



## ZAŠTITA GRAĐEVNE JAME PILOTNOM STIJENKOM

Doc. dr. sc. **Maja Prskalo**, dipl. ing. građ.  
Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru  
**Vedran Nižić**, magistar građevinarstva  
Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru

**Sažetak:** U okviru ovog rada definirana je zaštita građevinske jame kako bi se ostvarili uvjeti za izvođenje konstrukcije objekta i spriječilo slijeganje okolnog tla na kojemu je temeljen susjedni objekt. Prema projektnim elementima, predviđa se izrada dviju podzemnih etaža, a obzirom na neposrednu blizinu susjednog objekta (nadogradnja postojećeg), nužna je zaštita građevne jame uz vertikalnu denivelaciju. Najveća dubina iskopa je 8,10 m od kote temelja postojećeg objekta. Potporna konstrukcija je izračunata ručnim postupkom prema standardima Eurocode-a 2 i 7 i programskim paketom GEO5, točnije potprogramom SHEETING CHECK, koji omogućava provjera stabilnosti stjenke, te daje momente i sile koje djeluju na stjenku (zid od pilota).

**Ključne riječi:** građevna jama, zid od pilota, EC 7, Geo 5

## PROTECTION OF CONSTRUCTION PIT BY A PILE WALL

**Abstract:** Within its framework, this paper defines protection of the construction pit at the site in order to create conditions for execution of construction of the building and prevent subsidence of the surrounding soil on which the neighboring structure is based. Design elements call for construction of two underground floors, and the immediate proximity of the adjacent structure (addition of the existing one) requires protection of the construction pit with vertical deleveling. The maximum depth of excavation is 8.10 m from the level of foundation of the existing structure. The supporting structure is calculated using the manual procedure according to Eurocode standards 2 and 7 and software suite GEO5, more exactly the SHEETING CHECK routine, which allows testing of wall stability and gives moments and forces acting on the wall (pile diaphragm).

**Key words:** construction pit, pile wall, EC 7, Geo 5

## 1. UVOD

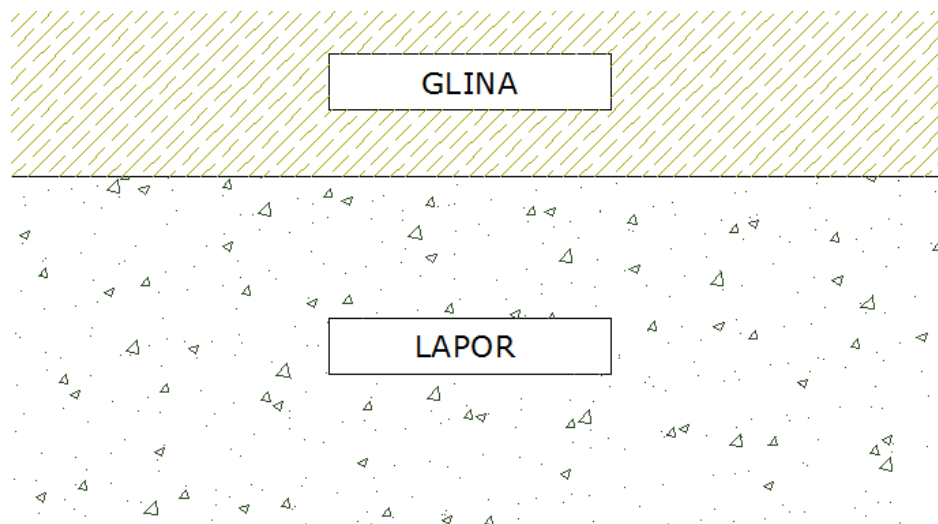
Koncept zaštitne konstrukcije se zasniva na pilotima radijusa 500-650 mm rađenih od armiranog betona koji se izvode na gradilištu rotacionim postupkom bušenja, bez stvaranja vibracija štetnih za postojeći susjedni objekt. Piloti na liniji 1 se privremeno razupiru sa čeličnom razuporom HEA 280 i privremenim AB pločama koje se mogu rušiti nakon betoniranja prve međukatne ploče, a na liniji 2 predviđa se i dodatno pridržanje sa geomehaničkim sidrima u geološki supstrat. Demontaža čelične razupore se izvodi nakon betoniranja prve međukatne ploče. Bušenje, umetanje i pritezanje sidara se vrši u skladu sa tehnologijom iskopa. Armirano betonski zid između pilota nije tretiran u statičkom proračunu jer se ne proteže po cijelom obodu građevne jame te sva opterećenja preuzimaju piloti.

## 2. GEOLOŠKA GRAĐA TERENA

Geološka građa terena na lokaciji gradilišta je jednostavna zbog činjenice da su na predmetnoj lokaciji i neposrednom okruženju utvrđene samo dvije litostatigrafske jedinice sa konstantnom uslojenošću tla i sljedećim geomehaničkim karakteristikama:

|       | $\gamma$<br>(kN/m <sup>3</sup> ) | $\varphi$ | c<br>(kN/m <sup>2</sup> ) | $\nu$ |
|-------|----------------------------------|-----------|---------------------------|-------|
| Glina | 20.0                             | 26        | 10.0                      | 0,2   |
| Lapor | 21.0                             | 29        | 15.0                      | 0,2   |

Tablica 1: Geomehaničke karakteristike tla



Slika 1: Profil tla

Dubina prvog sloja gline je konstantna i seže do 3.6m te se na njega nastavlja sloj lapora cijelom dubinom građevne jame. Najveća dubina iskopa je 8.10m od kote temelja postojećeg objekta bez prisustva podzemne vode, što uvelike olakšava izvedbu jer nema bojazni od hidrauličkog sloma dna građevne jame, ali je zato nužno osigurati adekvatnu odvodnju vlastite i vanjske oborinske vode.

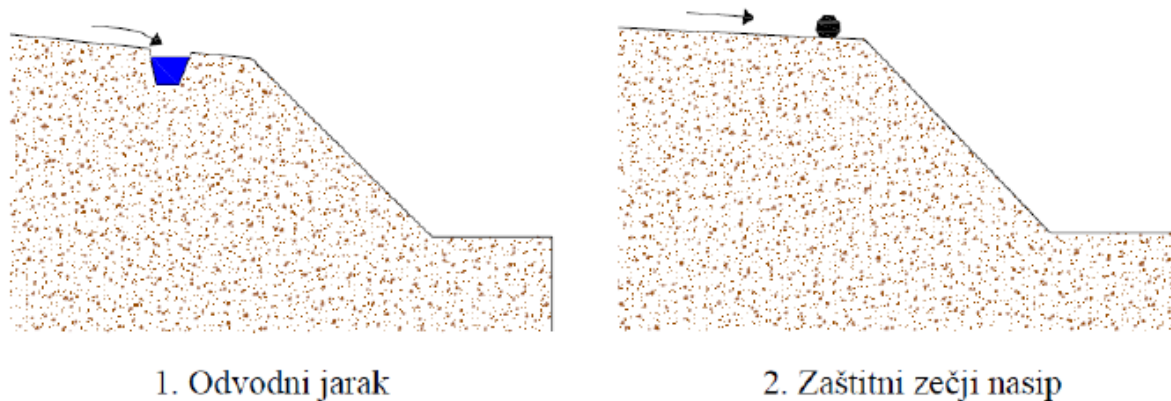
### 3. ZAŠTITA GRAĐEVINSKE JAME OD OBORINSKE VODE

Pri zaštiti od vanjske i vlastite oborinske vode potrebno je razinu osiguranja prilagoditi u ovisnosti od niza faktora kao što su:

- Režim kiša u području gradilišta
- Godišnje doba
- Razina podzemne vode
- Konfiguracija okolnog terena i slično

#### 3.1. Zaštita građevinske jame od vanjske oborinske vode

Pri zaštiti građevinske jame od vanjske vode potrebno je spriječiti dotok vanjske vode u jamu. To se postiže izradom odvodnih jaraka ili zečjih nasipa uz rub građevne jame, te se zahvaćena voda odvodi u najbliži recipijent ili kanalizaciju.

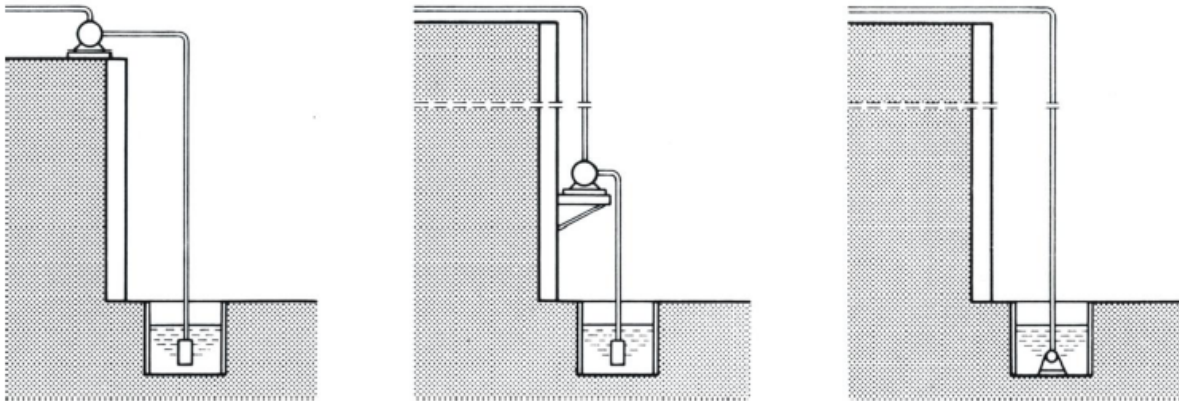


Slika 2. Primjeri zaštite od vanjske vode

#### 3.2. Zaštita građevinske jame od vlastite oborinske vode

Odvodnju unutar građevne jame moguće je izvesti pomoću „sakupljača vode“ koji ju odvede do mjesta na kojem postoji prostor za prikupljanje ove vode, a koji se povremeno prazni. Pod tim se podrazumijeva sustav kanala koji imaju blagi nagib dna prema lokalnom recipijentu unutar same građevne jame. Iz recipijenta se izbacuje prikupljena voda čija pojava je inače privremenog karaktera ovisna o količini padalina.

Za veće količine i stalan dotok potrebno je osigurati „crpnu stanicu“, koja se koristi za trajno crpljenje vode iz građevne jame. Također je nužno osigurati rezervni pogon i rezervne crpke da se gradilište osigura i u najsloženijim situacijama.



Slika 3: Crpljenje vode pomoću hidrauličke crpke i prikaz mogućnosti montaže

## 4.0. GEOSTATIČKA ANALIZA

### 4.1. Eurocode 7

Dimenzioniranje je izvršeno u odnosu na vrijednosti presječnih sila dobivenih po EC7 uz primjenu parcijalnih faktora.

U odnosu na kompleksnost geotehničkih projekata i minimalne zahtjeve glede opsega i kvalitete geotehničkih istražnih radova definirane su tri geotehničke kategorije:

- **Geotehnička kategorija I** – odnosi se na male i jednostavne konstrukcije kao što su mali iskopi i drenaže, jednokatne ili dvokatne stambene zgrade na plitkim temeljima ili pilotima, potporni ili razuporni zidovi niži od 2 m, nasipi niži od 3m ispod prometnih površina, odnosno 1m ispod temelja. U ovoj kategoriji istražni radovi mogu obuhvaćati najjednostavnije radnje kao što je pregled terena i primjena iskustva sa susjednih objekata, dokazi stabilnosti se mogu zamijeniti usporenim iskustvima.

- **Geotehnička kategorija II** – obuhvata rutinske geotehničke zahvate i čini većinu geotehničkih projekata.

- **Geotehnička kategorija III** - obuhvata vrlo složene zahvate i zahvate velikog rizika kao što su temeljenje na mekom tlu, složene građevne jame u blizini postojećih objekata, klizišta, tunele, nuklearne elektrane, objekte od posebnog značaja za neku regiju ili državu.

Za takve situacije EC norma ne daje posebne upute, već traži rigoroznije kriterije i postupke istražnih radova pod vodstvom kvalificiranog inženjera s odgovarajućim iskustvom u rješavanju raznih geotehničkih problema.

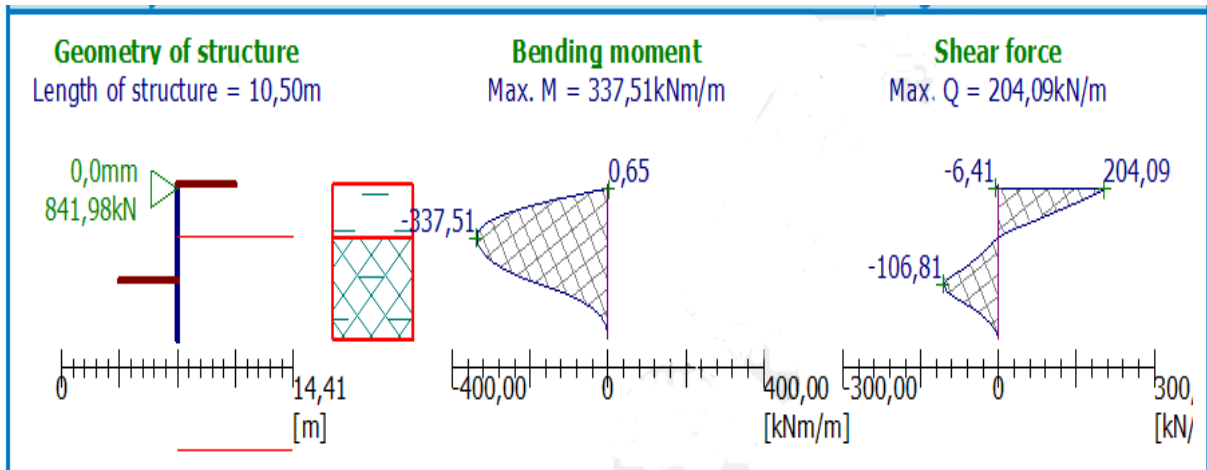
Geostatičkom analizom u predmetnom zadatku provedeni su proračuni stabilnosti i deformacija rješenja pilotske stijene debljine 50-65 cm. Nakon toga, izvršeno je dimenzioniranje pilota i razupornih elemenata.

Statički proračun konstrukcije proveden je u slijedećim koracima:

- odabir karakterističnih vrijednosti parametara materijala
- odabir dubine zabijanja pilota
- dimenzioniranje elemenata zaštitne konstrukcije
- proračun aktivnih pritisaka te ekvivalentnih sila koje djeluju na pilotsku stijenu

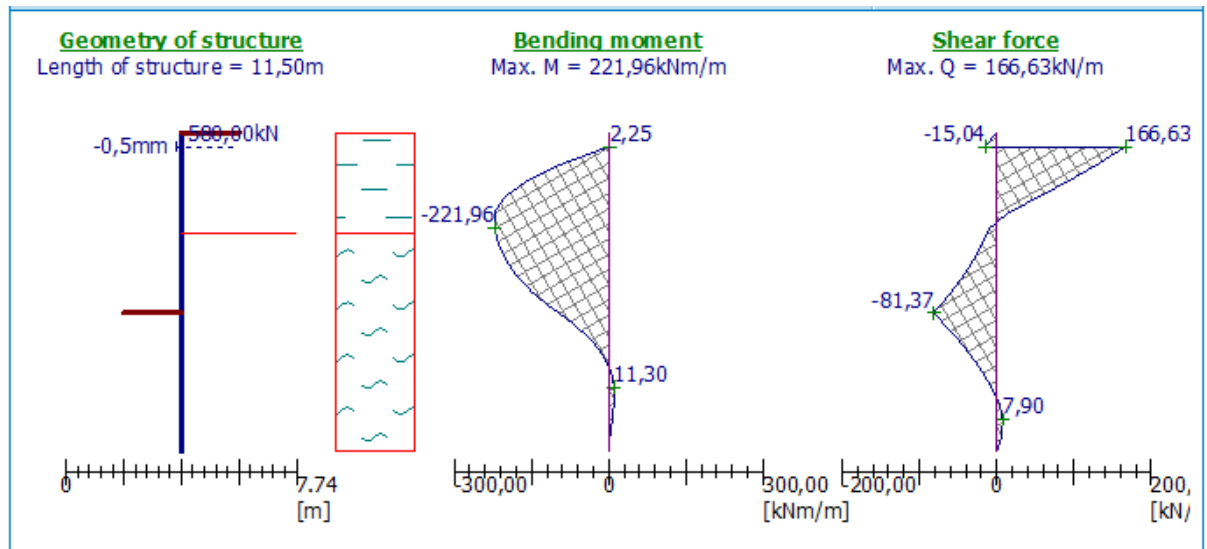
## 4.2. Geometrija karakterističnih presjeka

**PRESJEK a-a:** AB piloti radijusa  $\phi 650$  mm na međusobnom razmaku od 1,2m



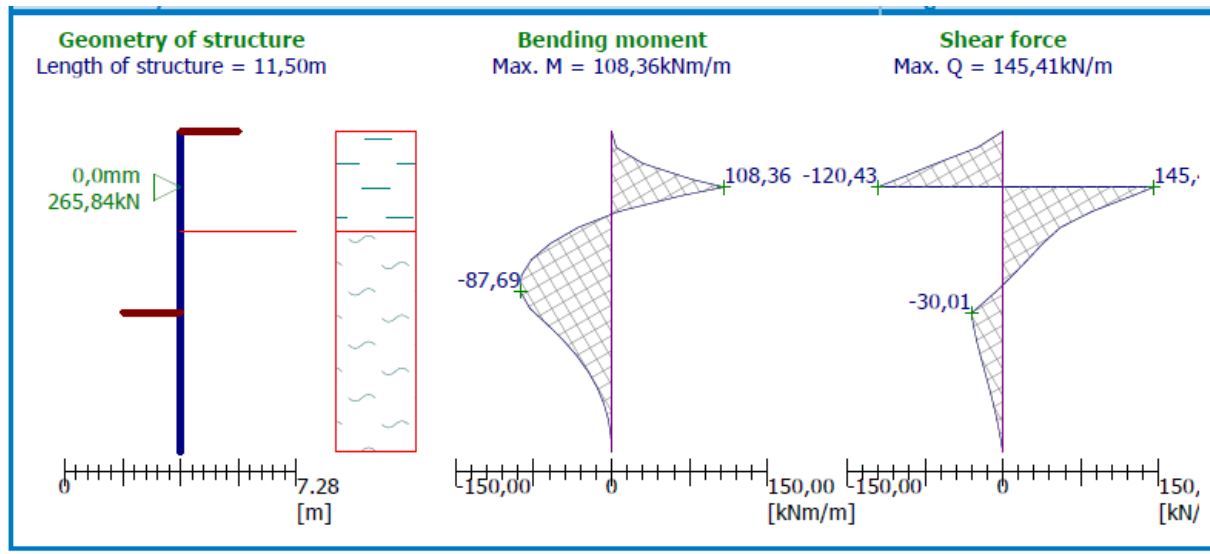
Slika 4. Dobivene vrijednosti sile i momenata za presjek a-a

**PRESJEK b-b:** AB piloti radijusa  $\phi 650$  mm na međusobnom razmaku od 1,2m



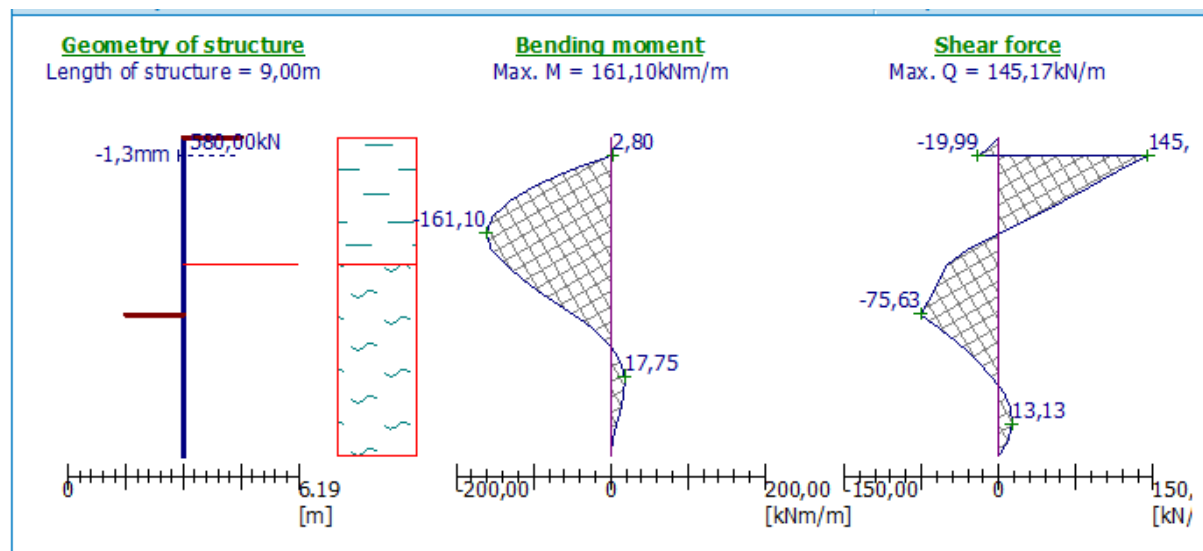
Slika 5. Dobivene vrijednosti sile i momenata za presjek b-b

**PRESJEK c-c:** AB piloti radijusa  $\phi 650$  mm na međusobnom razmaku od 1,2m



Slika 6. Dobivene vrijednosti sile i momenata za presjek c-c

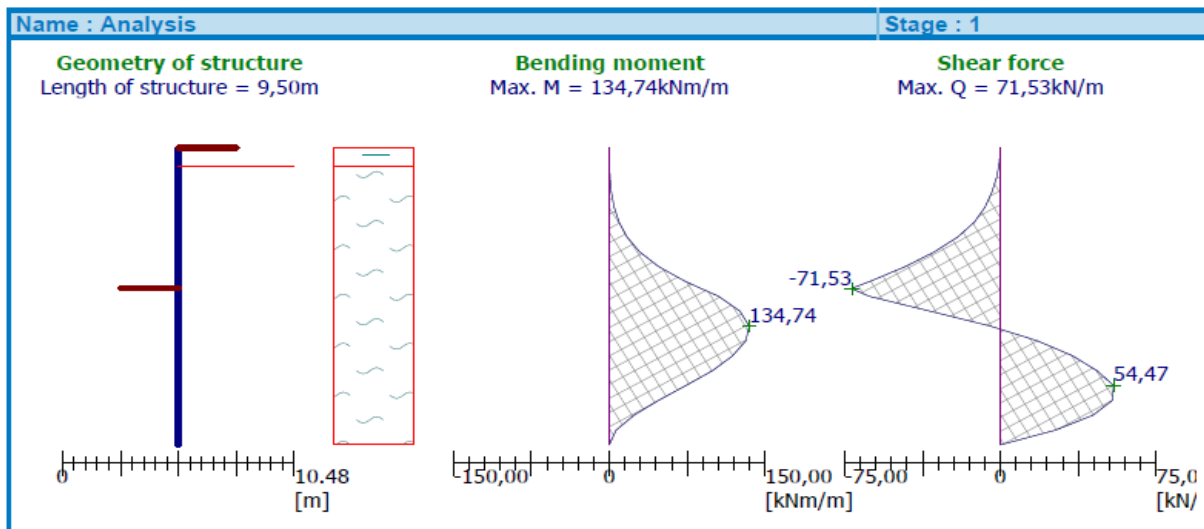
**PRESJEK d-d:** AB piloti radijusa  $\phi 500$  mm na međusobnom razmaku od 1,0m



Slika 7. Dobivene vrijednosti sile i momenata za presjek d-d



**PRESJEK e-e:** AB piloti radijusa  $\phi 650$  mm na međusobnom razmaku od 1,5m



Slika 8. Dobivene vrijednosti sile i momenata za presjek e-e

Za svaki od ovih presjeka napravljen je model u programskom paketu GEO5, te je dimenzioniranje pilota i razupornih elemenata izvršeno u odnosu na maksimalni moment savijanja  $M_{sd}$  i maksimalnu poprečnu silu  $V_{sd}$ , čije vrijednosti su dobivene nakon provjere stabilnosti sustava u svakoj fazi izvedbe.

#### UZDUŽNA ARMATURA

| Presjek    | Potrebna armatura     | Usvojena armatura                     |
|------------|-----------------------|---------------------------------------|
| <b>a-a</b> | 35,09 cm <sup>2</sup> | 14 $\phi$ 18 => 35,62 cm <sup>2</sup> |
| <b>b-b</b> | 22,33 cm <sup>2</sup> | 10 $\phi$ 18 => 25,45 cm <sup>2</sup> |
| <b>c-c</b> | 11,17 cm <sup>2</sup> | 6 $\phi$ 18 => 15,27 cm <sup>2</sup>  |
| <b>d-d</b> | 22,65 cm <sup>2</sup> | 10 $\phi$ 18 => 25,45 cm <sup>2</sup> |
| <b>e-e</b> | 28,71 cm <sup>2</sup> | 12 $\phi$ 18 => 30,54 cm <sup>2</sup> |

#### POPREČNA ARMATURA

| Presjek    | Potrebna armatura | Usvojena armatura      |
|------------|-------------------|------------------------|
| <b>a-a</b> | DA                | $\phi 10/20$           |
| <b>b-b</b> | NE                | minimalna $\phi 10/20$ |
| <b>c-c</b> | NE                | minimalna $\phi 10/20$ |
| <b>d-d</b> | DA                | $\phi 10/20$           |
| <b>e-e</b> | NE                | minimalna $\phi 10/20$ |

Tablica 3. Pregled usvojene armature pilota (uzdužna i poprečna)

## 5. TEHNOLOGIJA IZVOĐENJA RADOVA

Za rješavanje ove problematike odabiru se piloti koji se izvode rotacionim postupkom bušenja izvedeni na licu mjesta. Glavne prednosti ovakvog izbora su sljedeće:

- Mogućnost odabira velikih promjera i velike nosivosti
- Nema istiskivanja tla tijekom izvedbe
- Tihi način rada
- Male vibracije
- Male deformacije

Dok bi se kao mane ovako izvedenih pilota mogle spomenuti

- Relativno visoka cijena u čvrstom tlu
- Teškoće u izvedbi ispod razine podzemne vode
- Otežana sanacija grešaka kod betoniranja
- Iskopani materijal zahtjeva odlagalište što povećava troškove izgradnje



Slika 9. Shematski prikaz kopanja rova i ugradnje armature pilota





Nakon ugradnje armature vrši se betoniranje tzv. kontraktor postupkom. Kako se bušotina puni, cijev se vadi na način da uvijek ostaje barem 1 m u svježem betonu, što je vrlo važno jer na taj način svježi beton gura ispred sebe nečistoće i vodu. U slučaju prekida betoniranja, ako bi cijev kontraktora izašla iz svježeg betona, sve bi nečistoće ostale u tijelu pilota što je nedopustivo i upravo na ovu fazu izvedbe je potrebno obratiti pažnju i stručni nadzor zbog mogućih posljedica. Kontraktor postupak je također povoljan jer onemogućuje segregaciju betona i pojavu „zračnih džepova“. Ugrađeni beton potrebno je zaštititi od nepovoljnih vibracija i preranog opterećenja.

Iskop tla se izvodi do dubine 2,0m nakon čega se postavljaju razuporni elementi i ugrađuju geotehnička sidra u tri bitna koraka:

- izvedba bušotine za sidra
- injektiranje ugrađenih sidara
- prednaprezanje sidara

## 6. KONTROLA KVALITETE UGRAĐENIH MATERIJALA

U sklopu provedbe nadzora i kontrole kvalitete potrebno je izvršiti prethodna i kontrolna ispitivanja cementne smjese i armature, kao i uvesti sustav geotehničkog opažanja (monitoring) i geodetsko praćenje repernih točaka konstrukcije.

Kontrolom kvalitete provjeravamo:

- materijale za izradu pilota
- materijale za izradu sidara

## 7. ZAKLJUČAK

Iako je građevna jama privremena građevina koja ima primarnu zadaću da omogući izvedbu temelja ili izvedbu podzemne građevine za koju je projektirana, njena važnost se ne smije podcijeniti jer posljedice mogu biti katastrofalne. U slučaju kada se preklopi više nepovoljnih uvijeta kao što su velika dubina iskopa, tlo male čvrstoće, blizina susjedne građevine, građevna jama postaje geotehnička građevina za koju je potrebno izraditi projekt kao i za svaku drugu građevinu. Tlo koje je utvrđeno na predmetnoj lokaciji također nije bilo povoljno jer se radi o sloju ravnomjerno uslojene gline čija debljina iznosi cca 3,6m, te se na nju nastavlja sloj lapora nepoznate debljine. Naglavna greda izvedena nakon ugradnje i očvršćavanja pilota je projektirana po cijelom obodu građevne jame. Geotehnička sidra korištena u ovom projektu se sidre u naglavnu gredu pod kutom od 20°, ukupne duljine 14,5m, sa duljinom slobodne dionice 6,5m i duljinom sidrišne dionice 8,0m. Radna sila u sidru ostvarena prednapinjanjem iznosi 580kN. Za privremeno razupiranje stijanke građevne jame, korišten je čelični profil HEA 280 kvalitete čelika Fe 360 (S235) koja je također upet u naglavnu gredu. Spomenuta razupora se uklanja nakon izgradnje prve međukatne etaže. Predloženi monitoring građevne jame služi kao kontrola projektiranih pretpostavki i ponašanja zaštitne konstrukcije tijekom i nakon izvođenja.



## LITERATURA

1. E. Nonveiller: *Mehanika tla, Temeljenje građevina*, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb
2. Tanja Roje Bonnaci: *Potporne građevine i građevne jame*, Građevinsko – arhitektonski fakultet, Split, IGH, 2005.
3. Tanja Roje Bonnaci: *Duboko temeljenje i poboljšanje temeljnog tla*, Građevinsko – arhitektonski fakultet u Splitu, IGH, 2008.
4. Mustafa Selimović: *Mehanika tla*, Građevinski fakultet Univerziteta „Đemal Bijedić“, Mostar, 2000.
5. Mustafa Selimović: *Mehanika tla i temeljenje*, Građevinski fakultet Univerziteta „Đemal Bijedić“, Mostar, 2000.
6. Maja Prskalo: *Zbirka riješenih zadataka iz mehanike tla s primjenom EC 7*, Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru, Mostar, 2011.
7. Milan Glišić: *Fundiranje arhitektonskih objekata-prvo poglavlje*, Arhitektonski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd 2004.
8. G. A. Horodecki, A. F. Bolt, E. Dembicki: *Geotehnički problemi projektiranja i ponašanja građevnih jama*, Građevinar 55, 2003.
9. Jure Radić i suradnici: *Betonske konstrukcije-priručnik*, Sveučilište u Zagrebu – Građevinski fakultet, 2006.

Korišteni software-i:  
GEO5 (Sheeting check)  
AutoCAD 07