

ESTIMATION OF AXIALLY-LOADED BORED PILES INTERACTION IN THE DESIGN OF PILE FOUNDATION

D. Sližytė

To cite this article: D. Sližytė (2001) ESTIMATION OF AXIALLY-LOADED BORED PILES INTERACTION IN THE DESIGN OF PILE FOUNDATION, Statyba, 7:3, 201-206, DOI: [10.1080/13921525.2001.10531725](https://doi.org/10.1080/13921525.2001.10531725)

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/13921525.2001.10531725>



Published online: 30 Jul 2012.



Submit your article to this journal [↗](#)



Article views: 141



Citing articles: 1 View citing articles [↗](#)

CENTRIŠKAI APKRAUTŲ GREŽTINIŲ POLIŲ TARPUSAVIO SĄVEIKOS ĮVERTINIMAS PROJEKTUOJANT POLINIUS PAMATUS

D. Sližytė

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

1. Įvadas

Didžiuosiuose miestuose nauji statiniai bei pastatai dažnai statomi tankiai užstatytose teritorijose, kuriose naujų pamatų įrengimas statybininkams kelia nemažų problemų. Miesto centre tenka atsisakyti įprastinių sekliųjų pamatų, kurie įrengiami pamatų duobėse, net jeigu geras gruntas slūgso negiliai. Miesto centre brangstant žemės sklypams tenka statyti mažą užstatomąjį plotą turinčius aukštus pastatus, kurių apkrovos, net naudojant šiuolaikines lengvas konstrukcijas, neišvengiama didėja. Dėl šių priežasčių šalyje dažnai projektuojami bei įrengiami poliniai pamatai.

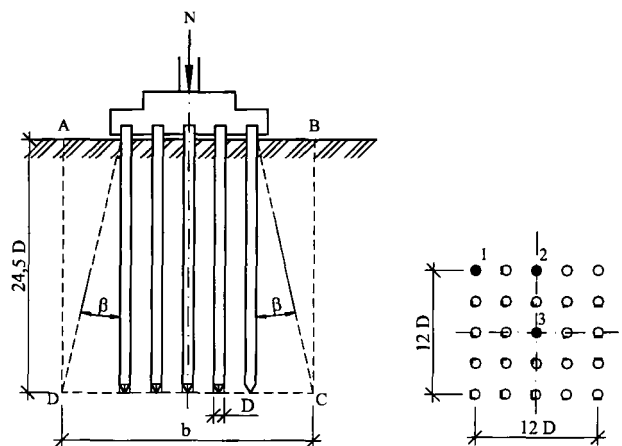
Euronormos 7 [1] polių bandymus statine apkrova rekomenduoja vykdyti pagal ISSMFE parengtą metodiką [2]. Rekomenduojama statine apkrova išbandyti du polių kiekvienoje geotechninėje situacijoje. Jeigu šalyje yra sukauptas patyrimas bandant bei projektuojant polinius pamatus, galima bandyti mažiau polių. Lietuvoje šiuo metu galiojančiuose standartuose [3] numatyta, kad įrengus polinius pamatus būtina išbandyti statine apkrova – mažiausiai 0,5% atsitiktinai parinktų visų polių, bet ne mažiau kaip du. Tai daroma, norint patikrinti projektuojant priimtus sprendimus ir išvengti galimų didelių nuostolių dėl netikslaus geotechninių duomenų interpretavimo. Tačiau polinis pamatas paprastai susideda iš kelių polių, išdėstytų tam tikrais atstumais, viršuje sujungtų standžiu rostverku. Grupėje esančio polio priklausomai nuo aplink esančio grunto savybių, polio geometrijos, santykinio atstumo tarp polių r/D , polio įrengimo technologijos darbas skirsis nuo atskirai įrengto analogiško polio darbo.

Šio straipsnio tikslas – parodyti, kaip galima projektuoti polinius pamatus, įvertinant polių tarpusavio sąveiką ir atskirojo polio bandymų rezultatus. Be to, gautus rezultatus palyginti su rezultatais, gautais tai-

kant šiuo metu paplitusį sąlyginio pamato skaičiavimo metodą.

2. Polinių pamatų nuosėdžių skaičiavimas

Polinių pamatų skaičiavimą galima suskirstyti į du etapus: pagrindo laikomosios galios bei deformacijų ir polinio pamato, kaip savarankiškos konstrukcijos, skaičiavimas. Geotechnikoje pagrindo laikomoji galia bei deformacijos yra du vienas nuo kito neatsiejami dalykai. Nuo to, kokios yra leistinosios pagrindo deformacijos, priklauso jo skaičiuojamoji laikomoji galia bei pagrindo skaičiuojamasis stipris. Šiuo metu Lietuvoje polinių pamatų nuosėdžiai skaičiuojami laikant, kad gruntas tarp polių bei patys poliai yra absoliučiai standūs, t. y. nesideformuoja, o deformacijos atsiranda sąlyginiam pamatui veikiant žemiau polio pado esantį gruntą (1 pav.). Dažniausiai tokių pamatų nuosėdžiai skaičiuojami sumavimo metodu [4–5].



1 pav. Nagrinėjamo polinio pamato schema: 1, 2, 3 – ypatingi poliai

Fig 1. The scheme of analysed pile foundation. 1, 2, 3 – special piles

Tačiau tai ne vienintelis polinių pamatų nuosėdžių nustatymo būdas. H. G. Poulos, nagrinėdamas dviejų vienodų polių grupę [6] (2 pav.), pasiūlė grupėse esančių polių tarpusavio sąveiką vertinti sąveikos koeficientu α , kuris parodytų, kokia apkrauto polio nuosėdžio dalis tenka šalia esančiam neapkrautam poliui:

$$\alpha_{i,j} = \frac{s_{i,j}}{s_j}, \quad (1)$$

s_j – centriškai apkrauto j -ojo polio nuosėdis; $s_{i,j}$ – šalia esančio i -ojo polio papildomas nuosėdis dėl j -ojo polio įtakos.

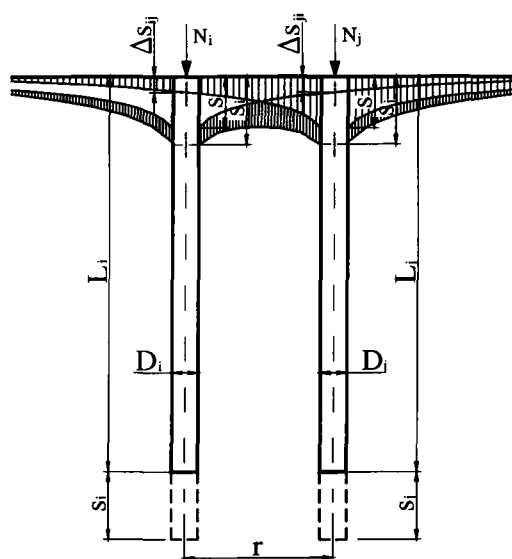
Tuo atveju, kai centriškai apkrautą polinį pamatą sudaro daugiau kaip du poliai, remiantis superpozicijos principu i -ojo polio nuosėdis matematiškai gali būti užrašytas:

$$s_{i,j} = N \cdot s_i \cdot \sum_{j=1}^n \alpha_{i,j}, \quad (2)$$

N – vidutinė apkrova, tenkanti i -ajam poliui; s_i – i -ojo polio nuosėdis skaičiuojant nuo vienetinės apkrovos, kai $j=i$, $\alpha_{i,i}=1$.

Galimi trys polių sujungimo viršutinėje dalyje atvejai:

- 1) poliai viršuje sujungti absoliučiai standžiu rostverku;
- 2) poliai viršuje sujungti absoliučiai liaunu rostverku arba jo visai nėra;



2 pav. Dviejų polių grupės suminių nuosėdžių profilis

Fig 2. Superposition of settlement profiles for two piles group

3) poliai sujungti riboto standumo rostverku.

Pirmuoju atveju poliai turės sėsti vienodai, tačiau kiekvienas polis priklausomai nuo jo padėties grupėje kitų polių bus veikiamas nevienodai. Todėl, kad nusėstų tiek pat, kitų mažiau veikiami poliai privalės perimti didesnes apkrovas. Antruoju atveju poliai apkrauti vienodomis apkrovomis, o jų nuosėdžių neriboja rostverkas, todėl tie poliai, kuriems šalia esantieji turės mažiau įtakos, sės mažiau už tuos, kurie bus daugiau veikiami. Trečiasis – tarpinis atvejis, kai poliai perims nevienodas apkrovas ir sės nevienodai priklausomai nuo rostverko standumo.

Šiuo metu Lietuvoje galiojančios normos [7] rekomenduoja skaičiuojant polinių pamatų nuosėdžius taikyti sąlyginio pamato metodą. Tačiau statybos aikštelėje atlikus privalomus atskirųjų polių bandymus, taikant sąveikos koeficientą, taip pat galima prognozuoti, kaip dirbs poliniai pamatai užkrovus projektines apkrovas. O, palyginus gautas prognozes su projektuotomis, dar galima keisti projektą, siekiant sumažinti statybos išlaidas. Kad būtų parodytos sąveikos koeficiento metodo galimybės ir norint gautus rezultatus palyginti su rezultatais, gautais pagal sąlyginio pamato metodą, bus smulkiau nagrinėjamas polinis pamatas (1 pav.), sudarytas iš 25 ilgų gręžtinių polių, įrengtų tankiame smėlyje.

3. Gręžtinių polinių pamatų nuosėdžių prognozavimas sąlyginio pamato metodu

Gręžtiniai poliai įrengti Toyouras smėlyje, kurio pagrindinės charakteristikos pateiktos lentelėje.

Toyouras smėlio charakteristikos

Characteristics of Toyoura sand [8]

Charakteristika	Skaitinė reikšmė
Vienetinis svoris γ (kN/m ³)	1,619
Kietųjų dalelių vienetinis svoris γ_s (kN/m ³)	26,5
Vidutinis dalelių skersmuo D50 (mm)	0,220
Poringumo koeficientas e (-)	0,637
Vidinės trinties kampas ϕ (°)	32
Šoninio slėgio koeficientas $K_0=0,52 e$ (-) [9]	0,331
Puasono koeficientas ν (-)	0,15

Rostverkas įrengtas truputį aukščiau žemės paviršiaus, kad nebūtų papildomos rostverko-grunto sistemos įtakos. Poliai su rostverku sujungti lankstiškai. Polinis

pamatas apkrautas tik vertikaliaja apkrova. Polio skersmuo $D=0,314$ m, ilgis $L=7,693$ m.

Sąlyginio pamato (1 pav.) vertikalųjų pjūvį apibrėžia stačiakampis $ABCD$. Jo padas atitinka plokštumą, esančią polio pado gylyje. Sąlyginis pamatas aplink esančiam gruntui apkrovą perduoda ne tik padu, bet ir šoniniu paviršiumi, kurio kontūras nustatomas apibrėžiant išorinius poliūs. O dėl trinties prie šio šoninio paviršiaus atsirandantys normaliniai įtempimai sklinda tam tikru kampu β , kuris pagal projektavimo normyną [7]:

$$\beta = \frac{\varphi}{4}, \quad (3)$$

φ – grunto vidinės trinties kampas.

Dėl šoninės trinties padidėja sąlyginio pamato pado plotis. Tamprumo modulis didėja didėjant gyliui, jis nustatomas remiantis tamprumo teorija:

$$E_0 = 2G_0(1+\nu), \quad (4)$$

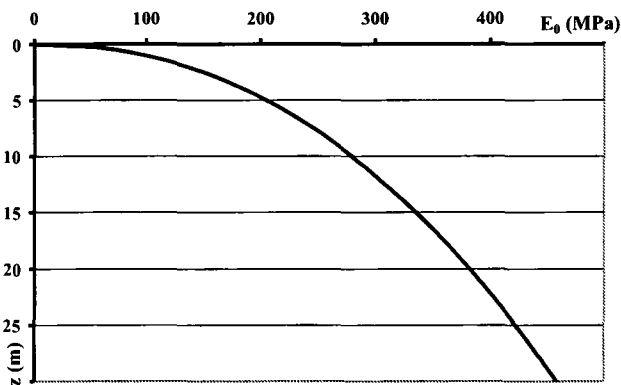
G_0 – mažų deformacijų šlyties modulis (kg/cm^2), kuris šiam smėliui pagal Lo Presti [9] lygus:

$$G_0 = 724\sigma_m^{0,45} \frac{1}{e^{1,3}}, \quad (5)$$

σ_m – vidutiniai įtempimai nagrinėjamame gylyje, priklausantys nuo veikiančių vertikalųjų σ'_{v0} bei horizontalųjų σ'_{h0} įtempimų:

$$\sigma_m = \frac{\sigma'_{v0} + 2\sigma'_{h0}}{3}. \quad (6)$$

Tamprumo modulio priklausomybė nuo gylio z pateikta 3 pav.



3 pav. Tankaus Toyourous smėlio mažų deformacijų tamprumo modulio priklausomybė nuo gylio

Fig 3. Small strain deformation modulus of dense Toyoura sand relationship for depth

Pagal nustatytą grunto tamprumo modulį, grunto tankį, polių geometrinius matmenis bei jų išdėstymą pamate sąlyginio pamato metodu apskaičiuoti polinio pamato nuosėdžiai.

4. Grežtinių polinių pamatų nuosėdžių prognozavimas pagal atskirojo polio statinį bandymą bei įvertinus polių tarpusavio sąveiką

Polių grupėms skaičiuoti taikant sąveikos koeficientą yra sukurta ne viena programa. Viena iš jų yra MAP [10], sukurta SGI (Milanas, Italija). Taikant šią programą polių grupės nuosėdis skaičiuojamas pagal atskirojo polio Q -s priklausomybę, įvertinant nuosėdžio padidėjimą, atsirandantį dėl greta esančių polių įtakos. Taigi i -ojo polio nuosėdį, įvertinant aplink esančių polių įtaką, galima užrašyti:

$$ds'_i = ds_i + \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^n (\alpha_{ij} \cdot ds_j), \quad (7)$$

ds_j – tamprus atskirojo j -ojo polio nuosėdis randamas:

$$ds_j = \frac{N_j}{AK_{oj}}. \quad (8)$$

Taikant polio atsako standumo veiksnį $f_{zi}=1/AK_o$ ir j -ojo polio nuosėdžio ir apkrovos priklausomybę $d_{sj}=f_{zj}N_j$ (7) lygtis tampa:

$$ds'_i = \left\{ f_{zi} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (\alpha_{ij} \cdot f_{zj}) \frac{N_j}{N_i} \right\} N_i, \quad (9)$$

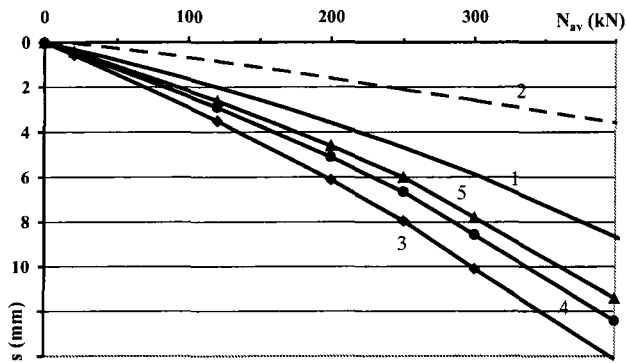
tai yra:

$$ds'_i = f'_{zi} N_i, \quad (10)$$

čia f'_{zi} – i -ojo polio atsako standumo veiksnys įvertinant kitų polių įtaką; f_{zi} – i -ojo polio, kaip atskirojo polio, atsako standumo veiksnys; N_j – įrašas, veikianti j -ąjį polį; N_i – įrašas, veikianti i -ąjį polį.

Iš šių lygčių matyti, kad polių grupėje esantiems poliams standumo veiksnys didėja dėl šalia esančių polių, o tai lemia didesnį nuosėdį.

Programa MAP naudojama polių grupių, sujungtų standžiu rostverku, statinei analizei atlikti. Buvo pasinaudota viena iš jos dalių, kuri skirta centriškai apkrautiems, vertikaliems poliams. Skaičiavimams imta atskirojo polio Q -s idealizuota priklausomybė remiantis ISMES

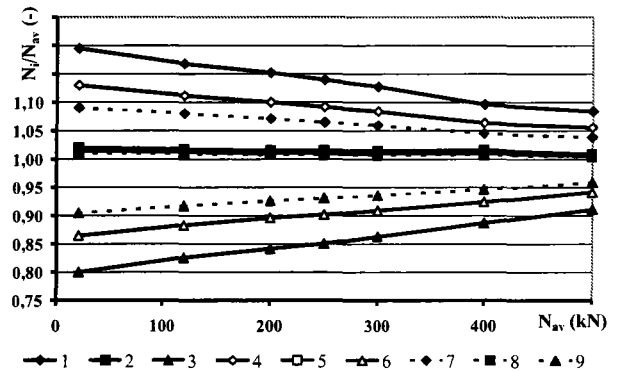


4 pav. Polinio pamato nuosėdžių diagrama priklausomai nuo vienam poliui tenkančios vidutinės apkrovos bei santykinio atstumo tarp polių r/D : 1 – atskirojo polio; 2 – 5×5 polinio pamato, skaičiuojant sąlyginio pamato metodu; 3, 4 ir 5 – taikant polių sąveikos koeficientą bei tarp polių ašių esant atitinkamai 3 D, 4,5 D ir 6 D atstumams

Fig 4. Pile foundation settlement relationship for average load of one pile and normalised pile spacing r/D : 1 – single pile, 2 – 5×5 pile foundation, calculated like equivalent raft foundation, 3, 4 and 5 – using interaction coefficient and between pile axes being distance 3 D, 4,5 D and 6 D

(Bergamo, Italija) Geotechnikos laboratorijos polių grupės PG5T_30 tyrimų rezultatų duomenimis. Sąveikos koeficientas nustatytas remiantis eksperimentiniais polių grupių tyrimų rezultatais [11]. Ten pat yra pateiktas šiuo metu turimų teorinių sąveikos koeficientų reikšmių palyginimas su eksperimentinėmis, iš kurių matyti, kad šiuo metu dar nėra palyginti tikslaus šio koeficiento skaičiavimo metodo.

Kaip matyti iš 4 pav., nagrinėjamas 5×5 polinis pamatas (kai $r/D=3$) sėda vidutiniškai 80,8% daugiau nei tokia pačia grunte įrengtas atskiras polis, kuris yra centriškai apkrautas vienam polinio pamato poliui tenkančia vidutine apkrova N_{av} . Tiesa, didinant atstumus tarp polių šis skirtumas mažėja atitinkamai 48,2% ir 32,0%, kai atstumai tarp polių ašių yra 4,5 D ir 6 D, tačiau tokie atstumai tarp polių, sujungtų standžiu rostverku, retai pasitaiko. Nuosėdžius palyginus su sąlyginio pamato metodu gautais nuosėdžiais galima sakyti, kad šiuo konkrečiu atveju sąlyginio pamato metodu gauti nuosėdžiai yra net mažesni nei atskirojo polio nuosėdžiai, jį apkrovus vidutine vienam poliui tenkančia apkrova (4 pav.). Tuo tarpu literatūroje [12], [4] yra pabrėžiama, kad polinio pamato poliai, esant tokiai pačiai apkrovai, sėda daugiau, ką ir rodo polių tarpusavio sąveiką vertinantis metodas.



5 pav. Įrašų pasiskirstymas ypatinguose poliuose 5×5 poliniame pamate priklausomai nuo vidutinės apkrovos bei santykinio atstumo r/D tarp polių: 1, 2, 3 – atitinkamai kampinio, kraštinio ir centrinio polio, kai tarp polių ašių 3 D; 4, 5, 6 – kampinio, kraštinio ir centrinio polio, kai tarp polių ašių 4,5 D; 7, 8 ir 9 – kampinio, kraštinio ir centrinio polio, kai tarp polių ašių 6 D

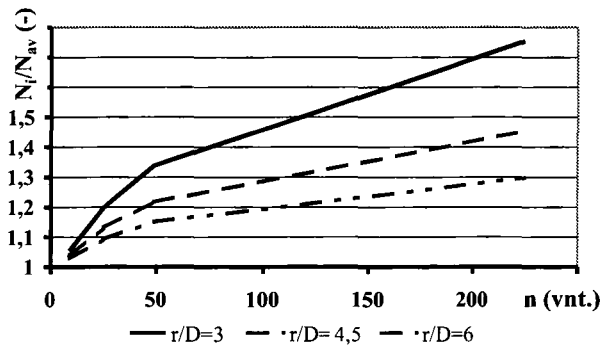
Fig 5. Loads distribution in special piles of 5×5 pile foundation relationship for average load of one pile and normalised pile spacing r/D . 1, 2, 3 – corner, border and central pile then between pile axes being distance 3 D; 4, 5, 6 – corner, border and central pile, then between pile axes being distance 4,5 D; 7, 8, 9 – corner, border and central pile, then between pile axes being distance 6 D

Be polinio pamato nuosėdžių, reikia atkreipti dėmesį ir į įrašų pasiskirstymą poliuose (5 pav.). Esant įprastiniam polių išdėstymui ($r/D=3$), pradiniu apkrovimo etapu kraštiniame polyje veikianti įraša yra tik 2% didesnė nei vidutinė apkrova, tačiau tuo pat metu kampiniame polyje ji yra net 19,5% didesnė, o centriniame 20,0% mažesnė.

Tiesa, didėjant atstumui tarp polių, įrašos juose pasiskirsto tolygiau: centriniuose poliuose jos mažesnės tik 13,5% bei 9,5%, o kampiniuose 13,0% bei 9,0% didesnės tarp polių esant atitinkamai 4,5 D ir 6,0 D atstumui. Kadangi sistema dirba ne tik tampriojoje stadijoje, bet didėjant apkrovai didėja plastinės deformacijos, vyksta įrašų persiskirstymas. (5 pav.) parodyta, kaip, didėjant vidutinei vienam poliui tenkančiai apkrovai, vienodėja įrašų pasiskirstymas.

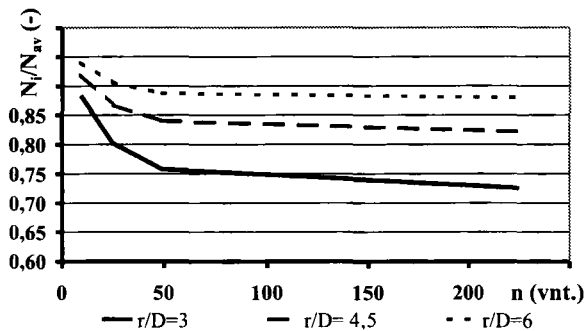
Tačiau veikiančios įrašos dydį lemia ne tik atstumas tarp polių ir polio padėtis grupėje. Didėjant polių skaičiui kiekvienas polis yra veikiamas didesnio šalia esančių polių skaičiaus. Tai lemia ryškesnį įrašų persiskirstymą (6 ir 7 pav.).

8 pav. parodyta, kaip poliniame pamate, kuriame



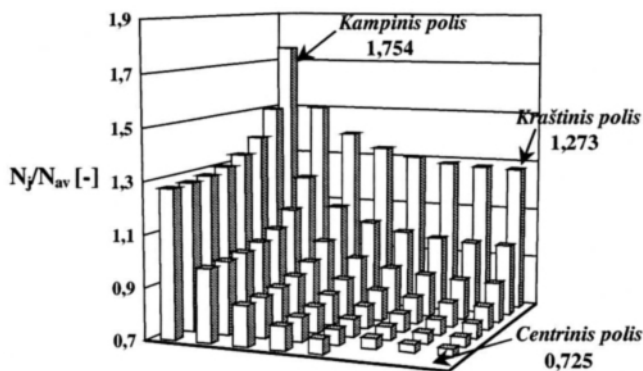
6 pav. Įrašų kampiniame polyje santykio su vidutine apkrova priklausomybė nuo polių skaičiaus grupėje ir santykinio atstumo r/D tarp polių

Fig 6. The ratio of load on corner pile to the average pile load in the group (N/N_{av}) relationship for pile number in pile foundation and normalised pile spacing r/D



7 pav. Įrašų centriniame polyje santykio su vidutine apkrova priklausomybė nuo polių skaičiaus grupėje ir santykinio atstumo r/D tarp polių

Fig 7. The ratio of load on central pile to the average pile load in the group (N/N_{av}) relationship for pile number in pile foundation and normalised pile spacing r/D



8 pav. Įrašų pasiskirstymas 15x15 polių grupėje

Fig 8. Load distribution in 15x15 pile group

yra 225 poliai (15x15 polių grupė), tampriojoje darbo stadijoje poliuose pasiskirsto įrašos. Kampinio polio įrašos padidėja jau iki 75,4%. Tuo tarpu vidurinėje šios grupės dalyje (7x7) įrašos poliuose yra nuo 21,4% iki 27,7% mažesnės nei vidutiniškai tenkanti apkrova.

5. Išvados

1. Dėl įrašų persiskirstymo poliniame pamate poliai, esantys polinio pamato pakraštyje, perima didesnes įrašas, palyginti su vidutine, nors tuo pat metu viduriniai būna nepakankamai apkrauti.

2. Remiantis įrašų persiskirstymu poliuose juos galima projektuoti racionaliau ir efektyviau panaudoti statybines medžiagas.

3. Polinių pamatų projektavimo metodas taikant polių sąveikos koeficientą Lietuvoje yra naujas ir kol kas plačiau nenagrinėtas. Todėl būtų tikslinga patyrinėti, kaip jis atitinka skaičiavimų pagal sąlyginio pamato metodą ir sąveikos koeficiento metodą bandymų rezultatus. Straipsnyje buvo nagrinėtas atvejis, kai sąveikos koeficientas buvo paimtas iš eksperimentinių duomenų. Tačiau, norint sėkmingai taikyti polinių pamatų skaičiavimo metodą, įvertinantį polių tarpusavio sąveiką, reikia toliau nagrinėti sąveikos koeficiento priklausomybes nuo įvairių išorinių veiksnių ir įvertinti jų įtaką.

Literatūra

1. Eurocode 7. Geotechnical design in European engineering practice. Budapest, 1996. 150 p.
2. Axial Pile Loading Test – Part 1: Static Loading. IS-SMFE Subcommittee on Field and Laboratory Testing // Geotechnical Testing Journal, GTJODJ, Vol 8, No 2, June 1985, p. 79–90.
3. ГОСТ 5686-78. Сваи. Методы полевых испытаний. Москва: Издательство стандартов, 1982. 27 с.
4. Б. И. Далматов. Механика грунтов, основания и фундаменты. Москва: Стройиздат, 1981. 319 с.
5. W. G. K. Fleming, A. J. Weltman, M. F. Randolph, W. K. Elson. Piling Engineering. Glasgow: Blackie A & P, 1992. 390 p.
6. H. G. Poulos. Analysis of settlement of pile groups // Geotechnique, Vol 18, p. 449–471.
7. СНиП 2.02.03-85. Свайные фундаменты / Госстрой СССР. М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. 48 с.
8. V. Fioravante, V. N. Ghionna, M. Jamiolkowski, H. Sarrì. On the shaft friction modelling of non-displacement piles in sand Studio teoretico. Studio Geotecnico Italiano. Milano, 1998. 48 p.

9. Lo Presti D. C. F., Pallara O., Lancellotta R., Armandi M., Maniscalco R. Monotonic and Cyclic Loading Behaviour of two Sands at Small Strains // Geotechnical Testing Journal, Vol XVI, No 4, p. 409–424.
10. G. Guiducci. Matrix Analysis of Piles (MAP). Manuale teorico applicativo. Studio Geotecnico Italiano. Milano, 1997. 120 p.
11. H. Sarri, D. Sližytė. Analysis of interaction coefficients for axially loaded piles. iYGEC 2000. University of Southampton 2000, p. 153–154.
12. J. Šimkus. Gruntų mechanika, pagrindai ir pamatai. Vilnius: Mokslas, 1984. 271 p.

Įteikta 2001 04 09

ESTIMATION OF AXIALLY-LOADED BORED PILES INTERACTION IN THE DESIGN OF PILE FOUNDATION

D. Sližytė

Summary

In Lithuania and many foreign countries traditional approach of replacing the pile group by equivalent raft foundation in order to estimate settlements is used. But now we have another method. H. Poulos [3] described the influence between piles in a pile foundation with the coefficient of interaction, that indicate the pile influence on the neighbour-

ring piles settlement increasing neighbouring pile acted by axial load. General characteristics of Toyoura sand was shown in the table. With this data and two methods of calculation settlement of 5×5 pile foundation was founded (Fig 1) and results are shown in Fig 3. Also Fig 5 shows the effects of non-linearity on the axial load distribution between a piles of 5×5 group embedded in non-cohesive soil. The load distribution is expressed in terms of the ratio of load on pile to the average pile load in the group (N/N_{av}), and is plotted against the average pile load. The same figure shows how differ results when the normalised pile spacing 3D, 4,5D and 6D. In the case when the normalised pile spacing $r/D=3$ and pile foundation work in elastic phase the corner piles take 19,5% larger load as the average pile load and central pile take 20,0% smaller load as the average pile load. But after increasing of the average load this difference decreases. This difference also decreases when the normalised pile spacing increases.

.....
Danutė SLIŽYTĖ. PhD student. Dept of Geotechnics. Vilnius Gediminas Technical University (VGTU), Saulėtekio al. 11, LT-2040 Vilnius, Lithuania. E-mail: danute@st.vtu.lt

Graduate of Vilnius Technical University (presently VGTU) (1994, civil engineer), MSc (1996, civil engineer). Studied at Technical University of Turin (Italy, 1999/2000). Author and co-author of 3 research papers. Research interests: axially-loaded pile and pile groups, retaining walls and slopes.