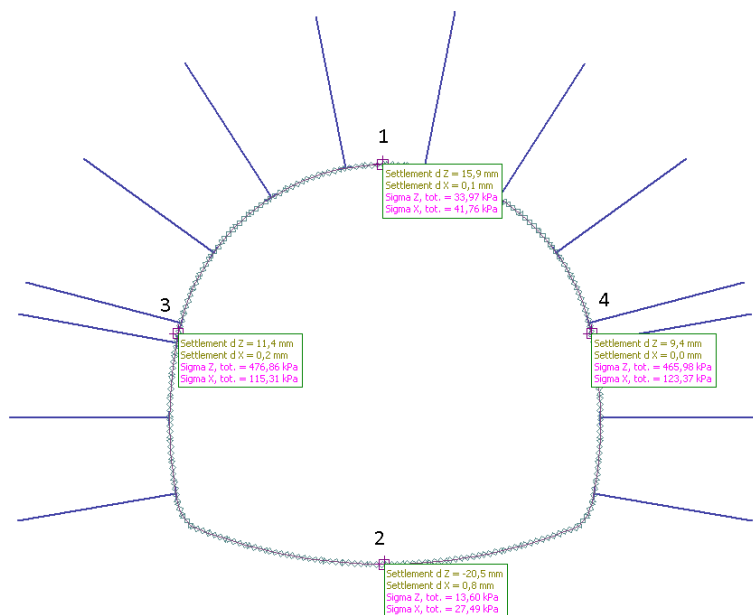


Slika 9. Poprečni presjek s radijusima utjecaja



Slika 10. Generirana mreža konačnih elemenata

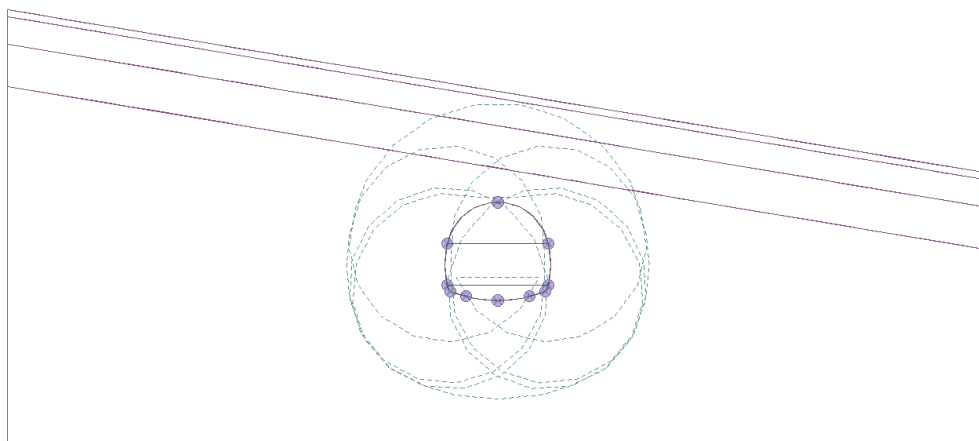
U konvergenijskim točkama se bilježi pomak u smjeru x i z te totalno naprezanje u smjeru x i z koje je jednako efektivnom jer nije zabilježena nikakva podzemna voda.



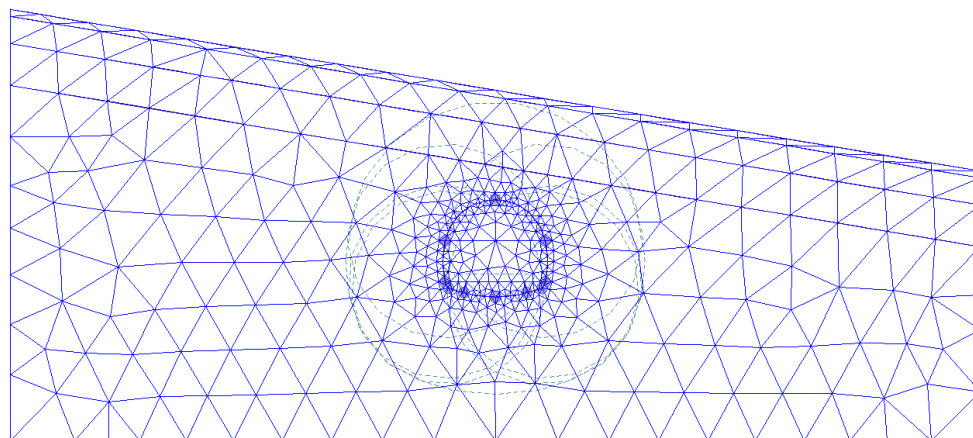
Slika 11. Prikaz konvergentnih točaka

### 3.2.1. Analiza primarne podgrade u varijanti s horizontalnim iskopom

Treba napomenuti da se u varijanti s horizontalni iskopom poprečni presjek drugačije iskopava u odnosu na varijantu s vertikalnim iskopom tako da je i mreža konačnih elemenata drugačija za svaki slučaj što ćemo prikazati u nastavku.



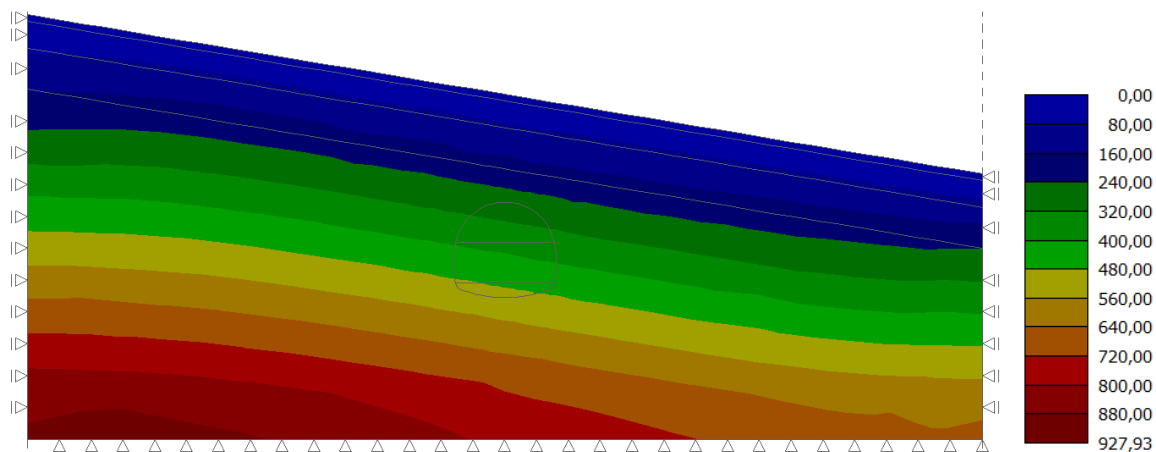
Slika 12. Poprečni presjek s radijusima utjecaja



Slika 13. Generirana mreža konačnih elemenata

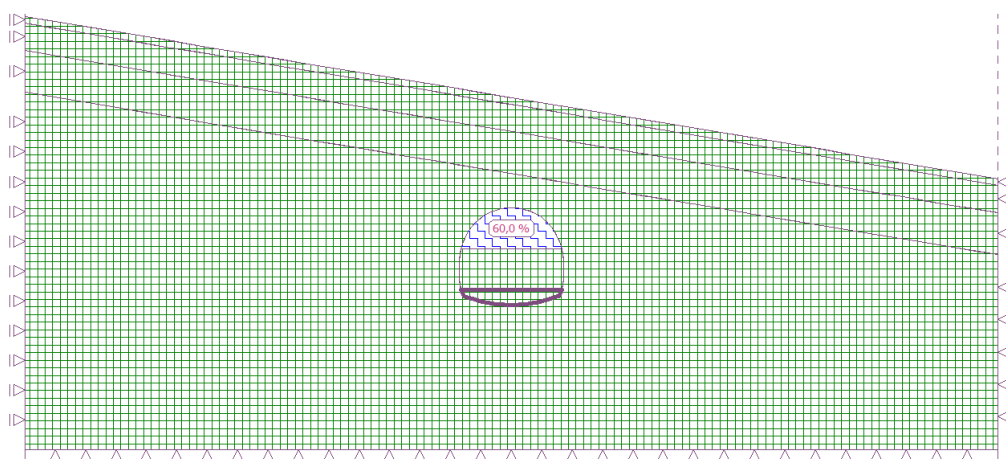
## 3.2.1.1. Prva faza analize primarne podgrade s horizontalnim iskopom

U prvoj fazi se vrši samo proračun geostatičkih naprezanja u tlu (kPa).  
Nema pojave plastičnih deformacija.

Slika 14. Naprezanja u tlu  $\sigma_z$  (kPa)

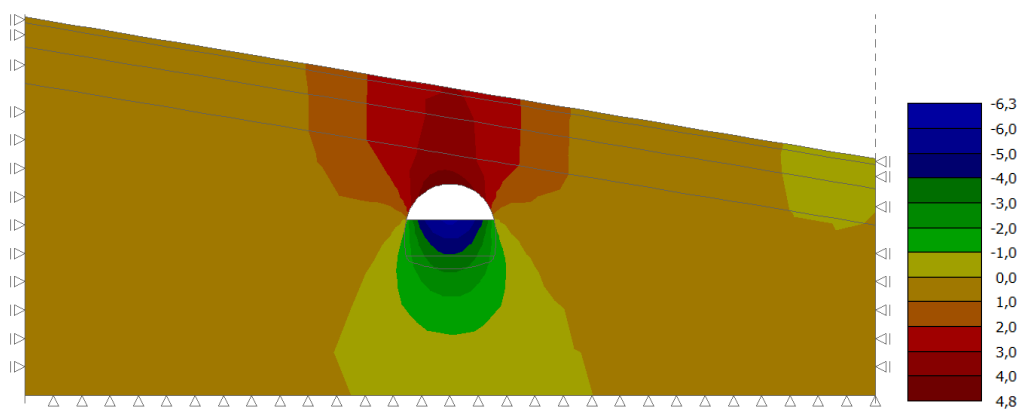
## 3.2.1.2. Druga faza analize primarne podgrade s horizontalnim iskopom

U drugoj fazi se primjenjuje postupak iskopa tunela preko lambda metode tako da se uklanja 40% unutarnjih sila unutar područja kalote te se provodi analiza.  
Dolazi do pojave plastičnih deformacija na rubovima iskopa.

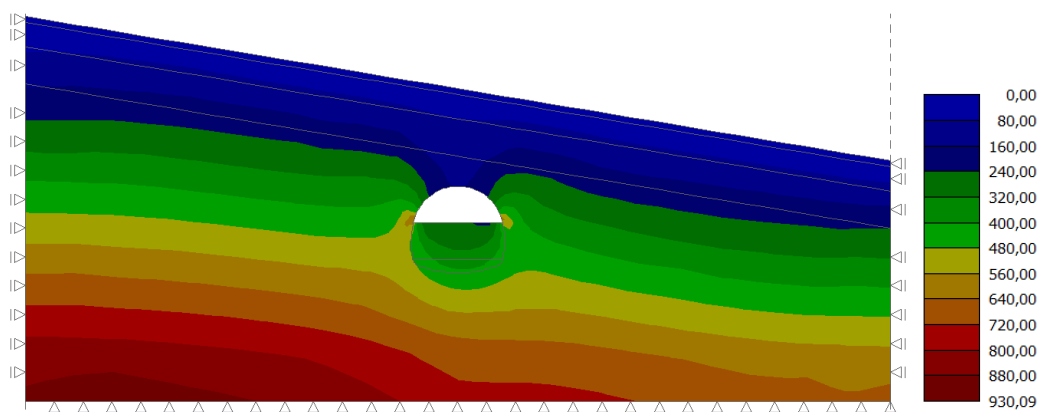


Slika 15. Deaktivacija 40% unutarnjih sila

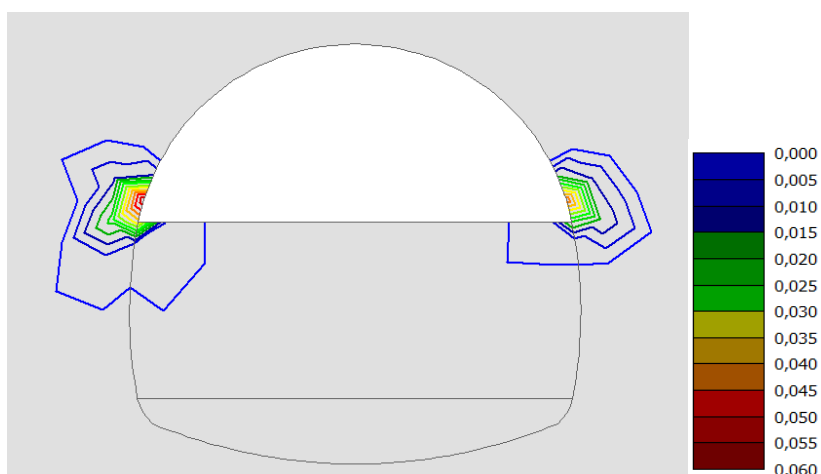




Slika 16. Pomaci dz (mm)



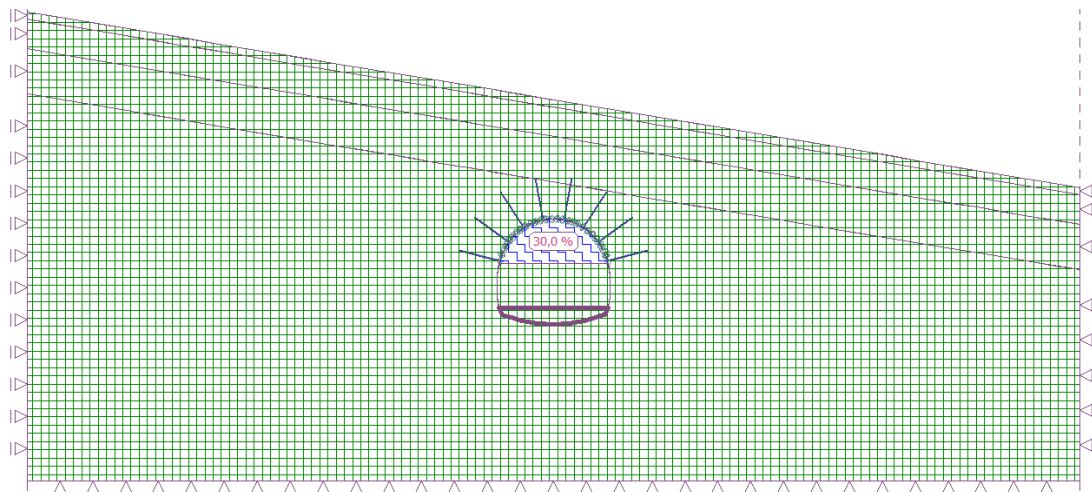
Slika 17. Naprezanja u tlu  $\sigma_z$  (kPa)



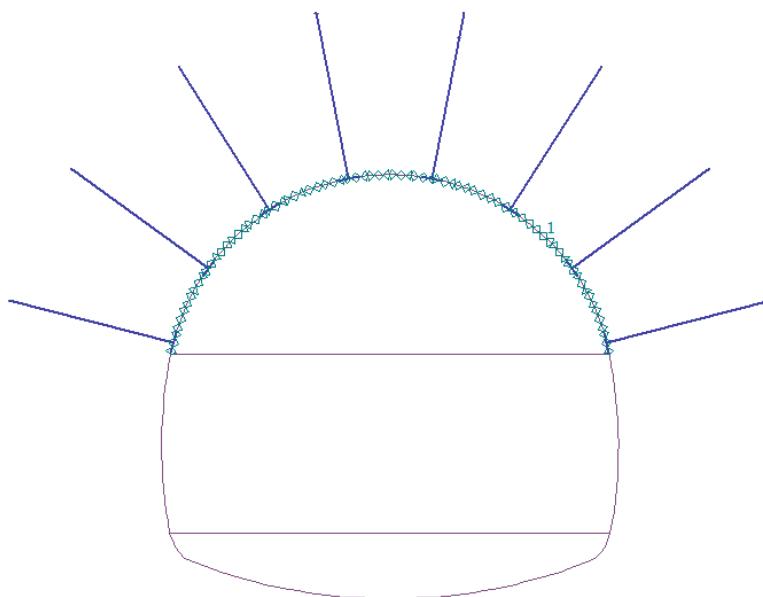
Slika 18. Plastične deformacije  $\epsilon_{pl}$  (%)

### 3.2.1.3. Treća faza analize primarne podgrade s horizontalnim iskopom

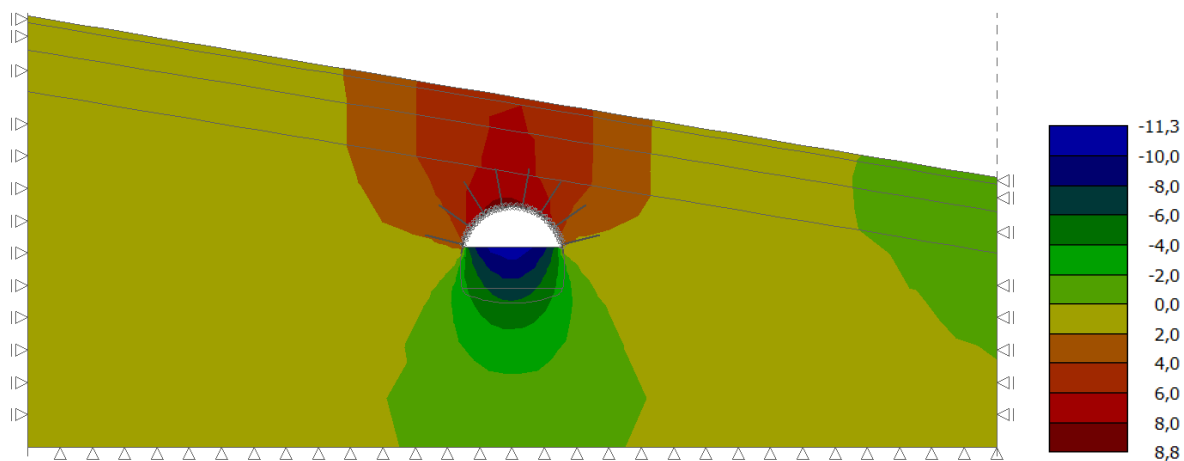
U trećoj fazi se uklanja dodatnih 30% unutarnjih sila iz kalote, postavlja se 8 sidara duljine 4 m na razmaku od 2 m te se vrši nanošenje prskanog betona u debljini od 25 cm. U softveru se prskani beton simulira kao pravokutna greda dimenzija 0.25 x 1.0 m te se toj gredi pridružuju karakteristike betona C 30/37 nakon 8 sati starosti (svježi beton).



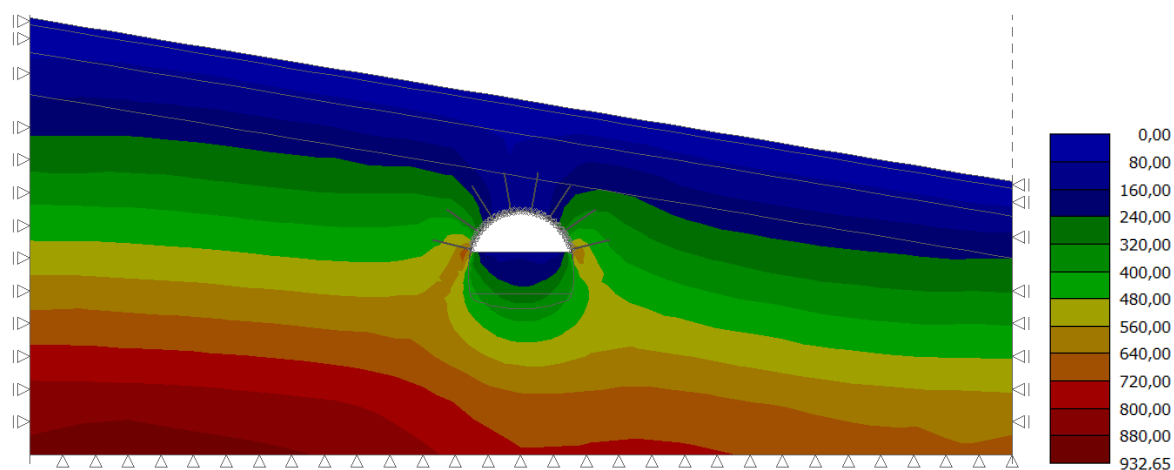
Slika 19. Deaktivacija 30% unutarnjih sila



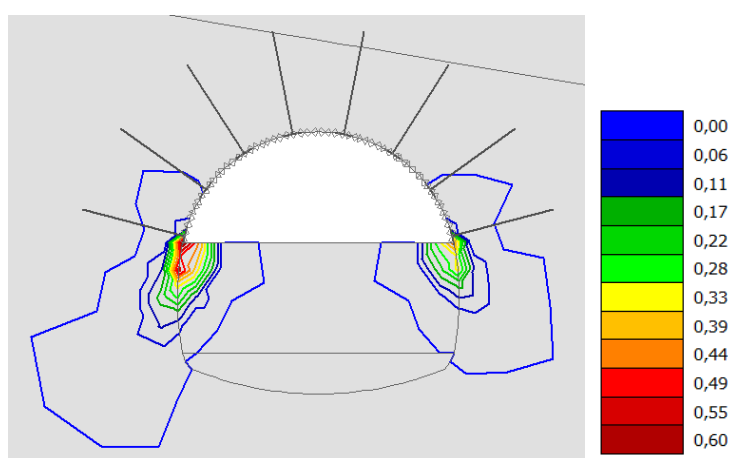
Slika 20. Postavljanje sidara te simulacija prskanog betona betonskom pravokutnom gredom



Slika 21. Pomaci dz (mm)



Slika 22. Naprezanja u tlu  $\sigma_z$  (kPa)



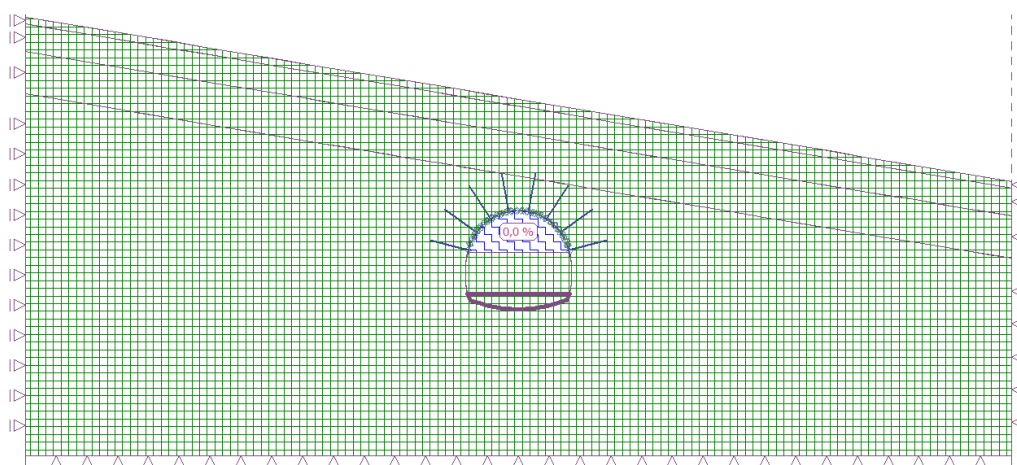
Slika 23. Plastične deformacije  $\epsilon_{pl}$  (%)

## 3.2.1.4. Četvrta faza analize primarne podgrade s horizontalnim iskopom

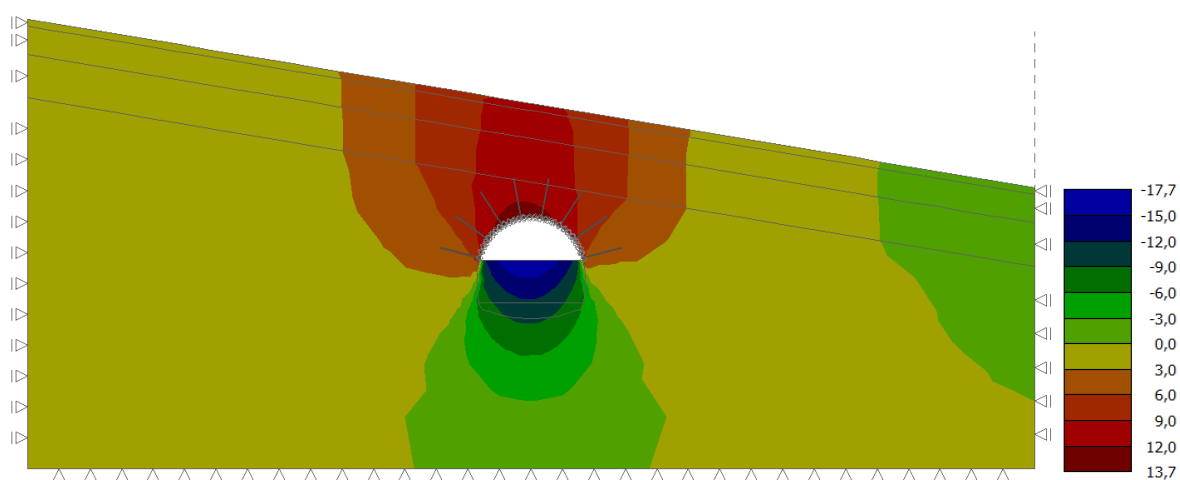
U četvrtoj fazi se uklanja preostalih 30% unutarnjih sila iz kalote te dolazi do očvršćavanja prskanog betona tako da dolazi do porasta modula elastičnosti te modula posmika.

|                          | Mladi beton | Očvrsnuli beton |
|--------------------------|-------------|-----------------|
| Modul elastičnosti (Mpa) | 5000,0      | 15000,0         |
| Modul posmika (Mpa)      | 1923,1      | 6250,0          |

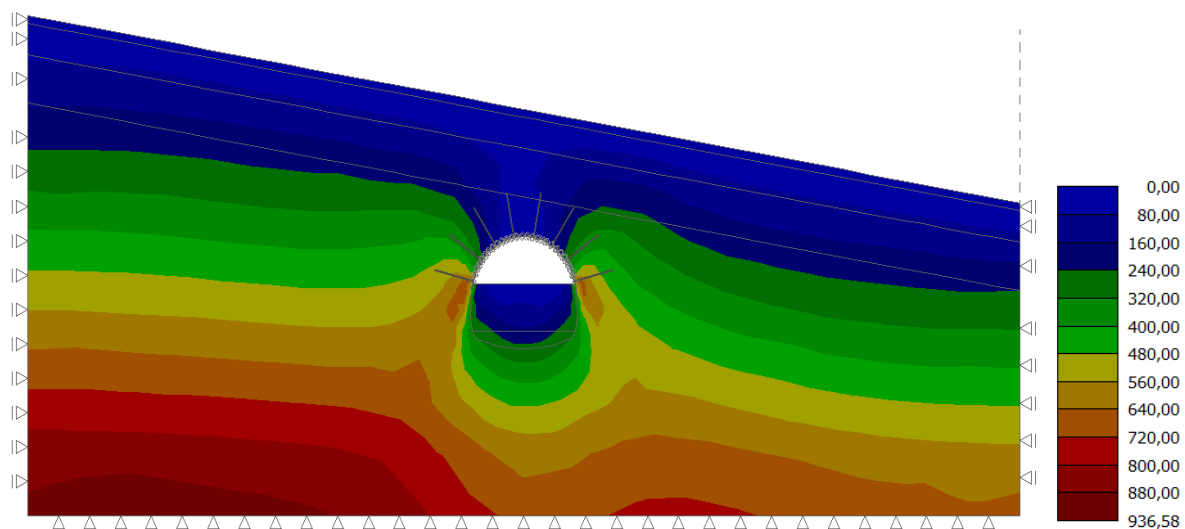
Tablica 5. Karakteristike mladog i očvrsnulog prskanog betona



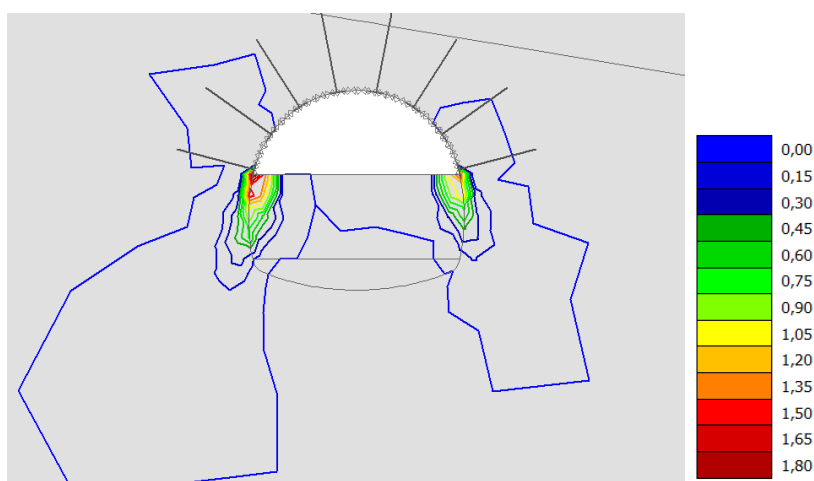
Slika 24. Deaktivacija preostalih 30% unutarnjih sila



Slika 25. Pomaci dz (mm)



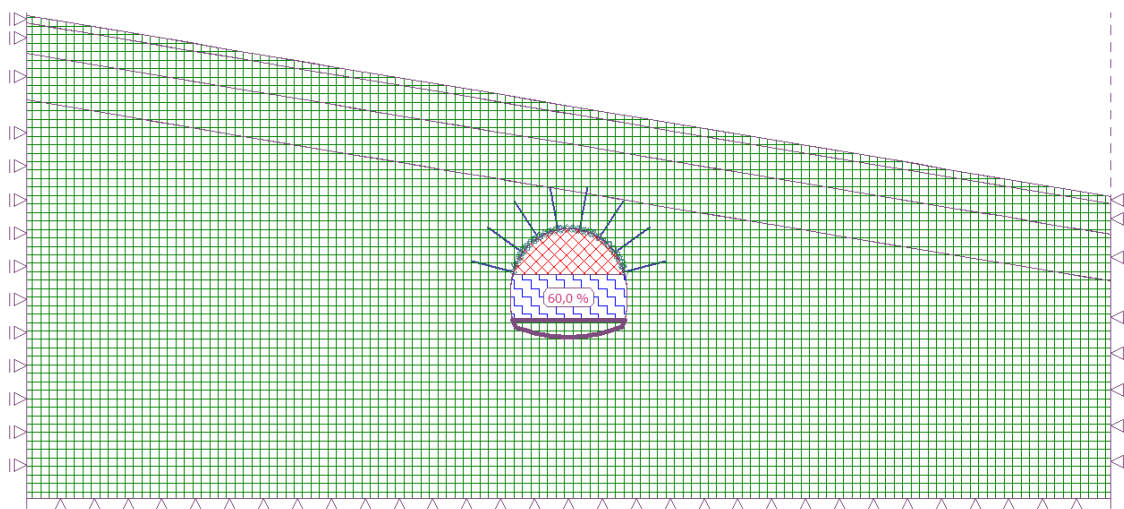
Slika 26. Naprezanja u tlu  $\sigma_z$  (kPa)



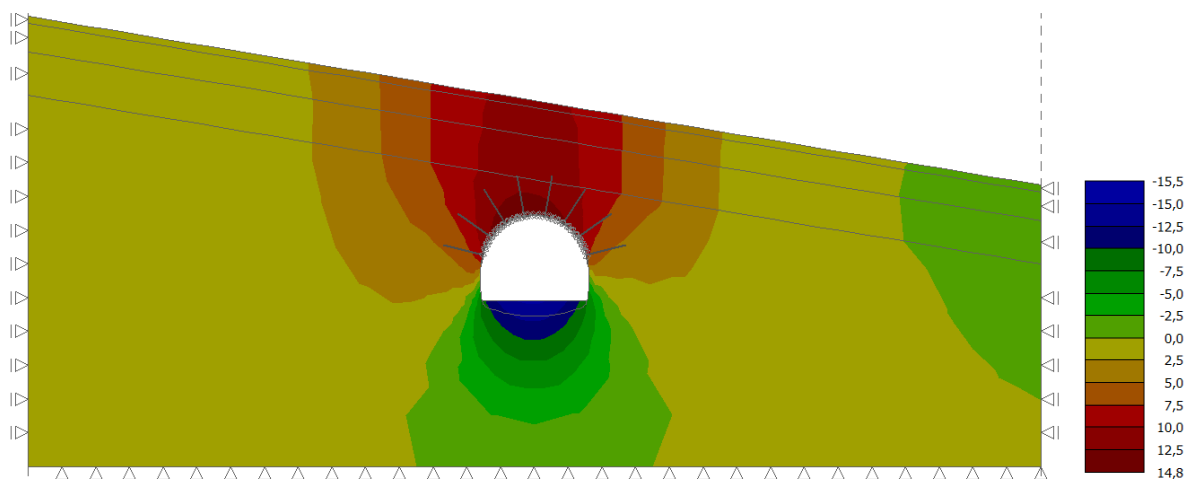
Slika 27. Plastične deformacije  $\epsilon_{pl}$  (%)

## 3.2.1.5. Peta faza analize primarne podgrade s horizontalnim iskopom

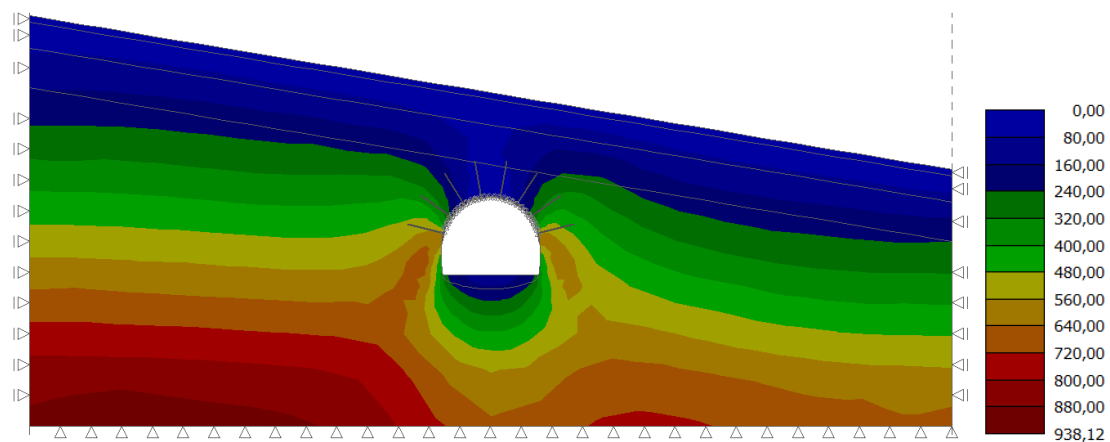
U petoj fazi nakon što je završen iskop te izrada podgrade kalote slijedi izrada srednjeg dijela tunela tako da se uklanja 40% unutarnjih sila iskopom te se provodi analiza. Dolazi do postepenog povećanja plastičnih deformacija na rubovima iskopa.



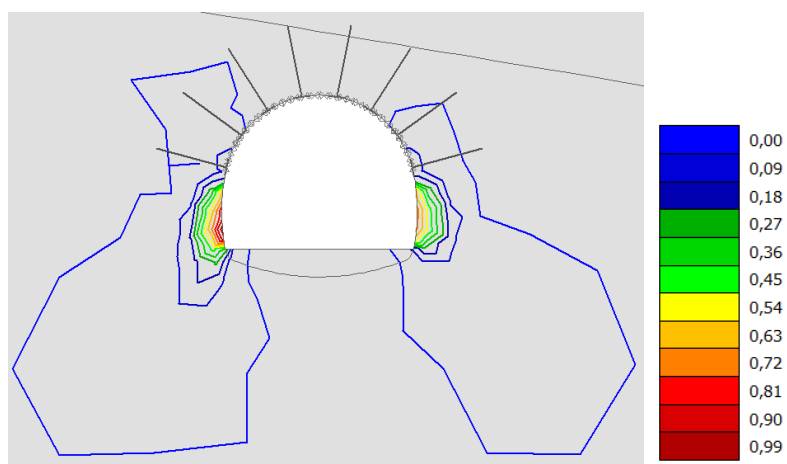
Slika 28. Deaktivacija 40% unutarnjih sila iz srednjeg dijela tunela



Slika 29. Pomaci dz (mm)



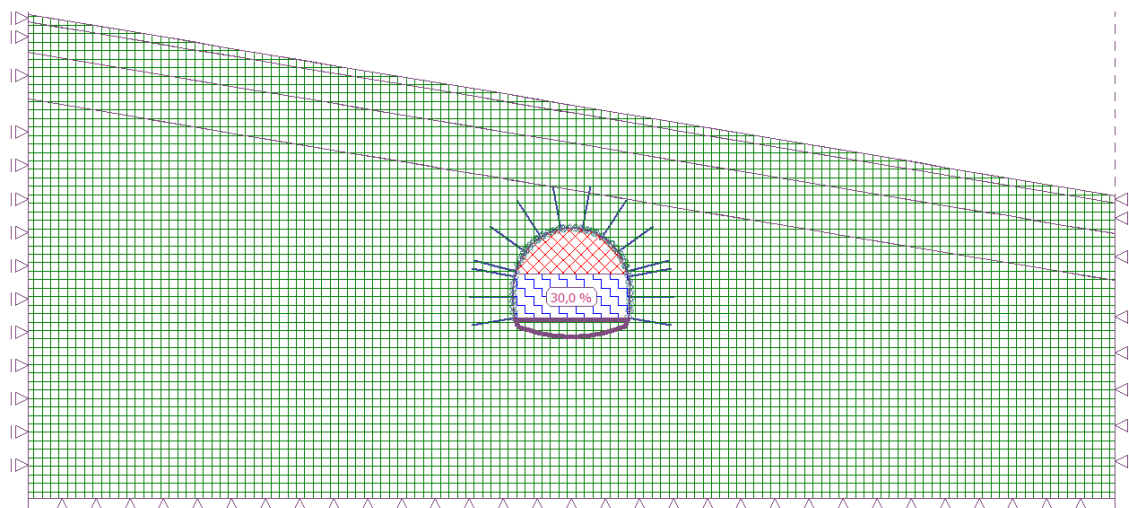
Slika 30. Naprezanja u tlu  $\sigma_z$  (kPa)



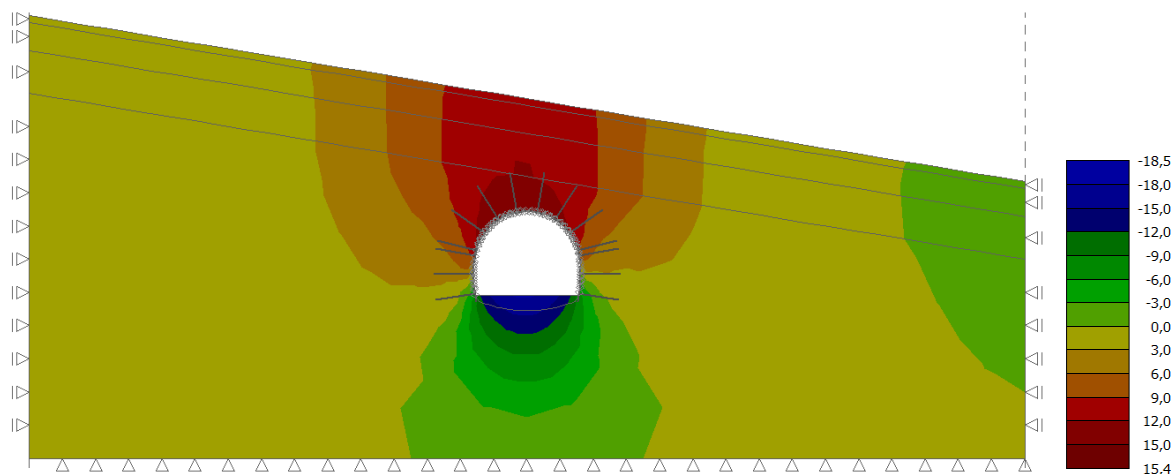
Slika 31. Plastične deformacije  $\epsilon_{pl}$  (%)

## 3.2.1.6. Šesta faza analize primarne podgrade s horizontalnim iskopom

U šestoj fazi se uklanja dodatnih 30% unutarnjih sila iz srednjeg dijela tunela, postavlja se 6 sidara duljine 4 m na razmaku od 2 m te se vrši nanošenje prskanog betona u debljini od 25 cm.

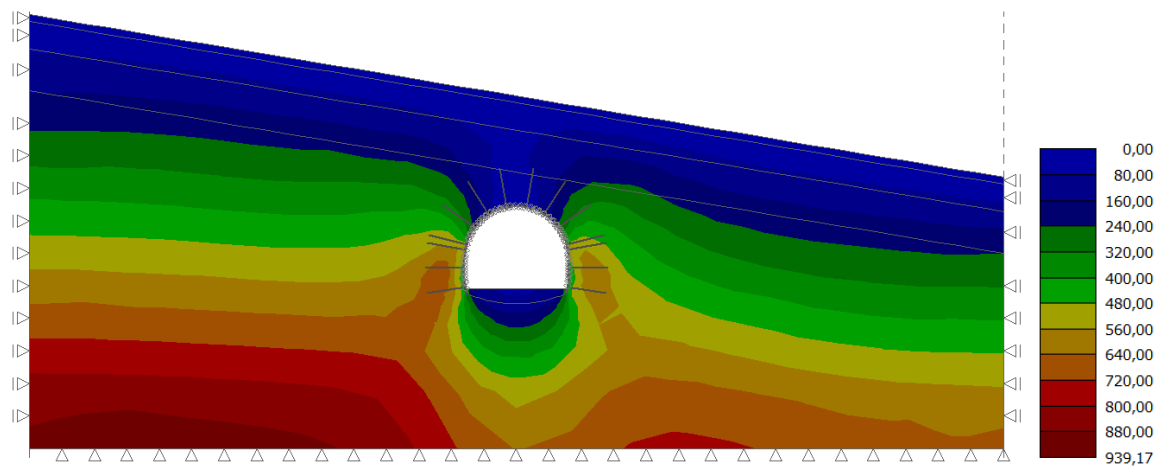


Slika 32. Deaktivacija 30% unutarnjih sila iz srednjeg dijela tunela

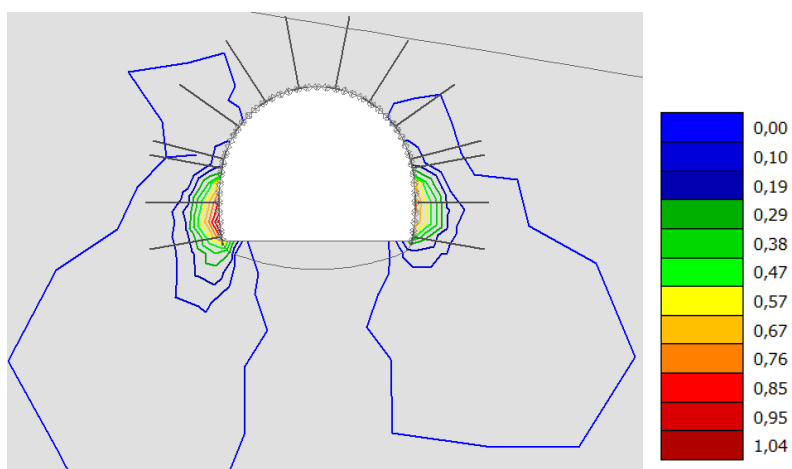


Slika 33. Pomaci dz (mm)





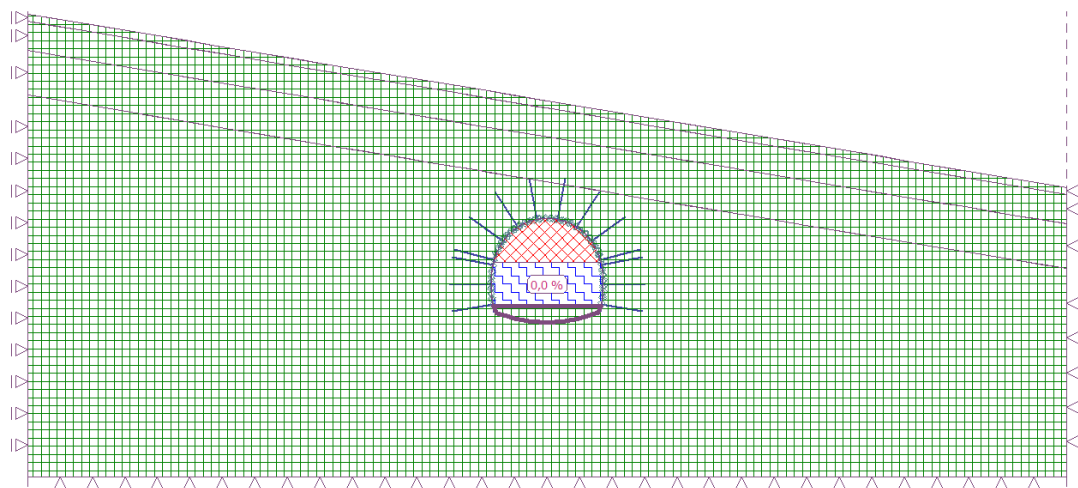
Slika 34. Naprezanja u tlu  $\sigma_z$  (kPa)



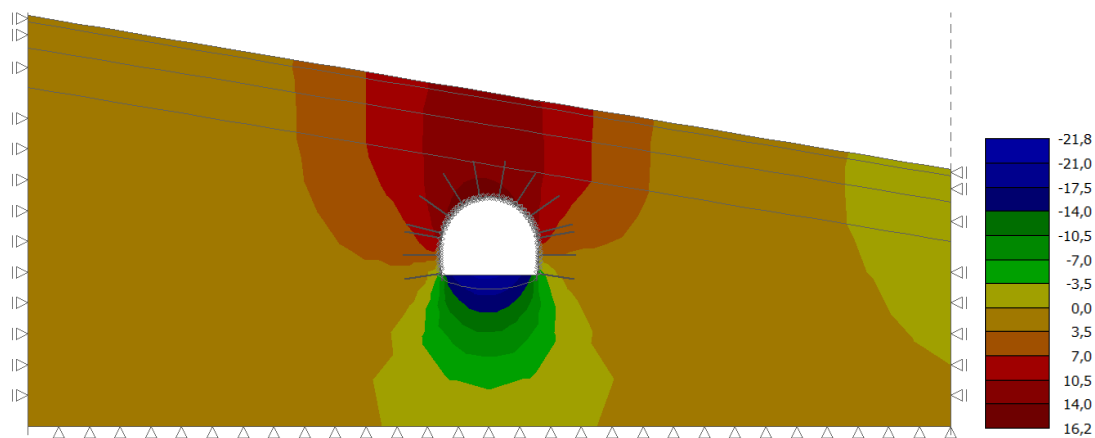
Slika 35. Plastične deformacije  $\epsilon_{pl}$  (%)

### 3.2.1.7. Sedma faza analize primarne podgrade s horizontalnim iskopom

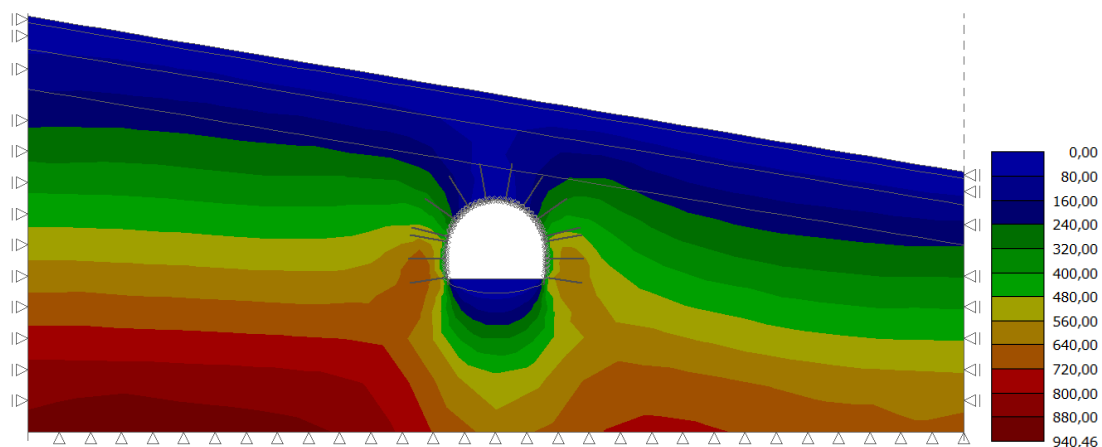
U sedmoj fazi se uklanja preostalih 30% unutarnjih sila iz srednjeg dijela tunela te dolazi do očvršćavanja prskanog betona tako da dolazi do porasta modula elastičnosti te modula posmika.



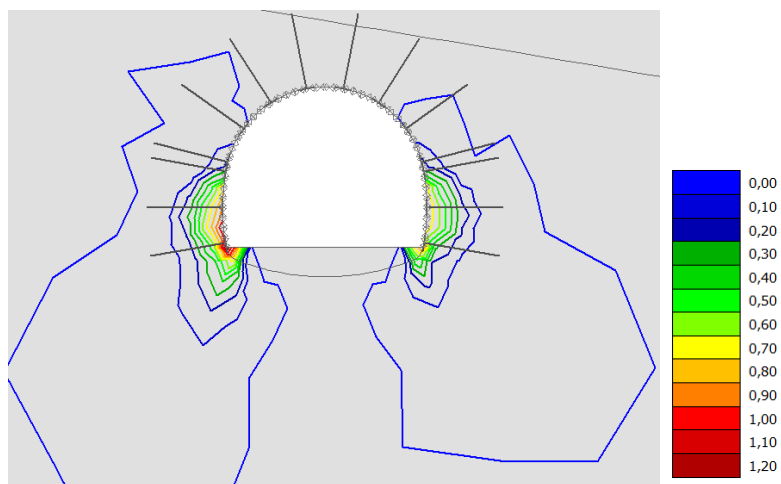
Slika 36. Deaktivacija preostalih 30% unutarnjih sila iz srednjeg dijela tunela



Slika 37. Pomaci dz (mm)



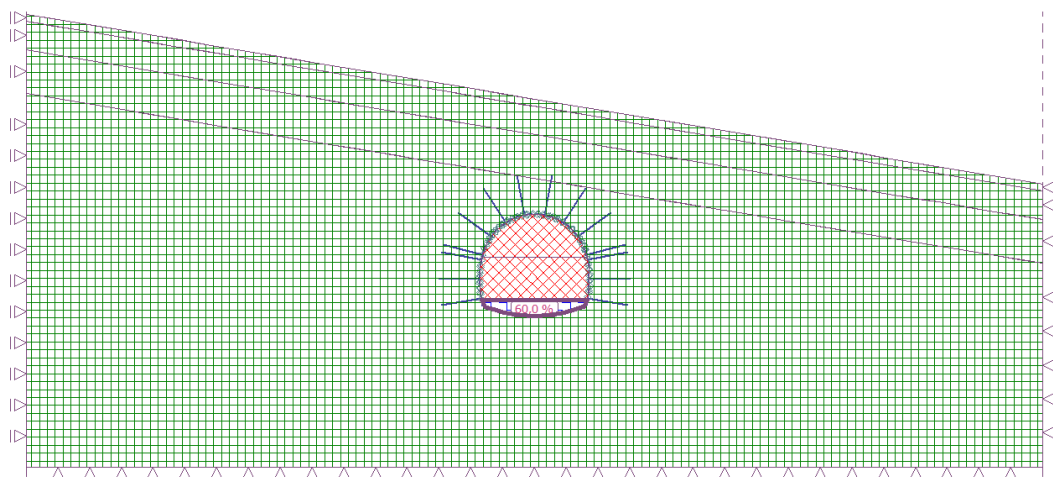
Slika 38. Naprezanja u tlu  $\sigma_z$  (kPa)



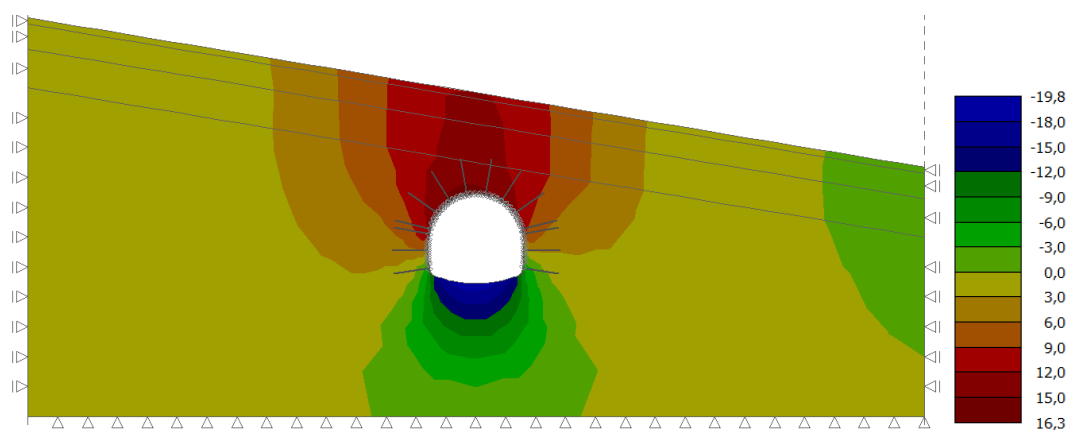
Slika 39. Plastične deformacije  $\epsilon_{pl}$  (%)

## 3.2.1.8. Osmo faza analize primarne podgrade s horizontalnim iskopom

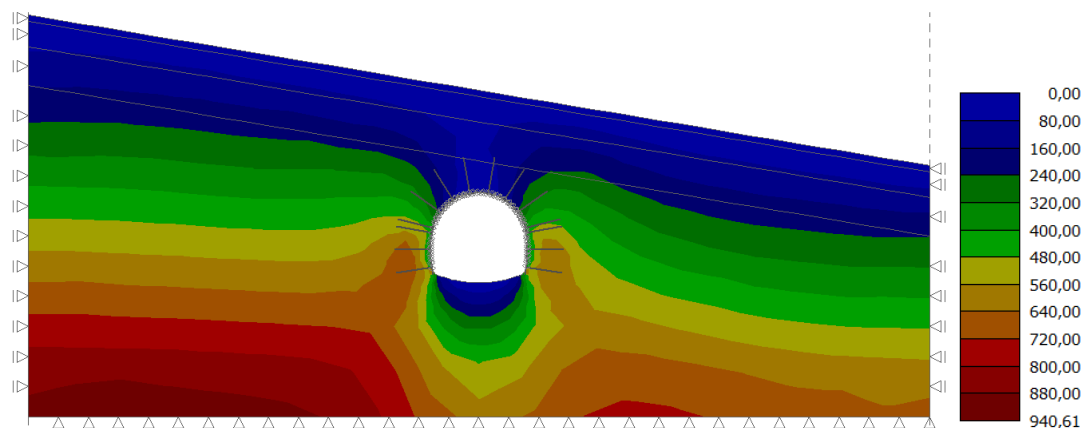
U osmoj fazi se nakon komplene izrade srednjeg dijela tunela pristupa uklanjanju 40 % unutarnjih sila iz donjeg dijela tunela. Primjećuje se postepeni porast plastičnih deformacija.



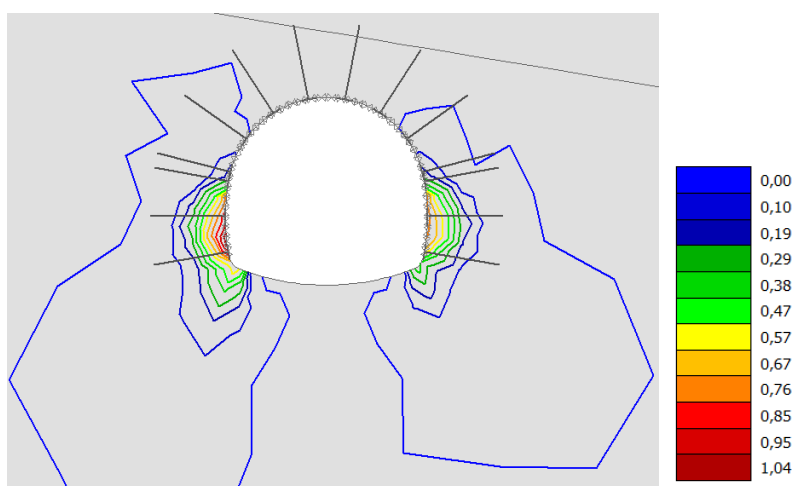
Slika 40. Deaktivacija 40% unutarnjih sila iz donjeg dijela tunela



Slika 41. Pomaci dz (mm)



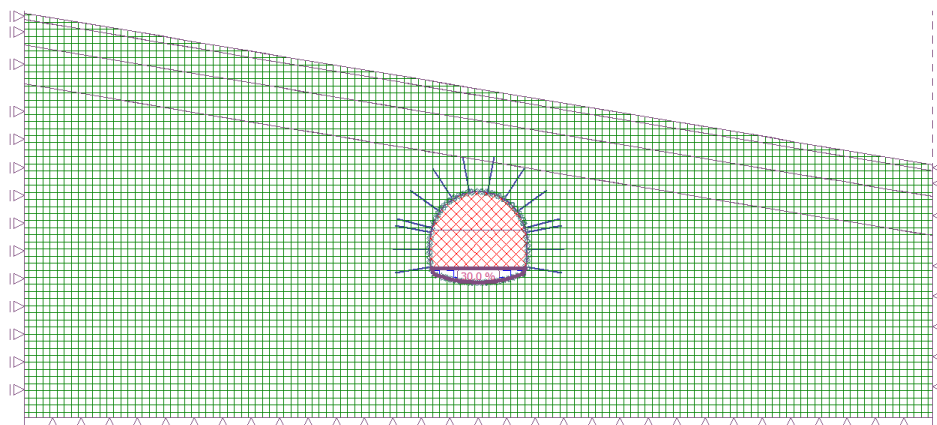
Slika 42. Naprezanja u tlu  $\sigma_z$  (kPa)



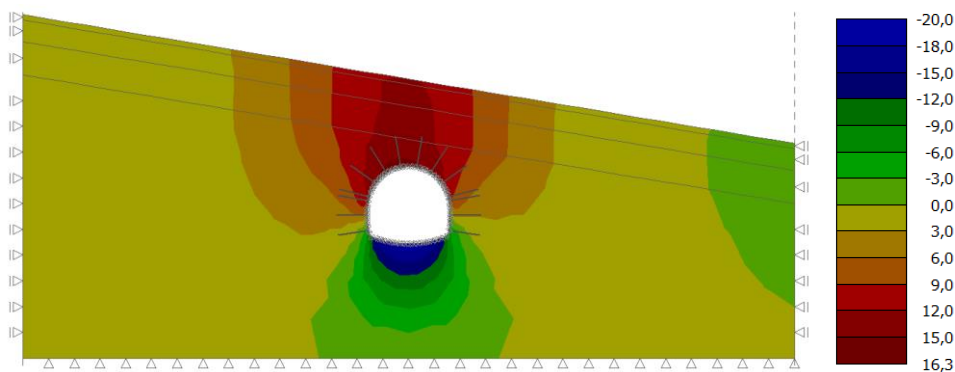
Slika 43. Plastične deformacije  $\epsilon_{pl}$  (%)

### 3.2.1.9. Deveta faza analize primarne podgrade s horizontalnim iskopom

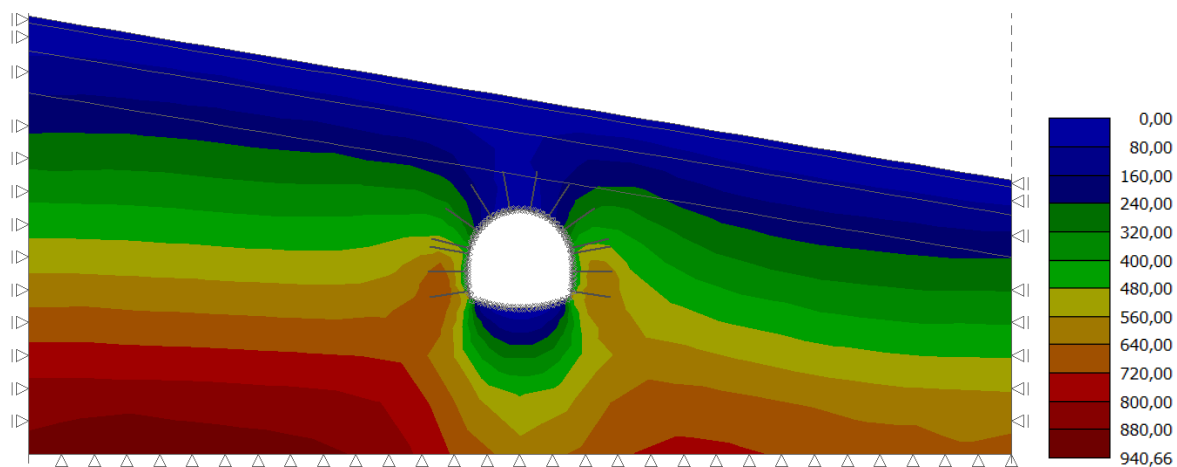
U devetoj fazi se uklanja dodatnih 30 % unutarnjih sila iz donjeg dijela tunela te se nanosi prskani beton u debljini od 30 cm s karakteristikama svježeg betona.



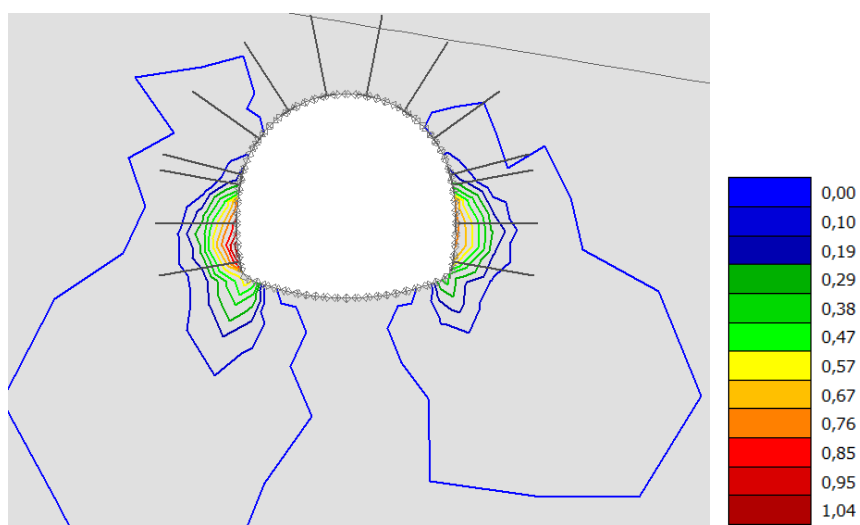
Slika 44. Deaktivacija 30% unutarnjih sila iz donjeg dijela tunela



Slika 45. Pomaci dz (mm)



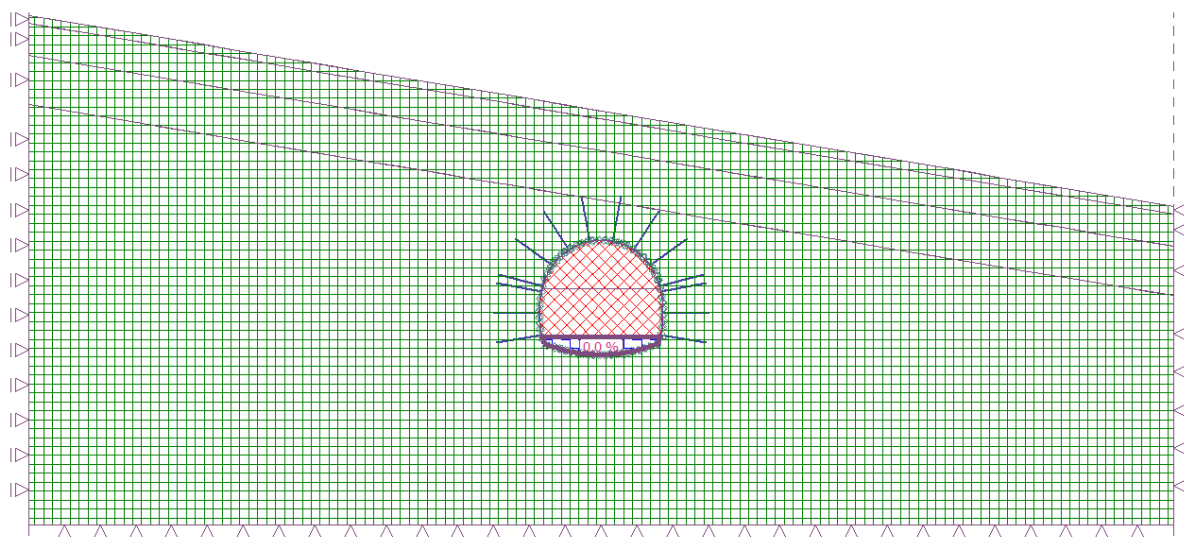
Slika 46. Naprezanja u tlu  $\sigma_z$  (kPa)



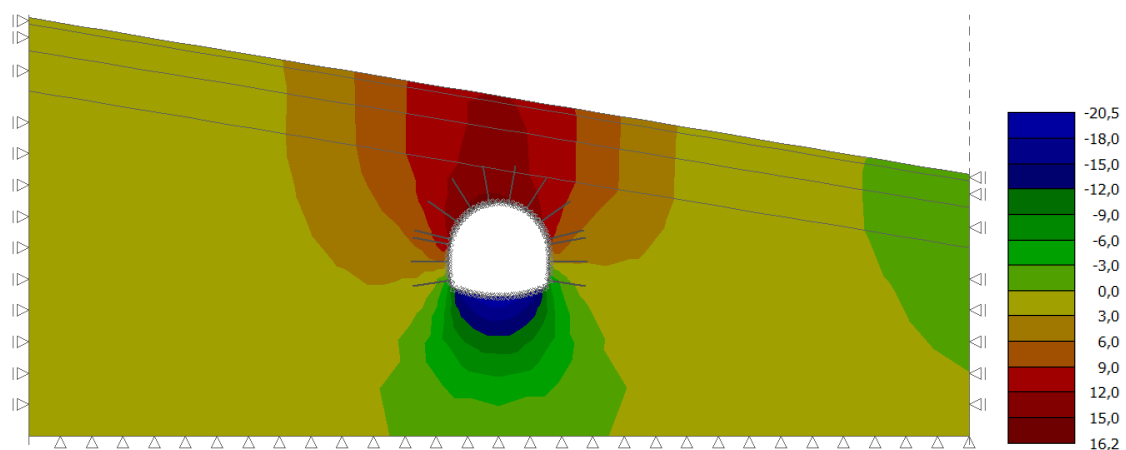
Slika 47. Plastične deformacije  $\epsilon_{pl}$  (%)

3.2.1.10. Deseta faza analize primarne podgrade s horizontalnim iskopom

U desetoj fazi deaktivira se preostalih 30 % unutarnjih sila iz donjeg dijela tunela te dolazi do očvršćavanja prskanog betona tako da se u software-u zadaju karakteristike očvrstlog prskanog betona.

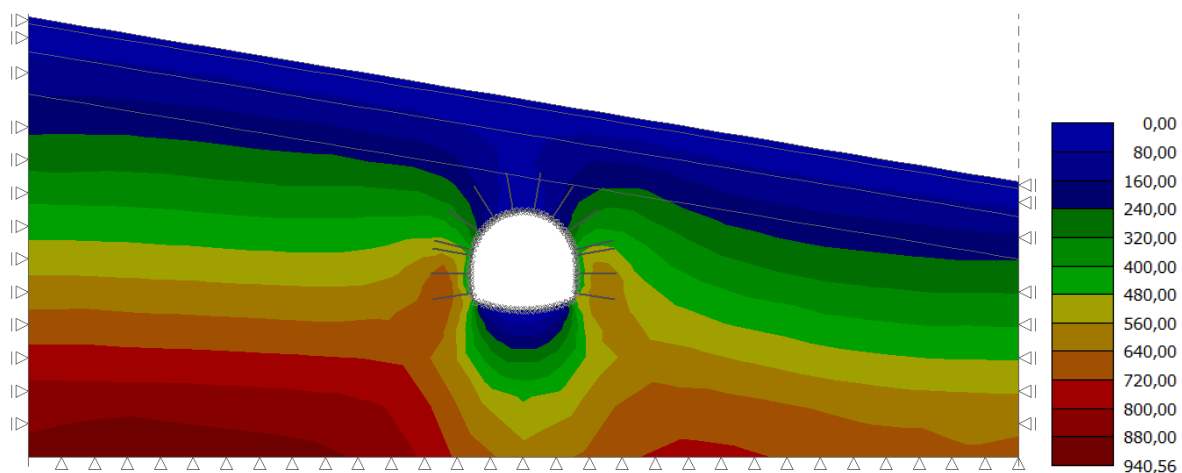


Slika 48. Deaktivacija preostalih 30% unutarnjih sila iz donjeg dijela tunela

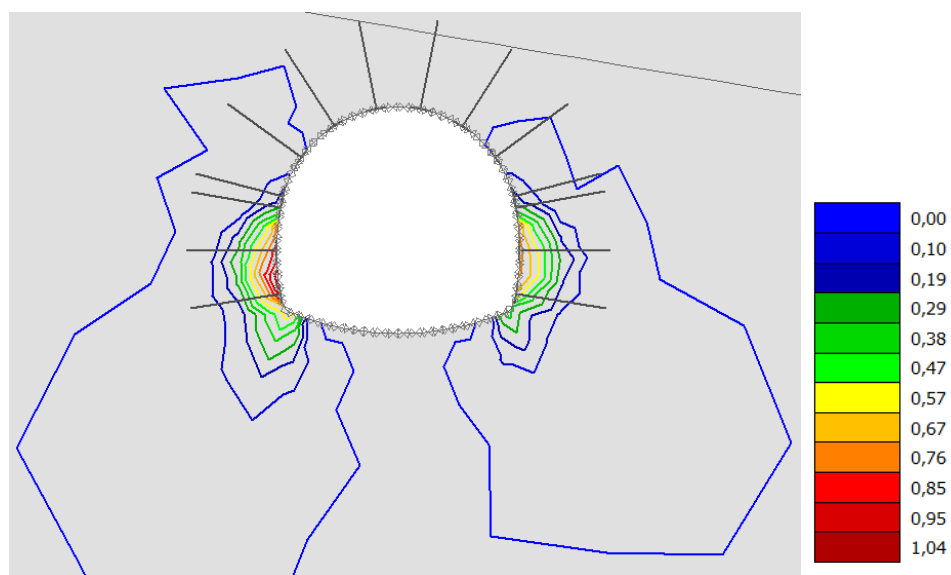


Slika 49. Pomaci dz (mm)





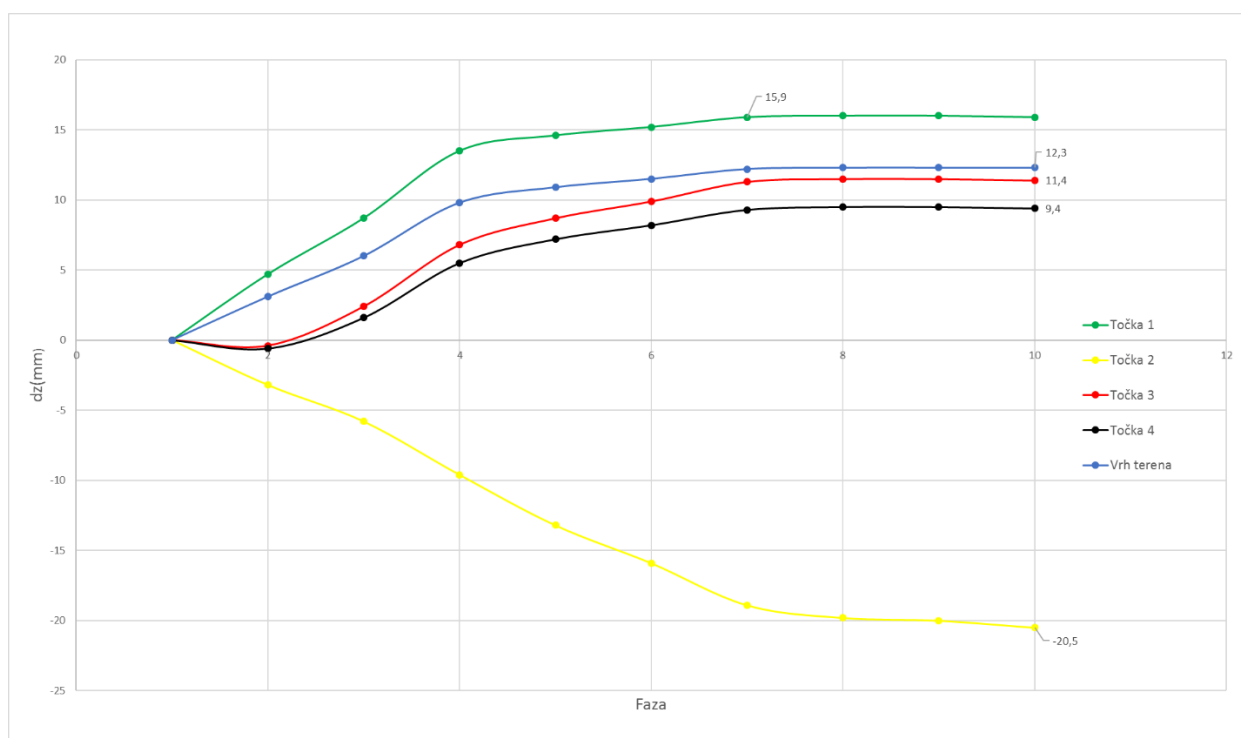
Slika 50. Naprezanja u tlu  $\sigma_z$  (kPa)



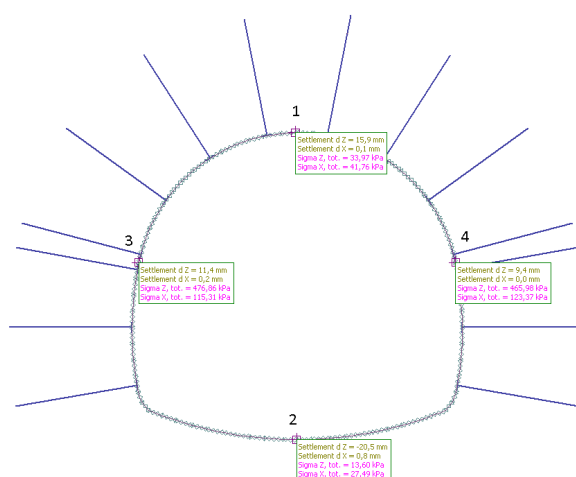
Slika 51. Plastične deformacije  $\epsilon_{pl}$  (%)

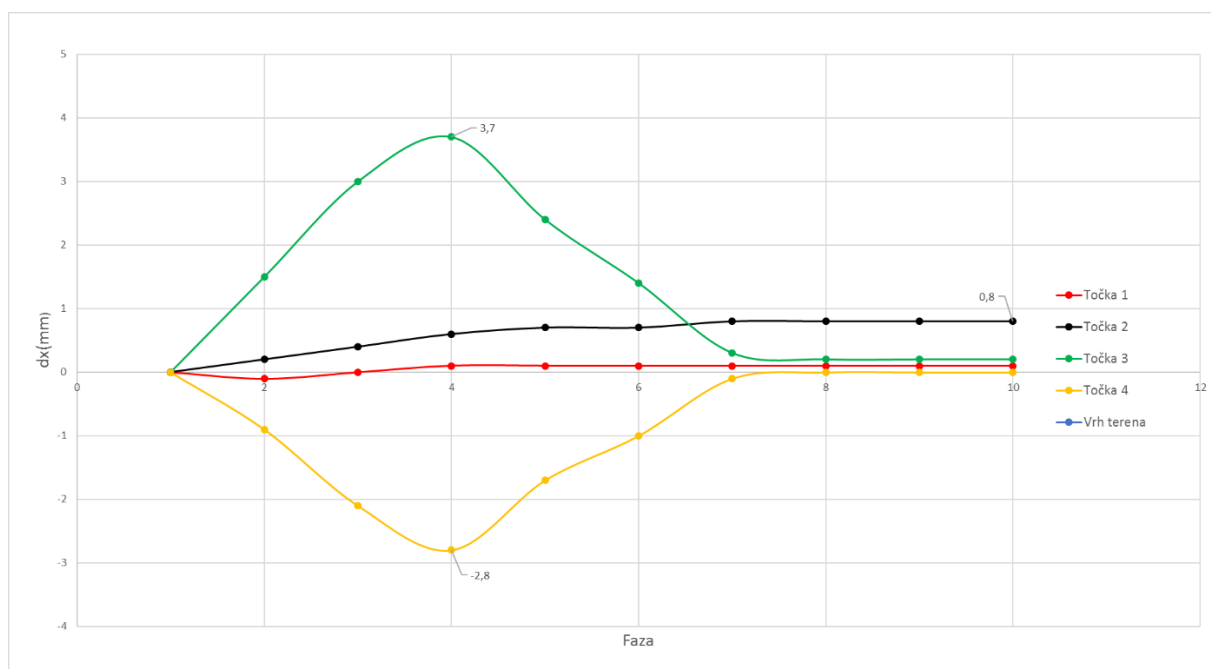
## 3.2.2. Prikaz rezultata konvergenijskih točaka u varijanti s horizontalnim iskopom

U nastavku ćemo prikazati pomake u smjeru x i z te naprezanja u smjeru x i z konvergenijskih točaka koje su postavljene unutar tunela te pomoću kojih smo pratili kretanje ovih značajnih veličina koje nam poslije mogu pomoći prilikom dimenzioniranja sekundarne obloge.

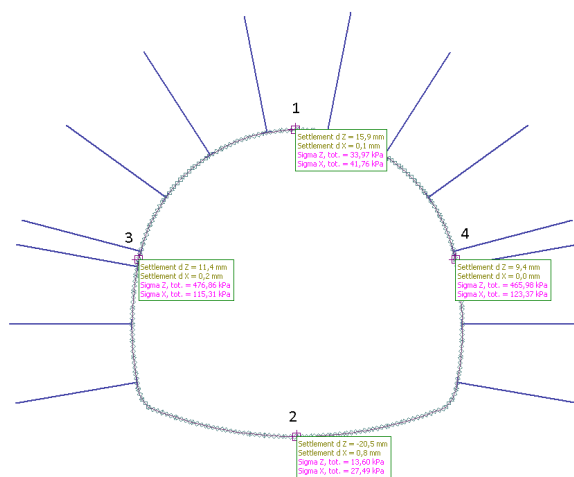


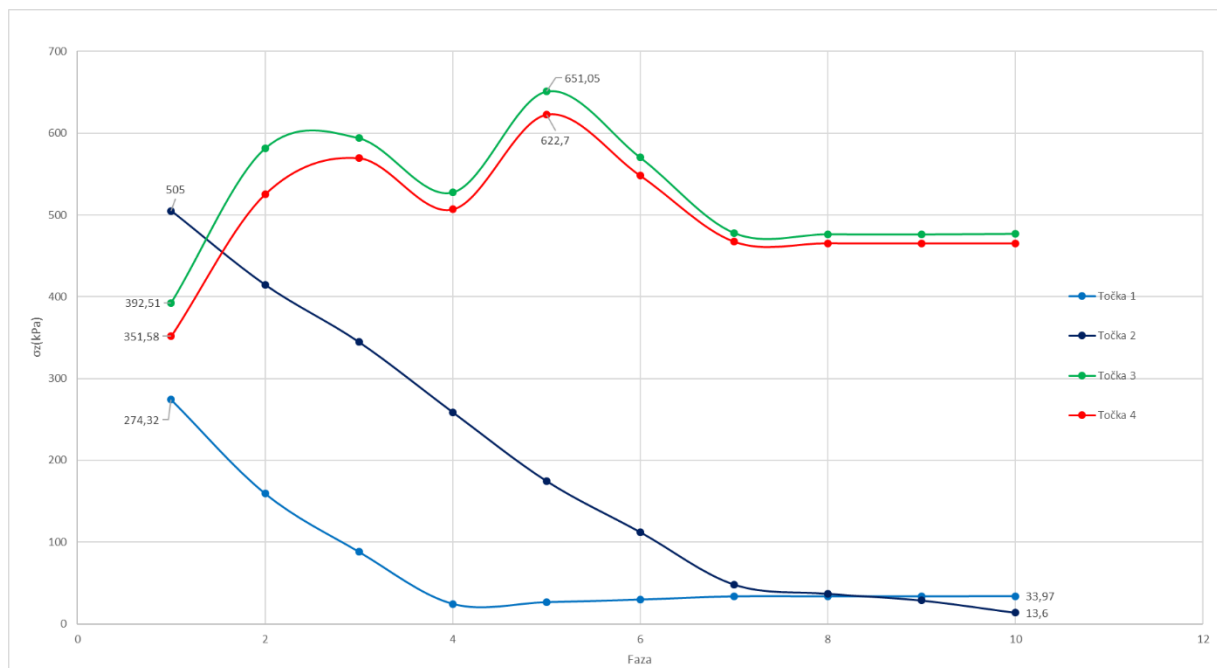
Slika 52. Pomaci konvergenijskih točaka po fazama dz (mm)



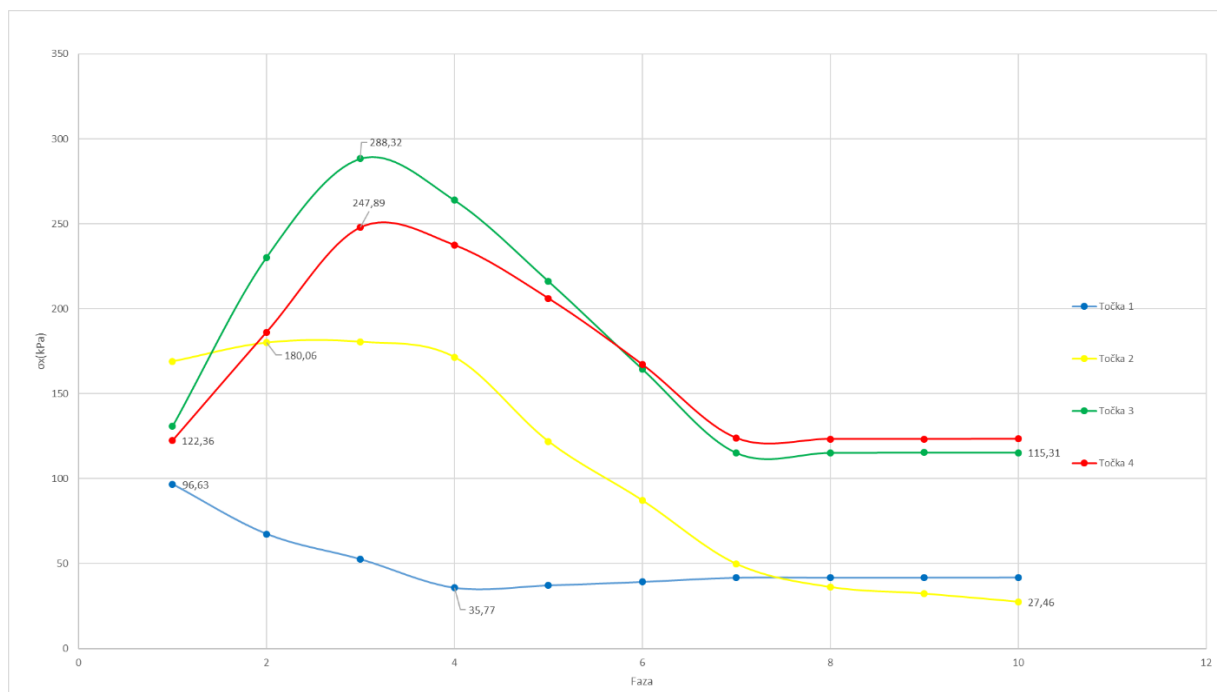


Slika 53. Pomaci konvergencijskih točaka po fazama dx (mm)





Slika 54. Naprezanja na konvergencijskim točakama po fazama  $\sigma_z$  (kPa)



Slika 55. Naprezanja na konvergencijskim točakama po fazama  $\sigma_x$  (kPa)

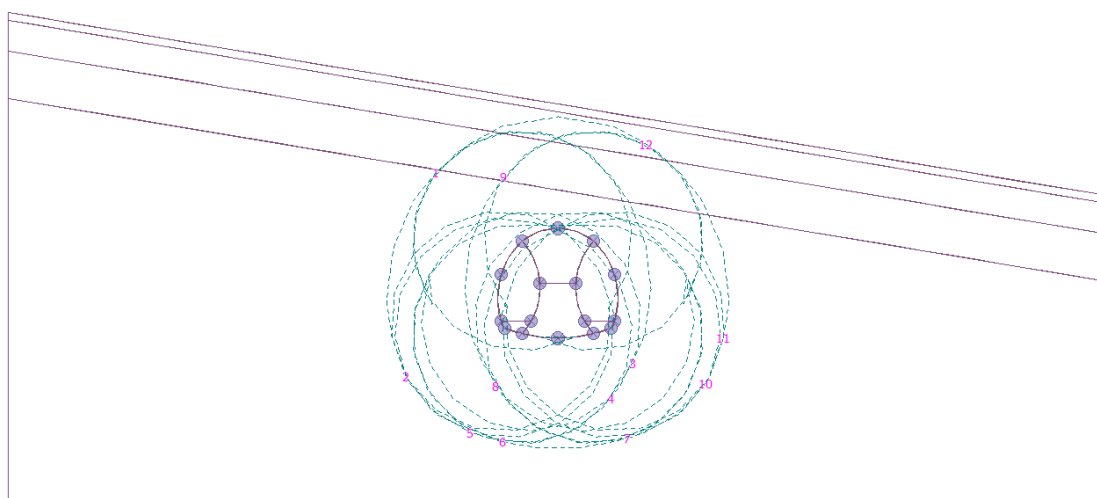
## 3.2.3. Analiza primarne podgrade u varijanti s vertikalnim iskopom

Kao što smo već napomenuli poprečni presjek se dijeli sa drugačiji način prilikom izvođenja vertikalnog iskopa u odnosu na horizontalni iskop te iz toga proizlazi da je mreža konačnih elemenata također drugačija što ćemo prikazati.

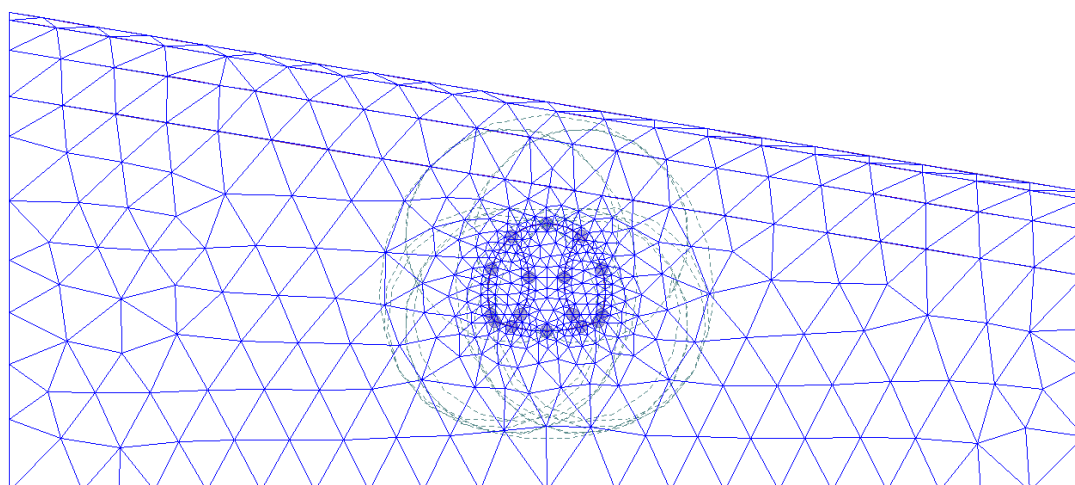
Slično kao za horizontalni iskop prikazat ćemo stanje naprezanja i pomaka u konvergencijskim točkama po fazama izvođenja. Redoslijed izvođenja će biti sljedeći: prvo će se postepeno iskopati gornji desni dio, nanijeti prskani beton te ugraditi predviđeni broj sidara, zatim ćemo iskopati donji desni dio te nanijeti prskani beton, nadalje redom idu gornji lijevi dio poprečnog presjeka, donji lijevi, zatim gornji središnji dio te naposljetku donji središnji dio poprečnog presjeka tunela. Prskani beton je u software-u simuliran kao pravokutna betonska greda s time da je jedna dimenzija debljina ugrađenog betona a druga je metar dužni. Koristimo karakteristike svježeg i očvrstnalog betona u simulaciji koje su prikazane u tablici.

|                          | Mladi beton | Očvrstnuli beton |
|--------------------------|-------------|------------------|
| Modul elastičnosti (Mpa) | 5000,0      | 15000,0          |
| Modul posmika (Mpa)      | 1923,1      | 6250,0           |

Tablica 6. Karakteristike mladog i očvrstnalog prskanog betona



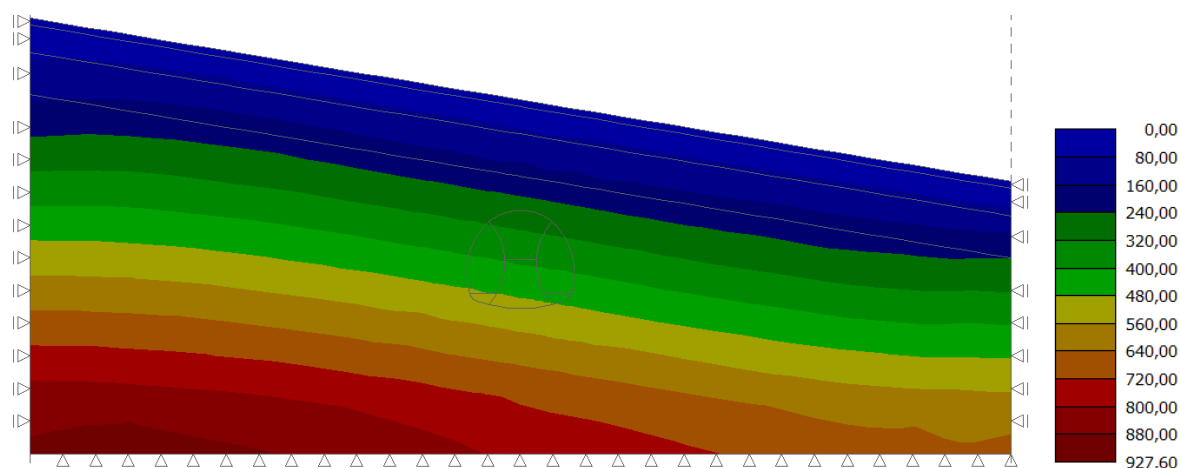
Slika 56. Poprečni presjek s radijusima utjecaja



Slika 57. Generirana mreža konačnih elemenata

### 3.2.3.1. Prva faza analize primarne podgrade s vertikalnim iskopom

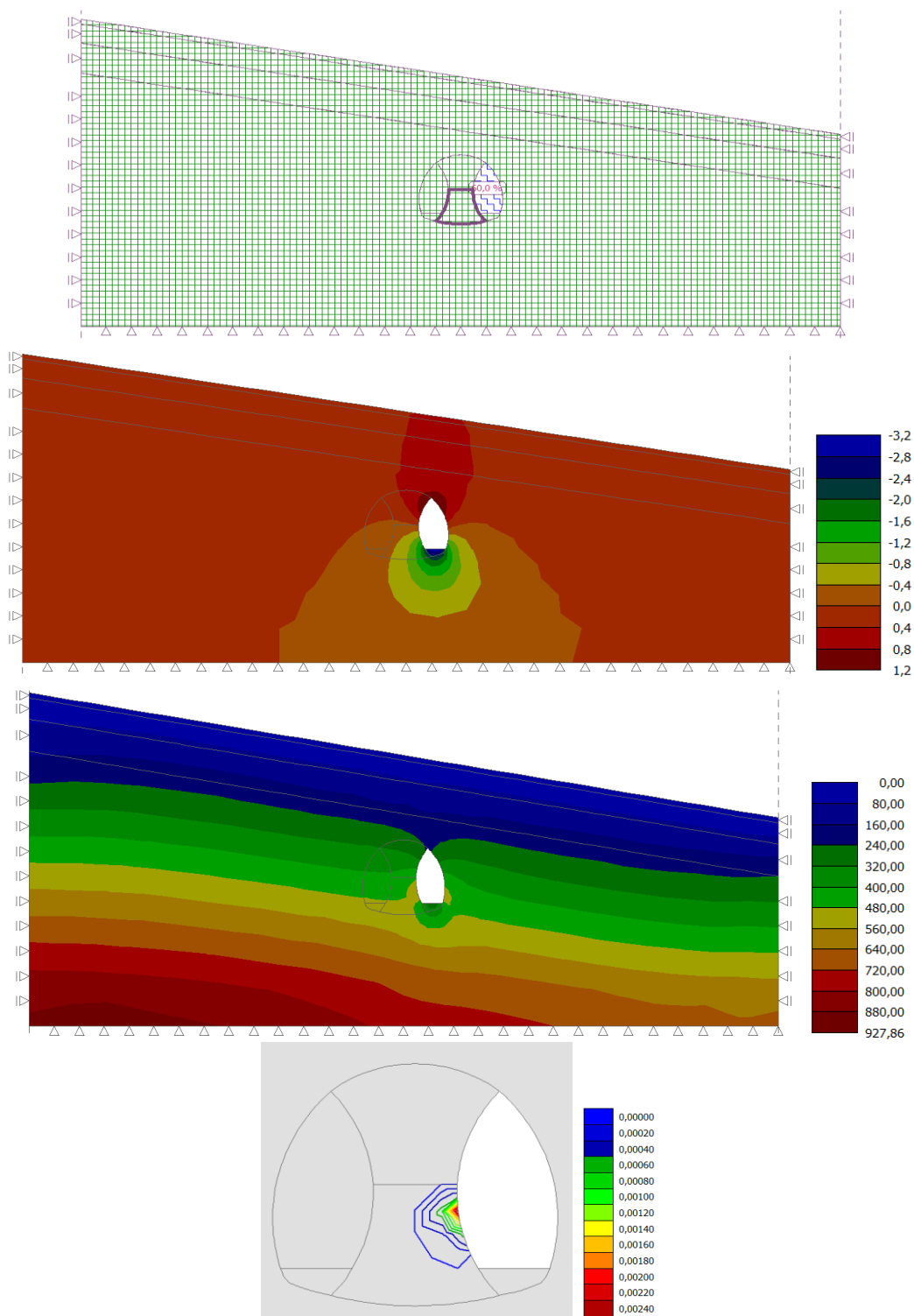
U prvoj fazi se vrši samo proračun geostatičkih naprezanja u tlu (kPa).  
Nema pojave plastičnih deformacija.



Slika 58. Naprezanja u tlu  $\sigma_z$  (kPa)

### 3.2.3.2. Druga faza analize primarne podgrade s vertikalnim iskopom

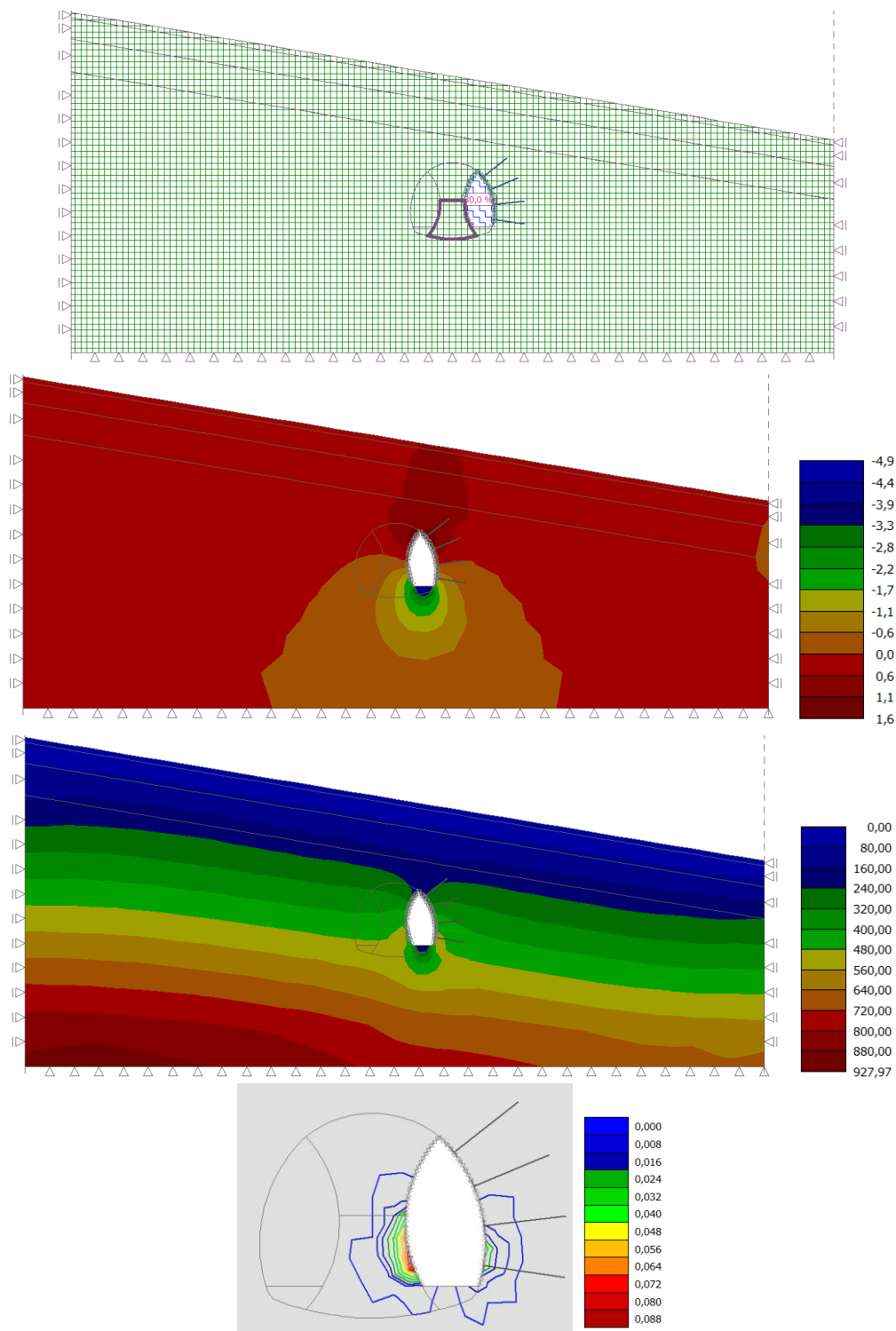
U drugoj fazi se uklanja 40% unutarnjih sila iz gornjeg desnog dijela poprečnog presjeka te se vrši analiza. Dolazi do male platifikacije, koja će postepeno rasti u sljedećim fazama iskopa.



Slika 59.a) Deaktivacija 40% unutarnjih sila iz gornjeg desnog dijela; b) Pomaci dz (mm);  
c) Naprezanja u tlu  $\sigma_z$  (kPa); d) Plastične deformacije  $\epsilon_{pl}$  (%)

### 3.2.3.3. Treća faza analize primarne podgrade s vertikalnim iskopom

U trećoj fazi se deaktivira još 30% unutrašnjih sila iz gornjeg desnog dijela poprečnog presjeka, ugrađuju se 4 sidra na razmaku od 2m te se nanosi svježi prskani beton u debljini od 25 cm s vanjske strane te 10 cm s unutarnje strane radi osiguranja iskopa koji će poslije biti uklonjeni.

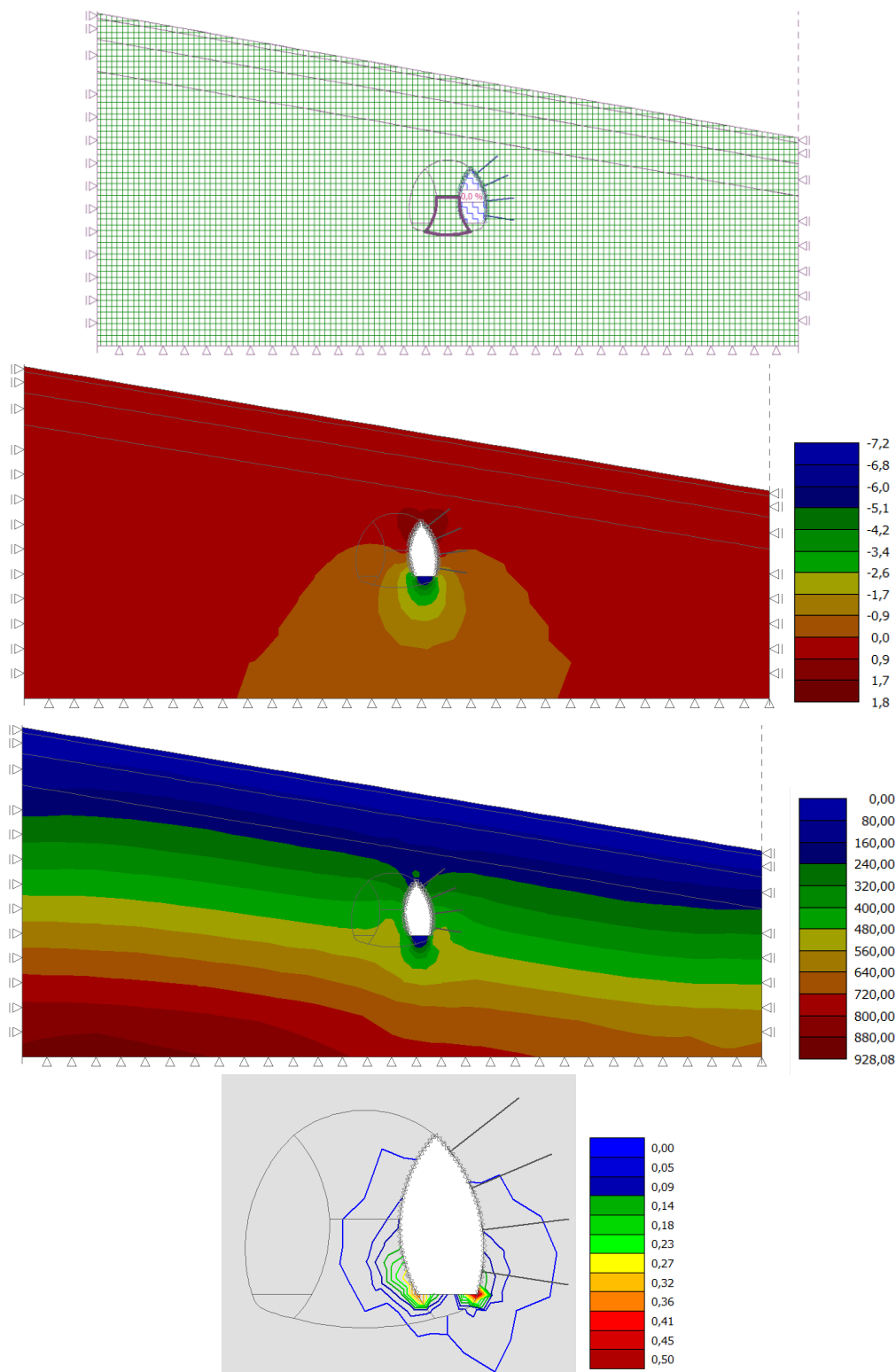


Slika 60.a) Deaktivacija 30% unutrašnjih sila iz gornjeg desnog dijela; b) Pomaci  $d_z$  (mm); c) Naprezanja u tlu  $\sigma_z$  (kPa); d) Plastične deformacije  $\epsilon_{pl}$  (%)



### 3.2.3.4. Četvrta faza analize primarne podgrade s vertikalnim iskopom

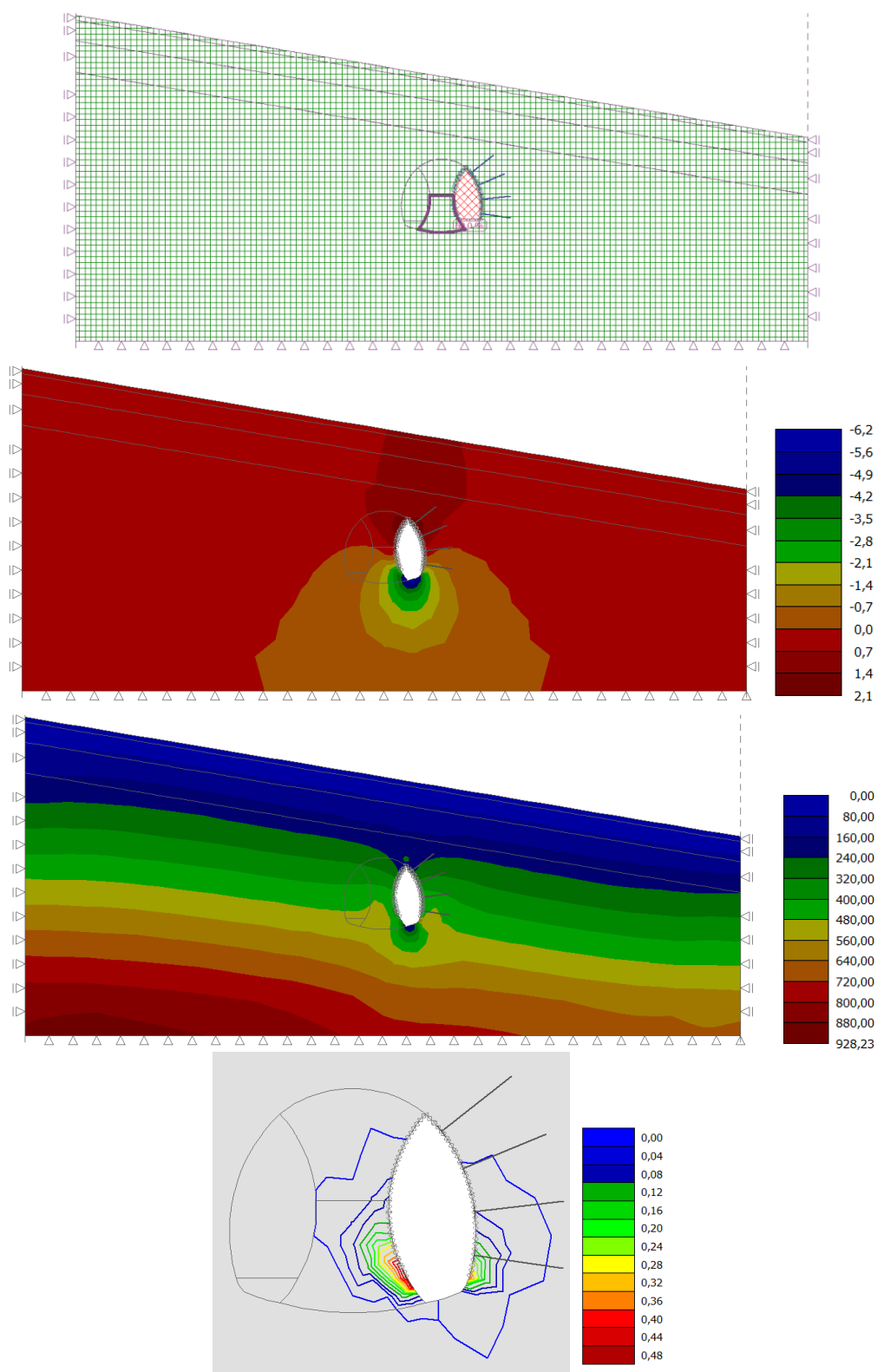
U četvrtoj fazi se deaktivira preostalih 30% unutarnjih sila iz gornjeg desnog dijela poprečnog presjeka te dolazi do očvršćavanja nanesenog prskanog betona koji simuliramo porastom modula elastičnosti i posmika. Bilježimo porast plastičnih deformacija.



Slika 61. a) Deaktivacija preostalih 30% unutarnjih sila iz gornjeg desnog dijela; b) Pomaci dz (mm); c) Naprezanja u tlu  $\sigma_z$  (kPa); d) Plastične deformacije  $\epsilon_{pl}$  (%)

### 3.2.3.5. Peta faza analize primarne podgrade s vertikalnim iskopom

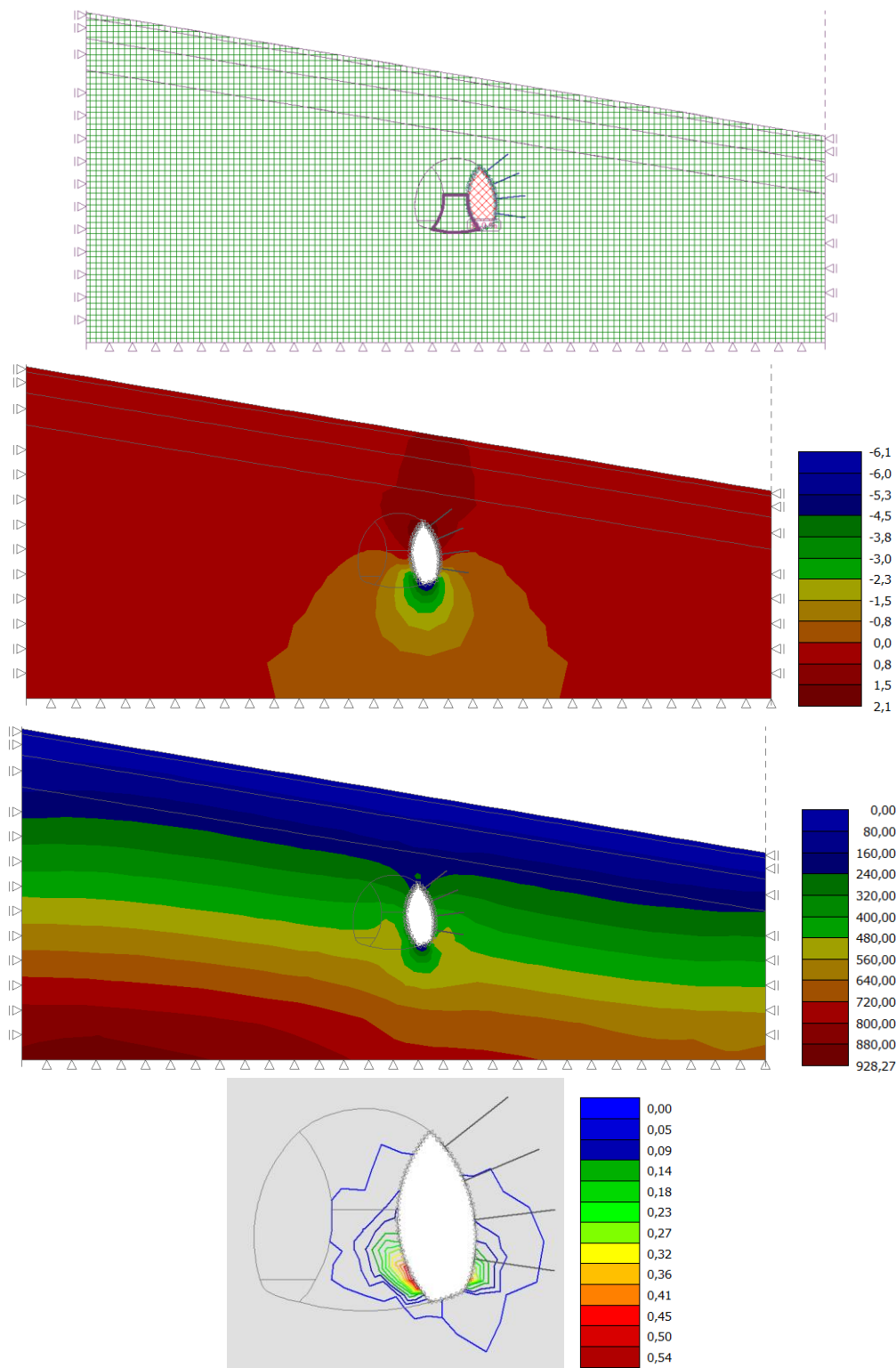
U petoj fazi se deaktivira 40% unutarnjih sila iz donjeg desnog dijela poprečnog presjeka.



Slika 62.a) Deaktivacija 40% unutarnjih sila iz donjeg desnog dijela; b) Pomaci  $d_z$  (mm);  
c) Naprezanja u tlu  $\sigma_z$  (kPa); d) Plastične deformacije  $\epsilon_{pl}$  (%)

### 3.2.3.6. Šesta faza analize primarne podgrade s vertikalnim iskopom

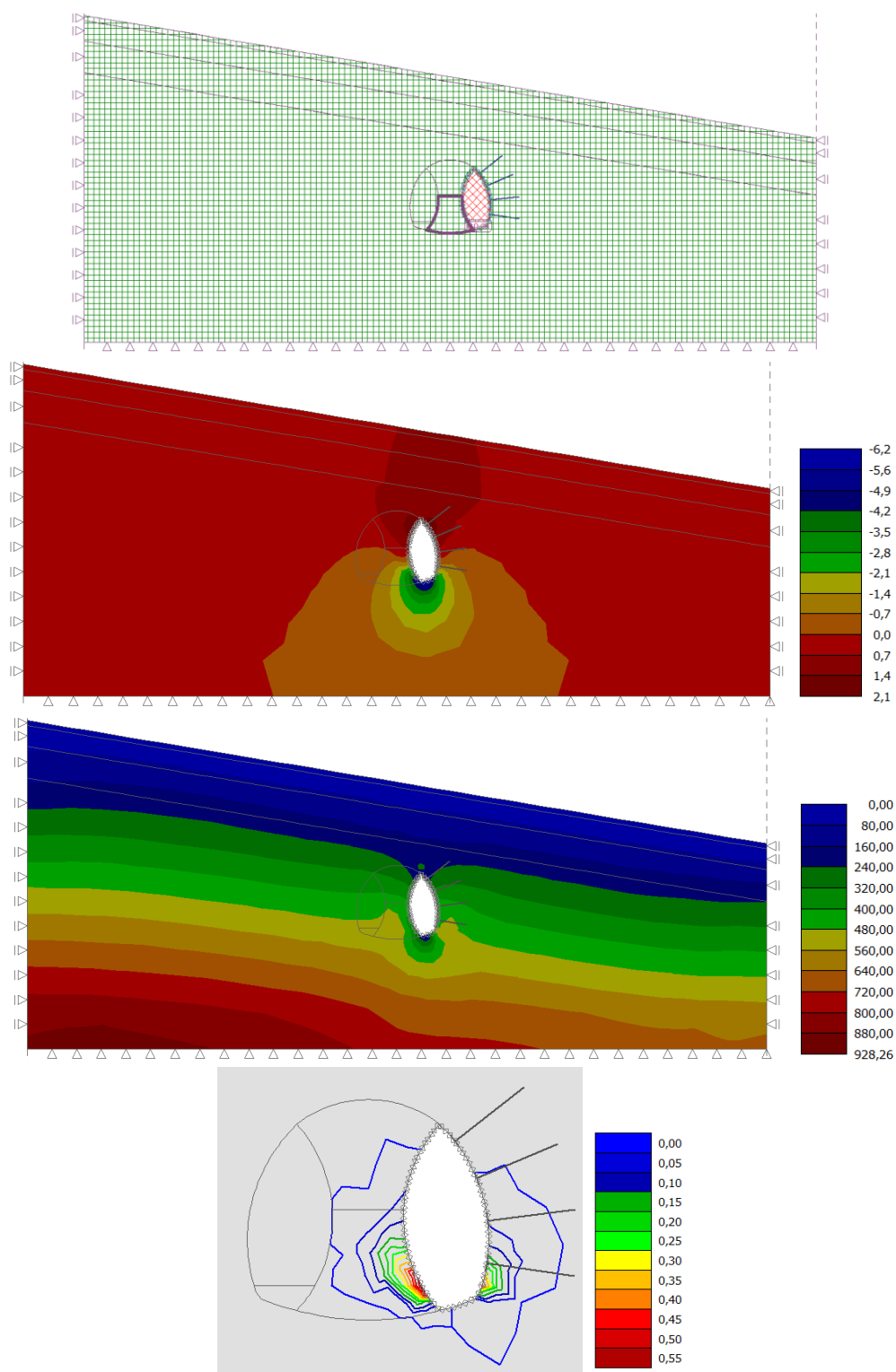
U šestoj fazi se deaktivira dodatnih 30% unutarnjih sila iz donjeg desnog dijela poprečnog presjeka te se nanosi svježi prskani beton u debljini od 30 cm.



Slika 63.a) Deaktivacija 30% unutarnjih sila iz donjeg desnog dijela; b) Pomaci  $d_z$  (mm);  
c) Naprezanja u tlu  $\sigma_z$  (kPa); d) Plastične deformacije  $\epsilon_{pl}$  (%)

### 3.2.3.7. Sedma faza analize primarne podgrade s vertikalnim iskopom

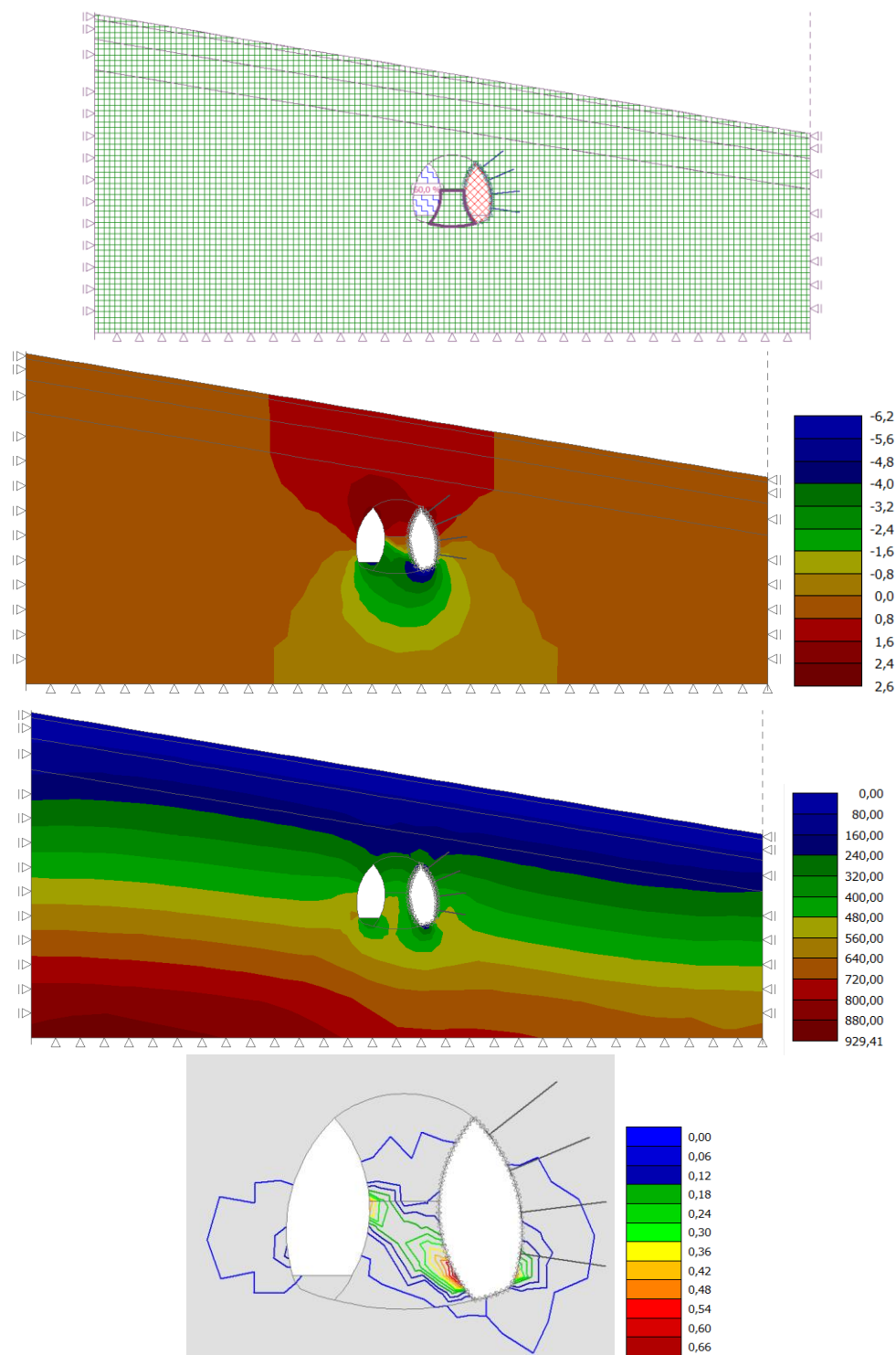
U sedmoj fazi se deaktivira preostalih 30% unutarnjih sila iz donjeg desnog dijela poprečnog presjeka te dolazi do očvršćavanja prskanog betona (porast modula elastičnosti i posmika).



Slika 64.a) Deaktivacija preostalih 30% unutarnjih sila iz donjeg desnog dijela; b) Pomaci  $d_z$  (mm); c) Naprezanja u tlu  $\sigma_z$  (kPa); d) Plastične deformacije  $\epsilon_{pl}$  (%)

### 3.2.3.8. Osmo faza analize primarne podgrade s vertikalnim iskopom

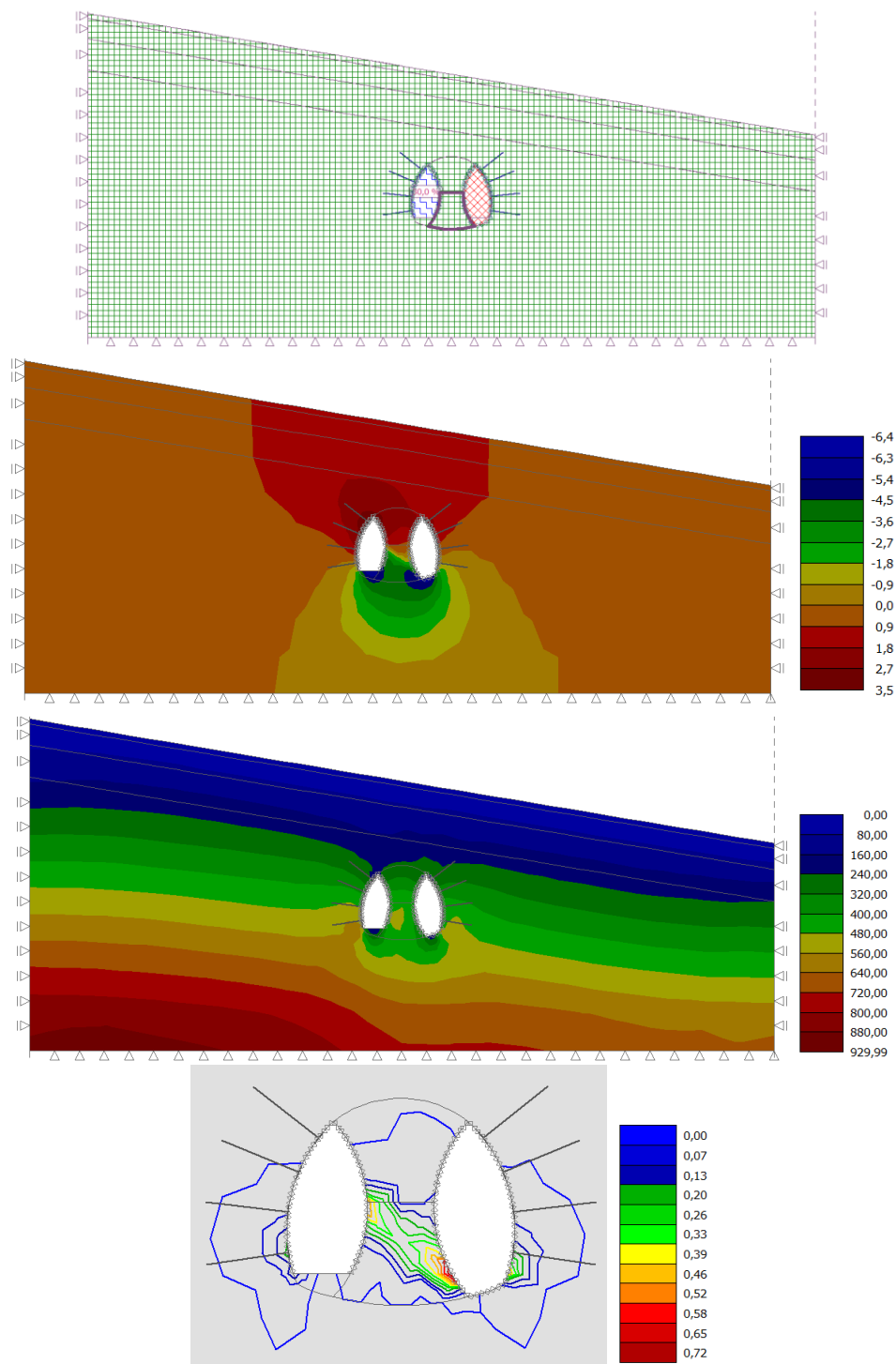
U osmoj fazi se nakon dovršavanja izrade desnog dijela poprečnog presjeka deaktivira 40% unutarnjih sila iz gornjeg lijevog dijela poprečnog presjeka.



Slika 65.a)Deaktivacija 40% unutarnjih sila iz gornjeg lijevog dijela; b)Pomaci dz (mm);  
c)Naprezanja u tlu  $\sigma_z$  (kPa); d)Plastične deformacije  $\epsilon_{pl}$  (%)

## 3.2.3.9. Deveta faza analize primarne podgrade s vertikalnim iskopom

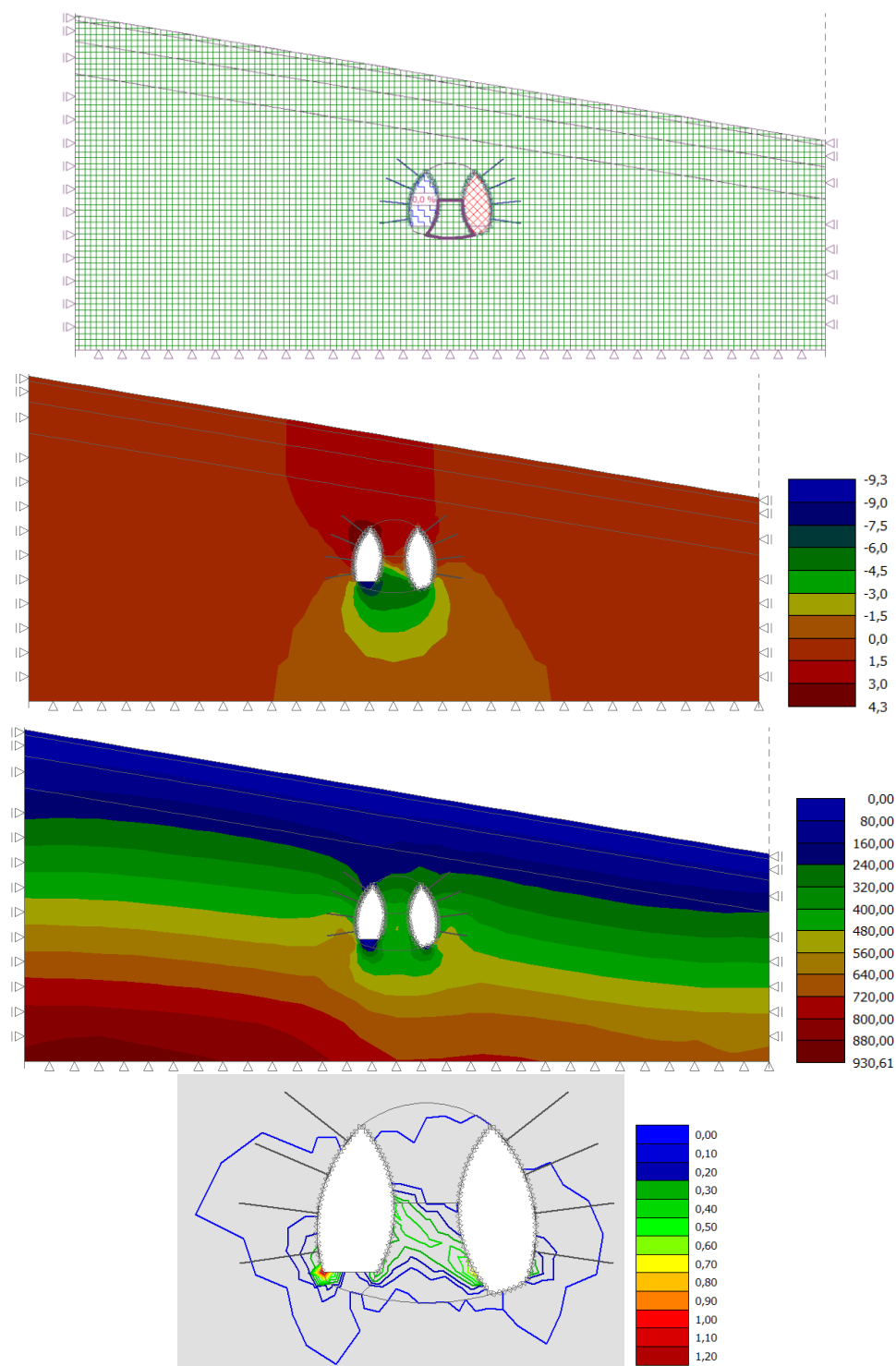
U devetoj fazi se deaktivira još 30% unutarnjih sila iz gornjeg lijevog dijela poprečnog presjeka, ugrađuju se 4 sidra na razmaku od 2m te se nanosi svježi prskani beton u debljini od 25 cm s vanjske strane te 10 cm s unutarnje strane radi osiguranja iskopa koji će poslije biti uklonjen.



Slika 66.a) Deaktivacija dodatnih 30% unutarnjih sila iz gornjeg lijevog dijela; b) Pomaci  $d_z$  (mm); c) Naprezanja u tlu  $\sigma_z$  (kPa); d) Plastične deformacije  $\epsilon_{pl}$  (%)

3.2.3.10. Deseta faza analize primarne podgrade s vertikalnim iskopom

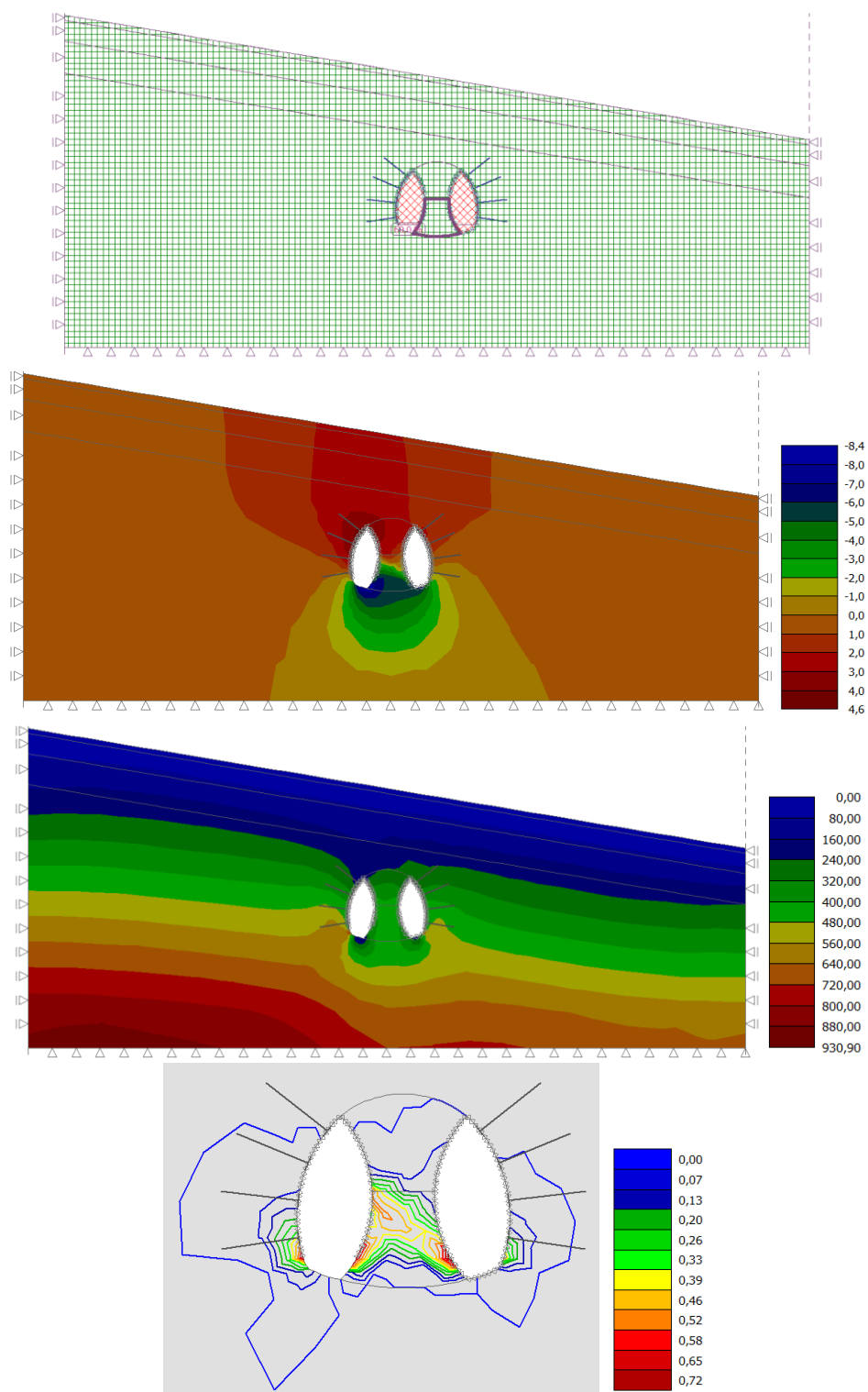
U desetoj fazi se deaktivira preostalih 30% unutarnjih sila iz gornjeg lijevog dijela poprečnog presjeka te dolazi do očvršćavanja prskanog betona (porast modula elastičnosti i posmika).



Slika 67. a) Deaktivacija preostalih 30% unutarnjih sila iz gornjeg lijevog dijela; b) Pomaci dz (mm); c) Naprezanja u tlu  $\sigma_z$  (kPa); d) Plastične deformacije  $\epsilon_{pl}$  (%)

## 3.2.3.11. Jedanaesta faza analize primarne podgrade s vertikalnim iskopom

U jedanaestoj fazi se deaktivira 40% unutarnjih sila iz donjeg lijevog dijela poprečnog presjeka.

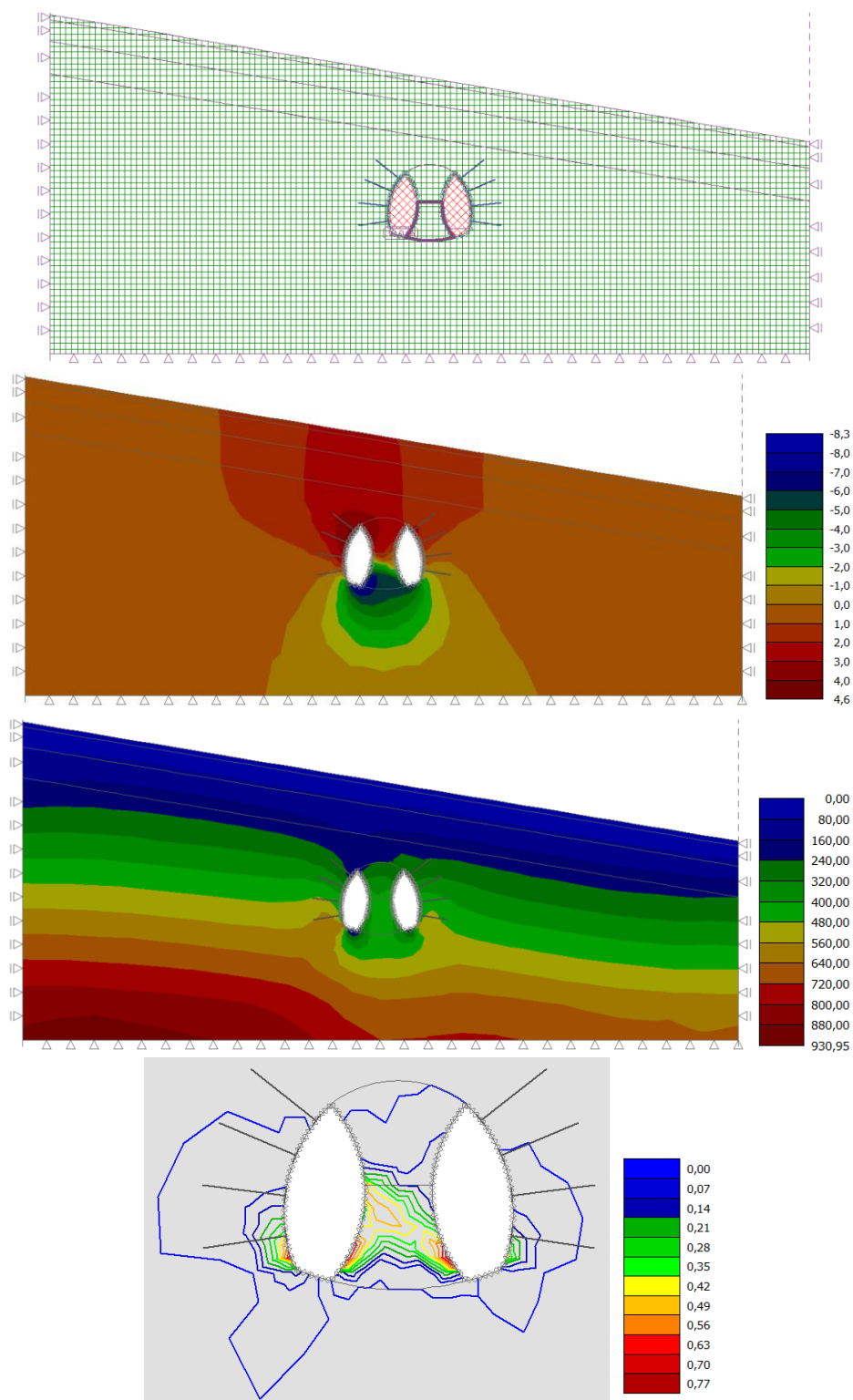


Slika 68.a) Deaktivacija 40% unutarnjih sila iz donjeg lijevog dijela; b) Pomaci dz (mm); c) Naprezanja u tlu  $\sigma_z$  (kPa); d) Plastične deformacije  $\epsilon_{pl}$  (%)



3.2.3.12. Dvanaesta faza analize primarne podgrade s vertikalnim iskopom

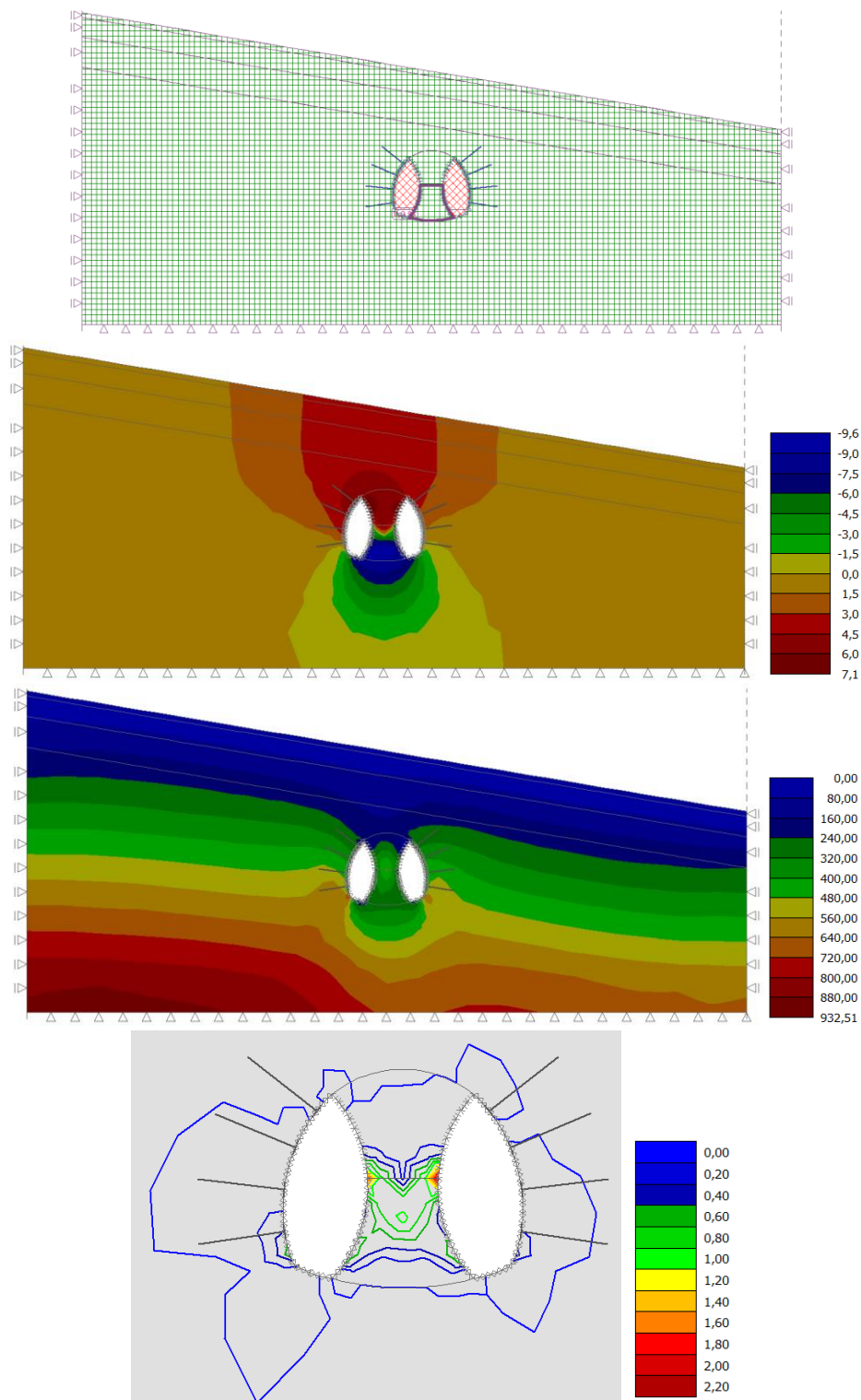
U dvanaestoj fazi se deaktivira još 30% unutrašnjih sila iz donjeg lijevog dijela poprečnog presjeka te se nanosi svježi prskani beton u debljini od 30 cm.



Slika 69.a) Deaktivacija dodatnih 30% unutarnjih sila iz donjeg lijevog dijela; b) Pomaci dz (mm); c) Naprezanja u tlu  $\sigma_z$  (kPa); d) Plastične deformacije  $\epsilon_{pl}$  (%)

## 3.2.3.13. Trinaesta faza analize primarne podgrade s vertikalnim iskopom

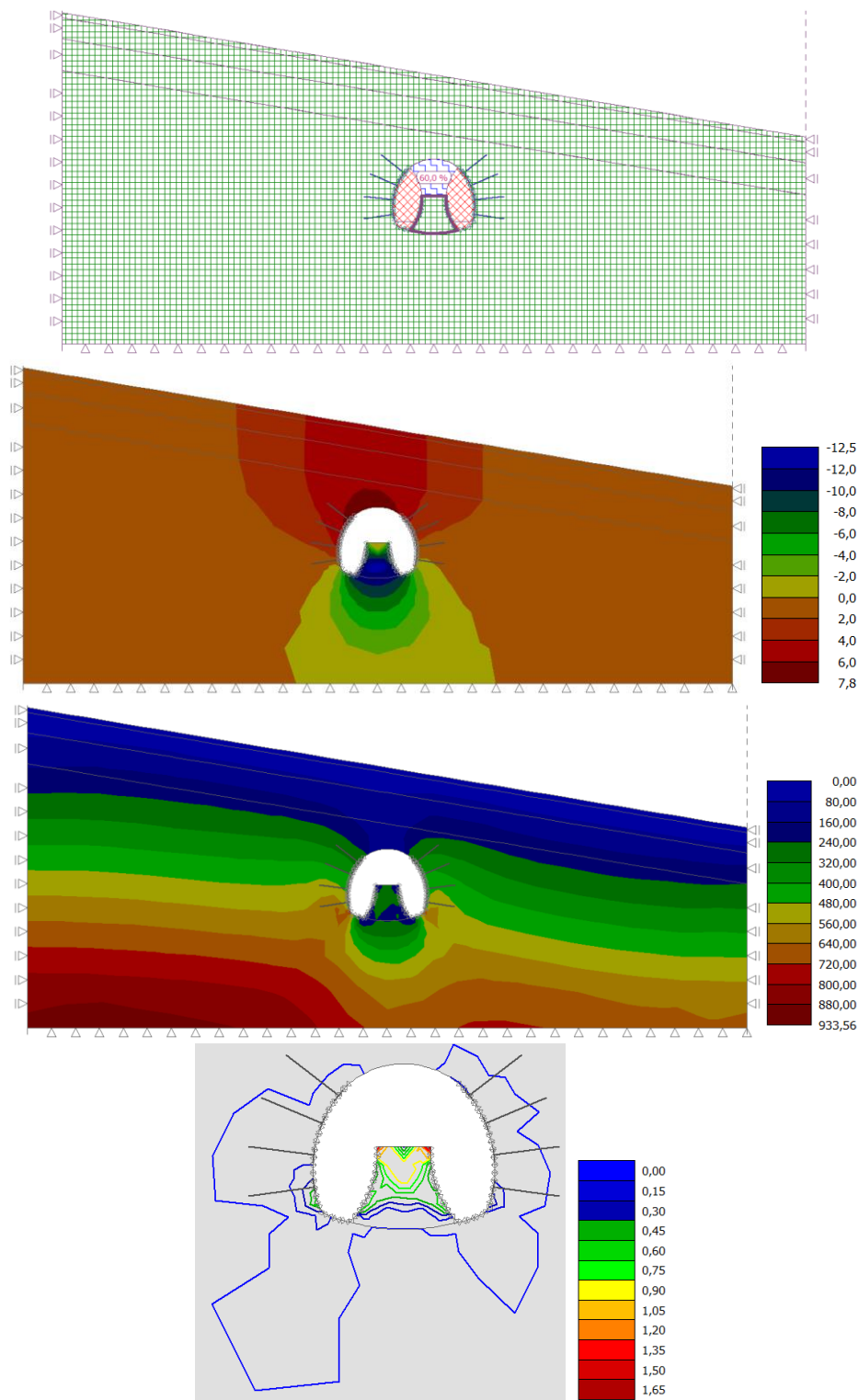
U trinaestoj fazi se deaktivira preostalih 30% unutarašnjih sila iz donjeg lijevog dijela poprečnog presjeka te dolazi do očvršćavanja prskanog betona (porast modula elastičnosti i posmika). Dolazi do porasta plastičnih deformacija.



Slika 70.a) Deaktivacija preostalih 30% unutarnjih sila iz donjeg lijevog dijela; b) Pomaci  $d_z$  (mm); c) Naprezanja u tlu  $\sigma_z$  (kPa); d) Plastične deformacije  $\epsilon_{pl}$  (%)

### 3.2.3.14. Četrnaesta faza analize primarne podgrade s vertikalnim iskopom

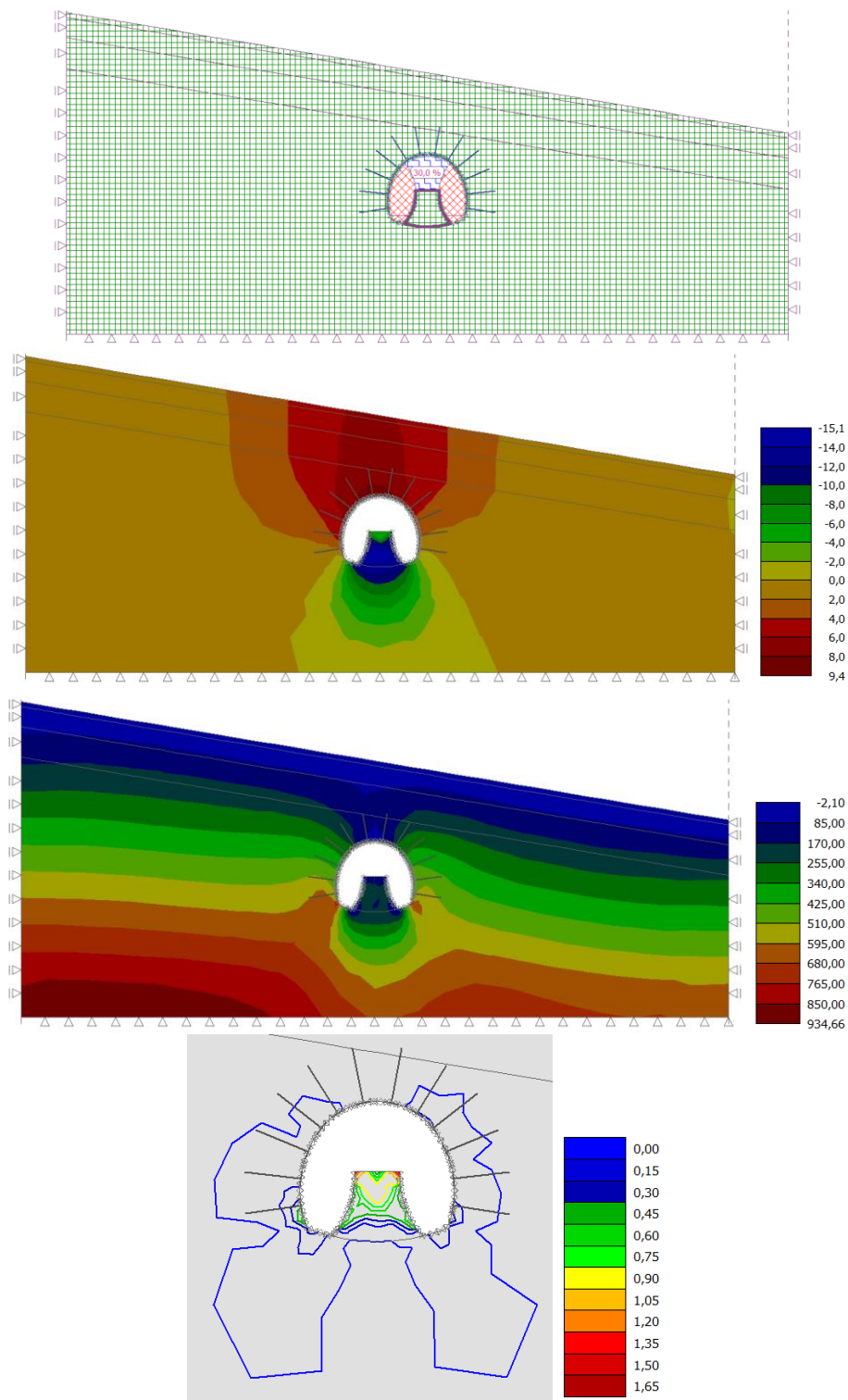
U četrnaestoj fazi se deaktivira 40% unutrašnjih sila iz gornjeg središnjeg dijela poprečnog presjeka te se uklanja prskani beton u debljini od 10 cm koji je služio kao osiguranje protiv urušavanja iskopa.



Slika 71. a) Deaktivacija 40% unutarnjih sila iz gornjeg središnjeg dijela; b) Pomaci  $dz$  (mm);  
 c) Naprezanja u tlu  $\sigma_z$  (kPa); d) Plastične deformacije  $\epsilon_{pl}$  (%)

3.2.3.15. Petnaesta faza analize primarne podgrade s vertikalnim iskopom

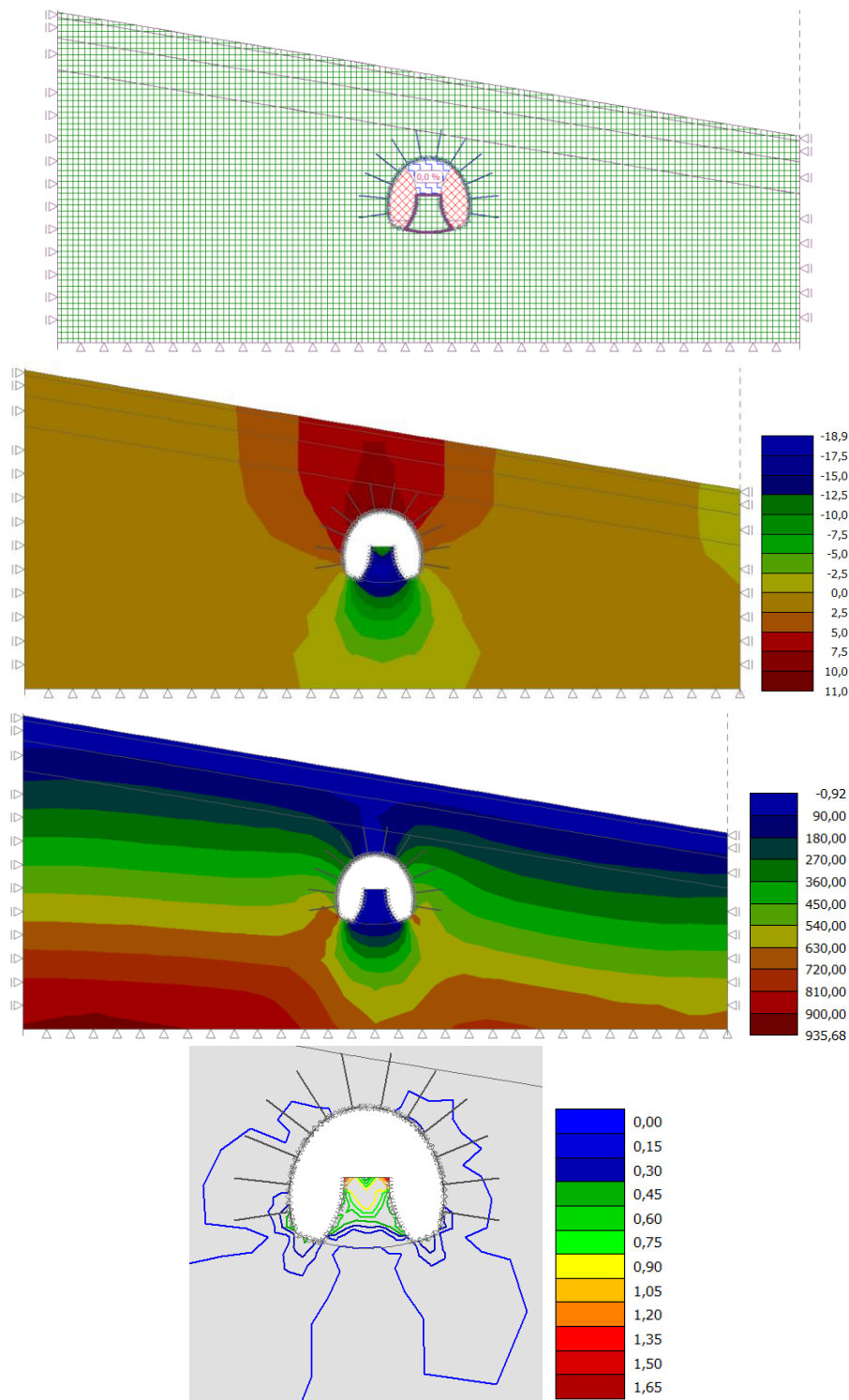
U petnaestoj fazi se deaktivira dodatnih 30% unutrašnjih sila iz gornjeg središnjeg dijela poprečnog presjeka, ugrađuju se 4 sidra na razmaku od 2m te se nanosi svježi prskani beton u debljini od 25 cm.



Slika 72.a) Deaktivacija dodatnih 30% unutarnjih sila iz gornjeg središnjeg dijela; b) Pomaci dz (mm);  
 c) Naprezanja u tlu  $\sigma_z$  (kPa); d) Plastične deformacije  $\epsilon_{pl}$  (%)

## 3.2.3.16. Šesnaesta faza analize primarne podgrade s vertikalnim iskopom

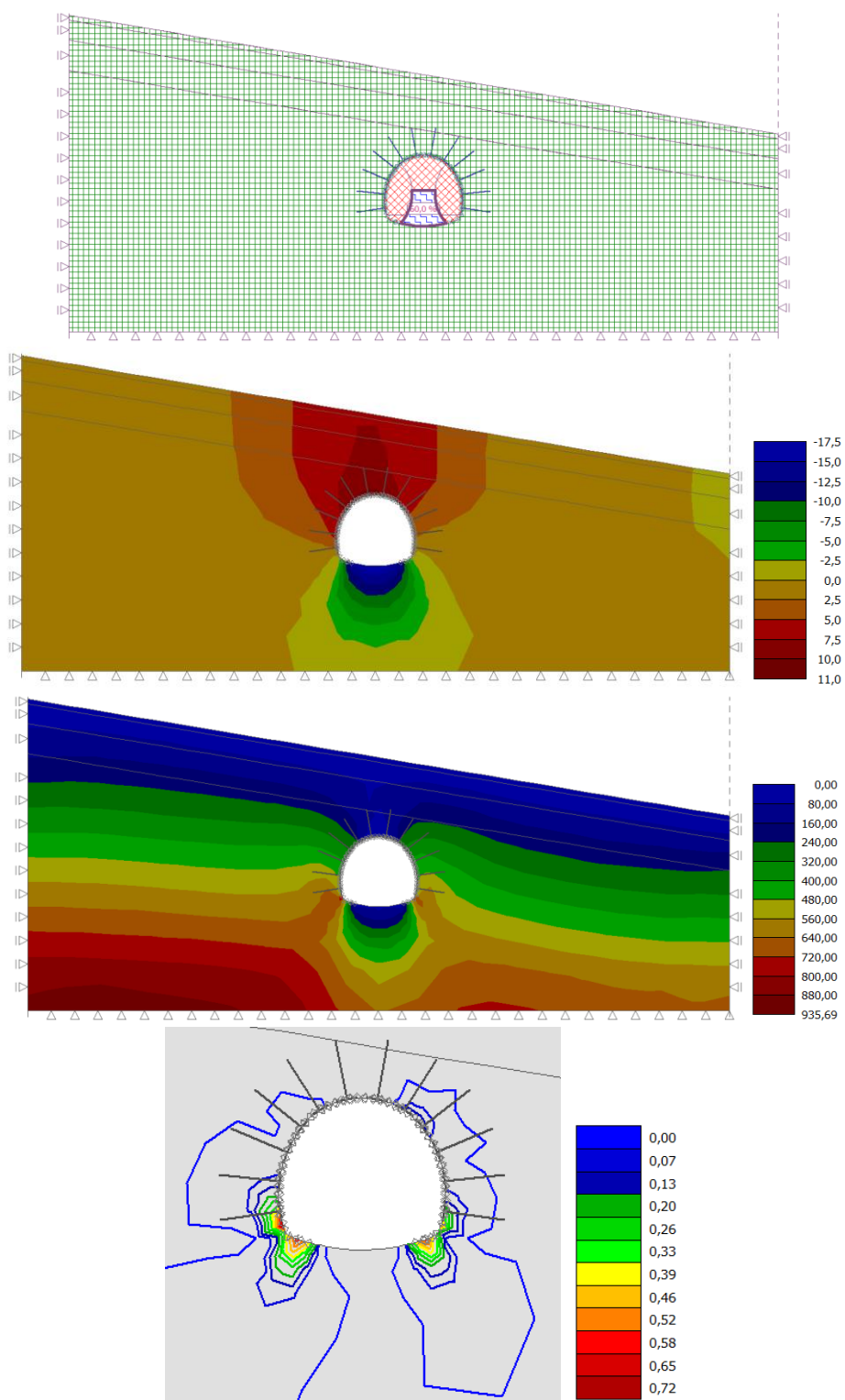
U šesnaestoj fazi se deaktivira preostalih 30% unutarašnjih sila iz gornjeg središnjeg dijela poprečnog presjeka te dolazi do očvršćavanja prskanog betona (porast modula elastičnosti i posmika). Uklanjammo prskani beton u debljini od 10 cm s donjeg središnjeg dijela.



Slika 73.a) Deaktivacija preostalih 30% unutarnjih sila iz gornjeg središnjeg dijela; b) Pomaci dz (mm); c) Naprezanja u tlu  $\sigma_z$  (kPa); d) Plastične deformacije  $\epsilon_{pl}$  (%)

### 3.2.3.17. Sedamnaesta faza analize primarne podgrade s vertikalnim iskopom

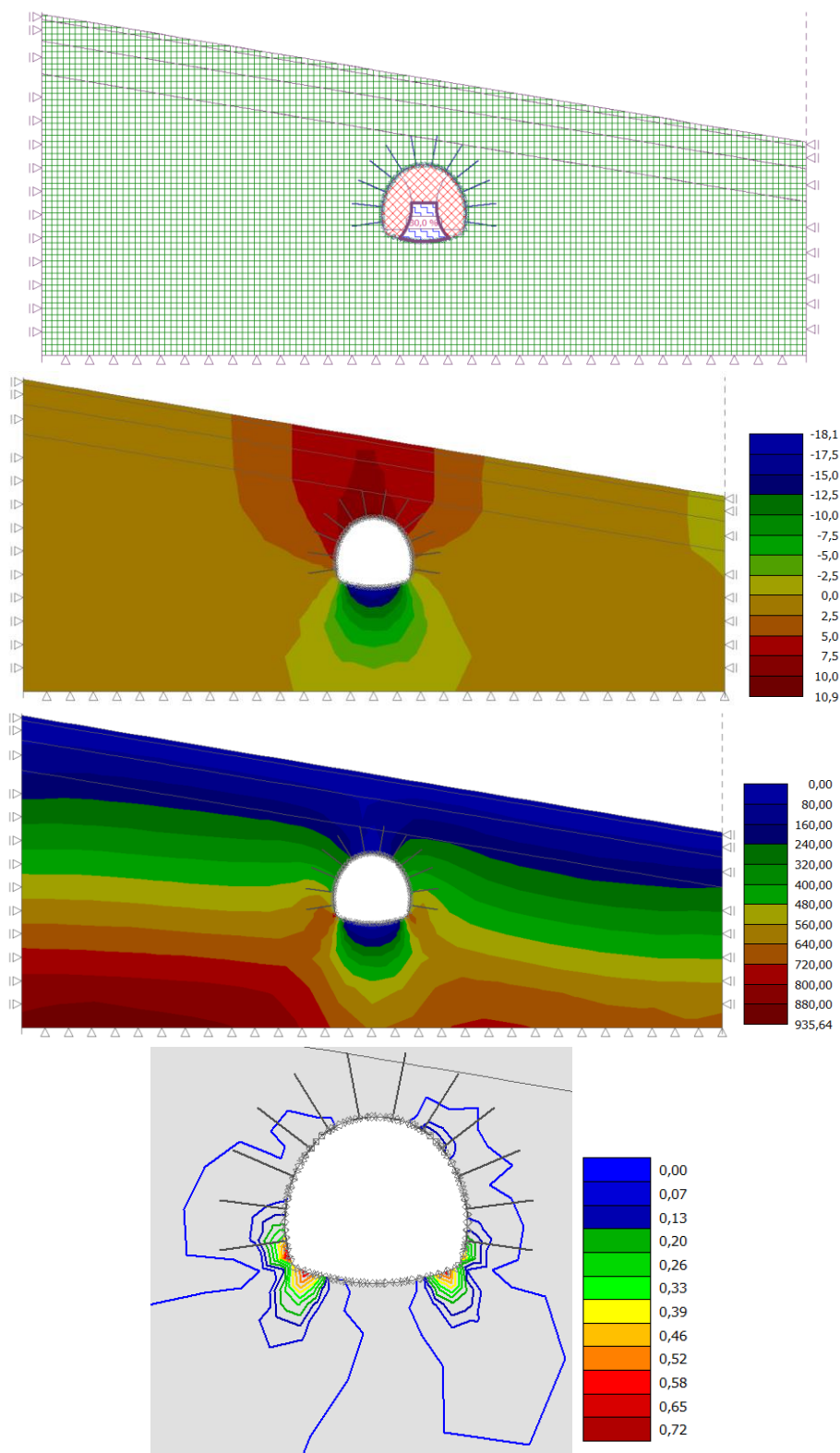
U sedamnaestoj fazi se nakon iskopa i podgrade gornjeg središnjeg dijela pristupa uklanjanju 40% unurašnjih sila iz donjeg središnjeg dijela poprečnog presjeka.



Slika 74.a)Deaktivacija 40% unutarnjih sila iz donjeg središnjeg dijela; b)Pomaci dz (mm);  
 c)Naprezanja u tlu  $\sigma_z$  (kPa); d)Plastične deformacije  $\epsilon_{pl}$  (%)

3.2.3.18. Osamnaesta faza analize primarne podgrade s vertikalnim iskopom

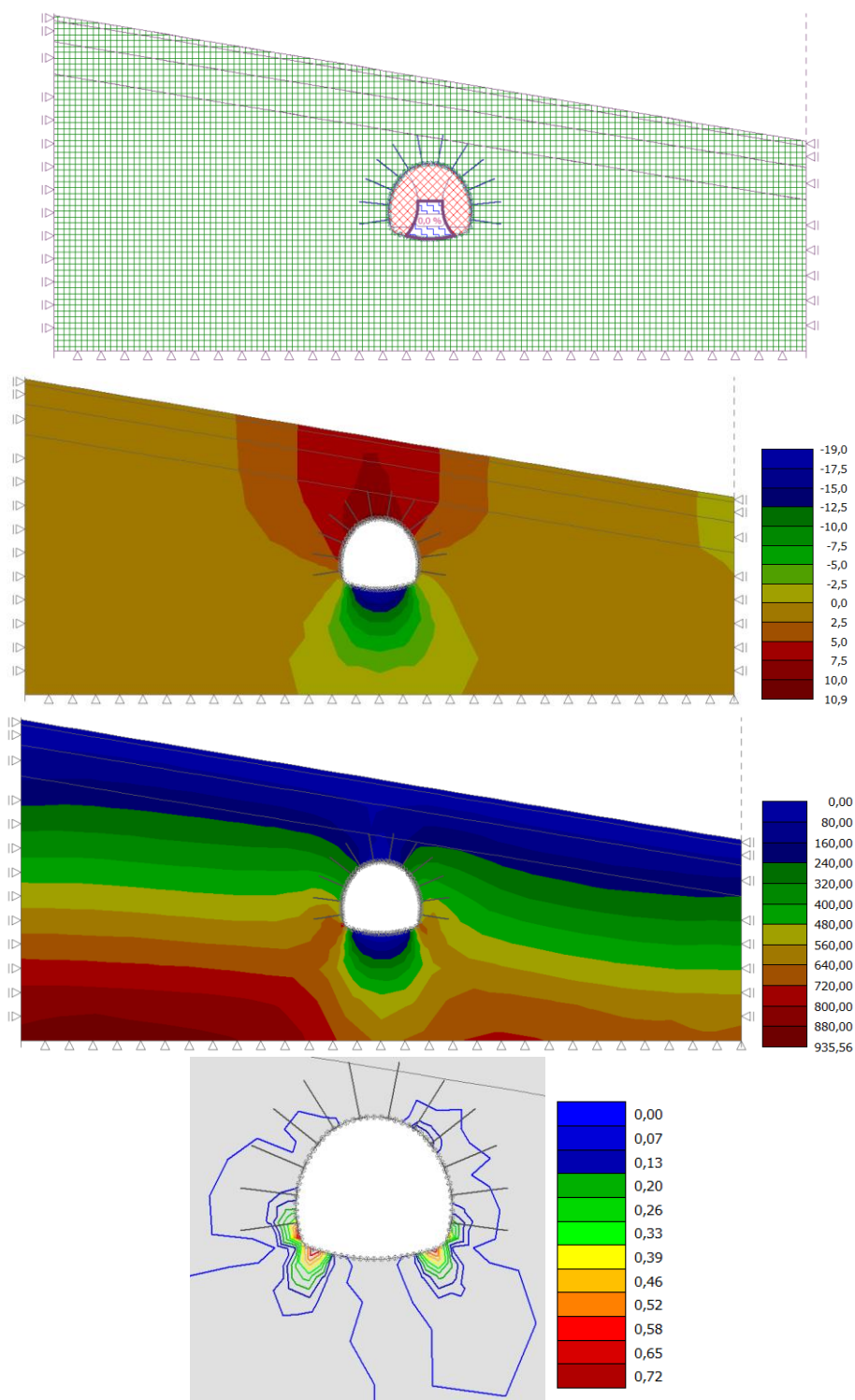
U osamnaestoj fazi se deaktivira dodatnih 30% unutrašnjih sila iz donjeg središnjeg dijela poprečnog presjeka te se nanosi svježi prskani beton u debljini od 30 cm.



Slika 75.a)Deaktivacija dodatnih 30% unutarnjih sila iz donjeg središnjeg dijela; b)Pomaci  $d_z$  (mm);  
c)Naprezanja u tlu  $\sigma_z$  (kPa); d)Plastične deformacije  $\epsilon_{pl}$  (%)

3.2.3.19. Devetnaesta faza analize primarne podgrade s vertikalnim iskopom

U posljednjoj fazi se deaktivira preostalih 30% unutarašnjih sila iz donjeg središnjeg dijela poprečnog presjeka te dolazi do očvršćavanja prskanog betona (porast modula elastičnosti i posmika).

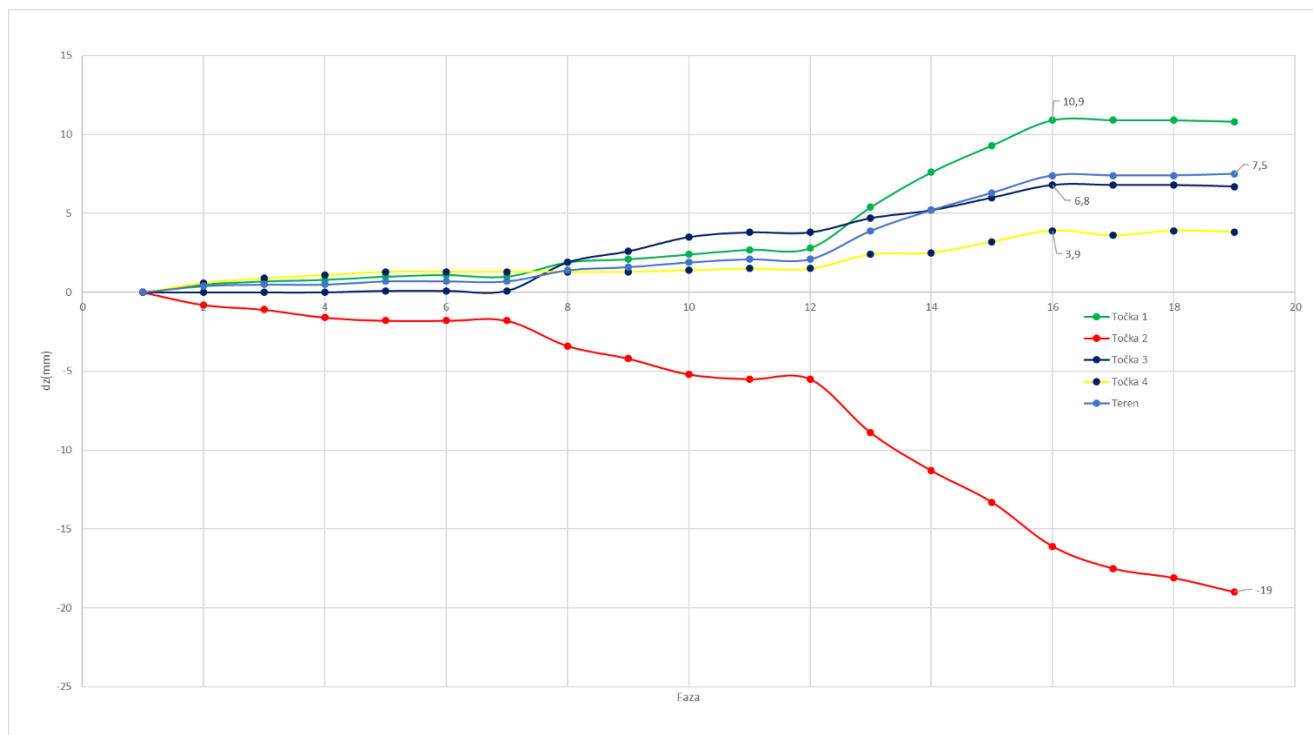


Slika 76.a)Deaktivacija preostalih 30% unutarnjih sila iz donjeg središnjeg dijela; b)Pomaci dz (mm); c)Naprezanja u tlu  $\sigma_z$  (kPa); d)Plastične deformacije  $\epsilon_{pl}$  (%)

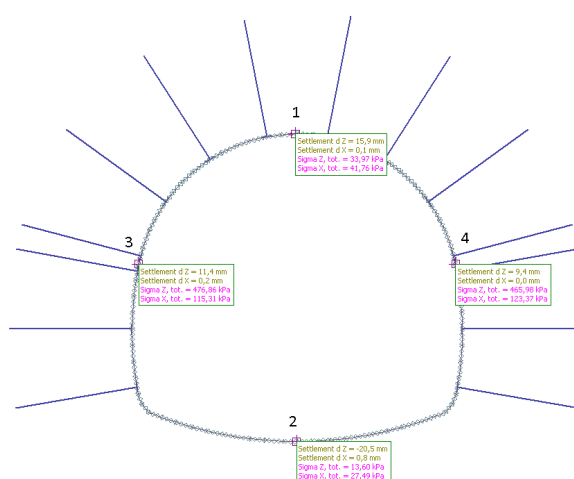


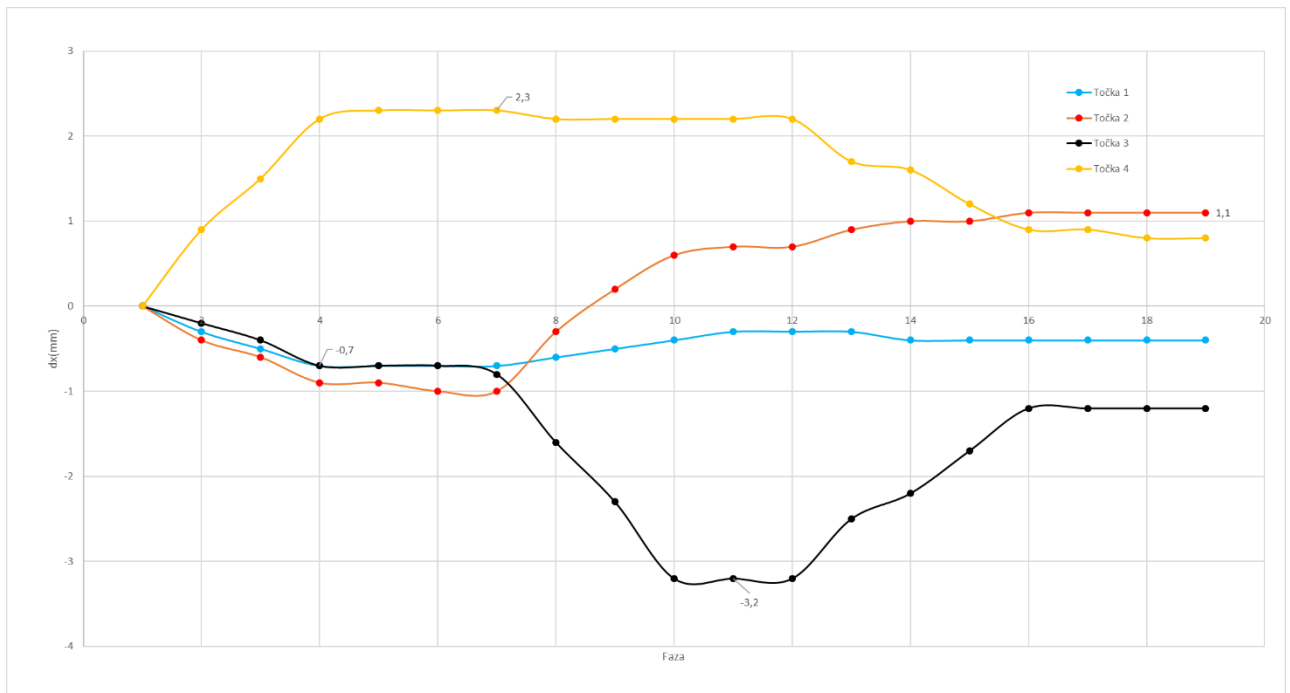
### 3.2.4. Prikaz rezultata konvergenijskih točaka u varijanti s vertikalnim iskopom

U nastavku ćemo prikazati pomake u smjeru x i z te naprezanja u smjeru x i z konvergenijskih točaka koje su postavljene unutar tunela te pomoću kojih smo pratili kretanje ovih značajnih veličina koje nam poslije mogu pomoći prilikom dimenzioniranja sekundarne obloge.

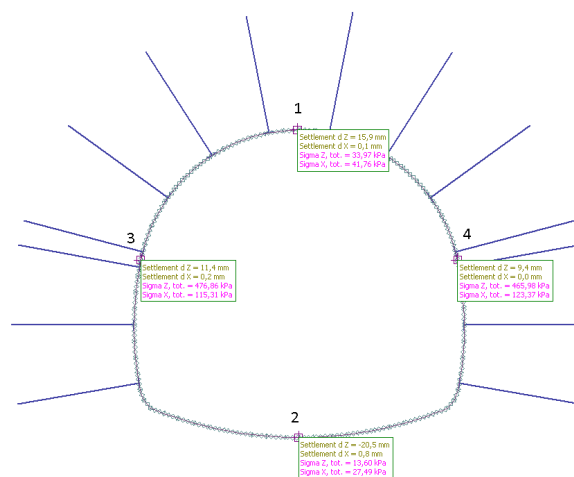


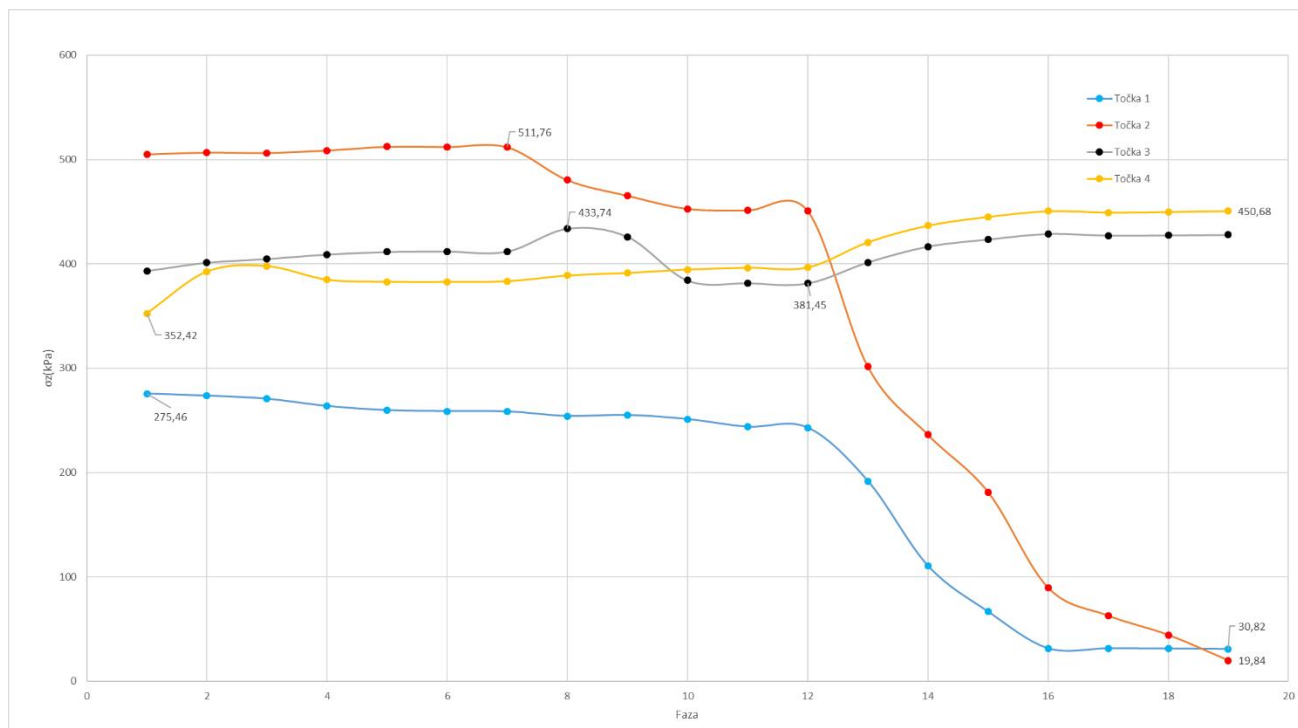
Slika 77. Pomaci konvergenijskih točaka po fazama dz (mm)



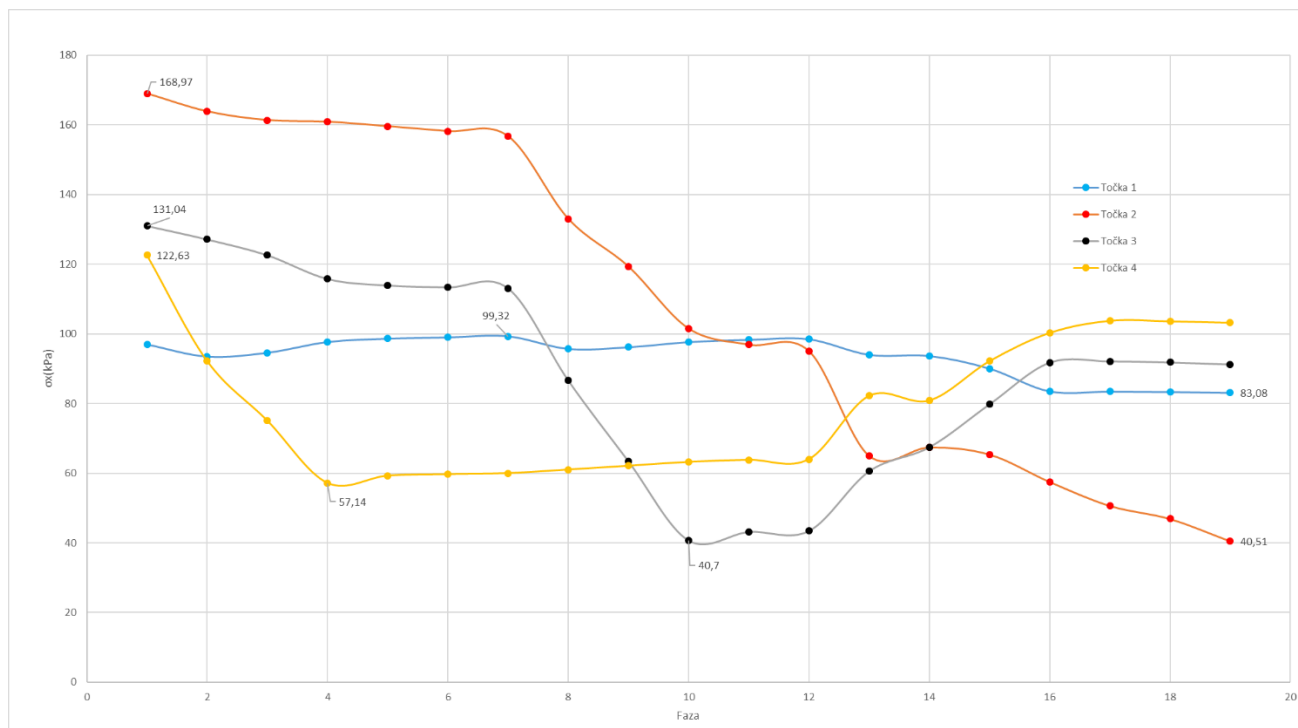


Slika 78. Pomaci konvergencijskih točaka po fazama dx (mm)





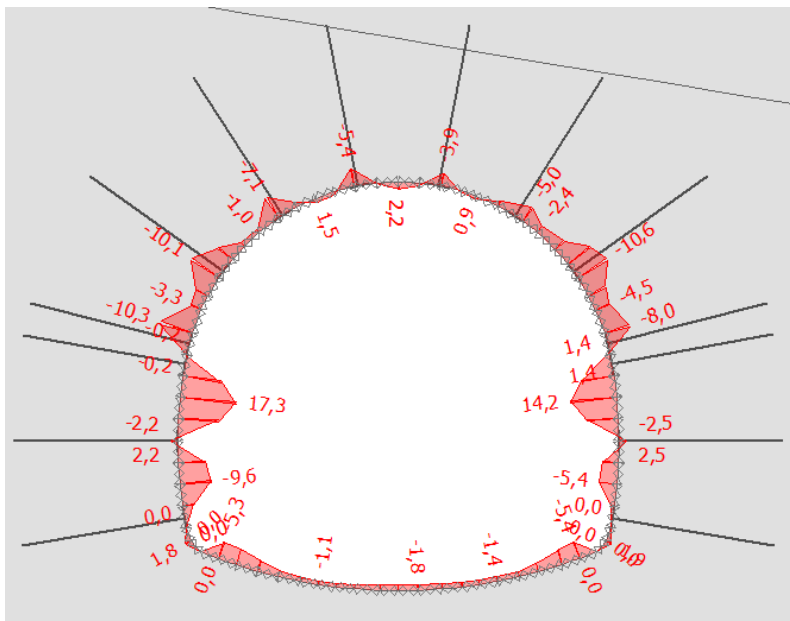
Slika 79. Naprezanja na konvergencijskim točkama po fazama  $\sigma_z$  (kPa)



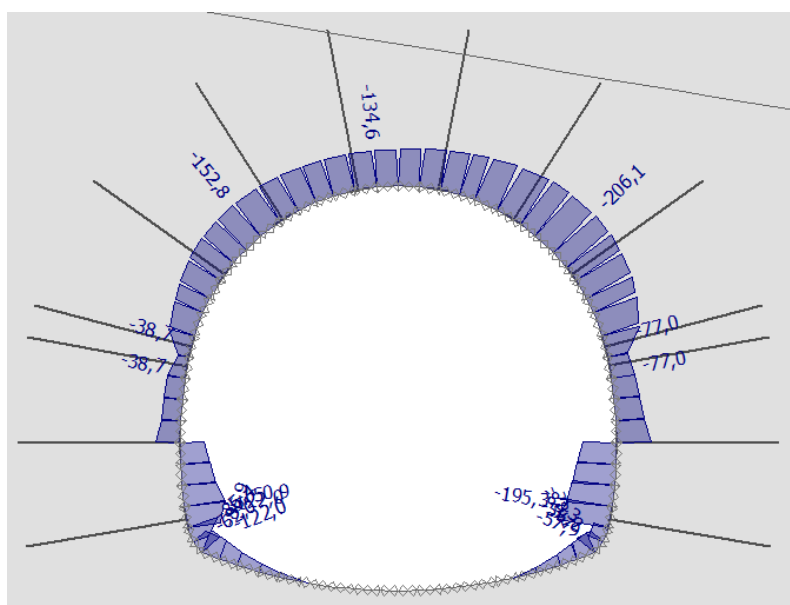
Slika 80. Naprezanja na konvergencijskim točkama po fazama  $\sigma_x$  (kPa)

### 3.3. Armatura primarne podgrade za slučaj horizontalnog i vertikalnog iskopa

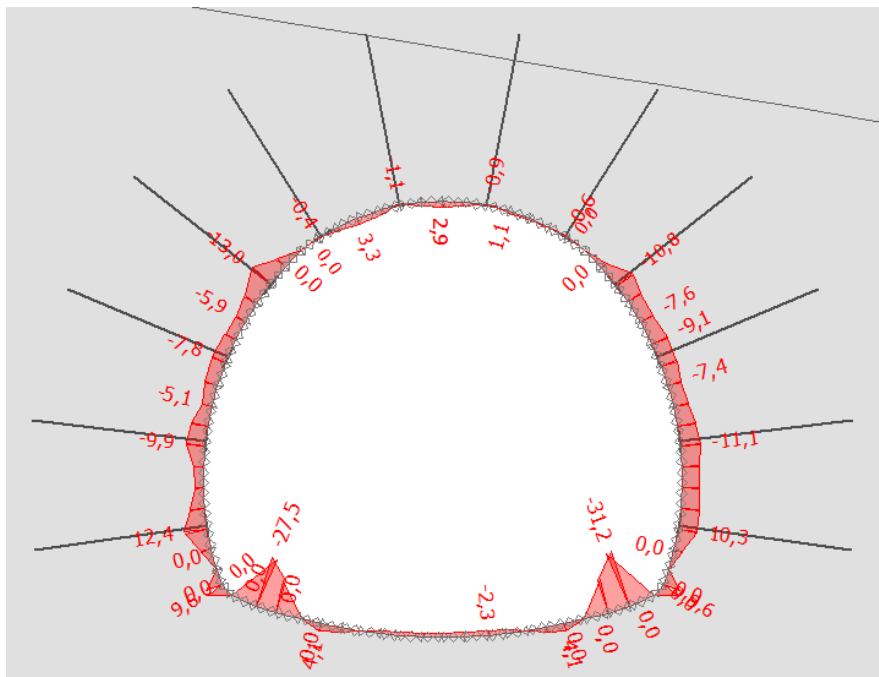
Kao što smo već naglasili primarna podgrada se simulirala kao pravokutna greda debljine 25 cm u svodu i po zidovima te 30 cm na dnu poprečnog presjeka. Armatura se može odrediti iz kombinacije dobivenih momenata te uzdužnih sila na promatranim gredama. Kako su po cijelom poprečnom presjeku dominantne uzdužne tlačne sile uz zanemarujuće momente, te pošto nemamo uzdužnih vlačnih sila možemo zaključiti da je sasvim dovoljna konstruktivna armatura za primarnu podgradu za oba slučaja iskopa.



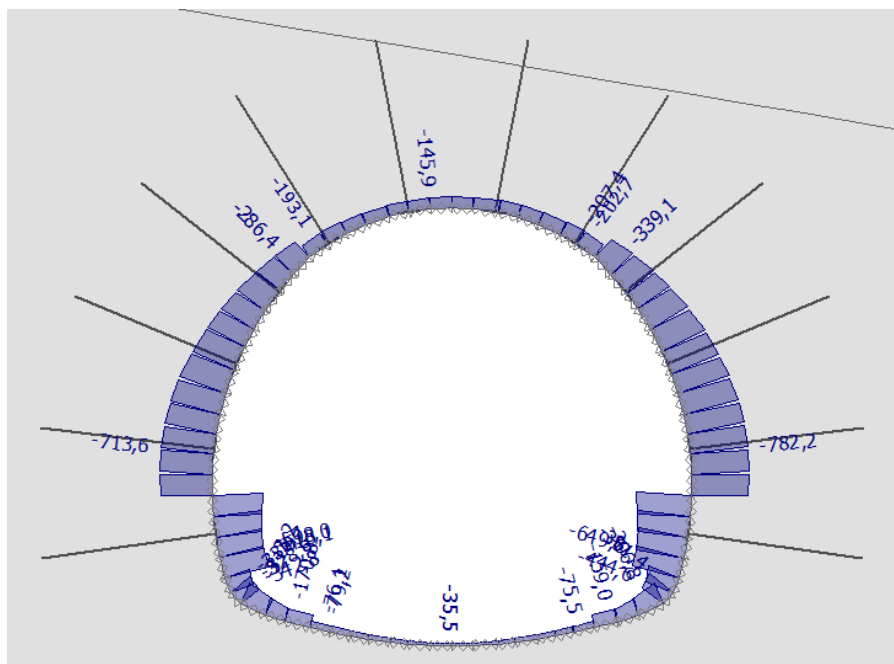
Slika 81. Momenti primarne podgrade za horizontalni iskop (kNm/m)



Slika 82. Uzdužne tlačne sile primarne podgrade za horizontalni iskop (kN/m)



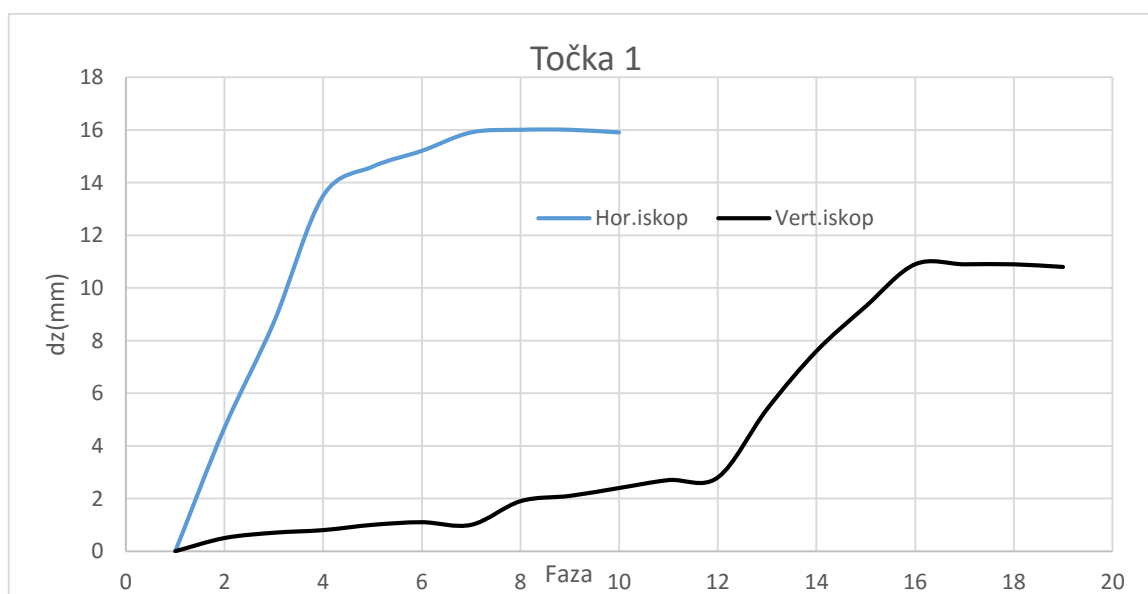
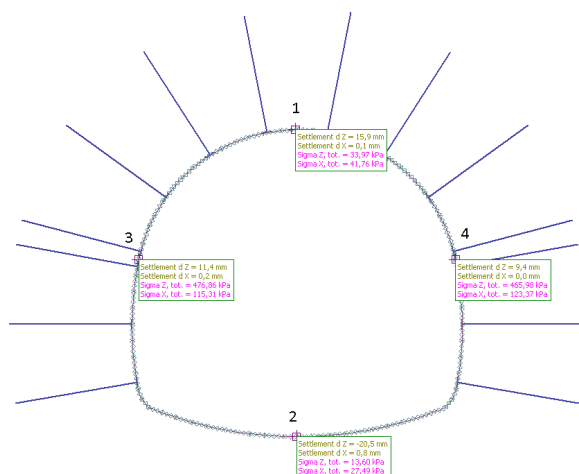
Slika 83. Momenti primarne podgrade za vertikalni iskop (kNm/m)



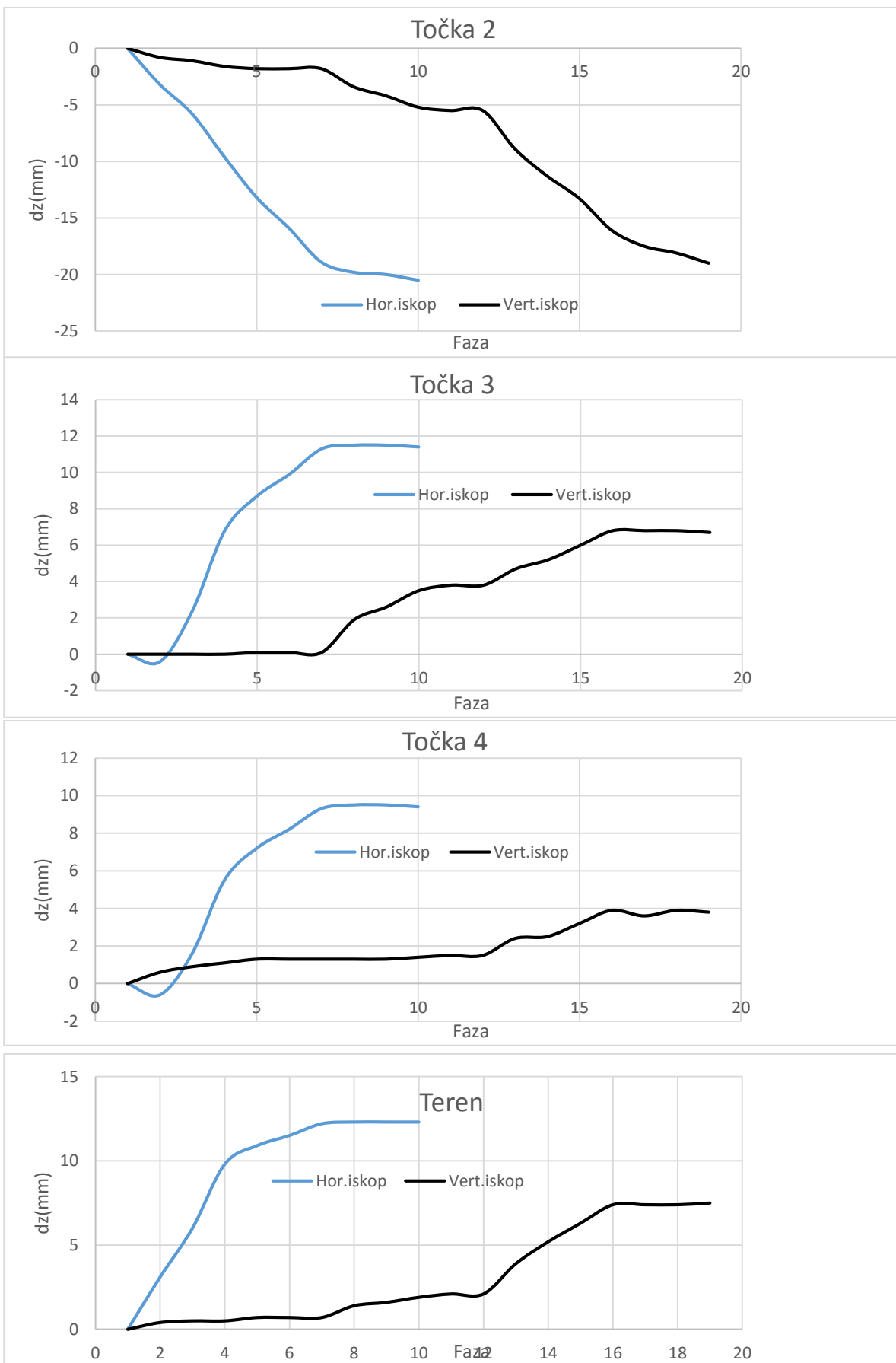
Slika 84. Uzdužne tlačne sile primarne podgrade za vertikalni iskop (kN/m)

### 3.4. Usporedba rezultata u konvergencijskim točkama između horizontalnog i vertikalnog načina iskopa

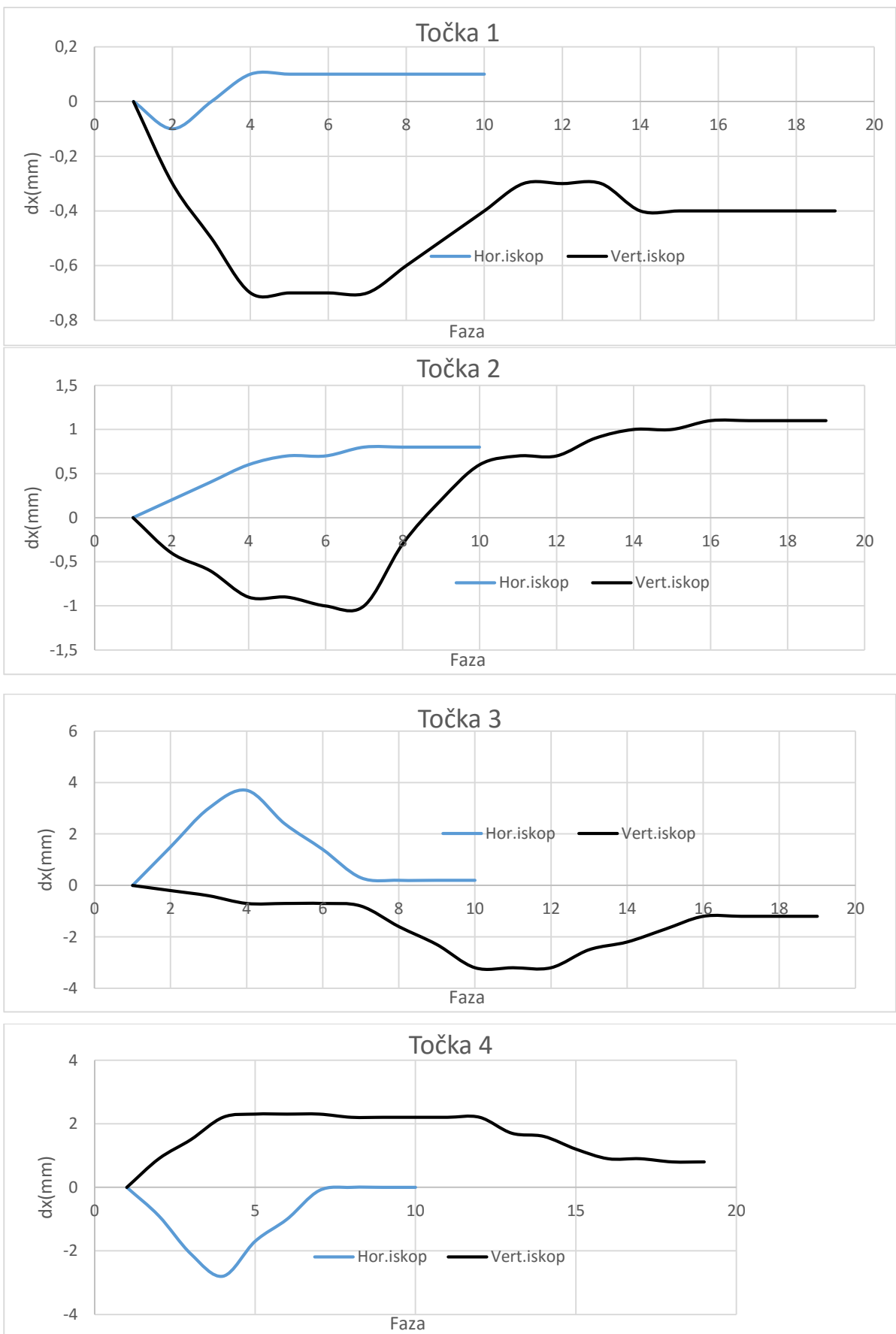
U nastavku ćemo prikazati usporedbu između pomaka u x i z smjeru te naprezanja u z smjeru u promatranim konvergencijskim točkama. Ti rezultati su nam pomogli u provjeri da li odabrana debljina primarne podgrade zadovoljava. Prema projektu je predviđeno nanošenje prskanog betona kvalitete C 30/37 u debljini od 25 cm po svodu i zidovima te u debljini od 30 cm po dnu poprečnog presjeka tunela. Kod simulacije horizontalnog iskopa imali smo 10 faza dok smo kod vertikalnog iskopa zbog složenije podjele poprečnog presjeka imali 19 faza izvedbe.



Slika 85. Usporedba pomaka točke 1 dz (mm)

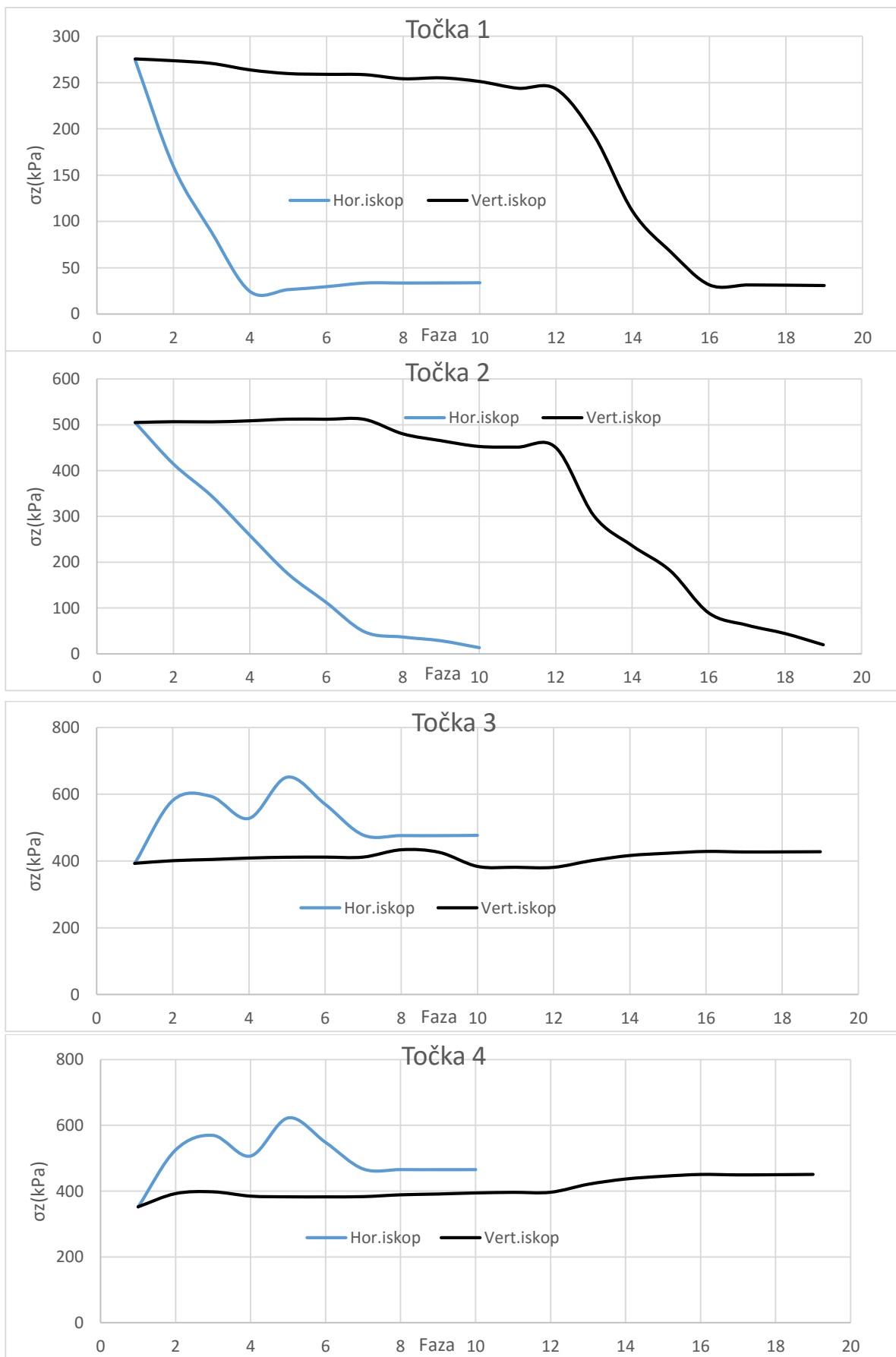


Slika 86. Usporedba pomaka točaka 2,3,4 i terena dz (mm)



Slika 87. Usporedba pomaka točkaka 1,2,3,4  $dx$  (mm)

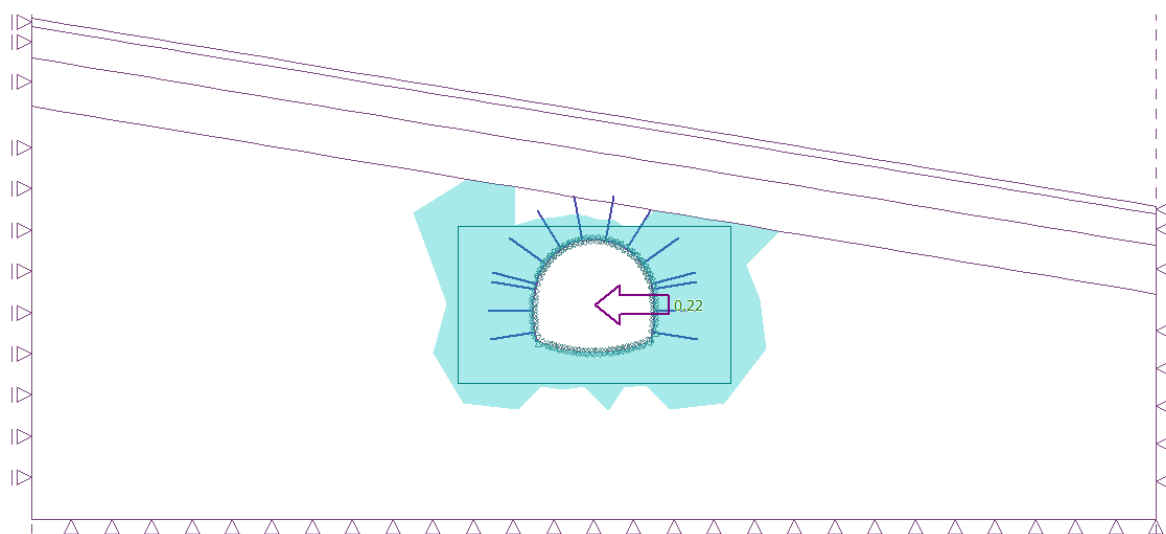




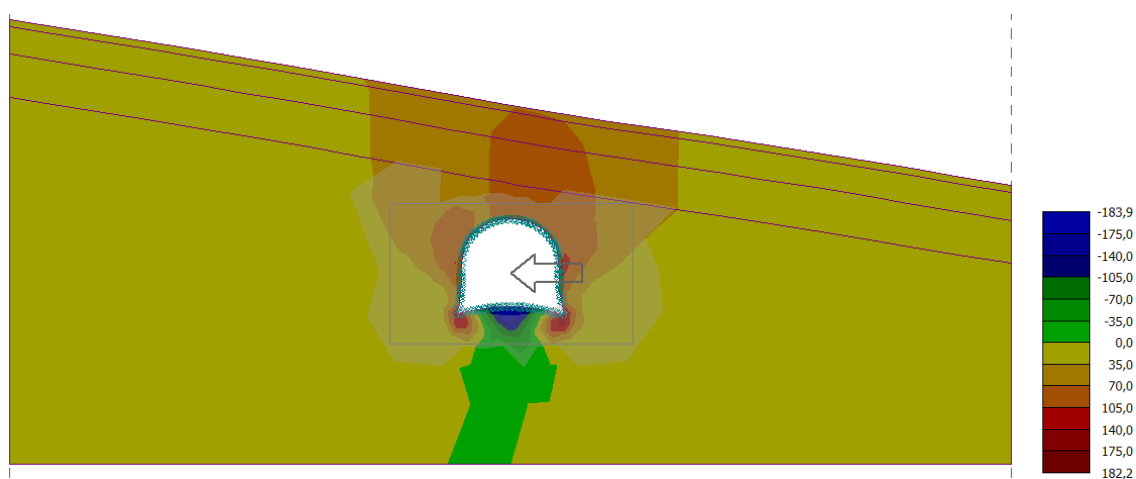
Slika 88. Usporedba naprezanja točaka 1,2,3,4  $\sigma_z$  (mm)

## 4. POTRESNO OPTEREĆENJE

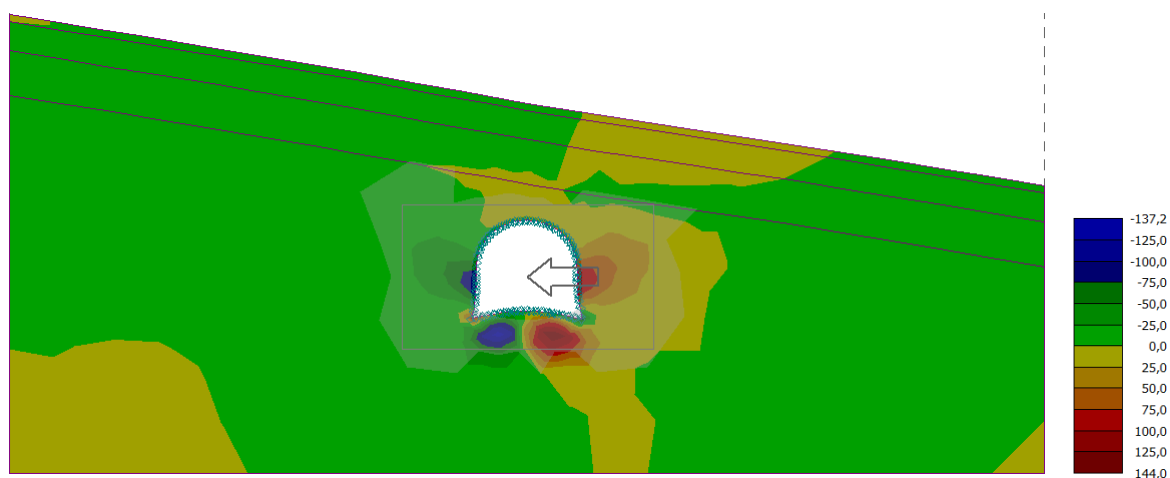
U nastavku ćemo prikazati rezultate simulacije potresa za određenu lokaciju tunela koji se nalazi na brznoj cesti Solin-Klis-Sinj (Državna cesta D-1), dionica Podi-Križice. Projektno ubrzanje smo uzeli da iznosi 0.22g te smo tu silu nanijeli u horizontalnom smjeru dok smo vertikalni smjer zanemarili. Potresnu analizu smo proveli jer se radi od dijelu tunela koji ima relativno mali nadsloj te se radi o stijenskoj masi izrazito slabe kvalitete (raspucali vapnenci). Prikazati ćemo pomake u smjeru x i z te razvoj plastičnih deformacija za projektno potresno opterećenje.



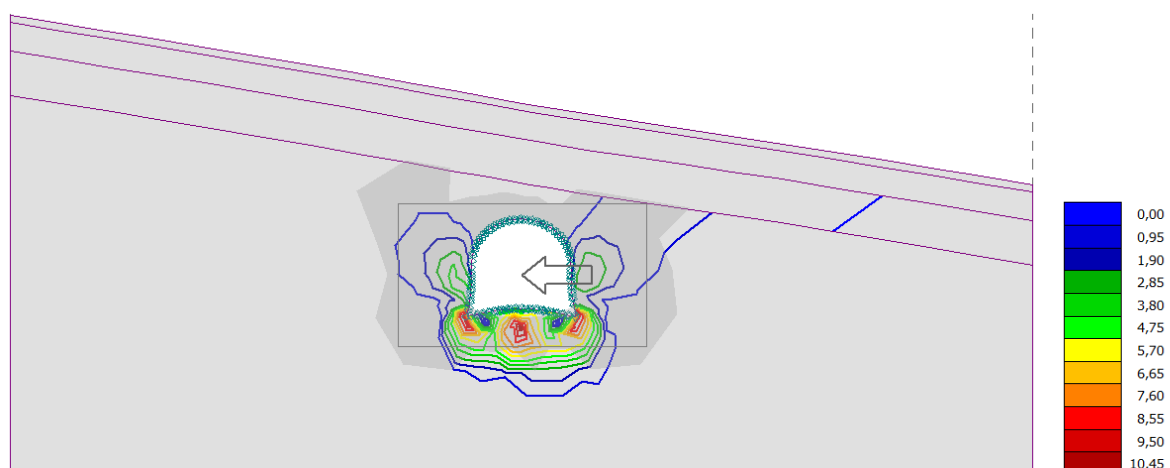
Slika 89. Potresno opterećenje



Slika 90. Deformirano stanje uslijed pomaka dz (mm)



Slika 91. Deformirano stanje uslijed pomaka dx (mm)

Slika 92. Plastične deformacije uslijed deformiranja  $\epsilon_{pl}$  (%)

U proračunu se koristi Newton-Raphson iterativna metoda u kojoj se reducira kohezija te kut unutarnjeg trenja dok se ne dosegne kritična vrijednost. Tada se na osnovu tih kritičnih vrijednosti dobije koeficijent sigurnosti za promatrani slučaj i ovdje je iznosio 4,13. To nam osigurava dovoljnu sigurnost da u slučaju ovog potresa ljudi imaju adekvatnu zalihu vremena da napuste potresom zahvaćeno područje.

## **5. GRAĐEVINSKI NACRTI**

list 5.1. Situacija

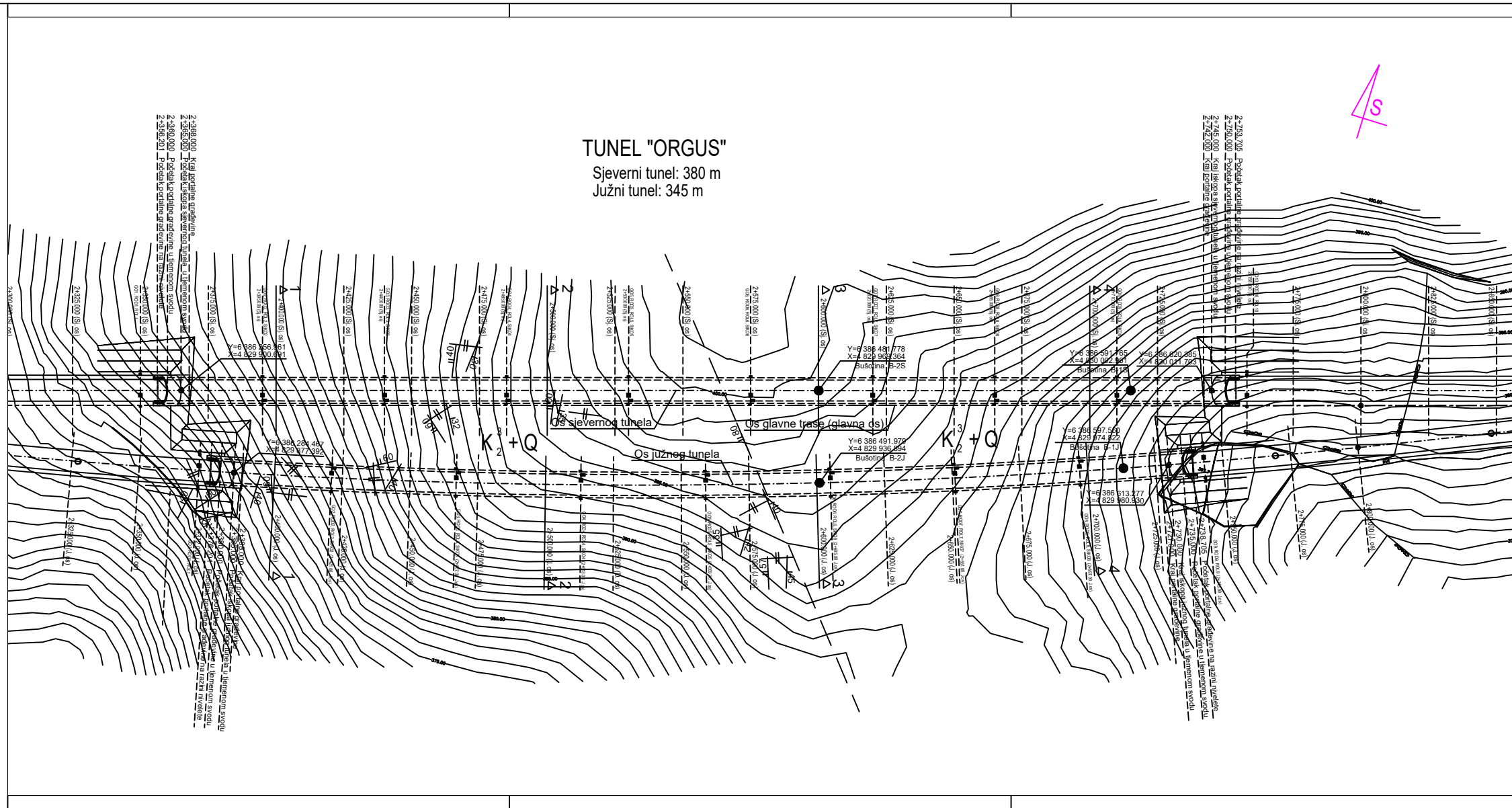
list 5.2. Prognozirani geotehnički uzdužni profil po osi sjevernog tunela

list 5.3. Normalni poprečni presjek sjevernog tunela s podnožnim svodom

list 5.4. Podgradni sustav tip 3 za III. kategoriju iskopa

list 5.5. Podgradni sustav tip 4 za IV. kategoriju iskopa

list 5.6. Podgradni sustav tip 5 za V. kategoriju iskopa



**TUNEL "ORGUS"**  
 Sjeverni tunel: 380 m  
 Južni tunel: 345 m

**TUNEL "ORGUS"**

SITUACIJA

Mj. 1:1000

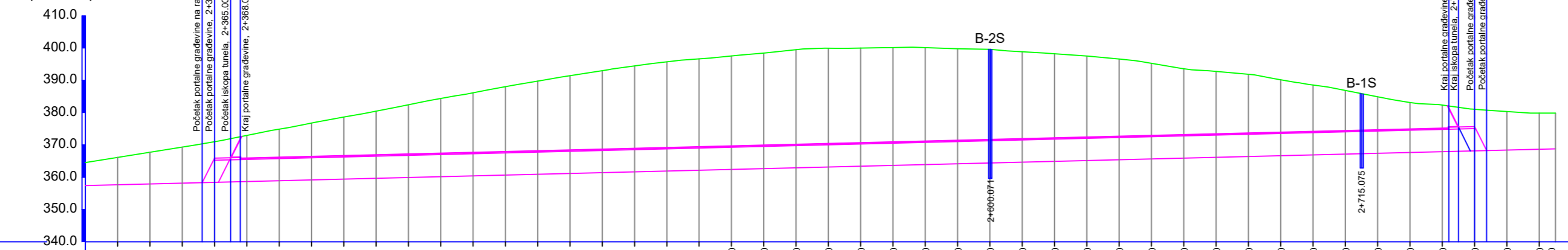


SVEUČILIŠTE U SPLITU  
 FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE  
 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

**DIPLOMSKI RAD**

|          |                                               |          |               |
|----------|-----------------------------------------------|----------|---------------|
| Tema:    | Analiza primarne podgrade tunela Orgus-sjever |          |               |
| Sadržaj: | Situacija                                     |          |               |
| Student: | Davor Bušić                                   | Mjerilo: | Broj priloga: |
| Datum:   | rujan, 2017.                                  | 1:1000   | 5.1.          |

z (m n.m.)



| STACIONAŽA                                                                                         | 2+300.000                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 2+320.000      | 2+340.000      | 2+360.000      | 2+380.000       | 2+400.000      | 2+420.000      | 2+440.000      | 2+460.000      | 2+480.000       | 2+500.000      | 2+520.000      | 2+540.000      | 2+560.000       | 2+580.000      | 2+600.000      | 2+620.000      | 2+640.000       | 2+660.000      | 2+680.000      | 2+700.000      | 2+720.000       | 2+740.000      | 2+760.000      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|
| KOTA TERENA                                                                                        | 357.865                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 358.12         | 358.38         | 358.64         | 358.90          | 359.16         | 359.42         | 359.68         | 359.94         | 360.20          | 360.46         | 360.72         | 360.98         | 361.24          | 361.50         | 361.76         | 362.02         | 362.28          | 362.54         | 362.80         | 363.06         | 363.32          | 363.58         | 363.84         |
| KOTA DNA TUNELA (NIVELETA)                                                                         | 357.865                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 358.12         | 358.38         | 358.64         | 358.90          | 359.16         | 359.42         | 359.68         | 359.94         | 360.20          | 360.46         | 360.72         | 360.98         | 361.24          | 361.50         | 361.76         | 362.02         | 362.28          | 362.54         | 362.80         | 363.06         | 363.32          | 363.58         | 363.84         |
| LITOLOŠKI SASTAV                                                                                   | GORNJO KREDNI VAPNENCI SVIJETLOSIVE DO BIJELE BOJE S PROSLJOCIMA DOLOMITIZIRANIH VAPNENACA SVIJETLO SIVE BOJE VAPNENAČKE NASLAGE SU UGLAVNOM MASIVNE SA SLABO IZRAZENOM SLOJEVITOŠĆU. STIJENSKA MASA JE UGLAVNOM SLABIJH FIZIKALNO-MEHANIČKIH KARAKTERISTIKA, S MJESTIMIČNIM KOMPAKTNIJIM I ČVRŠĆIM ZONAMA. ZONE BOLJIH FIZIKALNO-MEHANIČKIH KARAKTERISTIKA UTVRĐENE SU NA DIONICAMA: 2+474.00-2+494.00, 2+584.00-2+623.00, 2+676.00-2+710.00. |                |                |                |                 |                |                |                |                |                 |                |                |                |                 |                |                |                |                 |                |                |                |                 |                |                |
| STRATIGRAFSKA PRIPADNOST                                                                           | GORNJA KREDA (K <sub>2</sub> ) - SENON                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                |                |                |                 |                |                |                |                |                 |                |                |                |                 |                |                |                |                 |                |                |                |                 |                |                |
| GENETSKA INŽ. GEOLOŠKA KLASIFIKACIJA                                                               | VEZANE STIJENE: SEDIMENTNE KARBONATNE STIJENE VARIJABILNE PO SEDIMENTOLOŠKIM OSOBINAMA, TEKSTURI I STUPNJU OKRŠENOSTI.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                |                |                |                 |                |                |                |                |                 |                |                |                |                 |                |                |                |                 |                |                |                |                 |                |                |
| HIDROGEOLOŠKE KARAKTERISTIKE                                                                       | NASLAGE S PUKOTINSKOM I KAVERNOZNOJ POROZNOŠĆU. OČEKUJU SE POJAVE VLAŽENJA I KONCENTRIRANIH PROCJEDIVANJA VODE ZA VRIJEME KIŠNIH RAZDOBLJA, NAROČITO PRI PORTALNIM DIJELOVIMA TUNELA.                                                                                                                                                                                                                                                          |                |                |                |                 |                |                |                |                |                 |                |                |                |                 |                |                |                |                 |                |                |                |                 |                |                |
| REZULTATI GEOFIZIČKIH ISTRAŽIVANJA "IN SITU"<br>$v_p/v_s/\mu_{dyn}$                                | 1500/702/0.370                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 2000/873/0.370 | 1500/655/0.370 | 2000/873/0.370 | 2500/1092/0.313 | 2000/873/0.370 | 1500/655/0.370 | 2000/873/0.370 | 1500/655/0.370 | 2500/1092/0.313 | 2000/873/0.370 | 1500/655/0.370 | 2000/873/0.370 | 2500/1092/0.313 | 2000/873/0.370 | 1500/655/0.370 | 2000/873/0.370 | 2500/1092/0.313 | 2000/873/0.370 | 1500/655/0.370 | 2000/873/0.370 | 2500/1092/0.313 | 2000/873/0.370 | 1500/655/0.370 |
| DINAMIČKI MODUL ELASTIČNOSTI E <sub>dyn</sub> (MPa)                                                | 3352                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 5959           | 3352           | 5959           | 11928           | 3352           | 5959           | 11928          | 3352           | 5959            | 11928          | 3352           | 5959           | 11928           | 3352           | 5959           | 11928          | 3352            | 5959           | 11928          | 3352           | 5959            | 11928          | 3352           |
| STATIČKI MODUL ELASTIČNOSTI E <sub>stat</sub> (MPa)                                                | 653                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 1191           | 653            | 1191           | 2536            | 653            | 1191           | 2536           | 653            | 1191            | 2536           | 653            | 1191           | 2536            | 653            | 1191           | 2536           | 653             | 1191           | 2536           | 653            | 1191            | 2536           | 653            |
| STATIČKI MODUL DEFORMACIJE D <sub>stat</sub> (MPa)                                                 | 206                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 420            | 206            | 420            | 1032            | 206            | 420            | 1032           | 206            | 420             | 1032           | 206            | 420            | 1032            | 206            | 420            | 1032           | 206             | 420            | 1032           | 206            | 420             | 1032           | 206            |
| LABORATORIJSKA ISPITIVANJA: $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> ), c (MPa), $\phi$ (°), $\sigma_c/E/D$ (MPa) | dubina 20.0-20.15 m $v_p = 3681 \text{ m/s}$ $\mu_{dyn} = 0.32$ $E_{dyn} = 24.46 \text{ (GPa)}$ $v_s = 1878 \text{ m/s}$ $\rho = 2620 \text{ (kg/m}^3)$ $\sigma_c = 77.10 \text{ (MPa)}$ dubina 8.5-8.6 m $v_p = 5795 \text{ m/s}$ $\mu_{dyn} = 0.32$ $E_{dyn} = 53.73 \text{ (GPa)}$ $v_s = 2704 \text{ m/s}$ $\rho = 2700 \text{ (kg/m}^3)$ $\sigma_c = 141.59 \text{ (MPa)}$                                                                |                |                |                |                 |                |                |                |                |                 |                |                |                |                 |                |                |                |                 |                |                |                |                 |                |                |
| KATEGORIJA PO RMR SUSTAVU                                                                          | V.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | IV             | V.             | IV.            | III.            | IV             | V.             | IV.            | V.             | III.            | IV.            | V.             | IV.            | III.            | IV.            | V.             | III.           | IV.             | V.             | III.           | IV.            | V.              | IV.            | V.             |
| KVALITETA STIJENSKE MASE Q I KATEGORIJA PODGRADE PO Q-SUSTAVU                                      | TIP 5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | TIP 4          | TIP 5          | TIP 4          | TIP 3           | TIP 4          | TIP 5          | TIP 4          | TIP 5          | TIP 3           | TIP 4          | TIP 5          | TIP 4          | TIP 3           | TIP 4          | TIP 5          | TIP 3          | TIP 4           | TIP 5          | TIP 3          | TIP 4          | TIP 5           | TIP 4          | TIP 5          |
| ODABRANI TIP PODGRADNOG SUSTAVA                                                                    | TIP 5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | TIP 4          | TIP 5          | TIP 4          | TIP 3           | TIP 4          | TIP 5          | TIP 4          | TIP 5          | TIP 3           | TIP 4          | TIP 5          | TIP 4          | TIP 3           | TIP 4          | TIP 5          | TIP 3          | TIP 4           | TIP 5          | TIP 3          | TIP 4          | TIP 5           | TIP 4          | TIP 5          |

TUNEL "ORGUS"

PROGNOZNI GEOTEHNIČKI UZDUŽNI PROFIL PO OSI SJEVERNOG TUNELA – LIJEVA TUNELSKA OS

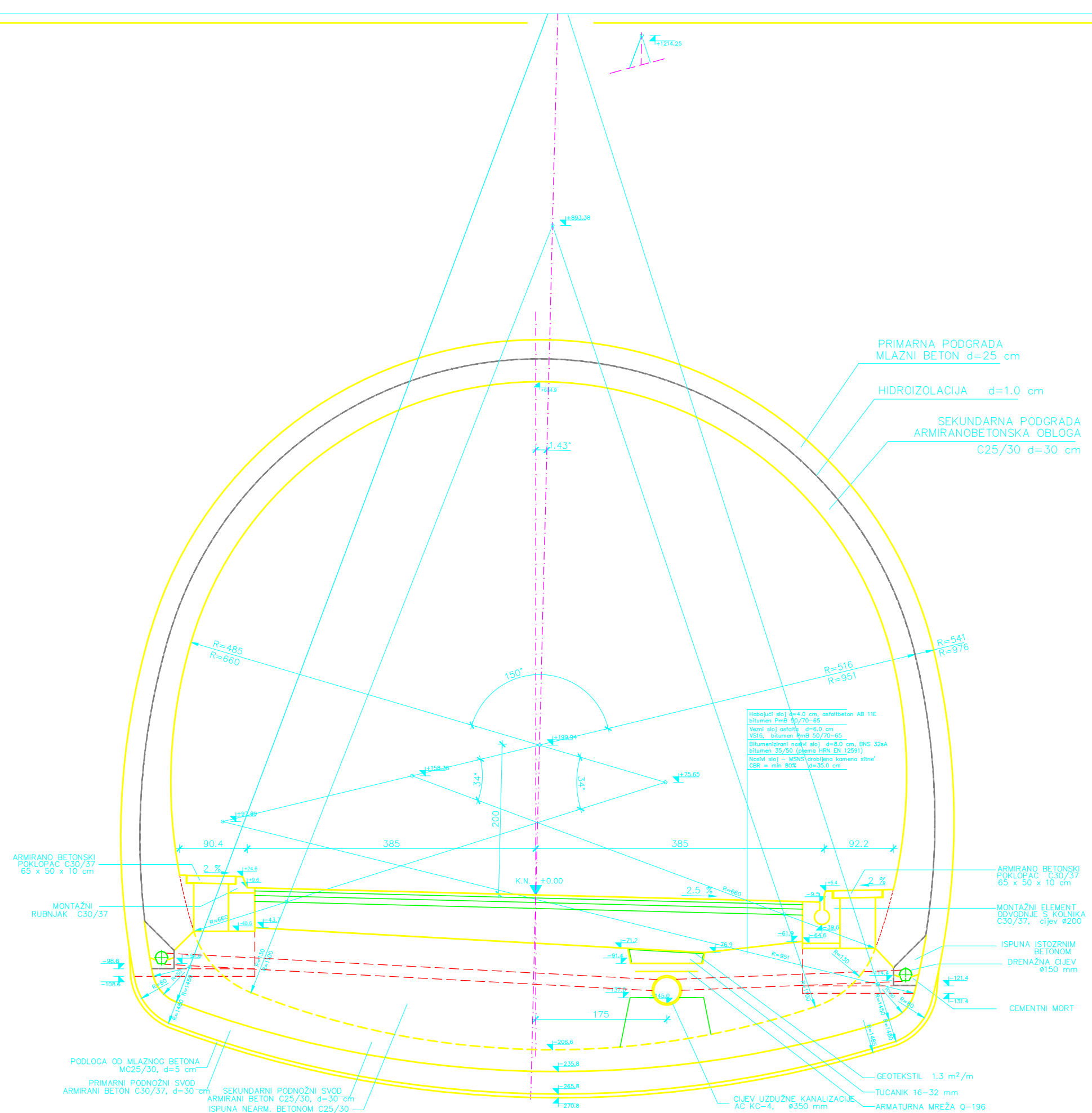
Mj: 1:1000



SVEUČILIŠTE U SPLITU  
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE  
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

DIPLOMSKI RAD

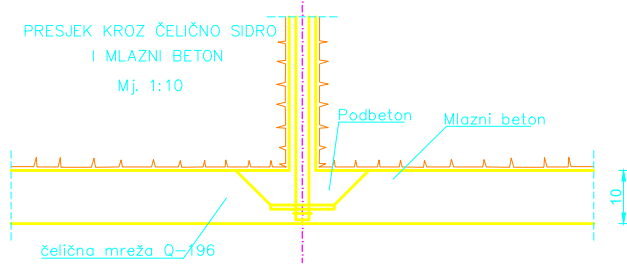
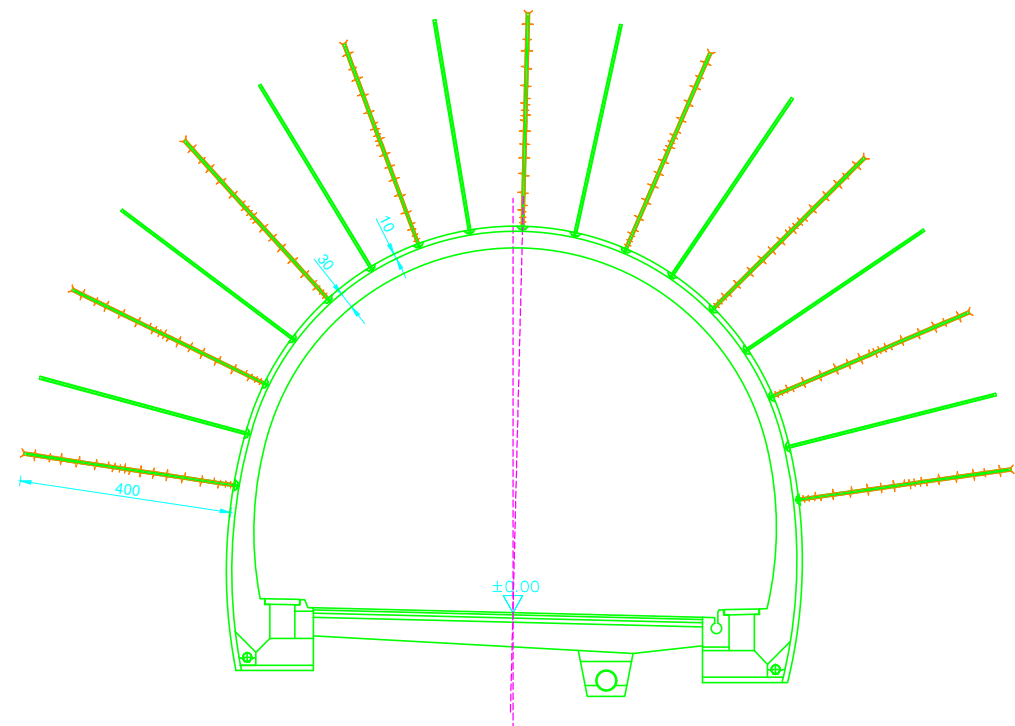
|          |                                                                  |          |               |
|----------|------------------------------------------------------------------|----------|---------------|
| Tema:    | Analiza primarne podgrade tunela Orgus-sjever                    |          |               |
| Sadržaj: | Prognoziranje geotehnički uzdužni profil po osi sjevernog tunela |          |               |
| Student: | Davor Bušić                                                      | Mjerilo: | Broj priloga: |
| Datum:   | rujan, 2017.                                                     | 1:1000   | 5.2.          |



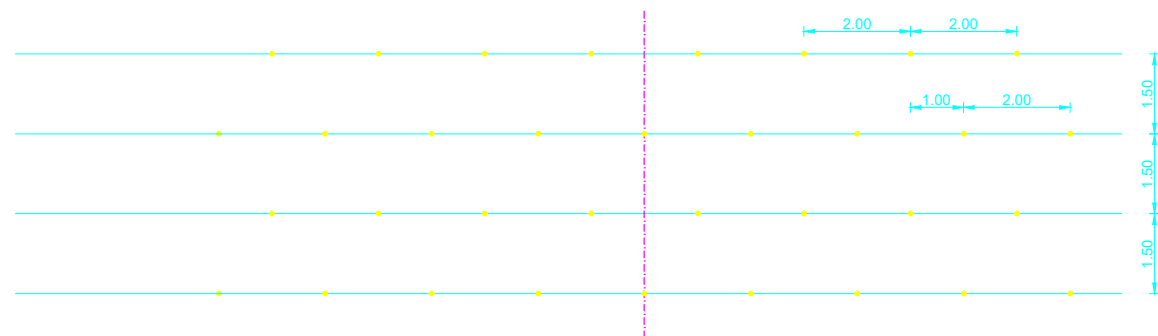
**TUNEL "ORGUS"**  
 NORMALNI POPREČNI PRESJEK SJEVERNOG TUNELA  
 S PODNOŽNIM SVODOM  
 Mj. 1:25

|                                                                                                                                                                                                      |                                                               |          |               |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|----------|---------------|
| <br>SVEUČILIŠTE U SPLITU<br>FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE<br>21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 |                                                               |          |               |
| <b>DIPLOMSKI RAD</b>                                                                                                                                                                                 |                                                               |          |               |
| Tema:                                                                                                                                                                                                | Analiza primarne podgrade tunela Orgus-sjever                 |          |               |
| Sadržaj:                                                                                                                                                                                             | Normalni poprečni presjek sjevernog tunela s podnožnim svodom |          |               |
| Student:                                                                                                                                                                                             | Davor Bušić                                                   | Mjerilo: | Broj priloga: |
| Datum:                                                                                                                                                                                               | rujan, 2017.                                                  | 1:25     | 5.3.          |

## ISKAZ KOLIČINA



RAZVIJENI POPREČNI PRESJEK  
Mj. 1:100



|                                                                                                                                                                   |                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| VOLUMEN ISKOPA TUNELA                                                                                                                                             | 74.95 m <sup>3</sup> /m' |
| VOLUMEN ISKOPA ZA KANALIZACIJSKU CIJEV                                                                                                                            | 0.55 m <sup>3</sup> /m'  |
| POVRŠINA MLAZNOG BETONA U PRIMARNOJ BETONSKOJ OBLOZI MC30/37, d=10 cm                                                                                             | 22.95 m <sup>2</sup> /m' |
| SEKUNDARNA BETONSKA OBLOGA BEZ TEMELJA C25/30, d=30 cm                                                                                                            | 7.35 m <sup>3</sup> /m'  |
| TEMELJI SEKUNDARNE BETONSKE OBLIGE SA KANALIMA, C25/30                                                                                                            | 1.31 m <sup>3</sup> /m'  |
| PODBETON TEMELJA SEKUNDARNE BETONSKE OBLIGE, C25/30                                                                                                               | 0.29 m <sup>3</sup> /m'  |
| ISPUNA BETONOM C16/20 ISPOD GLAVNE ODVODNE CIJEVI                                                                                                                 | 0.13 m <sup>3</sup> /m'  |
| ISPUNA BETONOM C25/30 OKO GLAVNE ODVODNE CIJEVI                                                                                                                   | 0.31 m <sup>3</sup> /m'  |
| ZAPUNA TUCANIKOM IZNAD GLAVNE ODVODNE CIJEVI                                                                                                                      | 0.18 m <sup>3</sup> /m'  |
| GEOTEKSTIL                                                                                                                                                        | 1.3 m <sup>2</sup> /m'   |
| ČELIČNA MREŽA Q-196, žica d=5 mm, okna 100*100 mm, preklop min. 40 cm za armiranje betona iznad cijevi uzdužne kanalizacije, 3.07 kg/m <sup>2</sup>               | 3.8 kg/m'                |
| ČELIČNA MREŽA Q-196, žica d=5 mm, okna 100*100 mm, preklop min. 30 cm za armiranje mlaznog betona, 3.07 kg/m <sup>2</sup> . 22.95 m <sup>2</sup> /m' tunela.      | 70.5 kg/m'               |
| ČELIČNA MREŽA R-335, žica d=8 mm, okna 150*150 mm, preklop min. 40 cm za armiranje sek. betonske obloge, 3.63 kg/m <sup>2</sup> . 22.2 m <sup>2</sup> /m' tunela. | 80.6 kg/m'               |
| ŠIPKE REBRASTOG ČELIKA Ø19 mm, RA 400/500 ZA UKRUĆENJE MREŽE R-335, 2.288 kg/m' ŠIPKE. 1 ŠIPKA NA 1 m'.                                                           | 53.0 kg/m'               |
| ŠIPKE Ø19 mm, RA 400/500, S PAPUČICOM, ZA FIKSIRANJE ŠIPKI SEKUNDARNE BET. OBLIGE, 2.288 kg/m' ŠIPKE. l=50 cm, 4 kom/m                                            | 4.6 kg/m'                |
| ŠIPKE 3Ø16 ZA UZDUŽNO UKRUĆENJE ARMATURE SEKUNDARNE BETONSKE OBLIGE, 1.621 kg/m' ŠIPKE. 3 kom/profil                                                              | 4.9 kg/m'                |
| ARMATURA ZA ARMIRANJE TEMELJA I KANALA, RA 400/500 PRETPOSTAVLJA SE 120 kg/m <sup>3</sup> (uključena sidra sekundarne obloge)                                     | 160.00 kg/m'             |
| ADHEZIJSKA ČELIČNA SIDRA PROMJERA 25 mm DUŽINE 4 m, RA 400/500                                                                                                    | 5.67 kom/m'              |
| HIDROIZOLACIJA                                                                                                                                                    | 23.30 m <sup>2</sup> /m' |

## TUNEL "ORGUS"

PODGRADNI SUSTAV TIP 3  
ZA III. KATEGORIJU ISKOPA

Mj. 1:100

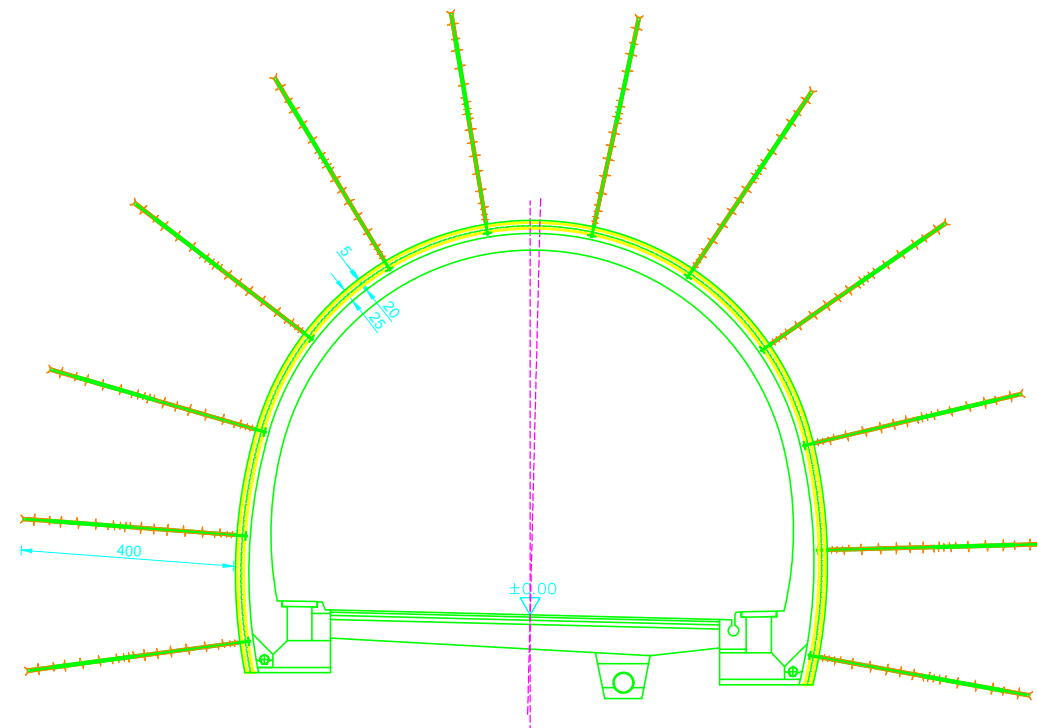


SVEUČILIŠTE U SPLITU  
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE  
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

### DIPLOMSKI RAD

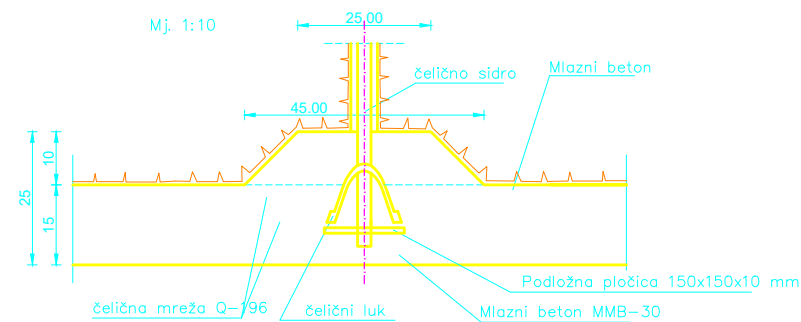
|          |                                                 |          |               |
|----------|-------------------------------------------------|----------|---------------|
| Tema:    | Analiza primarne podgrade tunela Orgus-sjever   |          |               |
| Sadržaj: | Podgradni sustav tip 3 za III.kategoriju iskopa |          |               |
| Student: | Davor Bušić                                     | Mjerilo: | Broj priloga: |
| Datum:   | rujan, 2017.                                    | 1:100    | 5.4.          |





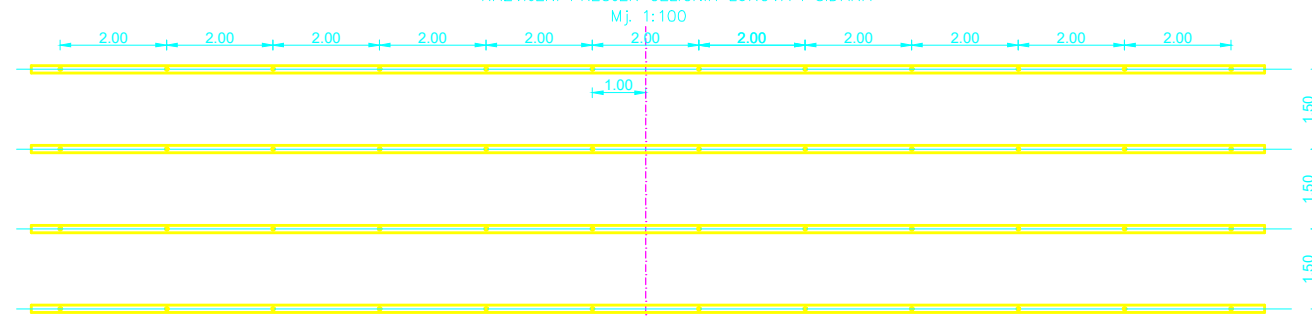
PRESJEK KROZ ČELIČNI LUK I ČELIČNO SIDRO

Mj. 1:10



RAZVIJENI PRESJEK ČELIČNIH LUKOVA I SIDARA

Mj. 1:100



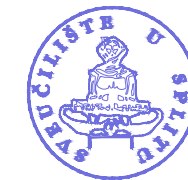
## ISKAZ KOLIČINA

|                                                                                                                                                                   |                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| VOLUMEN ISKOPA TUNELA                                                                                                                                             | 76.65 m <sup>3</sup> /m' |
| VOLUMEN ISKOPA ZA KANALIZACIJSKU CIJEV                                                                                                                            | 0.55 m <sup>3</sup> /m'  |
| POVRŠINA MLAZNOG BETONA U PRIMARNOJ BETONSKOJ OBLOZI MC30/37, d=15 cm                                                                                             | 23.15 m <sup>2</sup> /m' |
| DODATNA POVRŠINA MLAZNOG BETONA MC30/37, d=10 cm                                                                                                                  | 9.26 m <sup>2</sup> /m'  |
| SEKUNDARNA BETONSKA OBLOGA BEZ TEMELJA C25/30, d=30 cm                                                                                                            | 7.35 m <sup>3</sup> /m'  |
| TEMELJI SEKUNDARNE BETONSKE OBLOGE SA KANALIMA, C25/30                                                                                                            | 1.31 m <sup>3</sup> /m'  |
| PODBETON TEMELJA SEKUNDARNE BETONSKE OBLOGE, C25/30                                                                                                               | 0.29 m <sup>3</sup> /m'  |
| ISPUNA BETONOM C16/20 ISPOD GLAVNE ODVODNE CIJEVI                                                                                                                 | 0.13 m <sup>3</sup> /m'  |
| ISPUNA BETONOM C25/30 OKO GLAVNE ODVODNE CIJEVI                                                                                                                   | 0.31 m <sup>3</sup> /m'  |
| ZAPUNA TUCANIKOM IZNAD GLAVNE ODVODNE CIJEVI                                                                                                                      | 0.18 m <sup>3</sup> /m'  |
| GEOTEKSTIL                                                                                                                                                        | 1.3 m <sup>2</sup> /m'   |
| ČELIČNA MREŽA Q-196, žica d=5 mm, okna 100*100 mm, preklop min. 40 cm za armiranje betona iznad cijevi uzdužne kanalizacije, 3.07 kg/m <sup>2</sup> .             | 3.8 kg/m'                |
| ČELIČNA MREŽA 2xQ-196, žica d=5 mm, okna 100*100 mm, preklop min. 30 cm za armiranje mlaznog betona, 3.07 kg/m <sup>2</sup> . 23.15 m <sup>2</sup> /m' tunela.    | 142.2 kg/m'              |
| ČELIČNA MREŽA R-335, žica d=8 mm, okna 150*150 mm, preklop min. 40 cm za armiranje sek. betonske obloge, 3.63 kg/m <sup>2</sup> . 22.2 m <sup>2</sup> /m' tunela. | 80.6 kg/m'               |
| ŠIPKE REBRASTOG ČELIKA Ø19 mm, RA 400/500 ZA UKRUĆENJE MREŽE R-335, 2.288 kg/m' ŠIPKE. 1 ŠIPKA NA 1 m'.                                                           | 53.0 kg/m'               |
| ŠIPKE Ø19 mm, RA 400/500, S PAPUČICOM, ZA FIKSIRANJE ŠIPKI SEKUNDARNE BET. OBLOGE, 2.288 kg/m' ŠIPKE. l=50 cm, 4 kom/m                                            | 4.6 kg/m'                |
| ŠIPKE 3Ø16 ZA UZDUŽNO UKRUĆENJE ARMATURE SEKUNDARNE BETONSKE OBLOGE, 1.621 kg/m' ŠIPKE. 3 kom/profil                                                              | 4.9 kg/m'                |
| ARMATURA ZA ARMIRANJE TEMELJA I KANALA, RA 400/500 PRETPOSTAVLJA SE 120 kg/m <sup>3</sup> (uključena sidra sekundarne obloge)                                     | 160.0 kg/m'              |
| ČELIČNI LUKOVI TIP K-21. 1 LUK NA 1.5 m'. 650.0 kg/kom.                                                                                                           | 435.0 kg/m'              |
| ADHEZIJSKA ČELIČNA SIDRA PROMJERA 25 mm DUŽINE 4 m, RA 400/500                                                                                                    | 8 kom/m'                 |
| HIDROIZOLACIJA                                                                                                                                                    | 23.30 m <sup>2</sup> /m' |

## TUNEL "ORGUS"

PODGRADNI SUSTAV TIP 4  
ZA IV. KATEGORIJU ISKOPA

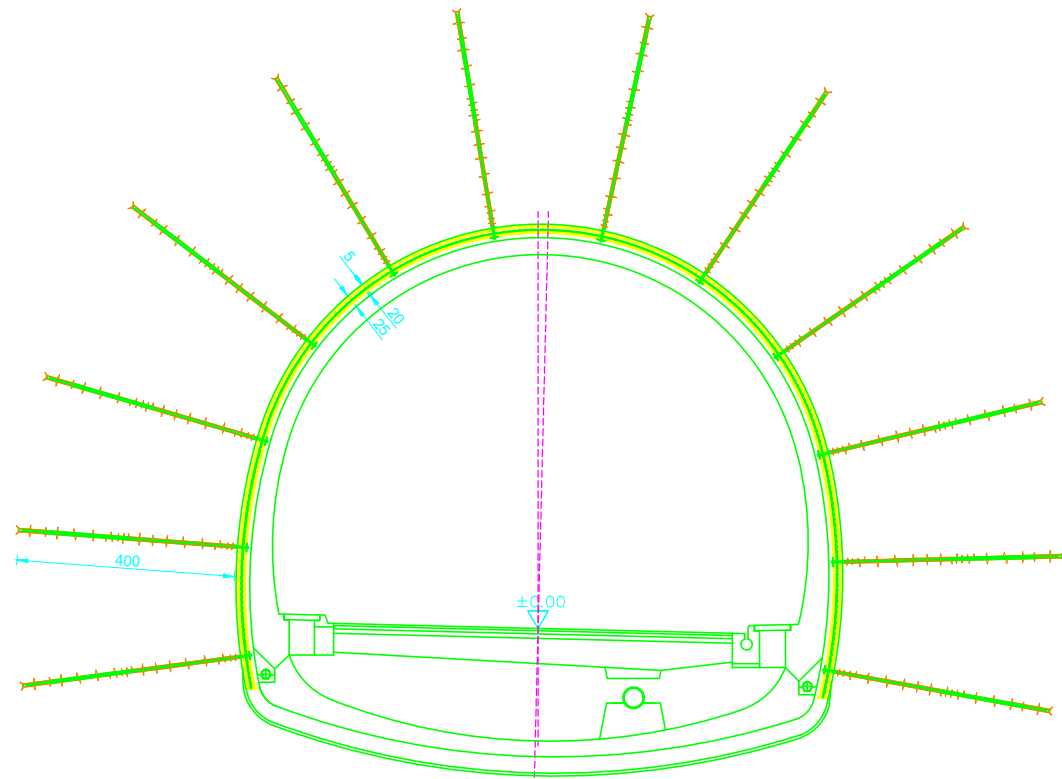
Mj. 1:100



SVEUČILIŠTE U SPLITU  
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE  
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

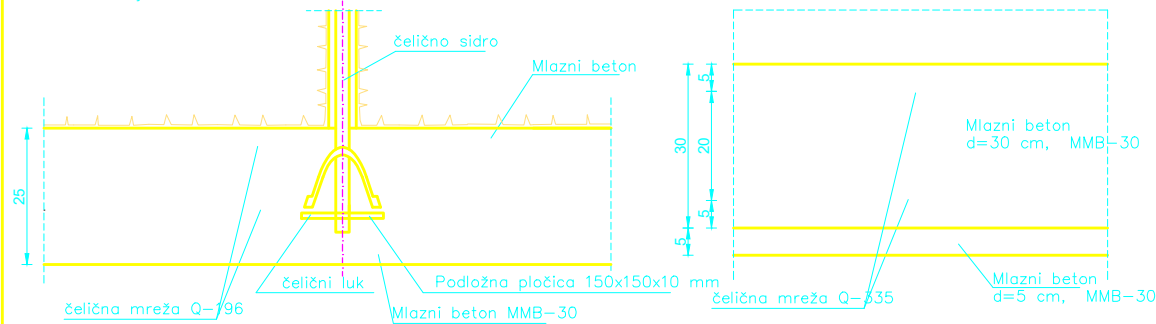
### DIPLOMSKI RAD

|          |                                                |          |               |
|----------|------------------------------------------------|----------|---------------|
| Tema:    | Analiza primarne podgrade tunela Orgus-sjever  |          |               |
| Sadržaj: | Podgradni sustav tip 4 za IV.kategoriju iskopa |          |               |
| Student: | Davor Bušić                                    | Mjerilo: | Broj priloga: |
| Datum:   | rujan, 2017.                                   | 1:100    | 5.5.          |

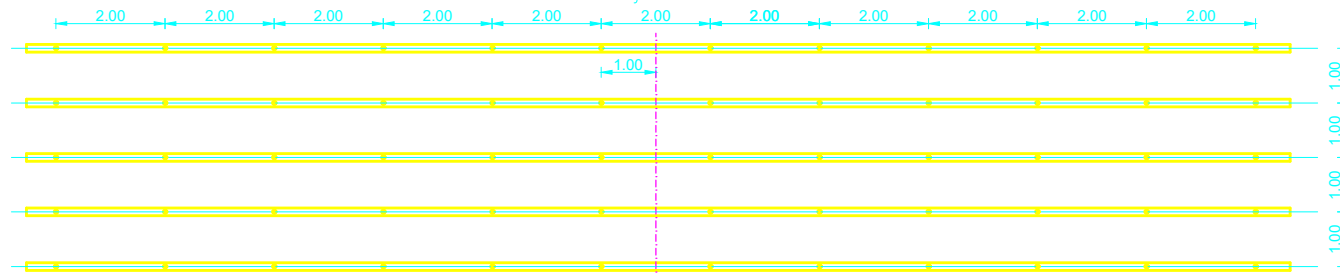


PRESJEK KROZ ČELIČNI LUK I ČELIČNO SIDRO  
Mj. 1:10

PRESJEK KROZ PODNOŽNI SVOD  
Mj. 1:10



RAZVIJENI PRESJEK ČELIČNIH LUKOVA I SIDARA  
Mj. 1:100



### ISKAZ KOLIČINA

|                                                                                                                                                                             |                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| VOLUMEN ISKOPA TUNELA                                                                                                                                                       | 93.85 m <sup>3</sup> /m' |
| POVRŠINA MLAZNOG BETONA U PRIMARNOJ BETONSKOJ OBLOZI MC30/37, d=25 cm                                                                                                       | 23.25 m <sup>2</sup> /m' |
| POVRŠINA MLAZNOG BETONA U PODNOŽNOM SVODU PRIMARNE BETONSKE OBLOGE, MC30/37, d=30 cm                                                                                        | 11.76 m <sup>2</sup> /m' |
| PODBETON PODNOŽNOG SVODA PRIMARNE BETONSKE OBLOGE OD MLAZNOG BETONA MC25/30, d=5 cm                                                                                         | 11.73 m <sup>2</sup> /m' |
| SEKUNDARNA BETONSKA OBLOGA BEZ TEMELJA C25/30, d=30 cm                                                                                                                      | 7.35 m <sup>3</sup> /m'  |
| TEMELJI SEKUNDARNE BETONSKE OBLOGE SA KANALIMA, C25/30                                                                                                                      | 0.75 m <sup>3</sup> /m'  |
| PODNOŽNI SVOD SEKUNDARNE BETONSKE OBLOGE C25/30, d=30 cm                                                                                                                    | 4.91 m <sup>3</sup> /m'  |
| ISPUNA BETONOM IZNAD PODNOŽNOG SVODA SEKUNDARNE BETONSKE OBLOGE C25/30                                                                                                      | 8.68 m <sup>3</sup> /m'  |
| ZAPUNA TUCANIKOM IZNAD GLAVNE ODVODNE CIJEVI                                                                                                                                | 0.18 m <sup>3</sup> /m'  |
| GEOTEKSTIL                                                                                                                                                                  | 1.3 m <sup>2</sup> /m'   |
| ČELIČNA MREŽA Q-196, žica d=5 mm, okna 100*100 mm, preklop min. 40 cm za armiranje betona iznad cijevi uzdužne kanalizacije, 3.07 kg/m <sup>2</sup> .                       | 3.2 kg/m'                |
| ČELIČNA MREŽA 2xQ-196, žica d=5 mm, okna 100*100 mm, preklop min. 30 cm za armiranje mlaznog betona u oblozi, 3.07 kg/m <sup>2</sup> . 23.25 m <sup>2</sup> /m' tunela.     | 142.8 kg/m'              |
| ČELIČNA MREŽA 2xQ-335, žica d=8 mm, okna 100*100 mm, preklop min. 40 cm za armiranje ml. betona u podn. svodu, 5.44 kg/m <sup>2</sup> . 11.76 m <sup>2</sup> /m' tunela.    | 128.0 kg/m'              |
| ČELIČNA MREŽA R-335, žica d=8 mm, okna 150*150 mm, preklop min. 40 cm za armiranje sek. betonske obloge, 3.63 kg/m <sup>2</sup> . 22.2 m <sup>2</sup> /m' tunela.           | 80.6 kg/m'               |
| ČELIČNA MREŽA 2xR-335, žica d=8 mm, okna 150*150 mm, preklop min. 40 cm za armiranje podn. svoda sek. bet. obloge, 3.63 kg/m <sup>2</sup> . 11.8 m <sup>2</sup> /m' tunela. | 85.7 kg/m'               |
| ŠIPKE REBRASTOG ČELIKA Ø19 mm, RA 400/500 ZA UKRUČENJE MREŽE R-335, 2.288 kg/m' ŠIPKE. 1 ŠIPKA NA 1 m'.                                                                     | 50.8 kg/m'               |
| ŠIPKE Ø19 mm, RA 400/500, S PAPUČICOM, ZA FIKSIRANJE ŠIPKI SEKUNDARNE BET. OBLOGE, 2.288 kg/m' ŠIPKE. l=50 cm, 4 kom/m                                                      | 4.6 kg/m'                |
| ŠIPKE 3Ø16 ZA UZDUŽNO UKRUČENJE ARMATURE SEKUNDARNE BETONSKE OBLOGE, 1.621 kg/m' ŠIPKE. 3 kom/profil                                                                        | 4.9 kg/m'                |
| ARMATURA ZA ARMIRANJE TEMELJA I KANALA, RA 400/500 PRETPOSTAVLJA SE 120 kg/m <sup>3</sup> (uključena sidra sekundarne obloge)                                               | 90.0 kg/m'               |
| ČELIČNI LUKOVI TIP K-21. 1 LUK NA 1.0 m'. 650.0 kg/kom.                                                                                                                     | 650.0 kg/m'              |
| ADHEZIJSKA ČELIČNA SIDRA PROMJERA 25 mm DUŽINE 4 m, RA 400/500                                                                                                              | 12 kom/m'                |
| HIDROIZOLACIJA                                                                                                                                                              | 23.30 m <sup>2</sup> /m' |

## TUNEL "ORGUS"

PODGRADNI SUSTAV TIP 5  
ZA V. KATEGORIJU ISKOPA

Mj. 1:100



SVEUČILIŠTE U SPLITU  
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE  
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

### DIPLOMSKI RAD

|          |                                               |          |               |
|----------|-----------------------------------------------|----------|---------------|
| Tema:    | Analiza primarne podgrade tunela Orgus-sjever |          |               |
| Sadržaj: | Podgradni sustav tip 5 za V.kategoriju iskopa |          |               |
| Student: | Davor Bušić                                   | Mjerilo: | Broj priloga: |
| Datum:   | rujan, 2017.                                  | 1:100    | 5.6.          |