



[1] 2013 1[1]

AGG+ časopis za arhitekturu, građevinarstvo, geodeziju i srodne naučne oblasti
ACEG+ Journal for Architecture, Civil Engineering, Geodesy and other related scientific fields

172-184

Stručni rad | Professional paper

UDK | UDC 624.041.042.7:699.841

DOI 10.7251/AGGPLUS1301172K

Rad primljen | Paper received 14/11/2013

Rad prihvaćen | Paper accepted 26/11/2013

Danica Kojić

*Institut za ispitivanje materijala i konstrukcija Republike Srpske, Jasenovačkih logoraša 4A, Banja Luka,
kojicdanica@yahoo.com*

Mato Uljarević

*Arhitektonsko-građevinski fakultet Univerziteta u Banjaluci, Vojvode Stepe Stepanovića 77/3,
Banjaluka*

PRORAČUN ŠLJUNČANIH
ŠIPOVA ZA POBOLJŠANJE
SVOJSTAVA TLA, A NA
OSNOVU REZULTATA SPT-
OPITA

CALCULATION OF GRAVEL
PYLONS FOR IMPROVING
CHARACTERISTICS OF SOIL,
FOLLOWING THE RESULTS OF
SPT TEST

Stručni rad

Paper categorisation

Рад примљен | Paper accepted

26/11/2013

UDK I UDC

624.041.042.7:699.841

DOI

10.7251/AGGPLUS1301172K

Danica Kojić*Institut za ispitivanje materijala i konstrukcija Republike Srpske, Jasenovačkih logoraša 4A, Banja Luka, kojicdanica@yahoo.com***Mato Uljarević***Arhitektonsko-građevinski fakultet Univerziteta u Banjaluci, Vojvode Stepe Stepanovića 77/3, Banjaluka***PRORAČUN ŠLJUNČANIH ŠIPOVA ZA POBOLJŠANJE SVOJSTAVA TLA, A NA OSNOVU REZULTATA SPT-OPITA****APSTRAKT**

Izrada šljunčanih šipova je jedna od metoda poboljšanja svojstava odnosno povećanja gustine tla. Njome se lako može izbjeći skupa zamjena materijala, pogotovo kada su u pitanju velike dimenzije objekata. Šljunčani šipovi smanjuju opasnost od likvefakcije, što je za trusna područja kao što je Banja Luka od velikog značaja. Potrebno je izraditi proračunski model kojim će se na osnovu parametara prirodnog i poboljšanog tla (iz SPT-opita) definisati količina materijala (šljunka) za poboljšanje. Ta količina šljunka biće ugrađena tehnikom nabijanja u obliku šipova određenih dimenzija i rastojanja. Upravo to je u radu i prikazano.

Ključne riječi: tlo, šljunčani šip, SPT-opit, svojstva, poboljšanje.

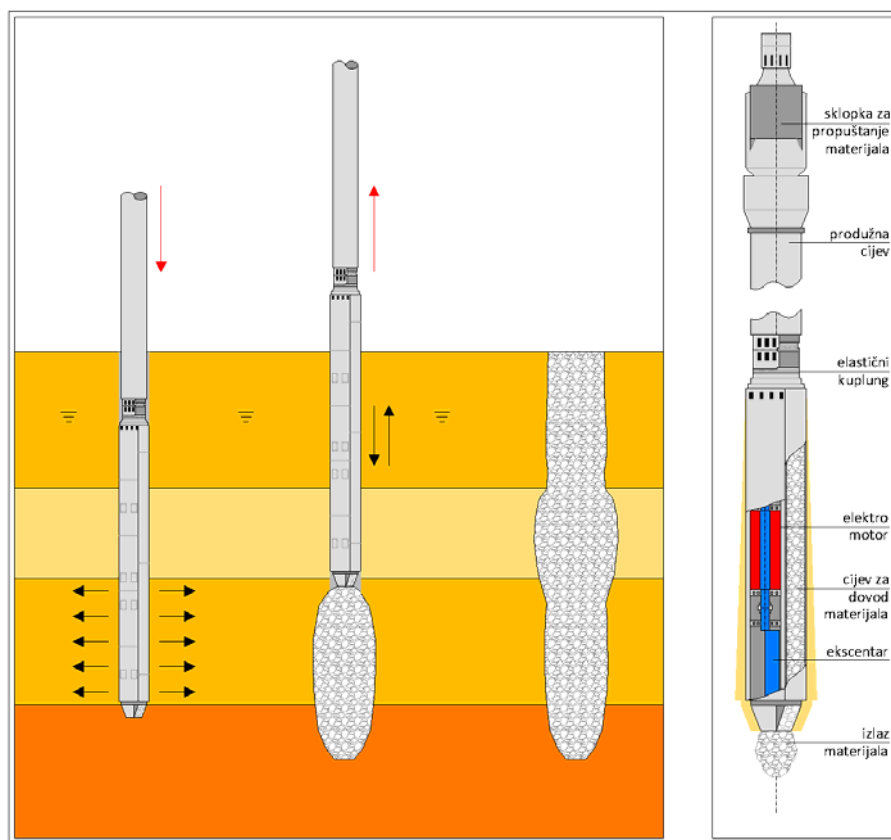
CALCULATION OF GRAVEL PYLONS FOR IMPROVING CHARACTERISTICS OF SOIL, FOLLOWING THE RESULTS OF SPT TEST**ABSTRACT**

Making gravel pylons is one of the methods of improving soil characteristics i.e. increasing soil density. It can easily be used to avoid expensive replacement of materials, especially when it comes to large-volume facilities. Gravel pylons reduce the risk of liquefaction, which is very important for seismic areas such as Banja Luka. It is necessary to create a design model that will be used to define the amount of material (gravel) for improvement, following the parameters of natural and improved soil (from SPT test). That amount of gravel will be incorporated by compaction techniques in the form of pylons of certain dimensions and distances. This is shown in this paper.

Keywords: soil, gravel pylon, SPT test, characteristics, improvement.

1. UVOD

Ugradnja šljunčanih šipova je odavno poznati način poboljšanja podtemelnog tla. Izvodila se nekom od tehnika za izvođenje šipova, s tim da je umjesto betona u tlo ugrađen šljunak. Nove tehnologije znatno su proširile mogućnosti izvođenja šljunčanih šipova kao i njihovu učinkovitost. Danas se izvode uporedo sa dubinskim vibriranjem te se na taj način zbija okolno tlo, ali se zbija i ugrađeni kameni agregat te postižu značajni učinci. Ovako zbijenije tlo ima povećanu čvrstoću na smicanje, čime je povećana nosivost, smanjeno slijeganje, ubrzano dreniranje, a smanjena je i opasnost od likvefakcije. Likvefakcija [1] je pojava koja se javlja u rastresitim, vodom zasićenim pijescima uskog granulometrijskog sastava, u trenutku cikličke promjene stanja naprezanja uzrokovanog zemljotresom. Prilikom zemljotresa, šljunčani šipovi otežavaju nastanak likvefakcije u njoj sklonom tlu. Jedan od razloga je različita krutost šljunčanih šipova i okolnog tla. Na šljunčane šipove, kod kojih su dominantne gravitacione sile, nije moguć tako snažan uticaj ubrzanja od zemljotresa. Šljunčani šipovi djeluju drenirajuće i trenutno mijenjaju sliku pornih pritisaka u korist povećanja efektivnih naprezanja u okolnom tlu. Novija tehnologija izvođenja šljunčanog šipa prikazana je na slici 1, no ipak dosta ekonomičnije je izvođenje šljunčanih šipova pomoću obložne metalne kolone, čeličnog malja i makare, što se na našim prostorima još koristi.



Slika 1. Tehnologija izvođenja šljunčanog šipa

Prečnik šljunčanih šipova [2] je 60–80 cm, uz maksimalne dubine oko 20 m. Nosivost je oko 20–30 tona. Ukoliko su nosivi, šljunčani šipovi se obično raspoređuju tako da broj redova u

podužnom i poprečnom pravcu ne bude manji od tri, pri čemu ose krajnjih redova treba da budu na odstojanju najmanje 1,5 d (prečnika šipa), ili 0,1 H (dužine šipa) od spoljnih ivica temelja. Treba paziti i na međusobno rastojanje šipova, koje iznosi minimalno 3d. Rastojanje između osa šipova može se odrediti, prema Citoviću (1955), pomoću formule:

$$L = 0,952d \sqrt{\frac{\gamma}{\gamma_1 - \gamma}} \quad (1)$$

gdje su:

L – rastojanje između osa šljunčanih šipova u m;

d – prečnik šljunčanog šipa u m;

γ i γ_1 – jedinična težina tla prije i poslije izvođenja šipova, respektivno, u kN/m^3 .

2. PRORAČUN NA ODABRANOM PRIMJERU

U ovom primjeru biće prikazan postupak proračuna potrebne količine šljunčanih šipova za poboljšanje svojstava tla, a na osnovu rezultata standardnog penetracionog opita (SPT-opit). Izvorni SPT-opit [3] se sastoji u brojanju udara maljem od 622.3 N, odnosno 63.5 kg, koji slobodno pada sa visine od 76.2 cm i kojim se postiže prodiranje od 30.48 cm. Obično se broj udara, za koji je međunarodna oznaka N, registruje za napredovanje od tri sukcesivna prodiranja u intervalima od po 15 cm, no kako prvih 15 cm prodiranja izbrojeni udarci budu manji od prosjeka (usljed poremećaja dna bušotine), za konačan N usvaja se zbir brojanja u drugom i trećem intervalu pri ukupnom prodiranju od 30 cm. Konačni rezultat SPT-opita sadrži broj udara za svaki od tri intervala pobijanja od po 15 cm, dubinu sa koje je opit započet, informaciju o nivou podzemne vode u terenu i u bušotini i opis uzorka tla uzetog iz kašike prema jedinstvenoj klasifikaciji. Tercagi i Pek (Terzagi i Peck) [4] dali su zavisnost relativne gustine D_r od broja udaraca N, što je prikazano u tabeli 1.

Tabela 1. Zavisnost relativne gustine od broja udaraca SPT-opita

N – broj udaraca	Relativna gustina D_r
0–4	vrlo rastresito
4–10	rastresito
10–30	srednje zbijeno
30–50	zbijeno
> 50	vrlo zbijeno

Usvojen je objekat dimenzija 50 m x 50 m koji leži na tlu slabih karakteristika do dubine od 10 m, ispod čega se nalazi tlo dobrih karakteristika. Pri prethodnim ispitivanjima došlo se do rezultata SPT-opita od $N=6/30$ cm, što pokazuje da je tlo rastresito te mu je potrebno povećati gustinu i time smanjiti deformaciona svojstva, a to će se učiniti šljunčanim šipovima. Dozvoljeno slijeganje za objekat je 5 cm na dubini od 10 m. Analizom slijeganja tla za usvojeni objekat došlo se do zaključka da je potreban modul stišljivosti tla od $M_V=60,0$ MPa da bi se zadovoljio kriterijum dozvoljenog slijeganja.

Podaci o sloju tla slabih karakteristika su:

tlo je pijesak bez podzemne vode do dubine 10 m

zapreminska težina	$\gamma = 18,5 \text{ kN/m}^3$
dubina poboljšanja	$D = 10 \text{ m}$
površina poboljšanja	$P = 50 \times 50 = 2\,500,0 \text{ m}^2$
zapremina tla	$V = 25\,000,0 \text{ m}^3$
rezultat SPT opita	$N = 6/30 \text{ cm}$
potreban modul stišljivosti	$M_V = 60,0 \text{ MPa}$

Težina tla [3] dobija se preko relacije:

$$W = \gamma \cdot V \quad (2)$$

tako da težina prirodnog, nepoboljšanog tla iznosi:

$$W = 18,5 \cdot 25000 = 462500,0 \text{ kN}$$

Peri (Parry) [4] je dao zavisnost modula elastičnosti E i broja udaraca N:

$$E = 2,8 \cdot N [\text{MPa}] \quad (3)$$

Postojeći modul elastičnosti tla je:

$$E' = 2,8 \cdot N = 2,8 \cdot 6 = 16,80 \text{ MPa}$$

Poissonov koeficijent za pijesak iznosi $\nu = 0,20-0,45$, usvojen je $\nu = 0,30$. Modul stišljivosti M_V [2] zavisi od E i ν i može se sračunati pomoću formule:

$$M'_V = \frac{1-\nu}{(1-2\nu)(1+\nu)} E \quad (4)$$

te se dobije:

$$M'_V = \frac{1-\nu}{(1-2\nu)(1+\nu)} E' = \frac{1-0,3}{(1-2 \times 0,3)(1+0,3)} \times 16,8 = 22,62 \text{ MPa}$$

Iz SPT-opita [3], a za maksimalni vertikalni efektivni napon $p'_0 = \gamma \times D = 18,5 \times 10 = 185 \text{ kPa}$, iz izraza:

$$D_r \approx \left(\frac{N}{0,23 p'_0 + 16} \right)^{0,5} \times 100 (\%) \quad (5)$$

dobije se relativna gustina

$$D'_r \approx \left(\frac{6}{0,23 \times 185 + 16} \right)^{0,5} \times 100\% = 32,01\%$$

dok se iz relacije:

$$\phi' \approx \operatorname{arctg} \left[N / (12,2 + 20,3 p'_0 / p_a) \right]^{0,34} \quad (6)$$

dobije ugao unutrašnjeg trenja, a on iznosi:

$$\phi' \approx \operatorname{arctg} \left[6 / (12,2 + 20,3 \times 185 / 100) \right]^{0,34} = 25,97^\circ$$

Relativna gustina zavisi i od koeficijenta poroznosti e [3] i jednaka je:

$$D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \times 100(\%) \quad (7)$$

e_{\min} i e_{\max} su u intervalu od $0,1 < e_{\min}, e_{\max} < 1,2$ te se usvaja $e_{\min} = 0,5$ i $e_{\max} = 1,0$. Iz datog D_r računa se koeficijent poroznosti e za nepoboljšano tlo:

$$e' = e_{\max} - D'_r \cdot (e_{\max} - e_{\min}) = 1,0 - 0,3201 \cdot (1,0 - 0,5) = 0,84$$

Kako koeficijent poroznosti e [3] predstavlja odnos između zapremine pora V_a i zapremine čvrstih čestica V_s , to jest:

$$e = \frac{V_a}{V_s} \quad (8)$$

može se šljunčanim šipovima smanjiti zapremina pora tla, povećati zapremina čvrstih čestica i tako uticati na D_r .

Za $e'=0,84$ dobiju se sljedeće zapremine:

$$\begin{aligned} V'_a &= 0,84 \cdot V'_s \\ V'_s + V'_a &= V = 25000,0 m^3 \\ 1,84 V'_s &= 25000,0 \\ V'_s &= \frac{25000,0}{1,84} = 13586,96 m^3 \\ V'_a &= 0,84 \cdot 13586,96 = 11413,04 m^3 \end{aligned} \quad (9)$$

Preko usvojenog modula stišljivosti poboljšanog tla $M_v = 60$ MPa dolazi se do potrebnog broja udaraca N .

$$\begin{aligned} E'' &= \frac{(1-2\nu)(1+\nu)}{1-\nu} M''_v = \frac{(1-2 \cdot 0,3)(1+0,3)}{1-0,3} \cdot 60,00 = 0,74 \cdot 60 = 44,57 MPa \\ N'' &= \frac{E''}{2,8} = \frac{44,57}{2,8} = 15,92 \end{aligned}$$

U daljem proračunu usvojeno je $N=16/30$ cm udaraca, iz čega preko relacija (5), (7), (8) i (9) slijedi:

$$D''_r = \left(\frac{16}{0,23 \cdot 185 + 16} \right)^{0,5} \cdot 100\% = 52,28\%$$

$$e'' = 1,0 - 0,5228 \cdot (1,0 - 0,5) = 0,74$$

$$V''_a = 0,74 \cdot V''_s$$

$$V''_s + V''_a = V = 25000,0 m^3$$

$$1,74 V''_s = 25000,0$$

$$V''_s = \frac{25000,0}{1,74} = 14367,82 m^3$$

$$V''_a = 0,74 \cdot 14367,82 = 10632,18 m^3$$

Razlika $V^{pretp.}_{ss}$ u jednačini

$$V^{pretp.}_{ss} = V'_a - V''_a = 780,86 m^3 \quad (10)$$

predstavlja zapreminu koju treba da popune šljunčani šipovi kako bi se dobilo manje e, odnosno veće D_r .

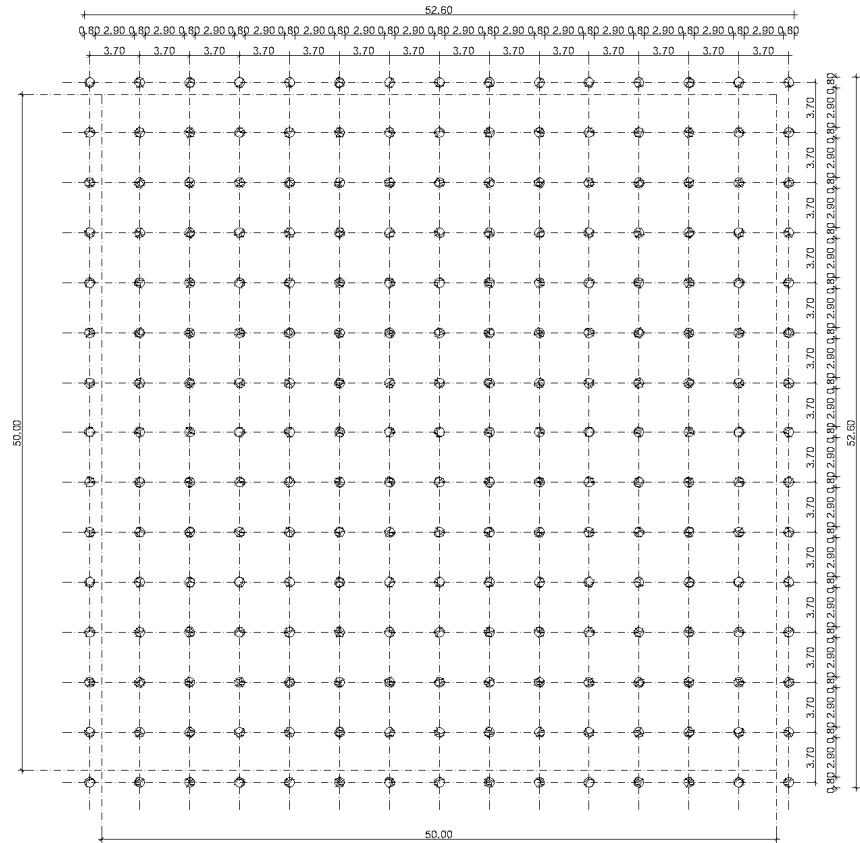
Kako su šljunčani šipovi prečnika od 60 do 80 cm, usvojen je prečnik 80 cm, i to 13 redova šipova po širini i po dužini. Zapremina ugrađenog materijala je:

$$V_{ss} = 13 \cdot 13 \cdot \frac{0,80^2 \pi}{4} \cdot 10 = 849,49 m^3$$

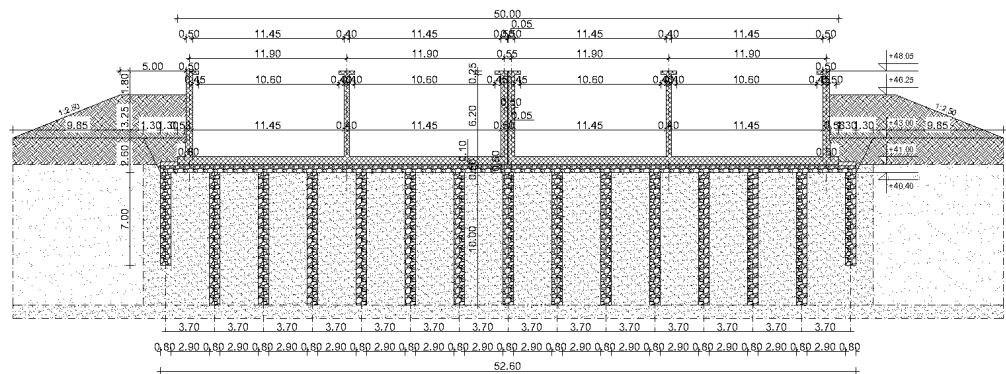
što je približno gore sračunatoj zapremini šipova. Ovo su naravno aproksimativne vrijednosti, jer šljunčani šipovi takođe imaju pore koliko god da su dobro zbijeni. Pored toga, ugradnjom šljunčanih šipova zbija se i tlo van granica objekta, a ni to nije uzeto u obzir. Kako bi se bilo na strani sigurnosti, konstruktivno se usvaja još po jedan red šipova van granica objekta, a ugradiće se do dubine 7,0 m. Razmak između šipova je 3,7 m, tako da osnova šipova iznosi $51,8 \times 51,8 m^2$. Zapremina dodatnih šipova iznosi:

$$V'_{ss} = 56 \cdot \frac{0,80^2 \pi}{4} \cdot 7 = 197,04 m^3$$

Na slici 2 prikazana je osnova usvojenih šljunčanih šipova, dok je na slici 3 prikazan presjek kroz šljunčane šipove.



Slika 2. Osnova šljunčanih šipova



Slika 3. Presjek kroz šljunčane šipove

Sada se može sračunati i zapreminska težina poboljšanog tla. Za zapreminsku težinu šljunčanih šipova usvaja se $\gamma_{ss} = 19,50 \text{ kN/m}^3$ iz razloga što su oni zbijeni. U obzir je uzeta samo usvojena potrebna zapremina šipova, ne i konstruktivna. Proračun je sljedeći, prema izrazu (2):

$$W_{ss} = \gamma_{ss} \cdot V_{ss} = 19,5 \cdot 849,49 = 16565,06 \text{ kN}$$

Zapreminska težina poboljšanog tla može se sračunati iz izraza:

$$\gamma'' = \frac{W_s + W_{ss}}{V} \quad (11)$$

Uvrštavanjem težina i zapremine u izraz (11), dobije se:

$$\gamma'' = \frac{W_s + W_{ss}}{V} = \frac{462500,0 + 16565,06}{25000,0} = \frac{479065,06}{25000,0} = 19,16 \text{ kN} / \text{m}^3$$

Poboljšani ugao unutrašnjeg trenja preko relacije (6) iznosi:

$$\phi'' \approx \arctg \left[16 / (12,2 + 20,3 \cdot 185 / 100) \right]^{0,34} = 34,21^\circ$$

Nakon izvršenog proračuna mogu se tabelarno prikazati karakteristike tla kao i stepen poboljšanja, tabela 2.

Tabela 2. Karakteristike tla i stepen poboljšanja

	D _r [%]	e [-]	γ [kN/m ³]	φ [°]	M _v [MPa]
prirodno tlo	32,01	0,84	18,50	25,97	22,62
poboljšano tlo	52,28	0,74	19,16	34,21	60,00
			Stepen poboljšanja	S _r =	2,65

Sad se može provjeriti da li je usvojeno rastojanje od 3,7 m šipova dovoljno da se zapreminska težina tla poboljša na γ=19,16 kN/m³. Iz relacije (1) se dobije:

$$\gamma_1 = \gamma \cdot \left[\left(\frac{0,952d}{L} \right)^2 + 1 \right] = 18,50 \cdot \left[\left(\frac{0,952 \cdot 0,8}{3,7} \right)^2 + 1 \right] = 19,28 \text{ kN} / \text{m}^3$$

Iz ovoga se može zaključiti da se ugradnjom šipova osnove 80 cm na rastojanju od 3,7 m zapreminska težina poboljša na 19,28kN/m³, a za zadovoljavanje kriterijuma slijeganja dovoljna je zapreminska težina od 19,16 kN/m³, što pokazuje da smo na strani sigurnosti, jer ugradnjom šipova će se dobiti i bolje karakteristike tla.

3. ANALIZA NOSIVOSTI

Proračun dopuštenog kontaktnog naprezanja po kriterijumu loma tla [2] ispod plitko temeljenog krutog pravougaonog temelja sproveden je prema izrazu Brinč Hanzena (Brinch Hansen).

$$p_{dop} = c_m N_c s_c d_c i_c + \gamma D_f N_q s_q d_q i_q + 0,5 \gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma \quad (12)$$

gdje su:

c_m – mobilizirana kohezija, c_m=c/F_c (F_c = 2–3, usvojeno 2,5)

γ – zapreminska težina tla

D_f – dubina fundiranja

B – širina temelja

N_c, N_q, N_γ – faktori nosivosti

s_c, s_q, s_γ – faktori oblika

d_c, d_q, d_γ – faktori dubine

i_c, i_q, i_γ – faktori nagiba rezultante

Proračun nosivosti tla za:

temeljna ploča dimenzija 50,0 x 50,0 m²

dubina fundiranja $D_f = 2,00$ m

Karakteristike tla:

$$\phi = 34,21^\circ$$

$$c = 0,0 \text{ kPa}$$

$$\gamma = 19,16 \text{ kN/m}^3$$

Mobilizirani parametri čvrstoće tla:

$$\operatorname{tg}\phi_m = \frac{\operatorname{tg}\phi}{F_\phi} = \frac{\operatorname{tg}(34,21^\circ)}{1,5} = 0,453 \quad \phi_m = 24,38^\circ \quad (13)$$

Numeričke vrijednosti faktora nosivosti prema Brinč Hanzenu (Brinch Hansen), a za mobilizirani ugao unutrašnjeg trenja $\phi_m = 24,38^\circ$, iznose:

$$N_c = 19,88 \quad N_q = 10,03 \quad N_\gamma = 7,39$$

$F_\phi = 1,2-1,8$, usvojeno 1,5

$$c_m = \frac{c}{F_c} = 0,0 \text{ kPa}$$

Faktori:

$$\begin{aligned} s_c &= 1 + 0,2 \frac{B}{L} = 1,2 = s_q & d_c &= 1 + 0,35 \frac{D_f}{B} = 1,01 \\ s_\gamma &= 1 - 0,40 \frac{B}{L} = 0,6 & d_q &= d_c - \frac{d_c - 1}{N_q} = 1,01 \\ & & d_\gamma &= i_c = i_q = i_\gamma = 1,00 \end{aligned} \quad (14)$$

Uvrštavanjem podataka u relaciju (12) dobija se:

$$p_{dop} = 19,16 \cdot 2 \cdot 10,03 \cdot 1,2 \cdot 1,01 \cdot 1 + 0,5 \cdot 19,16 \cdot 50,0 \cdot 7,39 \cdot 0,6 \cdot 1 \cdot 1 = 2589,72 \text{ kPa}$$

Ovo je dopušteno opterećenje tla za glavno + dopunsko opterećenje, dok dopušteno opterećenje tla za glavno opterećenje iznosi:

$$p'_{dop} = 0,8 \cdot p_{dop} = 2071,77 \text{ kPa} \quad (15)$$

Istim postupkom, a za parametre prirodnog, nepoboljšanog tla dobije se $p_{dop}=926,85$ kPa, što je 2,79 puta manje od dopuštenog opterećenja poboljšanog tla.

4. ANALIZA SLIJEGANJA

Nakon izvršenog poboljšanja podtemelnog tla, tlo je sljedećih karakteristika:

$$M_v = 60,00 \text{ MPa}$$

$$\gamma = 19,16 \text{ kN/m}^3$$

$$\phi = 34,21^\circ$$

$$\Delta z = 10 \text{ m}$$

Ispod poboljšanog tla nalazi se tlo dobrih karakteristika, $N=40/30$ cm i $\gamma = 19,70 \text{ kN/m}^3$, iz čega preko relacija (3), (4) i (6) dobijemo:

$$M_v = 124,44 \text{ Mpa}$$

$$\phi = 42,88^\circ$$

Tlo je pretpostavljeno kao elastičan, homogen i izotropan poluprostor. Proračun slijeganja se provodi do dubine u kojoj su dodatni naponi jednaki 20% geostatičkih napona. Slijeganje [5] se dobije sumiranjem vertikalnih deformacija pojedinih slojeva tla prema izrazima:

$$w = \sum w_i \quad (16)$$

$$w_i = \frac{\Delta p_i \cdot H_i}{M_{ki}}$$

gdje je:

w – ukupno slijeganje

w_i – slijeganje pojedinog sloja tla

Δp_i – dodatni vertikalni napon u sredini sloja tla

H_i – debljina sloja tla

M_{ki} – modul stišljivosti sloja tla

Koeficijent posteljice tla [2] iznosi:

$$k = \frac{\Delta p}{w} \quad (17)$$

gdje je Δp dodatni pritisak u tlu [5] od objekta umanjen za težinu iskopanog tla, a on iznosi:

$$\Delta p = \sigma_z^{stv} - \gamma \cdot D_f \quad (18)$$

Proračun slijeganja sproveden je za kontaktne pritiske od 150, 250 i 350 kN/m² budući da nemamo podatke o stvarnom opterećenju temelja, a rezultati su prikazani u tabelama 3, 4 i 5 respektivno.

Proračun slijeganja za:

temeljna ploča dimenzija 50,0 x 50,0 m²

dubina temeljenja

$D_f = 2,00$ m

zapreminska težina u nivou temelja $\gamma = 19,16$ kN/m³

Proračun za kontaktni pritisak:

$$\sigma_z = 150,0 \text{ kPa}$$

$$\Delta p = 150 - 19,16 \cdot 2 = 111,68 \text{ kPa}$$

Dodatni i geostatički naponi [3] u tabeli računaju se pomoću izraza:

$$\Delta p_i = \Delta p \frac{L \cdot B}{(L + z_i)(B + z_i)}$$

$$p_{g1} = \gamma \cdot D_f + \gamma_1 \cdot \frac{H_1}{2} \quad (19)$$

$$p_{gi} = p_{gi-1} + \gamma_{i-1} \cdot \frac{H_{i-1}}{2} + \gamma_i \cdot \frac{H_i}{2}$$

Tabela 3. Slijeganje za kontaktni napon od 150 kPa

Sloj	H _i (m)	γ (kN/m ³)	M _{ki} (kN/m ²)	z _i (m)	p _g (kPa)	Δp _i (kPa)	w _i (m)	0,2·p _g (kPa)	
1	2,00	19,16	60000,00	1,00	57,48	107,34	0,004	11,50	
2	2,00	19,16	60000,00	3,00	95,80	99,39	0,003	19,16	
3	2,00	19,16	60000,00	5,00	134,12	92,30	0,003	26,82	
4	2,00	19,16	60000,00	7,00	172,44	85,93	0,003	34,49	
5	2,00	19,16	60000,00	9,00	210,76	80,21	0,003	42,15	
6	2,00	19,70	124444,44	11,00	249,62	75,03	0,001	49,92	
7	2,00	19,70	124444,44	13,00	289,02	70,35	0,001	57,80	
8	2,00	19,70	124444,44	15,00	328,42	66,08	0,001	65,68	
9	2,00	19,70	124444,44	17,00	367,82	62,20		73,56	
							ΣW _i =	0,019	

Koeficijent posteljice tla prema izrazu (17) iznosi: $k = \frac{\Delta p}{w} = \frac{111,68}{0,019} = 5907,63 \text{ kN} / \text{m}^3$.

Proračun za kontaktni pritisak:

$$\sigma_z = 250,0 \text{ kPa}$$

$$\Delta p = 250 - 19,16 \cdot 2 = 211,68 \text{ kPa}$$

Tabela 4. Slijeganje za kontaktni napon od 250kPa

Sloj	H _i (m)	γ (kN/m ³)	M _{ki} (kN/m ²)	z _i (m)	p _g (kPa)	Δp _i (kPa)	w _i (m)	0,2·p _g (kPa)
1	2,00	19,16	60000,00	1,00	57,48	203,46	0,0068	11,50
2	2,00	19,16	60000,00	3,00	95,80	188,39	0,0063	19,16
3	2,00	19,16	60000,00	5,00	134,12	174,94	0,0058	26,82
4	2,00	19,16	60000,00	7,00	172,44	162,88	0,0054	34,49
5	2,00	19,16	60000,00	9,00	210,76	152,03	0,0051	42,15
6	2,00	19,70	124444,44	11,00	249,62	142,22	0,0023	49,92
7	2,00	19,70	124444,44	13,00	289,02	133,33	0,0021	57,80
8	2,00	19,70	124444,44	15,00	328,42	125,25	0,0020	65,68
9	2,00	19,70	124444,44	17,00	367,82	117,89	0,0019	73,56
10	2,00	19,70	124444,44	19,00	407,22	111,15	0,0018	81,44
11	2,00	19,70	124444,44	21,00	446,62	104,98	0,0017	89,32
12	2,00	19,70	124444,44	23,00	486,02	99,31	0,0016	97,20
13	2,00	19,70	124444,44	25,00	525,42	94,08		105,08
							ΣW _i =	0,043

Koeficijent posteljice tla prema izrazu (17) iznosi: $k = \frac{\Delta p}{w} = \frac{211,68}{0,043} = 4946,28 \text{ kN} / \text{m}^3$.

Proračun za kontaktni pritisak od 350 kPa:

$$\sigma_z = 350,0 \text{ kPa}$$

$$\Delta p = 350 - 19,16 \cdot 2 = 311,68 \text{ kPa}$$

Tabela 5. Slijeganje za kontaktni napon od 350 kPa

Sloj	H _i (m)	γ (kN/m ³)	M _{ki} (kN/m ²)	z _i (m)	p _g (kPa)	Δp _i (kPa)	w _i (m)	0,2·p _g (kPa)
1	2,00	19,16	60000,00	1,00	57,48	299,58	0,0100	11,50
2	2,00	19,16	60000,00	3,00	95,80	277,39	0,0092	19,16
3	2,00	19,16	60000,00	5,00	134,12	257,59	0,0086	26,82
4	2,00	19,16	60000,00	7,00	172,44	239,83	0,0080	34,49
5	2,00	19,16	60000,00	9,00	210,76	223,84	0,0075	42,15
6	2,00	19,70	124444,44	11,00	249,62	209,41	0,0034	49,92
7	2,00	19,70	124444,44	13,00	289,02	196,32	0,0032	57,80
8	2,00	19,70	124444,44	15,00	328,42	184,43	0,0030	65,68
9	2,00	19,70	124444,44	17,00	367,82	173,58	0,0028	73,56
10	2,00	19,70	124444,44	19,00	407,22	163,66	0,0026	81,44
11	2,00	19,70	124444,44	21,00	446,62	154,57	0,0025	89,32
12	2,00	19,70	124444,44	23,00	486,02	146,22	0,0023	97,20
13	2,00	19,70	124444,44	25,00	525,42	138,52	0,0022	105,08
14	2,00	19,70	124444,44	27,00	564,82	131,42	0,0021	112,96
15	2,00	19,70	124444,44	29,00	604,22	124,85	0,0020	120,84
16	2,00	19,70	124444,44	31,00	643,62	118,76		128,72
							ΣW _i =	0,069

Koeficijent posteljice tla prema izrazu (17) iznosi: $k = \frac{\Delta p}{w} = \frac{311,68}{0,069} = 4493,78 \text{ kN} / \text{m}^3$.

5. ZAKLJUČAK

Šljunčani šipovi kao jedna od metoda poboljšanja osobina tla pokazali su se veoma efikasnim i ekonomičnim. Šljunak je prije svega prirodan materijal, tako da se sa sigurnošću može reći da se ugradnjom šipova ne šteti priroda tla, štaviše, maksimalno se iskorištavaju njene osobine. U vremenu kada cilj i jeste očuvati prirodu u kojoj živimo, rješenje kao što je ugradnja šljunčanih šipova je i više nego dobrodošlo. Na prikazanom primjeru može se zaključiti da smo poboljšali sve karakteristike tla, od rastresitog smo dobili srednje zbijeno tlo, smanjili koeficijent poroznosti e , povećali zapreminsku težinu γ i ugao unutrašnjeg trenja ϕ , te modul stišljivosti M_v poboljšali 2,65 puta. Analiza nosivosti tla pokazala je da smo ugradnjom šljunčanih šipova nosivost tla poboljšali 2,79 puta. Analizom slijeganja može se zaključiti da i za kontaktni pritisak od 350 kPa slijeganje od 4,33 cm na 10 m dubine zadovoljava uslov od maksimalnih 5 cm, dok se uticaj od dodatnih napona pruža do 62,0 m u dubinu. Koeficijent posteljice tla nije konstantna veličina, već zavisi i od veličine i oblika osnove temelja, kao i karaktera slojevitosti tla, a ovim primjerom je to i dokazano. Pri realizaciji proračunom predviđenog poboljšavanja svojstava prirodnog tla šljunčanim šipovima neophodno je kontrolnim ispitivanjima potvrditi veličine dobijene proračunom. Predlaže se korištenje istih metoda kao u istražnim radovima, što je u ovom slučaju SPT-opit.

6. BIBLIOGRAFIJA

- [1] T. Roje-Bonacci. Predavanje, Tema: "Poboljšanje svojstava temeljnog tla." Split, 2010.
- [2] S. Stevanović, *Fundiranje građevinskih objekata*. Beograd: Izgradnja, 2009.
- [3] M. M. Maksimović, *Mehanika tla*. Beograd: Čigoja štampa, 2001.
- [4] B. Kovačević Zelić, "Poboljšanja svojstava tla i stijena," Interna skripta, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 2006.
- [5] P. Kvasnička i D. Domitrović, "Mehanika tla," Interna skripta, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 2007.

ΑΓ

Γ+