

Božica MARIĆ
mr.sc.dipl.ing.građ., CONEX d.o.o., Zagreb

Davorin LOVRENČIĆ
dipl.ing.građ., CONEX d.o.o., Zagreb

Vlasta SZAVITS-NOSSAN
doc.dr.sc., Geotehnički fakultet u Varaždinu

Zdravko FILKOVIĆ
dipl.ing.građ., Hrvatske ceste, Zagreb

KOMPARACIJA MOGUĆIH RJEŠENJA TEMELJENJA REZERVOARA

SAŽETAK: U sklopu skladišnog prostora industrijske zone grada Siska, smještenog uz ušće Kupe u Savu, planira se izgradnja novih kapaciteta za teško loživo ulje. Rezervoari su velikog kapaciteta 60000 i 40000 m³. Zahtjev je investitora da se rezervoari koriste bez ograničenja intenziteta punjenja i pražnjenja. Sastav tla, koje pripada aluvijalnom porijeklu, je nepovoljnih geotehničkih karakteristika. U površinskom sloju do dubine od cca 20 m se izmjenjuju glinovito prašinsto šljunkoviti materijali žitkog do lakognječivog konzistentnog stanja odnosno rahle zbijenosti. Ispod ovih slojeva slijedi sloj podinske visokoplastične gline teškognječivog do polučvrstog konzistentnog stanja.

U članku je prikazan sastav tla i neki od mogućih načina temeljenja rezervoara uz uvjet nesmetanog korištenja rezervoara odmah nakon izvedbe i stavljanja u funkciju. Sve analize su pokazale da je nužno duboko temeljenje. Predložene su dvije varijante temeljenja i to metodom poboljšanja tla "jet grouting" i na bušenim pilotima. Iako su sve analize pokazale da je temeljenje "jet groutingom" ekonomičnije, investitor se odlučio za provjerenu metodu pilotiranja. I to je jedan od pokazatelja da nove tehnologije teško prodiru u praksu.

COMPARISON OF POSSIBLE RESERVOIR FOUNDATIONS

SUMMARY: The construction of new reservoirs for heavy fuel oil is planned within the depot area of the Sisak industrial zone situated by the mouth of river Kupa into Sava. The reservoirs have a large capacity of 60000 and 40000 m³. The investor requires that the reservoirs can be filled and emptied with no limitations of rate. The alluvial foundation soil does not have favorable geotechnical characteristics. The surface layer consists of a mixture of clayey and silty gravely material which is very soft to soft, or loose. This layer is approximately 20 m high. Highly plastic stiff to medium stiff clay is beneath.

The soil composition and some of the possible reservoir foundations, taking into consideration the requirement of reservoir use immediately after its construction, are presented in the paper. All the analyses have shown that deep foundations are necessary. Two solutions were offered: soil improvement by jet grouting, and bored piles. Even though it was shown that the solution including jet grouting was more economical, the investor decided to use bored piles, as a safe method. This proves again that a new technology does not find easily its way into practice.

OPĆENITO

Sisak kao i njegova okolica smješteni su na aluvijalnim naslagama rijeke Save. Litološki se ove naslage sastoje od pijeska, šljunka, praha i gline. Debljina aluvijalnih naslaga varira između 30 i 80 m. Ispod se nalaze sedimenti gornjeg i srednjeg pliocena u debljini od 400-500 m.

Kako je već ranije rečeno, rezervoarski prostor je smješten neposredno uz rijeku Savu. Čitavo područje je branjeno od plavnih voda nasipom sa krunom na koti 101 mNm. Najviša zabilježena razina vode je 100,51 mNm a najniža kota vode rijeke Save je 89,3 mNm. Blizina voda Save neposredno utječe na nivoe podzemnih voda lokacije na kojoj se izgrađuju rezervoari.

Čelični rezervoari su velikog promjera ($d=54$ m, korisne visine $h=17,5$ m odnosno $V=40000$ m³ i $d=60$ m, korisne visine 21 m odnosno $V=60000$ m³) i kao takvi imaju veliki utjecaj na promjenu stanja napona u tlu na velikim dubinama. Da bi ustanovili odnosno potvrdili saznanja o fizičkim i mehaničkim karakteristikama na predmetnoj mikrolokaciji, provedena su klasična geomehnička istražna bušenja do dubine od 50 m sa pratećim laboratorijskim ispitivanjima.

U svim analizama i mogućnostima temeljenja bila je važna činjenica da se rezervoari mogu koristiti bez ograničenja na režim punjenja.

GEOTEHNIČKI ISTRAŽNI RADovi

Geomehnički istražni radovi na lokaciji industrijske zone izvođeni su u više navrata u periodu od 1966.godine pa do 1996. Radovi koji su izvođeni 1996. godine izvođeni su radi proširenja rezervoarskog prostora u sklopu kojeg se nalaze i predmetni rezervoari. Budući da su dostupni i raniji podaci, oni su se koristili za analize i za projekt temeljenja.

Na temelju rezultata provedenih terenskih istražnih radova i laboratorijskih ispitivanja, može se za lokaciju izgradnje predmetnog rezervoara interpretirati slijedeći sastav tla:

Sloj 1. Površinski sloj debljine 2,8-3,7 m heterogenog je sastava. Čini ga uglavnom humus ispod kojeg se rasprostire glina srednje plastičnosti teškognječive konzistencije, odnosno nasip šljunka, pijeska, gline i šljake. Nasip je vrlo rastresite zbijenosti.

Sloj 2. Ispod opisanog sloja gline i nasipa slijedi sloj pijeska, šljunka i gline. Karakteristika nekoherentnih materijala je da im zbijenost odgovara vrlo rastresitoj ($N=2-7$), a koherentnih da su uglavnom lakognječive konzistencije. Na čitavom području pri dnu ovog sloja registriran je "paket" slojeva organske gline i treseta, debljine od 0,8 do 5 m sa sadržajem organskih tvari do 26,7 %. Sloj se proteže do dubine 21,5 m od površine terena.

Sloj 3. Ispod pjeskovitoglinovitog sloja, sve do dubine bušenja od 50 m, a i dublje prema ranijim istražnim radovima, proteže se glina niske do visoke plastičnosti, teškognječivog do polučvrstog konzistentnog stanja. Laboratorijske karakteristike materijala vidljive su iz profila bušotine na slici br.1.

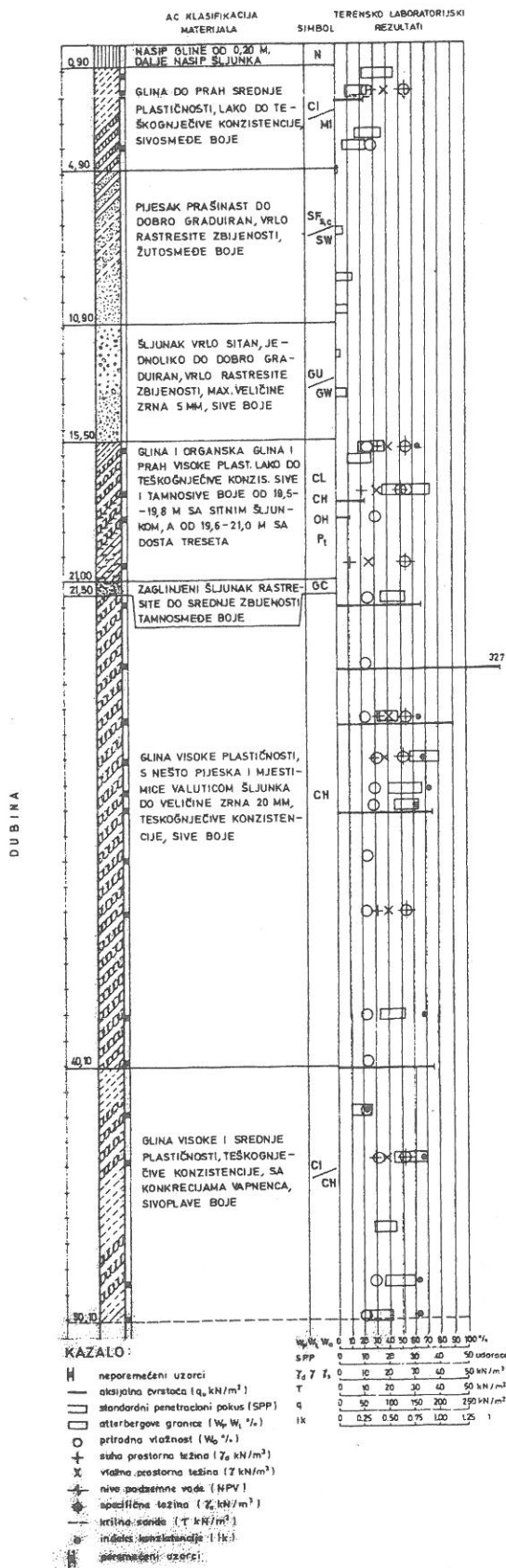
Statističkom obradom podataka laboratorijskih ispitivanja podinske gline dobiveni su slijedeći podacci:

Tablica1. Laboratorijski podaci

Aksijalna čvrstoća	$q_u = 212$ kN/m ²
Direktno smivanje	$c = 25$ kN/m ² $\phi = 23,5^\circ$
Trijaksijalno smicanje	
CU:	$c = 25,8$ kN/m ² $\phi = 17,9^\circ$
UU:	$c = 97,0$ kN/m ² $\phi = 3,8^\circ$

TEMELJENJE REZERVOARA

Rezervoari su veoma osjetljive građevine i bilo je nužno posvetiti naročitu pažnju načinu temeljenja. U tlima relativno loših geotehničkih karakteristika neodgovarajuće temeljenje dovodi do oštećenja rezervoara. U razmatranju mogućih varijanti predmetnih rezervoara analizirana je varijanta plitkog i dubokog temeljenja. U svim pristupima moralo se voditi računa da se rezervoari moraju brzo izgraditi i pustiti u funkciju bez ograničenja u režimu korištenja.



Slika 1. Sondažni profil centralne bušotine

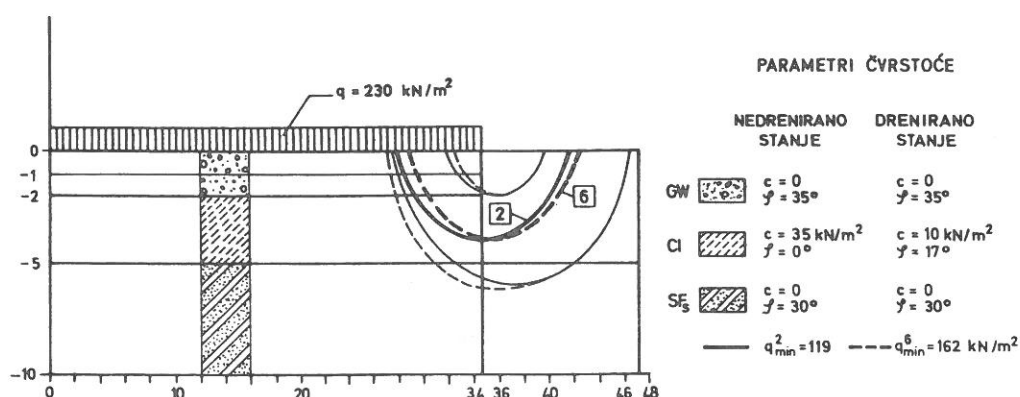
Plitko temeljenje

Od varijanti plitkog temeljenja, nisu korištene mogućnosti koje uključuju vremenski period za sanaciju i konsolidaciju tla (predopterećenje, drenovi, zamjene tla i sl.).

Za klasične temelje rezervoara, izveden temeljni prsten i kontrolirano ugrađeni materijal unutar prstena u visini 2x1,0 m, provedene su analize nosivosti za drenirane i nedrenirane uvjete. Opterećenje medija se prenosi u tlo preko kontakta elastične čelične kružne membrane. Potencijalne klizne plohe imaju oblik torusa.

Za sastav tla na lokacijama analizirana je nosivost tla uz $F_s=2$ i pokazano je da se ne može osigurati nosivost niti za denirano niti za nedrenirano stanje.

Proračunski model prikazan je na slici 2.



Slika 2. Proračunski model

Provedenom analizom nosivosti za nedrenirano stanje, dakle za slučaj "trenutačnog" nanošenja cjelokupnog opterećenja, nosivosti se kreću u granicama:

$$119 < q < 322 \text{ kN/m}^2$$

Iz analiza je proizilazi da 15 od 23 analizirana torusa, koji dopiru do dubine 6 m od površine terena i izlaze na površinu terena 12,0 m od oboda opterećene plohe, imaju manju nosivost od potrebne $q=230 \text{ kN/m}^2$.

Da ne bi došlo do loma tla u okolini temeljnog prstena, trebalo bi rezervoar puniti u inkrementima zavisno od vremenskog toka konsolidacije, što se kosi sa osnovnim zahtjevima investitora. Alternativno je moguće i izvođenje nasipa oko rezervoara u obliku prstena širine 12 m i visine 5 m, za što nema mjesta na lokaciji.

Provedenom analizom nosivosti za drenirano stanje, proizilazi da se nosivosti za faktor sigurnosti $F_s = 2$ kreću u granicama:

$$162 < q < 395 \text{ kN/m}^2$$

U ovom slučaju 10 od 23 analizirana torusa, koji dopiru do dubine 5 m od površine terena i izlaze na površinu terena 10,0 m od oboda opterećene plohe, ima manju nosivost od potrebne $q=230 \text{ kN/m}^2$.

Dakle, niti za drenirano stanje nije moguće osigurati nosivost.

Za plitko temeljenje provedene su i analize slijeganja, kako za centralnu tako i za rubne točke. Slijeganje je analizirano kompjuterskim programom "Janbu". Za centralnu je točku dodatno provedena analiza slijeganja drugog sloja (sloj 2.), u kojem se ostvaruje oko 73% ukupnog slijeganja. Gornji dio drugog sloja, visine oko 11 m, sastoji se od nekoherentnog tla, za koje je slijeganje određeno pomoću

empirijskog izraza (Burland i Burbidge, 1985) zasnovanog na mjerenom broju udaraca SPP u tom sloju. Slijeganje donjeg dijela drugog sloja, visine oko 5 m, koji se sastoji od koherentnog tla, određeno je na osnovu raspoloživih karakteristika tla.

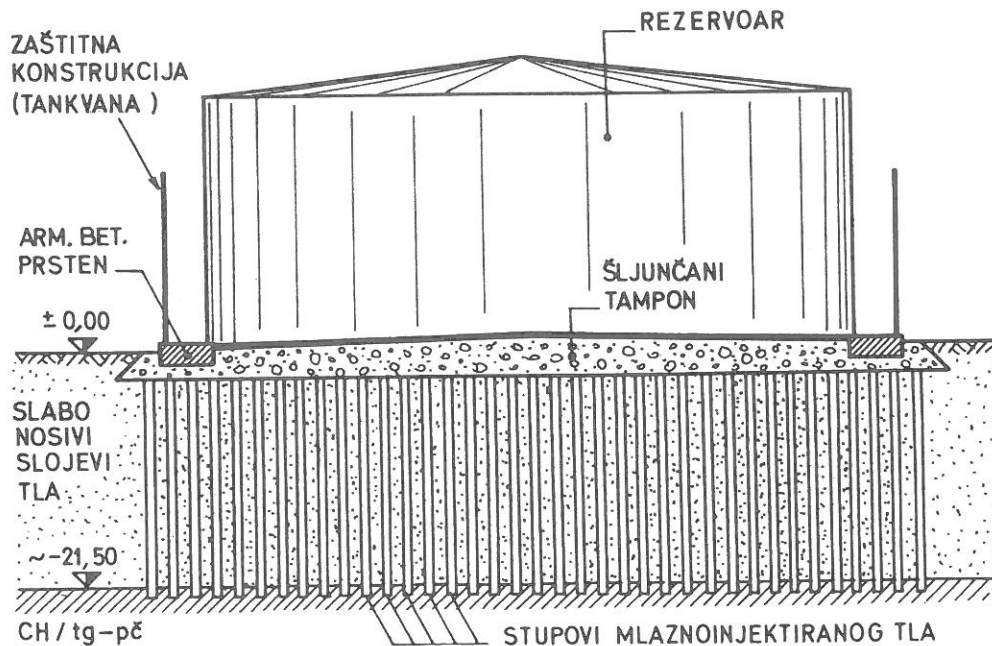
I rezultati analize slijeganja pokazuju da su slijeganja neprihvatljiva te je plitko temeljenje odbačeno kao moguće rješenje.

Duboko temeljenje

S obzirom na karakter opterećenja i tla na lokacijama rezervoara, kao moguće varijante temeljenja nameću se temeljenje na stupovima mlazno injektiranog tla, na koje se polaže klasična konstrukcija temelja rezervoara (prsten i ispuna), odnosno temeljenje na bušenim pilotima s armiranobetonskom naglavnom pločom. U obje varijante dubokog temeljenja opterećenje se prenosi u treći sloj gline teškognječivog do polučvrstog konzistentnog stanja.

Varijanta temeljenja na tlu ojačanom mlaznim injektiranjem

Izvedbom niza stupova mlazno injektiranog tla formirao bi se blok ojačane zone ispod rezervoara. Prema dostupnim podacima i sastavu tla, izračunato je da bi formirano tijelo imalo minimalni promjer od 60 cm. Poprečni presjek za ovo rješenje vidljiv je na slici 3.



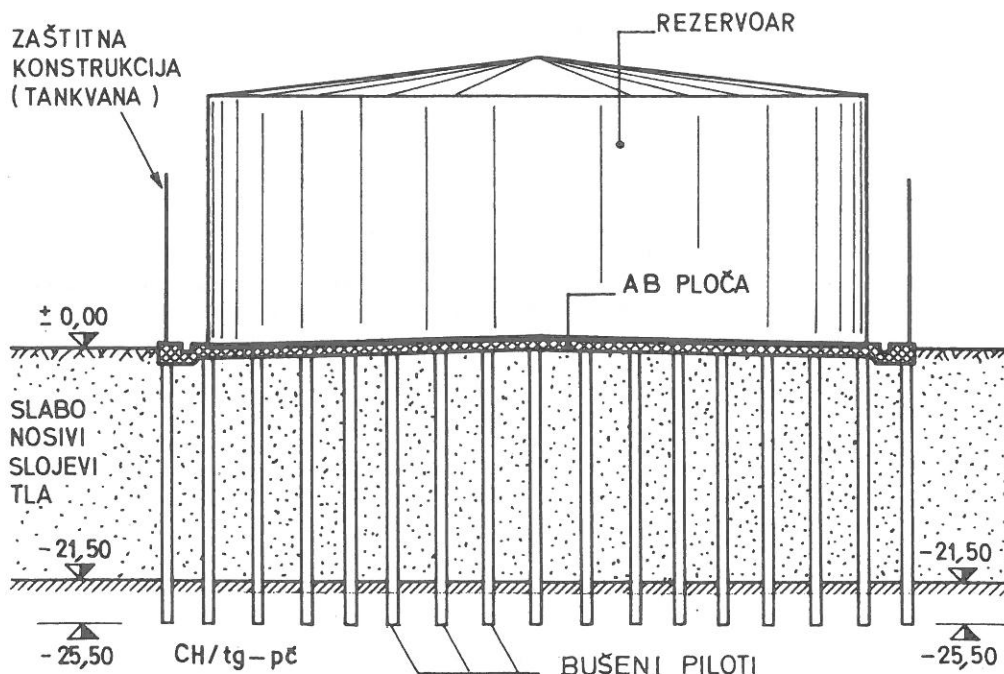
Slika 3. Poprečni presjek temeljenja na tlu ojačanog mlaznim injektiranjem

Za rezervoar visine 21,3 m i promjera 60 m te pripadajuće čelične tankvane vanjskog promjera 67 m potrebno je izvesti 1600 kom stupova mlazno injektiranog tla, koji bi ulazili u podinsku glinu. Na taj način formirao bi se duboki blok koji svoje opterećenje prenosi u sloj dobrih geotehničkih karakteristika.

Provedena analiza slijeganja pokazuje da će slijeganje bloka iznositi 4 cm.

Varijanta temeljenja na ploči i bušenim pilotima

Ova klasična varijanta temeljenja sa bušenim pilotima sa naglavnom pločom vidljiva je na slici 4. Bušeni piloti profila 100 cm koncentrirano preuzimaju i prenose opterećenje u nosivi sloj gline na dubini većoj od 21 m.



Slika 4. Temeljenje na ploči i bušenim pilotima

Za rezervoar koji je vanjskog promjera 67 m potrebno je izvesti 321 pilot i naglavnu ploču debljine 80 cm.

Proračunsko slijeganje ovako temeljenje konstrukcije iznosi 3 cm.

ZAKLJUČAK

Rezervoari, sa velikom opterećenom površinom koji se izgrađuju na tlu slabih geotehničkih karakteristika, zahtijevaju seriozan pristup pri razradi projekta temeljenja.

U razradi problematike temeljenja rezervoara u Sisku, koje treba relativno brzo izgraditi i staviti u funkciju, pokazalo se da je potrebno prići dubokom temeljenju.

Predložene varijante temeljenja sa stupovima izvedenim mlaznim injektiranjem i "klasičnim" temeljnim prstenom te bušenim pilotima i naglavnom pločom, tehnički su ekvivalentna rješenja.

Ekonomske analize rješenja dubokog temeljenja pokazale su da prednost ima varijanta sa mlaznim injektiranjem, kako po pitanju ukupne cijene, tako i vremena izvođenja.

S obzirom na važnost same građevine, investitori su se ipak odlučili za varijantu temeljenja na bušenim pilotima, koja je i u praksi provjerena.

Svi koraci u razradi ove dokumentacije, ukazivali su na to da se investitori teško odlučuju na relativno "nove" tehnologije.

Pristup u primjeni novih tehnologija očito treba biti taj da se prvo ide na manje zahtjevne objekte i tamo provjeri nova tehnologija, čime bi u kasnijoj fazi dobili pravo jednakosti i na značajnim izgradnjama.

LITERATURA

- (1) Filković, Z.; Škacan, B.; Marić, B. (1986), Ekonomski izbor temeljenja rezervoara na slabo nosivim tlima, Saopštenja XVI savetovanja jugoslovenskog društva za mehaniku tla, Arandelovac, knjiga II, p.p.311-328.
- (2) Burland, J.B., Burbidge, M.C. (1985), Settlement of foundations on sand and gravel, Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Part 1, Vol.78, 1325-1381.
- (3) Janbu Lectures, Moscow University, 1967.
- (4) Feda, J. (1978), Stresses in Subsoil and Methods of Final Settlement Calculation, Elsevier scientific publishing company.
- (5) Milović, D. (1974), Analiza napona i deformacija u mehanici tla
- (6) Terzaghi, K., Peck, R.B. (1967), Soil Mechanics in Engineering Practice, John Wiley, New York.