



Stručni rad/Professional paper
Primljen/Received: 31. 10. 2019.
Prihvaćen/Accepted: 16. 12. 2019.

PRIMJER PROJEKTIRANJA ZAŠTITE GRAĐEVINSKE JAME

Zlatan Talić, prof. dr. sc.

Univerzitet u Zenici, Politehnički fakultet, zlatan.talic@yahoo.com

Amila Isaković, studentica

Univerzitet u Zenici, Politehnički fakultet, isakovicamila@hotmail.com

Haris Trako, student

Univerzitet u Zenici, Politehnički fakultet, haristrako@hotmail.com

Sažetak: Građevinskom jamom se smatra prostor unutar kojeg se izvodi temeljenje. Taj prostor mora zadovoljiti uvjete, kao što su sigurnost za rad i dostupnost mašinama i radnicima. Projekt građevinske jame ovisi o vrsti građevine, osobinama terena i prisustvu vode u tlu. U slučajevima kada postoje veliki rizici i mnogo nepovoljnih uvjeta, izvodi se zaštitna konstrukcija koja ima zadatak da osigura stabilnost zidova građevinske jame, te da spriječi deformacije ili eventualno urušavanje. Rješenje zaštitne konstrukcije najčešće ovisi o sastavu tla, karakteristikama tla, dubini iskopa, nivou podzemne vode ili geometriji. U ovom radu se prikazuje primjer projekta zaštite građevinske jame u kojoj će se vršiti temeljenje i izgradnja stambeno-poslovnog objekta. Definiran je geotehnički model tla sa 3 geotehničke sredine, model i proračun temeljne jame koji su kontrolirani u softverima za geotehničke svrhe.

Ključne riječi: građevinska jama, temeljenje, zaštitna konstrukcija

EXAMPLE OF CONSTRUCTION PIT PROTECTION DESIGN

Abstract: Construction pit is a space where a foundation is constructed. This space must meet the requirements such as safety at work and accessibility for workers and heavy equipment. A construction pit design depends on the type of structure, characteristics of soil and presence of groundwater. In cases of high risks and many unfavourable conditions, a protective structure is built to ensure stability of construction pit walls, and to prevent deformation or possible collapse. The design of a protective structure usually depends on the composition and characteristics of soil, excavation depth, groundwater level or geometry. This paper presents an example of a construction pit protection project where foundation and construction of a residential and business building will be performed. A geotechnical soil model with three geotechnical environments, a model and calculation of the construction pit are defined, which are controlled in geotechnical software.

Key words: construction pit, foundation, protective structure



1. Uvod

Opće je poznato da upotreba potpornih građevinskih konstrukcija započinje još od davnina, te se čak može reći da su potporne konstrukcije nastale još u samom početku građevinarstva kao nauke. Bez obzira o kojoj vrsti potporne konstrukcije je riječ, svaka ima isti cilj, a to je zaštita vanjskog lica tla. U slučaju zaštite građevinske jame, najčešće se koriste nizovi šipova, razne vrste dijafragmi i zagatnih stijenki.

Tema ovog rada je primjer projektiranja zaštite građevinske jame za poslovno-stambenu zgradu u naselju Cazin, Bosna i Hercegovina. Rad se sastoji iz nekoliko dijelova, a to su: predstavljanje geotehničkog modela tla sa 3 različite geotehničke sredine, uključujući podatke o dubini supstrata, zatim modeliranje temeljne jame i proračun iste u softveru GEO5, dimenzioniranje šipova i kontrolni proračun.

2. Zaštita građevinske jame

Projekt zaštite građevinske jame se odvija u nekoliko faza. Prvenstveno je potrebno definirati geotehnički model terena, te odrediti dubinu supstrata. Nakon toga se vrši modeliranje temeljne jame, kao i sam proračun temeljne jame. U nastavku su detaljno prikazane sve faze projektiranja.

2.1. Geotehnički model terena

Geotehnički model terena je usvojen na osnovu geotehničkih parametara usvojenih u Elaboratu, Earth d.o.o Tuzla, oktobar 2018. Mjerodavni geomehanički parametri, dani u Elaboratu, određeni su u laboratorijskim i terenskim uvjetima ispitivanja. U nastavku je prikazan model terena sa mjerodavnim geomehaničkim parametrima za proračune.

Geotehnička sredina 1: pokrivač koji čine smeđa glina, srednje tvrda do mekana i pijesak sitni zaglinjen (u laboratoriji su dobiveni približno isti rezultati opita)

- | | |
|--|---------------------------------|
| - zapreminska težina | $\gamma = 21,15 \text{ kN/m}^3$ |
| - modul stišljivosti određen na terenu | $M_v = 5,5 \text{ MPa}$ |
| - kohezija | $c = 6 \text{ kN/m}^2$ |
| - kut unutarnjeg trenja | $\varphi = 14^\circ$. |

Geotehnička sredina 2: pokrivač koji čine smeđa glina, tvrda i smeđa glina, pjeskovita, tvrda (u laboratoriji su dobiveni približno isti rezultati opita)

- | | |
|--|---------------------------------|
| - zapreminska težina | $\gamma = 20,75 \text{ kN/m}^3$ |
| - modul stišljivosti određen na terenu | $M_v = 10,0 \text{ MPa}$ |
| - kohezija | $c = 10 \text{ kN/m}^2$ |
| - kut unutarnjeg trenja | $\varphi = 24^\circ$. |

Geotehnička sredina 3: laporci, sivi, tvrdi (supstrat)

- | | |
|--|---------------------------------|
| - zapreminska težina | $\gamma = 24,10 \text{ kN/m}^3$ |
| - modul stišljivosti određen na terenu | $M_v = 17,0 \text{ MPa}$ |
| - kohezija | $c = 26 \text{ kN/m}^2$ |
| - kut unutarnjeg trenja | $\varphi = 26^\circ$. |



Istražnim bušotinama B-1 i B-2 nije određena dubina supstrata, jer su bušotine završene u materijalima pokrivača. Iz tog razloga je izvedena nova istražna bušotina NB-1. Bušotina je locirana uz ulicu 503. Slavne Brdske Brigade. Nabušena jezgra bušotine je prikazana na sljedećoj slici:



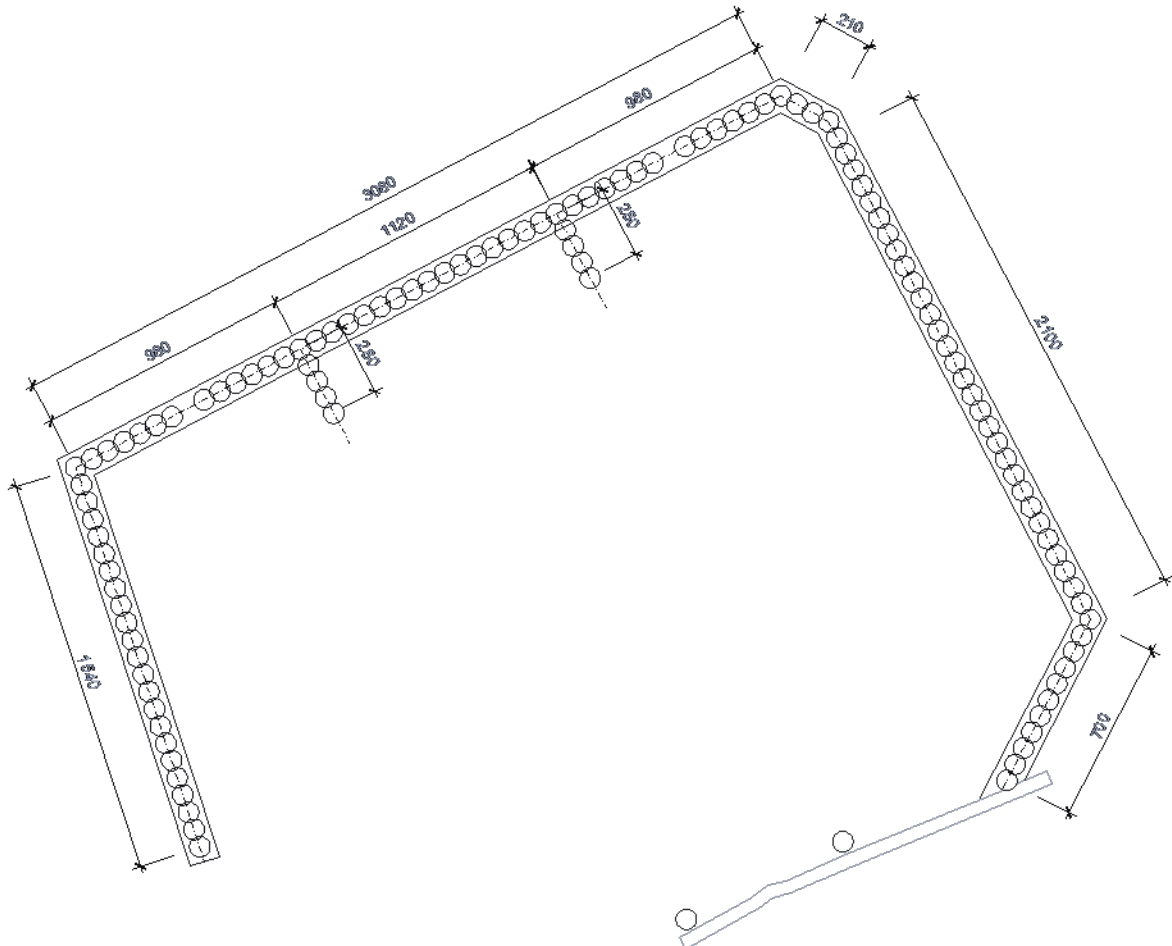
Slika 1. Nabušene jezgre iz bušotine NB-1

Inženjersko-geološkim kartiranjem nabušene jezgre, može se konstatirati da je dubina supstrata na ovoj lokaciji 10,0m. Također je izbušena i nova bušotina NB-2, uz ulicu Kulina bana. Na ovoj bušotini je konstatirana dubina supstrata do 7,5m.

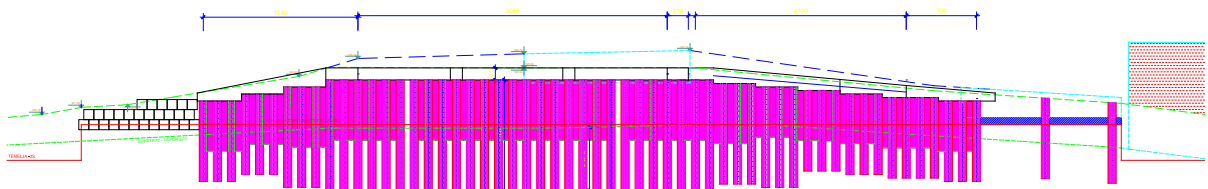


2.2. Modeliranje temeljne jame

Na slikama je prikazan model temeljne jame:



Slika 2. Osnova konstrukcije



Slika 3. Razvijeni uzdužni presjek konstrukcije



2.3. Proračun temeljne jame

Kod proračunskog modela i konstrukcije, serija šipova koja se ne armira je zanemarena i smatra se konstruktivnom obložnom serijom između nosive serije šipova. Podzemni pritisak vode iza niza šipova ispod postojećeg nivoa terena je također zanemaren, jer je projektom predviđeno propuštanje kroz otvore. Prilikom iskopa temeljne jame na nivou temelja objekta se pretpostavlja i pojava podzemne vode u temeljnoj jami, koja će se ispumpavati pumpama tokom radova na temeljenju objekta. U obzir je uzet i pritisak opterećenja vozila i mehanizacije na postojećim saobraćajnicama u blizini temeljne jame na udaljenosti 1,0m i 2,4m (strane A i B). Proračun građevinske jame je vršen u softverskim paketima GEO5 i Tower7 u kojima je izvršeno i uspoređivanje rezultata.

Građevinska jama se sastoji od armirano-betonskih šipova dužina 8, 10 i 11m na jednakim razmacima od 140cm. Razmak između šipova je popunjen betonskim šipovima na dužinama od 5m i 6m, koji formiraju niše između armirano-betonskih šipova, probijajući se svojim dijelom u supstrat. Promjer šipova je $\varnothing 80$, te se armirano-betonski šipovi i betonski šipovi preklapaju (ulaze jedan u drugi) obostrano po 10cm. Zadovoljen je i minimalni potrebni ukop nosivih armirano-betonskih šipova u supstrat 3d, odnosno 240cm. Betonski šipovi nisu tretirani kroz proračun, te smo time na strani sigurnosti.

Naglavna greda (vezna greda) je koncipirana promjenjivom visinom na strani A, C i D, gdje se kaskadno na nagibnom terenu povezuje sa konstrukcijom najopterećenije i najzahtjevnije strane B. Dimenzije naglavne (vezne) grede su 120x120cm.

Proračun je izvršen u GEO5 za mjerodavni dio konstrukcije strana B, te je urađen uporedni proračun na 3D modelu, kako bi se dobili sveukupni utjecaji na jedinstvenu konstrukciju. Strana F nije tretirana u ovom proračunu, zbog blizine objekta, a prilikom izvođenja radova će se izvršiti planirani iskop do 3m blizine objekta i uočiti dubina temeljenja objekta. Na osnovu dobivenih podataka raskopanog stanja će se odlučiti da li je potrebna zaštita strane F.

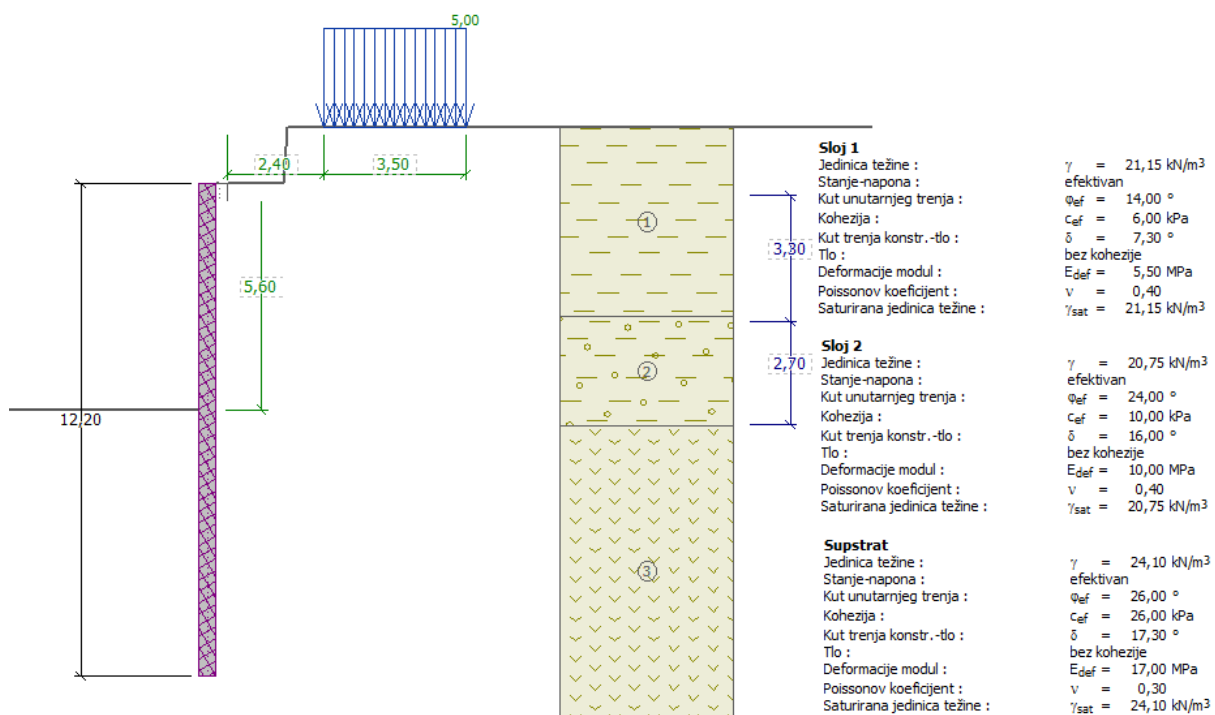
Dispoziciono rješenje, planovi oplata i nacrti armature su dati u grafičkom dijelu projekta. U prvoj fazi je analizirano postavljanje šipova, raskopavanje za građevinsku jamu i temeljenje. Rezultati pomjeranja naglavne grede (vezne grede) su pokazali da su pomjeranja prekoračena od dozvoljenih na kritičnoj strani B, pa je osigurano ojačanje jame sa dodatnom poprečnom serijom šipova koji simuliraju kontrafore. Ovim rješenjem je umanjeno pomjeranje na vrhu konstrukcije i dovedeno je u granice dopuštenih. Na uglovima su predviđene AB konstruktivne ukrute.

Rušenje preostalog dijela poprečne ukrute je planirano nakon izgradnje temeljne ploče. Preporučuje se i uračunavanje iskopa i zamjena tla na dijelovima gdje temeljna ploča objekta ne ulazi u supstrat. U proračunu je prikazano i dokazano da predviđeno rješenje zadovoljava sve uslove izvođenja građevinske jame.



Betonske konstrukcije :	EN 1992-1-1 (EC2)
Koeficijenti EN 1992-1-1 :	standard
Čelične konstrukcije :	EN 1993-1-1 (EC3)
Parcijalni faktor na nosivost poprečnog presjeka čelika :	$\gamma_{M0} = 1,00$
Timber struktura :	EN 1995-1-1 (EC5)
Parcijalni faktor za drvena područja :	$\gamma_M = 1,30$
Modif. faktor trajanja opterećenja i sadržaja vlage :	$k_{mod} = 0,50$
Koef. sudjelujuće širine za smicanja :	$k_{cr} = 0,67$
Izračun aktivnog tlaka :	Coulomb
Izračun pasivnog tlaka tla :	Caquot-Kerisel
Analička metoda :	ovisni pritisci
Analiza za potres :	Mononobe-Okabe
Moduli reakcije temeljnog tla :	standard
Razmotriti smanjenje modula rudna reakcije za ohrabrila folija.	
Metodologije verifikacije :	u skladu sa EN 1997
Projektni pristup :	3 - smanjenje aktivnosti (GEO, STR) i parametara tla
Metodologije verifikacije :	Granična stanja (LSD)

Slika 4. Ulazni parametri za proračun, GEO5



Slika 5. 2D model tla i opterećenja. GEO5

Proračun i prikaz rezultata je urađen u 3 faze:

- Faza 1: pobijanje šipa + iskop za temeljenje + vanjska opterećenja
- Faza 2: ukruta na 2 mjesta na prosječnom razmaku 30,8 m/3 + Faza 1
- Faza 3: opterećenje novoizgrađene temeljne ploče + Faza 2

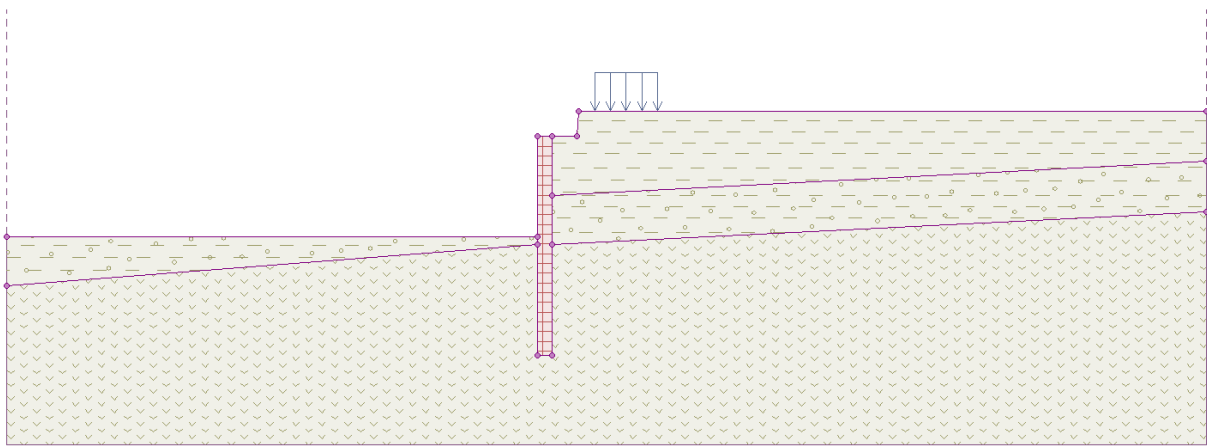


Rezultati faze 1: dokazano je da su pomjeranja u vrhu veća od dopuštenih, te da se mora odabrati sistem ojačanja. Koristi se ojačanje u vidu poprečne serije šipova, koja simulira kontrafore (što je modelirano kao potpora, da umanjí pomjeranja u vrhu šipa).

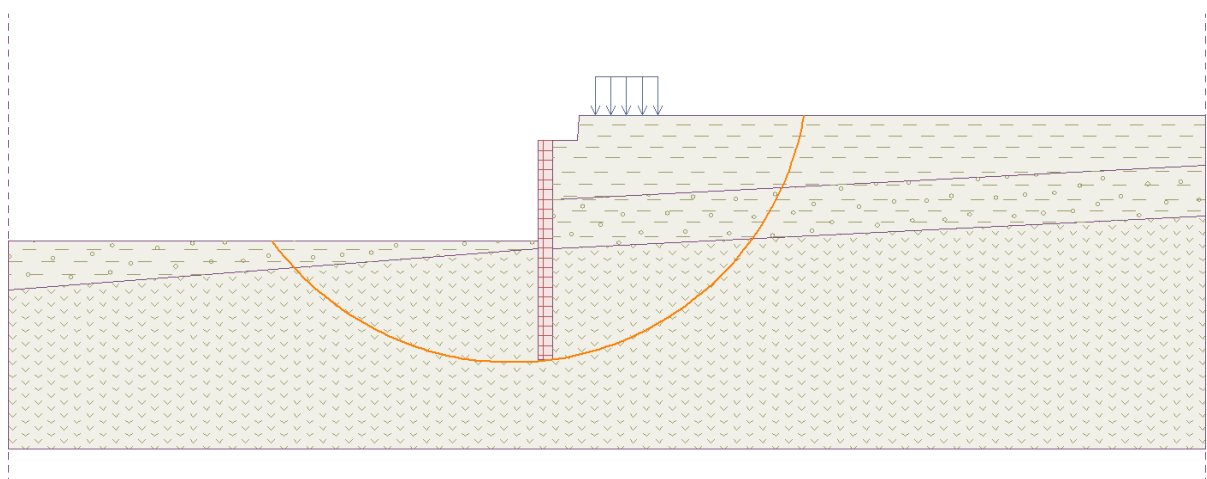
Rezultati faze 2: dokazano je da je potrebna poprečna serija šipova. Deformacije konstrukcije u vrhu su manje od dopuštenih pomjeranja definiranih u stanju eksploatacije za konzole. Dobivene su vrijednosti do 25,5mm.

Rezultati faze 3: dodatno se promatra utjecaj novoizgrađene podzemne etaže prije zatrpavanja oko objekta, tj. same temeljne jame. Dokazano je da su utjecaji objekta podzemne etaže zanemarivi na tip konstrukcije prije rušenja poprečnih ukruta i zatrpavanja.

Analiza globalne stabilnosti u GEO5:



Slika 6. Analiza globalne stabilnosti – model, GEO5



Slika 7. Analiza globalne stabilnosti – model, GEO5



Bishop metodom su dobivene sljedeće vrijednosti:

Kontrola stabilnosti kosine (Bishop)

Zbroj aktivnih sila : $F_a = 1024,37$ kN/m

Zbroj pasivnih sila : $F_p = 2816,60$ kN/m

Moment pomicanja : $M_a = 17065,97$ kNm/m

Moment otpornosti : $M_p = 46924,51$ kNm/m

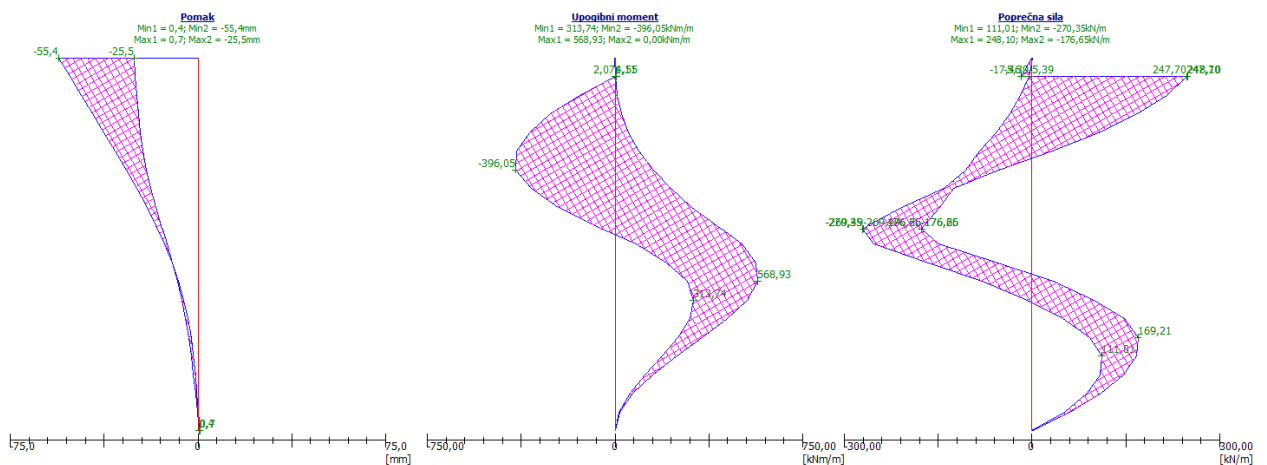
Korištenje : 36,4 %

Stabilnost kosine **PRIHVATLJIVO**

Slika 8. Bishop metoda, GEO5

Dimenzioniranje šipova:

Materijal i karakteristike šipova: beton C 25/30, armatura B500, promjer šipova $\varnothing 80$



Slika 8. Dimenzioniranje šipova, GEO5

**Provjera AB presjeka (Zastor pilota $d = 0,80$ m; $a = 1,40$ m)**

Sve faze konstrukcije su uzete u analizu.

Smanjeni koef. nosivosti = 1,00

Kontrola poprečnog presjeka u savijanju:

Armatura - 24 pc šipke 20,0 mm; pokriveno 60,0 mm

Tip konstrukcije (koeficijent armature) : greda

Razmjer armature $\rho = 0,750 \% > 0,135 \% = \rho_{min}$ Opterećenje : $M_{Ed} = 796,50$ kNmNosivost : $M_{Rd} = 927,30$ kNm

Dizajnirana armatura pilota ZADOVOLJAVAJUĆI

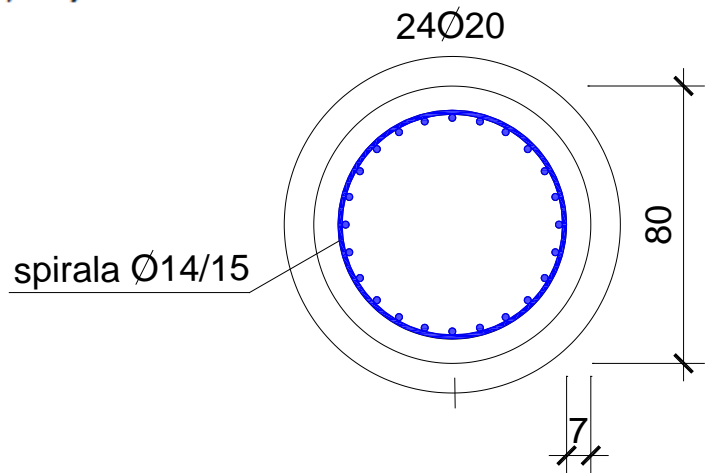
Kontrola poprečnog presjeka na posmik:

Smicanje armat. - profil 14,0 mm; razmak 150,0 mm

Konačna sila smicanja: $V_{Rd} = 944,12$ kN $> 378,49$ kN = V_{Ed}

Poprečni presjek ZADOVOLJAVA.

Ukupna kontrola: Poprečni presjek ZADOVOLJAVAJUĆI



Armatura		Posmična armatura		Rezultati	
Br. šipka :	24,00 [pcs]	Profil :	14,0 [mm]	ČVRSTOĆA :	ZADOVOLJAVAJUĆE (40,1%)
Pokrivač :	60,0 [mm]	Razmak :	150,0 [mm]	SAVIJANJE :	ZADOVOLJAVAJUĆE (85,9%)
Profil :	20,0 [mm]			NAČELA DIZAJNA :	ZADOVOLJAVAJUĆE (18,0%)

Slika 9. Dimenzioniranje šipova, GEO5

3. Kontrolni proračun

Proračunom u softveru GEO5 smo dobili potrebne dimenzije: 24Ø20 za šipove, te spirala Ø16/15. U proračunu dobivenom na 3D modelu u Tower 7 smo dobili rezultate koji su neznatno manji od rezultat iz GEO5. Vezna greda šipova se armira konstruktivno.

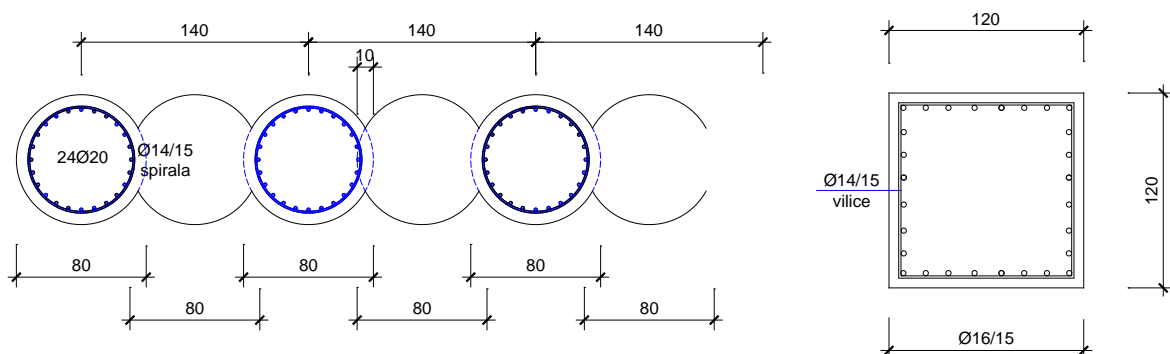
USVOJENO:

C 25/30

B 500

a = 7cm za šipove

a = 5cm za naglavne grede (vezne grede) šipova



Slika 10. Dimenzije šipova i naglavne grede (vezne grede)



4. Zaključak

Primjer projektiranja zaštite građevinske jame je predstavljen kroz softvere GEO5 i Tower (za kontrolni proračun). Korišteni su AB šipovi kao nosivi dio konstrukcije, betonski šipovi između AB šipova kao obloga nosivih šipova (smatraju se konstruktivnim) i poprečni šipovi. Prilikom proračuna, softveri su zabilježili pomjeranja naglavne grede (vezne grede) na jednoj kritičnoj strani, te je predstavljen primjer rješavanja danog problema upotrebom poprečnih šipova, koji su efikasno i isplativo rješenje.

Na ovaj način, izbjegnuto je sidrenje prednapetim palicama (što poskupljuje izgradnju), osiguranje jame IPE kosnicima (koji bi usporili radove na izgradnji temelja objekta) i izrada nove unutrašnje konstrukcije za razupore (što komplicira stanje pri izvođenju na samome terenu).

„Soil Mechanics arrived at the borderline between science and art. I use the term „art“ to indicate mental processes leading to satisfactory results without the assistance of step-for-step logical reasoning. To acquire competence in the field of earthwork engineering one must live with the soil. One must love it and observe its performance not only in the laboratory, but also in the field, to become familiar with those of its manifold properties...“

(Karl Von Terzaghi, 4th International Congress on Soil Mechanics, England, 1957.)

5. Literatura

1. BAS EN 1997-1: 2008 Eurokod 7 – Projektiranje geotehničkih struktura – Dio 1: Opća pravila (EN 1997-1:2007 IDT).
2. BAS EN 1997-2: 2008 Eurokod 7 – Projektiranje geotehničkih struktura – Dio 2: Ispitivanje tla (EN 1997-2:2007 IDT).
3. Pravilnik o geotehničkim istraživanjima i ispitivanjima te organizaciji i sadržaju misija geotehničkog inženjerstva (Sl. novine FBiH 60/09).
4. Roje-Bonacci, T.: *Potporne građevine i građevne jame*, Građevinsko-arhitektonski fakultet Sveučilišta u Splitu, Split, 2005. godine.
5. Roje-Bonacci, T.: *Mehanika tla*, Građevinski fakultet Sveučilišta u Splitu, Split, 2003. godine.
6. Nonveiller, E.: *Mehanika tla i temeljenje građevina*, Školska knjiga, Zagreb, 1979. godine.

Korišteni softverski paketi (programi):

1. GEO 5
2. Tower 7