

# ZAŠTITA DUBOKE GRAĐEVINSKE JAME U SLOŽENIM UVJETIMA U URBANOJ SREDINI

M. Orešković, K. Ivandić, Ž. Lebo

Stručni rad

U radu je dan prikaz procesa projektiranja i izvedbe duboke građevinske jame u složenim uvjetima u urbanoj sredini. Složenost zahvata određena je time da što je bilo potrebno osigurati rad u suhom u šljunkovitom tlu s kotom iskopa ispod razine podzemne vode, a sve u neposrednoj blizini susjednih, plitko temeljenih objekata. Prikazan je tijek izvedbe zaštitne konstrukcije, s naglaskom na uočene probleme te načinima njihova konkretna rješavanja. Daju se zaključci vezani za stečena iskustva u korektnom rješavanju zadaća zaštita dubokih građevinskih jama u zatečenim okolnostima.

**Ključne riječi:** duboke građevinske jame, geotehnička sidra, stupovi od mlazno injektiranog tla, vodopropusnost, ispitivanje nosivosti, potporne konstrukcije

## DEEP PIT PROTECTION IN COMPLEX CONDITIONS IN URBAN AREA

Professional paper

The paper gives an overview of the process of design and performance of deep construction pit in the difficult conditions in urban areas. The complexity of the entire procedure is determined by the fact that it was necessary to ensure the dry work in the gravel soil with elevation of the excavation below the groundwater level, all in close adjacent, shallow-based facilities. The performance of protective structures during constructions was shown, with emphasis on the perceived problems and ways of their solving. Conclusions regarding the lessons learned in the specifically solution of the task the protection of deep construction pit in the inherited circumstances was provided.

**Key words:** deep construction pit, geotechnical anchors, jet grouting columns, water permeability, bearing capacity testing, retaining structures

### 1

#### Uvod Introduction

Na lokaciji uz Zagrebačku i Supilovu ulicu u Varaždinu tijekom 2007. i 2008. god. izvedena je konstrukcija privremene zaštite građevinske jame za objekat: *Poslovna građevine Dilatacija "I"*. Spomenuti objekat je planiran s dvije podzemne etaže, dubine iskopa cca 8.5 m.

Privremena konstrukcija zaštite građevinske jame imala je za zadaću osiguranje nekoliko zahtjeva u svim fazama izvedbe:

1. stabilnost vertikalnog iskopa
2. stvaranje vodonepropusne zaštitne barijere za rad u suhom
3. ograničavanje pomaka zaštitne konstrukcije i susjednih objekata na prihvatljivu mjeru
4. gospodarski kriterij izabranog rješenja

S obzirom na činjenicu da je planirana dubina iskopa ispod razine podzemne vode u šljunkovitom, krupnozrnatom materijalu velike vodopropusnosti, te s obzirom na neposrednu blizinu susjednih objekata po cijelom tlocrtu građevinske jame, izvedba zaštitne konstrukcije predstavljala je složen geotehnički zahvat.

U radu će se dati opis okolnosti u kojima je projektirano i izvedeno rješenje privremene zaštite građevinske jame. Navode se određena iskustva stečena tijekom izvedbe. Predlažu se postupci u budućim sličnim zahvatima, kako se ne bi dogodilo ponavljanje uočenih grešaka.

Na Slici 1 prikazana je fotografija građevinske jame u fazi iskopa za izvedbu naglavne grede prvog reda sidara. Iz fotografije moguće je uočiti blizinu susjednih objekata, koji su raspoređeni po cijelom tlocrtu građevinske jame.



Slika 1 Pogled na građevinsku jamu te neposredna blizina susjednih objekata

### 2

#### Osnovne karakteristike rješenja Basic characteristics of the solution

U ovom se poglavlju daju uvjeti pod kojima je projektirano osnovno rješenje, te se daje prikaz osnovnih elemenata potporne konstrukcije i horizontalnog vodonepropusnog čepa.

#### 2.1

##### Geotehnički uvjeti Geotechnical conditions

Geotehnički istražni radovi na prostoru predmetne lokacije provedeni su u više navrata od strane različitih nosioca geotehničkih elaborata. U ranijoj fazi istražnih radova definiran je slijedeći raspored slojeva temeljnog tla:

- nasip 0.8 – 1.1 m od humusa i građevinskog otpada
- sitni zaglinjeni šljunak GC dubina 1.5 – 2.0 m
- šljunak s povećanim sadržajem pijeska GS na 3.1 – 4.3 m

- do 15 m čisti do prašnasti dobro građuirani šljunak GW/GM, vrlo zbijen s maksimalnim poluzaobljenim zrnom do 6 cm.

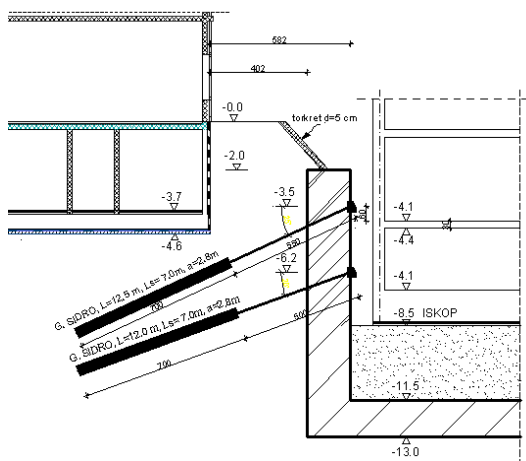
Raspored nabušenih slojeva sugerirao je da je sastav tla povoljan sa stanovišta upotrebe stupnjaka od mlazno injektiranog tla. Određena dilema se pojavila vezana za količinu sitnih čestica u sloju GW/GM, koje bi eventualno mogle imati nepovoljan utjecaj na sposobnost ostvarivanja projektiranih dimenzija i čvrstoća vertikalnih i stupnjaka na dijelu vodonepropusnog čepa. Geotehnički istražni radovi provedeni u kasnijim fazama ukazivali su na određenu nezanemarljivu količinu proslojaka sitnozrnatog tla kako po tlocrtnoj dispoziciji, tako i po dubini građevinske jame. Spomenuti rezultati istražnih radova nisu konceptijski mijenjali osnovno rješenja, osim u smislu eventualnog ojačanja zaštitne konstrukcije i vodonepropusnog čepa.

Za vrijeme terenskih istražnih radova u bušotinama je registrirana pojava podzemne vode (PPV) na 5.8 m od kote terena. Najviša razina podzemne vode je na 167.27 m.n.m. i varirala je, prema elaboratu, cca. 1.0 m u promatranom razdoblju od 22 mjeseca.

## 2.2

### Potporna konstrukcija Earth retaining structure

Osnovno rješenja vertikalne zaštite građevinske jame koncipirano je upotrebom mlazno injektiranih stupnjaka promjera  $d = 1.8$  m, s preklapanjem od  $r_p = 0.4$  m i dužinom  $l = 11$  m. Spomenuti je sustav ojačan s dva reda geotehničkih sidara velike nosivosti povezanih s naglavnom gredom u oba reda. Sidra su u horizontalnom smjeru na razmaku  $a = 2.8$  m. Gornje sidro  $l_u = l_{sl} + l_{sid} = 5.5 + 7.0 = 12.5$  m, pod kutem  $\alpha = 25^\circ$ , dok u donjem redu  $l_u = l_{sl} + l_{sid} = 5.0 + 7.0 = 12.0$  m, pod kutem u odnosu na horizontalu  $\alpha = 20^\circ$ . Na Slici 2 dan je prikaz karakterističnog presjeka potporne konstrukcije s vodonepropusnim čepom.

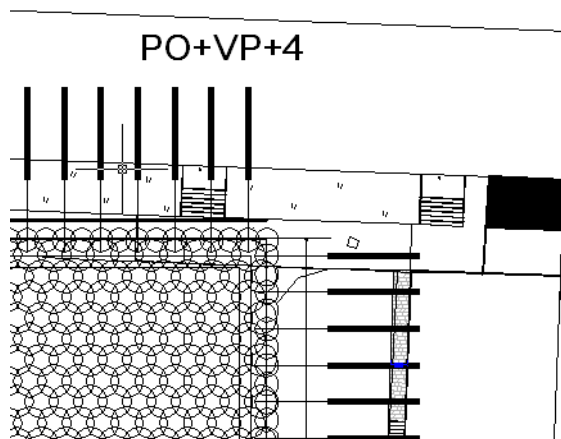


Slika 2 Karakterističan presjek potporne konstrukcije

Veličina spomenutog preklapanja od  $r_p = 0.4$  m definirana je dopuštenom tolerancijom izvedbe stupnjaka od 2.0 %.

Za dužinu stupnjaka od 11 m, dozvoljena greška je 0.22 cm, što daje dodatnih 18 cm osiguranja preklapanja.

Na Slici 3 dan je tlocrtni prikaz jednog segmenta potporne konstrukcije. Vidljive su dimenzije stupnjaka te veličine njihova preklapanja na dijelu potporne konstrukcije i vodonepropusnog čepa.



Slika 3 Prikaz dijela tlocrta jame građevinske jame

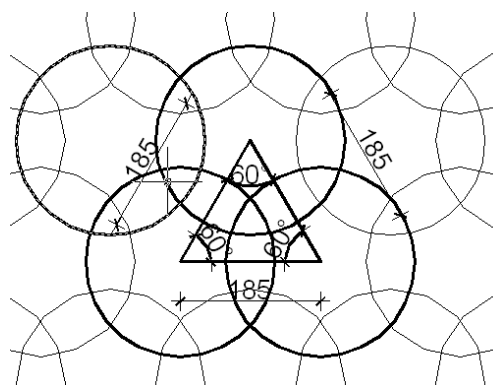


Slika 4 Prikaz dijela vertikalnih stupnjaka

Na Slici 4 prikazana je fotografija dijela vertikalne zaštitne konstrukcije na južnoj strani u fazi izrade gornje naglavne grede.

## 2.3

### Vodonepropusni čep Waterproof construction



Slika 5 Dimenzije i tlocrtni raspored stupnjaka na dijelu vodonepropusnog čepa

Na Slici 5 vide se dimenzije projektiranih stupnjaka s tlocrtnim rasporedom preklapanja, koji tvore vodonepropusni čep. Provjera postignute geometrije i zahtjevane čvrstoće stupnjaka provedena je izvedbom pokusnih stupnjaka. Geometrijska i mehanička svojstva pokusnih stupnjaka za vodonepropusni čep kontrolirana su njihovim otkopom na površinskom dijelu, te bušenjem, uzimanjem uzoraka stupnjake i provedbom odgovarajućih ispitivanja prema tehničkim uvjetima iz projekta.

### 3

#### Tijek radova Work process

Tijekom radova na sjevernoj strani građevinske jame u fazi iskopa ispod drugog reda naglavne grede, došlo je do provala materijala i vode u građevinsku jamu. Približna količina materijala bila je cca 3 m<sup>3</sup>. Na taj način razrahljeno je tlo između susjednih objekata i jame. Otvorila se kaverna, koja je predstavljala neposrednu opasnost za sve koji bi se našli u blizini odrona.



Slika 6 Mjesto prodora vode nakon hitne sanacije istoga

Dosizanjem konačne kote iskopa voda je neprestano dotjecala u jamu i to u količinama koji su onemogućavali izvedbu temeljne ploče. Na Slici 7 vidi se prodiranje vode u jamu, te kao posljedica, nemogućnost korektno izvedbe temeljne ploče.



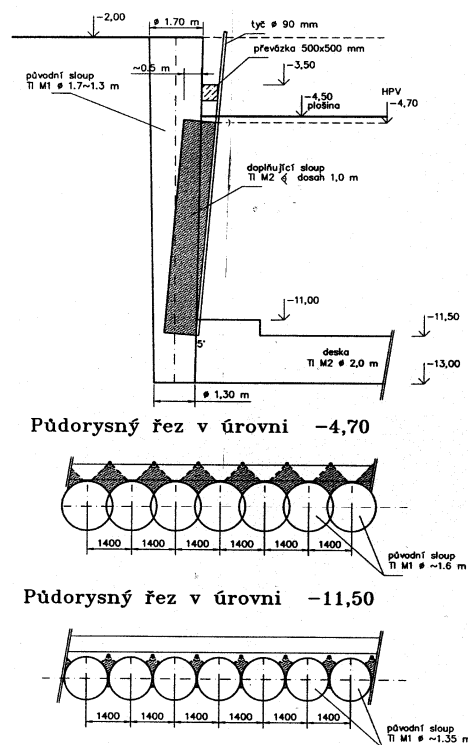
Slika 7 Doticaj vode u jamu

### 4

#### Korekcija osnovnog rješenja Correction of the basic solution

Na osnovu zatečenog stanja dolazi se do zaključka da je neophodno ojačati vertikalne stupnjake potporne konstrukcije zbog neplaniranih proboja vode i zemljanog materijala (šljunka i prašinstog šljunka). Rješenje,

odnosno ojačanje je dano s novim redom stupnjaka od mlazno injektiranog tla promjera 80 cm na kontaktima starih, već postojećih stupnjaka većih promjera. Injektiranje smjese je bilo usmjereno samo u prostor između postojećih stupnjaka, ciklički rotaciono sa kutem do 120 stupnjeva. U smjesu se dodavala i određena količina aditiva za bubrenje, kako bi brtvljenje bilo što efikasnije. Na Slici 8 prikazano je predloženo rješenje sanacije vertikalne potporne konstrukcije.



Slika 8 Rješenje sanacije usmjerenim mlaznim injektiranjem između postojećih stupnjaka

Kako bi se stupnjaci mogli korektno izvesti bilo je potrebno izjednačiti porne pritiske s obje strane građevinske jame. U slučaju pojave hidrauličkih gradijenata nije moguća izvedba stupnjaka zahtjevanih geometrijskih i mehaničkih svojstava. Iz tog razloga zaustavljeno je crpljenje vode (čime je jama potopljena), te je izveden nasip (berma) po obodu građevinske jame dovoljne širine za manipulaciju strojem. Nakon provedbe ojačanja vertikalne stijene od stupnjaka pristupilo se crpljenju vode i nastavku iskopa. Na Slici 9 vidi se kontrolirano potopljena građevinska jama.



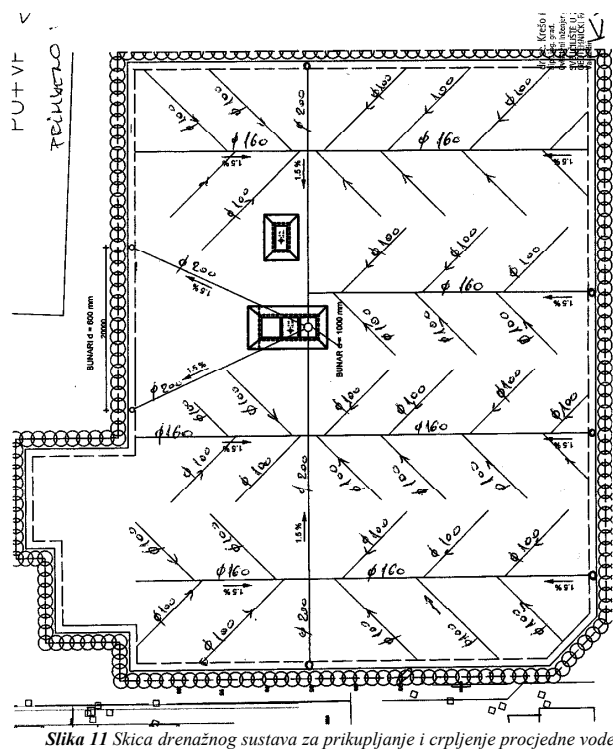
Slika 9 Kontrolirano potapanje jame

Na Slici 10 vidi se izvedeni nasip uz obod građevinske jame potreban za nesmetanu izvedbu dodatnih stupnjaka.



Slika 10 Potopljena jama netom prije izvedbe sanacije stupnjaka

Uvidom u činjenicu da je količina vode iznad planiranih granica, te nemogućnošću njena adekvatna crpljenja, pristupilo se izvedbi gustog drenažnog sustava za prikupljanje i crpljenje procjedne vode. Pretpostavlja se da uslijed lokalnih pojava anomalija u tlu, odnosno proslojaka manje propusnih sitnozrnih materijala, nije bilo moguće postići stupnjake vododrživog horizontalnog čepa potrebnih volumena i čvrstoća. Dodatni problem leži u činjenici da nije moguć direktan uvid u izvedeni stupnjak. Svako ispitivanje postignute geometrije i kvalitete može biti samo posredno, preko odgovarajućih geofizičkih ispitivanja ili djelomice, na ograničenom broju uzoraka. Na Slici 11 vidi se naknadno izvedeni drenažni sustav.



Slika 11 Skica drenažnog sustava za prikupljanje i crpljenje procjedne vode

Izvedbom dodatnih stupnjaka problemi oko vododrživosti i stabilnosti vertikalnih stupnjaka nisu u potpunosti prestali. Napredovanjem iskopa do konačne kote, povremeno je dolazilo do prodora vode, koji su uspješno sanirani „standardnim“ metodama. Iznimka je na dijelu sjeverne strane jame, gdje je situacija u jednom trenutku bila izuzetno kritična. U trenutku kada je bilo izvedeno

oko 4/5 temeljne ploče te veći dio zidova etaže -2 prilikom iskopavanja materijala na spomenutoj se stranikroz vertikalne stupnjak pojavilo procurivanje vode istodobno na više mjesta. Ovi prodori se nisu mogli sanirati „standardnim“ metodama, odnosno umetanjem cijevi za naknadno injektiranje i brtvljenjem brzovezujućim sredstvima. Stoga je bilo potrebno pristupiti učinkovitijem rješenju, koje je trebalo u najkraćem mogućem roku osmisliti i provesti, kako ne bi došlo do nekontroliranog potapanja jame. Jedna od razmatranih varijanti bila je izvedba dodatnog reda mlaznih stupnjaka s vanjske strane jame. Problem s ovom varijantom je bio taj što bi bilo potrebno ponovno potapati jamu, što bi drastično poskupilo izgradnju. Iz tog razloga sanacija svih prodora na sjevernoj strani je izvedena zabijanjem dodatnih mini talpi neposredno uz vertikalne stupnjake te kampadnim dobetoniranjem i injektiranjem brzovezujućom smjesom. Ovi radovi su izvedeni uz velike poteškoće, jer se količina vode za crpljenje postupno povećavala zbog ispiranja sitnih čestica na mjestima prodora, dok se tlak vode povećavao s napredovanjem iskopa. Na Slici 12 vidi se primjena mini talpi u svrhu sprečavanja prodora vode i tla na sjevernoj strani jame.



Slika 12 Korištenje mini talpi u svrhu sprečavanja prodora vode i tla

## 8 Zaključak Conclusion

Zamjećuje se relativno velika osjetljivost mlazno injektiranih stupnjaka većih promjera (>1 m) na zahtjevanu točnost izvedbe i kvalitetu, a kao funkcija karakteristika zatečenog tla. Iz tog razloga predlaže se upotreba stupnjake manjih promjera u dva ili više redova kao manje rizično rješenje. Neovisno o odabranoj koncepciji rješenja potrebno je obratiti pažnju na kvalitetu izvedbe u smislu poštivanja projektirane geometrije, te mehaničkih svojstava stupnjaka. Korištenjem mlazno injektiranih stupnjaka za izvedbu vodonepropusnog čepa nije moguće posve isključiti prodiranje vode, pa je nužno predvidjeti drenažu dna građevinske jame. U slučaju pojave tla lošijih karakteristika po potrebi izvesti dodatne stupnjake u dogovoru svih uključenih strana. Izraditi i provoditi detaljan program promatranja potporne konstrukcije i susjednih objekata. U projektu definirati kriterije dozvoljenih pomaka, ali i količina vode koja se procjeđuje kroz dno i potpornu konstrukciju. Unaprijed predvidjeti preciznu distribucija odgovornosti, i na taj

način skratiti proces odlučivanja u slučaju potrebe za hitnim djelovanjem.

## Literatura References

- Tehnički propis za betonske konstrukcije, NN 139/09 i NN 14/10  
HRN EN 1997-1:2008, Eurokod 7, Geotehničko projektiranje – 1. dio, Opća pravila (EN 1997-1:2004),  
HRN EN 1997-2:2008, Eurokod 7, Geotehničko projektiranje – 2. dio, Eurocode 7, Istraživanje i ispitivanje temeljnog tla, (EN 1997-2:2007)  
Pravilnik o tehničkim normativima za temeljenje građevinskih objekata, HRN 1990., Sl. List. 15/90  
Execution of special geotechnical works – Jet grouting, European Standard, EN 12716, European Committee for Standardization, 2001.

### Adrese autora Author's addresses

**Matija OREŠKOVIĆ, dipl.ing.geot.**  
Tehničko Veleučilišta Varaždin  
J. Križanića 33  
42000 Varaždin

**Dr.sc. Krešo Ivandić, dipl.ing.grad.**  
Geotehnički fakultet u Varaždinu  
Sveučilište u Zagrebu  
Hallerova aleja 7  
42000 Varaždin

**Željko LEBO, dipl.ing.grad.**  
Tehničko Veleučilišta u Zagrebu  
Vrbani 8  
10000 Zagreb