

3D Analize naprezanja i deformacija građevne jame u Ulici Ivana Kukuljevića

Vorić, Loren

Master's thesis / Diplomski rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:029209>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-01**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

Loren Vorić

**3D Analize naprezanja i deformacija građevne jame u Ulici Ivana
Kukuljevića**

Diplomski rad

Rijeka, 2020.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Sveučilišni diplomski studij
Geotehnika
Geotehnika prometnih građevina**

**Loren Vorić
JMBAG: 0114028271**

**3D Analize naprezanja i deformacija građevne jame u Ulici Ivana
Kukuljevića**

Diplomski rad

Rijeka, rujan 2020.

Naziv studija: **Sveučilišni diplomski studij Građevinarstvo**

Znanstveno područje: Tehničke znanosti

Znanstveno polje: Građevinarstvo

Znanstvena grana: Geotehnika

Tema diplomskog rada

3D ANALIZE NAPREZANJA I DEFORMACIJA GRAĐEVNE JAME U ULICI IVANA KUKULJEVIĆA

3D STRESS-STRAIN ANALYSIS OF OPEN PIT PROTECTION AT IVANA KUKULJEVIĆA STREET

Kandidat: **LOREN VORIĆ**

Kolegij: **GEOTEHNIKA PROMETNIH GRAĐEVINA**

Diplomski rad broj: **G-2020-6**

Zadatak:

U ovom diplomskom radu prikazano je projektiranje građevinske jame top-down metodom u PLAXIS 3D okruženju. U radu će se opisati metode proračuna građevinskih jama, programski paket za provođenje proračuna, metode kojima se osiguravaju građevinske jame te će bit proveden proračun iste. Rad u PLAXIS 3D okruženju bit će prikazan kroz projekt osiguranja građevinske jame u Ulici Ivana Kukuljevića u Zagrebu. Također, rad će sadržavati rezultate provedenih analiza naprezanja i deformacija pomoću software-a PLAXIS 3D kao i opis lokacije zahvata, tehnički opis osiguranja građevinske jame i troškovnik radova.

Tema rada je uručena: 25. veljače 2020.

Komentor:

dr. sc. Mirko Grošić,
mag. Ing. aedif.

Mentor:

izv. prof. dr. sc. Leo Matešić,
mag. ing. aedif.

IZJAVA

Diplomski rad sam izradio samostalno, u suradnji s mentorom i komentorom i uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.

Loren Vorić

U Rijeci, 31. kolovoza 2020.

ZAHVALA

Zahvaljujem se komentoru prof.dr.sc. Morku Grošiću na smjernicama i korisnim savjetima prilikom izrade diplomskog rada. Također se zahvaljujem Damiru Vidoviću i Marku Šperandi na savjetima prilikom izrade modela i provođenja proračuna u PLAXIS 3D programskom paketu ustupljenom od strane Geotech d.o.o. Rijeka.

Zahvaljujem se svojoj djevojci i obitelji koji su mi bili potpora tokom studiranja i izrade diplomskog rada.

SAŽETAK

Tema ovog diplomskog rada je projektiranje u 3D okruženju pomoću programskog paketa PLAXIS 3D. Rad se sastoji od teorijske obrade i praktične primjene PLAXIS 3D software-a, te obrade metoda proračuna i osiguranja građevinske jame. Kako bi se prikazao rad u PLAXIS 3D okruženju, korišten je projekt stambene zgrade u Ulici Ivana Kukuljevića u Zagrebu. Navedeni objekt se sastoji od tri podzemne etaže i nekoliko nadzemnih etaža te je okružen sa tri višestambena objekta uz parcelu. Predviđeno je osiguranje građevinske jame top-down metodom koja će biti modelirana unutar PLAXIS 3D okruženja. Cilj je prikazati rad u 3D okruženju prilikom projektiranja sa svim prednostima i nedostacima koje isti donosi.

Ključne riječi: 3D, PLAXIS 3D, top-down metoda, građevinska jama, projektiranje

ABSTRACT

The topic of this master thesis is design in 3D environment within the PLAXIS 3D software. The thesis is made of theoretical interpretation and practical use of PLAXIS 3D software with portrayal of analysis methods and methods of construction pit security. To portray working in a PLAXIS 3D environment as an example project of securing the construction pit in the Ivana Kukuljevića street will be used. The building in mentioned project is made of three underground and few aboveground floors and is surrounded by three apartment buildings. To secure the construction pit, top-down method is used and its elements will be modeled and analyzed within the PLAXIS 3D software. The goal of this thesis is to cover working in a 3D environment to certain degree and to show some of its pros and cons.

Key words: 3D, PLAXIS 3D, top-down method, construction pit, design

SADRŽAJ

1. Uvod	1
2. Metode proračuna građevinskih jama.....	2
2.1. Proračun građevinskih jama.....	2
2.2. Koncept metode konačnih elemenata	4
2.3. Povijest metode konačnih elemenata	6
2.4. Primjena metode konačnih elemenata u inženjerstvu	6
2.5. Koraci u rješavanju problema pomoću metode konačnih elemenata.....	7
3. Programski paket za proračun - PLAXIS 3D	9
3.1. Povijest PLAXIS-a	9
3.2. Opis mogućnosti u PLAXIS programu.....	10
3.2.1. Grafičko unos i geometrija modela	10
3.2.2. Istraživačke bušotine (bušotine)	10
3.2.3. Elementi visokog reda	10
3.2.4. Spojeni elementi	11
3.2.5. Ploče	11
3.2.6. Grede	11
3.2.7. Sidra.....	11
3.2.8. Geomoreže ili geotekstili.....	11
3.2.9. Ukopane grede	11
3.2.10. Injektirana sidra	11
3.2.11. Tuneli	12
3.2.12. Opterećenja tla	12
3.2.13. Mohr-Coulomb model	12
3.2.14. Hoek-Brown model.....	12
3.2.15. Napredni modeli tla	12
3.2.16. Modeli tla definirani od strane korisnika	13

3.2.17.	Ispitivanje tla.....	13
3.2.18.	Ortotropno ponašanje konstrukcija.....	13
3.2.19.	Planiranje izvođenja konstrukcije.....	13
3.2.20.	Dinamičke analize.....	14
4.	Metode osiguranja građevinske jame.....	14
4.1.	Piloti i pilotske stijene.....	14
4.2.	Dijafragme.....	18
4.3.	Sidra.....	19
4.4.	Top-down metoda osiguranja građevinske jame.....	22
5.	Projekt stambene zgrade u Ulici Ivana Kukuljevića u Zagrebu.....	24
5.1.	Općenito.....	24
5.2.	Opis lokacije zahvata i konstrukcije.....	24
5.3.	Geološke i geotehničke značajke lokacije.....	25
5.3.1.	Pregled provedenih istraživanja i ispitivanja.....	25
5.3.2.	Stabilnost padine.....	25
5.3.3.	Seizmičnost lokacije.....	26
5.3.4.	Geotehničke značajke lokacije.....	27
6.	Geotehnički proračun građevinske jame.....	31
6.1.	Izrada modela osiguranja građevinske jame u PLAXIS 3D okruženju.....	31
6.2.	Rezultati analize građevinske jame.....	49
6.3.	Dimenzioniranje armiranobetonske dijafragme.....	62
6.3.1.	Dimenzioniranje armiranobetonske dijafragme - strana prema tlu.....	62
6.3.2.	Dimenzioniranje armiranobetonske dijafragme - strana prema iskopu.....	63
7.	Tehnički opis osiguranja građevinske jame.....	64
7.1.	Rješenje osiguranja građevinske jame Top-down metodom.....	64
7.2.	Posebni zahtjevi za izvedbu zaštitne konstrukcije i iskop građevinske jame.....	66
7.3.	Tehnologija i faze izvedbe zaštite građevinske jame.....	67

7.4.	Konstrukcija zaštite građevinske jame.....	70
7.4.1.	Armiranobetonska dijafragma	70
7.4.2.	Armiranobetonska naglavna greda dijafragme.....	71
7.4.3.	Armiranobetonski bušeni piloti - pilotska stijena.....	72
7.4.4.	Armiranobetonski naglavna greda - pilotska stijena	73
7.4.5.	Mlazni beton - pilotska stijena	74
7.4.6.	Štapna sidra - pilotska stijena	75
7.4.7.	Geotehnička kabela sidra	77
7.4.8.	Armiranobetonski bušeni piloti i čelični stupovi.....	78
7.5.	Mjerna oprema i provođenje praćenja	80
8.	Troškovnik radova.....	81
9.	Zaključak	92
	Literatura	94
	Prilozi	97

POPIS SLIKA

Slika 1. Smjer ploha sloma za odgovarajuće pomake u tlu prema Rankinovoj teoriji graničnog stanja plastične ravnoteže (modificirano prema [2]).	3
Slika 2. Stroj za mljevenje/glodanje [6].	5
Slika 3. Diskretizacija stroja za mljevenje/glodanje na konačne elemente [6].	5
Slika 4. Samostalni pilot sa zonom djelovanja (modificirano prema [15]).	15
Slika 5. Piloti u grupi s malim osnim razmakom (modificirano prema [15]).	15
Slika 6. Uvodna konstrukcija [15].	16
Slika 7. Razmaknuta pilotska stijena (modificirano prema [16]).	17
Slika 8. Tangentna pilotska stijena (modificirano prema [16]).	17
Slika 9. Sekantna pilotska stijena (modificirano prema [16]).	18
Slika 10. Grabilica za iskop rovova dijafragmi [15].	19
Slika 11. Elementi štapnog sidra za ojačanje sijense mase: 1) Stijenska masa; 2) element sustava ojačanja (sidro); 3) unutarnja veza elementa ojačanja i stijenske mase; 4) vanjska elementa ojačanja i stijenske mase (modificirano prema [15]).	20
Slika 12. Samobušivo sidro (preuzeto i modificirano prema [17]).	21
Slika 13. Ugrađivanje dijafragmi po obodu građevine [19].	22
Slika 14. Prva faza iskopa [19].	23
Slika 15. Izvođenje međukatne konstrukcije s otvorom za izvlačenje materijala na površinu [19].	23
Slika 16. Prikaz predmetne lokacije na k.č. 1118/1, k.o. Centar [20].	24
Slika 17. Karta poredbenih vršnih ubrzanja temeljnog tla (temeljno tlo tipa A), s vjerojatnošću prekoračenja 10 % u 50 godina, za poredbeno povratno razdoblje $T_{NCR} = 475$ godi (modificirano prema [23]).	26
Slika 18. Poredbena vršna ubrzanja temeljnog tla a_{gR} (temeljno tlo tipa A), za poredbeno povratno razdoblje 95 u 475 godina, uža zona zahvata (modificirano prema [23]).	26
Slika 19. Tablica provedenih laboratorijskih ispitivanja [21].	28
Slika 20. Veza koeficijenta f i indeksa plastičnosti (PI) (modificirano prema [21]).	29
Slika 21. Izbornik s opcijama započinjanja novog projekta ili otvaranja postojećeg.	31
Slika 22. Prozor za dodjeljivanje imena projektu.	32
Slika 23. Prozor za definiranje svojstava projekta.	32
Slika 24. Podloga za izradu modela/projekta.	33
Slika 25. "Model explorer" prozor.	33
Slika 26. "Selection explorer" prozor s prikazom jednog linijskog elementa.	34

Slika 27. Faze izrade modela s pripadajućim alatnim trakama	34
Slika 28. Prozor za definiranje slojeva tla u odnosu na površinu terena te razine podzemne vode.	35
Slika 29. Model tla s odgovarajućim slojevima.	37
Slika 30. Model zaštitne konstrukcije građevinske jame (pogled sa sjevero-zapada).....	43
Slika 31. Model zaštitne konstrukcije građevinske jame (pogled sa jugo-istoka).....	44
Slika 32. Diskretizirani model zaštite građevinske jame.....	45
Slika 33. In-situ model.	46
Slika 34. Treća faza izvođenja.....	46
Slika 35. Četvrta faza izvođenja.....	47
Slika 36. Peta faza izvođenja.....	47
Slika 37. Šesta faza izvođenja.	48
Slika 38. Sedma faza izvođenja.....	48
Slika 39. Osma faza izvođenja.	49
Slika 40. Pomaci modela u prvoj fazi iskopa prikazani spektrom boja.....	50
Slika 41. Pomaci modela u prvoj fazi iskopa prikazani deformiranim elementima.....	50
Slika 42. Pomaci modela u fazi izvedbe prve podzemne međukatne konstrukcije prikazani spektrom boja.	51
Slika 43. Pomaci modela u fazi izvedbe prve podzemne međukatne konstrukcije prikazani deformiranim elementima.....	51
Slika 44. Pomaci modela u drugoj fazi iskopa prikazani spektrom boja.....	52
Slika 45. Pomaci modela u drugoj fazi iskopa prikazani deformiranim elementima.....	52
Slika 46. Pomaci modela u fazi izvedbe druge podzemne međukatne konstrukcije prikazani spektrom boja.	53
Slika 47. Pomaci modela u fazi izvedbe druge podzemne međukatne konstrukcije prikazani deformiranim elementima.....	53
Slika 48. Pomaci modela u trećoj fazi iskopa prikazani spektrom boja.....	54
Slika 49. Pomaci modela u trećoj fazi iskopa prikazani deformiranim elementima.	54
Slika 50. Pomaci modela u fazi izvedbe temeljne ploče konstrukcije prikazani spektrom boja.	55
Slika 51. Pomaci modela u fazi izvedbe temeljne ploče konstrukcije prikazani deformiranim elementima.....	55
Slika 52. Raspodjela pomaka na sjevernoj dijafragmi.	56
Slika 53. Tlocrt objekta sa oznakama položaja anvelopa.....	57

Slika 54. Anvelopa momenata savijanja i poprečnih sila I1.....	58
Slika 55. Anvelopa momenata savijanja i poprečnih sila I2.....	58
Slika 56. Anvelopa momenata savijanja i poprečnih sila J1.	59
Slika 57. Anvelopa momenata savijanja i poprečnih sila J2.	59
Slika 58. Anvelopa momenata savijanja i poprečnih sila S.....	60
Slika 59. Anvelopa momenata savijanja i poprečnih sila Z1.	60
Slika 60. Anvelopa momenata savijanja i poprečnih sila Z2.	61

POPIS TABLICA

Tablica 1. Tipovi temeljnog tla (modificirano prema [24]).....	27
Tablica 2. Rezultati standardnih penetracijskih pokusa (modificirano prema [21]).	28
Tablica 3. Geotehnička jedinica 1 - CL/CH glina, gornji sloj.....	36
Tablica 4. Geotehnička jedinica 2 - CL/CH glina, donji sloj.....	37
Tablica 5. Armiranobeotnska stropna ploča - d = 0,20 m.	38
Tablica 6. Amiranobetonska temeljna ploča - d =0,7 m.....	39
Tablica 7. Dijafragma - d = 0,60 m.	39
Tablica 8. Pilotska stijena - d = 0,40 m.	40
Tablica 9. Armiranobetonski bušeni pilot.	41
Tablica 10. Čelični stup.....	41
Tablica 11. Kabelsko sidro - slobodna dionica.	42
Tablica 12. Štapno sidro - slobodna dionica.	42
Tablica 13. Kabelsko sidro - sidrišna dionica.	42
Tablica 14. Štapno sidro - sidrišna dionica.	43
Tablica 15. Vrijednosti ostvarenih momenata savijanja i poprečnih sila	62

1. UVOD

Projektiranje u geotehničkom inženjerstvu zahtjeva provođenje raznih proračuna stabilnosti, naprezanja, deformacija te dimenzioniranje elemenata. Kako bi se povećala brzina i kvaliteta proračuna, u novije vrijeme, sve češće se koriste numeričke metode. Najpoznatije numeričke metode su metode konačnih elemenata i konačnih razlika. Neki od programa koji koriste navedene metode za provođenje analiza su PLAXIS (2D i 3D), FLAC, Rocscience, GeoStudio, itd. Za potrebe izrade ovog rada korišten je programski paket PLAXIS 3D.

Cilj ovog diplomskog rada je prikazati primjenu 3D okruženja u projektiranju geotehničkih konstrukcija. Modeliranjem 3D modela dobiva se uvid u konstrukciju kao cjelinu čime se mogu dobiti pouzdaniji rezultati nego projektiranjem unutar 2D okruženja.

Predmet ovog rada je projektiranje osiguranja građevinske jame korištenjem top-down metode modelirane u 3D okruženju. Projektirana građevinska jama nalazi se u Ulici Ivana Kukuljevića u Zagrebu. Na predmetnoj lokaciji predviđena je izgradnja stambenog objekta s tri podzemne etaže. Vanjske zidove podzemnih etaža sačinjavaju dijafragme ojačane geotehničkim kabelskim sidrima. Također, uz zaštitu jame dijafragmom, korištena je i pilotska stijena na zapadnoj strani objekta kroz čiju naglavnu gredu prolaze štapna sidra. Predmetni objekt omeđen je zgradama sa sjeverne, južne i zapadne strane te prometnicom na istočnoj strani. Iz razloga ograničenog prostora korištena je top-down metoda kako bi se reducirali troškovi izgradnje (primjena razupora umjesto privremenih sidara) i izbjegla sidrenja u susjedne parcele.

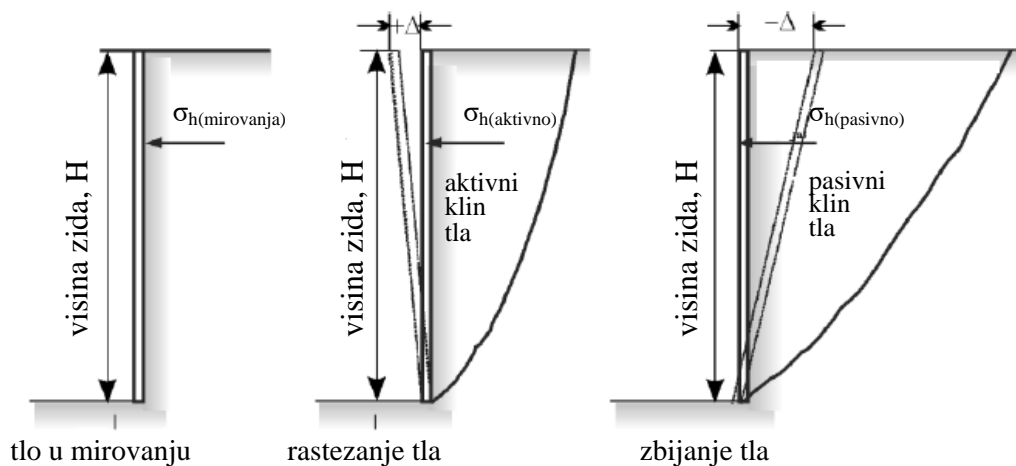
Rad se sastoji od dva dijela: teorije rada programskog paketa i primjene istog na primjeru osiguranja građevinske jame. U prvom dijelu rada bit će razrađena teorija korištenog programskog paketa, metode kojima se provodi proračun unutar istog te metode pomoću kojih se osiguravaju građevinske jame. Drugi dio fokusira se na prikaz osnovnih informacija o lokaciji projektiranog objekta, rada unutar PLAXIS 3D programskog paketa, tehničkog opisa te troškovnika radova.

2. METODE PRORAČUNA GRAĐEVINSKIH JAMA

2.1. Proračun građevinskih jama

Građevinskom jamom smatra se prostor unutar kojeg je potrebno osigurati siguran rad izvođača na način da se stjenke iskopa osiguraju određenim konstrukcijama [1]. Proračun takvih konstrukcija provodi se u tri koraka. Prvim korakom potrebno je odrediti bočne pritiske na cjelovitu građevinu i dimenzionirati ju tako da bude stabilna i sigurna. Ovakav proračun naziva se geotehnički proračun. Zatim je potrebno dimenzionirati pojedine dijelove potpornih konstrukcija na definirana naprezanja dobivena prvim korakom. Pod ove proračune smatraju se proračuni drvenih, metalnih, zidanih, betonskih, armiranobetonskih i drugih složenih i sofisticiranih građevina. U konačnici, potrebno je provjeriti stabilnost projektirane potporne građevine zajedno s tlom u kojem se izvodi kao jedinstvenom cjelinom. Treći korak svrstava se u geotehničke proračune analiza stabilnosti [2].

Tlo je površinski sloj Zemljine kore s vrlo složenim ponašanjem te je zbog toga prilikom oblikovanja matematičkih i fizikalnih modela potrebno teoriju prilagoditi razmatranom slučaju. Za neke slučajeve, zadovoljavajuće rezultate daje teorija elastičnosti dok se za proračunavanje loma u klasičnoj mehanici tla koristi teorija graničnih stanja plastične ravnoteže. U toj se teoriji pretpostavlja da se do trenutka dostizanja maksimalnog naprezanja ne pojavljuju nikakve deformacije. Nakon što se dosegne kritična vrijednost naprezanja dolazi do loma te naprezanje više ne raste, a deformacija raste do trenutka promjene geometrije koja pokrenuto tijelo dovodi do stanja ravnoteže. Odnos vertikalnog i horizontalnog naprezanja u tlu promjenjiv je u zavisnosti o veličini deformacije i njenom smjeru. Objašnjenje teorije plastičnosti daje Rankin u radu "On stability of loose earth" [3]. Potreban smjer pomaka i ploha sloma za odgovarajuće Rankinovo granično stanje naprezanja prikazano je slikom 1 [2].



Slika 1. Smjer ploha sloma za odgovarajuće pomake u tlu prema Rankinovoj teoriji graničnog stanja plastične ravnoteže (modificirano prema [2]).

Suvremena rješenja sve češće uključuju Rankinovu teoriju preko modela tla prilikom rješavanja problema vezanih uz proračun potpornih konstrukcija. Navedena rješenja bliska su teoriji elastičnosti i prihvaćaju deformacijska svojstva tla ne kao konstante, već kao promjenjive veličine dobivene iz prirodnog ponašanja tla pod opterećenjem. Deformacije i teoriju graničnih stanja moguće je putem konstitutivnih jednadžbi uklopiti u složene proračune koji koriste numeričke analize. Navedena granična stanja plastične ravnoteže zasnivaju se na poznavanju Mohr-Coulombovog zakona čvrstoće, odnosno na poznavanju parametara kohezije (c) i kuta unutarnjeg trenja (φ) [2].

U današnjici se, pomoću računalnih programa omogućuje korištenje i primjena raznih modela tla i proračuna [2]. Jedna od najrazvijenijih metoda proračunavanja građevinskih jama je metoda numeričkog modeliranja pomoću metode konačnih elemenata. Navedena metoda se koristi prilikom analiziranja naprezanja i deformacija te samim time i za dimenzioniranje konstrukcija i dijelova konstrukcija prilikom projektiranja osiguranja građevinskih jama.

Analiziranjem deformacija i naprezanja dobivaju se sile, opterećenja, pomaci i momenti na promatranu konstrukciju i njene dijelove. Navedene analize predstavljaju osnovu ili polazni točku za dimenzioniranje konstrukcija, kako u geotecnici tako i u ostalim granama građevine. Analize stanja naprezanja i deformacija najčešće se provode numeričkim i analitičkim metodama. S pogleda praktičnosti, u današnje vrijeme primjena numeričkih metoda je sve učestalija. Jedan od razloga tomu je svakodnevna primjena računalnih programa za rješavanje inženjerskih problema. Navedenim metodama se lakše

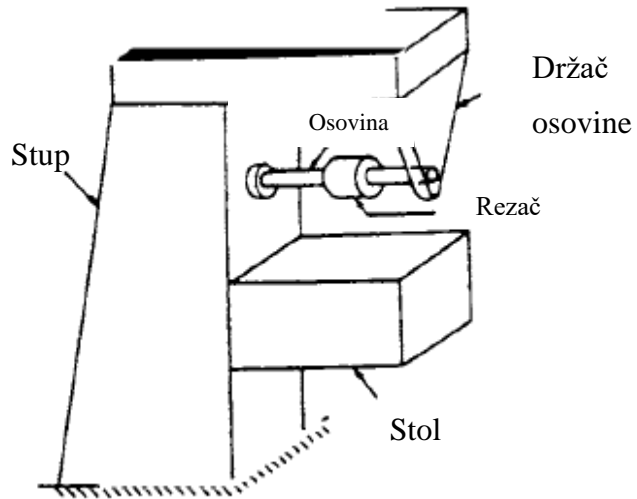
modelira i rješava složena problematika u inženjerstvu kao što su 3D modeli i nelinearnost. Većina računalnih programa bazira svoja rješenja na metodi konačnih elemenata što znatno ubrzava dobivanje traženih naprezanja i deformacija u tlu i konstrukciji usporedno s ručnim računanjem istih [4]. Osim navedenog, primjenom metoda konačnih elemenata i konačnih razlika točnost dobivenih rezultata je znatno veća nego klasičnim metodama, a uz to je moguće provoditi parametarske analize.

Kao što je već navedeno, rezultat analiza naprezanja i deformacija su momenti, poprečne sile i pomaci na temelju kojih se dimenzioniraju određeni elementi konstrukcije. Prilikom dimenzioniranja dijafragmi na temelju dobivenih rezultata momenata savijanja i poprečne sile određuje se njena geometrija i potrebna armatura. Isto tako, na temelju dobivenih rezultata dimenzioniraju se i piloti i pilotske stijene, dok se prilikom dimenzioniranja sidara na temelju rezultata analiza, proračunava nosivost sidra, duljina sidrišne dionice i slično [5].

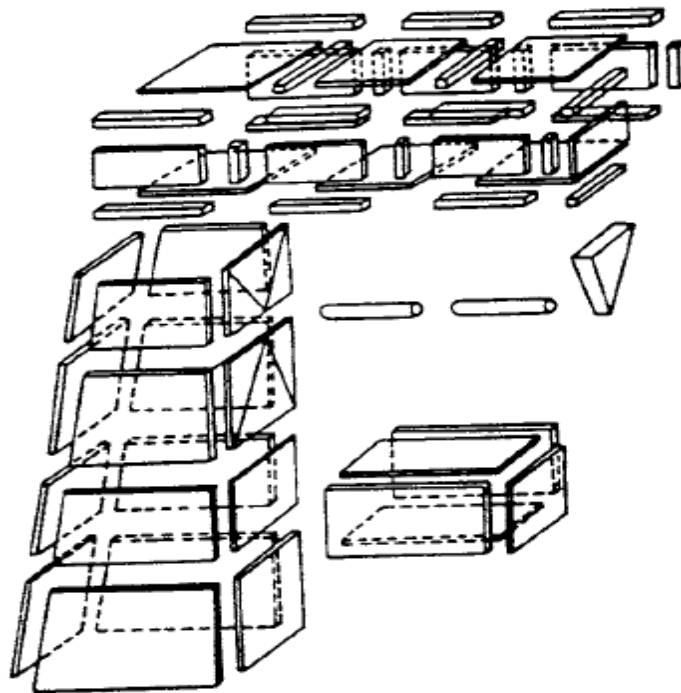
2.2. Koncept metode konačnih elemenata

Metoda konačnih elemenata (eng. Finite Element Method) se temelji na zamjeni kompleksnih problema jednostavnijim. Zbog svođenja kompleksnih problema na jednostavnije potrebno je uzeti u obzir da je rješenje problema približno točno, odnosno da ono nije sasvim precizno. S obzirom da je rješenje kompleksnog problema matematički nemoguće dobiti, svođenje na jednostavniji problem primjenom metode konačnih elemenata dobiva se približno točan rezultat koji se smatra dovoljno točnim. Također, metodu konačnih elemenata se uvijek može modificirati i poboljšati te dobiti još točniji rezultat s obzirom na prethodni [6].

U metodi konačnih elemenata smatra se da je područje traženog rješenja sastavljeno od malih međusobno povezanih podregija koje se nazivaju konačni elementi. Kao primjer podjele neke regije na konačne elemente poslužiti će slike 2 i 3. Na slici 2 prikazan je stroj za mljevenje/glodanje, a na slici 3 prikazan je isti stroj samo podijeljen na elemente, u ovom slučaju "konačne elemente". Kako bi se našli pomaci i sile unutar stroja prilikom njegova rada potrebno je stroj podijeliti na više manjih elemenata [6].



Slika 2. Stroj za mljevenje/glodanje [6].



Slika 3. Diskretizacija stroja za mljevenje/glodanje na konačne elemente [6].

Nakon podjele stroja na konačne elemente moguće je naći rješenje manjih elemenata te ih ujediniti u jedinstveno rješenje. Ovo je jednostavan primjer diskretizacije geometrije na elemente pomoću kojih se dobivaju željena rješenja problema [6].

2.3. Povijest metode konačnih elemenata

Ideja metode konačnih elemenata prezentirana je u radovima Turnera, Clougha, Martina i Toppa [7] te u radu Argyrisa i Kelsaya [8], a samo ime predložio je Clough u svojem radu "The Finite Element Method in Plane Stress Analysis" [9]. U radu Turnera, Clougha, Martina i Toppa [7] predstavljena je primjena jednostavnih konačnih elemenata za analiziranje strukture letjelica te se rad smatra jednim od ključnih doprinosa u daljnjem razvoju metode konačnih elemenata. Knjiga "The Finite Element Method for Solid and Structural Mechanics" [10] predstavlja široku interpretaciju metode konačnih elemenata i njenu primjenjivost na bilo koji opći problem na terenu. S takvom opširnom interpretacijom metode konačnih elemenata utvrđeno je da je moguće primijeniti Glakernikovu metodu ili metodu najmanjih kvadrata za dobivanje jednadžbi konačnih elemenata. Na osnovi toga razni matematičari primjenjuju metodu konačnih elemenata za dobivanje rješenja linearnih i ne linearnih diferencijalnih jednadžbi [6].

2.4. Primjena metode konačnih elemenata u inženjerstvu

Kao što je prethodno navedeno, metoda konačnih elemenata razvijena je radi analiziranja strukture letjelica, ali zbog opće prirode metode, u današnje vrijeme se primjenjuje na razne granične probleme u inženjerstvu. Granični problemi su oni čije se rješenje traži unutar domene tijela na koje su primijenjeni zadovoljavajući rubni uvjeti s odgovarajućim varijablama ili njihovim derivacijama. Tri glavne kategorije u kojima se primjenjuje metoda konačnih elemenata u inženjerstvu su (i) ravnotežno stanje, stacionarno stanje ili vremenski neovisni problemi, (ii) problemi svojstvenih vrijednosti i (iii) problemi širenja [6].

U jednadžbama ravnoteže pomoću metode konačnih elemenata pronalaze se rješenja za pomake u stacionarnom stanju ili raspodjelu naprezanja ukoliko se radi o mehanici čvrstoće, raspodjele temperature ili toplinskog toka ukoliko se bavi sa problemima raspodjele topline te protoka ukoliko se gleda problematika mehanike fluida [6].

Problemi svojstvenih vrijednosti smatraju se kao nastavak rješavanja ravnotežnih problema u kojima se određuju kritične vrijednosti određenih parametara u odnosu na konfiguraciju stacionarnog stanja. Unutar ovih problema pronalaze se rješenja za prirodne frekvencije i bočno naprezanje ukoliko se radi o mehanici čvrstoće, stabilnost laminarnog

toka unutar problema mehanike fluida te rješenja karakteristične rezonancije ukoliko se radi o problematici električnog kruga [6].

Problemi širenja ovisni su o vremenu za razliku od prethodno navedenih. U ove probleme se svrstava pronalazak rješenja o ponašanju tijela unutar nekog vremena. Ono se odnosi na probleme unutar mehanike čvrstoće i unutar naglih promjena temperature u problematici prijenosa topline [6].

2.5. Koraci u rješavanju problema pomoću metode konačnih elemenata

Rješavanje problema kontinuuma pomoću metode konačnih elemenata uvijek prati proces rješavanja problema u više koraka ili faza. Koraci u rješavanju problema su: (i) diskretizacija modela, (ii) odabir odgovarajućeg interpolacijskog modela, (iii) derivacija matrice krutosti i vektora opterećenja, (iv) spajanje jednažbi elemenata kako bi se dobila jednažba ravnoteže, (v) pronalazak rješenja nepoznatih pomaka čvorova, (vi) proračun naprezanja unutar elemenata [6].

Diskretizacija modela je prvi korak u metodi konačnih elemenata. U ovom koraku se model dijeli na manje regije i elemente čiji je broj, oblik i veličinu potrebno pažljivo odabrati kako bi se što točnije opisao model [6].

Kako se kompleksni problem pojednostavljuje, potrebno je odabrati odgovarajuću interpolaciju modela te je potrebno pretpostaviti jednostavno rješenje unutar elemenata kako bi se moglo pristupiti rješavanju problema. Pretpostavljeno rješenje mora biti jednostavno iz pogleda proračunavanja, ali mora zadovoljavati određene uvijete [6].

Nakon pretpostavljanja pomaka matrica krutosti i vektor opterećenja se deriviraju korištenjem uvjeta ravnoteže ili odgovarajućeg načela varijacije [6].

S obzirom da je model podijeljen na elemente potrebno je njihove matrice krutosti i vektore opterećenja spojiti na odgovarajući način te im jednažba ravnoteže mora glasiti [6]:

$$[K]\vec{\phi} = \vec{P} \quad (1)$$

gdje je:

[K] - jedinstvena matrica krutosti

$\vec{\phi}$ - vektor pomaka čvorova

\vec{P} - vektor sila u čvorovima

Jednadžbu ravnoteže potrebno je modificirati prema rubnim uvjetima promatranog problema. Prilikom rješavanja linearnih problema vrlo je jednostavno dobiti rješenje za vektor pomaka čvorova, dok se kod nelinearnih problema do rješenja dolazi modificiranjem matrice krutosti ili vektora opterećenja. Kako bi se izračunalo naprezanje unutar elementa potrebno je uvrstiti rješenje dobivenih čvornih pomaka u jednadžbe strukturalne mehanike i mehanike čvrstoće [6].

3. PROGRAMSKI PAKET ZA PRORAČUN - PLAXIS 3D

3.1. Povijest PLAXIS-a

Na upit nizozemskog ministarstva javnih radova u sedamdesetim godinama prošlog stoljeća profesori i studenti doktorskog studija Tehničkog sveučilišta u Delftu provode istraživanje o primjeni metode konačnih elemenata u geotehničkom projektiranju. Razlog provođenja ovakvog istraživanja je potreba da se predvidi mogući pomak poznate nizozemske brane "Oosterschelde" koja štiti važan dio nizozemske od poplava [11].

Rezultat navedenog istraživanja bio je programski kod koji je omogućio provođenje elasto-plastičnih proračuna ravninskih (plošnih) naprezanja temeljenih na elementima visokog reda. Tokom daljnje nadogradnje koda omogućeno je rješavanje aksijalno simetričnih problema uz proračune ravninskih (plošnih) naprezanja te se prvi put iskorištava riječ Plaxis kao skraćenica za plastičnu aksijalnu simetriju (eng. plastic axyal-symetry) [11].

Godine 1986., nizozemsko ministarstvo javnih poslova i Tehničko sveučilište u Delftu počinju sa promocijom korištenja metode konačnih elemenata za praktične probleme u geotehničkom inženjerstvu. Radi ovog koraka 1993. godine donosi se odluka o pokretanju start-up firme pod nazivom Plaxis bv. koja će dalje nadograđivati kod napisan od strane sveučilišta. Od osnutka, firma uz pomoć vanjskih suradnika razvija software za projektiranje u geotehnici. Neki od većih postignuća u razvoju software-a devedesetih godina su implementacija novih čvrstih i mekih modela tla uključujući puzanje u tlu, migraciju programa sa MS-DOS platforme na Windows platformu, ugradnja dinamičkog modula u Plaxis te ekspanzija korištenja software-a izvan Nizozemske [11].

Početak 21. stoljeća pokazalo se da je metoda konačnih elemenata pozitivno prihvaćena u rješavanju problematike geotehničkog inženjerstva te se broj korisnika PLAXIS-a povećavao iz dana u dan. Od tada do danas PLAXIS je izdao prvu trodimenzionalnu verziju software-a pod nazivom PLAXIS 3D Tunnel, predstavio je proračun toka podzemne vode pomoću PlaxisFlow-a, izdao PLAXIS 3D Foundation, razvio naprednije modele tla te izdao veliki broj novih software-a uz poboljšanje starih [11]. Plaxis programski paket, 2018. godine, kupuje grupacije Bentley u vidu nadopune svojih programskih paketa za projektiranje u geotehničkom inženjerstvu [12].

3.2. Opis mogućnosti u Plaxis programu

PLAXIS je programski paket koji koristi metodu konačnih elemenata za dvodimenzionalnu ili trodimenzionalnu analizu deformacija, stabilnosti, dinamičku analizu i analizu toka podzemne vode. Programiran je tako da omogućuje izradu naprednih konstitutivnih modela koji simuliraju nelinearno, vremenski ovisno i anizotropno ponašanje tla ili stijenske mase. Osim ponašanja tla u PLAXIS-u je moguće modelirati geotehničke konstrukcije te provoditi analize međusobne interakcije tla i konstrukcije. Modeliranje geotehničkih problema u PLAXIS-u sastoji se od pet faza izrade modela, a svaka od faza u sebi nudi mnoštvo različitih opcija potrebnih za izradu realnih modela. Neke od mogućnosti PLAXIS programskog paketa bit će opisane u nastavku [13].

3.2.1. Grafičko unos i geometrija modela

Modele tla koji uključuju geometriju tla, konstrukcije, opterećenja na tlo i konstrukciju te rubne uvijete moguće je iz AutoCAD-a implementirati u PLAXIS programski paket. Tim načinom dobivaju se detaljni modeli geotehničkih problema. Nakon unosa crteža i dodjeljivanja odgovarajućih parametara tla i konstrukcije moguće je s lakoćom generirati mrežu konačnih elemenata pomoću kojih će se analizirati dani problemi [13].

3.2.2. Istraživačke bušotine (bušotine)

Pomoću naredbe bušotina (eng. boreholes) definiraju se slojevi tla u modelu, a pomoću više bušotina smještenih na različitim mjestima moguće je definirati površine (granicu između geotehničkih jedinica) koje nisu horizontalne i pravilne. Nakon unosa više bušotina s različitim nadmorskim visinama i različitim visinama slojeva, PLAXIS automatski interpolira površinu i slojeve tla između zadanih bušotina [13].

3.2.3. Elementi visokog reda

PLAXIS 2D i PLAXIS 3D posjeduju različite geometrije elemenata, tako se u PLAXIS 2D-u elementi sastoje od kvadratnih šestero čvornih i trokutastih petnaesto čvornih elemenata, dok su elementi u PLAXIS 3D-u definirani deseto čvornim kvadratnim tetraedarom [13].

3.2.4. Spojeni elementi

Moguće je koristiti spojene elemente za modeliranje interakcije između tla i konstrukcije kao npr. simuliranje tanke zone intenzivno smičućeg materijala na kontaktu tunelske cijevi i tla/stijene koje ga okružuju [13].

3.2.5. Ploče

Pomoću ploča moguće je modelirati tanke konstrukcije u tlu sa značajnom čvrstoćom na savijanje. Ploče je također moguće definirati kao elastične ili nelinearne elastoplastične te se primjenjuju u modeliranju pilotskih stijena, dijafragmi i zidova [12].

3.2.6. Grede

Elementi greda se koriste za modeliranje jedno-dimenzionalnih konstrukcija sa značajnom krutošću na savijanje kao i za pločaste elemente. Također, kao i pločasti elementi, gredni elementi mogu biti elastični ili nelinearno elastoplastični [13].

3.2.7. Sidra

Sidra i zatege se definiraju kao elastoplastični opružni elementi čije se ponašanje definira pomoću normalne čvrstoće i maksimalne sile [13].

3.2.8. Geomreže ili geotekstili

Geomreže ili geotekstili se najčešće koriste pri projektiranju ojačanja kosina ili kod konstrukcija koje stabiliziraju tlo. Također, mogu biti simulirani u PLAXIS programskom paketu koristeći opciju za specijalno napregnute elemente. Ponašanje geomreža definira se parametrima normalne čvrstoće i maksimalne tangencijalne sile [13].

3.2.9. Ukopane grede

Ovo su specijalni elementi koji se sastoje od grednih elemenata sa ukopanim dijelovima kako bi se opisala interakcija pilota, sidra i injektiranog tijela sa tlom ili stijenom u koju je ugrađeno. Ukopane grede se smatraju elastoplastičnim te se njihova čvrstoća definira pomoću njihove nosivosti [13].

3.2.10. Injektirana sidra

Elementi injektiranih sidara sastoje se od štapnih "node-to-node" sidara i ukopanih grednih elemenata. Ponašanje sidara definirano je normalnom čvrstoćom i maksimalnom silom. Ovi elementi se koriste kako bi se opisala interakcija sidara s tlom, odnosno kako bi

se definirala sidra s injekcijskom smjesom. Injekcijska smjesa se definira pomoću njene nosivosti te je također moguće prednapeti štapna sidra s kojima injekcijska smjesa ima interakciju [13].

3.2.11. Tuneli

Unutar PLAXIS programskog paketa moguće je definirati tunele kružnog i proizvoljnog oblika. Stjenke tunela definiraju se kao plošni elementi koji imaju blisku interakciju s tlom ili stijenom koja ga okružuje. Također, moguće je modelirati sidra koja se koriste kao primarna podgrada tunela, odnosno ojačanje i osiguranje tla ili stijenske mase u kojem se izvodi tunelska cijev [13].

3.2.12. Opterećenja tla

Unutar PLAXIS programskog paketa moguće je definirati razna opterećenja tla kao što su linijska, koncentrirana i raspodijeljena opterećenja te ih aktivirati po potrebi u različitim fazama modeliranja [13].

3.2.13. Mohr-Coulomb model

Ovaj ne linearan model tla baziran je na parametrima koji se koriste u većini praktičnih inženjerskih situacija, odnosno prilikom svakodnevnog projektiranja. Mohr-Coulombov model se koristi prilikom provođenja proračuna nosivosti ili prilikom proračunavanja popuštanja temelja kao i kod proračuna popuštanja gdje tlo ima dominantnu funkciju. Također ga je moguće koristiti prilikom proračunavanja faktora sigurnosti korištenjem pristupa umanjivanja kuta unutarnjeg trenja i kohezije u tlu (eng. phi-c reduction)

3.2.14. Hoek-Brown model

Hoek-Brown model tla se koristi prilikom definiranja čvrstoće intaktne ili trošne stijenske mase te je baziran na poznatom Hoek-Brownovom kriteriju popuštanja [13].

3.2.15. Napredni modeli tla

U PLAXIS programskom paketu dostupni su napredni modeli koji se koriste za opise raznih događaja u tlu kao što su likvefakcija, očvršćivanje tla prilikom njegova zbijanja i slično. Model očvršćivanja tla (eng. Hardening soil model) dopušta provođenje analiza plastičnog zbijanja i plastičnog smicanja izazvano devijacijskim opterećenjem. Za analizu povećanja čvrstoće tla malim naprezanjem koristi se model očvršćivanja tla sa

ukrućivanjem pri malom opterećenju. Prilikom analiziranja ponašanja ovisnog o vremenu i logaritamskoj kompresiji normalno konsolidiranih mekih tala razvijen je puzajući model tla (eng. Creep model). Također postoje modeli tla za procjenu likvifikacijskog ponašanja u dinamičkim uvjetima nekoherentnih tala pod nazivom UBC3D-PLM i PM4Sand. Za simuliranje očvršćivanja betona i mlaznog betona u ovisnosti o vremenu, te puzanja i skupljanja betona, PLAXIS programski paket u sebi ima betonski model (eng. Concrete model). Uz prethodno navedene modele PLAXIS programski paket još sadrži mnoštvo drugih naprednih modela [13].

3.2.16. Modeli tla definirani od strane korisnika

Ova opcija omogućuje korisnicima da implementiraju modele tla koje su sami programirali za rješavanje problema u PLAXIS okruženju. Ova opcija se najčešće koristi prilikom istraživanja od strane znanstvenika i istraživača na sveučilištima i istraživačkim institutima [13].

3.2.17. Ispitivanje tla

Unutar PLAXIS programskog paketa postoji mogućnost testiranja ponašanja tla zadanih parametara. Nakon unošenja parametara modela moguće je simulirati nekolicinu standardnih pokusa koji se provode u laboratoriju i usporediti rezultate stvarnih laboratorijskih ispitivanja s onim simuliranim unutar programa PLAXIS [13].

3.2.18. Ortotropno ponašanje konstrukcija

Ponašanje određenih konstrukcija unutar programa moguće je definirati kao linearno elastičan ortotropan materijal. Ova opcija se odnosi na grede, plošne elemente i geomreže. Također, moguće je imitirati, do određene granice, ortotropnu geometriju plošnih elemenata [13].

3.2.19. Planiranje izvođenja konstrukcije

Ova opcija unutar PLAXIS programskog paketa dozvoljava realno simuliranje izgradnje objekata i izvođenja iskopa na način da se aktiviraju i deaktiviraju elementi, opterećenja, izmjenjuje razina vode i slično [13].

3.2.20. Dinamičke analize

Model dinamičke analize omogućuje provođenje analiza vibracija i velikih kretnji u tlu. Unutar ove analize postoje posebni rubni uvjeti za provođenje analiza stabilnosti za vrijeme potresa [13].

Osim gore navedenih opcija, programski paket Plaxis 3D posjeduje niz ostalih funkcija i opcija koje znatno olakšavaju rješavanje inženjerskih problema u geotehničkom inženjerstvu.

4. METODE OSIGURANJA GRAĐEVINSKE JAME

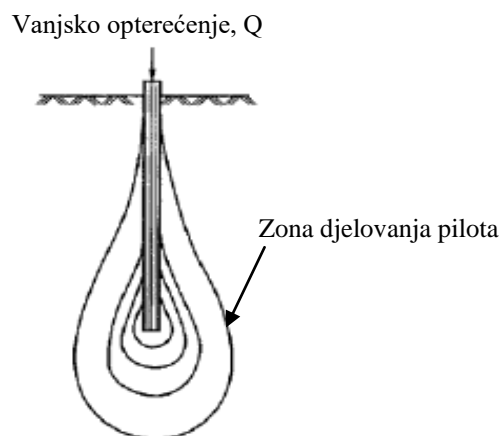
Građevinska jama je prostor koji osigurava siguran rad prilikom izvođenja temelja i podzemnih građevina [14]. Građevinsku jamu moguće je osigurati na razne načine, a oni ovise o samom razmišljanju inženjera, mogućnostima na terenu te dostupnoj tehnologiji izvedbe. Također, metode izvođenja osiguranja građevinske jame ovise o [14]:

- osobinama materijala u kojima se gradi,
- položaju temeljne plohe prema najvišoj razini podzemne vode i
- dubini temelja ispod površine terena.

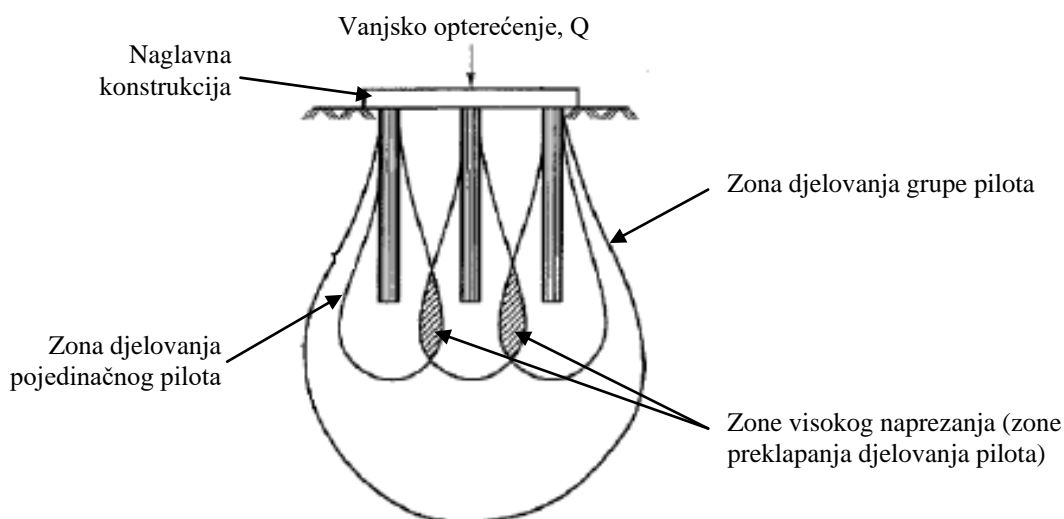
Pod građevinsku jamu podrazumijevaju se iskopi raspona od vrlo plitkih kao što su iskopi za plitke temelje pa sve do dubokih iskopa za podzemne građevine [14]. Radi takvog opisa istu je moguće osigurati horizontalnim razuporama ukoliko se radi o uskim i relativno niskim jamama. U slučaju dubokih i složenih iskopa, jama se osigurava pilotskim stijenama, dijafragmama, sidrima, mlaznim injektiranjem ili kombinacijom prethodno navedenih metoda. Jedna od metoda koja kombinira više osiguranja je takozvana "Top-down" metoda koja će biti opisana u nastavku.

4.1. Piloti i pilotske stijene

Piloti su duboki temelji čija je duljina znatno veća od njihovog poprečnog presjeka. Oni predstavljaju stupove izvedene u tlu čija je zadaća prenošenje sila građevine na sloj nosivog tla ili stijene. Mogu djelovati kao samostalni temelji (Slika 4) ili u grupi spojeni naglavnom gredom (Slika 5). Također, piloti se mogu dijeliti po načinu kako njihova izvedba utječe na njihovu nosivost, način izvedbe i materijalu pilota [15].



Slika 4. Samostalni pilot sa zonom djelovanja (modificirano prema [15]).



Slika 5. Piloti u grupi s malim osnim razmakom (modificirano prema [15]).

Na pilote se također može gledati kao na potpornu konstrukciju. Kao potporne konstrukcije oni se izvode u grupama te se uvrštavaju pod ugrađene potporne konstrukcije. Ugrađene potporne konstrukcije se izvode na način da se posebnom tehnologijom izvedbe (bušenjem, pobijanjem, iskopom rovova itd.) izvode u temeljnom tlu [15].

Sustav pilota koji se koristi kao potporna konstrukcija izvodi se u nizu te se naziva pilotska stijena. Pilotska stijena se izvodi kao neprekidni niz betonskih ili armiranobetonskih pilota koji se mogu izvoditi na određenom razmaku sa prazninom između (eng. *Soldier piles*), jedan do drugoga da im se rubovi dotiču (eng. *Contiguous piles*) i kao sustav armiranih i ne armiranih pilota koji se međusobno preklapaju (eng. *Secant piles*) [15].

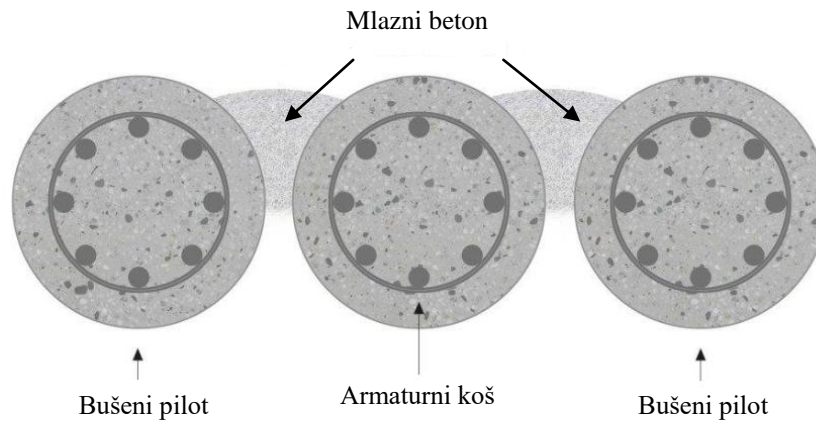
Pilotske stijene se najčešće izvode od bušenih pilota u nizu. Prije samog početka izvođenja pilota potrebno je izvesti uvodnu konstrukciju uvodnice od nearmiranog betona (Slika 6) kako bi se osiguralo što točnije pozicioniranje pri početku bušenja [15].



Slika 6. Uvodna konstrukcija [15].

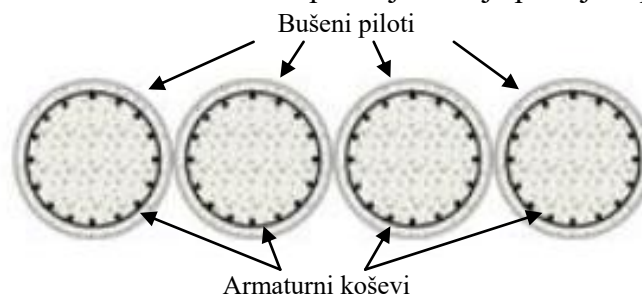
Nakon bušenja u rupe se postavlja armatura te se kontraktor postupkom betonira pilot. Kontraktor postupak se provodi betoniranjem od dna prema vrhu tako da je osiguran konstantan protok betona te se mlaznica kroz koju se dovodi beton postupno diže prema vrhu kako napreduje betoniranje. Prilikom izvođenja na vrhu se skuplja tzv. nečisti sloj betona koji je potrebno obiti i ukloniti. Nakon što su izvedeni svi piloti i uklonjen je sloj nečistog betona, isti se povezuju naglavnim gredom kako bi funkcionirali kao jedna cjelina. Sukcesivno sa napredovanjem iskopa potrebno je ugrađivati razupore ili sidra kako bi se osigurala potrebna stabilnost geotehničke konstrukcije. Lice građevinske jame se može još dodatno zaštititi slojem mlaznog betona koji može biti armiran ili nearmiran [15].

Pilotska stijena od razmaknutih pilota (eng. *Soldier piles*) formira se tako da se piloti izvode na razmaku većem od njihovog promjera (Slika 7). Najčešće se primjenjuju u pretežito koherentnim tlima gdje ne postoji mogućnost urušavanja materijala između pilota. Također je moguće ugraditi slojeve mlaznog betona i armaturne mreže kako bi se dodatno stabilizirao materijal. Prednosti ovako izvedenih pilota su: brza, jeftina i jednostavna izvedba i prilagodljivost u fazi izvođenja radova [16].



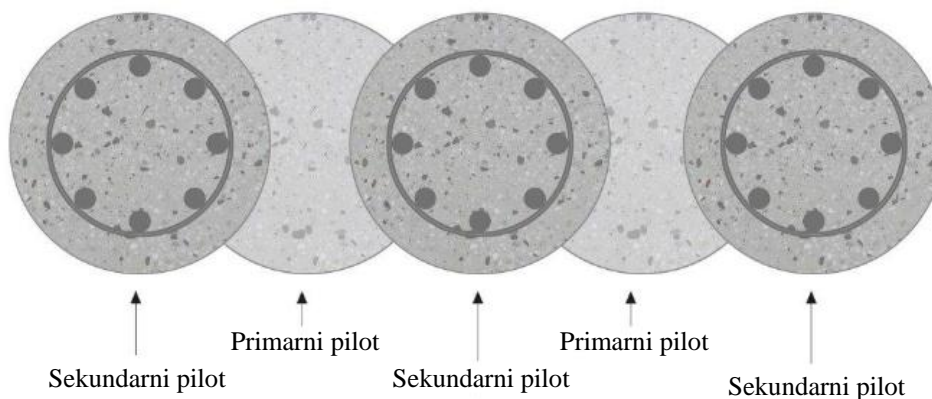
Slika 7. Razmaknuta pilotska stijena (modificirano prema [16]).

Tangentna pilotska stijena (eng. *Contiguous piles*) se sastoji od pilota koji se međusobno dodiruju, ali ne preklapaju (Slika 8). Kao posljedica toga potrebno je armirati sve pilote unutar pilotske stijene. Ovakva vrsta pilotske stijene se ne koristi često, ali ima veću nosivost od pilotske stijene s razmaknutim pilotima. Kako bi se piloti dodirivali, ali ne i preklapali potreban razmak između osi pilota jednak je promjeru pilota [16].



Slika 8. Tangentna pilotska stijena (modificirano prema [16]).

Sekantna pilotska stijena (eng. *Secant piles*) formira se preklapanjem betonskih pilota (Slika 9). Ova vrsta pilotske stijene se izvodi u fazama. Prva faza uključuje izvedbu primarnih pilota koji su uglavnom ne armirani. Nakon betoniranja pilota i postizanja odgovarajuće čvrstoće izvode se sekundarni piloti koji se buše kroz tlo i djelomično kroz primarne pilote. Preklapanje primarnih i sekundarnih pilota iznosi 10-20 % promjera pilota. Nakon bušenja sekundarnih pilota u bušotine se ugrađuju armaturni koševi ili čelični profili te se betoniraju. Primarni piloti imaju ulogu ispune te se najčešće izvode od betona niže čvrstoće. Osni razmak u ovakvoj pilotskoj stijeni je manji od promjera pilota. Prednosti izvođenja sekantne pilotske stijene su: veća krutost i mogućnost prihvatanja većeg opterećenja, moguća izvedba i kontrola iskopa u nekoherentnim materijalima i mogućnost brtvljenja građevinske jame. Dok su nedostaci: potreba za velikom točnošću izvedbe, teško postizanje vodonepropusnosti spojeva i visoka cijena [16].



Slika 9. Sekantna pilotska stijena (modificirano prema [16]).

4.2. Dijafragme

Dijafragme se koriste za osiguranje vertikalnih iskopa građevinskih jama gdje mogu i služiti kao nosivi zidovi podzemskih objekata. To je vrsta ugrađene potporne konstrukcije koja se izvodi kopanjem rovova i polaganjem predgotovljenih armiranobetonskih elemenata u njih ili postavljanjem armaturnih koševa u rovove koji će naknadno biti ispunjeni betonom [15].

Monolitne dijafragme izvode se na način da se prvo napravi uvodnica kako bi se definirao njihov točan položaj. Kako bi se osigurala stabilnost zidova, iskop se radi pod vodom čija je razina iznad razine podzemne vode. Da ne bi došlo do otjecanja vode iz iskopa u okolno tlo, u nju se dodaju dodaci poput gline ili bentonita. Takva smjesa naziva se isplakom. Ista ima veću gustoću od vode pa se stvara horizontalni pritisak na stjenke iskopa i time se sprječava urušavanje istih [15]. Iskop dijafragme vrši se grabilicom prikazanom slikom 10.



Slika 10. Grabilica za iskop rovova dijafragmi [15].

Debljina zidova dijafragme kreće se od 400 do 800 mm, a u nekim slučajevima može biti od 1000 do 1200 mm. Maksimalna dubina do koje se izvodi dijafragma iznosi 30 m. S obzirom na način izvedbe i ugradnje dijafragme dijelimo na monolitne i predgotovljene. Monolitne dijafragme izvode se u nekoliko faza [15]:

- iskop primarnih kampada grabilicom uz ispunu isplakom,
- polaganje armaturnih koševa u iste,
- betoniranje primarnih kampada,
- iskop sekundarnih kampada grabilicom uz ispunu isplakom,
- polaganje armaturnih koševa u sekundarne kampade i
- betoniranje istih.

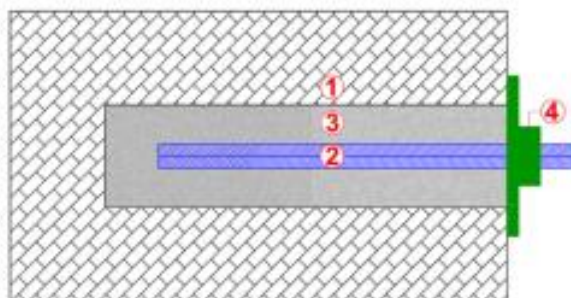
Betoniranje rovova dijafragmi ispunjenih armaturom vrši se, kao i betoniranje pilota, kontraktor postupkom.

Za razliku od monolitnih dijafragmi, predgotovljene se ugrađuju u iskopane rovove kao gotovi armiranobetonski elementi. Armiranobetonski elementi se proizvode do pune dubine te se ugrađuju dizalicom u rovove ispunjene isplakom. Čvrstoća i nepropusnost slojeva osigurava se brtvama koje se umeću ili injektiraju. Predgotovljena dijafragma, kao i monolitna, može biti osigurana sustavom sidara ili razupora [15].

4.3. Sidra

Sidra su jedan od osnovnih sustava ojačanja u tlu ili stijenskoj masi. Dije se s obzirom na aktiviranje vlačne sile, na vrstu prijenosa vlačne sile, prema trajnosti, vrsti

usidrenja i s obzirom na izvedbu. Mogu biti aktivna ili pasivna, to ovisi jesu li sidra prednapregnuta, odnosno je li u njih već unesena sila prije iskopa (aktivna) ili će se aktivirati pomakom tla ili stijenske mase tijekom i nakon iskopa (pasivna). Vlačna sila unutar sidara se može prenositi točkasto, linijski, plošno ili volumenski te mogu biti trajna ili privremena. Prema vrsti usidrenja sidra se dijele na mehanički usidrena krajem zatege, usidrena adhezijom i kombinacijom prethodno navedenih usidrenja. S obzirom na vrstu izvedbe razlikuju se štapna i geotehnička (kabelsa) sidra. Slikom 11 prikazani su osnovni elementi štapnog sidra za ojačanje stijenske mase [15].

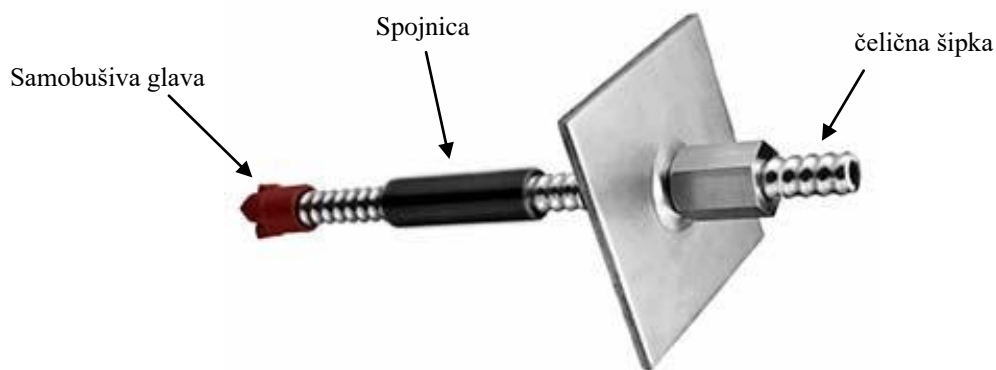


Slika 11. Elementi štapnog sidra za ojačanje stijenske mase: 1) Stijenska masa; 2) element sustava ojačanja (sidro); 3) unutarnja veza elementa ojačanja i stijenske mase; 4) vanjska elementa ojačanja i stijenske mase (modificirano prema [15]).

Štapna sidra ugrađena u stijenski masu najčešće se injektiraju duž cijele duljine što cijelu duljinu ujedno čini i sidrišnom dionicom. Štapna sidra mogu biti samobušiva, puna štapna sidra od rebraste armature ili čeličnih profila i štapna sidra s ekspanzijskom glavom [15].

Najčešće se upotrebljavaju štapna sidra od rebraste armature promjera $\phi = 32,0$ mm od čelika B 500B. Standardna duljina štapnog sidra je $L = 3,0, 4,5, 6,0$ i $9,0$ m. Ugradnja sidara se vrši po rasteru od $2,0 \times 2,0$ m do $3,0 \times 3,0$ m, ali ukoliko je potrebno moguće je ugraditi ih na gušćem rasteru [15].

Elementi samobušivih sidara sastoje se od bušeće glave, čelične šipke i spojnice. Ona se koriste kao dio bušećeg sustava na način da se umjesto bušaće šipke koriste elementi sidra koji na vrhu imaju odgovarajuću bušaću glavu. Slikom 12 prikazani su dijelovi samobušivog sidra [15].



Slika 12. Samobušivo sidro (preuzeto i modificirano prema [17]).

Samobušiva sidra sastoje se od sidrišne dionice, slobodne dionice (opcionalno) i glave sidra.

Sidrišna dionica na samobušivom sidru ima ulogu prijenosa sile sa glave sidra u tlo, a uloga slobodne dionice je da se prenese sila duboko u zaleđe i ostvari sama fleksibilnost sidra [15].

Geotehnička (kabelska) sidra potrebno je prednapregnuti (aktivirati, dodati silu) unosom sile što umanjuje pomake geotehničke građevine. Prilikom sidrenja potrebno je osigurati da sidro bude injektirano po cijeloj dužini. Nakon što se postigne propisana čvrstoća injekcijske smjese potrebno je pritegnuti kabelsko sidro do projektirane sile. Osim o kvaliteti unesene sile, nosivost također ovisi o vrsti tla i tehnologiji injektiranja [15].

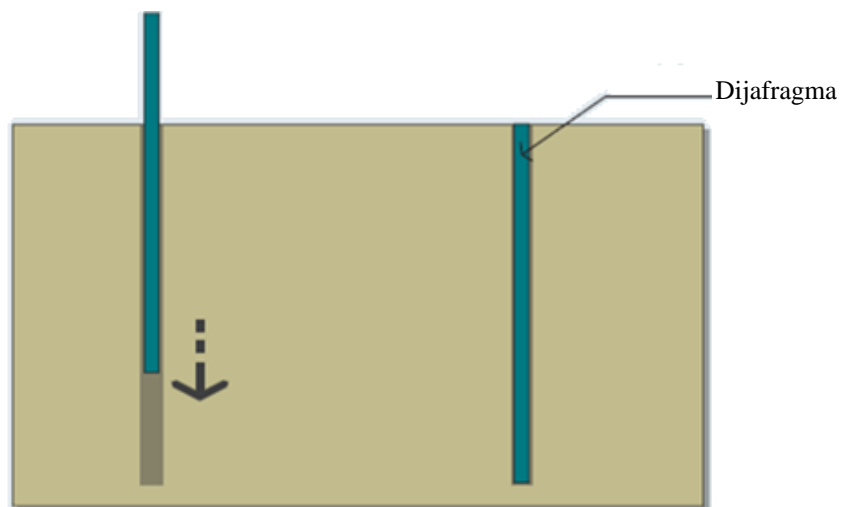
Injekcijska smjesa, koja zauzima vrlo važnu ulogu u prenosi silu sa elementa na stijenu bušotine odnosno tlo, izrađuje se na bazi cementa i vode te se opcionalno dodaju fluidifikatori i sredstva koja pospješuju ekspanziju smjese u procesu stvrdnjavanja. Receptura smjese propisuje se i određuje u projektu, a kontrolira prethodnim ispitivanjem od strane ovlaštene institucije. Smjesa se proizvodi pomoću tzv. injektora koji omogućuju izradu tiksotropne cementne suspenzije te kontrolu pritiska injektiranja. Tokom rada potrebno je kontrolirati svojstva injekcijske smjese uzimanjem uzoraka. Sav materijal od kojeg se radi injekcijska smjesa potrebno je pravilno skladištiti.

4.4. Top-down metoda osiguranja građevinske jame

Top-down metoda najčešće se koristi kada razni uvjeti, poput lokacije izvođenja jame, privremena građevna jama, utjecaj susjednih građevina te nepovoljni uvjeti u tlu i slično, ne dopuštaju konvencionalno izvođenje jame ili nisu prihvatljivi. Samo ime metode govori kako se iskop provodi od površine terena prema dnu građevne jame uz dodatne faze izvođenja i podupiranja kako bi se osigurala stabilnost zidova građevne jame. Ovom metodom reducira se vrijeme i trošak izvođenja u odnosu na konvencionalan pristup. Uz navedeno, jedna od prednosti ove metode je i mogućnost osiguranja građevne jame u ograničenom prostoru definiranim tlocrtom građevine [18]. Faze izvođenja top-down metode su sljedeće [19]:

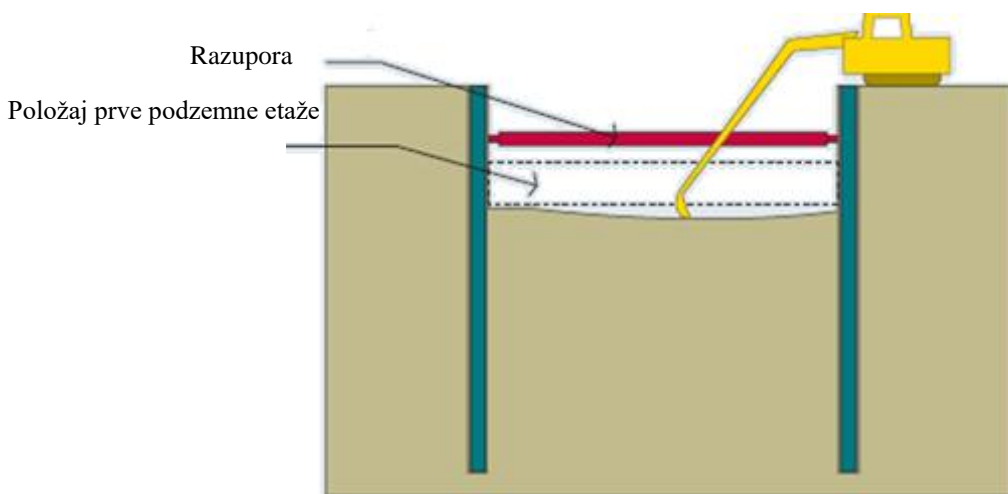
- izrada potpornih zidova (najčešće dijafragmi),
- prva faza iskopa do visine prve podzemne etaže (ili razupore),
- izvođenje međukatne konstrukcije na predviđenoj visini prve podzemne etaže,
- izvođenje sidara ukoliko je to predviđeno projektom,
- druga faza iskopa ispod izvedene međukatne konstrukcije,
- ponavljanje prethodnih koraka sve do projektiranog dna objekta,
- nakon dostizanja projektirane dubine izvodi se temeljna ploča na dnu jame.

Kao što je navedeno, izvođenje objekta top-down metodom sastoji se od više koraka koji se s vremenom počinju ponavljati. U prvom koraku, po konturi objekta izvodi se vertikalna dijafragma koja ne samo da služi kao potporni zid građevinske jame već kao i vanjski zid budućeg objekta (Slika 13).



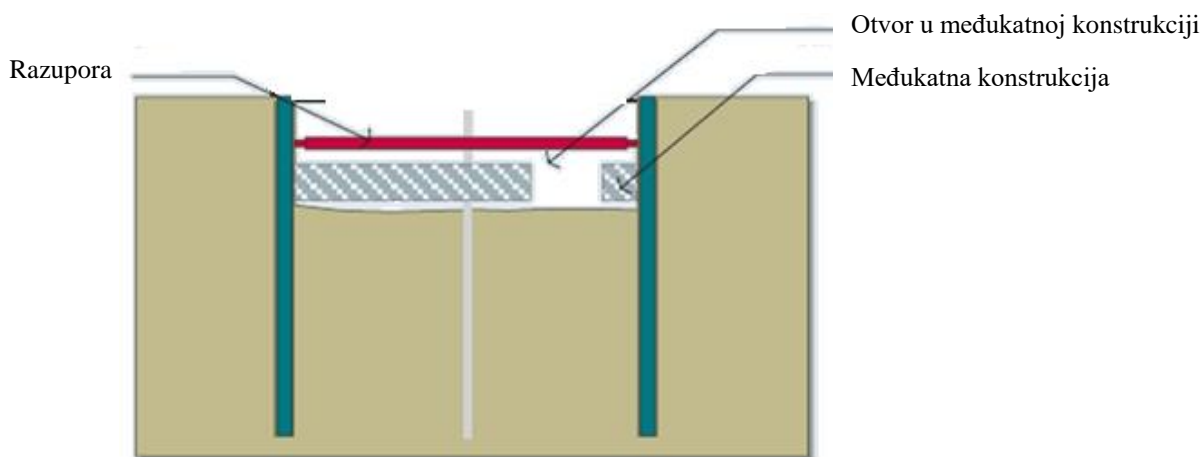
Slika 13. Ugrađivanje dijafragmi po obodu građevine [19].

Nakon izvođenja dijafragme, pristupa se prvoj fazi iskopa koja je prikazana slikom 14.



Slika 14. Prva faza iskopa [19].

Prilikom iskopa moguće je izvesti privremene razupore koje se nakon izvođenja međukatne konstrukcije uklanjaju s obzirom da će sama međukatna konstrukcija imati funkciju razupora. Prilikom izvođenja druge faze iskopa u međukatnoj konstrukciji se ostavlja otvor kako bi se mogao iskopani materijal izvući na površinu i adekvatno zbrinuti (Slika 15).



Slika 15. Izvođenje međukatne konstrukcije s otvorom za izvlačenje materijala na površinu [19].

Proces iskopa i razupiranja se tako nastavlja i ponavlja do projektirane dubine na kojoj se izvodi temeljna ploča i piloti za stupove koji nose međukatnu konstrukciju ukoliko je tako predviđeno projektom.

5. PROJEKT STAMBENE ZGRADE U ULICI IVANA KUKULJEVIĆA U ZAGREBU

U daljnjim poglavljima rada bit će opisan projekt osiguranja građevinske jame u Kukuljevićevoj ulici u Zagrebu. Projekt će biti prikazan kroz općeniti opis mjesta zahvata, opis geoloških i geotehničkih jedinica, izradu modela u programskom paketu PLAXIS 3D, tehnički opis i projektantski troškovnik predviđenih radova.

5.1. Općenito

Glavni građevinski projekt osiguranja građevne jame za potrebe izgradnje stambene zgrade u ul. Kukuljevićeva 27, Zagreb izradila je tvrtka Geotech d.o.o. Rijeka, za naručitelja UPI-2M d.o.o. Zagreb. Projekt je napravljen tijekom 2019. godine, a temeljem dobivenog geotehničkog elaborata.

5.2. Opis lokacije zahvata i konstrukcije

Lokacija zahvata nalazi se na k.č. 1118/1, k.o. Centar, Kukuljevićeva 27 u Zagrebu. Na lokaciji je predviđena izvedba stambene ugrade sa dvije podzemne etaže te sedam nadzemnih etaža. Objekt je nepravilnog tlocrta i teren na predmetnoj lokaciji je u padu u smjeru zapad-istok. Smještaj katastarske čestice prikazan je slikom 16.



Slika 16. Prikaz predmetne lokacije na k.č. 1118/1, k.o. Centar [20].

5.3. Geološke i geotehničke značajke lokacije

U nastavku biti će prikazan pregled provedenih istraživanja i ispitivanja, opisa seizmičnosti lokacije i geotehničke značajke lokacije.

5.3.1. Pregled provedenih istraživanja i ispitivanja

U svibnju 2019. godine provedeni su geotehnički terenski istraživački radovi na osnovi programa istraživanja određenim obilaskom predmetne lokacije. Program istraživanja obuhvatio je izvedbu tri sondažne bušotine, pregled uzoraka tla na terenu, mjerenje nivoa podzemne vode i standardni penetracijski pokus (SPP). Bušenje je provedeno motornom bušaćom garniturom uz kontinuirano neporemećeno jezgrovanje. Jezgra dobivena bušenjem je terenski identificirana i klasificirana prema AC klasifikaciji. Tijekom bušenja uzeti su reprezentativni poremećeni uzorci (PU) i neporemećeni (NU) uzorci za laboratorijska ispitivanja. U svrhu dobivanja podataka o relativnoj zbijenosti materijala, tijekom bušenja provedeni su "in-situ" standardni penetracijski pokusi [21].

Terenski istraživački radovi obuhvaćali su tri istraživačke bušotine [21]:

- B-1 - dubine 18,00 m
- B-2 - dubine 15,00 m
- B-3 - dubine 12,00 m

Tijekom provođenja istraživačkih radova registrirana je pojava podzemne vode, odnosno nivo podzemne vode (NPV) na koti - 8,7 m i - 9,0 m ovisno o bušotini, mjereno od ušća bušotine [21].

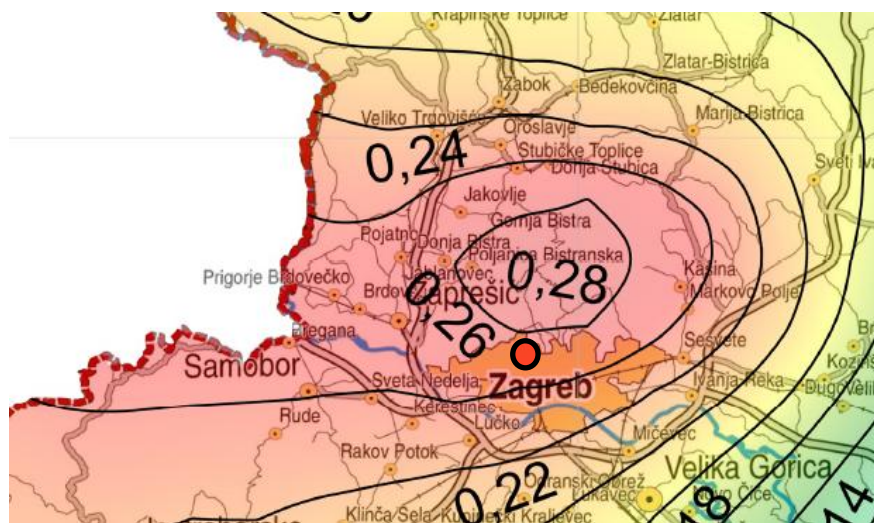
5.3.2. Stabilnost padine

Prema odredbama Odluke o PPZG [22] teren na kojemu je predviđena predmetna izgradnja svrstan je u pretežito stabilna područja. Također je utvrđeno da područje izgradnje buduće građevine spada u II. kategoriju prema stupnju stabilnosti terena [21].

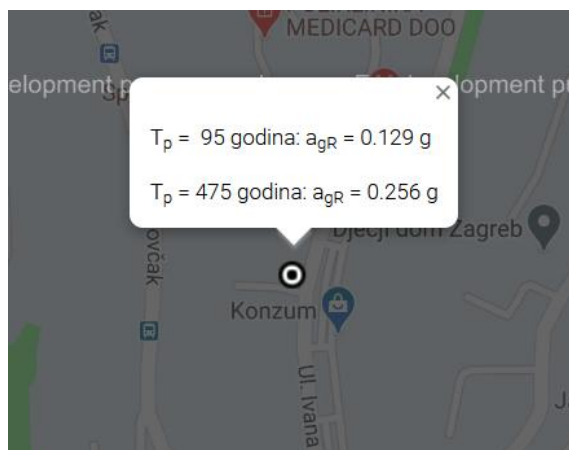
U II. kategoriju uvjetno stabilne padine, odnosno područja stabilna u prirodnim uvjetima. Prilikom građenja građevine padine mogu postati nestabilne uslijed nepažljivog rada. Temeljem geotehničkih istraživačkih radova odredit će se posebni geotehnički uvjeti. Pod posebne geotehničke uvjete, u pravilu, spadaju uvjeti građenja na padini i uvjeti temeljenja građevine. Tijekom izrade projektne dokumentacije uzeta je u obzir stabilnost padine te utjecaj na susjedne građevine [21].

5.3.3. Seizmičnost lokacije

Istraženo područje nalazi se u Zagrebu. Vrijednost poredbenih vršnih ubrzanja tla a_{gR} (za temeljno tlo tipa A), s vjerojatnosti prekoračenja 10% u 50 godina, za poredbeno povratno razdoblje $T_{NCR} = 475$ godina prikazane su na slici 17, dok je na slici 18 prikazana karta s poredbenim vršnim ubrzanjem tla za poredbeno povratno razdoblje 95 i 475 godina [21].



Slika 17. Karta poredbenih vršnih ubrzanja temeljnog tla (temeljno tlo tipa A), s vjerojatnošću prekoračenja 10 % u 50 godina, za poredbeno povratno razdoblje $T_{NCR} = 475$ godi (modificirano prema [23]).



Slika 18. Poredbena vršna ubrzanja temeljnog tla a_{gR} (temeljno tlo tipa A), za poredbeno povratno razdoblje 95 u 475 godina, uža zona zahvata (modificirano prema [23]).

Utjecaj vrste temeljnog tla na vrijednosti seizmičkog opterećenja u HRN EN 1998-1 se uzima u obzir preko razreda tla - prikazanog tablicom 1 [21].

Tablica 1. Tipovi temeljnog tla (modificirano prema [24])

Tip temeljnog tla	Opis stratigrafskog profila	$v_{s,30}$ (m/s)	N_{SPT} (udara/30cm)	c_u (kPa)
A	Stijena ili druga geološka formacija poput stijene, uključujući najviše 5 metara slabijeg materijala na površini	>800	-	-
B	Nanosi vrlo gustog pijeska, šljunka ili vrlo krute gline, debljine najmanje nekoliko desetaka metara, s postupnim povećanjem mehaničkih svojstava s dubinom	360-800	>50	>250
C	Duboki nanosi gustog ili srednje gustog pijeska, šljunka ili krute gline debljine od nekoliko desetaka metara do više stotina metara	180-360	15-50	70-250
D	Nanosi rahlog do srednje zbijenog nekoherentnog tla (s nešto mekih koherentnih slojeva ili bez njih), ili pretežno meko do dobro koherentno tlo	<180	<15	<70
E	Profil tla koji se sastoji od površinskog aluvijalnog sloja s vrijednostima v_s za tipove C ili D i debljinom između 5 i 20 m ispod kojeg je krući materijal $v_s > 800$ m/s			
S ₁	Nanosi koji se sastoje od, ili sadrže, sloj debljine najmanje 10 m mekih glina /praha s velikim indeksom plastičnosti (PI>40) i velikim sadržajem vode	<100 (približno)	-	10-20
S ₂	Nanosi tla podložnih likvefakciji, osjetljivih glina ili svaki drugi profil tla koji nije obuhvaćen tipovima A do E ili S1			

Tlo na predmetnoj lokaciji spada u tlo razreda C - Nanos rahlog do srednje zbijenog nekoherentnog tla (s nešto mekih koherentnih slojeva ili bez njih), ili pretežito meko do dobro koherentno tlo.

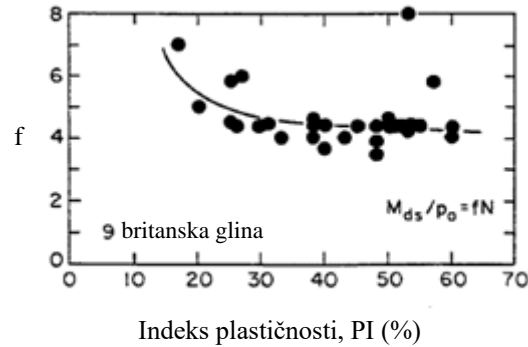
5.3.4. Geotehničke značajke lokacije

Temeljno tlo predstavljeno je površinskim slojem humusa, zatim slijedi sloj prahovite i pjeskovite gline, niske do visoke plastičnosti (CL/CH), polučvrstog do krutog stanja konzistencije, sa konkrecijama kvarcne stijene i željeznog oksida, tamno smeđe do sive boje [21].

Rezultati provedenih standardnih penetracijskih pokusa u bušotinama prikazani su tablicom 2 [21].

$$\frac{M_s}{p_a} = f * N \quad (3)$$

Empirijski koeficijent f je vezan za indeks plastičnosti (Slika 20).



Slika 20. Veza koeficijenta f i indeksa plastičnosti (PI) (modificirano prema [21]).

I_p (%)	f
10	8
20	5
30 i više	4,5

Geotehnička jedinica 1 - CL/CH glina, gornji sloj - usvojeni broj udaraca $N=30$

$$M_s = f * N * p_a = 6 * 30 * 100 \text{ kN/m}^2 = 18,0 \text{ MN/m}^2$$

Geotehnička jedinica 2 - CL/CH glina, donji sloj - usvojeni broj udaraca $N=50$

$$M_s = f * N * p_a = 6 * 50 * 100 \text{ kN/m}^2 = 30,0 \text{ MN/m}^2$$

Za potrebe proračuna osiguranja građevne jame usvojene su sljedeće karaktersitične vrijednosti geotehničkih parametara [21].

Geotehnička jedinica 1 - CL/CH glina, gornji sloj

Usvajaju se sljedeće vrijednosti parametara geotehničke jedinice 1 - CL/CH glina, gornji sloj [21]:

- Kut unutarnjeg trenja $\phi = 25,0^\circ$
- Kohezija $c = 20,0 \text{ kN/m}^2$
- Zapreminska težina $\gamma = 20,50 \text{ kN/m}^3$
- Uronjena zapreminska težina $\gamma' = 10,5 \text{ kN/m}^3$

- Edometarski modul $E_{\text{oed}} = 20,0 \text{ MN/m}^2$

Geotehnička jedinica 2 - CL/CH glina, donji sloj

Usvajaju se sljedeće vrijednosti parametara geotehničke jedinice 2 - CL/CH glina, donji sloj [21]:

- Kut unutarnjeg trenja $\phi = 25,0^\circ$
- Kohezija $c = 30,0 \text{ kN/m}^2$
- Zapreminska težina $\gamma = 20,50 \text{ kN/m}^3$
- Uronjena zapreminska težina $\gamma' = 10,5 \text{ kN/m}^3$
- Edometarski modul $E_{\text{oed}} = 30,0 \text{ MN/m}^2$

Granica gornjeg i donjeg sloja je procijenjena na oko 12,0 m od površine terena [21].

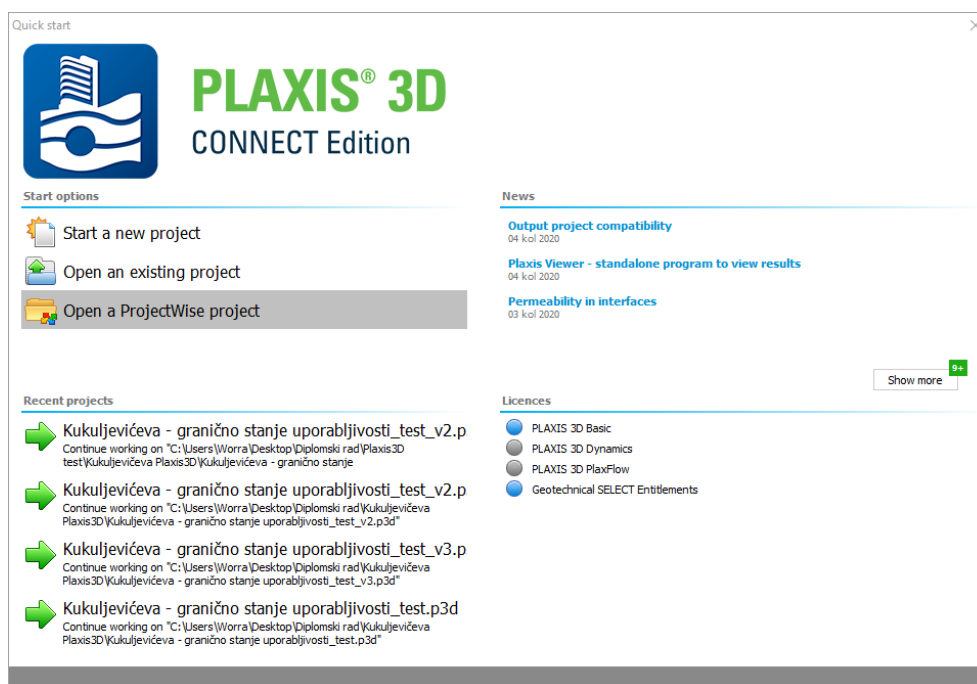
6. GEOTEHNIČKI PRORAČUN GRAĐEVINSKE JAME

U nastavku poglavlja bit će prikazan način rada u programskom paketu PLAXIS 3D i primjena na projektu osiguranja građevne jame. Prikazati će se faze izrade modela počevši od izrade modela tla i postojećeg stanja do izrade geotehničke konstrukcije u tlu i izvedbe iskopa.

U drugom dijelu poglavlja bit će prikazani rezultati proračuna u vidu ostvarenih pomaka konstrukcije te momenata savijanja i poprečne sile koje se javljaju u elementima geotehničke konstrukcije (dijafragma, razupora, sidra itd.).

6.1. Izrada modela osiguranja građevinske jame u PLAXIS 3D okruženju

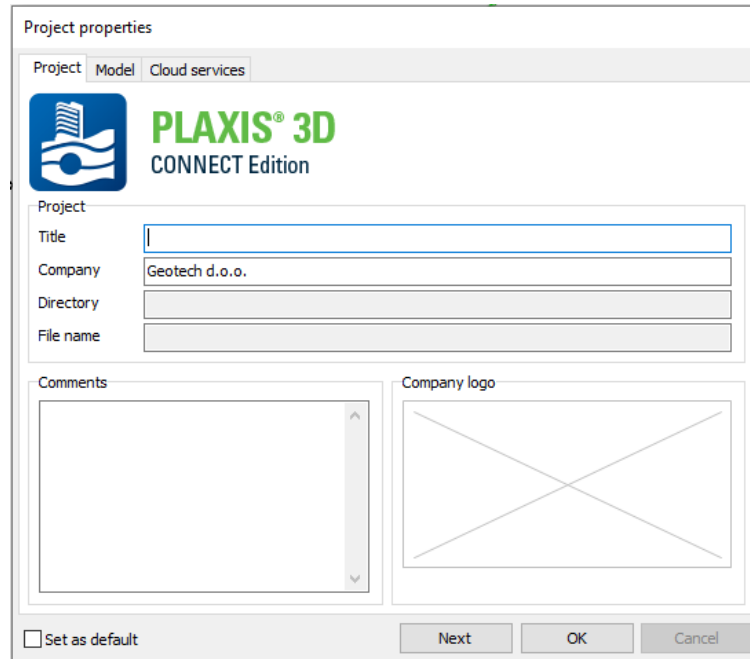
Pokretanjem PLAXIS 3D programskog paketa otvara se prozor s ponuđenim opcijama za izradu novog projekta ili otvaranja već postojećeg (Slika 21).



Slika 21. Izbornik s opcijama započinjanja novog projekta ili otvaranja postojećeg.

S obzirom da je za potrebe ovog rada, korišten model građevinske jame koji prethodno nije bio modeliran u 3D okruženju, bilo je potrebno izabrati pokretanje novog projekta. Prilikom odabira novog projekta software zahtjeva da se istom zada ime (Slika 22), odredi tip modela i broj čvorova koji tvore element. Uz navedeno, software zahtjeva da se modelu definiraju jedinice za duljinu, sile i vrijeme te da se zadaju dimenzije kontura

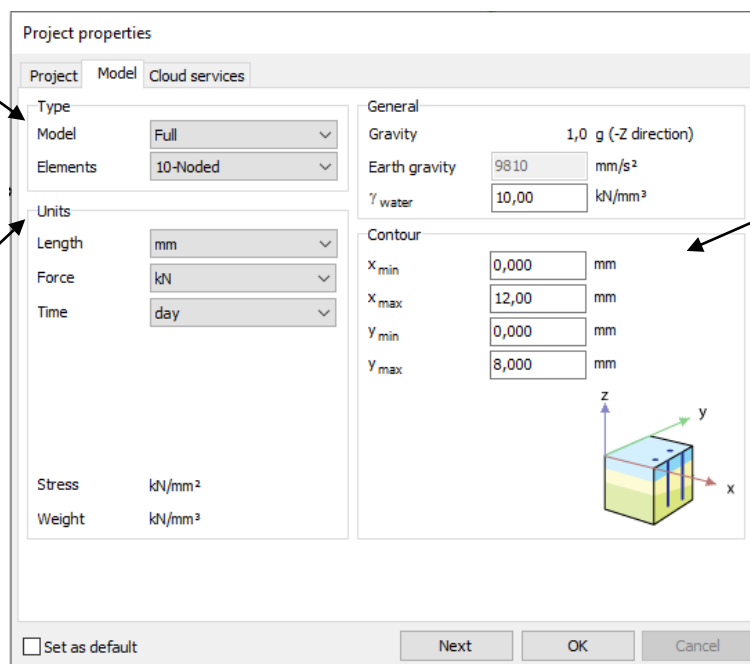
modela (Slika 23). Konture modela se zadaju proizvoljno te se mogu modificirati tokom izrade modela ukoliko je utjecajno područje ili model prevelikog ili premalenog volumen.



Slika 22. Prozor za dodjeljivanje imena projektu.

Definiranje tipa modela i elemenata

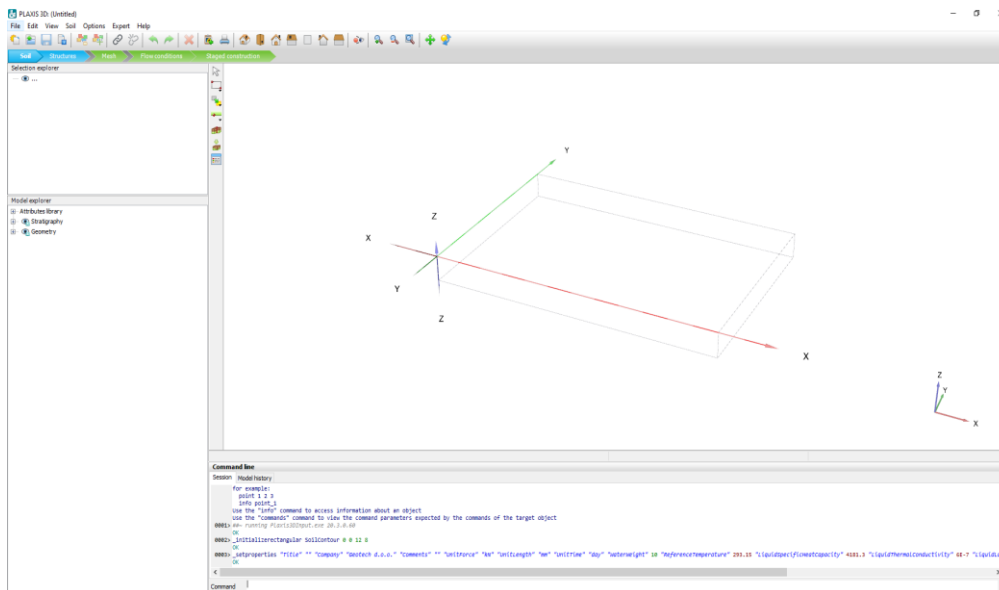
Definiranje jedinica za duljinu, sile i vrijeme



Definiranje kontura/granica modela

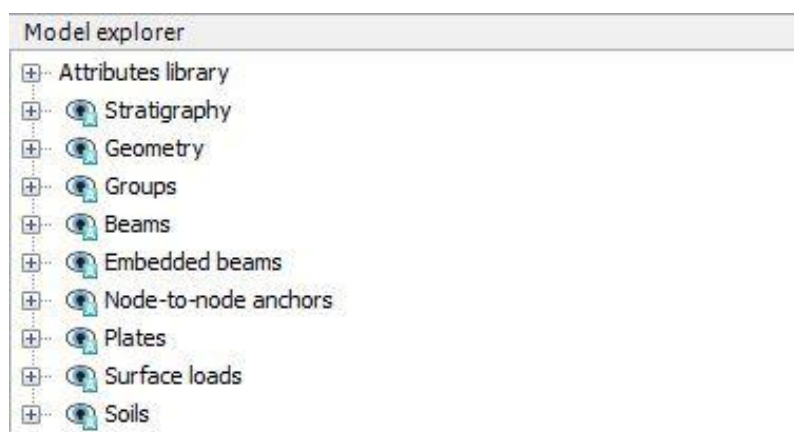
Slika 23. Prozor za definiranje svojstava projekta.

Nakon definiranja prethodno navedenih svojstava software izrađuje podlogu za daljnju izradu modela kao što je prikazano slikom 24.

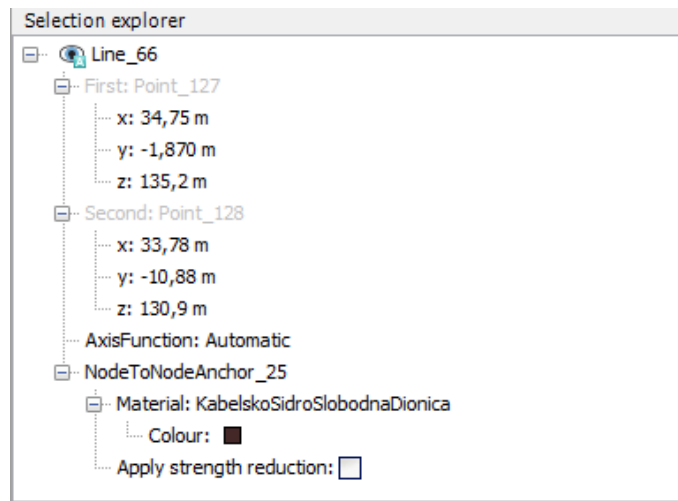


Slika 24. Podloga za izradu modela/projekta.

Sučelje software-a PLAXIS 3D sastoji se od više prozora. Središnji, ujedno i najveći, predstavlja grafički prikaz modela. U njemu se definira položaj volumena tla u koordinatnom sustavu. Na lijevoj strani sučelja nalaze se dva prozora koja sačinjavaju tzv. "Selection explorer" i "Model explorer". Unutar navedenih prozora prikazani su dijelovi modela kao što su geometrija, stvorene grupe elemenata, ploče, sidra i slično. U "Model explorer-u" moguće je određene elemente aktivirati i deaktivirati, sakriti i prikazati, preimenovati i slično (Slika 25). "Selection explorer" prikazuje pojedine značajke odabranog elementa kao što su npr. koordinate linije, materijalne karakteristike određenog elementa (Slika 26).. Sve navedene opcije unutar oba prozora mogu se modificirati.

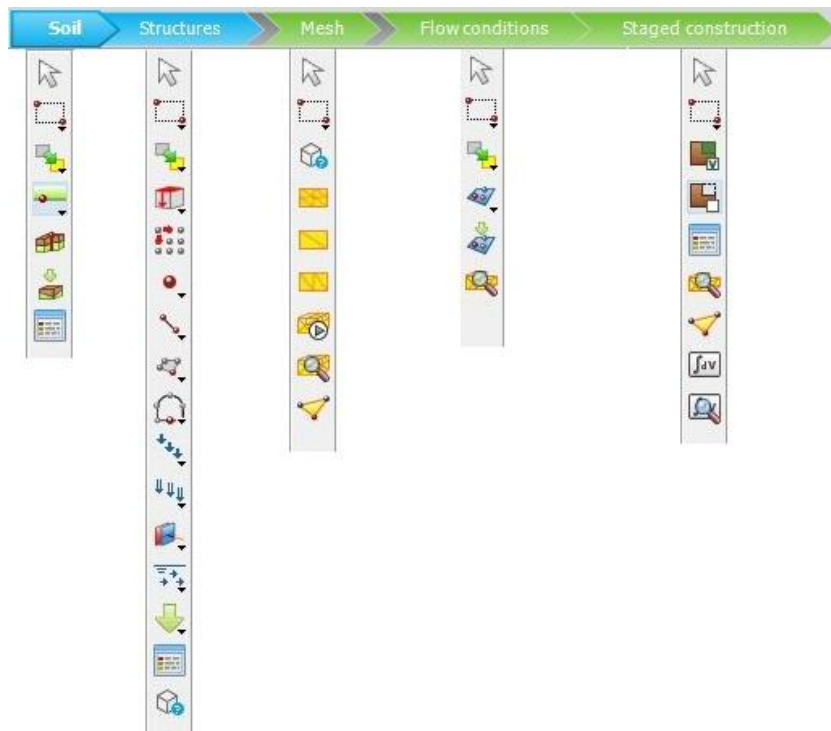


Slika 25. "Model explorer" prozor.



Slika 26. "Selection explorer" prozor s prikazom jednog linijskog elementa.

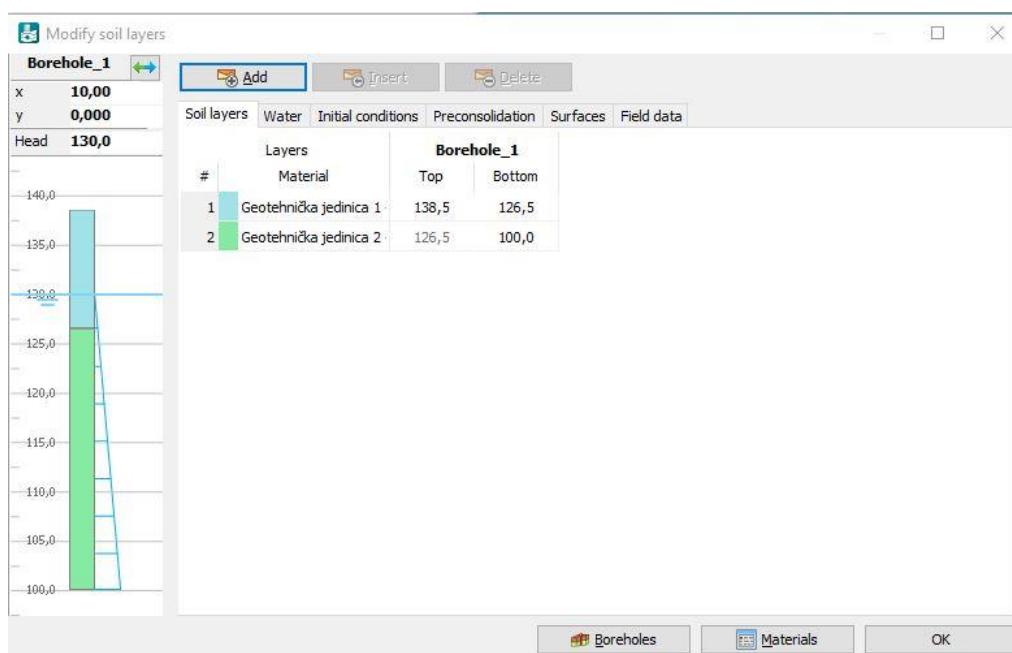
Između "Selection explorer-a", "Model explorer-a" i grafičkog prozora nalazi se alatna traka. Alatna traka se sastoji od različitih alata koji se mijenjaju u ovisnosti na kojoj fazi izrade modela se nalazite. Faze rada od kojih se sastoji izrada modela u PLAXIS 3D okruženju su: izrada modela tla, izrada konstrukcije, diskretizacija modela na elemente, definiranje uvjeta podzemne vode i definiranje faza izvođenja. Slikom 27 prikazane su faze izrade modela s pripadajućim opcijama u alatnim trakama.



Slika 27. Faze izrade modela s pripadajućim alatnim trakama

Svaka alatna traka na svojem početku ima opciju za odabir elemenata unutar modela i opciju za višestruki odabir elemenata unutar modela, dok im se ostatak opcija prilagođava određenoj fazi izrade modela.

Kako bi se mogla modelirati konstrukcija zaštite građevinske jame, prvo je potrebno definirati volumen tla ili stijene unutar kojeg će se projektirati konstrukcija. To se radi pomoću naredbe "Stvori bušotinu" (eng. create borehole). Odabirom ove opcije PLAXIS 3D software traži da mu se definira pozicija ušća bušotine u koordinatnom sustavu. Nakon što se odabere pozicija bušotine otvara se prozor za definiranje slojeva tla, pozicije navedenih slojeva u odnosu na površinu terena te razina podzemne vode. Navedeno je prikazano slikom 28.




Slika 28. Prozor za definiranje slojeva tla u odnosu na površinu terena te razine podzemne vode.

Prozor za definiranje uslojenosti tla u modelu sastoji se od nekoliko podprozora. U lijevom podprozoru nalaze se x i y koordinate ušća bušotine s nadmorskom visinom na kojoj se nalazi lice podzemne vode. U desnom podprozoru moguće je vidjeti koji materijali sačinjavaju volumen tla. Za potrebe ovog projekta formirane su dvije geotehničke jedinice tla čiji će parametri biti navedeni u nastavku. Također se, unutar istog podprozora definira nadmorska visina površine terena kao i položaj slojeva tla.


Nakon definiranja bušotina s odgovarajućim nadmorskim visinama i položajima slojeva tla, definiraju se parametri tla i isti se dodjeljuju odgovarajućim slojevima unutar bušotina. U sljedećoj fazi, program interpolira slojeve tla između bušotina i generira površinu terena ukoliko se radi o neravnom terenu. Za potrebe ovog rada površina terena je idealizirana, odnosno poravnata u odnosu na stvarno stanje.

Prilikom definiranja parametara geotehničkih jedinica potrebno je obratiti pažnju na primjenu projektnog pristupa (u daljnjem tekstu PP). U Hrvatskoj se, za projektiranje, koristi projektni pristup 3 (PP3) kojim se umanjuju parametri tla te povećavaju nepovoljna djelovanja [16]. U PLAXIS 2D okruženju projektni pristup se može definirati u opcijama te primijeniti na parametre automatski. Međutim, PLAXIS 3D ne nudi tu mogućnost već se PP3 primjenjuje faktorizacijom parametara tla. Parametri tla koji se faktoriziraju su kut unutarnjeg trenja i kohezija. Oni se dijele s faktorima propisanim Eurocode-om 7, a isti iznose 1,25 [5]. Radi navedenog u tablicama 3 i 4. prikazani su nefaktorizirani i faktorizirani parametri tla.

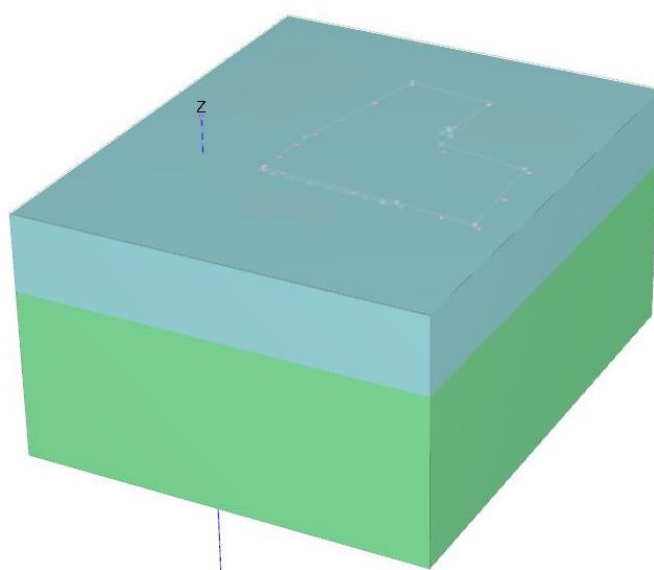
Tablica 3. Geotehnička jedinica 1 - CL/CH glina, gornji sloj.

Svojstvo	Simbol	Karakteristična vrijednost parametra	Vrijednost parametara s primjenom PP3	Mjera jedinica
Zapreminska težina	γ_{unsat}	20,50	20,50	kN/m ³
Saturirana zapreminska težina	γ_{sat}	20,50	20,50	kN/m ³
Kohezija	c_{ref}	20,00	16,00	kN/m ²
Kut unutarnjeg trenja	φ	25,00	20,46	°
Modul deformabilnosti	E_{50}^{ref}	25,00E3	25,00E3	kN/m ²
	$E_{\text{oed}}^{\text{ref}}$	25,00E3	25,00E3	kN/m ²
	$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$	75,00E3	75,00E3	kN/m ²
EkspONENT	m	0,50	0,50	
Poissonov koeficijent	ν	0,20	0,20	
Vodopropusnost u x smjeru	k_x	1,000E-9	1,000E-9	m/s
Vodopropusnost u y smjeru	k_y	1,000E-9	1,000E-9	m/s
Boja				
Model: Hardening soil				

Tablica 4. Geotehnička jedinica 2 - CL/CH glina, donji sloj.

Svojstvo	Simbol	Karakteristična vrijednost parametra	Vrijednost parametara s primjenom PP3	Mjera jedinica
Zapreminska težina	γ_{unsat}	20,50	20,50	kN/m ³
Saturirana zapreminska težina	γ_{sat}	20,50	20,50	kN/m ³
Kohezija	c_{ref}	30,00	24,00	kN/m ²
Kut unutarnjeg trenja	φ	25,00	20,46	°
Modul deformabilnosti	E_{50}^{ref}	35,00E3	35,00E3	kN/m ²
	$E_{\text{oed}}^{\text{ref}}$	35,00E3	35,00E3	kN/m ²
	$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$	115,00E3	115,00E3	kN/m ²
EkspONENT	m	0,50	0,50	
Poissonov koeficijent	ν	0,20	0,20	
Vodopropusnost u x smjeru	k_x	1,000E-9	1,000E-9	m/s
Vodopropusnost u y smjeru	k_y	1,000E-9	1,000E-9	m/s
Boja				
Model: Hardening soil				


Kada je sve definirano u pogledu slojevitosti tla i položaja geotehničkih jedinica, PLAXIS 3D kreira model opisan s prethodno navedenim parametrima i prikazuje ga unutar svojeg grafičkog prozora - vidljivo na slici 29. Generirani model je pravokutnog oblika, a njegove dimenzije su 64,0x78,0x38,5 m.




Slika 29. Model tla s odgovarajućim slojevima.

Nakon generiranja modela tla prelazi se na slijedeću fazu projektiranja, a to je definiranje konstrukcije za zaštitu građevinske jame. Unutar ove faze definiraju se svi predviđeni elementi zaštitne jame i njihovi pripadajući parametri. S obzirom da se predmetna građevinska jama izvodi pomoću top-down metode, potrebno je definirati elemente dijafragme, pilotske stijene, štapnih i geotehničkih sidara, čeličnih stupova, bušenih pilota te međukatne konstrukcije (koja služi kao razupora) i temeljne ploče. Kako bi se definirali svi navedeni elementi i njihovi parametri potrebno je odabrati opciju izrade materijala unutar alatne trake. Elementi koji se kreiraju, podjeljeni su unutar nekoliko tipova elemenata. S obzirom na navedeno armiranobetonske stropne i temeljne ploče, dijafragma i pilotska stijena definiraju se pod plošnim elementima. Pod gredama se definiraju elementi armiranobetonskih bušenih pilota i čeličnih stupova. Kabela i geotehnička sidra se definiraju pod elementima sidara i ukopanih greda kako bi se mogla simulirati injektirana dionica. Tablicama 5, 6, 7 i 8 prikazani su parametri korišteni za opisivanje plošnih elemenata (armiranobetonska stropna i temeljna ploča, dijafragma i pilotska stijena).


Tablica 5. Armiranobeotnska stropna ploča - $d = 0,20$ m.

Svojstvo	Simbol	Karakteristična	
		vrijednst parametra	Mjera jedinica
Debljina	d	0,20	m
Modul elastičnosti	E_1	33,00E6	kN/m^2
	E_2	33,00E6	kN/m^2
Poissonov koeficijent	ν	0,15	
Modul pomika	G_{12}	14,35E6	kN/m^2
	G_{13}	14,35E6	kN/m^2
	G_{23}	14,35E6	kN/m^2
Boja			


Tablica 6. Amiranobetonska temeljna ploča - d =0,7 m.

Svojstvo	Simbol	Karakteristična vrijednost parametra	Mjera jedinica
Debljina	d	0,70	m
Modul elastičnosti	E ₁	33,00E6	kN/m ²
	E ₂	33,00E6	kN/m ²
Poissonov koeficijent	ν	0,15	
Modul pomika	G ₁₂	14,35E6	kN/m ²
	G ₁₃	14,35E6	kN/m ²
	G ₂₃	14,35E6	kN/m ²
Boja			

Tablica 7. Dijafragma - d = 0,60 m.

Svojstvo	Simbol	Karakteristična vrijednost parametra	Mjera jedinica
Debljina	d	0,60	m
Modul elastičnosti	E ₁	16,00E6	kN/m ²
	E ₂	16,00E6	kN/m ²
Poissonov koeficijent	ν	0,15	
Modul pomika	G ₁₂	7,174E6	kN/m ²
	G ₁₃	7,174E6	kN/m ²
	G ₂₃	7,174E6	kN/m ²
Boja			

Tablica 8. Pilotska stijena - d = 0,40 m.

Svojstvo	Simbol	Karakteristična vrijednost parametra	Mjera jedinica
Debljina	d	0,3464	m
Modul elastičnosti	E ₁	7,983E6	kN/m ²
	E ₂	7,983E6	kN/m ²
Poissonov koeficijent	ν	0,15	
Modul pomika	G ₁₂	3,471E6	kN/m ²
	G ₁₃	3,471E6	kN/m ²
	G ₂₃	3,471E6	kN/m ²
Razmak između pilota	s	0,75	m
Boja			

Pilotsku stijenu potrebno je definirati kao plošni element, a ne kao gredni element jer se radi o skupini pilota projektiranih kao jedinstvena konstrukcija. To je razlog svrstavanja iste u plošne elemente čija će svojstva simulirati ponašanje pilotske stijene u stvarnosti. Njeni parametri dobiveni su preko parametara pilota, kao što su geometrijske značajke, značajke deformabilnosti te njihov razmak. Parametri pilota prema kojima je definirana pilotska stijena su prikazani tablicom 9, a krutost i krutost na savijanje istih dobivene su prema sljedećim relacijama:

$$EA = \frac{E * A}{s} = 2764601,54 \frac{kN}{m} \quad (4)$$

$$EI = \frac{E * I}{s} = 27646,02 \frac{kNm^2}{m} \quad (5)$$


Na temelju rezultata dobivenih prethodnim relacijama te formulama priloženim u PLAXIS 3D priručniku za modele [27] dobiveni su Young-ov modul elastičnosti i posmični modul. Relacije za određivanje prethodno navedenih modula glase:

$$E = \frac{12EI}{d^3} = 7,983 * 10^6 kN/m^2 \quad (6)$$


$$G = \frac{6EI}{(1 + \nu)d^3} = 3,471 * 10^6 kN/m^2 \quad (7)$$

Tablicama 9 i 10 prikazani su parametri grednih elemenata armirano betonskih bušenih pilota i čeličnih stupova.

Tablica 9. Armiranobetonski bušeni pilot.


Svojstvo	Simbol	Karakteristična vrijednost parametra	Mjera jedinica
Površina	A	0,1260	m
Modul elastičnosti	E	33,00E6	kN/m ²
Moment inercije	I ₁	1,26E-3	m ⁴
	I ₂	1,26E-3	m ⁴
Boja			

Tablica 10. Čelični stup.


Svojstvo	Simbol	Karakteristična vrijednost parametra	Mjera jedinica
Površina	A	0,06	m
Modul elastičnosti	E	200,0E6	kN/m ²
Moment inercije	I ₁	1,26E-3	m ⁴
	I ₂	1,26E-3	m ⁴
Boja			

Geotehnička i kabelska sidra sa slobodnim i sidrišnim dionicama prikazana su tablicama 11, 12, 13 i 14.


Tablica 11. Kabelsko sidro - slobodna dionica.

Svojstvo	Simbol	Karakteristična vrijednost parametra	Mjera jedinica
Čvrstoća sidra definirana modulom elastičnosti i poprečnim presjekom	EA	120,0E3	kN
Boja			


Tablica 12. Štapno sidro - slobodna dionica.

Svojstvo	Simbol	Karakteristična vrijednost parametra	Mjera jedinica
Čvrstoća sidra definirana modulom elastičnosti i poprečnim presjekom	EA	160,8E3	kN
Boja			

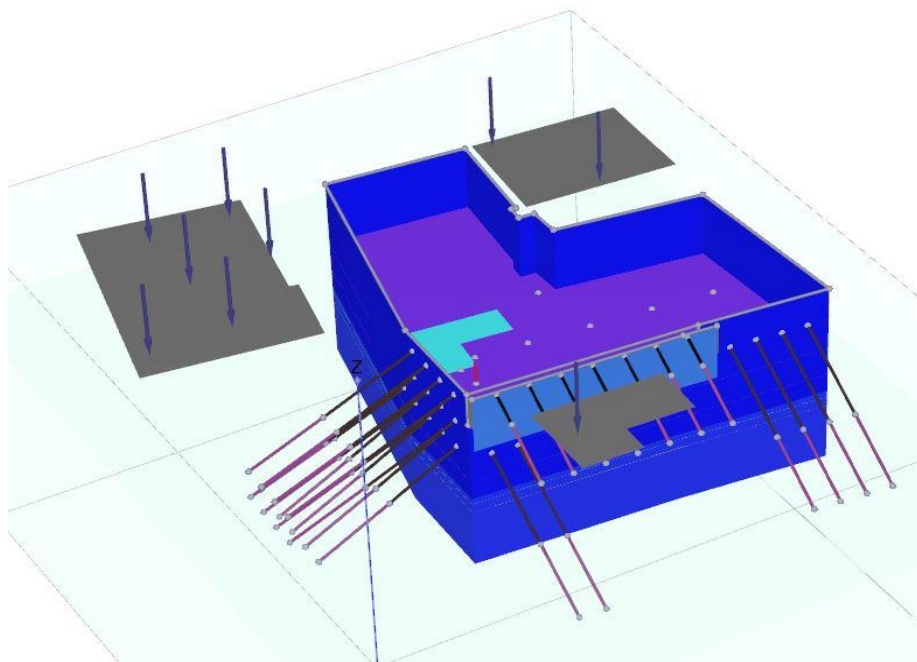
Tablica 13. Kabelsko sidro - sidrišna dionica.

Svojstvo	Simbol	Karakteristična vrijednost parametra	Mjera jedinica
Promjer	m	0,2	M
Modul elastičnosti	E	3,82E6	kN/m ²
Površina	A	0,0,142	m ²
Moment inercije	I ₁	0,07854E-3	m ⁴
	I ₂	0,07854E-3	m ⁴
Boja			

Tablica 14. Štapno sidro - sidrišna dionica.

Svojstvo	Simbol	Karakteristična vrijednost parametra	Mjera jedinica
Promjer	m	0,2	M
Modul elastičnosti	E	5,118E6	kN/m ²
Površina	A	0,0,142	m ²
Moment inercije	I ₁	0,07854E-3	m ⁴
	I ₂	0,07854E-3	m ⁴
Boja			

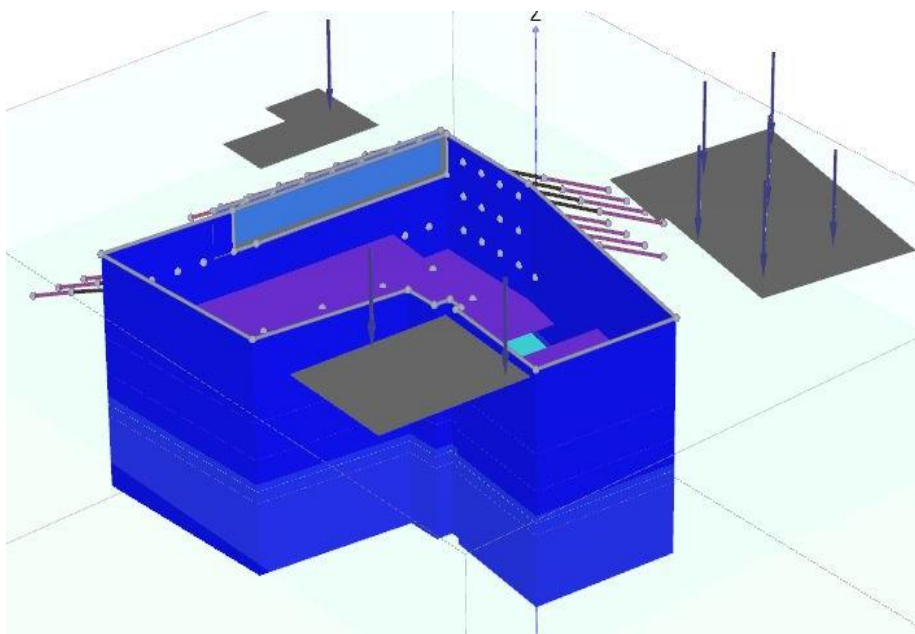
Po završetku definiranja elemenata, pristupa se izradi geometrije građevinske jame. Kako je prethodno navedeno programski paket PLAXIS 3D ima mogućnost unošenja geometrije iz AutoCAD programskog paketa, no istu je moguće definirati unošenjem koordinata. Slikama 30 i 31 prikazan je izrađeni model građevinske jame iz dva pogleda. Slikom 30 prikazan je pogled sa sjevero-zapada, a slikom 31 s jugo-istoka.



Slika 30. Model zaštitne konstrukcije građevinske jame (pogled sa sjevero-zapada).

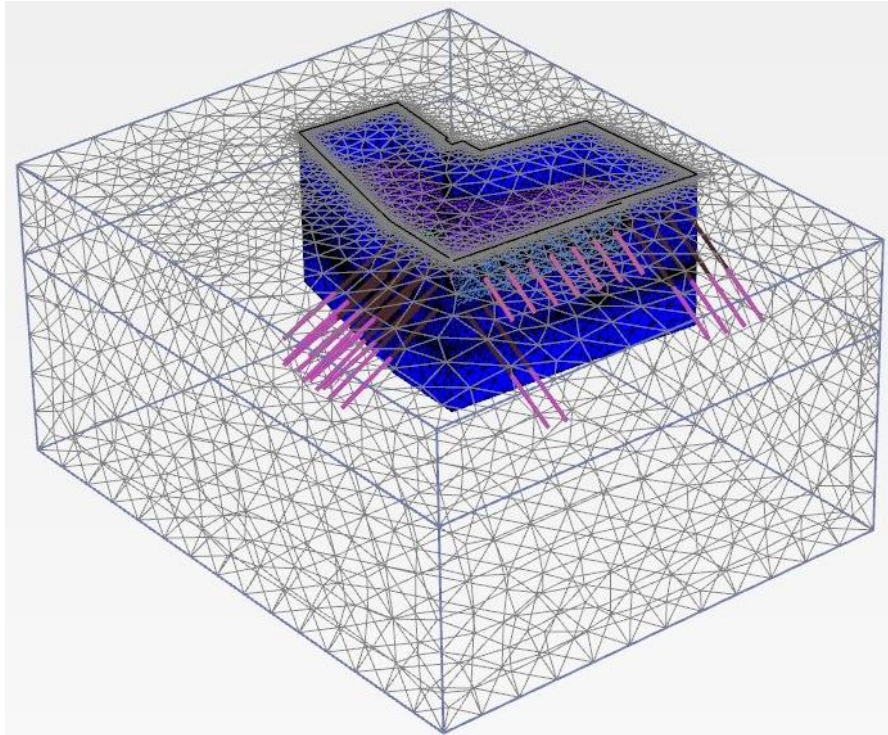
Modeli prikazuju konačan izgled zaštitne konstrukcije građevinske jame sa svim projektiranim elementima. Elementi se definiraju upisivanjem naredbi u komandu traku ili odabirom istog iz alatne trake. Nakon što se odabere element moguće ga je ručno ucrtati unutar grafičkog prozora ili mu definirati koordinate pomoću komandnog retka. Za

definiranje koordinata linijskih elemenata potrebno je upisati x, y i z koordinatu početne i krajnje točke. Plošni elementi se mogu modelirati na isti način ili definiranjem linije koja se zatim pomoću naredbe utiskivanja objekta (eng. extrude object) spušta na projektiranu dubinu. Na modelima je vidljiv i položaji susjednih objekata s obzirom na projektirani objekt. Djelovanje susjednih objekata na projektiranu konstrukciju simuliraju se pomoću površina izloženih silama. Sile koje djeluju na površine predstavljaju naprezanja susjednih objekata na. Na iste, kako je prethodno navedeno, potrebno je primijeniti PP3 te povećati njihovo djelovanje. Izvorno djelovanje susjednih objekata uzeto je kao $10,0 \text{ kN/m}^2$, odnosno primjenom PP3 djelovanje iznosi $13,5 \text{ kN/m}^2$.



Slika 31. Model zaštitne konstrukcije građevinske jame (pogled sa jugo-istoka).

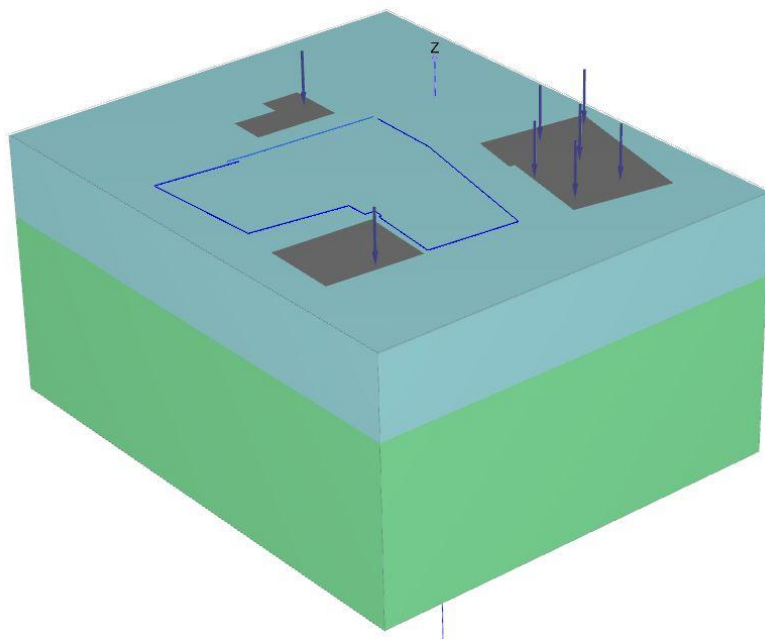
Treći korak u izradi modela je diskretizacija ili podjela modela na mrežu konačnih elemenata. Diskretizacija se provodi na način da u fazi "Mesh" pokrene generiranje elemenata. Kroz neko vrijeme software sam generira elemente za zadanu geometriju. Također, software generira gustoću elemenata ovisno radi li se o elementima konstrukcije ili o tlu. U tlu se stvara rijedža, a na elementima konstrukcija gušća mreža elemenata. Ovo se također može ručno odrediti tako da se odabere željeni volumen i u "Selection explorer-u" modificira faktor gustoće elemenata koji će biti generirani. Također, unutar ovog dijela izrade modela moguće je dobiti uvid u generiranu mrežu elemenata kako bi se ista mogla modificirati prema želji (Slika 32). Ukupno je generirano 142824 elementa.



Slika 32. Diskretizirani model zaštite građevinske jame.

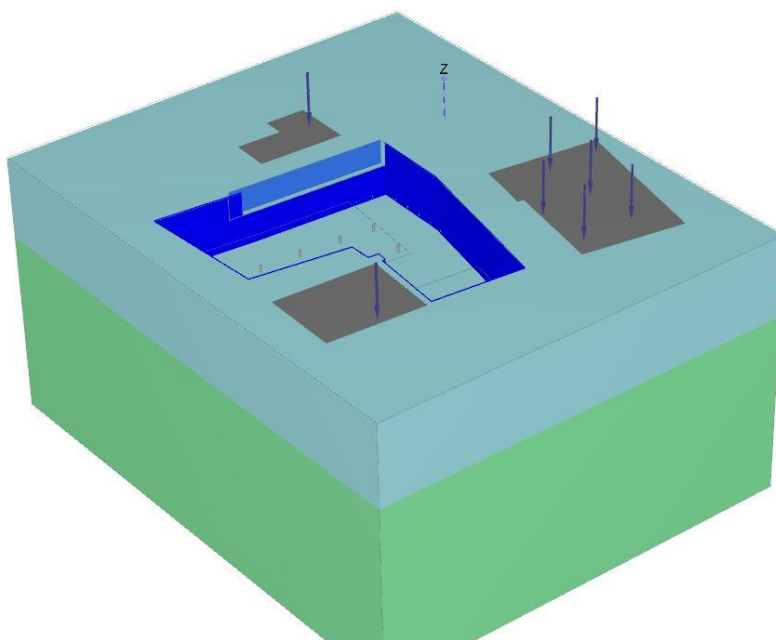
Nakon generiranja elemenata slijede koraci postavljanja toka vode u modelu i definiranje faza izvođenja građevinske jame. Unutar ovog projekta, definiranje tokova vode nije od značaja pa se isto preskače. S obzirom na navedeno, po završetku diskretizacije se prelazi na definiranje faza izvođenja.

Izvedba ovog projekta definirana je kroz osam faza. Prva faza se odnosi na inicijalno ili in-situ stanje terena prikazano slikom 33. U ovoj fazi nisu aktivirani elementi konstrukcije, ali su zato aktivirana opterećenja generirana susjednim objektima i uzeta su u obzir geostatička (postojeća) naprezanja u tlu odnosno modelu.



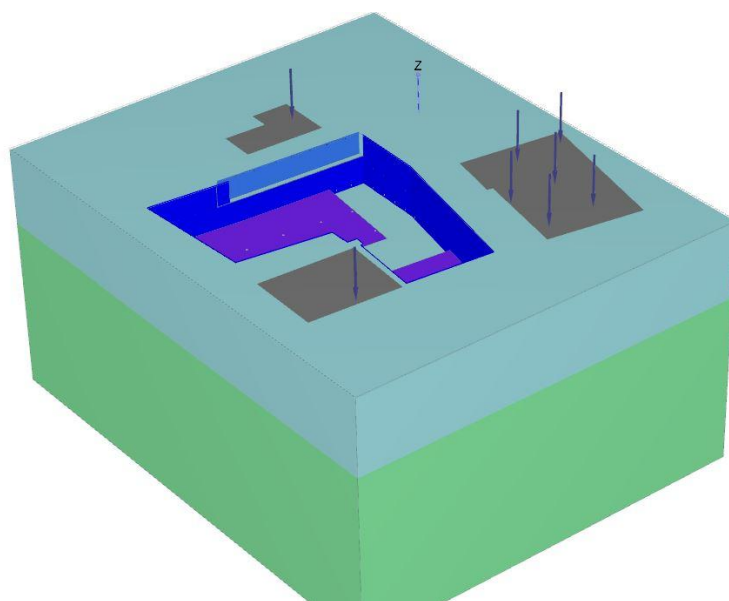
Slika 33. In-situ model.

Nakon inicijalne faze slijedi faza resetiranja pomaka te se modelira ugradnja dijafragme i pilotske stijene. Navedena faza ne sadrži iskop već su samo aktivirani zidovi dijafragme i pilotske stijene čime se faza vizualno ne razlikuje od inicijalne. Sljedeća faza predstavlja iskop do prve podzemne etaže te ugradnju sidara. U ovoj fazi deaktiviran je volumen tla do ispod međukatne konstrukcije prve etaže kako bi se simuliralo izvođenje top-down metode. Treća faza izvedbe osiguranja građevinske jame prikazana je slikom 34.



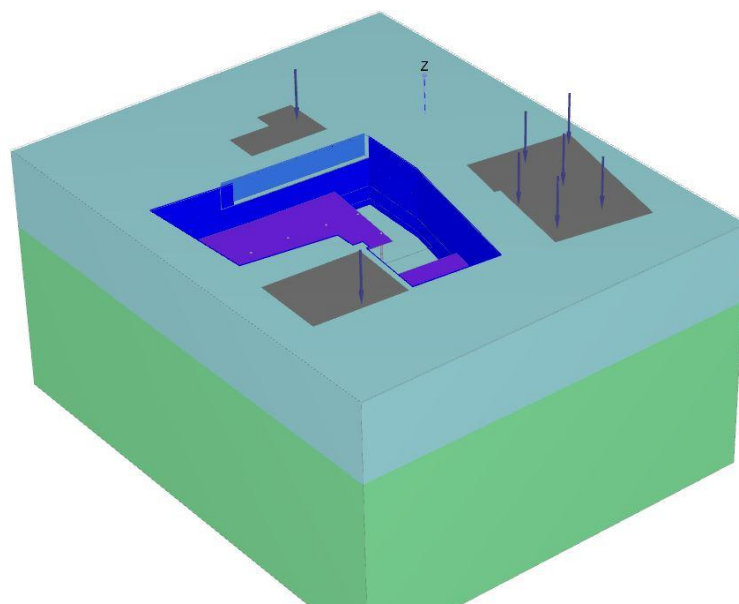
Slika 34. Treća faza izvođenja.

U četvrtoj fazi (Slika 35) izvedena je međukatna konstrukcija prve etaže koja ujedno služi kao razupora dijafragme. Također, ploča sadrži otvor potreban za izvedbu iskopa ispod etaže.



Slika 35. Četvrta faza izvođenja.

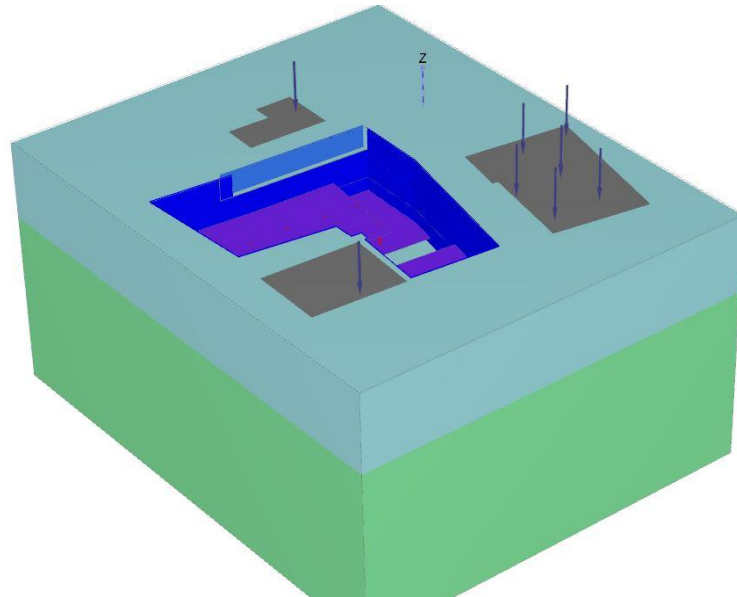
Iskop ispod prve podzemne etaže i ugradnja sidara prikazani su u petom fazom. Unutar ove faze izveden je iskop do dubine druge podzemne etaže (Slika 36).



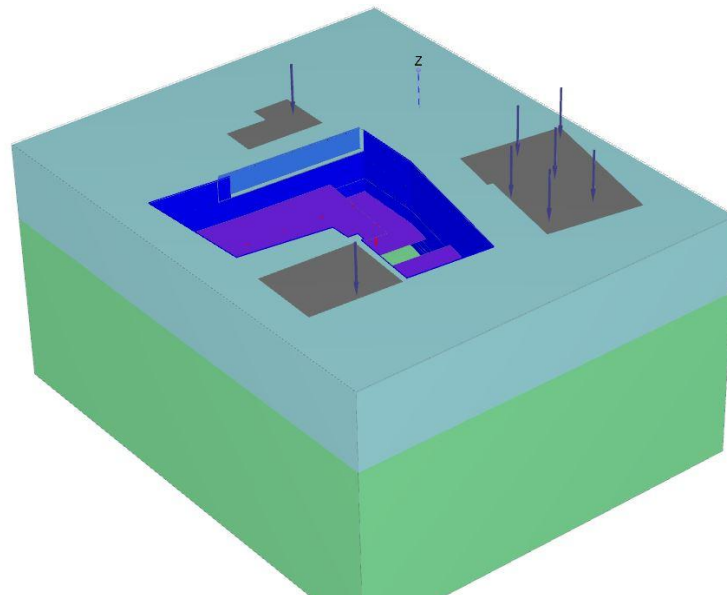
Slika 36. Peta faza izvođenja.

Šestom fazom prikazanom slikom 37, modelirano je izvođenje međukatne konstrukcije koja služi kao razupora na dijafragmi. Kao i u četvrtoj fazi bilo je potrebno

projektirati otvor u međukatnoj konstrukciji zbog izvedbe treće, ujedno i zadnje faze iskopa. Osim aktivacije plošnog elementa međukatne konstrukcije druge podzemne etaže, u ovoj fazi se aktiviraju i čelični stupovi koji podupiru gornju etažu. Nakon što je izvedena međukatna konstrukcija druge faze pristupa se posljednjoj fazi iskopa (Slika 48).

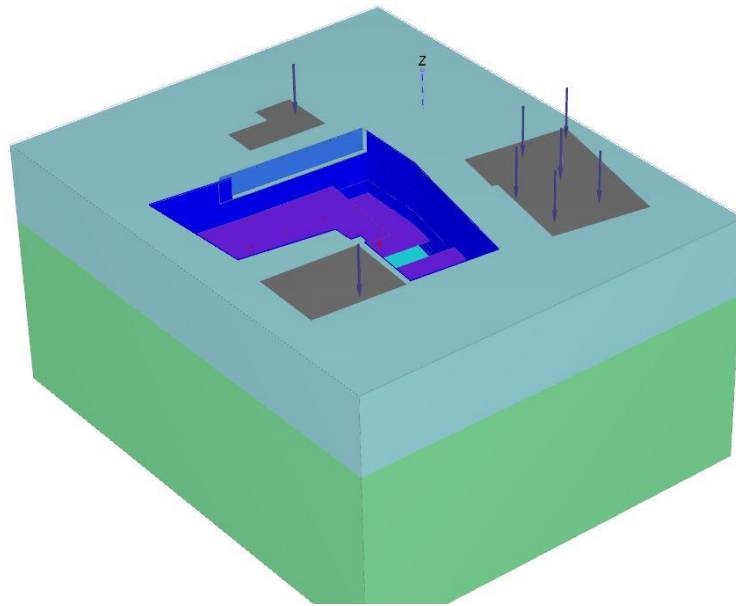


Slika 37. Šesta faza izvođenja.



Slika 38. Sedma faza izvođenja.

U osmoj, ujedno i zadnjoj fazi, izvedena je temeljna ploča sa čeličnim stupovima koji podupiru konstrukciju iznad. Zadnja faza izvođenja prikazana je slikom 39.



Slika 39. Osma faza izvođenja.

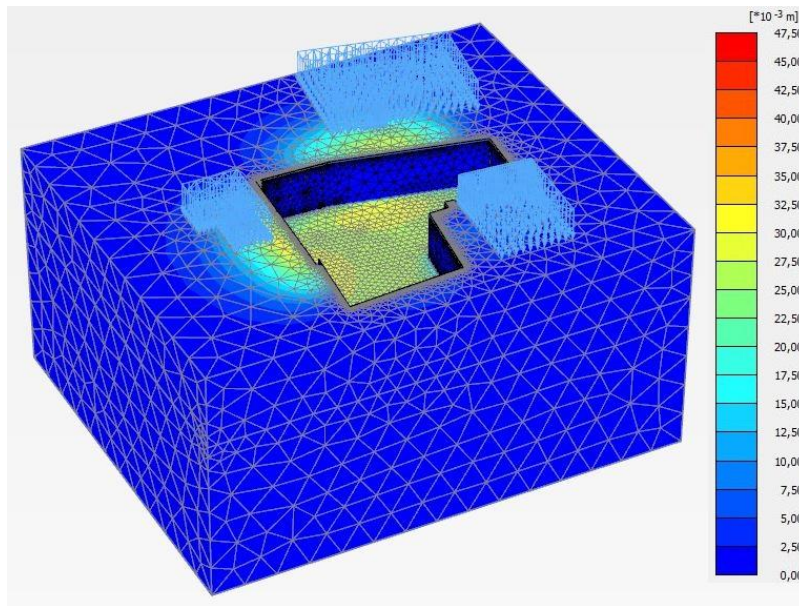
Po završetku definiranja faza, kojima se simulira izvođenje top-down metode, pristupa se provođenju proračuna. Proračun se provodi odabirom naredbe "Proračunaj" (eng. Calculate) iz alatne trake, nakon čega se pristupa evaluaciji rezultata i projektiranju konstrukcija u vidu dimenzioniranja i slično. Rezultati i proračuni bit će prikazani u nastavku rada.

6.2. Rezultati analize građevinske jame

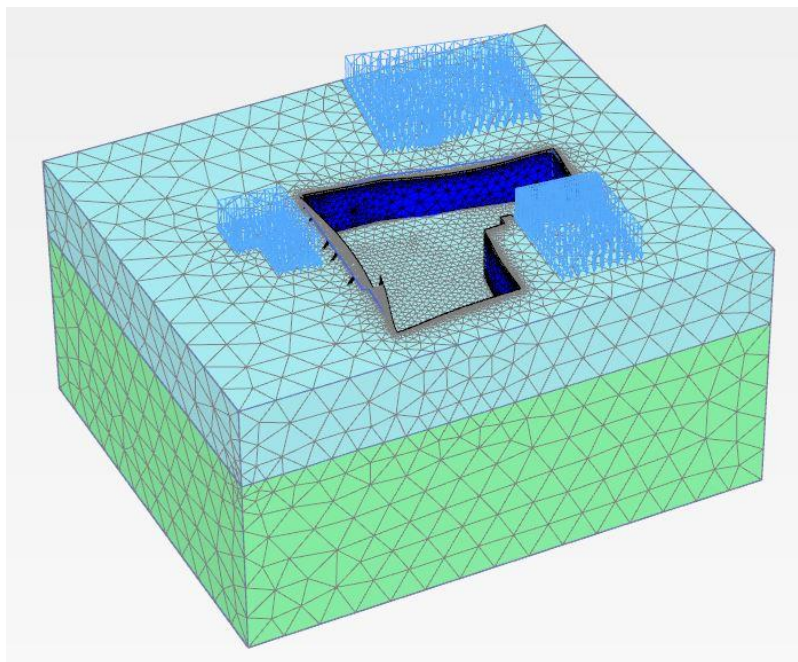
Rezultati analiza prikazuju se PLAXIS 3D output programom koji nudi niz opcija kao što su izrada dijagrama, prikaz deformirane mreže konačnih elemenata, deformacija i naprezanja u modelu pomoću spektra boja, presijecanje elemenata na željenom mjestu te prikaz dijagrama momenata, sila i deformacija ostvarenih na presječenom mjestu i slično. Dobiveni pomaci faza izvođenja konstrukcija građevinske jame prikazani su u nastavku pomoću modela sa spektrom boja koje definiraju pomake te deformiranom mrežom konačnih elemenata.

Za prvu, *in-situ* fazu pomaci modela su nulirani (resetirani) zbog uvida u pomake daljnjih faza s obzirom na početno stanje prije početka iskopa. U drugoj fazi, fazi ugradnje dijafragme, pomaci su također zanemarivi pa se prva i druga faza izvođenja neće prikazivati.

Slijedeća faza prikazana slikama 40 i 41, je faza iskopa do nivoa prve podzemne etaže. Pomaci sa spektrom boja prikazani su slikom 40, a deformirani elementi slikom 41.



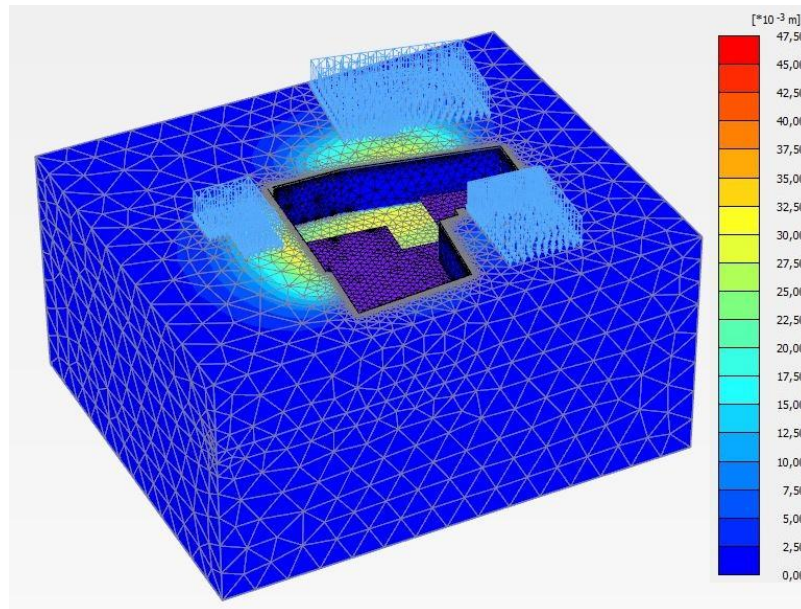
Slika 40. Pomaci modela u prvoj fazi iskopa prikazani spektrom boja.



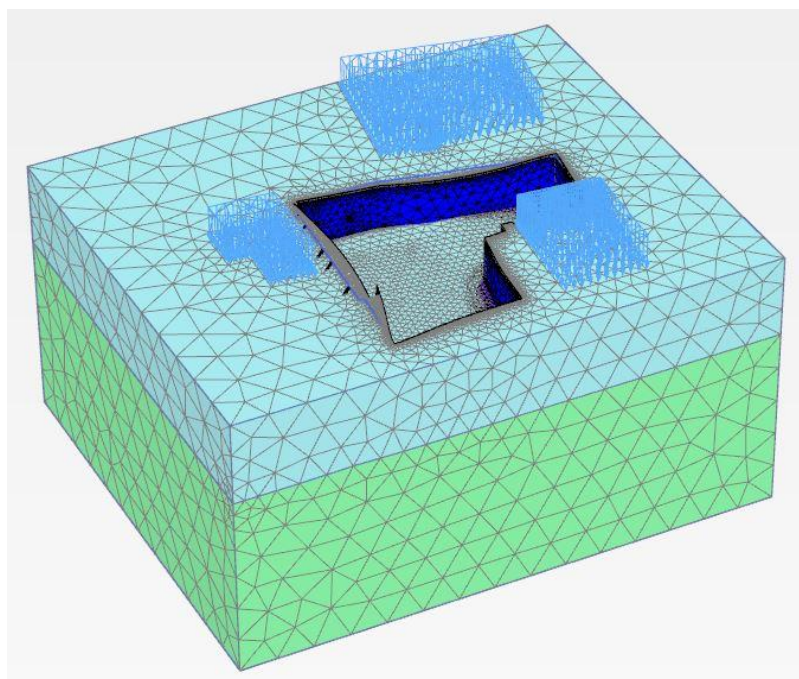
Slika 41. Pomaci modela u prvoj fazi iskopa prikazani deformiranim elementima.

U ovoj fazi se može uočiti simulirana deformacija elemenata kojom se prikazuju pomaci konstrukcije i tla. Radi boljeg uvida u pomake, deformacija elemenata je povećana te ne predstavlja količinu pomaka koja bi se dogodila u stvarnosti. Ukupni pomaci konstrukcije iznose oko 2,2 cm te su isti ostvareni u neposrednoj blizini susjednih objekata.

Rezultati pomaka izvedbe međukatne konstrukcije prve podzemne etaže prikazani su slikama 42 i 43. Međukatna konstrukcija, kako je prethodno i navedeno, služi kao razupora kako bi se spriječili nedozvoljeni pomaci unutar građevinske jame. Maskimalni pomaci navedene faze iznose iznose oko 2,2 cm.

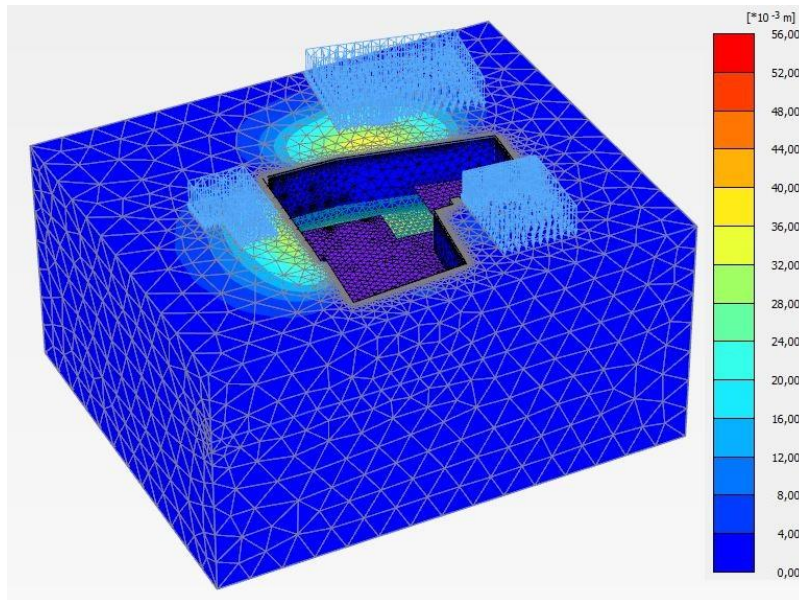


Slika 42. Pomaci modela u fazi izvedbe prve podzemne međukatne konstrukcije prikazani spektrom boja.

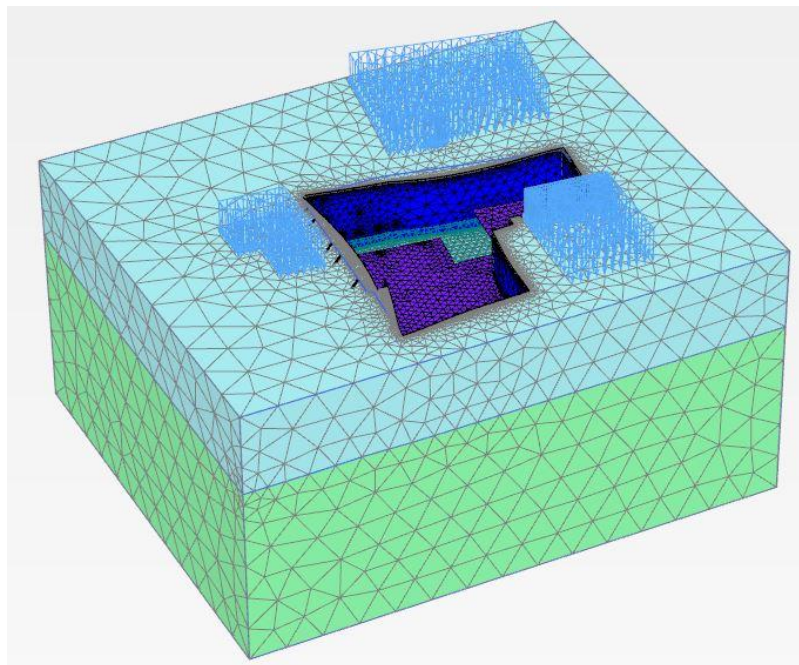


Slika 43. Pomaci modela u fazi izvedbe prve podzemne međukatne konstrukcije prikazani deformiranim elementima.

Nakon što je izvedena međukatna konstrukcija te je ostvarena potrebna čvrstoća iste pristupa se drugoj fazi iskopa. Iskop se vrši kroz otvor u međukatnoj konstrukciji koji se nalazi na sjevernom dijelu objekta. Ostvareni pomaci nakon druge faze iskopa iznose oko 4,2 cm i nalaze se na sjevernoj strani objekta (Slika 44 i Slika 45).

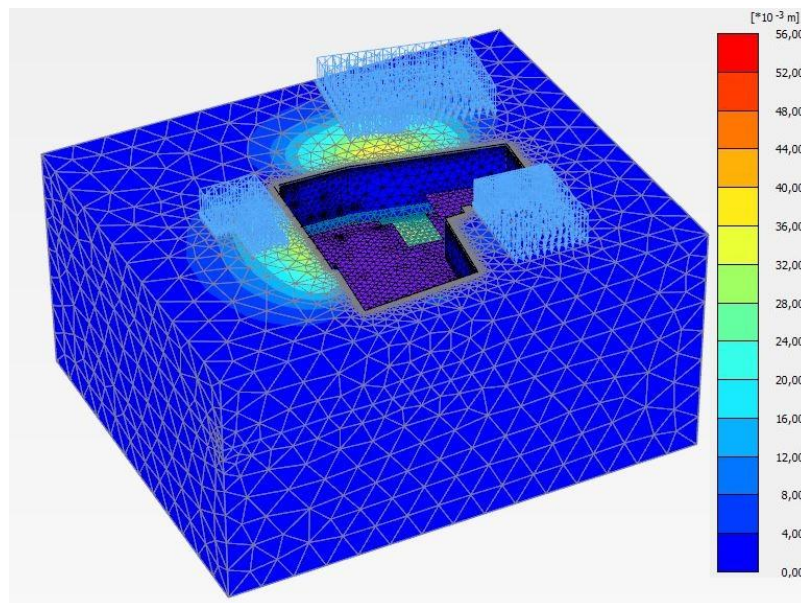


Slika 44. Pomaci modela u drugoj fazi iskopa prikazani spektrom boja.

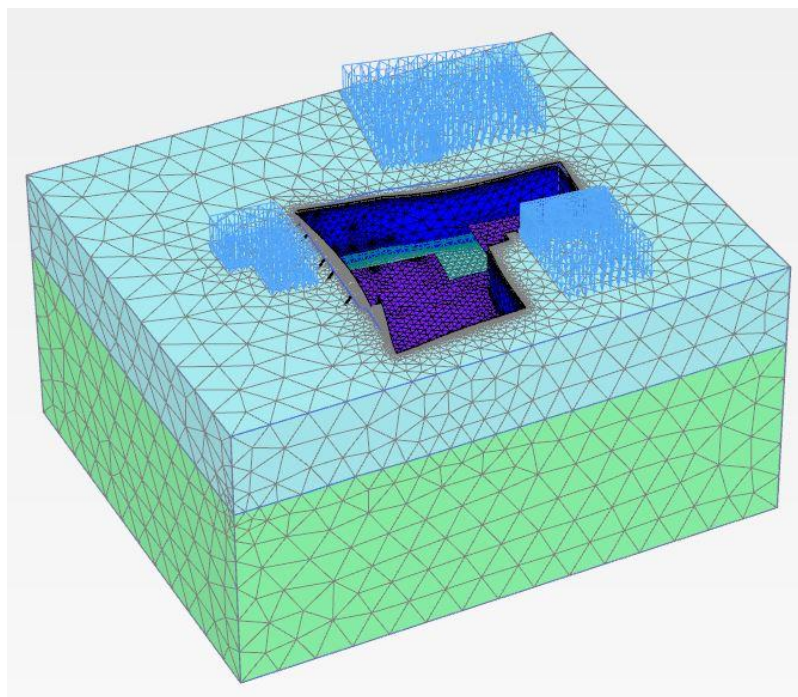


Slika 45. Pomaci modela u drugoj fazi iskopa prikazani deformiranim elementima.

Iskopom druge faze pristupa se izvođenju međukatne konstrukcije druge podzemne etaže. Kao i u slučaju međukatne konstrukcije prve podzemne etaže, i u ovoj etaži ostavljen je otvor za iskop treće i posljednje podzemne etaže. Pomaci ove faze prikazani su slikama 46 i 47, a iznose oko 2,4 cm.

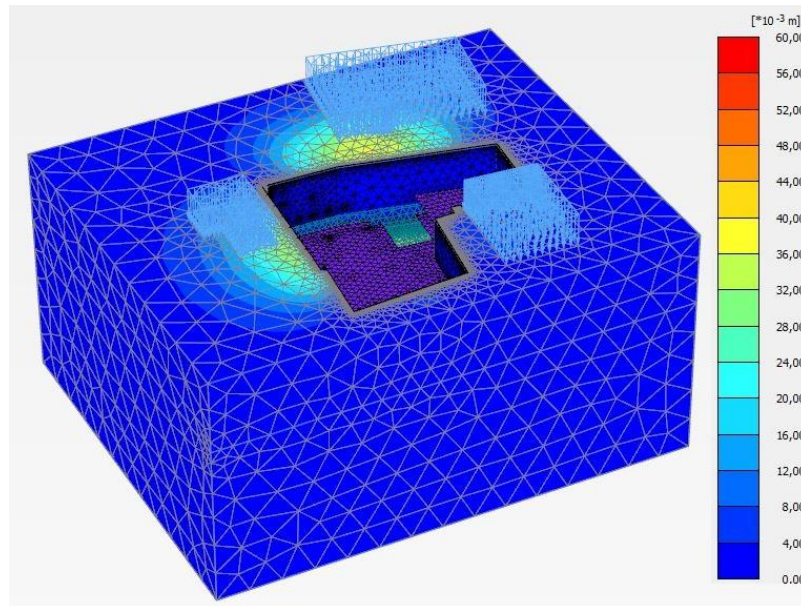


Slika 46. Pomaci modela u fazi izvedbe druge podzemne međukatne konstrukcije prikazani spektrom boja.

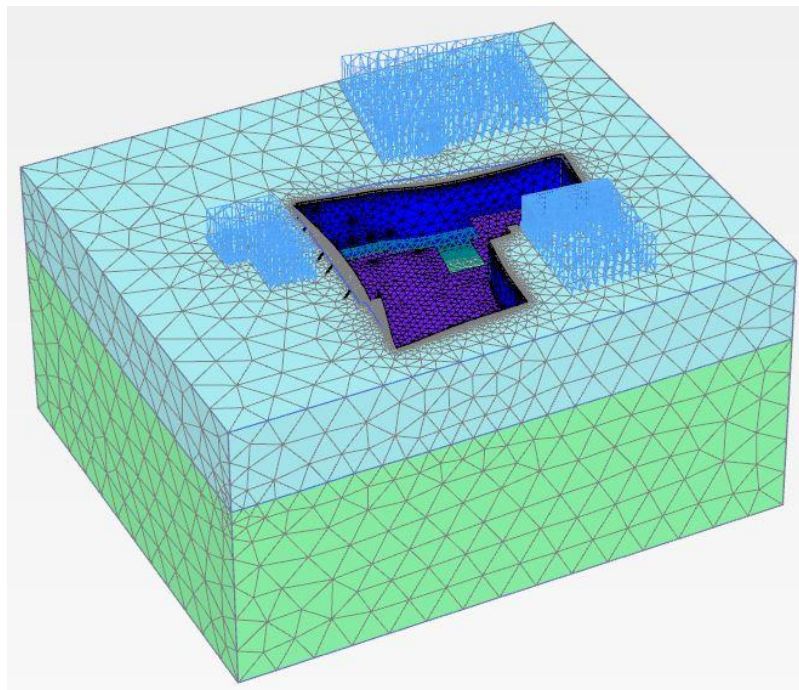


Slika 47. Pomaci modela u fazi izvedbe druge podzemne međukatne konstrukcije prikazani deformiranim elementima.

Posljednja faza iskopa provodi se u sedmoj fazi projektiranja u PLAXIS 3D okruženju. Pomaci dane faze prikazani su u nastavku slikama 48 i 49. Maksimalni ostvareni pomaci tokom iskopa ostvareni su na vrhu sjevernog zida dijafragme te iznose oko 2,8 cm.

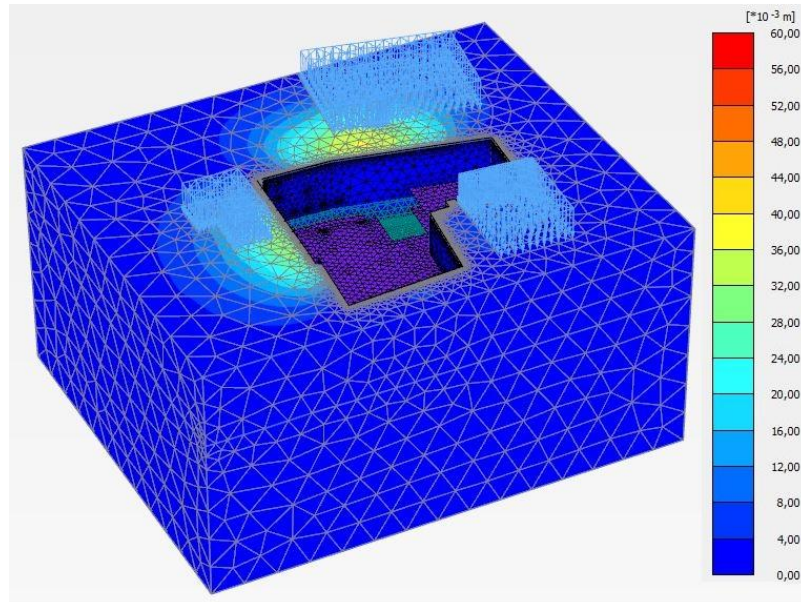


Slika 48. Pomaci modela u trećoj fazi iskopa prikazani spektrom boja.

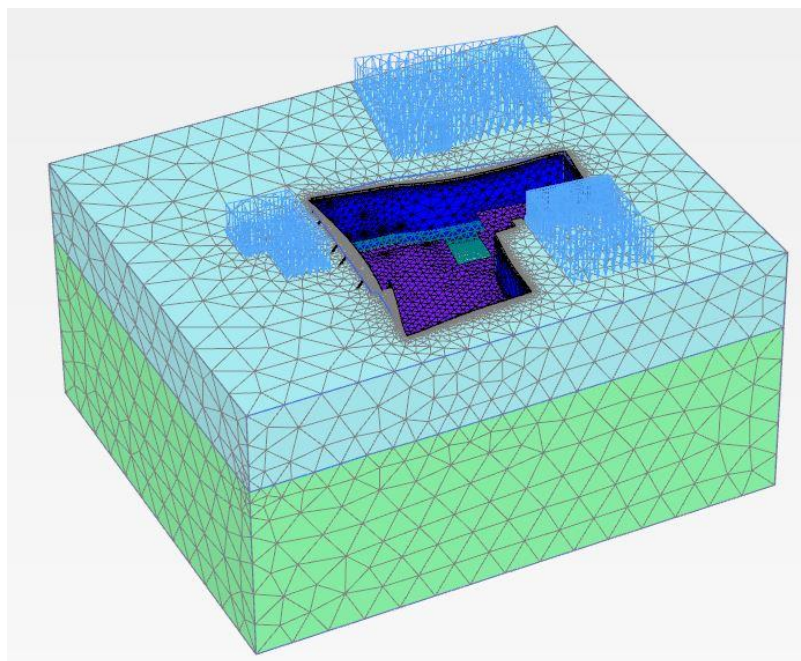


Slika 49. Pomaci modela u trećoj fazi iskopa prikazani deformiranim elementima.

Izrada temeljne ploče označava zadnju fazu projekta. U ovoj fazi prikazani su maksimalni pomaci koji će biti ostvareni tokom izvođenja osiguranja građevinske jame. Isti su prikazani slikama 50 i 51, a iznos im je jednak prethodnoj fazi.

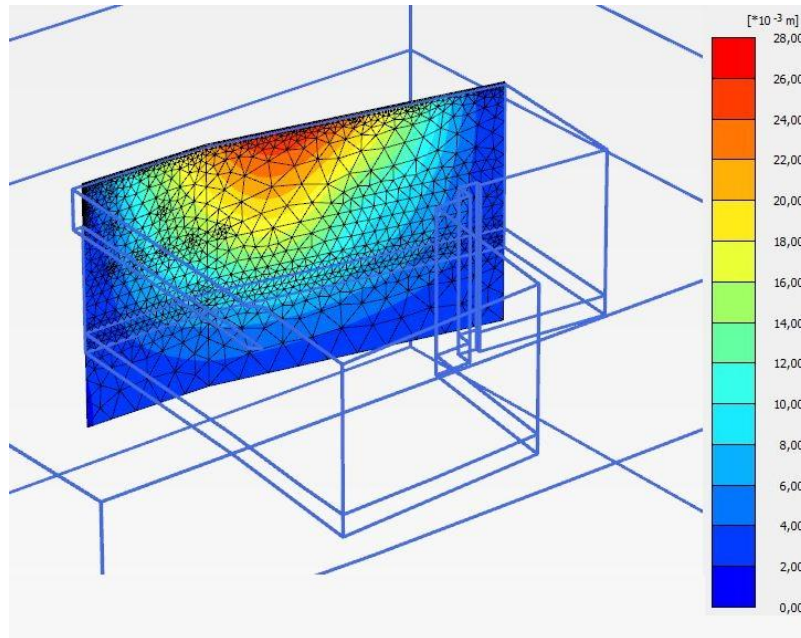


Slika 50. Pomaci modela u fazi izvedbe temeljne ploče konstrukcije prikazani spektrom boja.



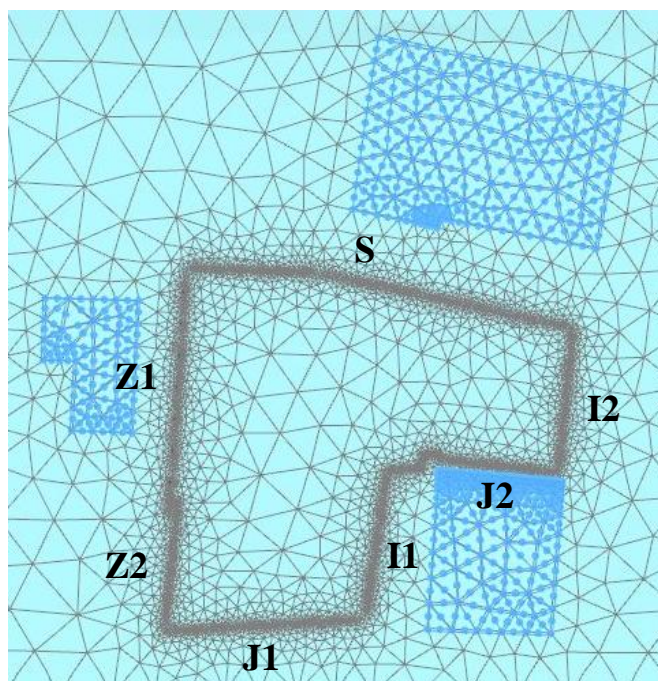
Slika 51. Pomaci modela u fazi izvedbe temeljne ploče konstrukcije prikazani deformiranim elementima.

Slikom 52 prikazana je dijafragma s najvećim ostvarenim pomakom. Na navedenoj slici dan je uvid u raspodjelu pomaka po cijelom elementu prikazan spektrom boja. Vidljivo je da se najveći ostvareni pomak nalazi samom vrhu konstrukcije u neposrednoj blizini susjednog objekta.



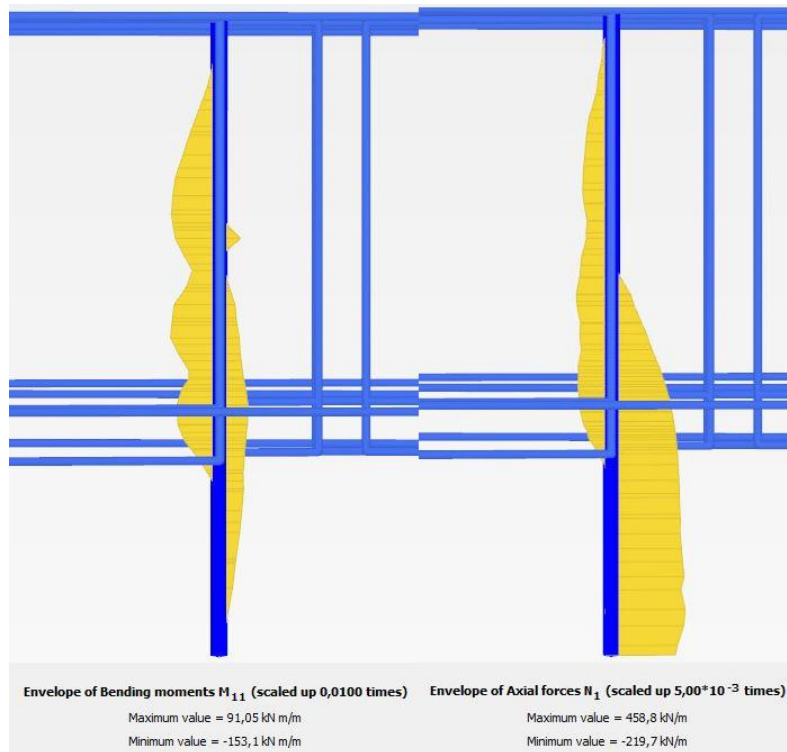
Slika 52. Raspodjela pomaka na sjevernoj dijafragmi.

Dijagrami momenata i sila su prikazani za sve zidove konstrukcije koja osigurava građevinsku jamu. Dijagrami su prikazani kao presjeci na konstrukciji gdje se ostvaruje maksimalni moment i maksimalna sila. Na temelju maksimalnih vrijednosti u nastavku rada će biti prikazan proračun armature koju je potrebno postaviti unutar zidova dijafragme. Radi lakšeg razumijevanja slikom 53 prikazan je tlocrt objekta sa oznakama zidova na kojima su razmatrane anvelope momenta i sila.

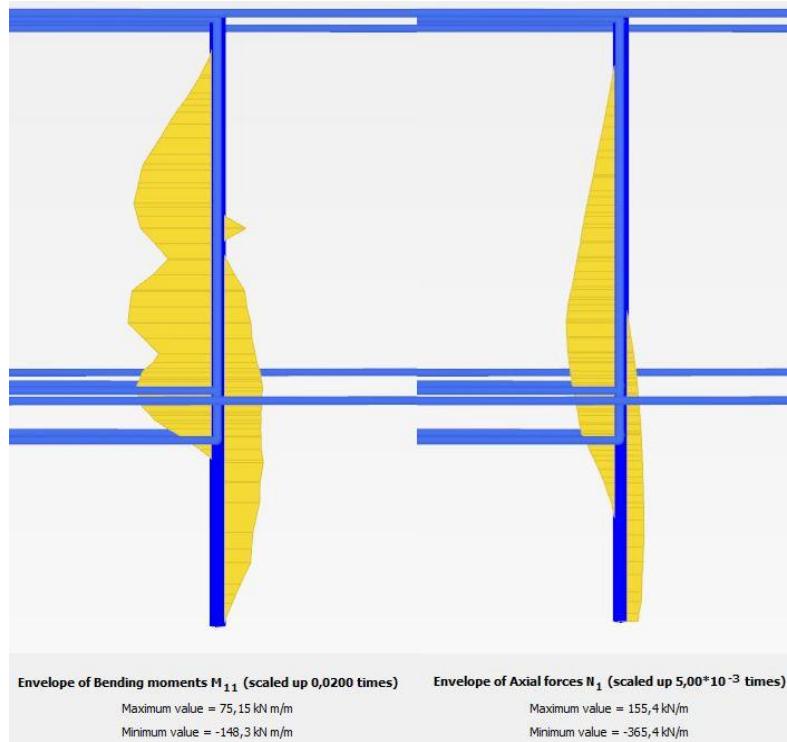


Slika 53. Tlocrt objekta sa oznakama položaja anvelopa.

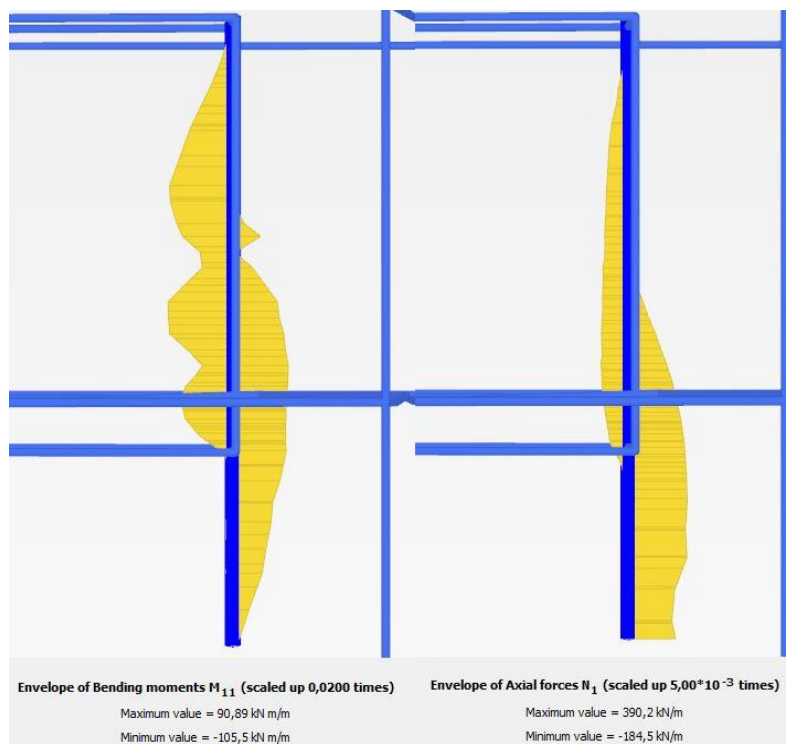
Analizirani zidovi označeni su slovom i brojem koji predstavljaju stranu svijeta objekta. Na slikama anvelopa momenata savijanja nalazi se sa lijeve strane, dok se anvelopa poprečnih sila nalazi na desnoj strani. Slikama 54 i 55 prikazani su ostvareni momenti i sile na istočnim stranama objekta, momenti i sile južne strane objekta prikazani su slikama 56 i 57, sile i momenti sjeverne strane objekta prikazani su slikom 58, a slikama 59 i 60 prikazani su ostvareni momenti i sile zapadnih strana objekta.



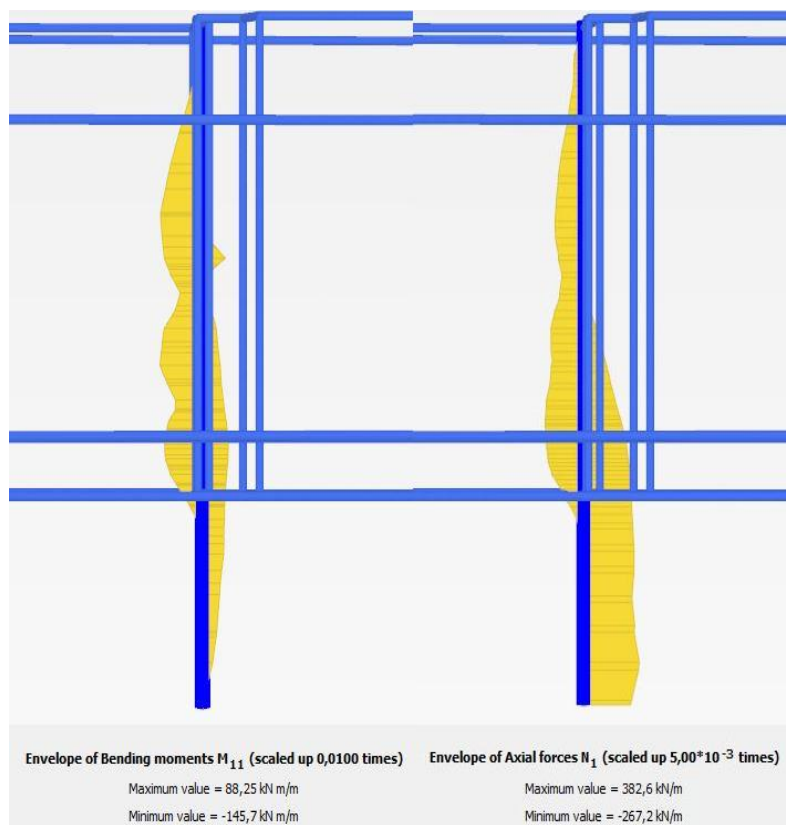
Slika 54. Anvelopa momenata savijanja i poprečnih sila I1.



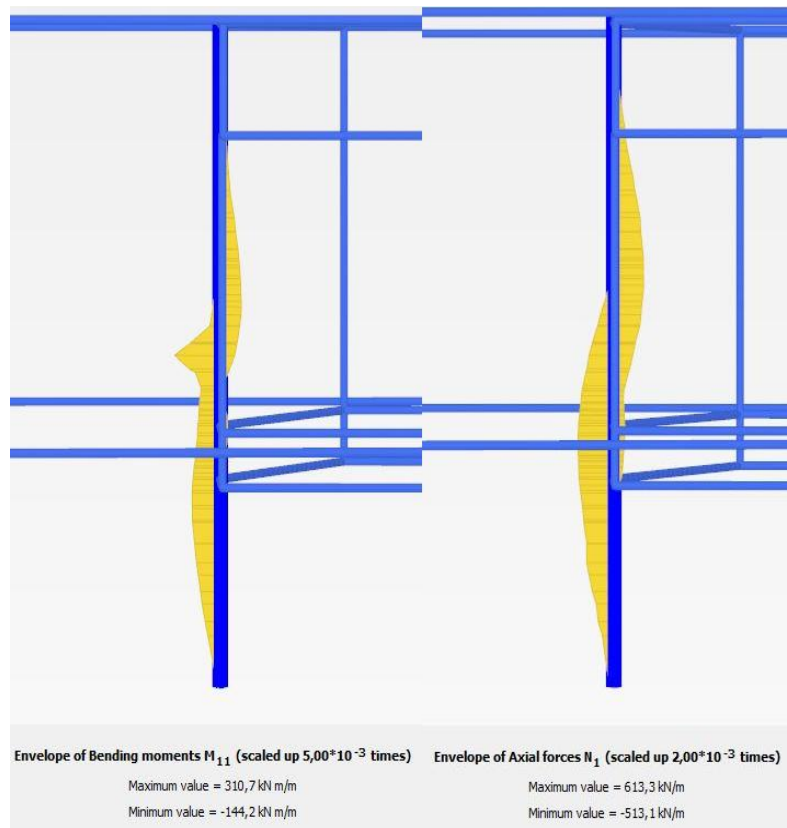
Slika 55. Anvelopa momenata savijanja i poprečnih sila I2.



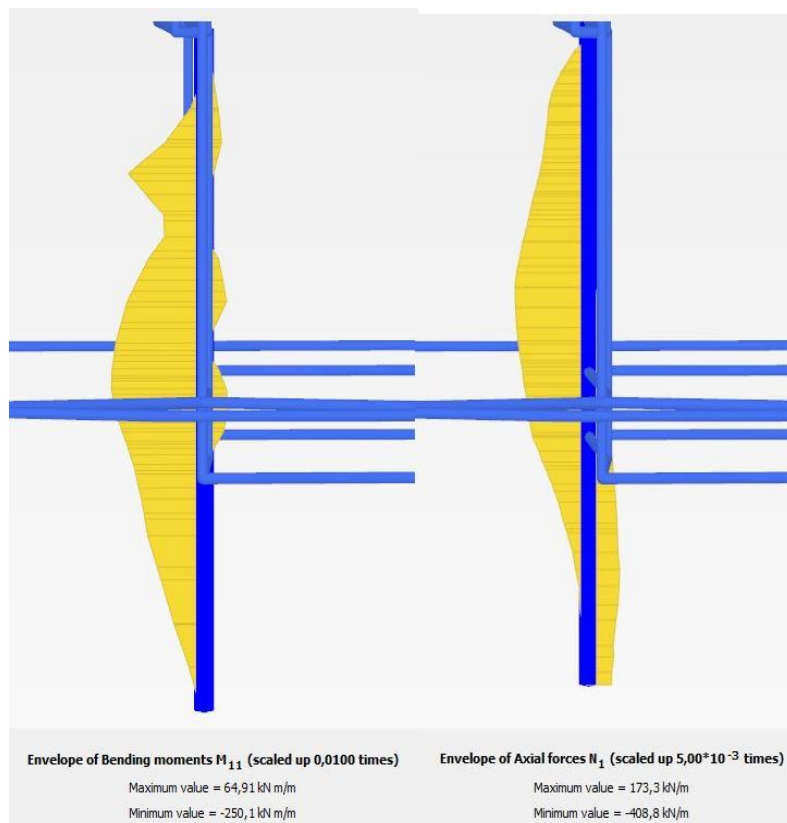
Slika 56. Anvelopa momenata savijanja i poprečnih sila J1.



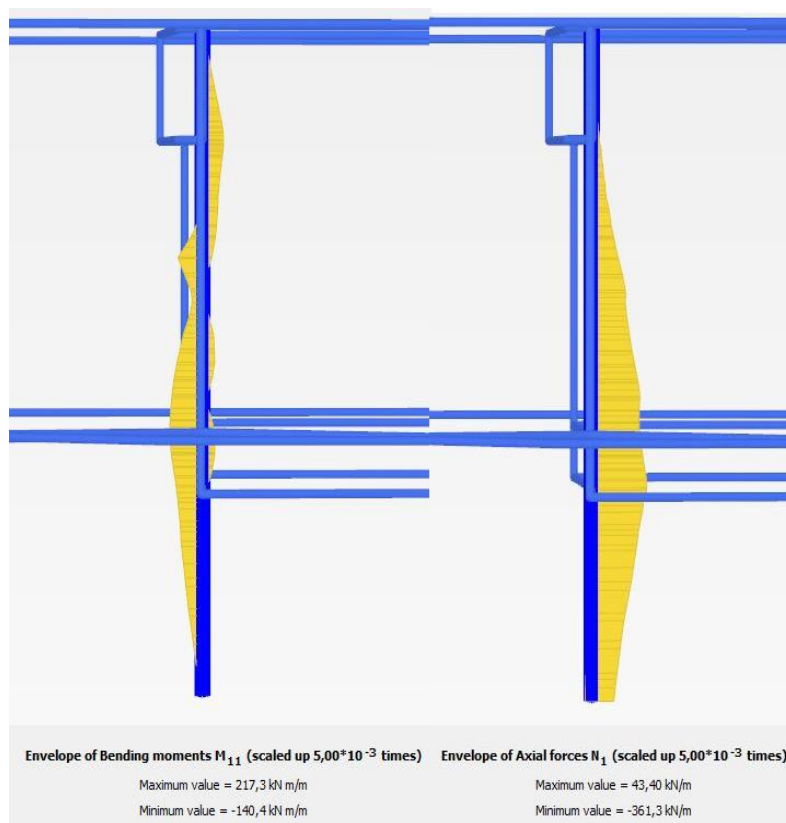
Slika 57. Anvelopa momenata savijanja i poprečnih sila J2.



Slika 58. Anvelopa momenata savijanja i poprečnih sila S.



Slika 59. Anvelopa momenata savijanja i poprečnih sila Z1.



Slika 60. Anvelopa momenata savijanja i poprečnih sila Z2.

Tablicom 15 prikazane su maksimalne i minimalne vrijednosti momenata savijanja i poprečnih sila ostvarenih na određenim pozicijama na zidovima dijafragme. Vrijednosti momenata savijanja i poprečne sile u nastavku su komentirani s obzirom na to nalaze li se sa strane prema iskopu ili tlu.

Na strani prema iskopu, najveći moment savijanja ostvaren je na zidu I1 (istočna strana objekta) te iznosi 153,10 kNm. Suprotno tome, minimalni moment savijanja na strani prema iskopu iznosi 64,91 kNm, a javlja se na zidu Z1 (zapadna strana objekta). Maksimalna sila prema iskopu zabilježena je na sjevernom zidu te iznosi 513,10 kN, dok je najmanja sila zabilježena na zidu Z1 u iznosu od 173,30 kN.

Iz tablice je vidljivo da se maksimalni moment savijanja prema tlu ostvaruje na sjevernoj strani objekta. Navedeni moment iznosi 310,70 kN. Minimalni moment savijanja iznosi 75,15 kNm, a zabilježen je na zapadnoj strani objekta (zid Z1). Najveća poprečna sila prema tlu zabilježena je na sjevernoj strani objekta te iznosi 613,30 kN. Poprečna sila sa najmanjom vrijednosti nalazi na zidu Z2. Navedena poprečna sila javlja se u iznosu od 43,40 kN.

Tablica 15. Vrijednosti ostvarenih momenata savijanja i poprečnih sila

Oznaka pozicije		Momenti savijanja [kNm]	Poprečne sile [kN]
I1	Max	91,05	458,8
	Min	-153,1	-219,7
I2	Max	75,15	155,4
	Min	-148,3	-365,4
J1	Max	90,89	390,2
	Min	-105,5	-184,5
J2	Max	88,25	382,6
	Min	-145,7	-267,2
S	Max	310,7	613,3
	Min	-144,2	-513,1
Z1	Max	64,91	173,3
	Min	-250,1	-408,8
Z2	Max	217,3	43,4
	Min	-140,4	-361,3

Armiranobetonska dijafragma dimenzionirana je na maksimalan moment savijanja prema iskopu i maksimalan moment savijanja prema tlu.

6.3. Dimenzioniranje armiranobetonske dijafragme

Čvrstoća betona zahtjevana za armiranobetonsku dijafragmu je C 30/37. Debljina zaštitnog sloja betona (c) iznosi 10,0 cm. Ostali parametri korišteni prilikom dimenzioniranja su:

- širina presjeka: $b = 100,0$ cm
- statička visina: $d = 47,0$ cm
- proračunska tlačna čvrstoća betona: $f_{cd} = 2,0$ kN/cm²
- proračunska vlačna čvrstoća čelika: $f_{yd} = 43,48$ kN/cm²

6.3.1. Dimenziniranje armiranobetonske dijafragme - strana prema tlu

Za proračun se uzima najveći ostvareni moment dobiven proračunom u PLAXIS 3D okruženju. Navedeni momenti su prikazani u tablici 15, a najveći ostvareni moment iznosi 310,70 kNm. Isti je ostvaren u sjevernom zidu dijafragme.

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b * d^2 * f_{cd}} = \frac{31070,0}{100 * 47,0^2 * 2,0} = 0,070 \quad (8)$$

$$\zeta = 0,962$$

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta * d * f_{yd}} = \frac{31070,0}{0,962 * 47 * 43,48} = 15,80 \text{ cm}^2 \quad (9)$$

Najmanja armatura:

$$A_{s,min} = 0,26 * \frac{f_{ctm}}{f_{yd}} * b * d = 0,26 * \frac{2,90}{500} * 100,0 * 47,0 = 7,09 \text{ cm}^2 \quad (10)$$

Odabrana armatura : $\phi 16/12,5$ ($16,09 \text{ cm}^2$)

6.3.2. Dimenzioniranje armiranobetonske dijafragme - strana prema iskopu

Za proračun se uzima najveći ostvareni moment dobiven proračunom u PLAXIS 3D okruženju. Navedeni momenti su prikazani u tablici 15, a najveći ostvareni moment iznosi -250,1 kNm. Isti je ostvaren u zapadnom zidu dijafragme.

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b * d^2 * f_{cd}} = \frac{15310,0}{100 * 47,0^2 * 2,0} = 0,035 \quad (11)$$

$$\zeta = 0,982$$

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta * d * f_{yd}} = \frac{15310,0}{0,982 * 47 * 43,48} = 7,63 \text{ cm}^2 \quad (12)$$

Najmanja armatura:

$$A_{s,min} = 0,26 * \frac{f_{ctm}}{f_{yd}} * b * d = 0,26 * \frac{2,90}{500} * 100,0 * 47,0 = 7,09 \text{ cm}^2 \quad (13)$$

Odabrana armatura : $\phi 12/14,5$ ($7,80 \text{ cm}^2$)

7. TEHNIČKI OPIS OSIGURANJA GRAĐEVINSKE JAME

Unutar poglavlja tehničkog opisa projekta biti će opisano rješenje osiguranja građevinske jame, posebni zahtjevi za izvedbu zaštitne konstrukcije i iskop građevinske jame, tehnologija i faze izvedbe te konstrukcija zaštite građevinske jame.

7.1. Rješenje osiguranja građevinske jame Top-down metodom

Lokacija na kojoj se izvodi građevina omeđena je susjednim zgradama. Na južnoj strani građevinske jama se izvodi neposredno uz višekatnu zgradu, dok je sa sjeverne strane jame prometnica odnosno slijepa ulica te višekatna zgrada i obiteljska kuća. Također na zapadnoj strani jame nalazi se stambena zgrada te je na tom dijelu potrebno osigurati najveću visinsku razliku. Na istočnoj strani jame nalazi se prometnica sa dva prometna traka, Ulica Ivana Kukuljevića. Visinska razlika između istočnog i zapadnog dijela građevinske jame iznosi oko 8,40 metara [21].

U svrhu smanjenja pomaka i osiguranja mehaničke otpornosti i stabilnosti, ali i uporabljivosti okolnih objekata odabrano je rješenje osiguranja građevinske jame top-down metodom [21].

Bokovi građevinske jame bit će osigurani izvedbom armiranobetonske dijafragme pridržane stropnim pločama podzemnih etaža i temeljnom pločom. Na pojedinim dijelovima bit će izvedena geotehnička i štapna sidra u svrhu dodatnog osiguranja jame. Armiranobetonska dijafragma je projektirana kao nosivi i vodonepropusni zid podzemnih etaža tj. kao trajna konstrukcija [21].

Dio zapadnog strane građevinske jame osiguran je izvedbom pilotske stijene koju čine armiranobetonski bušeni piloti promjera $D = 400,00$ mm, duljine pilota $L = 5,50$ m na horizontalnom razmaku od 0,75 m. Predviđena je ugradnja štapnih sidara duljine $L = 9,0$ kao osiguranje pilotske stijene. Sidra se izvode kroz armiranobetonski naglavnu gredu koja povezuje vrhove pilota. Lice pilotske stijene osigurano je mlaznim betonom. Pilotska stijena je izvedena radi arhitektonskih i urbanističkih zahtjeva da građevinska jama u svojem najvišem dijelu bude izlomljena, tj. da se izbjegne neprekinuto vertikalno lice građevinske jame [21].

Armiranobetonske dijafragme izvode se do dubine +118,20 m n.m., a predviđena kota dna iskopa je na + 124,95 m n.m. što daje dubinu ukopavanja dijafragme od 6,75 m. Maksimalna dubina iskopa građevinske jame je 13,75 m [21].

Stropne ploče pridržavaju se čeličnim stupovima koji su prethodno direktno ugrađeni u armiranobetonske bušene pilote promjera $D = 400,00$ mm, duljine $L = 7,00$ m ispod donje kote armiranobetonske temeljne ploče [21].

Projektirana potporna konstrukcija se sastoji od [21]:

- Armiranobetonske dijafragme debljine $d=60$ cm i armiranobetonske naglavne grede promjenjive visine (visine $H=1,0$ m, $1,50$ m, $2,0$ m i $2,50$ m). Armiranobetonska dijafragma je projektirana kao trajna konstrukcija podzemnih etaža – nosivi i vododrživi zid.
- Dvije razuporne stropne ploče (strop garaže -1 i garaže -2) i temeljne ploče.
- Privremenih čeličnih stupova podzemnih etaža – čelične cijevi $\phi 273$ mm, $t=10$ mm. Čelični stupovi se temelje u armiranobetonskim bušenim pilotima promjera $D=400,0$ mm, duljine $L=7,0$ m ispod donje kote armiranobetonske temeljne ploče.
- Na zapadnom dijelu građevne jame gornji dio građevne jame se osigurava izvedbom pilotske stijene koju čine armiranobetonski bušeni piloti promjera $D=400,0$ mm, duljine pilota $L=5,50$ m na horizontalnom razmaku od $0,75$ m. Za osiguranje pilotske stijene predviđena je ugradnja štapnih sidara, ukupne duljine $L=9,0$ m sa duljinom sidrišne dionice od $L_b=6,0$ m, na horizontalnom razmaku od $3,0$ m. Sidra se ugrađuju kroz armiranobetonsku naglavnu gredu dimenzija $0,60 \times 0,50$ m koja povezuje vrhove pilota. Na lice pilotske stijene pristupa se izvedbi mlaznog betona - poravnavajući sloj te dva sloja debljine po $5,0$ cm, između kojih se postavlja armaturna mreža Q-188 u jednom sloju.
- Na dijelu zapadne i sjeverne strane građevne jame armiranobetonska dijafragma se osigurava ugradnjom geotehničkih kablskih sidara ukupne duljine $L=16,0$ i $18,0$ m sa duljinom sidrišne dionice od $L_b=8,0$ m, na horizontalnom razmaku od $2,50$ m.

Stropne ploče su tlačni elementi koji će preuzimati pritiske tla, imaju veliku uzdužnu krutost i praktično eliminiraju naknadne horizontalne pomake dijafragme u razinama razupiranja. Zbog izvođenja stropnih ploča prije iskopa pojedine faze granja se obavlja odozgo prema dolje (top-down metoda) uz iznošenje iskopanog materijala kroz privremene otvore u stropnim pločama. Ova tehnologija zahtjeva vrlo kvalitetnu izvedbu vertikalnih spojeva elemenata dijafragme, poseban sastav betonske mješavine i tehnologiju ugradnje. U konačnoj fazi cijela konstrukcija se dodatno ukružuje poprečnim i uzdužnim nosivim zidovima [21].

Piloti i dijafragme u ovoj fazi građenja prenose opterećenje stropnih armiranobetonskih ploča na tlo. Nakon izvedbe temeljne ploče se na pozicijama privremenih čeličnih stupova izvode armiranobetonski stupovi i zidovi dimenzionirani na ukupno opterećenje zgrade te uređenju podzemnih i izvedbi nadzemnih etaža. Naknadna opterećenja se u tlu prenose preko temeljne ploče i pilota koji za konačno stanje imaju funkciju smanjenja slijeganja zgrade [21].

7.2. Posebni zahtjevi za izvedbu zaštitne konstrukcije i iskop građevinske jame

Propisuju se sljedeći zahtjevi za izvedbu zaštitne konstrukcije i iskop građevinske jame [21]:

- Potreba temeljenja stupova nosive konstrukcije na armiranobetonskim pilotima radi pridržavanja tereta razupornih stropnih ploča do trenutka monolitizacije pilota s temeljnom pločom.
- Potreba za preciznom izvedbom elemenata dijafragme, kako bi se eliminirala procjeđivanja podzemne vode na spojevima panela.
- Preciznost izvedbe (horizontalno pozicioniranje i vertikalnost) čeličnih stupova koji se ugrađuju u pilote.
- „Složena“ tehnološka rješenja za ostvarenje veza horizontalnih elemenata konstrukcije s privremenim stupovima i armiranobetonskom dijafragmom i za naknadnu izvedbu armiranobetonskih stupova i zidova.
- Otežani iskop građevinske jame zbog male slobodne visine (cca 3 m) i otežana evakuacija iskopanog tla.

Zbog tehnologije izvedbe, pojedini elementi dijafragme su odvojeni, tj. nemaju vodoravnu vezu pomoću armature. Međusobno povezivanje i kontinuitet ostvaruju se putem naglavne armiranobetonske grede te naknadno tijekom izvedbe zaštite razupornim pločama. Generalno se pripremni radovi, iskop i izvedba dijafragme, izrada pilota te izvedba stropnih ploča izvode u sljedećim fazama [21]:

- Uređenje okolnog terena, iskop i planiranje radnih platoa.
- Izvedba pilotske stijene na zapadnom dijelu građevne jame koju čine armiranobetonski bušeni piloti promjera $D=400,0$ mm, duljine pilota $L=5,50$ m na horizontalnom razmaku od 0,75 m. Za osiguranje pilotske stijene predviđena je ugradnja štapnih sidara, ukupne duljine $L=9,0$ m sa duljinom sidrišne dionice od

$L_b=6,0$ m, na horizontalnom razmaku od 3,0 m. Sidra se ugrađuju kroz armiranobetonsku naglavnu gredu dimenzija 0,60x0,50 m koja povezuje vrhove pilota. Na lice pilotske stijene pristupa se izvedbi mlaznog betona - poravnavajući sloj te dva sloja debljine po 5,0 cm, između kojih se postavlja armaturna mreža Q-188 u jednom sloju.

- Izvedba uvodnog kanala za izvedbu dijafragme.
- Izvedba dijafragme u segmentima duljine oko 6,0 m, a 2,50 m uz susjedne zgrade.
- Izvedba armiranobetonske naglavne grede.
- Izvedba armiranobetonskih bušenih pilota promjera $D=400,0$ mm, duljine $L=7,0$ m ispod donje kote armiranobetonske temeljne ploče. Ugradnja stupova od čeličnih profila u bušotine.
- Priprema podloge i izvedba prve stropne ploče (stropna ploča garaže -1).
- Ugradnja prva dva reda geotehničkih kablskih sidara ukupne duljine $L=18,0$ m sa duljinom sidrišne dionice od $L_b=8,0$ m, na horizontalnom razmaku od 2,50 m.
- Izvedba građevinske jame do kote oko 50 cm ispod dna druge stropne ploče.
- Priprema podloge i izvedba druge stropne ploče (stropna ploča garaže -2).
- Ugradnja trećeg reda geotehničkih kablskih sidara ukupne duljine $L=16,0$ m sa duljinom sidrišne dionice od $L_b=8,0$ m, na horizontalnom razmaku od 2,50 m.
- Izvedba građevinske jame do kote dna temeljne ploče.
- Izvedba temeljne ploče debljine 70,0 cm.

7.3. Tehnologija i faze izvedbe zaštite građevinske jame

Faze izvođenja su slijedeće [21]:

- Generalni iskop, rušenje postojećih podzemnih dijelova zgrada, blokiranje priključaka starih instalacija i odvoz materija na deponiju.
- Izvedba pilotske stijene na zapadnom dijelu građevne jame koju čine armiranobetonski bušeni piloti promjera $D=400,0$ mm, duljine pilota $L=5,50$ m na horizontalnom razmaku od 0,75 m. Za osiguranje pilotske stijene predviđena je ugradnja štapnih sidara, ukupne duljine $L=9,0$ m sa duljinom sidrišne dionice od $L_b=6,0$ m, na horizontalnom razmaku od 3,0 m. Sidra se ugrađuju kroz armiranobetonsku naglavnu gredu dimenzija 0,60x0,50 m koja povezuje vrhove pilota.

- Izvedba nasipa debljine oko 40 cm od graduiranog kamena tj. radnog platoa za izvedbu dijafragme. Nasip se zbija vibrovaljkom na modul zbijenosti $M_s \geq 40$ MPa. Širina radnog platoa na konturi dijafragme iznosi minimalno oko 10 m.
- Izvedba uvodnog kanala visine 100 cm i svijetlog otvora širine 65 cm za izvedbu dijafragme. Stjenke su od armiranog betona C25/30, armirane mrežnom armaturom Q283 i izvode se u dvostranoj oplati.
- Izvedba iskopa za dijafragmu u segmentima duljine cca 6,0 m. Iskop za dijafragmu se izvodi do dubine +118,20 m.n.m. posebnim strojem s kontrolom vertikalnosti, pod zaštitom bokova iskopa bentonitnom isplakom. Maksimalno odstupanje od vertikale je 0,5%.
- Izrada i ugradnja armaturnih koševa dijafragme. Armatura elemenata dijafragme sastoji se od po 1 ili 2 armaturna koša na međusobnom razmaku oko 20 cm kako bi se omogućilo naknadno betoniranje elementa dijafragme kontraktor postupkom. Armaturni koševi (čelik B500B) se ugrađuju u jednom komadu. Predviđena je doprema armaturnih koševa na gradilište u dva komada koji će se spajati na gradilištu u jedan armaturni koš. Budući da se u armaturne koševe ugrađuju i elementi za ostvarenje veze s razupornim AB pločama nužna je posebna preciznost izrade, montaže i ugradnje armaturnih koševa po visini. Izvedeni koševi se vješaju na stjenke uvodnog kanala uz rigoroznu kontrolu geometrije i ugradnje. Tolerance u odnosu na projektiranu geometriju koša su ± 1 cm, a kod ugradnje (visinski) ± 2 cm.
- Betoniranje pojedinih elemenata dijafragme (beton razreda čvrstoće C30/37 s aditivom za vodonepropusnost) izvodi se kontinuirano pomoću kontraktora s konačnim nadslojem betona min. 50 cm. Razred konzistencije betona neposredno prije ugradnje je S4+20 mm (Slump test 18-23), razred vodopropusnosti je VDP2. Za verifikaciju potrebne kvalitete betona u pogledu tlačne čvrstoće, vodonepropusnosti i ugradivosti prethodno treba izraditi projekt betona i potrebna prethodna ispitivanja.
- Obijanje lošeg betona dijafragme (visina min. 50 cm radi tehnologije ugradnje). Obijanje se obavlja pneumatskim čekićem na kotu donjeg ruba naglavne grede. Dozvoljava se i uklanjanje lošeg betona prije vezanja kako bi se izbjegla buka i vibracije prilikom štemanja.
- Izvedba naglavne grede (oplata, armatura i betoniranje). Na većem dijelu kontura zaštite oplata je jednostrana (vanjski zid uvodnog kanala koristi se kao oplata).

Naglavna greda izvodi se betonom razreda čvrstoće C30/37 i armira armaturnim čelikom B500B.

- Izvedba armiranobetonskih bušenih pilota promjera $D=400,0$ mm, duljine $L=7,0$ m ispod donje kote armiranobetonske temeljne ploče. Maksimalno odstupanje bušotina od vertikale je 2,0%, a od idealnog položaja 15 cm. Izvedba pilota sastoji se od bušenja, ugradnje betona, ugradnje gotovih armaturnih koševa na dno bušotine, ugradnje čeličnih stupova i betoniranja pilota kontraktor postupkom do kote cca. 80 cm iznad donjeg ruba temeljne ploče (zbog nemogućnosti precizne kontrole visine). Ugradnja riječnog šljunka veličine zrna 0-8 mm u preostali dio bušotine. Ispuna međuprostora između stjenke iskopa i stupa osigurava stabilnost relativno vitkih profila na izvijanje prilikom iskopa gornjih etaža. Nakon što je prošlo min. 24 sata nakon ugradnje profila, može se smatrati da je beton pilota dovoljno vezao tako da je ugrađeni profil fiksiran te se može nastaviti ispunjavanje ostatka bušotine riječnim šljunkom.
- Izvedba stropnih ploča. Predviđeno je da se stropne monolitne armiranobetonske ploče izvode nakon pojedine faze iskopa. Stropne ploče se mogu izvoditi na visećim oplatnim stolovima ili na pripremljenoj podlozi na tlu, ovisno o tehnologiji izvođača radova. Veza armature stropnih ploča i temeljne ploče s dijafragmom ostvaruje se prethodno ugrađenim spojnim elementima (Comax), a sa čeličnim stupovima pomoću prethodno ugrađenih čvornih ploča.
- Iskop građevinske jame. Nakon što je izvedena armiranobetonska stropna ploča garaže -1 postigla traženu čvrstoću obavlja se iskop garaže -1. Uporabu odgovarajuće tehnologije iskopa i iznošenja materijala te potrebne mehanizacije predložit će usvojeni izvođač radova u okviru izrade izvedbenog projekta.
- Na dijelu zapadne i sjeverne strane građevne jame armiranobetonska dijafragma se osigurava ugradnjom geotehničkih kabelskih sidara ukupne duljine $L=16,0$ i $18,0$ m sa duljinom sidrišne dionice od $L_b=8,0$ m, na horizontalnom razmaku od 2,50 m.
- Izvedba stropnih ploče razina garaže -2 uz adekvatno produbljenje iskopa obavlja se na jednaki način kao u prethodnom stavku. Tijekom iskopa treba računati i sa sniženjem razine zarobljene podzemne vode unutar dijafragme crpljenjem. Za vrijeme izvedbe pojedinih stropnih ploča razina podzemne vode mora biti min. 0,5 m ispod razine iskopa radi kvalitetnog kompaktiranja tla.
- Tijekom faznog iskopa građevinske jame neophodno je obaviti čišćenje prednjeg lica dijafragme od ostataka tla i isplake te poravnati neravnine veće od 5,0 cm

odbijanjem betona dijafragme i poravnavanjem cementnim mortom. Eventualna mjesta lokalnog procjeđivanja podzemne vode izvođač radova je obvezan sanirati uz uporabu brzovezućih mortova i masa za brtvljenje.

- Nakon što je izvedena temeljna ploča, izvedeni dio zgrade osiguran je od pojave uzgona te se nastavlja s daljnjim radovima odozdo prema gore (izvedba armiranobetonskih stupova i zidova, zatvaranje tehnoloških otvora u pločama i izvedba konstrukcije nadzemnog dijela zgrade).

Bitno je napomenuti da se izvođač mora striktno pridržavati navedenih faza izvođenja radova. Svako odstupanje u smislu redoslijeda i specifikacija izvedbe moraju odobriti projektant i nadzorni inženjer na zahtjev Investitora [21].

7.4. Konstrukcija zaštite građevinske jame

Ovo poglavlje obuhvaća opise konstruktivnih dijelova pomoću kojih se izvodi zaštita građevinske jame. U daljnjem tekstu bit će opisani i navedeni parametri armiranobetonske dijafragme, armiranobetonske naglavne grede dijafragme, armiranobetonskih bušenih pilota u pilotskoj stijeni, armiranobetonske naglavne grede na pilotskoj stijeni, mlazni beton kojim se osigurava pilotska stijena, štapna sidra ugrađena kroz naglavnu konstrukciju pilotske stijene, geotehnička kabelska sidra i armiranobetonski bušeni piloti i čelični stupovi.

7.4.1. Armiranobetonska dijafragma

Bokovi građevne jame će se osigurati izvedbom uspravne armiranobetonske dijafragme pridržane sa stropnim pločama podzemnih etaža i temeljnom pločom te na pojedinim dijelovima geotehničkim sidrima. Armiranobetonska dijafragma je projektirana kao trajna konstrukcija podzemnih etaža – nosivi i vododrživi zid [21].

Armiranobetonska dijafragma se izvodi do dubine +118,20 m.n.m., a predviđena kota dna iskopa je na +124,95 m.n.m. što daje dubinu ukopavanja dijafragme od 6,75 m [21].

Beton armiranobetonske dijafragme [21]

- Razred tlačne čvrstoće: C30/37
- Maksimalna veličina zrna: $d_{\max} = 16 \text{ mm}$
- Razred vodopropusnosti (prema HRN EN 12390-8 [28]): VDP2
- Minimalna količina cementa: $400 \text{ kg/m}^3 > g_{\min} = 280 \text{ kg}$ (zbog tehnologije ugradnje kontraktorom)
- Maksimalni vodocementni faktor: $v/c = 0,55 < \text{od}$
 $v/c_{(\max)} = 0,6$ (uz uporabu super-plastifikatora)
- Razred konzistencije betona (prema normi HRN EN 12350-2 [29]): S-4+20 mm (18-28 cm zbog tehnologije ugradnje kontraktorom)
- Najmanja debljina zaštitnog sloja betona: $\geq 100,0 \text{ mm}$ (zbog tehnologije izvedbe i nemogućnosti izravne kontrole).

Armatura armiranobetonske dijafragme [21]

- Uzdužna armatura - strana prema tlu: $\Phi 28 / 12,50 \text{ cm}$ (49,26 cm^2/m)
- Uzdužna armatura - strana prema iskupu: $\Phi 25 / 15,0 \text{ cm}$ (32,72 cm^2/m)
- Poprečna armatura: spone $\Phi 12$ (reznost $m=4$ na 1,0 m širine dijafragme) / 15,0 cm

7.4.2. Armiranobetonska naglavna greda dijafragme

Glavna pregradnja za izradu naglavne grede je odbijanje nekvalitetnog betona, odnosno uređenje gornjeg ruba dijafragme na projektiranu kotu. Armiranobetonska naglavna greda dijafragme je promjenjive visine (visine $H=1,0 \text{ m}$, $1,50 \text{ m}$, $2,0 \text{ m}$ i $2,50 \text{ m}$) [21].

Zbog načina izvedbe dijafragme, pojedini dijelovi dijafragme nisu povezani. Naglavna greda ih međusobno povezuje i time tvori određeni stupanj cjelovitosti dijafragme kao zaštitne konstrukcije. Preko naglavne grede vrši se stalna preraspodjela sila i deformacija. Zbog toga naglavna greda predstavlja element kontinuiteta dijafragme. Da bi tu ulogu naglavna greda mogla stvarno preuzeti, treba je izvesti prije iskopa unutar građevne jame [21].

Beton armiranobetonske naglavne grede dijafragme

- | | |
|---|----------------------------|
| - Razred tlačne čvrstoće: | C30/37 |
| - Maksimalna veličina zrna: | $d_{\max} = 32 \text{ mm}$ |
| - Minimalna količina cementa: | 280 kg/m^3 |
| - Najmanja debljina zaštitnog sloja betona: | $\geq 50,0 \text{ mm}$ |

7.4.3. Armiranobetonski bušeni piloti - pilotska stijena

Na zapadnom dijelu građevne jame gornji dio građevne jame se osigurava izvedbom pilotske stijene koju čine armiranobetonski bušeni piloti promjera $D=400,0 \text{ mm}$, duljine pilota $L=5,50 \text{ m}$ na horizontalnom razmaku od $0,75 \text{ m}$. Za osiguranje pilotske stijene predviđena je ugradnja štapnih sidara, ukupne duljine $L=9,0 \text{ m}$ sa duljinom sidrišne dionice od $L_b=6,0 \text{ m}$, na horizontalnom razmaku od $3,0 \text{ m}$. Sidra se ugrađuju kroz armiranobetonsku naglavnu gredu dimenzija $0,60 \times 0,50 \text{ m}$ koja povezuje vrhove pilota. Na lice pilotske stijene pristupa se izvedbi mlaznog betona - poravnavajući sloj te dva sloja debljine po $5,0 \text{ cm}$, između kojih se postavlja armaturna mreža Q-188 u jednom sloju [21].

Betoniranje pilota se mora izvoditi u neprekidnom radu po cijeloj dužini uz obaveznu uporabu kontraktor postupka. Koristi se beton razreda tlačne čvrstoće C30/37, kojeg je potrebno vibrirati. Piloti se armiraju armaturnim koševima koji se prethodno slažu u punoj duljini. Nakon betoniranja pilota do razine od $50,0 \text{ cm}$ iznad dna naglavne grede, uklanja se završni (površinski) nečisti sloj visine $50,0 \text{ cm}$ s naglaskom da uređena površina ne smije imati ostatke labavog agregata i mora biti potpuno čista i ravna. Kako bi se ostvarila povezanost vrha pilota i temelja armiranobetonske naglavne grede vrh uzdužne armature se savija u obliku «L» kuke [21].

Beton armiranobetonskih pilota pilotske stijene [21]

- Razred tlačne čvrstoće: C30/37
- Maksimalna veličina zrna: $d_{\max} = 16 \text{ mm}$
- Minimalna količina cementa: $400 \text{ kg/m}^3 > g_{\min} = 280 \text{ kg}$
(zbog tehnologije ugradnje kontraktorom)
- Maksimalni vodocementni faktor: $v/c = 0,55 < \text{od } v/c_{(\max)} = 0,6$
(uz uporabu super-plastifikatora)
- Razred konzistencije betona
(prema normi HRN EN 12350-2 [29]): S-4+20 mm (18-28 cm zbog tehnologije ugradnje kontraktorom)
- Najmanja debljina zaštitnog sloja betona: $\geq 40,0 \text{ mm}$

Značajke pilota [21]:

- Vanjski promjer: $D=400,0 \text{ mm}$
- Duljina pilota: $L=5,50 \text{ m}$
- Uzdužna armatura: šipke 6 kom $\Phi 20$, B500 B
- Poprečna armatura: spiralna armatura $\Phi 8/15 \text{ cm}$,
B500 B
- Zaštitni sloj betona: $c_{\text{nom}}=4,0 \text{ cm}$

Predviđeno je ispitivanje integriteta pilota od strane ovlaštene institucije, prema normi ASTM D5882-07 [30]. Predviđeno je ispitivanje svih pilota [21].

7.4.4. Armiranobetonski naglavna greda - pilotska stijena

Armiranobetonska naglavna greda dimenzija $0,60 \times 0,50 \text{ m}$ povezuje vrhove pilota [21].

Beton armiranobetonske naglavne grede pilotske stijene [21]

- Razred tlačne čvrstoće: C30/37
- Maksimalna veličina zrna: $d_{\max} = 32 \text{ mm}$
- Minimalna količina cementa: 280 kg/m^3
- Najmanja debljina zaštitnog sloja betona: $\geq 50,0 \text{ mm}$

Armatura armiranobetonske naglavne grede pilotske stijene [21]

- Uzdužna armatura: 8 kom $\Phi 16$
- Poprečna armatura: spone $\Phi 8$ (reznost $m=2$) / $15,0 \text{ cm}$

7.4.5. Mlazni beton - pilotska stijena

Prije nanošenja sloja mlaznog betona potrebno je površinu građevne jame temeljito očistiti. Nakon toga je potrebno poravnati lice građevne jame mlaznim betonom razreda C 25/30. Na uređeno i popunjeno lice građevne jame pristupa se izvedbi mlaznog betona u dva sloja debljine po 5,0 cm, između kojih se postavlja armaturna mreža Q-188 u jednom sloju. Preklap mreža mora biti minimalno 3 oka u svakom smjeru preklapanja. Radovi na osiguranju građevne jame mlaznim betonom i štapnim sidrima provode se prema OTU stavka 2-15.10 Zaštita pokosa mlaznim betonom [21].

Redoslijed izvedbe radova [21]

Mlazni beton debljine dva sloja po 5,0 cm izvodi se po sljedećem redoslijedu:

- Poravnavajući sloj mlaznog betona.
- Prvi sloj mlaznog betona debljine 5,0 cm.
- Postavljanje armaturnih mreža.
- Postavljanje drugog sloja mlaznog betona debljine 5,0 cm.

Zahtijevana tehnička svojstva mlaznog betona [21]

- | | |
|--------------------------------------|-------------------------------|
| - Razred tlačne čvrstoće: | C 25/30 |
| - Minimalna debljina mlaznog betona: | 10,0 cm (dva sloja po 5,0 cm) |
| - Maksimalna količina klorida: | 0,20 % |
| - Minimalna količina cementa: | 280 kg/m ³ |

Izvođač može koristiti suhi i mokri postupak ugradnje mlaznog betona. Treba nastojati da vrijeme između nanošenja prvog i drugog sloja bude što kraće kako bi se postigao kvalitetan kontakt između slojeva [21].

Prije nanošenja sloja mlaznog betona potrebno je površinu pokosa zasjeka temeljito pripremiti na sljedeći način [21]:

- dobro "okavati" lice građevne jame,
- prije nanošenja mlaznog betona površinu obavezno "ispuhati" komprimiranim zrakom,
- sve nečistoće odstraniti suhim postupkom uz eventualnu upotrebu minimalne količine vode i

- lagano poprskati površinu prvog sloja mlaznog betona vodom neposredno prije nanošenja drugog sloja.

Za ugradnju mlaznog betona treba osigurati stalni tlak komprimiranog zraka od 0,35–0,40 MPa ili više, ovisno o duljini transportne cijevi. Tlak vode na mlaznici treba biti za 0,1 MPa veći od tlaka komprimiranog zraka [21].

Sloj mlaznog betona na okomitoj plohi nanosi se odozdo prema gore poradi izbjegavanja mogućeg zatvaranja odskoka. Mlaznica mora biti okomita na plohu na koju se vrši nabacivanje, a podebljavanje sloja mlaznog betona vrši se zakretanjem mlaznice u koncentričnim krugovima. Udaljenost mlaznice od stijene mora iznositi 1,0 – 1,5 m. Mlazni beton treba njegovati minimalno 7 dana od dana ugradnje polijevanjem vodom ili prekrivanjem vlažnim prekrivačima (juta ili filter plastica) [21].

7.4.6. Štapna sidra - pilotska stijena

Za osiguranje pilotske stijene predviđena je ugradnja štapnih sidara, ukupne duljine $L=9,0$ m sa duljinom sidrišne dionice od $L_b=6,0$ m, na horizontalnom razmaku od 3,0 m. Sidra se ugrađuju kroz armiranobetonsku naglavnu gredu dimenzija 0,60x0,50 m koja povezuje vrhove pilota [21].

Zahtijevana tehnička svojstva štapnih sidara [21]

- | | |
|------------------------------------|--------------------------------|
| - Duljina sidara: | $L = 9,0$ m |
| - Duljina slobodne dionice: | $L_s = 3,0$ m |
| - Duljina sidrišne dionice: | $L_b = 6,0$ m |
| - Kut bušotine: | 30° od horizontale prema dolje |
| - Minimalni vanjski promjer sidra: | $\phi = 32$ mm |
| - Minimalni promjer bušotine: | $\phi_{b,min} = 200,0$ mm |
| - Minimalna sila pri popuštanju: | $F_{y,k} = 405,0$ kN |
| - Minimalna sila pri lomu: | $F_{t,k} = 440,0$ kN |
| - Sila pritezanja: | $P_0 = 100,0$ kN |

Predmetna sidra ugrađuju se kao trajna sidra i o tome je proizvođač dužan dostaviti ateste na odobrenje prije ugradnje istih. Predviđena sidra moguće je zamijeniti drugima istih ili boljih tehničkih karakteristika, a uz prethodnu suglasnost projektanta [21].

Pritezanje sidara

Štapna sidra pritežu se hidaruličnom prešom za podlogu. Štapna pritežu se na silu $P_0=100,0$ kN. Pritezanju sidara može se pristupiti najmanje 10 dana nakon provedenog injektiranja sidrišne dionice, odnosno nakon što je smjesa za injektiranje dosegla čvrstoću od min. 30 MN/m^2 [21].

Ispitivanje sidara

Ispitivanju sidara smije se pristupiti nakon što je čvrstoća injekcijske smjese dosegla najmanje 30 MN/m^2 . Ovo ispitivanje izvodi se prema odgovarajućem protokolu, u skladu sa normom HRN EN ISO 22477-5 [21,31].

Antikorozivna zaštita sidara

Štapna sidra štite se od korozije ugradnjom šipki sidara u rebrastu cijev debljine stijenke $\geq 1,0$ mm. Kraj sidra zatvara se sa završnom kapom a spojevi rebrastih cijevi brtve se adhezijskom trakom. Praznina između šipke sidra i rebraste cijevi ispunjava se unutarnjom injekcijskom cementnom smjesom u skladu s EN 445 i EN 447 [32,33]. Debljina smjese mora iznositi najmanje 5,0 mm [21].

Vanjska injekcijska cementna smjesa, između rebraste cijevi i stijenke bušotine mora iznositi ≥ 10 mm [21].

U slobodnoj dionici sidra preko rebraste cijevi postavlja se glatka cijev debljine stijenke $\geq 1,5$ mm i brtvi se adhezijskom trakom [21].

Spojnicica na mjestu prijelaska iz slobodne u sidrišnu dionicu postavlja se u spojnu cijev, debljine stijenke ≥ 2 mm, ispunjava materijalom za zaštitu od korozije i brtvi na krajevima ugradnjom dvostrukog tulca koji se zagrijavanjem prilijepi na spojnicu. Nakon pritezanja sidara na traženu silu na glavu sidra se ugrađuje zaštitna galvanizirana kapa u skladu sa EN ISO 1461 ispunjena s odgovarajućim materijalom za zaštitu od korozije u skladu sa EN ISO 12944-5 [21,34,35].

7.4.7. Geotehnička kabela sidra

Na dijelu zapadne i sjeverne strane građevne jame armiranobetonska dijafragma se osigurava ugradnjom geotehničkih kabela sidara ukupne duljine $L=16,0$ i $18,0$ m sa duljinom sidrišne dionice od $L_b=8,0$ m, na horizontalnom razmaku od $2,50$ m [21].

Površina čeličnog presjeka geotehničkih sidara formirana je od strukova žica. Jedan struk žica mora biti promjera $\varnothing=15,7$ mm i površine poprečnog presjeka čelika od najmanje $150,0$ mm². Predviđena je ugradnja 4 struka u sva geotehnička sidra. Predviđen je visokovrijedni čelik najmanje vlačne čvrstoće $f_{pk}=1770,0$ MN/m². Vlačni elementi sidra su pojedinačno namašćeni i obloženi polietilenom na slobodnoj dionici i „goli“ na sidrišnoj dionici [21].

Po završetku bušenja sidrišne dionice potrebno je pristupiti ugradnji sidara te injektiranju sidrišne dionice. Na kraju se pristupa naknadnom injektiranju sidrišne dionice (eng. post grouting) [21].

Predmetna sidra ugrađuju se kao trajna sidra i o tome je proizvođač dužan dostaviti ateste na odobrenje prije ugradnje istih. Predviđena sidra moguće je zamijeniti drugima istih ili boljih tehničkih karakteristika, a uz prethodnu suglasnost projektanta [21].

Glavne sastavnice geotehničkog sidra su sidrišna dionica, slobodna dionica i glava sidra. Radovi na izvedbi geotehničkih sidara uključuju [21]:

- pripremne radove (radionička izrada sidara),
- bušenje sidrišne dionice,
- ugradnju sidara,
- injektiranje sidrišne dionice,
- naknadno injektiranje sidrišne dionice (post grouting, eng.)
- postupak aktiviranja i kontrolnog ispitivanja sidra (pritezanje).

Zahtijevana tehnička svojstva geotehničkih sidara:

- | | |
|--------------------------------|--|
| - Duljina za pritezanje sidra: | $L_e = 1,0$ m |
| - Duljina slobodne dionice: | $L_s = 8,0$ i $10,0$ m |
| - Duljina sidrišne dionice: | $L_b = 8,0$ m |
| - Kut bušotine: | 25° i 30° od horizontale prema dolje |
| - Promjer čelične strune: | $\varnothing = 15,7$ mm |

- Površina presjeka čelične strune: $A = 150,0 \text{ mm}^2$
- Naprezanje pri lomu čelika (čvrstoća): $f_{pk} = 1770,0 \text{ MN/m}^2$
- Naprezanje pri 0,1% deformacije čelika: $f_{p0,1,k} = 1570,0 \text{ MN/m}^2$
- Broj čeličnih strukova: $n = 4 \text{ kom}$
- Minimalni promjer bušotine: $\phi_{\min} = 200,0 \text{ mm}$
- Sila pritezanja: $P_0 = 200,0 \text{ kN}$

Projektant zadržava pravo promjene/modifikacije sile pritezanja u zavisnosti o dobivenim rezultatima mjerenja za vrijeme izvedbe radova [21].

Čelične strukove koji vire iz glave sidra (duljina za pritezanja sidra $L_e = 1,0 \text{ m}$) je dopušteno odrezati isključivo nakon završetka primopredajnog ispitivanja i pritezanja sidara uz prethodnu suglasnost projektanta [21].

Nakon pritezanja sidara na traženu silu na glavu sidra se ugrađuje zaštitna galvanizirana kapa u skladu sa EN ISO 1461 ispunjena s odgovarajućim materijalom za zaštitu od korozije u skladu sa EN ISO 12944-5 [21,34,35].

Sva geotehnička kabela sidra su trajna sa uporabnim vijekom od 100 godina [21].

7.4.8. Armiranobetonski bušeni piloti i čelični stupovi

Ukupno je predviđena izvedba 11 pilota završnog promjera 40 cm (bušenje se obavlja pomoću beskonačne spirale $\Phi 400 \text{ mm}$ bez zaštitne kolone). Duljina pilota ispod donjeg ruba temeljne ploče iznosi 7,0 m. U pilote se ugrađuju čelični profili $\phi 273 \text{ mm}$, $t=10 \text{ mm}$, toplodogotavljeni, prema HRN EN 10210 [21,36].

Radovi se izvode nakon što je uređen radni plato. Radovi na izradi pilota mogu se podijeliti u slijedeće faze [21]:

- izvedba bušotina 400 mm uz pomoć beskonačne spirale
- izrada i ugradnja armaturnih koševa pilota.
- ugradnja čeličnih stupova
- ugradnja betona pomoću kontraktora
- popunjavanje prostora između zaštitne kolone i čeličnih stupova riječnim šljunkom $d < 8 \text{ mm}$
- završni radovi
- kontrola kvalitete materijala

Po dovršetku bušenja pilota slijedi ugradnja armaturnih koševa. Za izradu koševa koristi se armatura B500B [21].

Beton armiranobetonskih pilota [21]

- Razred tlačne čvrstoće: C30/37
- Maksimalna veličina zrna: $d_{\max} = 16 \text{ mm}$
- Minimalna količina cementa: $400 \text{ kg/m}^3 > g_{\min} = 280 \text{ kg}$
(zbog tehnologije ugradnje kontraktorom)
- Maksimalni vodocementni faktor: $v/c = 0,55 < \text{od } v/c_{(\max)} = 0,6$ (uz uporabu super-plastifikatora)
- Razred konzistencije betona (prema normi HRN EN 12350-2 [29]): S-4+20 mm (18-28 cm zbog tehnologije ugradnje kontraktorom)
- Najmanja debljina zaštitnog sloja betona: $\geq 40,0 \text{ mm}$

Značajke pilota:

- Vanjski promjer: $D=400,0 \text{ mm}$
- Duljina pilota: $L=7,0 \text{ m}$
- Uzdužna armatura: šipke 6 kom $\Phi 20$, B500 B
- Poprečna armatura: spiralna armatura $\Phi 8/15 \text{ cm}$, B500 B
- Zaštitni sloj betona: $c_{\text{nom}}=4,0 \text{ cm}$

Transport i ugradnja betona vrijedi sve kao i za beton dijafragme. Beton se ugrađuje kontraktor postupkom. Promjer cijevi kontraktora ne smije biti manji od 150 mm i spušta se u bušotinu centrično, kroz čelični stup. Za vrijeme betoniranja kontraktor mora biti uvijek min. 1,0 m u smjesi betona. Na mjestu istovara betona visina istovara betona ne smije biti veća od 1,0 m. Nadsloj betoniranja u odnosu na donji rub temeljne ploče zgrade iznosi minimalno 80 cm [21].

Čelični profili ($\phi 273 \text{ mm}$, $t=10 \text{ mm}$, toplo dogotovljene, prema HRN EN 10210 [36], iz čelika S 355 J2H) se spuštaju, pridržavaju i centriraju u bušotini. Nakon fiksiranja čeličnog stupa slijedi betoniranje gornjeg dijela pilota koji se spreže sa stupom. Nakon primarnog vezanja betona prostor između čeličnih stupova i okolnog tla se popunjava riječnim šljunkom $d < 8 \text{ cm}$ [21].

7.5. Mjerna oprema i provođenje praćenja

Provjera uspješnosti projektiranih zahvata provodi se sistematskim opažanjem tijekom izvođenja i naknadno u toku eksploatacije. Pozicije predviđene mjerne opreme potrebno je definirati u sklopu izvedbenog projekta. Ne smije se započeti sa radovima iskopa dok nije ugrađena sva mjerna oprema i obavljeno „0“-to mjerenje na istoj [21].

Svrha praćenja je potvrda projektnih pretpostavki kao i mogućnost pravovremenih intervencija ukoliko dođe do većih pomaka od predviđenih [21].

Mjerna oprema će se sastojati od [21]:

- vertikalnih inklinometara
 - o 4 komada inklinometra koji se ugrađuju prije početka iskopa na kontrolnim profilima (6 mjerenja)
- geodetskih mjernih točaka za kontrolu pomaka
 - o geodetsko praćenje dijafragme - 10 komada (6 mjerenja)
- klinometara
 - o relativnih kuteva zaokreta okolnih građevina - 5 komada klinometara (6 mjerenja)
- opažanje slijeganja stupova pomoću vodene vage - 5 komada (6 mjerenja)
- pokazivača sile u sidrima (6 mjerenja)
 - o pokazivači sile na geotehničkim kabelskim sidrima - 6 komada
 - o pokazivač sile na štapnim sidrima - 1 komad

Opažanje pomaka pomoću inklinometra, klinometara i geodetskog mjerenja te mjerenje sile u sidrima obavlja se za vrijeme izvedbe iskopa i podrumskih etaža (predvidivo 6 mjeseci). Učestalost opažanja je obvezatno nakon izvedbe pojedine faze iskopa. Za svaku grupu mjerenja, ovisno o rezultatima, naknadno će se prema potrebi odrediti nova dinamika, odnosno završetak mjerenja [21].

Sve mjerene rezultate potrebno je ubilježiti u prikladne obrasce, sistematizirati i obraditi te ažurno dostavljati glavnom inženjeru, projektantu, revidentu i nadzornom inženjeru [21].

8. TROŠKOVNIK RADOVA

1. PRIPREMNI RADOVI				
1.1.	Izvedba radnih platoa za izvedbu armiranobetonske dijafragme i pilota. Radni plati kao i komunikacijske koridore treba nasuti drobljenim kamenim materijalom $d = 0-63$ mm podobnim za ugradnju i zbijanje u okvirnoj debljini 40 cm. Zbijenost podloge mora biti takva da omogućava nesmetano kretanje predviđene mehanizacije neovisno o vremenskim prilikama ($M_s \geq 40$ MPa). U jediničnoj cijeni sadržan sav potreban materijal, sredstva i rad. Obračun po kompletu.	komplet	1.00	0.00
1.2.	Izvedba uvodnog kanala visine stranica 1,0 m i svijetle širine 0,65 sa stranicama debljine 20 cm. Izvedba od betona C 25/30 u dvostranoj oplati uz konstruktivno armiranje armaturnom mrežom Q 283. U jediničnoj cijeni sadržan sav potreban materijal, sredstva i rad na iskopu, dobavi, montaži i demontaži oplata, armiranje i betoniranje te zasipavanje bokova uz zidove uvodnice materijalom iz iskopa. Obračun po m' gotovog uvodnog kanala.	m'	150.00	0.00
UKUPNO PRIPREMNI RADOVI				0.00
2. IZVEDBA PILOTSKE STIJENE				
2.1.	Mobilizacija bušće garniture i opreme za izvođenje bušenih pilota. U jediničnoj cijeni sadržan sav potreban materijal, sredstva i rad. Obračun po kompletu.	komplet	1.00	0.00
2.2.	Bušenje pilota nazivnog promjera D=400,0 mm. Stavka obuhvaća bušenje pilota nazivnog promjera D=400,0 mm. Piloti se buše kroz tlo (glinu). U jediničnoj cijeni sadržan sav potreban materijal, sredstva i rad na bušenju pilota (radne kolone, strojevi itd.). Obračun po m' izbušenog pilota.	m'	205.00	0.00
2.3.	Utovar i odvoz viška materijala dobivenog bušenjem pilota na deponiju. Stavka obuhvaća utovar viška iskopanog materijala na prijevozno sredstvo i odvoz u najbližu odgovarajuću građevinu ili uređaj u odnosu na mjesto nastanka otpada, uzimajući u obzir gospodarsku učinkovitost i prihvatljivost za okoliš. Stavka obuhvaća sav potreban materijal, sredstva i rad. Prekopprofilno bušenje i s time povezan višak materijala uključen je u jediničnu cijenu radova. Obračun po m ³ utovarenog i odveženog materijala u sraslom stanju po projektiranim dimenzijama pilota.	m ³	26.00	0.00

2.4.	Dobava, rezanje, savijanje, čišćenje i postavljanje armature B500B u pilote. Ugradnja prema specifikacijama iz projekta. U jediničnoj cijeni obuhvaćena je nabava i prijevoz čelika za armiranje, razvrstavanje i čišćenje, sječenje i savijanje, prijevozi i prijenosi, podlaganje i vezanje te sva potrebna sredstva, materijal i rad. Obračun po kg ugrađene armature.	kg	4,125.00	0.00
2.5.	Betoniranje pilota betonom razreda tlačne čvrstoće C 30/37. Stavka obuhvaća dobavu, dopremu i ugradnju betona razreda tlačne čvrstoće C 30/37 sa min. 400 kg cementa na m ³ gotovog betona. Maksimalno zrno agregata d _{max} =16,0 mm, razred konzistencije S-4+20 mm (sa dodatkom za poboljšanje ugradivosti). Betoniranje pilota se mora izvoditi u neprekidnom radu po cijeloj njegovoj dužini uz obveznu uporabu kontraktor postupka. Stavka obuhvaća sva potrebna sredstva, materijal i rad za ugradnju betona. Obračun po m ³ ugrađenog betona prema projektiranim dimenzijama.	m ³	26.00	0.00
2.6.	Obrada i uklanjanje betonskog vrha pilota promjera D=400 mm. Stavka obuhvaća uklanjanje završnog nečistog sloja betona pilota visine 50,0 cm. Uređena betonska površina ne smije imati ostatke labavog agregata i mora biti potpuno čista i ravna. U cijeni su sadržana sva potrebna sredstva, materijal i rad na uređivanju glave pilota. Obračun po komadu uređene glave pilota.	kom	31.00	0.00
2.7.	Ugradnja podložnog betona razreda tlačne čvrstoće C16/20 u debljini od 5,0 cm za potrebu izvedbe naglavne grede pilota. Stavka obuhvaća dobavu betona minimalnog razreda tlačne čvrstoće C 16/20, dopremu na gradilište te ugradnju podložnog betona za izradu naglavne grede pilota. Značajke i ugradnja materijala prema specifikacijama iz projekta. Stavka obuhvaća sva potrebna sredstva, materijal i rad. Obračun po m ³ ugrađenog betona.	m ³	1.00	0.00
2.8.	Dobava, rezanje, savijanje, čišćenje i postavljanje armature u naglavnu gredu pilota. U jediničnoj cijeni obuhvaćena je nabava i prijevoz čelika za armiranje, razvrstavanje i čišćenje, sječenje i savijanje, prijevozi i prijenosi, podlaganje i vezanje te sva potrebna sredstva, materijal i rad. Obračun po kg ugrađene armature.	kg	535.00	0.00

2.9.	Betoniranje naglavne grede pilota dimenzija 60x50 cm betonom razreda tlačne čvrstoće C 30/37. Stavka obuhvaća dobavu, dopremu i ugradnju betona razreda tlačne čvrstoće C 30/37, minimalne količine cementa 280 kg/m ³ , maksimalnog zrna agregata D=32,0 mm, sa potrebnom negom, dopremu, postavu i demontažu dvostruke oplata. Beton se ugrađuje vibriranjem. U cijeni sadržan sav potreban materijal, sredstva i rad na betoniranju. Obračun po m ³ ugrađenog betona prema projektiranim dimenzijama.	m ³	8.00	0.00
2.10.	Čišćenje lica pilotske stijene. Stavka obuhvaća čišćenje lica pilotske stijene nakon iskopa od gline, utovar na prijevozno sredstvo i odvoz na deponiju, a sve prema uputama nadzornog inženjera. Stavka obuhvaća sva potrebna sredstva, materijal i rad. Obračun po m ² očišćene površine.	m ²	80.00	0.00
2.11.	Poravnanje neravnina lica pilotske stijene mlaznim betonom C 25/30. Stavka obuhvaća ispunjavanje mlaznim betonom razreda tlačne čvrstoće C 25/30 radi poravnanja lica pilotske stijene. U stavku uključena dobava materijala, izrada te izvođenje uz sve potrebne instalacije sredstava i transporte te potrebne skele za izvođenje. Debljina poravnavajućeg sloja mlaznog betona je promjenjiva. Stavka obuhvaća sva potrebna sredstva, materijal i rad. Obračun po m ² poravnate površine.	m ²	80.00	0.00
2.12.	Zaštita lica građevne jame mlaznim betonom 2x5,0 cm i armaturnom mrežom Q 188. Stavka obuhvaća izradu i nanošenje mlaznog betona debljine d=10 cm u dva sloja po 5,0 cm, razreda tlačne čvrstoće C 25/30 i minimalnog odskoka, dobavu i postavljanje armaturne mreže Q 188 te pričvršćenje mreže na podlogu. U cijenu su uključeni svi preklopi mreža (minimalni preklop 45,0 cm u oba smjera). Slojevi mlaznog betona nanose se odvojeno u različitim vremenskim intervalima. U stavku uključena dobava materijala, izrada te izvođenje uz sve potrebne instalacije sredstava i transporte te potrebne skele za izvođenje. Stavka obuhvaća sva potrebna sredstva, materijal i rad. Obračun po m ² zaštićene površine.	m ²	90.00	0.00

- 2.13. **Ugradnja štapnih sidara, minimalnog promjera 32,0 mm, duljine L=9,0 m.** Za osiguranje pilotske stijene predviđena je ugradnja štapnih sidara, ukupne duljine L=9,0 m sa duljinom sidrišne dionice od $L_b=6,0$ m, na horizontalnom razmaku od 3,0 m. Ugrađuju se štapna sidra, minimalnog promjera šipke $\Phi=32,0$ mm, minimalne sile pri popuštanju $F_{y,k}=405,0$ kN. Duljina sidrišne dionice sidara iznosi 6,0 m, a slobodne 3,0 m. Minimalni promjer bušotine sidara je 200,0 mm. Sidra se izvode u skladu s propisanim tehničkim uvjetima odnosno prema uputstvima proizvođača za pojedini tip sidra. Projektirana sidra mogu se zamijeniti i drugim tipovima sidara odgovarajuće dužine i nosivosti uz prethodnu suglasnost projektanta. Sva ugrađena sidra tretiraju se kao trajna sidra. Za sva sidra izvođač radova dužan je pribaviti atestnu dokumentaciju od ovlaštene institucije prije ugradnje sidara. U stavku je uključena nabava sidra, iskolčenje sidara, bušenje, ugradnja, injektiranje i pritezanje glave sidra na traženu silu te sve potrebne skele za izvođenje sidara. Stavka obuhvaća sva potrebna sredstva, materijal i rad. Obračun po kom izvedenog sidra.

2.13.1.	Štapno sidro, $\Phi=32,0$ mm, $F_{y,k}=405,0$ kN, duljina L=9,0 m	kom	8.00	0.00
UKUPNO IZVEDBA PILOTSKE STIJENE				0.00
3.	IZVEDBA BUŠENIH PILOTA I ČELIČNIH STUPOVA			
3.1.	Bušenje pilota nazivnog promjera D=400,0 mm. Stavka obuhvaća bušenje pilota nazivnog promjera D=400,0 mm. Piloti se buše kroz tlo (glinu). U jediničnoj cijeni sadržan sav potreban materijal, sredstva i rad na bušenju pilota (radne kolone, strojevi itd.). Obračun po m' izbušenog pilota.	m'	174.00	0.00
3.2.	Utovar i odvoz viška materijala dobivenog bušenjem pilota na deponiju. Stavka obuhvaća utovar viška iskopanog materijala na prijevozno sredstvo i odvoz u najbližu odgovarajuću građevinu ili uređaj u odnosu na mjesto nastanka otpada, uzimajući u obzir gospodarsku učinkovitost i prihvatljivost za okoliš. Stavka obuhvaća sav potreban materijal, sredstva i rad. Prekopprofilno bušenje i s time povezan višak materijala uključen je u jediničnu cijenu radova. Obračun po m ³ utovarenog i odveženog materijala u sraslom stanju po projektiranim dimenzijama pilota.	m ³	22.00	0.00

3.3.	Dobava, rezanje, savijanje, čišćenje i postavljanje armature B500B u pilote. Ugradnja prema specifikacijama iz projekta. U jediničnoj cijeni obuhvaćena je nabava i prijevoz čelika za armiranje, razvrstavanje i čišćenje, sječenje i savijanje, prijevozi i prijenosi, podlaganje i vezanje te sva potrebna sredstva, materijal i rad. Obračun po kg ugrađene armature.	kg	1,865.00	0.00
3.4.	Betoniranje pilota betonom razreda tlačne čvrstoće C 30/37. Stavka obuhvaća dobavu, dopremu i ugradnju betona razreda tlačne čvrstoće C 30/37 sa min. 400 kg cementa na m ³ gotovog betona. Maksimalno zrno agregata d _{max} =16,0 mm, razred konzistencije S-4+20 mm (sa dodatkom za poboljšanje ugradivosti). Betoniranje pilota se mora izvoditi u neprekidnom radu po cijeloj njegovoj dužini uz obveznu uporabu kontraktor postupka. Stavka obuhvaća sva potrebna sredstva, materijal i rad za ugradnju betona. Obračun po m ³ ugrađenog betona prema projektiranim dimenzijama.	m ³	12.00	0.00
3.5.	Nabava, doprema ,postava i uklanjanje čeličnih stupova iz toplodogotovljenih cijevi RO 273x10 mm, čelik S355. Svi stupovi su duljine L=10,0 m. Stavka obuhvaća sva potrebna sredstva, materijal i rad na postavljanju te uklanjanju čeličnih stupova nakon izvedbe armiranobetonske konstrukcije građevine. Obračun po kg ugrađenih cijevi.	kg	7,600.00	0.00
3.6.	Ispuna čeličnih stupova iz toplodogotovljenih cijevi šljunkom. Prostor između stijenke bušotine i toplodogotovljene cijevi se ispunjava šljunkom frakcije do 8 mm. Stavka obuhvaća sva potrebna sredstva, materijal i rad. Obračun po m ³ ugrađenog materijala.	m ³	6.00	0.00
3.7.	Obrada i uklanjanje betonskog vrha pilota promjera D=400 mm. Stavka obuhvaća uklanjanje završnog nečistog sloja betona pilota visine 80,0 cm. Uređena betonska površina ne smije imati ostatke labavog agregata i mora biti potpuno čista i ravna. U cijeni su sadržana sva potrebna sredstva, materijal i rad na uređivanju glave pilota. Obračun po komadu uređene glave pilota.	kom	11.00	0.00
UKUPNO IZVEDBA BUŠENIH PILOTA I ČELIČNIH STUPOVA				0.00

4. IZVEDBA DIJAFRAGME				
4.1.	Generalni transport opreme i pribora te obavljanje svih pripremnih i raspremnih radova na gradilištu. U jediničnoj cijeni sadržan sav potreban materijal, sredstva i rad. Obračun po kompletu.	komplet	1.00	0.00
4.2.	Iskop prokopa za dijafragmu širine 60,0 cm do dubine +118,70 m.n.m. Iskop se izvodi specijalnim strojem pod zaštitom bentonitne isplake. Maksimalno odstupanje od vertikale je 0,5%. U cijeni su sadržana sva potrebna sredstva, materijal i rad. Obračun po m ² iskopanog prokopa.	m ²	2,320.00	0.00
4.3.	Utovar i odvoz viška materijala dobivenog iskopom dijafragme na deponiju. Stavka obuhvaća utovar viška iskopanog materijala pomiješanog s isplakom na prijevozno sredstvo i odvoz u najbližu odgovarajuću građevinu ili uređaj u odnosu na mjesto nastanka otpada, uzimajući u obzir gospodarsku učinkovitost i prihvatljivost za okoliš. Stavka obuhvaća sav potreban materijal, sredstva i rad. Obračun po m ³ utovarenog i odveženog materijala.	m ³	1,450.00	0.00
4.4.	Dobava, rezanje, savijanje, čišćenje i postavljanje armature u dijafragmu. Ugradnja prema specifikacijama iz projekta. U jediničnoj cijeni obuhvaćena je nabava i prijevoz čelika za armiranje, razvrstavanje i čišćenje, sječenje i savijanje, prijevozi i prijenosi, podlaganje i vezanje te sva potrebna sredstva, materijal i rad. Obračun po kg ugrađene armature.	kg	191,000.00	0.00
4.5.	Betoniranje dijafragme betonom razreda tlačne čvrstoće C 30/37. Stavka obuhvaća dobavu, dopremu i ugradnju betona razreda tlačne čvrstoće C 30/37 sa min. 400 kg cementa na m ³ gotovog betona. Maksimalno zrno agregata d _{max} =16,0 mm, razred konzistencije S-4+20 mm (sa dodatkom za poboljšanje ugradivosti), razred vodopropusnosti VDP2. Betoniranje se mora izvoditi uz obveznu uporabu kontraktor postupka. Stavka obuhvaća sva potrebna sredstva, materijal i rad za ugradnju betona. Obračun po m ³ ugrađenog betona prema projektiranim dimenzijama.	m ³	1,450.00	0.00
4.6.	Obijanje lošeg betona na vrhu dijafragme pneumatskim čekićem na projektnu kotu. Prosječna visina obijanja iznosi oko 50 cm. Stavka obuhvaća sva potrebna sredstva, materijal i rad. Obračun po m ³ odbijenog betona.	m ²	76.00	0.00

4.7.	Grubo čišćenje unutarnje površine dijafragme od ostataka tla i isplake, poravnavanje neravnina. Izbočine veće od 5 cm poravnavaju se obijanjem pneumatskim dlijetom. Mjesta eventualnog procjeđivanja vode saniraju se masom za brtvljenje. Ovi radovi izvode se paralelno s napredovanjem iskopa. Stavka obuhvaća sva potrebna sredstva, materijal i rad. Obračun po m ² vidljive površine.	m ²	1,440.00	0.00
4.8.	Saniranje propustinih mjesta i osiguravanje vododrživosti. Stavka obuhvaća sva potrebna sredstva, materijal i rad. Obračun po kompletu.	komplet	1.00	0.00
4.9.	Nabava, doprema i postava Comax elemenata za spoj stropnih i temeljne ploče sa dijafragmom. Ugrađuju se u armaturne koševe dijafragme. Stavka obuhvaća sva potrebna sredstva, materijal i rad. Obračun po kg ugrađenog čelika.	kg	1,500.00	0.00
UKUPNO IZVEDBA DIJAFRAGME				0.00
5. IZVEDBA NAGLAVNE GREDE DIJAFRAGME				
5.1.	Dobava, rezanje, savijanje, čišćenje i postavljanje armature u naglavnu gredu dijafragme. U jediničnoj cijeni obuhvaćena je nabava i prijevoz čelika za armiranje, razvrstavanje i čišćenje, sječenje i savijanje, prijevozi i prijenosi, podlaganje i vezanje te sva potrebna sredstva, materijal i rad. Obračun po kg ugrađene armature.	kg	9,200.00	0.00
5.2.	Betoniranje naglavne grede dijafragme betonom razreda tlačne čvrstoće C 30/37. Stavka obuhvaća dobavu, dopremu i ugradnju betona razreda tlačne čvrstoće C 30/37, minimalne količine cementa 280 kg/m ³ , maksimalnog zrna agregata D=32,0 mm, sa potrebnom njegovom te svu potrebnu oplatu. Beton se ugrađuje vibriranjem. U cijeni sadržan sav potreban materijal, sredstva i rad na betoniranju. Obračun po m ³ ugrađenog betona prema projektiranim dimenzijama.	m ³	115.00	0.00
UKUPNO IZVEDBA NAGLAVNE GREDE DIJAFRAGME				0.00

6. ISKOP GRAĐEVNE JAME				
6.1.	Strojni iskop tla unutar konture dijafragme. Izvodi se u fazama, ovisno o napredovanju prilagođenom tehnologijom za iskop unutar etaža uz iznošenje materijala kroz otvore u stropnim pločama. U cijenu je uključeno formiranje ulazno-izlazne rampe, utovar viška iskopanog materijala na prijevozno sredstvo i odvoz u najbližu odgovarajuću građevinu ili uređaj u odnosu na mjesto nastanka otpada, uzimajući u obzir gospodarsku učinkovitost i prihvatljivost za okoliš. Stavka obuhvaća sav potreban materijal, sredstva i rad. Obračun po m ³ utovarenog i odveženog materijala u sraslom stanju.	m ³	9,550.00	0.00
6.2.	Crpljenje zarobljene i procjedne vode unutar dijafragme muljnim pumpama tijekom iskopa građevne jame. Crpljenje je predviđeno dok se ne izvode temeljna ploča novogradnje. U cijenu uključen rad 2 pumpe s priborom i radom strojara (24 satni režim rada). Obračun po satu.	sati	1,000.00	0.00
UKUPNO ISKOP GRAĐEVNE JAME				0.00
7. IZVEDBA GEOTEHNIČKIH SIDARA				
7.1.	Izvedba bušotine geotehničkih sidara. Stavka obuhvaća izvedbu bušotine za geotehnička sidra. Bušotine se izvode sa najmanjim promjerom od 200,0 mm sa zaštitnom kolonom. Duljina bušenja jednaka je duljini geotehničkog sidra uz produljenje od 0,50 m za potrebu formiranja sidrišne dionice. U jediničnoj cijeni je sadržan sav potreban materijal, sredstva i rad na bušenju (radne kolone, strojevi itd.). Obračun po m' izvedene bušotine.	m'	360.00	0.00
7.2.	Dobava i ugradnja geotehničkih sidara. Ugrađuju se geotehnička sidra formirana od 4 struka. Jedan struk mora biti površine poprečnog presjeka čelika od najmanje 150,0 mm ² . Predviđen je visokovrijedni čelik najmanje vlačne čvrstoće $f_{pk}=1770,0$ MN/m ² . Geotehnička sidra moraju posjedovati odgovarajuće tehničko dopuštenje. Najkasnije nakon 24 h od provedenog konsolidacijskog injektiranja pristupa se izvedbi sidara. Stavka obuhvaća nabavu materijala, izradu sidara, ulaganje strukova žica i brtvenog sklopa, injektiranje sidrišne dionice te pritezanje i ispitivanje sidara. Pritezanje sidara provodi se na silu od 200,0 kN. Sidra se izvode u skladu s propisanim tehničkim uvjetima odnosno prema uputstvima proizvođača za pojedini tip sidra. Projektirana sidra mogu se zamijeniti i drugim tipovima sidra odgovarajuće dužine i nosivosti. Za sva sidra izvođač radova dužan je pribaviti atestnu dokumentaciju od ovlaštene institucije prije			

ugradnje sidara te ishoditi odobrenje projektanta. Stavka obuhvaća sva potrebna sredstva, materijal i rad. Obračun po m' ugrađenog sidra u slobodnoj i sidrišnoj dionici.

7.2.1.	Slobodna dionica	m'	190.00	0.00
7.2.2.	Sidrišna dionica	m'	170.00	0.00
7.2.3.	Pritezanje sidara	kom	21.00	0.00
7.3.	Naknadno injektiranje sidrišne dionice geotehničkih sidara (post grouting, eng.). Stavka obuhvaća izvedbu naknadnog injektiranja sidrišne dionice geotehničkih sidara. U jediničnoj cijeni je sadržan sav potreban materijal, sredstva i rad na injektiranju. Obračun po kg suhe tvari injekcijske smjese.	kg	8,500.00	0.00
UKUPNO IZVEDBA GEOTEHNIČKIH SIDARA				0.00
8. MJERNA OPREMA I PRAĆENJE				
8.1.	Izvedba vertikalnog inklinometra sa mjerenjem horizontalnih pomaka. Predviđena je ugradnja vertikalnih inklinometara koji se ugrađuju prije početka iskopa na kontrolnim profilima. Radovi se izvode prema opisu u tehničkim uvjetima. Stavka obuhvaća bušenje rupa za inklinometar, nabavku, dopremu i ugradnju inklinometarskih cijevi, osiguranje ušća inklinometra za vrijeme izvedbe radova, mjerenje i obradu rezultata s izradom završnog izvješća. Stavka obuhvaća sva potrebna sredstva materijal i rad. Predviđeno je ukupno 6 mjerenja. Obračun po dužnom metru ugrađenih inklinometara i provedenom mjerenju te obradi rezultata.			
8.1.1.	Dobava i ugradnja - inklinometri prije početka iskopa na kontrolnim profilima	m'	65.00	0.00
8.1.2.	Mjerenje - inklinometri	m'	390.00	0.00
8.2.	Ugradnja geodetskih točaka za praćenje pomaka sa mjerenjem horizontalnih i vertikalnih pomaka. Predviđena je ugradnja geodetskih točaka. Stavka obuhvaća sva potrebna sredstva materijal i rad na ugradnji geodetskih točaka, provođenje mjerenja i obradu rezultata s izradom završnog izvješća. Predviđeno je ukupno 6 mjerenja. Obračun po komadu ugrađene geodetske točke za praćenje pomaka i provedenom mjerenju te obradi rezultata.			
8.2.1.	Dobava i ugradnja geodetskih točaka	kom	10.00	0.00
8.2.2.	Mjerenje (izlazak)	kom	6.00	0.00

- 8.3. **Pokazivači sile na sidrima. Stavka obuhvaća dobavu, dopremu i montažu pokazivača sile na sidrima (Load cell) i mjerenje sile te izradu izvješća.** Predviđena je ugradnja pokazivača sile do vrijednosti opterećenja od 500,0 kN. Predviđeno je ukupno 6 mjerenja. Stavka obuhvaća sva potrebna sredstva, materijal i rad. Obračun po kom ugrađenog pokazivača i provedenog mjerenja.

8.3.1.	Dobava i ugradnja pokazivača sile	kom	7.00	0.00
8.3.2.	Mjerenje (izlazak)	kom	6.00	0.00
8.4.	Ugradnja klinometara. Ugradnja klinometara na zidove susjednih zgrada i praćenje promjena nagiba. U cijenu su uključena opažanja, obrada podataka, dostavljanje podataka o svakom mjerenju i izrada završnog izvještaja. Predviđeno je 6 opažanja po klinometru. Obračun po komadu ugrađenog klinometra.			
8.4.1.	Dobava i ugradnja	kom	5.00	0.00
8.4.2.	Mjerenje (izlazak)	kom	6.00	0.00
8.5.	Opazanje slijeganja stupova pomoću vodene vage. Ugradnja i praćenje sistema spojenih posuda na čelične stupove pilota. U cijenu su uključena opažanja, obrada podataka, dostavljanje podataka o svakom mjerenju i izrada završnog izvještaja. Predviđeno 6 opažanja po čeličnom stupu. Obračun po broju opažanih čeličnih stupova pilota.	kom	5.00	0.00
UKUPNO MJERNA OPREMA I PRAĆENJE				0.00

9.	OSTALI RADOVI			
9.1.	Ispitivanje integriteta pilota. Stavka obuhvaća osiguranje opreme i ispitivanje integriteta pilota, obradu rezultata i dostavu izvještaja od strane ovlaštene institucije, prema normi ASTM D5882-07. Obračun po kom ispitanog pilota.	kom	10.00	0.00
9.2.	Ispitivanje prikladnosti sidara (suitability test, eng.). Stavka obuhvaća osiguranje opreme i ispitivanje sidara. Ispitivanje provodi neovisna institucija registrirana za ispitivanje materijala i konstrukcija. Ovo ispitivanje izvodi se prema HRN EN ISO 22477-5. Obračun po komadu ispitanog sidra.	kom	7.00	0.00
9.3.	Izrada izvedbenog projekta. Predmetna stavka uključuje izradu izvedbenog projekta. Predmetna projektna dokumentacija sastoji se od tlocrta građevne jame, razvijenog pogleda i poprečnih presjeka. Projekt izvedenog stanja mora biti ovjeren od strane projektanta geotehničkog projekta. Obračun po kompletu.	komplet	1.00	0.00
UKUPNO OSTALI RADOVI				0.00

1.	UKUPNO PRIPREMNI RADOVI	0.00
2.	UKUPNO IZVEDBA PILOTSKE STIJENE	0.00
3.	UKUPNO IZVEDBA BUŠENIH PILOTA I ČELIČNIH STUPOVA	0.00
4.	UKUPNO IZVEDBA DIJAFRAGME	0.00
5.	UKUPNO IZVEDBA NAGLAVNE GREDE DIJAFRAGME	0.00
6.	UKUPNO ISKOP GRAĐEVNE JAME	0.00
7.	UKUPNO IZVEDBA GEOTEHNIČKIH SIDARA	0.00
8.	UKUPNO MJERNA OPREMA I PRAĆENJE	0.00
9.	UKUPNO OSTALI RADOVI	0.00

9. ZAKLJUČAK

Tematika kojom se bavi u ovom radu je projektiranje osiguranja građevinske jame u 3D okruženju. Programski paket korišten za 3D analizu osiguranja građevinske jame je PLAXIS 3D. Navedenim programskim paketom dobiva se uvid u 3D model tla i konstrukcije te proračun faza izvođenja građevinske jame. Kao zaštita građevinske jame predviđeno je izvođenje top-down metode iz razloga ograničenosti prostora izvođenja. Navedeni način osiguranja podrazumijeva izradu dijafragmi, pilotske stijene, kabelskih i štapnih sidara, bušenih arbiranobetonskih pilota i čeličnih pilota.

PLAXIS je programski paket razvijen sedamdesetih godina prošlog stoljeća od strane zaposlenika i studenata doktorskog studija Tehničkog fakulteta Sveučilišta u Delftu, za potrebe proračuna slijeganja brane koja štiti dijelova Nizozemske od poplava. Vidjevši potencijal provođenja proračuna računalnim programom, donose odluku o osnivanju tvrtke koja će dalje razvijati software i plasirati ga na tržište van nizozemskih granica. Program je baziran na metodi konačnih elemenata. Prvobitno se započinje s razvojem 2D programa unutar kojega se može modelirati tlo, analizirati mjere sanacije klizišta, osiguranja građevinskih jama, simulirati slijeganja i slično. Napretkom tehnologije i potrebom za što točnijim analizama, započinje razvoj 3D modeliranja. Zbog navedenog, unutar programskog paketa PLAXIS započinje razvoj 3D software-a pod nazivom PLAXIS 3D.

Navedeni programski paket korišten je za izradu ovog diplomskog rada. PLAXIS 3D programom izrađen je model prethodno navedenog osiguranja građevinske jame u Ulici Ivana Kukuljevića u Zagrebu. Unutar software-a modelirana je geometrija tla i elementi predviđeni za osiguranje navedene konstrukcije. Iz razloga teškog provođenja proračuna neravnih površina, model je pojednostavljen u vidu poravnjanja terena i slojeva tla.

Radom u PLAXIS 3D okruženju uočene su razne prednosti, ali i nedostaci u odnosu na 2D okruženje. Jedna od prednosti ovog programa je svakako realniji prikaz geometrije te raspodjele naprezanja i deformacija unutar projektiranog modela. Također, elementi unutar modela se ponašaju kao jedinstvena konstrukcija što je bliže stvarnom ponašanju. Nadalje, jedan od većih nedostataka je primjena projektnih pristupa. Unutar programskog paketa PLAXIS 3D nije moguće definirati projektne pristupe i njihovo faktoriziranje određenih parametara, već je potrebno samostalno provesti faktorizaciju istih te ih takve

unijeti u određene elemente. Osim nemogućnosti definiranja projektnih pristupa jedan od mogućih nedostataka je potreba za nešto jačim računalom za provođenje analiza. Prilikom modeliranja složenih i većih modela, definiranih velikim brojem čvorova i elemenata, proračun može biti dugotrajan.

Analizi rezultata dobivenih PLAXIS 3D-om, kao i kod većine software-a korištenih za analiziranje geotehničkih problema, potrebno je kritički pristupiti. Maksimalne vrijednosti naprezanja i deformacija modela dobivene rezultatima, zapravo mogu biti posljedica raznih djelovanja koji nisu od značaja za analiziranu konstrukciju. Isto tako mogu biti rezultat pojednostavljenja modela čime se mora pažljivo zaključiti radi li se o realnim vrijednostima koje se pojavljuju unutar modela. Tu dolazi do izražaja iskustvo u projektiranju i korištenju programa za modeliranje.

Na temelju svega navedenog, može se zaključiti da s obzirom na nekoliko nedostataka i dugotrajniji proces modeliranja, program PLAXIS 3D daje bolji uvid u stvarno ponašanje konstrukcije što je za projektiranje i najbitnije. Daljnjim razvijem 3D modeliranja neki od nedostataka bit će otklonjeni čime će 3D modeliranje u PLAXIS-u biti u prednosti nad onim u 2D okruženju.

LITERATURA

- [1] Nonveiller E. Mehanika tla i temeljenje građevina. Školska knjiga; 1990.
- [2] Roje-Bonacci T. Potporne građevine i građevne jame 2005.
- [3] Rankine WJM. On stability of loose earth. Proc R Soc London 147 1857.
- [4] Knappett JA, Craig RF. Craig ' s Soil Mechanics. n.d.
- [5] Frank R. Designers' Guide to EN 1997-1 Eurocode 7: Geotechnical Design - General Rules. Thomas Telford; 2004.
- [6] Rao SS. The Finite Element Method in Engineering. Elsevier Science; 2011.
- [7] Turner MJ, Clough RW, Martin HC, Topp LJ. Stiffness and deflection analysis of complex structures. J Aeronaut Sci 23 1956:805–24.
- [8] Argyris JH, Kelsey S. Energy theorems and structural analysis. Aircr Engineering 1954;26 and 27.
- [9] Clough RW. The Finite Element Method in Plane Stress Analysis. American Society of Civil Engineers; 1960.
- [10] Zienkiewicz OC, Taylor RL. The Finite Element Method for Solid and Structural Mechanics. Elsevier Science; 2013.
- [11] Plaxis. Plaxis company profile. Plaxis n.d.
- [12] Bentley. April 26, 2018 Bentley Systems Acquires Plaxis, and Complementary SoilVision, to Integrate Geotechnical Engineering within Digital Workflows for Infrastructure Projects 2018. <https://www.bentley.com/en/about-us/news/2018/april/26/plaxis-acquisition-press-release>.
- [13] PLAXIS CONNECT Edition V20 n.d.
- [14] Nonveiller E. Mehanika tla i temeljenje građevina. Školska knjiga; 1990.
- [15] Grošić M. Geotehnika prometnih građevina 2015.
- [16] Doc.Dr.Sc. Martina Vivoda Prodan M ing. aedi. Interna skripta geotehničkih konstrukcija. n.d.

- [17] ONTON. Self Drilling Anchor n.d. <https://ibodrill.com/>.
- [18] Zargar SH, Mirmohammadi SM. Top-Down Construction Method : A Case Study of Commercial Building in Top-Down Construction Method: A Case Study of Commercial Building in Tehran 2018:0–13.
- [19] Engineer TC. TOP DOWN CONSTRUCTION 2012.
- [20] Geoportal DGU n.d. <https://geoportal.dgu.hr/>.
- [21] Geotech d.o.o. Projekt osiguranja gređevinske jame (PR 19-122-01) 2019.
- [22] Grad Zagreb. Službeni glasnik, Odluka o donošenju Prostornog plana Grada Zagreba 2016.
- [23] prof.dr.sc. Marijan Herek, mr.sc. I. Allegretti, prof.dr.sc. D. Herak, mr.sc I. Ivančić, mr.sc. V. Kuk, mr.sc. K. Marić, et al. Karte potresnih područja Republike Hrvatske 2011.
- [24] Hrvatski zavod za norme. Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija -- 1. dio: Opća pravila, potresna djelovanja i pravila za zgrade (EN 1998-1:2014+AC:2009). 2011.
- [25] Terzaghi K, Peck RB, Mesri G. Soil Mechanics in Engineering Practice. Wiley; 1996.
- [26] White F, Arup O, Kingdom U, Ingram P, Nicholson D, Stroud M, et al. An update of the SPT- c_u relationship proposed by M . Stroud in 1974 2019. doi:10.32075/17ECMGE-2019-0500.
- [27] PLAXIS Material Models n.d.
- [28] Hrvatski zavod za norme. Ispitivanje očvrsluloga betona -- 8. dio: Dubina prodora vode pod tlakom (EN 12390-8:2019). 2019 n.d.
- [29] Hrvatski zavod za norme. Ispitivanje svježega betona -- 2. dio: Ispitivanje slijeganjem (EN 12350-2:2019). 2019.
- [30] ASTM D 3080. Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions. Tech Rep 2011.

- [31] Hrvatski zavod za norme. Geotehničko istraživanje i ispitivanje -- Ispitivanje geotehničkih konstrukcija -- 5. dio: Ispitivanje injektiranih sidara (ISO 22477-5:2018; EN ISO 22477-5:2018). 2018.
- [32] Hrvatski zavod za norme. Smjesa za injektiranje natega za prednapinjanje -- Osnovni zahtjevi (EN 447:2007). 2008.
- [33] Hrvatski zavod za norme. Smjesa za injektiranje natega za prednapinjanje -- Metoda ispitivanja (EN 445:2007). 2008.
- [34] Hrvatski zavod za norme. Boje i lakovi -- Zaštita od korozije čeličnih konstrukcija zaštitnim sustavima boja -- 5. dio: Zaštitni sustavi boja (ISO 12944-5:2018; EN ISO 12944-5:2018). 2019.
- [35] Hrvatski zavod za norme. Vruće pocinčane prevlake na željeznim i čeličnim predmetima -- Specifikacije i ispitne metode (ISO 1461:2009; EN 1461:2009). 2010.
- [36] Hrvatski zavod za norme. Toplo oblikovani šuplji profili od nelegiranih i sitnozrnatih konstrukcijskih čelika -- 2. dio: Dopuštena odstupanja, dimenzije i statičke vrijednosti presjeka (EN 10210-2:2006+AC:2007). 2019.

PRILOZI

- Tlocrt građevinske jame M 1:100
- Poprečni presjeci - list 1 M 1:100
- Poprečni presjeci - list 2 M 1:100
- Poprečni presjeci - list 3 M 1:100
- Normalni poprečni presjeci M 1:50
- Faze izvedbe



143.04

138.70

142.56

139.61

137.77

137.17

136.01

135.36

132.62

132.47

Ulica Ivana Kukuljevića

KABELSKA SIDRA
DULJINA SIDARA L=16,0 i 18,0 m
SIDRIŠNA DIONICA PROMJERA D=200,0 mm
HORIZONTALNI RAZMAK s=2,50 m
SILA PRITEZANJA P_p=200kN

OSIGURANJE GRADEVNE JAME S DVA REDA KABELSKIH SIDARA I RAZUPIRANJEM PLOČAMA KONSTRUKCIJE
DULJINA SIDARA L=16,0 i 18,0 m
HORIZONTALNI RAZMAK s=2,50 m

ARMIRANOBETONSKA NAGLAVNICA
DIMENZIJE 0,60 x 0,50 m
BETON C 30/37

ARMIRANOBETONSKA PILOTSKA STUJENA
BUSENI PILOTI PROMJERA D=400,0 mm
DULJINA PILOTA L=5,50 m
HORIZONTALNI RAZMAK s=0,75 m
KOTA VRHA +134,0 m
KOTA DNE +14,0 m

ARMIRANOBETONSKA DUAFRAGMA
DEBLJINA DUAFRAGME D=60,0 cm
DULJINA L=18,0 m
KOTA DNE +118,20 m
NAGLAVNICA VISINE H=1,0 m

ARMIRANOBETONSKA PILOTSKA STUJENA
BUSENI PILOTI PROMJERA D=400,0 mm
DULJINA PILOTA L=5,50 m
KOTA VRHA +138,20 m
KOTA DNE +132,70 m
BETON C 30/37

ARMIRANOBETONSKI BUSENI PILOT
(TEMELJI STUPA U SKLOPU TOP-DOWN METODE)
PROMJER PILOTA D=400,0 mm
DULJINA PILOTA L=7,0 m
KOTA VRHA PILOTA +125,20 m
KOTA DNE PILOTA +118,20 m
BETON C 30/37

KONTURA ARMIRANOBETONSKE PLOČE TEMELJA I GARAJE -2
U FAZI IZVEDBE ISKOPA

KONTURA ARMIRANOBETONSKE TEMELJNE PLOČE
U FAZI IZVEDBE ISKOPA

KONTURA ARMIRANOBETONSKE PLOČE GARAJE -1
U FAZI IZVEDBE ISKOPA

SAMOBUŠIVO SIDRO
SIDRA DULJINE L=9,0 m
SIDRIŠNA DIONICA PROMJERA D=115,0 mm
HORIZONTALNI RAZMAK s=3,0 m
SILA PRITEZANJA P_p=100kN

ARMIRANOBETONSKA NAGLAVNICA
DIMENZIJE 0,60 x 0,50 m
BETON C 30/37

ARMIRANOBETONSKA PILOTSKA STUJENA
BUSENI PILOTI PROMJERA D=400,0 mm
DULJINA PILOTA L=5,50 m
KOTA VRHA +138,20 m
KOTA DNE +132,70 m
BETON C 30/37

ARMIRANOBETONSKI BUSENI PILOT
(TEMELJI STUPA U SKLOPU TOP-DOWN METODE)
PROMJER PILOTA D=400,0 mm
DULJINA PILOTA L=7,0 m
KOTA VRHA PILOTA +125,20 m
KOTA DNE PILOTA +118,20 m
BETON C 30/37

KABELSKA SIDRA
DULJINA SIDARA L=18,0 m
SIDRIŠNA DIONICA PROMJERA D=200,0 mm
HORIZONTALNI RAZMAK s=2,50 m
SILA PRITEZANJA P_p=200kN

OSIGURANJE GRADEVNE JAME JEDNIM REDOM KABELSKIH SIDARA I RAZUPIRANJEM PLOČAMA KONSTRUKCIJE
DULJINA SIDARA L=18,0 m
HORIZONTALNI RAZMAK s=2,50 m

ARMIRANOBETONSKA DUAFRAGMA
DEBLJINA DUAFRAGME D=60,0 cm
DULJINA L=18,0 m
KOTA DNE +118,20 m
NAGLAVNICA VISINE H=1,0 m

ARMIRANOBETONSKA PILOTSKA STUJENA
BUSENI PILOTI PROMJERA D=400,0 mm
DULJINA PILOTA L=5,50 m
KOTA VRHA +138,20 m
KOTA DNE +132,70 m
BETON C 30/37

ARMIRANOBETONSKI BUSENI PILOT
(TEMELJI STUPA U SKLOPU TOP-DOWN METODE)
PROMJER PILOTA D=400,0 mm
DULJINA PILOTA L=7,0 m
KOTA VRHA PILOTA +125,20 m
KOTA DNE PILOTA +118,20 m
BETON C 30/37

ARMIRANOBETONSKA DUAFRAGMA
DEBLJINA DUAFRAGME D=60,0 cm
DULJINA L=18,0 m
KOTA DNE +118,20 m
NAGLAVNICA VISINE H=1,0 m

ARMIRANOBETONSKA DUAFRAGMA
DEBLJINA DUAFRAGME D=60,0 cm
DULJINA L=16,0 - 18,50 m
KOTA DNE +118,20 m
NAGLAVNICA VISINE H=1,0 - 2,0 m

OSIGURANJE GRADEVNE JAME RAZUPIRANJEM PLOČAMA KONSTRUKCIJE

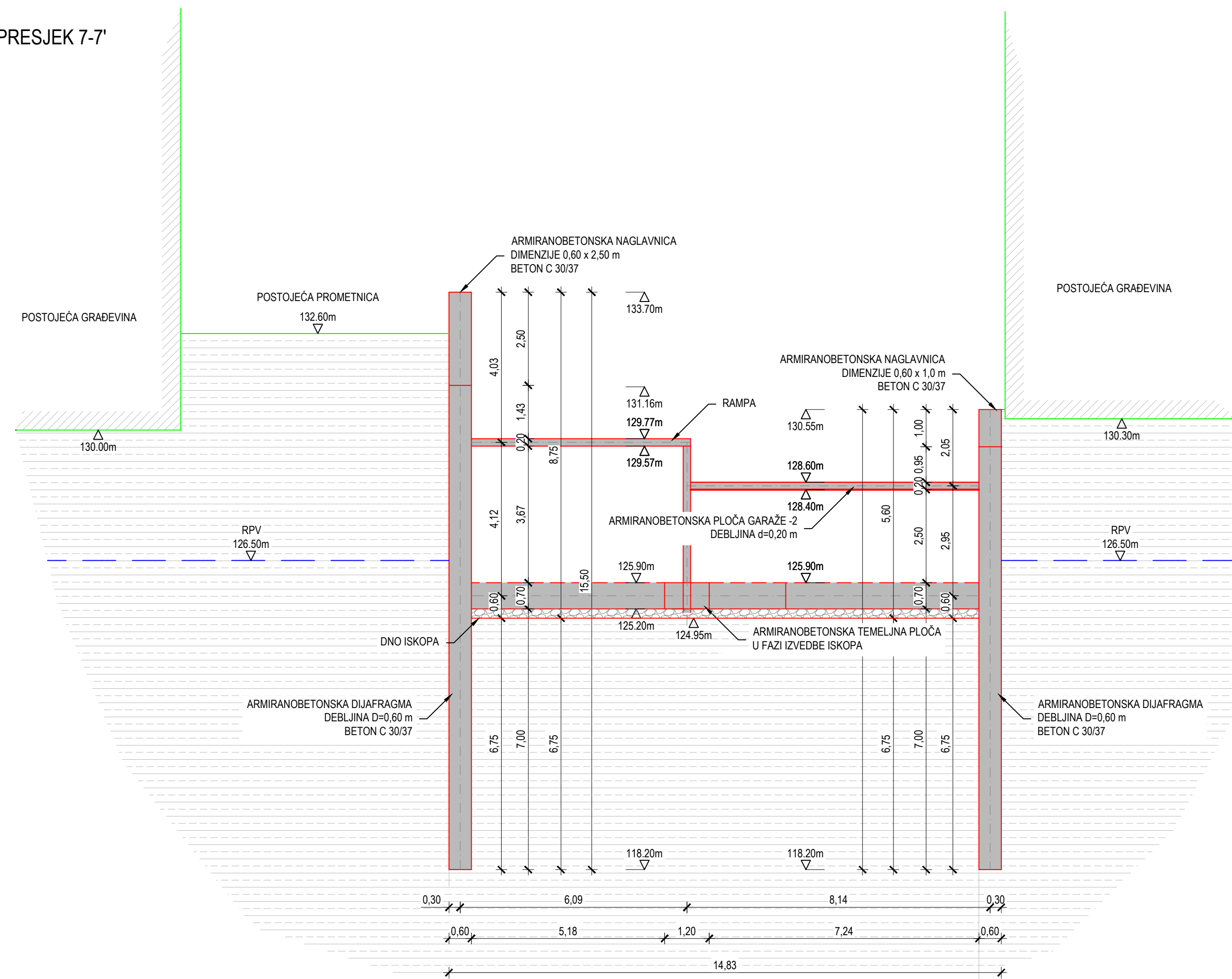
TLOCRT GRADEVNE JAME

Preuzeto iz građevinskog projekta (Projekt osiguranja građevne jame, PR-19-122-01, 2019.)

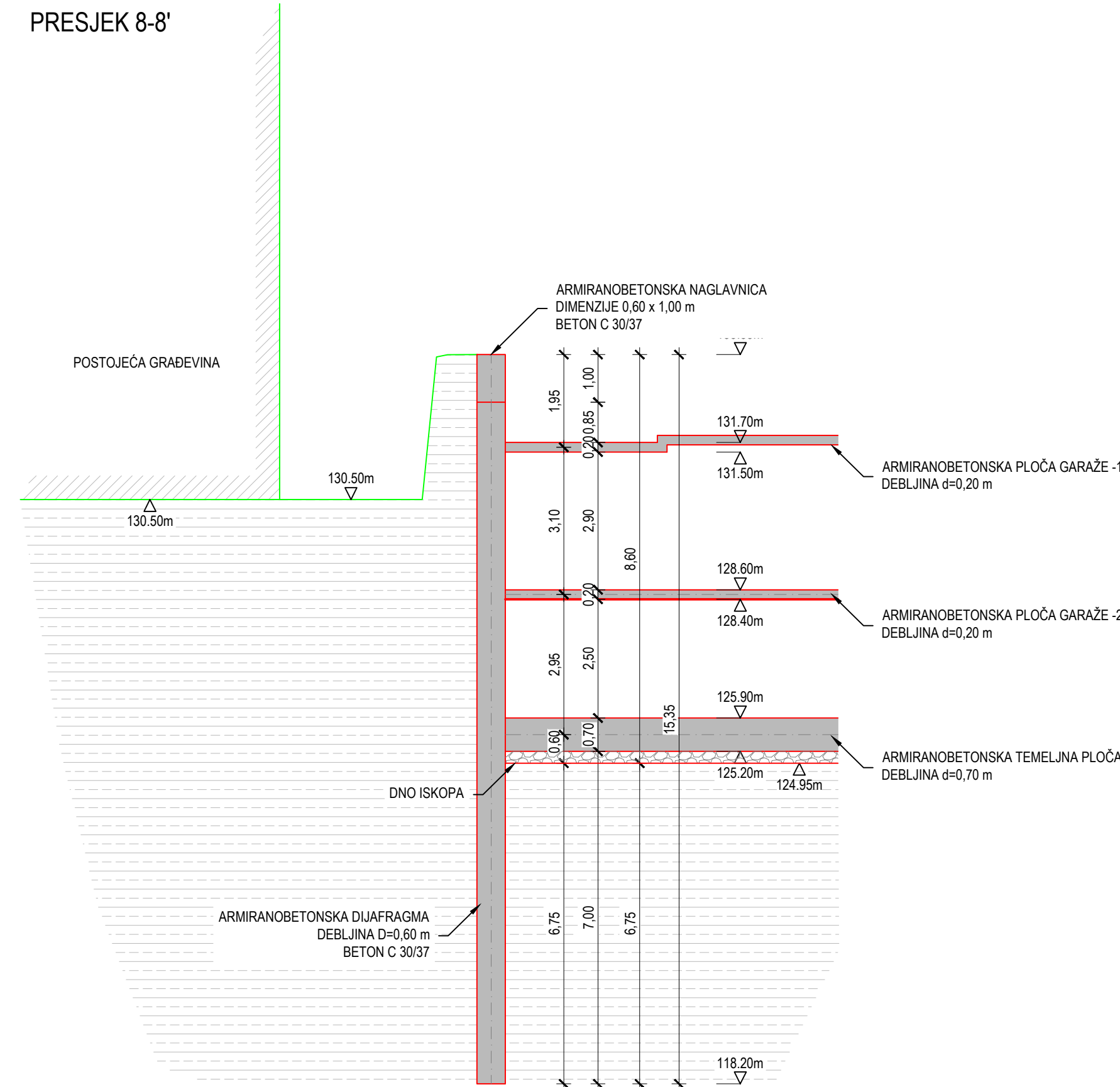
GF GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJEI	
Diplomski rad: 3D ANALIZE NAPREZANJA I DEFORMACIJA GRADEVNE JAME U ULICI IVANA KUKULJEVIĆA	Sadržaj nacрта: TLOCRT GRADEVNE JAME
Student: Loren Vorić	Kolegij: Geotecnika prometnih građevina
Mentor: dr.sc. Leo Matešić	Datum: IX.2020.
	Mjerilo: 1:100
	List: 1

POPREČNI PRESJECI - LIST 3

PRESJEK 7-7'



PRESJEK 8-8'



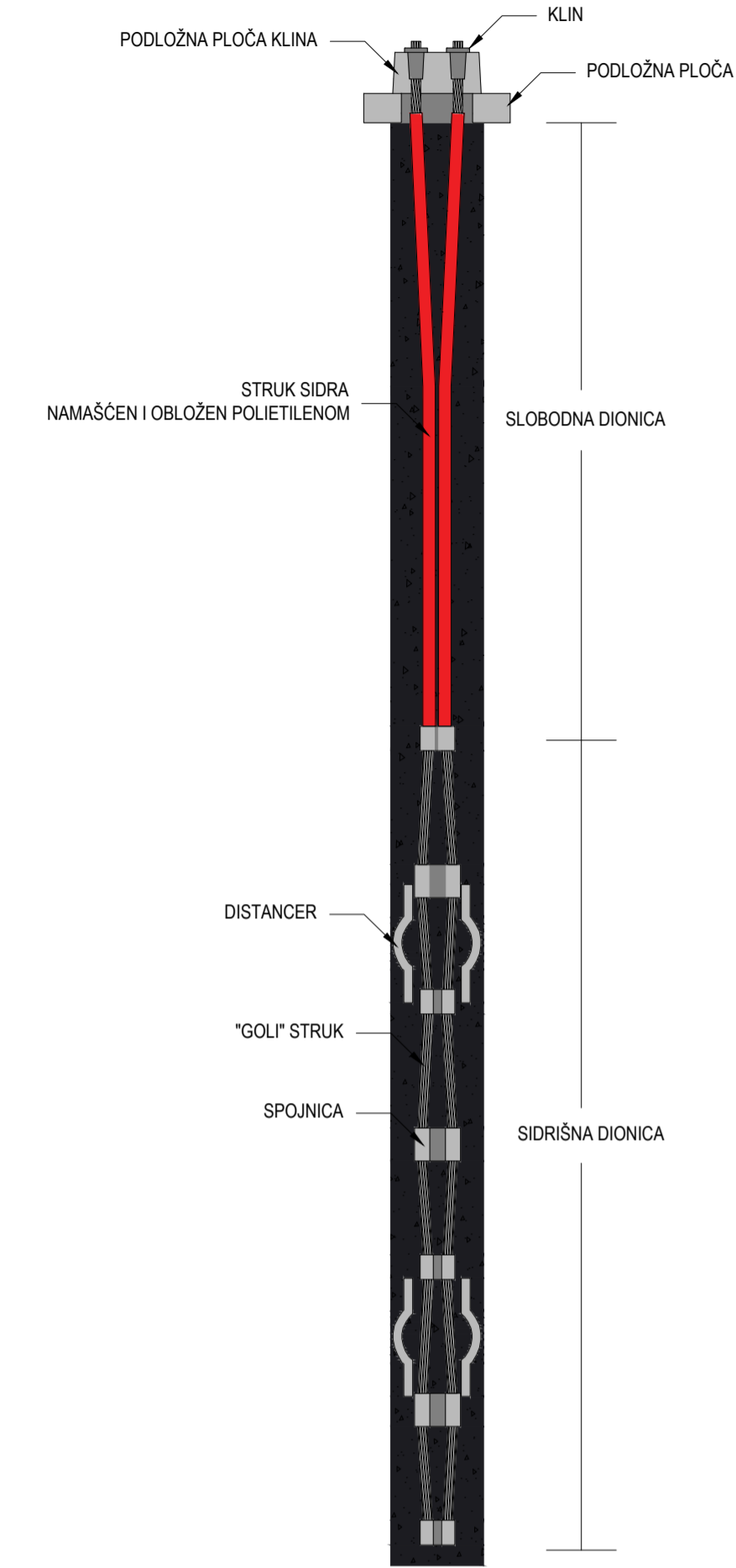
NAPOMENA:
PRETHODNO IZVEDBI RADOVA POTREBNO JE UTVRDIRI TOAČN VISINSKI POLOŽAJ POSTOJEĆIH GRAĐEVINA U ZONI GRAĐEVNE JAME. UTVRĐENE PODATKE POTREBNO JE DOSTAVITI PROJEKTANTU NA UVID I POTVRDU ZA NASTAVAK RADOVA.

Preuzeto iz građevinskog projekta (Projekt osiguranja građevne jame, PR-19-122-01, 2019.)

GF GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI			
Diplomski rad: 3D ANALIZE NAPREZANJA I DEFORMACIJA GRAĐEVNE JAME U ULICI IVANA KUKULJEVIĆA		Sadržaj nacрта: POPREČNI PRESJEK - LIST 3	
Student: Loren Vorić		Kolegij: Geotecnika prometnih građevina	
Mentor: dr.sc. Leo Matešić	Datum: IX.2020.	Mjerilo: 1:100	List: 4

NORMALNI POPREČNI PRESJEK OSIGURANJA GRAĐEVNE JAME

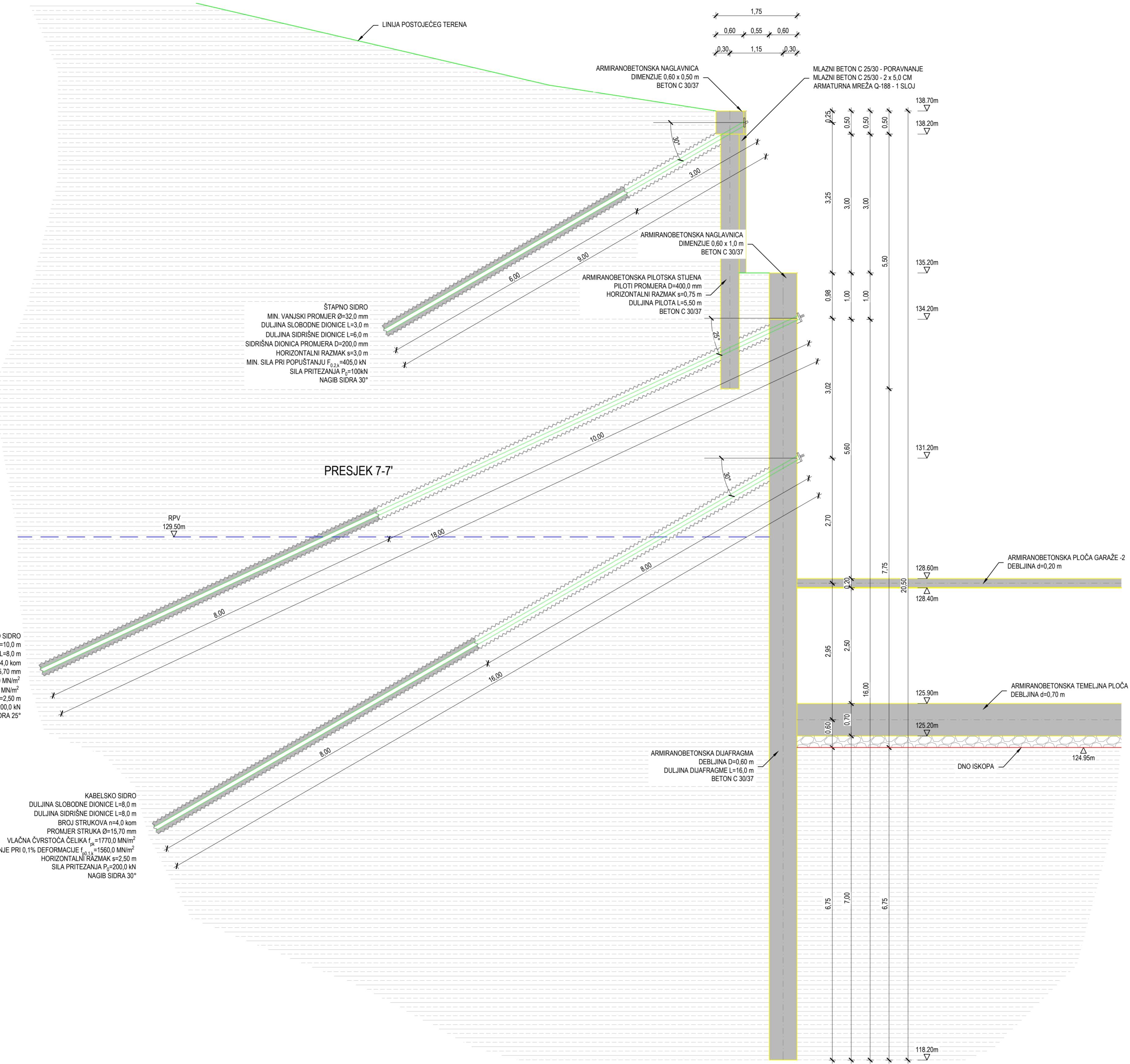
DETALJ KABELSKOG SIDRA



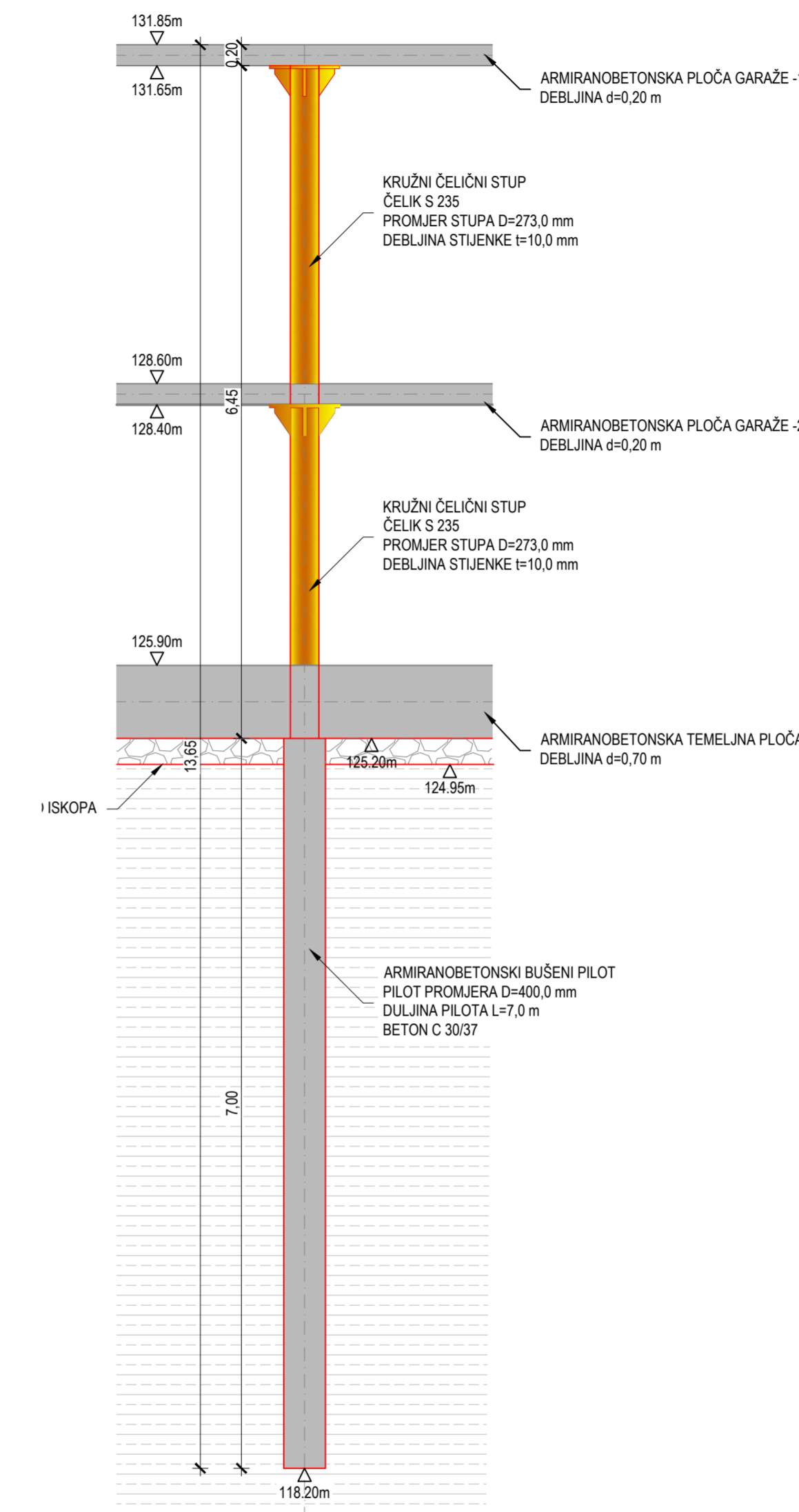
KABELSKO SIDRO
 DULJINA SLOBODNE DIONICE L=10,0 m
 DULJINA SIDRIŠNE DIONICE L=8,0 m
 BROJ STRUKOVA n=4, kom
 PROMJER STRUKA $\phi=15,70$ mm
 VLAČNA ČVRSTOĆA ČELIKA $f_{tk}=1770,0$ MN/m²
 NAPREZANJE PRI 0,1% DEFORMACIJE $\sigma_{0,1}=1560,0$ MN/m²
 HORIZONTALNI RAZMAK $s=2,50$ m
 SILA PRITEZANJA $P_p=200,0$ kN
 NAGIB SIDRA 25°

KABELSKO SIDRO
 DULJINA SLOBODNE DIONICE L=8,0 m
 DULJINA SIDRIŠNE DIONICE L=8,0 m
 BROJ STRUKOVA n=4, kom
 PROMJER STRUKA $\phi=15,70$ mm
 VLAČNA ČVRSTOĆA ČELIKA $f_{tk}=1770,0$ MN/m²
 NAPREZANJE PRI 0,1% DEFORMACIJE $\sigma_{0,1}=1560,0$ MN/m²
 HORIZONTALNI RAZMAK $s=2,50$ m
 SILA PRITEZANJA $P_p=200,0$ kN
 NAGIB SIDRA 30°

ŠTAPNO SIDRO
 MIN. VANJSKI PROMJER $\phi=32,0$ mm
 DULJINA SLOBODNE DIONICE L=3,0 m
 DULJINA SIDRIŠNE DIONICE L=6,0 m
 SIDRIŠNA DIONICA PROMJERA D=200,0 mm
 HORIZONTALNI RAZMAK $s=3,0$ m
 MIN. SILA PRI POPUŠTANJU $F_{p,1}=405,0$ kN
 SILA PRITEZANJA $P_p=100$ kN
 NAGIB SIDRA 30°



NORMALNI POPREČNI PRESJEK TEMELJENJA STUPOVA - TOP DOWN

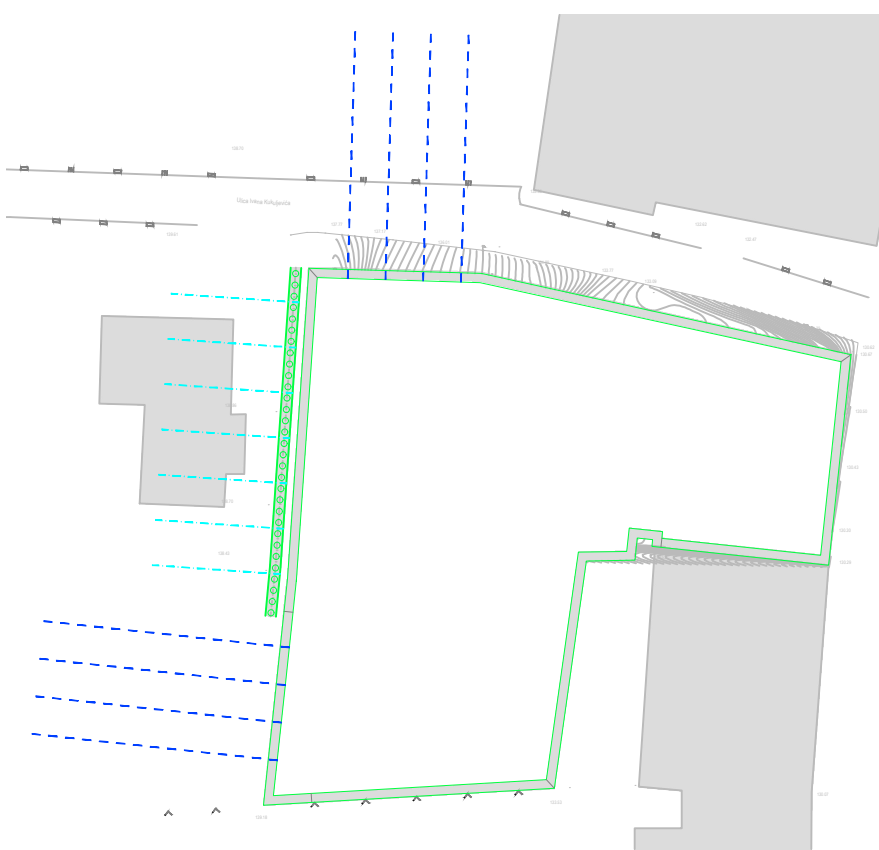


NORMALNI POPREČNI PRESJEK

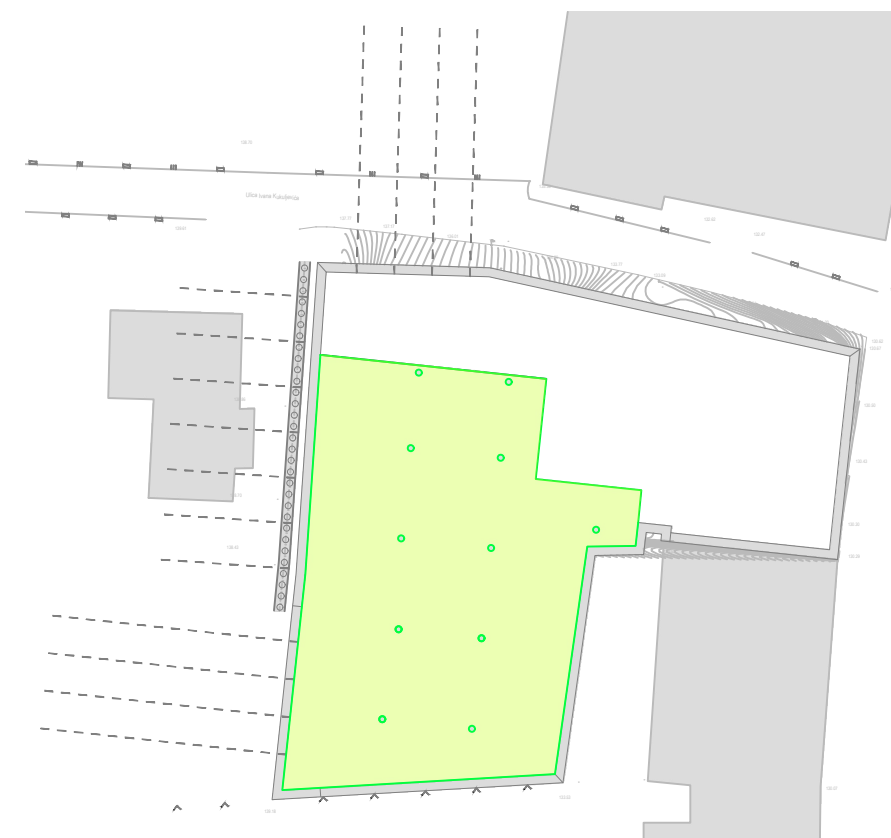
Preuzeto iz građevinskog projekta (Projekt osiguranja građevne jame, PR-19-122-01, 2019.)

GF GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RJEČI			
Diplomski rad: 3D ANALIZE NAPREZANJA I DEFORMACIJA GRAĐEVNE JAME U ULICIVANA KUKULJEVIĆA		Sadržaj nacrt: NORMALNI POPREČNI PRESJEK	
Student: Loren Vorić	Kolegij: Geotecnika prometnih građevina		
Mentor: dr.sc. Leo Matić	Datum: IX.2020.	Mjerilo: 1:50	List: 5

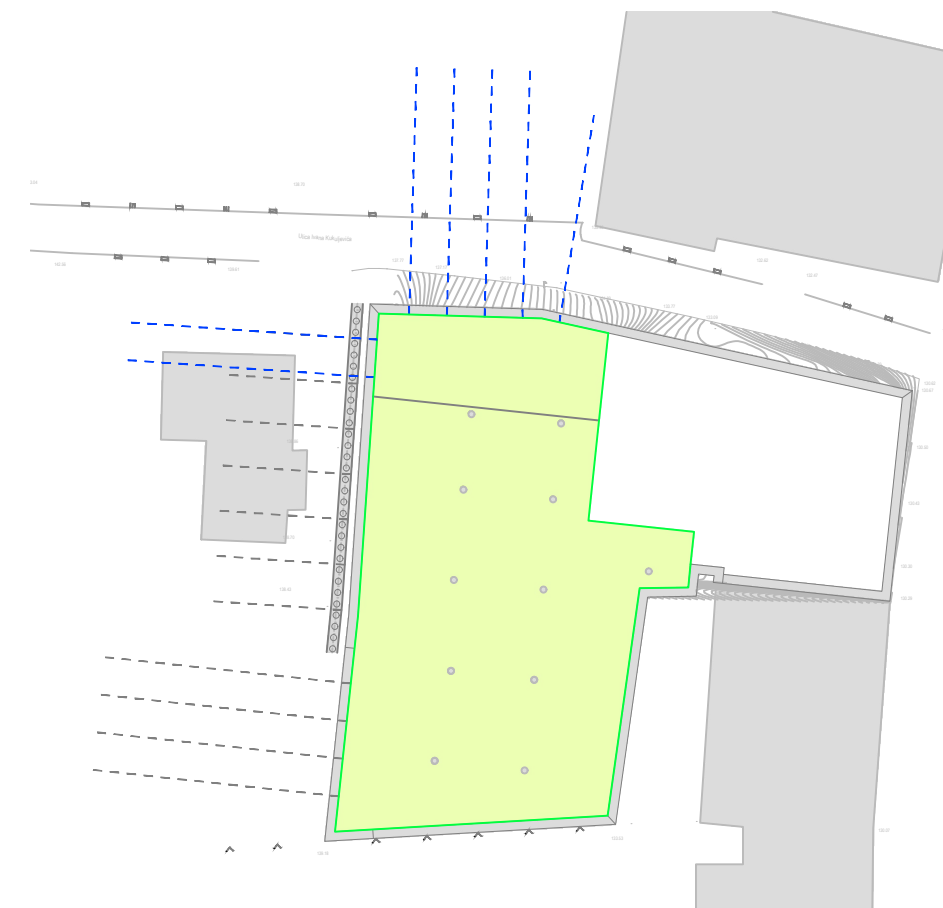
1. FAZA
- IZVEDBA ARMIRANOBETONSKE PILOTSKE STIJENE
 - IZVEDBA ARMIRANOBETONSKE DIJAFRAGME
 - UGRADNJA ŠTAPNIH SIDARA I PRVA DVA REDA KABELSKIH SIDARA



2. FAZA
- IZVEDBA ARMIRANOBETONSKIH PILOTA I ČELIČNIH PROFILA (TEMELJI TOP-DOWNA)
 - IZVEDBA ARMIRANOBETONSKE PLOČE ETAŽE -1

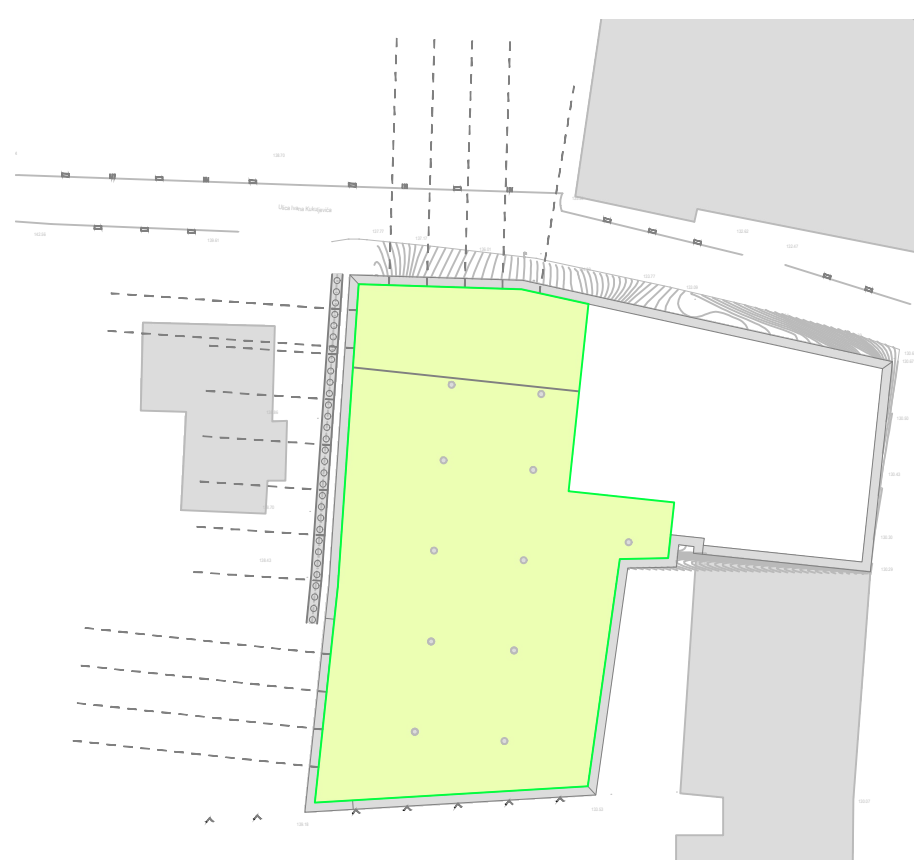


3. FAZA
- IZVEDBA ISKOPA ISPOD ETAŽE -1
 - UGRADNJA TREĆEG REDA KABELSKIH SIDARA
 - IZVEDBA ARMIRANOBETONSKE PLOČE ETAŽE -2

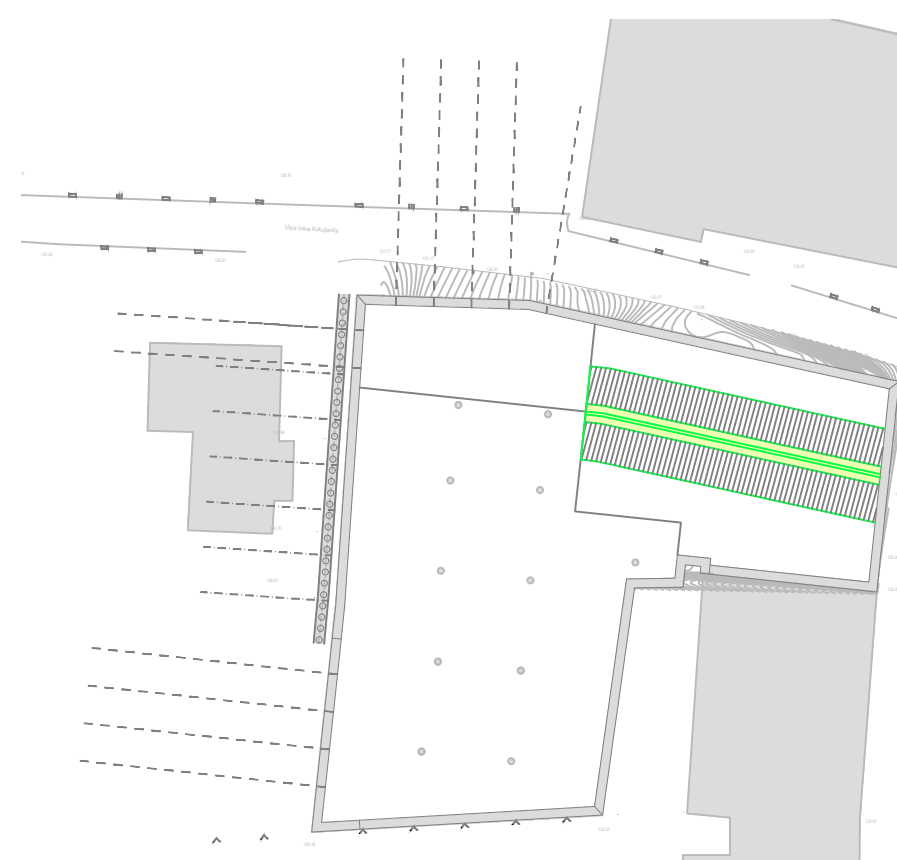


FAZE IZVEDBE

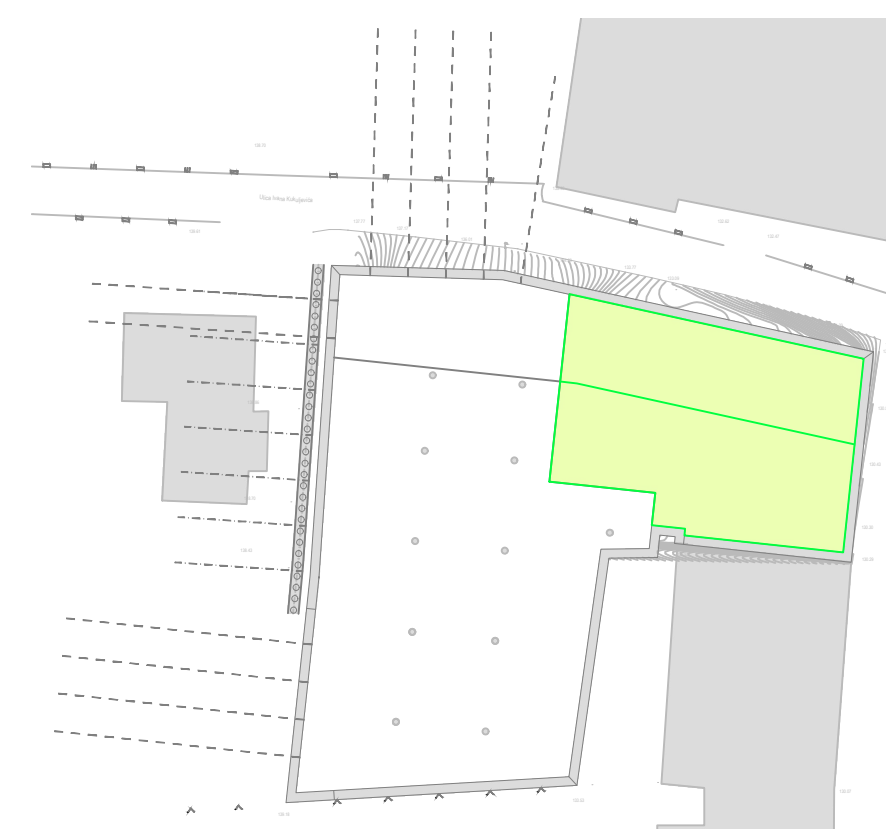
4. FAZA
- IZVEDBA ISKOPA ISPOD ETAŽE -2
 - IZVEDBA ARMIRANOBETONSKE TEMELJNE PLOČE



5. FAZA
- IZVEDBA PRIVREMENOG ISKOPA
 - IZVEDBA SEGMENTA TEMELJNE PLOČE I NOSIVOG ZIDA



6. FAZA
- IZVEDBA PREOSTALOG DIJELA PLOČE ETAŽE -2 I PRILAZNE RAMPE
 - IZVEDBA ISKOPA ISPOD PLOČE ETAŽE -2 I PRILAZNE RAMPE
 - IZVEDBA PREOSTALOG DIJELA TEMELJNE PLOČE



Preuzeto iz građevinskog projekta (Projekt osiguranja građevne jame, PR-19-122-01, 2019.)

GF GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI	Diplomski rad: 3D ANALIZE NAPREZANJA I DEFORMACIJA GRAĐEVNE JAME U ULICI IVANA KUKULJEVIĆA			Sadržaj nacрта: FAZE IZVEDBE		
	Student: Loren Vorić			Kolegij: Geotehnika prometnih građevina		
Mentor: dr.sc. Leo Matešić		Datum: IX.2020.	Mjerilo: 1:100	List: 6		