

PRIMJERI UPORABE ŠLJUNČANIH PILOTA ZA UBRZANJE KONSOLIDACIJE I OJAČANJE TLA

REVIEWS OF STONE COLUMNS APPLICATION FOR CONSOLIDATION ACCELERATION AND SOIL IMPROVEMENT

Vitković Valentino ^{1*}, Ivandić Krešo ¹

² Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Zavod za geotehniku, Hallerova aleja 7, 42000 Varaždin, Hrvatska

*Elektronska adresa osobe za kontakt / e-mail of corresponding author: valentino.vitkovic@gmail.com

Sažetak: Primjena šljunčanih pilota je u zadnjih dvadesetak godina u RH doživjela snažnu ekspanziju. Ona se ponajviše veže za snažni uzlet infrastrukturnih radova početkom ovog stoljeća. Pokazuje se da je primjena tehnologije sanacije temeljnog tla uporabom šljunčanih stupnjaka nezaobilazan segment pri rješavanju različitih zadataka u problemima u području geotehničkog inženjerstva. Moguća je uporaba u različitim vrstama tla i uslojenosti. Ponajviše riječ je o slabo propusnim sitnozrnim materijalima velike stišljivosti, iako je moguća promjena i u krupnozrnim tlima. U radu se prikazuju određena uspješno primijenjena rješenja konkretnih inženjerskih zadataka. Daju se preporuke za daljnje inženjerske aktivnosti u cilju daljnjeg unapređenja opisanih postupaka i tehnologije.
Ključne riječi: šljunčani piloti, slijeganje, konsolidacija, poboljšanje tla.

Abstract: Application of stone columns technology in the last twenty years in Croatia has experienced strong expansion. It is mainly linked to the momentum of infrastructure works at the beginning of this century. Indeed the application of remediation of the ground using stone columns is unavoidable segment in solving various tasks in the problems in the field of geotechnical engineering. It is possible to use in different types of soil and layering. Above all this is the low permeability of fine-grained materials, high compressibility, although it is possible to use and in coarse soils. The paper presents certain successfully applied solutions to real engineering tasks. Recommendations are made for further engineering activities in order to further improve the described procedures and technology.

Keywords: stone columns, settlement, consolidation, soil improvement.

Received: 16.11.2016 / Accepted: 03.12.2016

Published online: 14.12.2016

Stručni rad / Technical paper

1. UVOD

Konsolidacija tla, odnosno vremenski tok njegova slijeganja, funkcija je više čimbenika. Slijeganje tla se, osim dominantno u vertikalnom, odvija i u preostala dva, horizontalna smjera. Prirodno tlo je generalno heterogeno i anizotropno u svim smjerovima, s međusobno različitim vrijednostima parametara deformabilnosti. U cilju iznalaženja rješenja zadatke procjene vrijednosti slijeganja, uvode se određene pretpostavke i pojednostavljenja realnog ponašanja kontinuuma tla. Analitičko rješenje vremenskog toka slijeganja tla u jednom smjeru dao je *Karl Terzaghi*. Slijeganje sitnozrnih vrsta tla se odvija u dužem vremenskom razdoblju. Pri rješavanju različitih vrsta inženjerskih problema nužno je poznavati vrijednosti slijeganja, neovisno o tome u kojem trenutku se ona ostvaruju. Upravo će vrijednosti slijeganja diktirati relevantnost određenog tehničkog rješenja. U određenim inženjerskim zadacima ostvarenje predviđenih slijeganja tla traje neprihvatljivo dugo vremensko razdoblje. U takvim slučajevima potrebno je ubrzati spomenuti proces vremenskog slijeganja, odnosno konsolidacije tla. Ono se provodi ugradnjom drenažnog sustava u tlu i pred opterećenjem predmetne površine. Dreniranjem se skraćuje put vodi u tlu, što dovodi do skraćenja vremenskog procesa slijeganja tla.

Osnovne proračunske elemente analize postupaka analitičkog proračuna šljunčanih pilota dao je *Priebe, H. J.* Generalno, u ovisnosti o odgovarajućim svojstvima tla, te tlocrtnom rasporedu, dubini i promjeru šljunčanog stupnjaka, određuje se tzv. *Faktor poboljšanja temeljnog tla*. Pri početnim segmentima određivanja projektnih rješenja vrijednost spomenutog faktora kreće se u granicama 2 – 4.

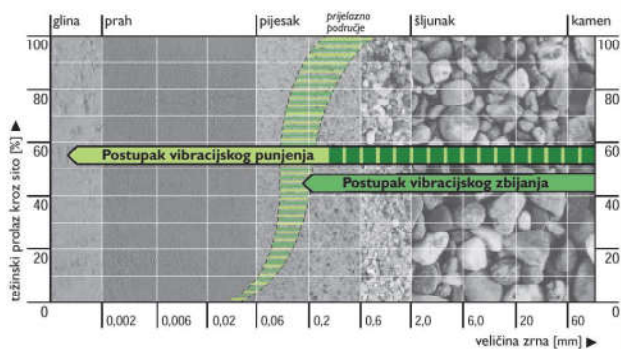
Izvedba, a posljedično i postupci projektiranja, prikazanih primjera uspješnih primjena tehnologije ugradnje šljunčanih pilota – stupnjaka u tlo odvijali su se prije nastupanja nove, trenutno važeće tehničke regulative (*EN 14731:2005, Execution of special geotechnical works – Ground treatment by deep vibration; HRN EN 1997-1:2012/NA; HRN EN 1997-1:2012; HRN EN 1997-2:2012*). Provedena je formalna provjera proračunskih obrazaca i postupaka projektiranja prema novim propisima. Rezultati spomenutih provedenih kontrolnih proračuna potvrđuju da je ispunjen zahtjev o propisanoj, odnosno, usvojenoj margini sigurnosti prema važećoj tehničkoj regulativi.

2. TEHNOLOGIJA IZVOĐENJA ŠLJUNČANIH PILOTA

Šljunčani piloti je metoda poboljšanja tla kojom se osigurava ubrzanje slijeganja i povećanje parametara deformabilnosti tla ponajviše slabo propusnih, sitnozrnih vrsta tla. Smanjuje se put dreniranja kroz ove slojeve i ubrzo konsolidacija tla. Redovito, u praksi se izvodi nasip za ostvarenje pred opterećenja. Na taj način se provodi ubrzanje konsolidacije za vrijednosti dodatnih naprežanja iznad onih, koja će se ostvariti izgradnjom planiranog zahvata.

Tehnologija izvedbe, odnosno ugradnje šljunčanih pilota, u najvećoj mjeri ovisi o granulometrijskom sastavu tla koje se želi poboljšati (Slika 1). Generalno šljunčani piloti, u ovisnosti o vrsti tla, imaju dvostruke učinke poboljšanja. Kod slabo propusnih i jače stišljivih vrsta tla, kao što su glinoviti i prašinski materijali, te njihove mješavine, poboljšanje se primarno ostvaruje u smislu ubrzanja slijeganja, odnosno povećanja propusnosti, sa sekundarnim učinkom povećanja vrijednosti parametara deformabilnosti. Kod propusnijih vrsta tla, kao što su pijesci, šljunci, primarno poboljšanje je ojačanje temeljnog tla.

Granice primjene PDVZ

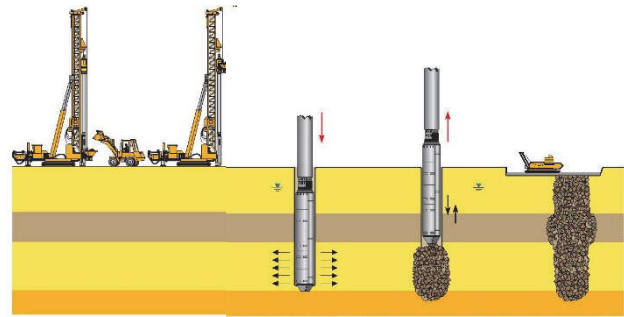


Slika 1. Granice primjene šljunčanih pilota

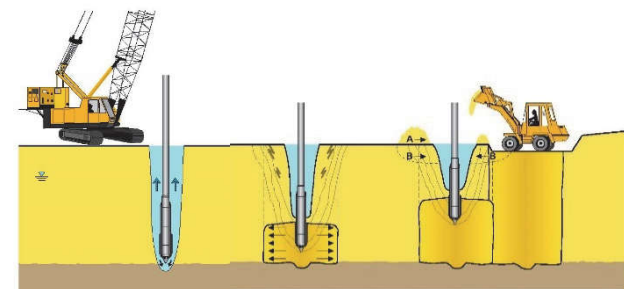
Tehnologija izvedbe šljunčanih pilota provodi se dubinskim vibracijskim punjenjem i/ili zbijanjem osnovnog kontinuuma tla.

Izvedba se provodi spuštanjem vibratora do projektom predviđene dubine. Postupak zbijanja se provodi odozdo prema površini terena (Slike 2 i 3). Dubinski vibrator je u obliku cilindra, promjera 30 do 50 cm, dužine 3 do 4 m, ovisno o tipu, te mase cca 2 tone. U donjem dijelu vibratora, odmah iznad šiljka, nalazi se ekscentrična masa s okretnim pogonom od elektromotora (snage do 150 kW). Na taj način proizvodi se rotacijski udar velike energije. Dubinski vibrator produžuje se pomoću natačnih cijevi do proizvoljne duljine, a vođenje osigurava posebni uređaj. U sitnozrnim tlima izvodi se zbijanje sa dodavanjem šljunka. Na taj se način dobivaju šljunčani stupnjaci, koji se mogu, u ovisnosti o projektnim zadacima, ojačati cementnom ili bentonitnom smjesom (Slika 2).

Vibracijsko zbijanje u krupnozrnim tlima izvodi se zbijanjem postojećeg tla na način da se izvedu stupnjaci veće gustoće, s boljim zahtijevanim karakteristikama (Slika 3). Za slučaj kada se izvode šljunčani piloti ojačani cementom otpada funkcija pilota kao drena.



Slika 2. Postupak vibracijskog zbijanja u sitnozrnim tlima



Slika 3. Postupak vibracijskog zbijanja u krupnozrnim tlima

3. UPORABA ŠLJUNČANIH PILOTA NA PROJEKTU TRAFOSTANICA SISAK

Na predmetnoj lokaciji u Sisku planira se izgradnja transformatorske stanice. Teren je blago zakošen s rasponom kota cca 98 – 103 m.n.m. i s padom u smjeru jugoistok – sjeverozapad. Tlocrtna površina zahvata lokacije je cca 3400 m².

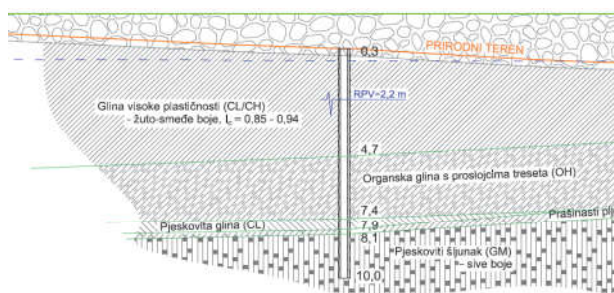
U sklopu buduće trafostanice planirano je izvođenje različitih vrsta objekata u smislu geometrijskih karakteristika i vrijednosti proračunskih opterećenja. S obzirom na projektne zahtjeve kote nula objekta, potrebno je izvesti i nasip promjenjive debljine.

Na slici 4 može se vidjeti geotehnički profil slojeva tla, izrađen na temelju geotehničkih istražnih radova koji je ujedno i jedan od proračunskih profila za analizu vremenskog toka slijeganja. Uočavaju se dva sloja slabo propusnih materijala (glina niske i visoke plastičnosti i organski materijal visoke plastičnosti). Usvojene vrijednosti proračunskih parametara ovih slojeva prikazane su u tablici 1:

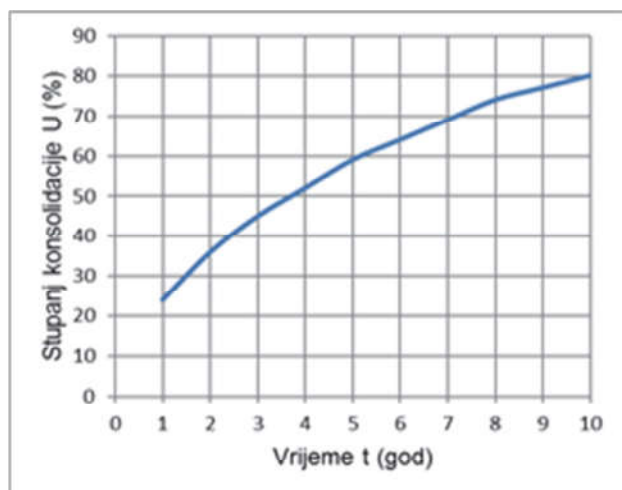
Tablica 1. Proračunski parametri slabo propusnih slojeva

Sloj	Koeficijent vodopropusnosti k [m/s]	Modul stišljivosti M_v [kN/m ²]	Debljina sloja d [m]
CL/CH (sloj 1)	$k_1 = 3.68 \times 10^{-11}$	$M_{v1} = 5000$	4.7
OH (sloj 2)	$k_2 = 3.5 \times 10^{-10}$	$M_{v2} = 1200$	3.3

U geotehničkom elaboratu (*Geotehnički elaborat, Temeljenje transformatorske stanice u Sisku, Geokod d.o.o., Zagreb*) provedena je proračunska analiza vremenskog toka slijeganja ispod nasipa debljine 3 m. Rezultati pokazuju da je za 80% konsolidaciju slabije propusnih slojeva gline i organske gline potrebno 10 godina. (Slika 5). To je neprihvatljivo dugo vremensko razdoblje, zbog čega je bilo potrebno iznaći rješenje za ubrzanje slijeganja i/ili ojačanja temeljnog tla.



Slika 4. Geotehnički profil tla na lokaciji /proračunski profil slijeganja

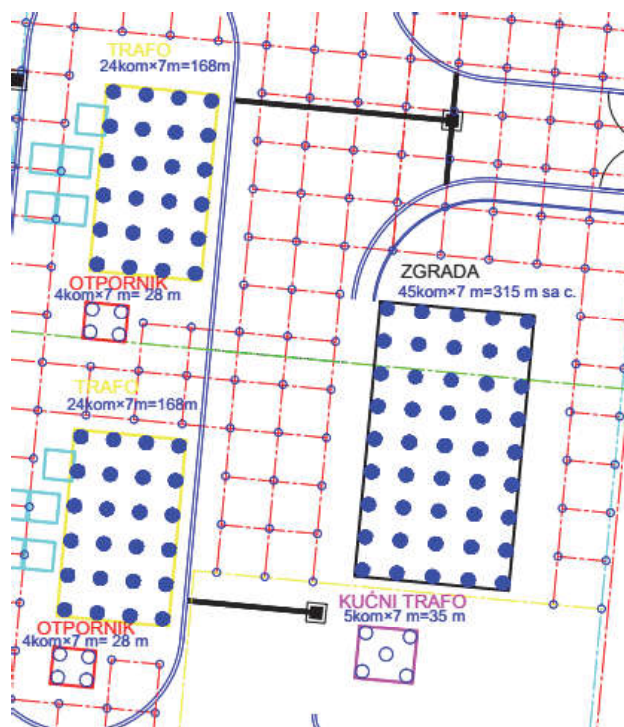


Slika 5. Rezultati proračuna vremenskog toka slijeganja

Rješenje ubrzanja konsolidacijskih procesa u slabo propusnim slojevima tla riješeno je projektom izvedbe šljunčanih pilota s dvostrukim ciljem: Na dijelu predmetnog tlocrta, gdje nisu planirani novi objekti na nasipu, uloga šljunčanih pilota je dominantno za ubrzanje konsolidacije, dok je sporedni efekt ojačanje temeljnog tla. Ispod objekata, gdje su definirana vanjska proračunska nepovoljna djelovanja relativno velika, situacija je obrnuta. Šljunčani piloti prvenstveno imaju ulogu ojačanja temeljnog tla, uz sekundarno djelovanje ubrzanja vremenskog toka slijeganja.

Ispod nasipa su predviđeni šljunčani piloti promjera $d = 40$ cm (duljine $l = 7, 10$ i 13 m) na kvadratnom rasteru $s = 2.5$ m. Ispod objekata je računski promjer $d = 70$ cm ($l = 7, 10$ i 13 m) s različitim tlocrtnim rasporedom, a sve u funkciji proračunskih vrijednosti vanjskih nepovoljnih djelovanja. Ispod objekata zgrade i same trafo-stanice predviđa se izvedba šljunčanih pilota ojačanih cementom.

Proračunsko trajanje 90 %-tne primarne konsolidacije je tri mjeseca. Nakon ovog perioda, proračunsko slijeganje nasipa i objekata na nasipu u tijeku eksploatacije se očekuje u vrijednosti do 2 cm. Odabir projektnog rješenja prvenstveno je ovisio o trajanju i vrijednostima slijeganja, a ne o kriteriju nosivosti temeljnog tla. Zahtijevana, odnosno propisana margina sigurnosti s obzirom na pojavu graničnog stanja pojave sloma tla je proračunski dokazana.



Slika 6. Fragment situacijskog prikaza projekta poboljšanja TS Sisak

4. PRIMJENA ŠLJUNČANIH PILOTA NA SANACIJI TLA U RUGVICI

U mjestu Rugvica, projektiran je, i u međuvremenu izveden servisno poslovni objekt (*GEO-LAB d.o.o., Zagreb, Geotehnički elaborat*)

Građevina se sastoji od poslovnog dijela, montažne hale i monolitne hale s galerijom. Temeljenje poslovnog dijela predviđeno je na temeljnim trakama širine 60 i 70 cm, a hale na temeljnim stopama tlocrtnih dimenzija 3×3 m.

Prema geotehničkom izvještaju tlo je građeno od nisko plastične pjeskovite gline lako do srednje gnječivog konzistentnog stanja. Razina podzemne vode registrirana je na dubini između 1,0 i 1,5 m od površine terena. Vrijednosti vanjskih nepovoljnih djelovanja su takve da su proračunska slijeganja neprihvatljivo velika. Osim toga, s obzirom na vrijednosti koeficijenata vodopropusnosti, slijeganja bi trajala neprihvatljivo dugi vremenski period. Provedena je sanacija tla u smislu njegova ojačanja, ne nužno i ubrzanja slijeganja. Vrijednosti parametara deformabilnosti saniranog tla dovoljno su velike da je slijeganje svedeno na prihvatljivu mjeru.

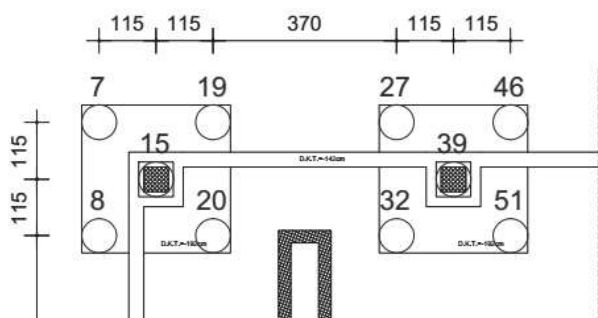
Za potrebe projektiranja i izrade geostatičkih proračuna usvojen je model tla preuzet iz geotehničkog izvještaja (*Geotehnički elaborat, Proizvodni objekt – IT4, Geokod d.o.o., Zagreb*), prikazan u tablici 2.

Tablica 2. Proračunski parametri tla u Rugvici

Dubina (m)	Oznaka tla	Opis tla	M_v (MPa)	\square (kN/m)
0,0 – 3,5	CI/CL	Pjeskovita glina, srednje gnječive konzistencije	3,0	19
3,5 – 8,0	CI/CL	Pjeskovita glina, niske do srednje gnječive konzistencije	2,5	19

Računsko slijeganje objekta bez provedbe dodatnih mjera na temeljenju iznosi između 6 i 9 cm. Kao mjera ojačanja tla i ubrzanja slijeganja izvedeni su šljunčani stupovi prema slijedećem redosljedu:

1. Skidanje humusa i izravnavanje terena
2. Izvedba radnog planuma od drobljenog kamena ili šljunka debljine 50 cm za nesmetano kretanje stroja na gusjenicama;
3. Iskolčenje građevinskih osi;
4. Iskolčenje šljunčanih stupova (točke poboljšanja);
5. Izvedba dubinskog zbijanja do projektirane dubine;
6. Iskop za temelje sa produbljenjem 30 cm ispod donje kote temelja. U produbljenje se ugrađuje sloj kamenog materijala i uvalja na modul zbijenosti 20 MPa;
7. Betoniranje temelja.



Slika 7. Dio tlocrta poboljšanja ispod temeljnih stopa

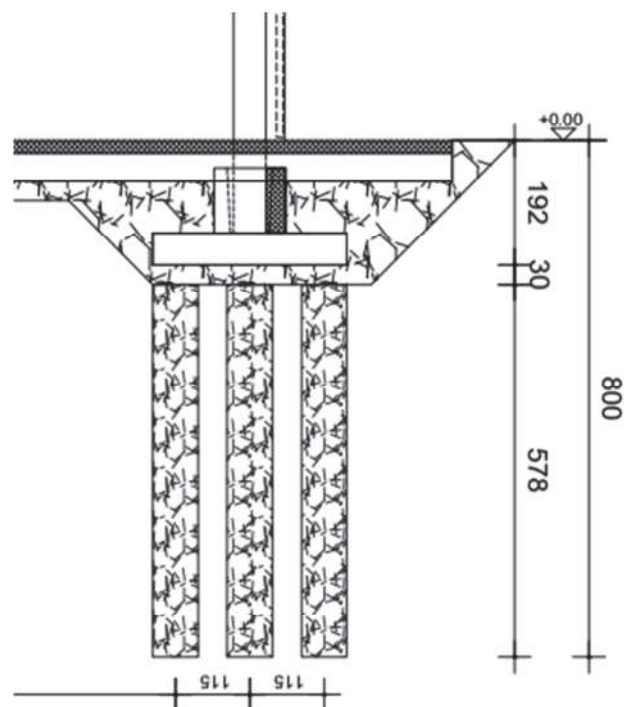
Temeljne Stope su tlocrtnih dimenzija 3×3 m temeljene na dubini 1.5 m (Slika 7). Kontaktno naprezanje na temeljno tlo iznosi 130 kN/m². Po stupnom mjestu izvedeno je 5 šljunčanih stupova do dubine 8 m. Utjecajna dubina iznosi oko 7 m. Računski promjer šljunčanih stupova je 80 cm, 5 stupnjaka po stopi, prosječna dubina

poboljšanja 8 m, kut unutarnjeg trenja drobljenog kamena je 40°.

Proračunsko slijeganje temeljne stope prije poboljšanja je procijenjeno 8.52 cm. Slijeganje stope nakon poboljšanja, uz faktor poboljšanja prema Pribe-u od 2.0, iznosi 2.69 cm.

Temeljne trake su širine 60 i 70 cm na dubini 1.0 m. Kontaktno naprezanje na temeljno tlo iznosi 160 kN/m². Osni razmak između šljunčanih stupova iznosi između 1.9 i 2.0 m, a dubina poboljšanja je 8 m. Utjecajna dubina iznosi oko 6 m. Računski promjer šljunčanih stupova je 80 cm, osni razmak 2 m, prosječna dubina poboljšanja 8 m, kut unutarnjeg trenja drobljenog kamena je 40°.

Slijeganje temeljne trake prije poboljšanja iznosi oko 6 cm, a nakon poboljšanja šljunčanim stupovima oko 2 cm.



Slika 8. Dio presjeka poboljšanja ispod temeljnih stopa

5. SANACIJA TLA ŠLJUNČANIM STUPNJACIMA U PLOČAMA

Za potrebe izrade geotehničkog elaborata i glavnog projekta za ulazni terminal u Luku Ploče, objekt uprave i kontrole prometa i pripadne prometne površine INSTITUT IGH d.d., Zavod za geotehničko projektiranje, je izveo opsežne geotehničke istražne radove.

Terenski radovi provedeni su u kolovozu i rujnu 2009., a laboratorijska ispitivanja su završena u veljači 2010. godine. Svrha ovih radova je bila dobivanje uvida u geotehnička obilježja lokacije i potrebnih podataka za izradu glavnog projekta (*Ulazni terminal Luke Ploče s pristupnom cestom i parkiralištima, Institut IGH d.d., Zavod za geotehniku*).

Objekt se sastoji se od 4 poslovne jedinice – lučke uprave, carine, policije i špedicije koje su povezane središnjim dijelom u kojem se nalaze ulazni dio, info pult

i dizalo koji povezuje sve jedinice u jedan zajednički povezani prostor. Poslovni dio zgrade carine i lučke uprave je tlocrtnih dimenzija 13,3×42,0 m, policije 26,4×13,3 m i zgrade špedicije 34,90×13,30 m.

Objekti su temeljeni na armiranobetonskoj ploči na prethodno poboljšanom tlu. Sve 4 poslovne jedinice su međusobno dilatirane.

Kako bi se objekt visinski povoljno smjestio u odnosu na trasu Spojne ceste potrebno je izvesti nasipavanje cijelog područja za oko 1,7 m što je s geotehničkog stajališta nepovoljno i uzrokovat će znatna slijeganja. Osim toga nasipavaju se i okolne prometne površine tako da će velika površina biti opterećena. Relativna kota objekta ±0,00 m je 3,2 m n.m., a teren se nalazi na koti oko 1,5 m n.m.

Tlo na lokaciji je vrlo loših mehaničkih karakteristika i predstavlja iznimno nepovoljnu sredinu za temeljenje objekta.

Na osnovi rezultata terenskih i laboratorijskih ispitivanja i za potrebe odabrane metode temeljenja, određene su sljedeće dvije geotehničke sredine:

1. GEOTEHNIČKA ZONA 1. [dubina od 0 do 10 m]: prema podacima koji su dobiveni in-situ ispitivanjima (CPTU i istražno bušenje) izrazito je heterogena. Sačinjavaju je pretežno pjeskoviti materijali s proslojcima/slojevima praha i gline niske plastičnosti, (SM, ML/SM i ML/CL), debljina sloja je 10 m, zapreminska težina tla $\gamma=16 \text{ kN/m}^3$, nedrenirana posmična čvrstoća tla $c_u=20 \text{ kPa}$, korigirana vrijednost otpora na vrhu $q_t=0.6 - 1.35 \text{ MPa}$, broj udaraca SPT-a: $N=4-9$

2. GEOTEHNIČKA ZONA 2. [ispod 10 m]: sačinjavaju pretežno prašnasti i glinoviti materijali niske plastičnosti (CL/ML, ML), prisutni proslojci pijeska zapreminske težine $\gamma=17 - 18 \text{ kN/m}^3$, nedrenirana posmična čvrstoća tla $c_u=25 - 70 \text{ kPa}$, korigirana vrijednost otpora na vrhu $q_t=0,5 - 1,8 \text{ MPa}$, broj udaraca SPT-a $N=5-8$.

Tlo je saturirano podzemnom vodom tj. razina podzemne vode je tijekom godine konstantno oko površine terena, od minimalno oko 50 cm ispod površine do plavljenja područja, a na dnevne oscilacije utječu plima i oseka.

Razina podzemne vode u vrijeme ispitivanja je registrirana na koti od -0,1 m do -0,4 m od površine terena.

5.1. Tehničko rješenje poboljšanja tla i ubrzanja konsolidacije

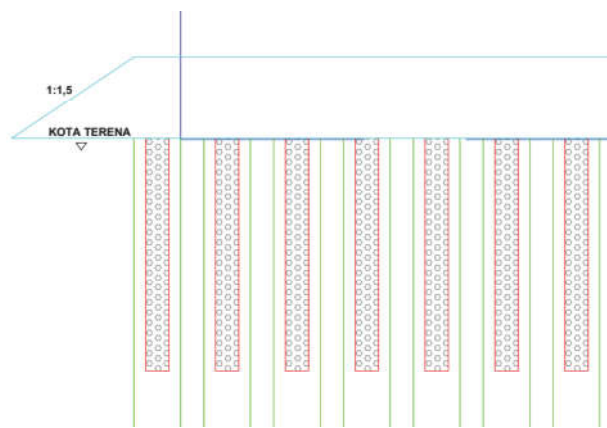
Tlo na lokaciji zgrade lučke uprave je građeno od mekih marinskih sedimenata male nosivosti i velike stišljivosti. Kako bi se osigurala nosivost plićih slabonosivih slojeva tla, ubrzala konsolidacija, slijeganje zgrade svelo na prihvatljivu razinu s aspekta uporabivosti i eliminirala mogućnost likvefakcije projektirano je sljedeće rješenje poboljšanja tla i ubrzanja konsolidacije:

- ugradnja šljunčanih pilota promjera 100 cm
- ugradnja prefabriciranih vertikalnih drenova od polipropilena (tip Cofra MD7007 ili ekv.)
- predopterećenje u trajanju od minimalno 4 mjeseca

Šljunčani piloti se ugrađuju do dubine 10 m ispod površine terena (imaju dvojni ulogu poboljšanja tla i dreniranja), a polipropilenski drenovi do dubine 22 m ispod površine terena (ispod razine gdje je $\Delta\sigma_v = 20\% \sigma_d$). Šljunčani piloti su u kvadratnom rasporedu na razmaku 3 x 3 m i u trokutnom rasporedu 2.5 i 2.8 m (Slika 9).

Nakon ugradnje šljunčanih pilota i drenova u tlo provodi se pred opterećenje nasipom 30 % većeg intenziteta od konačnih vrijednosti opterećenja ispod temeljne ploče. Visina nasipa za pred opterećenje je 3.5 m, dok je vrijeme njegova djelovanja minimalno 4 mjeseca. Odluka o nastavku gradnje se donosi na osnovu obrade dobivenih rezultata mjerenja.

Na osnovi prethodnih iskustava, stečenih tijekom izgradnje i praćenjem slijeganja u Čvoru Čeveljuša (nalazi se u neposrednoj blizini) i objekata u sklopu Luke Ploče očekuju se znatne vrijednosti slijeganja, ponajviše uvjetovanih procesima sekundarne konsolidacije temeljnog tla. Ukupna slijeganja su prognozno na ±30% od proračunom dobivenih vrijednosti.



Slika 9. Dio presjeka poboljšanja temeljnog tla u Pločama

6. ZAKLJUČAK

Primjena šljunčanih pilota pokazuje se, na nizu inženjerskih zadaća širokog raspona, kao optimalno rješenje. Dokazana je pozitivna uporaba na različitim vrstama tla, a s obzirom na tražena hidraulička svojstva, te zahtijevane vrijednosti parametara deformabilnosti i posmične čvrstoće. Istovremeno ova tehnologija u potpunosti zadovoljava stroge ekološke norme i standarde, koji vrijede u tehničkoj regulativi RH.

Prikazani su primjeri uspješnih sanacija temeljnog tla različitih svojstava. Tehnička rješenja su uključila postupke ubrzanja konsolidacije tla i/ili njegove sanacije u smislu povećanja vrijednosti deformacijskih modula i parametara posmične čvrstoće.

Navedena su rješenja primjenom različitih sustava u raznovrsnom temeljnom tlu: šljunčani piloti po cijelom tlocrtu predmetnog objekta, dijelom u kombinaciji s ojačanjem cementom, varijanta s primjenom šljunčanih pilota ispod konstruktivnih elemenata, te rješenje s kombinacijom prefabriciranih vertikalnih drenova.

Optimizacija uporabe opisanih tehnologija uključuje odgovarajući raspon provedbe geotehničkih istražnih

radova u skladu s važećom tehničkom regulativom. Potrebno je, uz detaljnu provedbu istražnih radova, i korektno poznavanje načina i tehnologije rada spomenutih postupaka. Odabir projektiranog rješenja mora biti potvrđen izvedbom odgovarajućeg pokusnog polja, gdje će projektni elementi biti potvrđeni i eventualno opovrgnuti. Na taj način će se strogo primjenom propisanih postupaka doći do optimalno rješenja na konkretnoj inženjerskoj zadaći.

Konačna potvrda uspješnosti primijenjenih rješenja mora uključiti odgovarajuće postupke kontrole kvalitete izvršenih radova, te detaljnu provedbu tehničkih promatranja ponašanja konstrukcije i temeljnog tla u odgovarajućem vremenskom razdoblju. Rezultati dobiveni provedbom tehničkih mjerenja će tada poslužiti za izradu povratnih analiza, te stvaranje konačnih zaključaka o uspješnosti primijenjenog rješenja.

7. LITERATURA

EN 14731:2005, Execution of special geotechnical works – Ground treatment by deep vibration

HRN EN 1997-1:2012/NA, Eurokod 7: Geotehničko projektiranje – 1. dio: Opća pravila – Nacionalni dodatak;

HRN EN 1997-1:2012, Eurokod 7: Geotehničko projektiranje – 1. dio: Opća pravila (EN 1997-1:2004+AC:2009)

HRN EN 1997-2:2012, Eurokod 7: Geotehničko projektiranje – 2. dio: Istraživanje i ispitivanje temeljnog tla (EN 1997-2:2007+AC:2010)

Geotehnički elaborat, Temeljenje transformatorske stanice u Sisku, Geokod d.o.o., Zagreb, TD 07/10, svibanj 2010.

Geotehnički elaborat, Proizvodni objekt – IT4, Geokod d.o.o., Zagreb, TD 11/07, ožujak 2007.

GEO-LAB d.o.o., Zagreb, Geotehnički elaborat br. 107/2008, srpnja 2008.

Priebe, Heinz J. (1943), The design of vibro replacement, Ground Engineering, December 1995, Technical paper GT 07-13 E

Terzaghi, Karl (1943), Theoretical soil mechanics, John Wiley & Sons, Inc., p.265

Ulazni terminal Luke Ploče s pristupnom cestom i parkiralištima, Investitor: Lučka uprava Ploče, Izradio: Institut IGH d.d., Zavod za geotehniku, 3300-468-2010, prosinac 2011., knjiga G01