



HRVATSKO GEOTEHNIČKO DRUŠTVO
5. SAVJETOVANJE
IZVORI RIZIKA U GEOTEHNIČKIM ZAHVATIMA
Osijek, 20-21.05.2009.

Osiguranje pouzdanosti izvedbe duboke građevinske jame u urbanoj sredini (PTUS Centar 2.dio u Zagrebu)

Deep pit excavation reliability insurance in urban area (PTUS Center II Part, Zagreb)

Autori: **Željko Lebo, dipl.ing.građ., Tehničko Veleučilište u Zagrebu,**

zlebo@tvz.hr

dr.sc. Krešo Ivandić, dipl.ing.građ., Geotehnički fakultet u Varaždinu,

geokodhr@yahoo.com

Sažetak

U radu se prikazuju problemi i nedoumice nastali tijekom projektiranja i izvedbe privremene zaštitne konstrukcije građevinske jame za poslovno trgovačko ugostiteljsko stambeni centar 2.dio (PTUS Centar 2.dio) u Zagrebu. Tijekom cijelog procesa gradnje dat je poseban naglasak osiguranju zadovoljavajuće razine pouzdanosti izvedbe s obzirom na složenost potporne konstrukcije i lokalne uvjete u neposrednoj blizini građevinske jame. Jedan od najvećih izazova bio je kako, napredovanjem iskopa, procijeniti razinu stabilnosti postojeće susjedne armiranobetonske dijafragme nepoznate geometrije i nepoznatog općeg mehaničkog stanja. Zbog želje za pravovremenim izbjegavanjem opasnosti od narušavanja stabilnosti iste, projektom je definiran detaljan sustav lokalnog i globalnog tehničkog promatranja. Posebna pažnja poklonjena je provedbi stručnog geotehničkog nadzora nad izvedbom potporne konstrukcije. Temeljem nedostatnih i, u osnovi, nekorektnih podloga, izrađeno je projektno rješenje zaštite gađevinske jame. Tijekom izrade tehničke dokumentacije uočena je, zbog "kvalitete" dostupnih podloga, nemogućnost određivanja zadovoljavajuće razine pouzdanosti odabranog rješenja. Posljedica navedenog je potreba za preciznim definiranjem napredovanja iskopa, uz pažljivu provedbu tehničkih promatranja i pojačanog nadzora izvedbe konstrukcije. Na osnovu uočenoga (i rezultata mjerjenja) na samom terenu, argumentirano je procijenjeno da je potrebno korigirati (dopuniti) osnovno rješenje. Dopunom projekta zatečeni stupanj rizika sveden je na prihvatljivu mjeru. Naglašava se važnost određivanja procjene pouzdanosti projektnog rješenja u urbanim uvjetima gradnje.

Ključne riječi: duboka građevinska jama, urbana sredina, pouzdanost, rizik, tehničko promatranje

Abstract

In the paper the problems and indecisions during the design and construction works are presented. The building is called PTUS Center II Part in Zagreb. The aim of the work is the deep pit excavation presentation for it. During the full construction proces the accent was mark to insure the wanted pit excavation reliability level. The main reasons for such approach was the retaining construction complexity and nearby urban conditions. One of the major challenge was how to, with the excavaton progress, estimate the stability level of the adjacent existing diaphragm wall which is with unknown geometry and mechanical condion. A detailed system of local and global technical observations was designed to ensure the timely avoidance of disrupting the stability of the adjacent construction. Special attention was given the implementation of special geotechnical supervision over supporting structure. Based on, insufficiently and, in fact, incorrect geotechnical background, the deep pit excavation protection solution was designed. During the documentation work it has been pointed the impossibility to achieve the chosen solution satisfactory level of reliability. Consequence mentioned was the need for precise definition of the progress of excavations, with the careful implementation of technical observation including the increased monitoring the performance of structures. On the basis of the perceived at the field, it was estimated that a basic solution must be corrected. Amendment to the project found the level of risk reduced to an acceptable measure. Emphasizes is the importance of estimating the project solutions reliability in terms of urban construction.

Keywords: deep pit excavation, urban area, reliability, risk, technical observation



1.Uvod

U samom središtu grada Zagreba u Tkalčićevoj ulici, neposredno uz postojeći Kaptol Centar, na južnoj strani planirana je izvedba Poslovno – trgovačko – ugostiteljsko – stambenog centra (PTUS Centar). Centar je izgrađen u dva dijela (1. dio-južni i 2. dio-sjeverni). Konstrukcija 1. dijela dovršena je 2006. godine, a 2. dijela koncem 2008. godine. U radu su prikazani problemi i nedoumice nastali tijekom projektiranja i izvedbe privremene zaštitne konstrukcije građevinske jame za poslovno trgovacko ugostiteljsko stambeni centar 2.dio (PTUS Centar 2.dio). Tijekom cijelog procesa poduhvata gradnje dat je poseban naglasak osiguranju zadovoljavajuće razine pouzdanosti izvedbe s obzirom na složenost potporne konstrukcije i lokalnih uvjeta u neposrednoj blizini građevinske jame. Jedan od najvećih izazova bio je kako, napredovanjem iskopa, procijeniti razinu stabilnosti postojeće susjedne amiranobetonske dijafragme nepoznate geometrije i nepoznatog općeg mehaničkog stanja. Zbog želje za pravovremenim izbjegavanjem opasnosti od narušavanja stabilnosti iste, projektom je definiran detaljan sustav lokalnog i globalnog tehničkog promatranja. Posebna pažnja poklonjena je provedbi stručnog geotehničkog nadzora nad izvedbom potporne konstrukcije.

2. Geotehničke i druge značajke lokacije

Geotehničke istražne radove je tijekom srpnja 2006. god. provela tvrtka Geokod d.o.o. iz Zagreba. Generalno temeljno tlo tvore pretežito glinoviti materijali, uglavnom srednje do visoke plastičnosti (CI-CH). Izdvojene su i zone zaglinjenog i prašinastog šljunka (GC-GM) i zaglinjenog i prašinastog pijeska (SC-SM). Glina je polučvrste do čvrste konzistencije, značajno prahovita uz prisustvo vrlo finog pijeska, žuto-smeđe do smeđe i sivo-smeđe boje. Do konačnih dubina bušenja (20 m) registriran je prah srednje plastičnosri, čvrste konzistencije, zelenkasto-smeđe do sivo-smeđe boje. Pojava podzemne vode registrirana u gornjim, propusnjim slojevima brdskog šljunka, kroz koje se ona procjeđuje. Rezultati geotehničkog istraživanja su prikazani u tablicama 2.1. i 2.2.

Tablica 2.1. Rezultati istraživanja za istočni geotehnički model

Geotehnička klasifikacija sloja	Dubina (m)
CI/CH – srednje do visoko plastična glina	0,0-1,5
GC/GM – zaglinjen i prašinast šljunak	1,5-3,5
CI/CH– srednje do visoko plastična glina	3,5-4,5
GC/SC - zaglinjeni šljunak	4,5-10,0
CI – srednje plastična glina	10,0-22,0

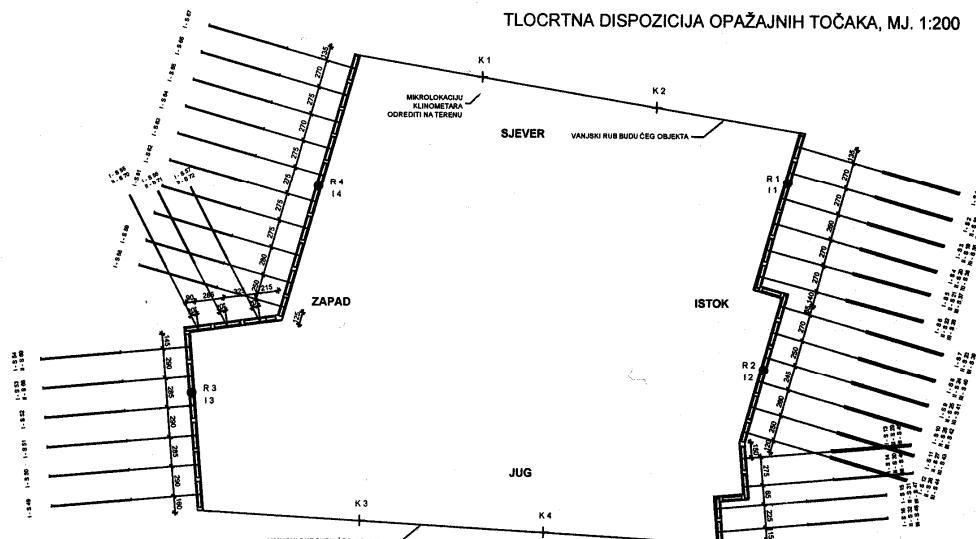
Tablica 2.2. Rezultati istraživanja za zapadni geotehnički model

Geotehnička klasifikacija sloja	Dubina (m)
N – nasipni materijal (humus, šuta, glina,...)	0,0-3,0
GC/GM – zaglinjen i prašinast šljunak	3,0-5,0
CH – srednje plastična glina	5,0-9,3
CI – srednje plastična glina	9,3-15,0

Tlocrtna površina građevinske jame je 2106 m^2 . Istočna strana jame s denivelacijom od 15.70 m osigurana je armiranobetonskom dijafragmom sidrenom s 3 reda geotehničkih sidara. Na zapadnoj je strani denivelacija od 8.20 m, također osigurana armiranobetonskom dijafragmom s jednim redom sidara. Na južnom dijelu jame nalazi se novoizgrađeni PTUS Centar 1. dio, koji se povezuje s PTUS Centrom 2. dio u istoj razini. Na sjevernom dijelu jame, uz sami rub parcele, prostire se „stara“ armiranobetonska dijafragma, izvedena za potrebe izgradnje poslovnog Centra Kaptol. Iskop građevinske jame volumena cca 24.000 m^3 proveden je u pretežito glinovitom tlu, s pojavom relativno male količine procjedne vode uz Tkalčićevu ulicu. Tijekom izrade glavnog i izvedbenog projekta nije se mogla dobiti pouzdana informacija o izvedenom ili čak projektiranom stanju stare dijafragme na sjevernoj strani. Posljedica je pristup dovršenju projekata na bazi pretpostavki, koje je trebalo u fazi izvedbe potvrditi ili pak opovrgnuti.

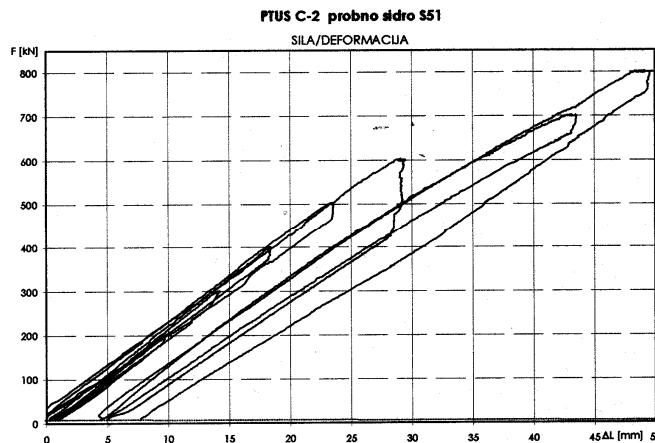
3. Tehničke karakteristike i izvedba zaštitne konstrukcije

Provredene su geostatičke analize za dva proračunska presjeka: istočna strana uz Novu Ves (slika 3.2.) i zapadna strana uz Tkalčićevu ulicu (slika 3.3.).

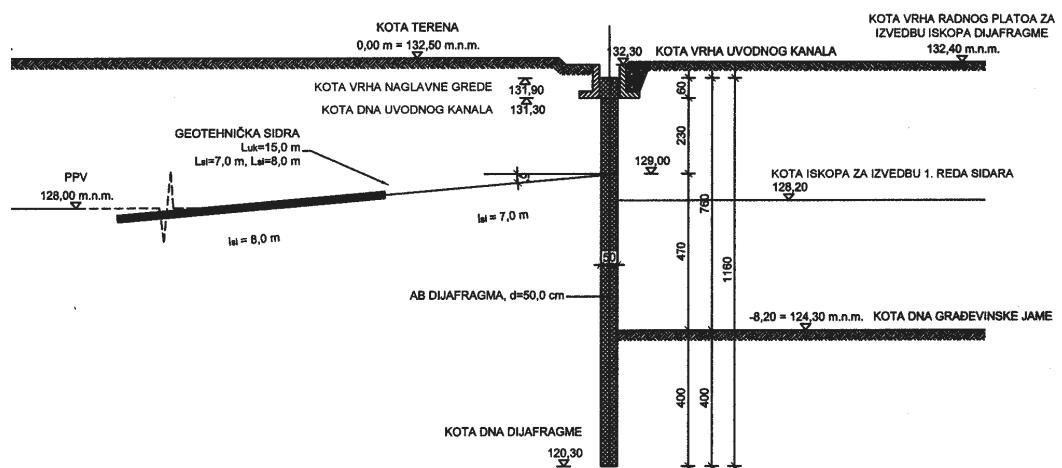


Slika 3.1. Tlocrtna dizpozicija AB dijafragme i točaka opažanja

Armiranobetonska dijafragma debeline 50 cm je na istočnoj strani pridržana s tri, na zapadnoj strani s jednim redom geotehničkih sidara. Ponašanje tla u interakciji s potpornom konstrukcijom modelirano je tzv. *Hardening Soil* modelom u 2D analizi metodom konačnih elemenata. Sidrenje armiranobetonske dijafragme obavljano je prednapetim geotehničkim sidrima sustava SUSPA DS1 (Dywidag). Injektiranje geotehničkih sidara provedeno je po postupku naknadnog injektiranja ili tzv. *post grouting-a*. Primjenom spomenutog postupka injektiranja uspješno su izvedena sva geotehnička sidra (76 kom) bez ijednog podbačaja. Napominje se da je u probnom sidru, koje je izvedeno u zaglinjenom tlu, nepovoljnih svojstava (značajna prahovita komponente malih vrijednosti parametara posmične čvrstoće i deformailnosti uz prisustvo podzemne procjedne vode – Tkalčićeva ulica) ostvarena sila od 800 kN bez pojave značajnijih plastičnih deformacija.



Slika 3.2. Rezultati ispitivanja nosivosti probnog sidra S51 (Tkalčićeva)



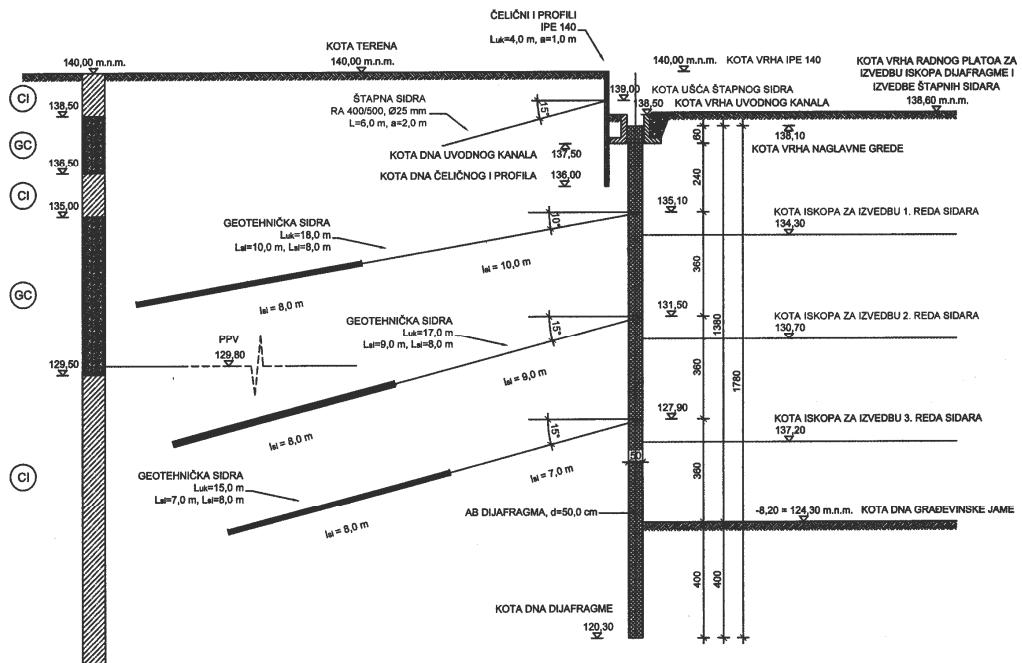
Slika 3.3. Karakterističan geotehnički presjek za zapadnu stranu jame (Tkalčićeva)



Slika 3.4. Zaštita zapadne strane jame AB dijafrazmom (Tkalčićeva ulica)

Radovi na zaštiti građevinske jame izvodila je tvrtka Conex doo iz Zagreba sa svojim kooperantima (Crosco doo, Grasa doo, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu).

Početak radova je u siječnju 2008. godine, dovršetak u travnju iste godine. Investitor je Molteh doo iz Zagreba. Glavni i izvedbeni projekt zaštite građevinske jame izradili su djelatnici Tehničkog veleučilišta u Zagrebu. Oni su također provodili stručni geotehnički i projektantski nadzor. Na samom početku radova uspostavljen je sustav opažanja ponašanja zaštitne konstrukcije AB dijafragme, susjednih objekata, te naročito postojeće AB dijafragme na sjevernoj strani građevinske jame. Sustav opažanja se sastojao iz 4 para inklinometara u panelima dijafragme, parovima klinometara na susjednim objektima na sjeveru i jugu, te geodetskog praćenja stalnih repera na naglavnici dijafragme i susjednih objekata. Cijeli sustav opažanja definiran je u glavnom i izvedbenom projektu zaštite građevinske jame. Na bazi rezultata mjerjenja pomaka nadzorni inženjer je donosio određene odluke u pogledu nastavka radova s obzirom na neusklađenost projektne dokumentacije za sjevernu stranu jame.



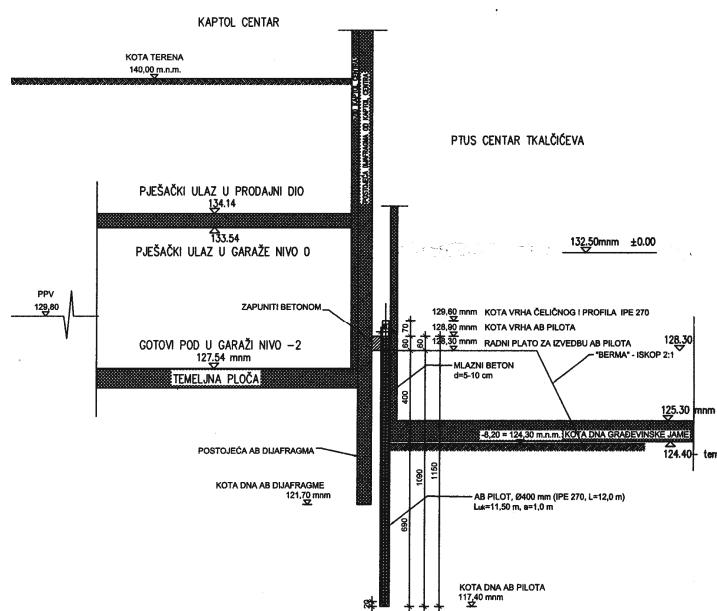
Slika 3.5. Karakteristični presjek za istočnu stranu jame (Nova Ves)



Slika 3.6. Izgled AB dijafagme u fazi izvedbe na istočnoj strani jame (Nova Ves)

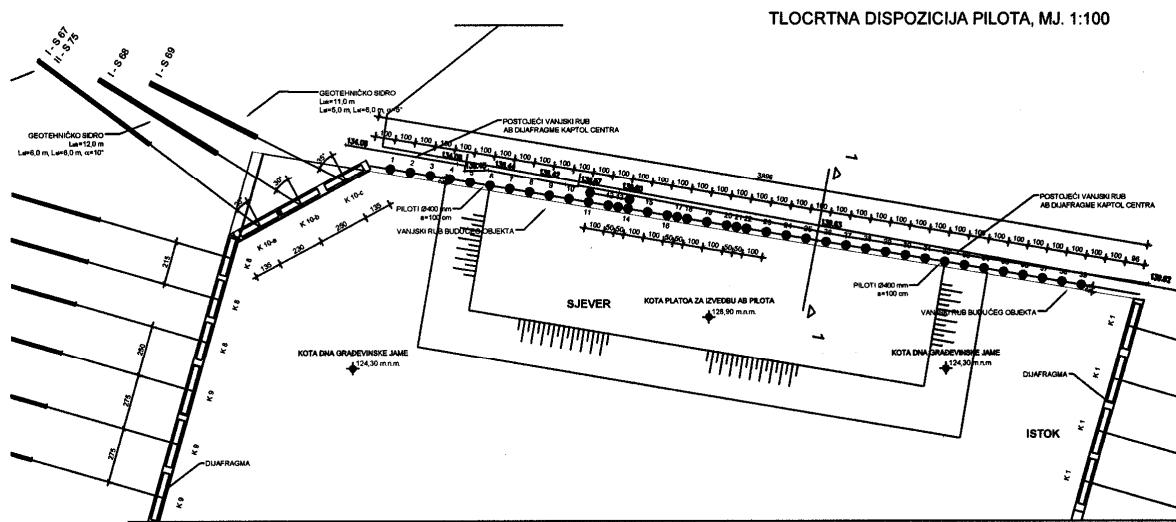
4. Dopuna projektnog rješenja; stabilizacija postojeće dijafragme

Poseban problem bio je kako, napredovanjem iskopa, procijeniti stanje stabilnosti postojeće susjedne armiranobetonske dijafragme na sjevernoj strani jame. U izrađenoj tehničkoj dokumentaciji sjeverna strana jame nije bila analizirana. Razlog je neargumentirana tvrdnja mjerodavnih osoba naručitelja da je susjedni objekt temeljen na istoj ili dubljoj razini od iskopa predmetne jame. Dalje, da je postojeća dijafragma dovoljno duboko upeta i nema potrebe zasebno je tretirati, niti dokazivati u pogledu stabilnosti. Spomenute premise projektant je uzeo s dovoljnom razinom rezerve. Svaka, pa čak i najbezazlenija tvrdnja, mora na određeni način biti dokazana. U ovom bi slučaju posljedice nepoklapanja pretpostavke sa stvarnim stanjem na terenu, mogle biti vrlo ozbiljne. Projektant je takvo stanje stvari shvatio kao izazov. Projektirati korektno rješenje, bez pouzdanih podloga. Tijekom iskapanja ustanovljena je samo činjenica da je dijafragma izvedena u debljini od 60 cm. Njena upetost, odnosno dužina ispod razine budućeg iskopa, nije se mogla pouzdano ocijeniti. U takvim uvjetima, uz permanentan geotehnički nadzor, obavljeni su iskopi do dubine 128,30 mm, za koju je procijenjeno, da neće narušiti stabilnost postojeće dijafragme. Nadzorni je inženjer u tom trenutku zabranio nastavak radova na iskapanju na sjevernoj strani, sve dok se ne dostave pouzdani podaci o dubini i provjeri stabilnosti postojeće dijafragme. Dalnjim geodetskim premeravanjima utvrđeno da je susjedni objekt (Kaptol Centar) temeljen na razini višoj za 2,5 metra od dna iskopa građevne jame PTUS Centra. Provedeno je sondiranje temeljnog tla uz postojeću dijafragu kampadnim iskopavanjem do najveće dubine, koju je omogućavala dostupna mehanizacija na gradilištu. Krajnjim naporom izvođača kroz kampadu širine 1,0 m dosegнуto je dno postojeće dijafragme i ustanovljeno je da su pretpostavke dobivene od naručitelja i glavnog projektanta bile nekorektne. Dijafragma je bila znatno kraća i nedovoljno upeta da bi „sama“ bez posebne zaštite imala dostatnu stabilnost na prevrtanje za slučaj seizmičkog djelovanja sila potresa i da bi preuzeila silu pritiska tla zbog denivelacije u temeljenju objekata Kaptol Centra i PTUS Centra.

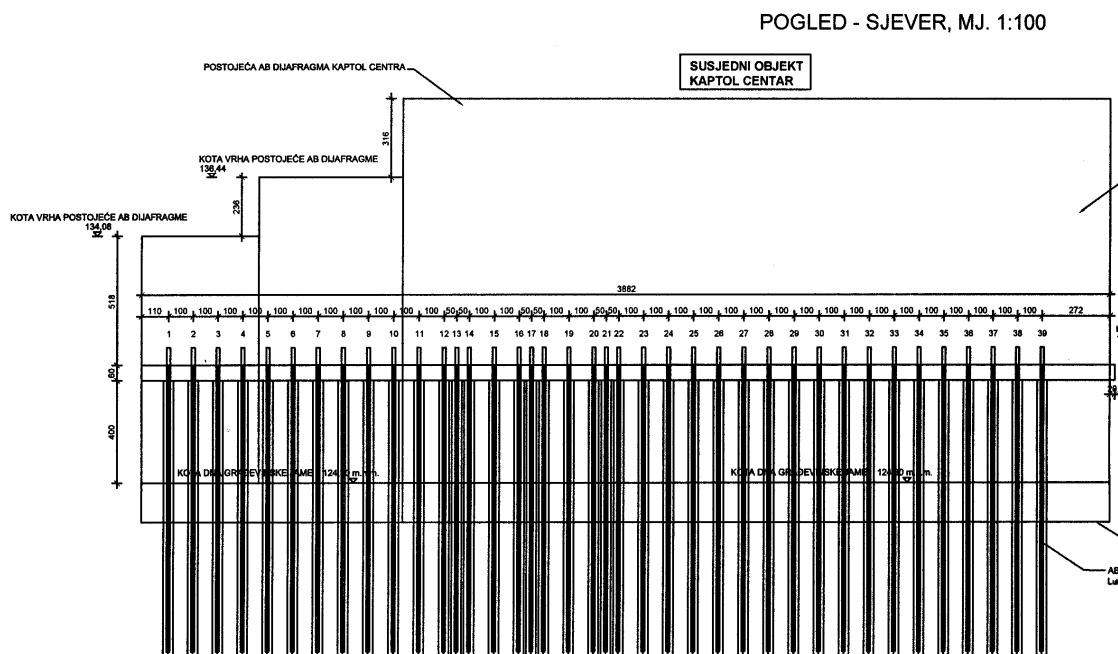


Slika 4.1. Prikaz tehničkog rješenja dopune projekta na sjevernoj strani jame

Iz navedenih razloga pristupilo se izradi korekcije, odnosno dopune osnovnog rješenja. Izvedena je dodatna zaštitna konstrukcija od bušenih mikropiloti promjera 40 cm s jezgorom od čeličnih (IPE 270) profila duljine 12.0 m. Izveden je 41 mikropilot, povezan naglavnom gredom, te nakon iskopa s uređenim licem od mlaznog betona, radi jednostavnije izvedbe hidroizolacije podzemne etaže konstrukcije. Za vrijeme izvedbe dodatne zaštitne konstrukcije naročita je pažnja poklonjena režimu opažanja uz postojeću dijafragmu i susjedni objekt (Kaptol Centar).



Slika 4.2. Tlocrtna dispozicija mikropiloti i zakošenje na sjevernoj strani jame



Slika 4.3. Pogled na mikropilote uz postojeću AB dijafragmu

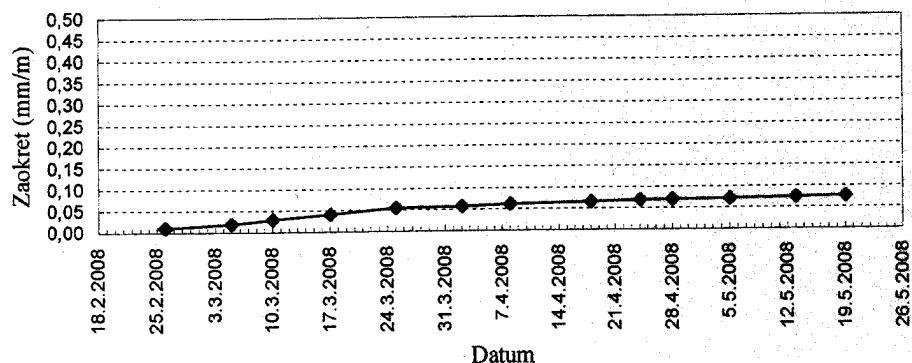


Slika 4.4. Izvedba mikropilota uz postojeću AB dijafragmu Kaptol Centra

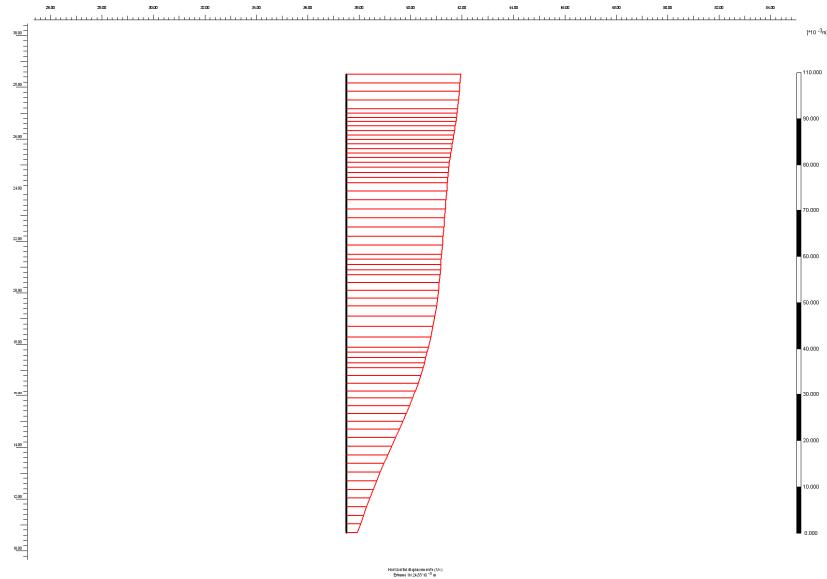
5. Kontrola kvalitete i rezultati mjerena

Za vrijeme izvođenja radova, sukladno projektu, permanentno se provodilo opažanje pomaka zaštitne konstrukcije AB dijafragme, susjednih objekata, a osobito postojeće neaktivne AB dijafragme uz Kaptol Centar. Sustav opažanja se sastojao od mjerena pomaka gođetskih repera te geotehničkog instrumentarija (inklinometara, klinometara i mikrometara). Tako je za vrijeme izvedbe izvršeno do 16 ciklusa geotehničkog mjerena i 20 ciklusa mjerena pomaka geodetskih repera. Svi rezultati mjerena, pokazali su da se zaštitna konstrukcija (sidrena AB dijafragma i mikropiloti) ponašala u skladu s projektom predviđenim kriterijima, te da njena izvedba nije imala bitnih utjecaja na stabilnost susjednih objekata. Posebno se mogu istaknuti rezultati proračunske i izmjerene vrijednosti horizontalnih pomaka AB dijafragme koji su se dobrim dijelom uskladili tijekom faznog napredovanja radova sve do konačnog iskopa (slika 5.2 i 5.3)

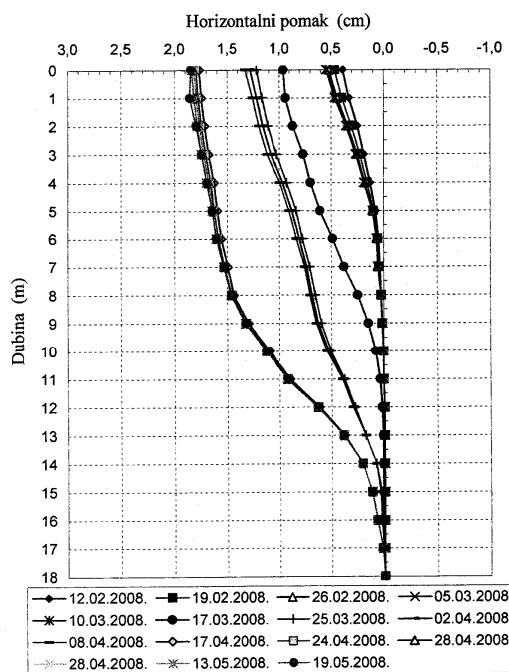
Također provedena ispitivanja (rezultati mjerena) pokazala su zavidnu razinu kvalitete izvedenog sidrenog sustava postupkom post grouting-a.



Slika 5.1. Rezultati mjerena inklinometrom K2 – kutevi zaokreta postojeće AB dijafragme uz Kaptol Centar



Slika 5.2. Proračunski horizontalni pomaci u dijafragmi, $W_{max}=2,4 \text{ cm}$ – konačni iskop



Slika 5.3. Rezultati mjerenja horizontalnih pomaka AB dijafragme, $W_{max}=1,9 \text{ cm}$ (inklinometar I-2, Nova Ves) – konačni iskop

6. Zaključak

Zaštita građevinske jama je izvedena u složenim geotehničkim uvjetima, neposredno uz prometne i poslovne objekte, te uz postojeću (neaktivnu) armiranobetonsku dijafragmu Kaptol Centra. Rješenje zaštite je armiranobetonska (AB) dijafragma na istočnoj strani s tri i na zapadnoj strani s jednim redom geotehničkih sidara.

Zbog nekvalitetnih i u konačnici nekorektnih podloga o stanju temeljenja i izvedbe susjednog objekta na sjevernoj strani (Kaptol Centar), postojeću tehničku dokumentaciju nužno je bilo potrebno korigirati, odnosno dopuniti. Izrađena je dodatna tehnička dokumentacija na temelju koje je izvedena posebna zaštitna konstrukcija od mikropilota, kako bi se stupanj rizika sveo na prihvatljivu mjeru.

Izrada glavnog i izvedbenog projekta zaštite građevinske jame ultimativno je zahtjevana od naručitelja na bazi nepouzdanih podloga. Projektant je prihvatio spomenute podloge, predvidjevši u projektu potrebne radnje u pravcu osiguranja dovoljne razine pouzdanosti u svim fazama izvedbe. Kroz projektu dokumentaciju potencijalni izvođači i nadzorni inženjer su upoznati o mogućim odstupanjima od projektnih prepostavki. Ovakav se pristup pokazao izuzetno efikasnim i ključnim za pravovremeno reagiranje i smanjenje stupnja rizika prilikom izvedbe.

U svakom projektnom rješenju ukalkulirana je određena, prihvatljiva razina rizika. Usvajanjem vrijednosti parcijalnih faktora sigurnosti, te drugim prepostavkama vezanima za interakciju potporna konstrukcija-tlo-susjedni objekti, rizik se svodi na statistički prihvatljivu mjeru. Specifikum u geotehničkom inženjerstvu je uvjet poklapanja s dosadašnjom praksom, ne nužno poštujući stvarnu vjerojatnosnu razdiobu pojedinih parametara.

Svakako je potrebno i kod jednostavnih zahvata s malim procijenjenim rizikom izbjegavati i najmanju dozu podcenjivanja i neozbiljnosti, jer tada i statistički zadovoljavajuća vrijednost može postati obmanjujuća i kobno rizična.

Literatura

- Glavni projekt zaštite građevinske jame PTUS Centar 2. dio, TD 02/06-GRO-ŽL, Tehničko Veleučilište u Zagrebu, Zagreb, studeni 2006.
- Izvedbeni projekt zaštite građevinske jame PTUS Centar 2. dio, TD-I 02/06-GRO-ŽL, Tehničko Veleučilište u Zagrebu, Zagreb, srpanj 2007.
- Dopuna glavnog i izvedbenog projekta zaštite građevinske jame PTUS Centar 2. dio, TD 02/06-DOP, Tehničko Veleučilište u Zagrebu, Zagreb, ožujak 2008.
- Završno izvješće nadzornog inženjera za geotehničke radove, A8/08-TVZ, Zagreb lipanj 2008.
- Tehnička dokumentacija rezultata mjerenja za gr.jamu PTUS Centar 2.dio, Ing-grad doo, Zagreb, lipanj 2008.
- Deep Excavations: A Practice Manual, 2nd Edition, Malcolm Fuller, 2004, *American Society of Civil Engineers* (Thomas Telford Ltd.).
- Terzaghi, K., 1943, *Theoretical Soil Mechanics*, John Wiley and Sons, New York, (prijevod) Naučna knjiga Beograd
- Richwien, W., 2001, *Grundbau und bodenmechanik*, Universitat, Essen,