

Trodimenzionalna numerička analiza slijeganja temelja zgrada uređaja za pročišćavanje otpadnih voda grada Rijeke

Stjepan Matic¹, prof.dr.sc. **Meho-Saša Kovačević²**

¹Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zavod za geotehniku, smatic@grad.hr

²Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zavod za geotehniku, msk@grad.hr

Sažetak

U ovome radu, koji se odnosi na temeljenje zgrada novog uređaja za pročišćavanje otpadnih voda (UPOV) grada Rijeke, daje se osnovni prikaz odabrane tehnologije temeljenja objekata UPOV-a te njihov proračun. Cilj je ovog rada, na temelju odgovarajućih geotehničkih parametara i kontaktnih naprezanja na razini dna temeljnih ploča pojedinih objekata te iz situacije predmetne mikrolokacije, izraditi model temeljnog tla i temelja objekata primjenom proračunskog programa PLAXIS 3D, zasnovanog na metodi konačnih elemenata, te naposljetku interpretirati dobivene rezultate, prije svega ukupna slijeganja objekata novog UPOV-a.

Ključne riječi: temeljenje, model temeljnog tla i temelja objekata, PLAXIS 3D, metoda konačnih elemenata, ukupno slijeganje

Three-dimensional numerical analysis of building foundations settlement at the City of Rijeka wastewater treatment plant

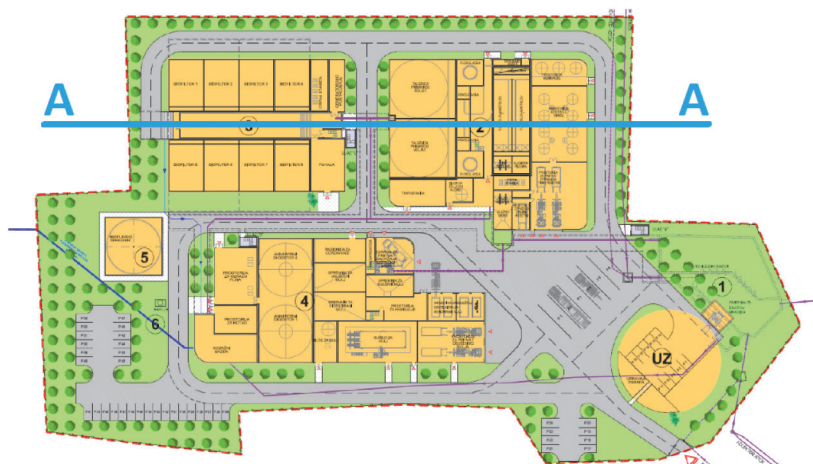
Abstract

This paper deals with foundations of the new wastewater treatment plant (WWTP) of the city of Rijeka, and provides a basic overview of the foundation technology selected for WWTP facilities, as well as relevant calculations. The aim of the paper is to create a foundation soil and building foundations model using the PLAXIS 3D finite element calculation program, based on appropriate geotechnical parameters, contact stresses at the bottom of foundations of individual buildings, and relevant site layout information. The results obtained in the scope of this study, total settlements of the new WWTP facilities in particular, are interpreted in the final part of the paper.

Key words: foundation work, foundation soil and building foundations model, PLAXIS 3D, finite element method, total settlement

1 Uvod

Uređaj za pročišćavanje otpadnih voda (UPOV) na predmetnoj lokaciji već postoji. No, iako je trenutačno u funkciji, kod postojećeg UPOV-a često dolazi do prekoračenja graničnog stanja uporabivosti. Naime radi izrazite heterogenosti temeljnog tla na predmetnoj lokaciji kao i varijabilnih fizikalno-mehaničkih karakteristika temeljnog tla, koji se najviše očituju u maloj krutosti materijala te nezadovoljavajućoj zbijenosti nekontrolirano nasipanog materijala, dolazi do diferencijalnih slijeganja objekata UPOV-a te do česte potrebe za zamjenom određenih dijelova radi prekoračenja njihove uporabivosti. Upravo zbog ove spoznaje, zajedno s provedenim istražnim radovima koji su to i potvrdili, pristupilo se pronalaženju rješenja problema temeljenja objekata novog UPOV-a.



Slika 1. Tlocrt budućeg UPOV-a grada Rijeke

Planirani uređaj za pročišćavanje otpadnih voda grada Rijeke sastoji se od šest različitih objekata koji se upotrebljavaju u tehničko-tehnološkom procesu pročišćavanja otpadnih voda i koji svi čine jednu zasebnu cjelinu, slika 1. Objekti su različitih tlocrtnih dimenzija od čega je najmanji retencijski spremnik okvirnih dimenzija 30×35 m, a najveća zgrada za mehaničku obradu i primarno pročišćavanje otpadnih voda dimenzija 55×60 m. Objekti se temelje na dubini od 0,5 do 7,0 metara od površine terena. Promatrano područje novog uređaja za pročišćavanje otpadnih voda grada Rijeke nalazi se na gradskoj lokaciji Delta uz ušće rijeke Rječine. Prirodni teren na lokaciji je bitno izmijenjen nasipavanjima tijekom izgradnje luke i širenja grada od kraja 19. st. pa sve do danas. Objekti novog UPOV-a grada Rijeke nalaze se na lokaciji s nasipanim materijalom varijabilne debljine, nekontrolirane zbijenosti i nepoznatih

fizikalno-mehaničkih karakteristika, ispod kojega se nalaze depoziti sedimentnog materijala gdje se izmjenjuju slojevi koherentnog i nekoherentnog materijala relativno nepovoljnih fizikalno-mehaničkih karakteristika, te stijenske podloge pretežno sastavljene od vapnenaca i dolomita. Da bi se zadovoljilo granično stanje uporabivosti i nosivosti objekata novog UPOV-a grada Rijeke predloženo je nekoliko rješenja problema, a modeliranjem svakog pojedinog rješenja u programu PLAXIS 3D prikazane su razlike u slijeganjima.

Prva solucija je temeljenje objekata na zabijanim pilotima od čeličnih cijevi koji završavaju u stijenskoj podlozi na dubinama od 61 do 80 metara. Glavna zamisao je "zaobilazanje" slojeva slabijih fizikalno-mehaničkih karakteristika, i prenošenje opterećenja u dobro nosive slojeve, te samim time reduciranje ukupnih slijeganja, a naročito diferencijalna slijeganja objekata. U drugom slučaju odabrano je korištenje zabijanih pilota kako bi se zaobišao sloj nasipanog materijala varijabilne dubine od 4,5 do 21 metra, a sloj sedimentnog materijala ojačao metodom mlaznog injektiranja do dubine od 50 metara. Ova solucija je razrađena u dva dijela. Modeliranjem mlaznoinjektiranih stupnjaka na mjestima zabijanih pilota te modeliranjem kompozita tla s rasterom mlaznog injektiranja od $7 \times 7,5$ metra. Također je provedena i provjera kakva bi se slijeganja ostvarila ako bi se objekte temeljilo samo na temeljnim pločama.

2 Temeljenje na pilotima

Temelje možemo definirati kao najdonje dijelove konstrukcije preko kojih se ona oslanja na tlo, odnosno preko kojih se djelovanja na konstrukciju prenose na tlo. Budući da je tlo u pravilu bitno mekši i slabiji materijal od uobičajenih materijala iz kojih je izgrađena konstrukcija, temelji su prijelazni dijelovi u kojima se preraspodjeljuju unutrašnje sile iz elemenata konstrukcije u masivne i široke zone tla. Vrste temelja su mnogobrojne i mogu se podijeliti na različite načine. Najuobičajenije je [1] po načinu prijenosa opterećenja u tlo, pa se tako temelji dijele na plitke, duboke te njihovu kombinaciju. Svrha podjela je obično pojednostavljenje komunikacije među inženjerima, a kriteriji su obično način izvođenja ili metoda dokazivanja mehaničke otpornosti i stabilnosti temelja [2]. Plitki temelji prenose opterećenje u plitke slojeve tla, duboki prenose opterećenje ili u dublje slojeve ili u sve slojeve duž njihove visine, dok se kombinirani temelji najčešće koriste za jako opterećene temelje i prenose opterećenja na tlo podjednako preko svih elemenata od kojih su sastavljeni. Granica između plitkih i dubokih temelja nije striktno definirana, ali se kao gruba podjela može prihvatiti ona po kojoj je dubina ukopavanja temelja u tlo manja od širine temelja [3]. Duboki temelji se dijele na pilote, bunare, kesone te neke druge manje zastupljene vrste, a ovdje će se prikazati vrsta pilota predviđena za temeljenje objekata novog UPOV-a.

2.1 Podjela pilota

Pod pilotima smatramo uspravne ili gotovo uspravne stupove izgrađene sa svrhom prenošenja opterećenja građevine u dublje, bolje nosive slojeve tla. Temeljenje građevina na pilotima ima sve učestaliju primjenu, kako zbog izvedbe sve zahtjevnijih konstrukcija, tako i zbog većeg korištenja (geotehnički) nepovoljnijih lokacija, te razvoja novijih tehnoloških rješenja koja omogućuju tržišnu atraktivnost i konkurentnost. Nekad je bilo moguće podijeliti pilote, s obzirom na način izvedbe, na zabijane i bušene. Prvi su se izvodili zabijanjem predgotovljenih pilota ili njihovih elemenata u tlo posebnim strojevima s maljem. Drugi su se izvodili bušenjem bušotine odgovarajućeg promjera do tražene dubine te ugradnjom armature i smjese svježeg betona u pripremljenu bušotinu. Takva je podjela primjerena u mnogim slučajevima, ali joj je nedostatak da izostavlja mnoge vrste pilota koji se danas koriste u praksi, te ne odražava način kako izvedba pilota utječe na njegovu nosivost. Druga, mnogo temeljitija, podjela pilota je po načinu kako njihova izvedba utječe na njihovu nosivost. Ta podjela pilote dijeli na "razmičuće" i na "nerazmičuće". Prvi pri ugradnji razmiču tlo i time povećavaju bočne pritiske tla na svoj plašt, a time prema zakonu trenja i čvrstoću na kontaktu tla i plašta pilota. Skupini razmičućih pilota pripadaju zabijeni piloti sa zatvorenim dnom. Druga vrsta ne razmiče tlo, a u nju možemo svrstati bušene piloti i zabijene šuplje pilote tanke stijenke s otvorenim dnom. Međutim, niti ta podjela ne obuhvaća mnoge vrste pilota koji se danas koriste u praksi [3].

2.1.1 Šuplji čelični piloti s otvorenim dnom

Šuplji čelični piloti su najčešće cilindričnog ili poligonalnog oblika poprečnog presjeka. Piloti takvog poprečnog presjeka prevladavaju probleme vezane s fleksibilnošću tankih čeličnih pilota H presjeka, iako u rijetkim slučajevima tijekom zabijanja može doći do začepljenja otvora zemljanim materijalom, to jest zemljani materijal formira čep i daljnjim zabijanjem miče se zajedno s pilotom, pa takav pilot iz malo razmičućeg prelazi u jako razmičući pilot. Pojava zemljanih čepova je vrlo rijetka prilikom ugradnje šupljih čeličnih pilota dinamičkim metodama, ponajprije zbog visoke inercijske otpornosti zemljanih čepova, a mnogo je češća prilikom ugradnje statičkim metodama. Takav tip pilota ističe se velikom otpornošću na savijanje, a dostupnost poprečnih presjeka velikih profila omogućuje prenošenje značajnih opterećenja. Takva kombinacija značajki dovela je do njihove učestale primjene u marinskim konstrukcijama, kao što su gatovi i pristaništa za brodove [4, 5].

3 Mlazno injektiranje

Mlazno injektiranje ili *jet grouting* je tehnologija, odnosno metoda ojačanja tla. Metoda funkcionira na način da se u tlo utiskuje cijev do projektirane dubine te postupnim izvlačenjem uz konstantnu rotaciju, kroz mlaznicu na cijevi pod visokim tlakom izbacuje cementnu smjesu pa miješanjem s okolnim tlom određen volumen tla pretvara u zemljani mort kako bi nastajala homogenizirana masa poboljšanih svojstava [6]. Uspješno se primjenjuje u svim vrstama tla, uključujući i glinu te organske slojeve, a može se koristiti i u stjenovitom tlu. Promjer razarajućeg djelovanja mlaza u tlu može biti čak do 5 metara, a ovisno o vrsti tla i načinu izvođenja. U praksi su evidentirani slučajevi gdje se ojačanje tla postupkom mlaznog injektiranja provodilo na dubinama većim i od 40 metara [7].

Mlazno injektiranje često se primjenjuje za privremenu ili trajnu stabilizaciju mekih tala. Metoda je iznimno uspješna kod reduciranja slijeganja ili povećanja nosivosti temeljnog tla, te se u tom smislu koristi i na lokacijama budućih građevina ali i za podinjektiranje postojećih građevina. Sustavi koji su zasad u primjeni razlikuju se po tipu bušućih kruna, nosača mlaznica te efektivnom radijusu djelovanja. Podjela se izvodi prema broju fluida koji se koriste prilikom injektiranja, a kreću se od jednofluidnog do trofluidnog sustava (injekcijska smjesa, zrak, voda te njihova kombinacija), što uz brzinu rotacije i upumpavanja smjese u tlo uvjetuje ostvarivi promjer stupnjaka [7].

4 Odabrani geotehnički parametri

Prilikom provedbe istražnih radova provedena su bušenja te uzimani uzorci na kojima su obavljana laboratorijska ispitivanja. Međutim, količina i vrsta provedenih laboratorijskih pokusa mogu poslužiti tek za okvirnu procjenu fizikalno-mehaničkih karakteristika sedimenata prijelaznog okoliša. Pri tome treba naglasiti da niti jedan uzorak nije uzet iz zone nabačaja. Naime, u laboratoriju su provedeni samo pokusi granulometrijske analize te, u slučaju koherentnih materijala, Atterbergove granice plastičnosti. S obzirom na to da su ovo dominantno klasifikacijski pokusi kojim se određuje vrsta materijala, ali ne i pokusi kojima se mogu pouzdano odrediti fizikalno-mehaničke karakteristike materijala nužne za temeljenje objekata UPOV-a, za procjenu potrebnih parametara korišteni su rezultati terenskog ispitivanja standardnog penetracijskog pokusa (SPT). I ova ispitivanja su rađena samo za slojeve sedimenata prijelaznog okoliša, a nisu i za zonu nabačaja. SPT ispitivanjima su se utvrdile vrijednosti u rasponu $N = 4$ do $N = 28$ udaraca. Pri tome do dubine od 30-ak metara vrijednosti postupno rastu do 13-14 udaraca, nakon čega poprimaju veće vrijednosti. Međutim, ni ovo nije pravilo zato što na pojedinim bušotinama dolazi i do smanjenja broja SPT udaraca s povećanjem dubine. Ispitivanjem uzoraka stijene

u preši, ali i iz korelacije s indeksom točkaste čvrstoće iz PLT ispitivanja, može se procijeniti jednoosna tlačna čvrstoća od 50 MPa. Iz malog obujma istražnih radova se može vidjeti da sedimente prijelaznog okoliša čine slojevi s relativno niskim vrijednostima modula stišljivosti. U nastavku su prikazane proračunske vrijednosti parametara materijala nabačaja, depozita sedimentnih materijala i stijenske podloge. Budući da prilikom istražnih radova nije uzet niti jedan uzorak iz zone nabačaja, parametri materijala potrebni za proračun u PLAXIS-u uzeti su s oprezom. Kod sedimentnih materijala za određivanje kuta unutarnjeg trenja preko broja udaraca SPT-a služilo se korelacijama Shioi i Fukui (1982.) te Dunhama (1954.), a za vrijednosti edometarskog modula elastičnosti korištena je korelacija Tana i dr. (1991.). Ovisno o broju udaraca SPT-a za svaki sloj procijenjena je vrijednost zapreminske težine, a Poissonov koeficijent je procijenjen. Iako su slojevi sedimenta nekoherentni, za svaki sloj zadana je minimalna kohezija vrijednosti 1 kPa radi stabilnosti proračuna u Plaxis-u.

Tablica 1. Proračunske vrijednosti kuta trenja i edometarskog modula

Slojevi tla	γ_{unsat} [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	E [kPa]	ν [/]	φ [°]	c [kPa]
Zona nabačaja	22,0	22,0	10000	0,25	30	1
Sedimenti (gornji sloj)	17,0	20,0	5274,3	0,35	25,24	1
Šljunak (proslojci)	19,0	21,0	19249,0	0,30	36,90	1
Sedimenti (gornji sloj)	17,0	20,0	20547,3	0,35	33,90	1

Parametri stijenske mase procijenjeni su ispitivanjem uzoraka stijene u preši, ali i iz korelacije s indeksom točkaste čvrstoće iz PLT ispitivanja. Procijenjena je vrijednost jednoosne tlačne čvrstoće od 50 MPa. Na temelju podatka da se radi o vapnenačkoj stijeni, pomoću programa RocLab određeni su i ostali parametri potrebni za proračun u PLAXIS-u, pa tako imamo:

$$\gamma_{\text{unsat}} = 26,0 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_{\text{sat}} = 26,0 \text{ kN/m}^3$$

$$E = 1271,93 \text{ MPa}$$

$$\nu = 0,25$$

$$\sigma_{\text{ci}} = 50 \text{ MPa}$$

$$m_i = 12$$

$$\text{GSI} = 25$$

$$D = 0$$

$$\psi_{\text{max}} = 45^\circ$$

5 Geotehnički proračun temelja

Geotehnički proračun je proveden na četiri zasebna modela, između kojih se provjerava koja je solucija temeljenja najprihvatljivija iz aspekta zadovoljavanja graničnog stanja uporabivosti, odnosno prije svega ukupnih slijeganja. Opterećenja na razini dna temeljnih ploča objekata variraju, tj. mogu biti od 70 do 250 kPa. Za početak je modelirano temeljenje objekata UPOV-a na temeljnim pločama bez ikakvog dubokog temeljenja ili metoda poboljšanja tla. Drugi model je obuhvatio slučaj temeljenja objekata na pilotima do dubine stijenske podloge. Preostala dva modela analizirala su slučajeve temeljenja na tlu ojačanom mlaznim injektiranjem do dubine 50 metara, s time da se objekti oslanjaju na pilote koji prolaze kroz veoma nepovoljan sloj nabačaja, na kojemu nije moguće provesti postupak mlaznog injektiranja. Analiziran je slučaj u kojemu se mlazno injektirani stupnjaci modeliraju kao produžetci pilota, izvedeni direktno ispod njih, slučaj u kojemu se mlazno injektiranje modelira kao kompozit tla na rasteru 7x7,5 metra, što uzrokuje povećanje krutosti tla.

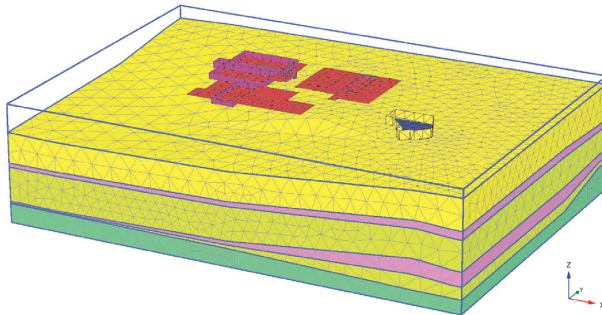
5.1 Program PLAXIS 3D

PLAXIS 3D je računalni program zasnovan na metodi konačnih elemenata i namijenjen za trodimenzionalne analize problema stabilnosti i deformacija u geotehnici. Metoda konačnih elemenata najčešće je korištena metoda radi svoje fleksibilnosti pri definiranju heterogenosti materijala, nelinearnosti i rubnih uvjeta, te relativne fleksibilnosti pri radu sa složenim konstitutivnim modelima. Prilikom modeliranja u programu koji se bazira na metodi konačnih elemenata, tlo ili stijena se podjeli u ograničeni broj elemenata međusobno povezanih u čvorovima. Svaki element je konačan, odnosno definiran je geometrijski i ima ograničenu veličinu. Naponsko-deformacijski odnosi u tlu i na kontaktu tla i konstrukcijskih elemenata su opisani odgovarajućim konstitutivnim zakonom materijala. Naprezanja i deformacije koje se analiziraju su rezultat promijenjenog stanja uslijed izvođenja konstrukcije te svako naprezanje i deformacija jednog elementa utječu na susjedne elemente.

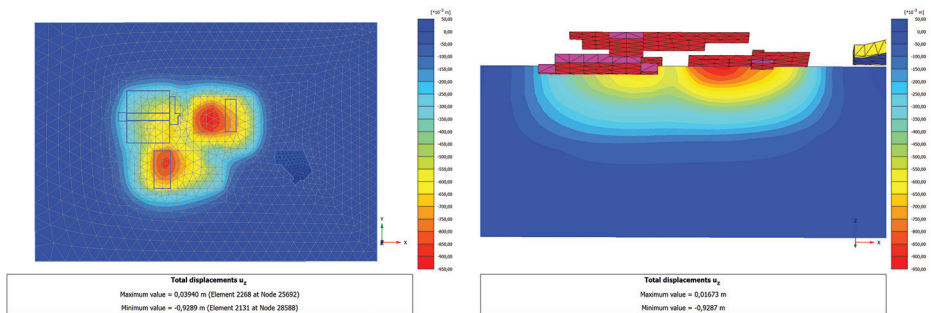
U nastavku rada su prikazani rezultati proračuna za četiri slučaja temeljenja objekata budućeg UPOV-a grada Rijeke, pri čemu je pažnja posebno usmjerena na apsolutno slijeganje cijelog modela i slijeganja u presjeku A-A prikazanom na slici 1.

5.1.1 Model 1 – UPOV Rijeka temeljeno na temeljnim pločama

Na prvom modelu je prikazano temeljenje objekata novog UPOV-a grada Rijeke na temeljnim pločama, bez drugih metoda temeljenja i ojačanja tla, slika 2. Taj je model poslužio kao orijentir razine smanjenja slijeganja u ostalim modelima. Prikaz najveće vrijednosti slijeganja $u_z = 92,9$ cm na modelu 1 i najveće vrijednosti slijeganja $u_z = 92,9$ cm na presjeku A-A modela 1 prikazano je na slici 3.



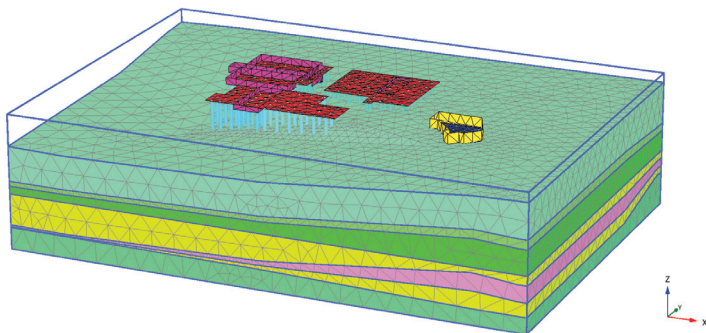
Slika 2. Prikaz generirane mreže za model 1



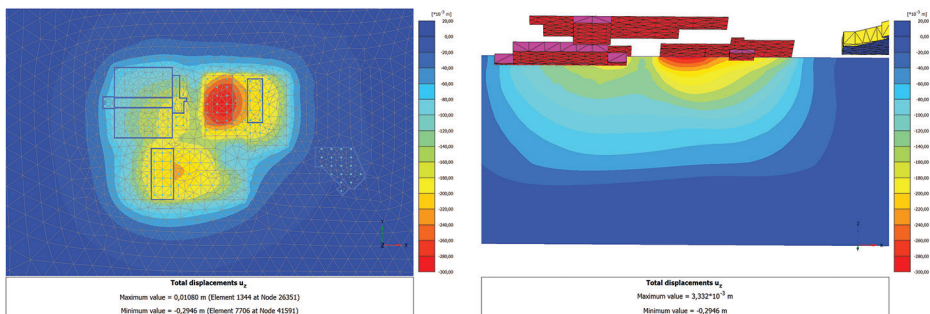
Slika 3. Prikaz najveće vrijednosti slijeganja $u_z = 92,9$ cm na modelu 1 (lijevo) i najveće vrijednosti slijeganja $u_z = 92,9$ cm na presjeku A-A modela 1 (desno)

5.1.2 Model 2 - UPOV Rijeka temeljeno na tlu ojačanim mlaznim injektiranjem (kompozit tla 7x7,5 m)

Modelom 2 je prikazano temeljenje objekata novog UPOV-a grada Rijeke na tlu ojačanom mlaznim injektiranjem u rasteru 7x7,5 metara do dubine 50 metara, slika 4. Ojačano tlo je simulirano povećanjem njegove krutosti. Prikaz najveće vrijednosti slijeganja $u_z = 29,5$ cm na modelu 2 i najveće vrijednosti slijeganja $u_z = 29,5$ cm na presjeku A-A modela 2 prikazano je na slici 5.



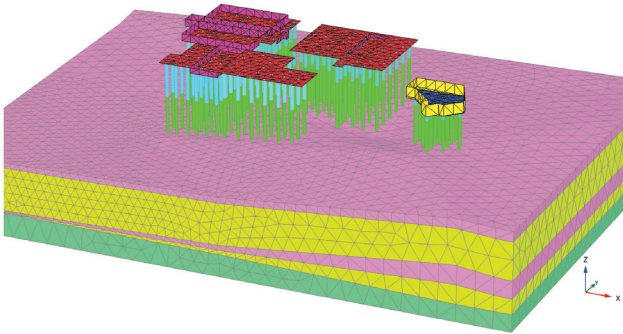
Slika 4. Prikaz generirane mreže za model 2



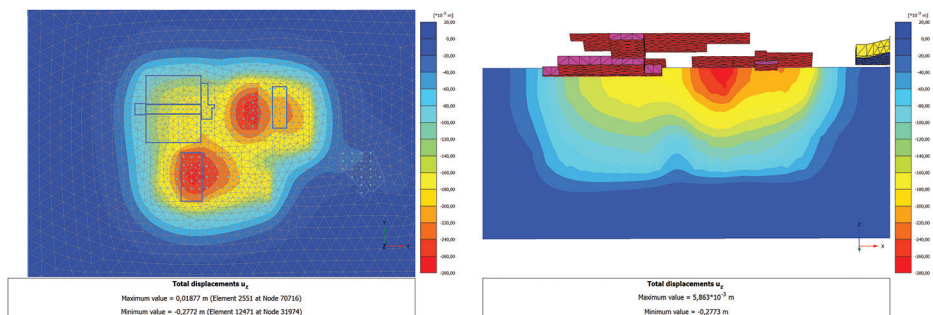
Slika 5. Prikaz najveće vrijednosti slijeganja $u_z = 29,5$ cm na modelu 2 (lijevo) i najveće vrijednosti slijeganja $u_z = 29,5$ cm na presjeku A-A modela 2 (desno)

5.1.3 Model 3 - UPOV Rijeka temeljeno na tlu ojačanim mlaznim injektiranjem (stupnjaci 7×7,5 m)

Pomoću Modela 3 je prikazano temeljenje objekata novog UPOV-a grada Rijeke na tlu ojačanom mlaznim injektiranjem u rasteru 7×7,5 metara do dubine 50 metara, slika 6. Ojačano tlo je simulirano stupnjacima na istome rasteru kao i piloti koji prolaze kroz sloj nabačaja. Prikaz najveće vrijednosti slijeganja $u_z = 27,7$ cm na modelu 3 i najveće vrijednosti slijeganja $u_z = 27,7$ cm na presjeku A-A modela 3 prikazano je na slici 7.



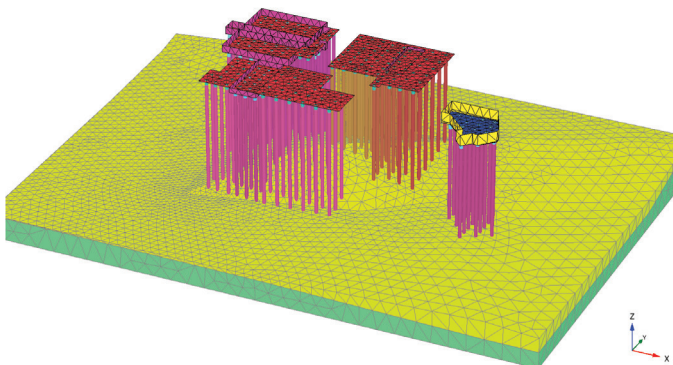
Slika 6 Prikaz generirane mreže za model 3



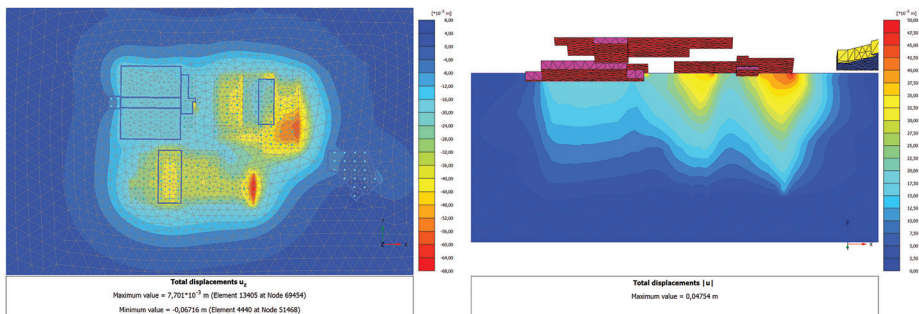
Slika 7 Prikaz najveće vrijednosti slijeganja $u_z = 27,7$ cm na modelu 3 (lijevo) i najveće vrijednosti slijeganja $u_z = 27,7$ cm na presjeku A-A modela 3 (desno)

5.1.4 Model 4 - UPOV Rijeka temeljeno na pilotima do dubine stijene

Modelom 4 je prikazano temeljenje objekata novog UPOV-a grada Rijeke na pilotima do dubine stijene od 61 do 80 metara, slika 8. Prikaz najveće vrijednosti slijeganja $u_z = 6,72$ cm na modelu 4 i najveće vrijednosti slijeganja $u_z = 4,75$ cm na presjeku A-A modela 4 prikazano je na slici 9.

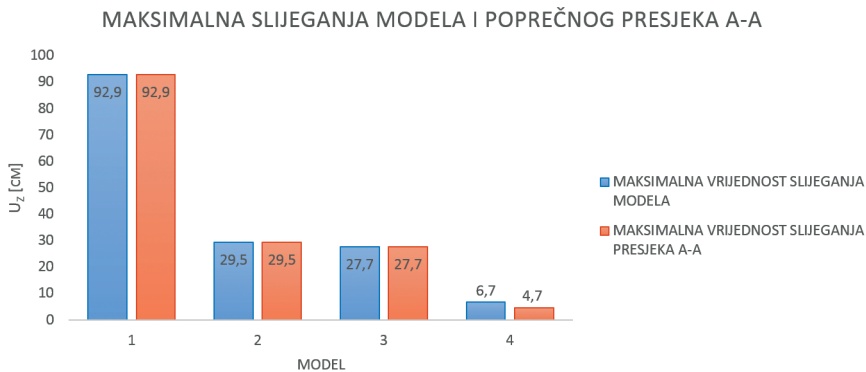


Slika 8. Prikaz generirane mreže za model 4



Slika 9. Prikaz najveće vrijednosti slijeganja $u_z = 6,72$ cm na modelu 4 (lijevo) i najveće vrijednosti slijeganja $u_z = 4,75$ cm na presjeku A-A modela 4 (desno)

Sumarni prikaz rezultata slijeganja cijelog modela i slijeganja u presjeku za četiri slučaja temeljenja objekata budućeg UPOV-a grada Rijeke prikazan je na slici 10.



Slika 10. Prikaz najveće vrijednosti slijeganja cjelokupnog modela i poprečnog presjeka A-A

6 Zaključak

Provedbom numeričke analize u programu PLAXIS 3D na modelima 1 do 4 prikazano je kako varijacije u izvedbi dubokog temeljenja izvedbom pilota do dubine stijenske mase i ojačanja temeljnog tla mlaznim injektiranjem utječu na smanjenje slijeganja objekata novog UPOV-a grada Rijeke, u odnosu na varijantu kada su objekti temeljeni samo na temeljnim pločama. Iz tablice 1 je vidljivo kako temeljenje na pilotima do dubine stijenske podloge očekivano daje najmanje vrijednosti slijeganja. Međutim, zanimljivo je primijetiti veliku podudarnost u dobivenim vrijednostima slijeganja kod modela 2 i 3 u kojima je na različiti način modelirana izvedba ojačanja tla mlaznim injektiranjem na istom rasteru, unatoč činjenici da su ostvarena slijeganja prevelika. Kao optimalno rješenje problema temeljenja nameće se temeljenje na zabijanim čeličnim pilotima do dubine stijenske podloge te bi se daljnjim usavršavanjem modela, prilagođavajući raster pilota, dobile zadovoljavajuće vrijednosti ukupnog te naročito diferencijalnog slijeganja objekata novog UPOV-a grada Rijeke. Kako stvarne vrijednosti opterećenja, a pogotovo vrijednosti parametara temeljnog tla nisu potpuno definirane, rezultati dobiveni proračunima mogu se uzeti samo kao okvirne vrijednosti. Unatoč tome, dobiveni rezultati mogu poslužiti kao međusobna usporedba razine smanjenja deformabilnih značajki tla.

Budući da u trenutku izrade rada nije novi uređaj za pročišćavanje otpadnih voda grada Rijeke nije još izveden, a nije poznata niti varijanta temeljenja koja će se na kraju izabrati, prema tome nije bilo moguće niti usporediti dobivena slijeganja s rezultatima koji će biti ostvareni na terenu.

Literatura

- [1] Bowles, J.: Foundation analysis and design, Fifth Edition, The McGraw-Hill Companies, Inc., 1997.
- [2] Antun Szavits-Nossan, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zavod za geotehniku, Temeljenje – Uvod, https://www.grad.unizg.hr/_download/repository/Temeljenje_-_Uvod.pdf
- [3] Antun Szavits-Nossan, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zavod za geotehniku, Temeljenje – Piloti, https://www.grad.unizg.hr/_download/repository/Temeljenje_-_Piloti3.pdf
- [4] Fleming, K., Weltman, A., Randolph, M., Elson, K.: Piling Engineering, Third Edition, Taylor & Francis, 2009.
- [5] Gideon, G.: Design of Pile Foundations, Engineer Manual, US Army Corps of Engineers., 1991.
- [6] Čorko, D., Kovačić, D., Lovrenčić, D., Marić, B.: Mlazno injektiranje – prikaz tehnologije i primjene mlaznog injektiranja, Conex d.o.o., Zagreb, 1997.
- [7] Meho-Saša Kovačević, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zavod za geotehniku, Ojačanje tla i stijena, 10. predavanje – Mlazno injektiranje, https://www.grad.unizg.hr/_download/repository/OTS_-_10.pdf