



SPRAUSTINIŲ POLIŲ, APKRAUTŲ VERTIKALIOSIOMIS GNIUŽDYMO APKROVOMIS, SMĖLINIO PAGRINDO NUOSĖDŽIŲ TEORINIS IR EKSPERIMENTINIS TYRIMAS

Tautvydas STATKUS¹, Vaidas MARTINKUS²

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas: ¹tautvydas.statkus@vgtu.lt; ²vaidas.martinkus@vgtu.lt

Santrauka. Spraustiniai poliai yra vienas seniausių ir efektyviausių pamatų tipų Lietuvoje ir visame pasaulyje. Lietuvoje, skirtingai negu vakarų Europoje, stiprūs ledyninės kilmės smėliniai gruntai slūgso netoli žemės paviršiaus, dėl to mūsų šalyje dažnai įrenginėjami trumpi poliai, kurių gylis ne didesnis kaip penki polio skersmenys. Geotechnikams projektuojant tokio tipo polius sunku pasirinkti tinkamą metodą neturint vietinės patirties. Šiame straipsnyje analizuojami penki polio pagrindo nuosėdžių prognozavimo metodai, o jais apskaičiuoti nuosėdžiai lyginami su trijų statinės apkrovos polių bandymų rezultatais. Bandymai atlikti dirbtinio pagrindo duobėje, naudojant realių matmenų metalinius 330 mm skersmens polius. Poliai bandyti esant tokiems gylio ir skersmens santykiams 3,3, 4,4 ir 4,8. Straipsnio išvadose nurodomi metodai, tiksliausiai atitikę eksperimentų rezultatus.

Reikšminiai žodžiai: spraustinis polis, smėlis, pagrindas, nuosėdžiai, statinis polio bandymas, laikomoji galia.

Įvadas

Poliniai pamatai yra vieni iš populiariausių pamatų tipų ne tik Lietuvoje, bet ir visame pasaulyje, nes juos galima įrengti sudėtingomis inžinerinėmis geologinėmis sąlygomis – esant aukštam gruntinio vandens lygiui, arba kai veikiančias apkrovas reikia perduoti į giliau slūgsančius grunto sluoksnius. Viena iš ekonomiškai efektyviausių tokių pamatų įrengimo technologijų yra spraustiniai poliai. Nors spraustiniai poliai naudojami jau labai seniai, tačiau vis dar nėra vieno bendro nutarimo, kaip tinkamai prognozuoti jų nuosėdžius, ypač trumpų spraustinių polių. Todėl dar ir šiais laikais šie pamatai dažnai nagrinėjami daugelio tyrėjų, kurie siūlo nuo trumpai formuluotų analitinių sprendinių iki sudėtingų baigtinių elementų metodo analizių taikymo (Dijkstra *et al.* 2011; Ai, Yue 2009; Wang *et al.* 2012). Didžioji dalis Lietuvos teritorijos padengta stipriais glacialinės kilmės gruntais, kurie slūgso netoli žemės paviršiaus, todėl Lietuvoje, skirtingai negu vakarų Europoje, dažniausiai projektuojami trumpi poliai. Projektuojant pastatų pagrindus, ypač svarbu įvertinti pamatų absoliutinius ir santykinus nuosėdžius, kad pastato konstrukcijose dėl per didelių pagrindo deformacijų neatsirastų didesnių už projektines įrašų. Minėti atvejai yra labai pavojingi, kai pastatų konstrukcijos jautrios nevienodiems pamatų nuosėdžiams, pristatant prie esamo pastato naują pastatą, arba kai

reikia patikrinti pamato įtaką kitiems, netoliese esantiems pamatams (Azizi 2000; Poulos 1999; Trickey 2005). Šio straipsnio tikslas yra palyginti eksperimentinių tyrimų rezultatus su polio nuosėdžiais, apskaičiuotais pagal praktinėje veikloje taikomas metodikas, ir pateikti rekomendaciją, kurios iš šių metodikų geriausiai tinka prognozuoti trumpo polio smėlinio pagrindo nuosėdį.

Polio pagrindo nuosėdžio skaičiavimo metodų analizė

Šiame straipsnyje analizuojami empiriniai ir klasikine tamprumo teorija paremti pagrindo nuosėdžio prognozavimo metodai. Vienas iš jų Pauloso ir Daviso pasiūlytas metodas (Poulos, Davis 1980), kuriuo išskiriami polio padu ir šonu perduodamų apkrovų sukelti nuosėdžiai. Taikant šį metodą polis suskaidomas į du atskirus sąlyginius pamatus, veikiančius vienalytį tamprų puserdvį. Suminis polio viršaus nuosėdis apskaičiuojamas sumuojant atskirų puserdvį veikiančių sąlyginių pamatų nuosėdžius:

$$s = \frac{d}{E} \left(I_b \sigma_b + \sum_n I_s \tau_s \right), \quad (1)$$

čia s – polio paviršiaus nuosėdis; d – polio skersmuo; E – grunto deformacijų modulis; I_b – vertikalaus nuosė-

džio koeficientas polio padui; σ_b – normaliniai įtempiai po polio padu; I_s – vertikalaus nuosėdžio koeficientas polio šoniniam paviršiui; τ_s – tangentiniai įtempiai prie polio šoninio paviršiaus.

Kitas metodas, pasiūlytas Randolpho ir Wrotho (Randolph, Wroth 1978), sukurtas tam, kad būtų galima prognozuoti ašinės jėgos perdavimą gruntui polio padu ir šonu. Šis metodas praktikoje dažnai taikomas, kai polio pagrindą sudaro nevienodi gruntai. Polio šono ir pado elgsena nagrinėjama atskirai įsivaizduojant horizontalią plokštumą, kuri skiria polio padą ir šoną, laikant, kad virš tos plokštumos gruntas susispaudžia dėl tangentinų įtempių prie polio šoninio paviršiaus, o žemiau – tik dėl normalinių įtempių po pamato padu. Standiems poliems galioja priklausomybė:

$$s = s_b = s_s, \quad (2)$$

čia s_b – polio pado nuosėdis; s_s – grunto, esančio prie polio šoninio paviršiaus, nuosėdis.

Polio šoninio paviršiaus nuosėdis pagal šią metodiką:

$$s_s = \frac{\xi F_s}{2\pi LG}, \quad (3)$$

čia ξ – koeficientas, įvertinantis skersmens ir įtakos spindulio vertes; L – polio ilgis; F_s – jėga, perimama polio šoniniu paviršiumi; G – grunto šlyties deformacijų modulis.

Polio pado nuosėdis:

$$s_b = \frac{F_b(1-\nu)}{4rG} \eta, \quad (4)$$

čia F_b – jėga, perimama polio šoniniu paviršiumi; ν – grunto Puasono koeficientas; r – polio skerspjūvio spindulys; η – koeficientas, įvertinantis polio praplatėjimą.

Dasas pasiūlė metodą, kurį taikant empiriniais koeficientais vertinamas grunto, esančio prie polio šoninio paviršiaus, tipas ir pamato įgilinimas (Das 2007). Suminis pamato nuosėdis skaičiuojamas taip pat įvertinant ir pačio polio susispaudimą:

$$s = s_b + s_s + s_e, \quad (5)$$

čia s_e – polio nuosėdis, įvykęs dėl polio susispaudimo.

Tampriosios polio deformacijos apskaičiuojamos:

$$s_e = \frac{(F_b + \zeta F_s)L}{A_p E_p}, \quad (6)$$

čia ζ – koeficientas, įvertinantis šoninio pasipriešinimo pasiskirstymo pobūdį; A_p – polio skerspjūvio plotas; E_p – polio tamprumo modulis.

Polio nuosėdis dėl apkrovos, perduotos padu:

$$s_b = \frac{\sigma_b d}{E_b} (1-\nu^2) I_b, \quad (7)$$

čia I_b – įtakos koeficientas; E_b – grunto deformacijų po pamato padu modulis.

Polio nuosėdis dėl apkrovos, perduotos šoniniu paviršiumi:

$$s_s = \frac{(F_s d)}{\pi L E_s} (1-\nu^2) I_s, \quad (8)$$

čia I_s – įtakos koeficientas; E_s – grunto deformacijų modulis prie polio šoninio paviršiaus.

Kito žymaus mokslininko Vesičiaus sudarytas pusiau empirinis metodas, kuriuo įvertinama polio įrengimo technologijos įtaka pagrindo nuosėdžiui (Vesic 1977). Taikant šį metodą nuosėdis dėl pagrindo deformacijų po pamato padu lygus:

$$s_b = \frac{F_b C_p}{d \sigma_u}, \quad (9)$$

čia C_p – empirinis koeficientas (žr. 1 lentelę); σ_u – ribiniai įtempiai po polio padu.

1 lentelė. Empirinio koeficiento C_p reikšmės

Table 1. Values of empirical coefficient C_p

	Spraustiniai poliai	Gręžtiniai poliai
Smėlis (tankus – purus)	0,02–0,04	0,09–0,18
Molis (kietas – minkštas)	0,02–0,03	0,03–0,06
Dulkis (tankus – purus)	0,03–0,05	0,09–0,12

Nuosėdis dėl pagrindo deformacijų prie polio šoninio paviršiaus taikant Vesičiaus metodą:

$$s_s = \frac{F_s C_s}{L \tau_u}, \quad (10)$$

čia C_s – empirinis koeficientas; τ_u – ribiniai įtempiai po polio padu.

Palyginus Vesičiaus pasiūlytus empirinius koeficientus akivaizdu, kad sprausinių ir gręžtinių polių, įrengtų tokiaime pačiame grunte, nuosėdžiai gali skirtis iki 4,5 karto.

Dar vienas pusiau empirinis metodas yra pasiūlytas Bowleso, juo neįvertinama polio įrengimo technologija ir grunto deformacijos prie polio šoninio paviršiaus, tačiau šiuo metodu įvertinama polio pado forma ir įtvirtinimas (Bowles *et al.* 1997). Sudėjus polio susispaudimą ir pado nuosėdį, gaunamas polio paviršiaus nuosėdis. Taikant šį metodą ašinis polio susispaudimas lygus:

$$s_e = \frac{F_{av} L}{A_p E_p}, \quad (11)$$

čia F_{av} – vidutinė ašinė jėga polyje.

Polio pado nuosėdis taikant Bowleso metodą:

$$s_b = \Delta q d \frac{1-\nu^2}{E_b} I_s I_F F_1, \quad (12)$$

čia Δq – papildomi įtempiai polio pado lygyje; I_s – formos koeficientas; I_F – įgilinimo koeficientas.

Paskutinį šiame straipsnyje analizuojamą metodą pasiūlė Flemingas (Fleming 1992). Skaičiuojant šiuo metodu neįvertinama polio įrengimo technologija. Gauti rezultatai priklauso nuo skaičiavimuose naudojamų ribinių įtempių po polio padu ir prie jo šoninio paviršiaus. Tai empirinis metodas, išvestas apdorojus polių bandymų statine apkrova duomenis. Visiškai standaus polio paviršiaus nuosėdis yra lygus padu ir grunto, esančio prie polio šoninio paviršiaus, nuosėdziui. Pagal šią metodiką skaičiuojama jėga perimama padu ir šoniniu paviršiumi. Šoniniu paviršiumi perimama jėgos lygtis, iš kurios išreiškiamas nuosėdis taikant Flemingo metodą, yra:

$$F_s = \frac{\tau_u s_s}{M_s d_s + s_s}, \quad (13)$$

čia d_s – polio skersmuo ties kamienu; M_s – bedimensis koeficientas.

Padu perimamos apkrovos lygtis, iš kurios išreiškiamas padu nuosėdis taikant Flemingo metodą, yra:

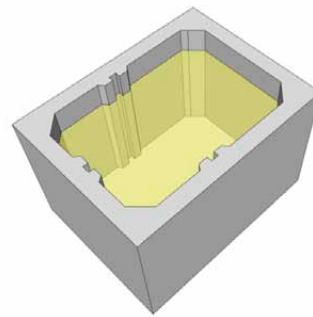
$$F_s = \frac{dE_b s_b \sigma_u}{0,6\sigma_u + dE_b s_b}. \quad (14)$$

Eksperimentinis polio pagrindo nuosėdžio tyrimas

0,33 m skersmens polių, įspraustų į 1,1, 1,4 ir 1,6 m gylį, standartiniai vertikaliosios statinės apkrovos bandymai atlikti 5,0 m pločio, 7,0 m ilgio ir 5,50 m gylio dirbtinio pagrindo duobėje (1 pav.). Duobė pripildyta orasausio, kvarcinio smėlio.

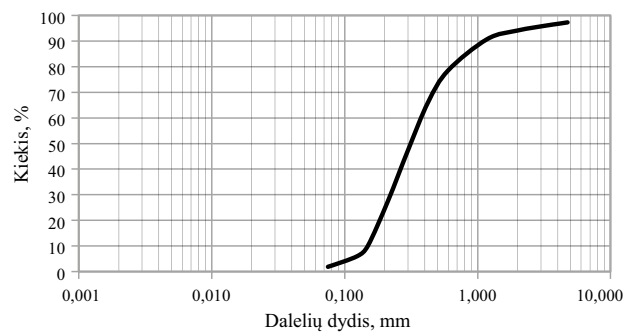
Dirbtinio pagrindo duobės smėliui piknometru nustatytas vidutinis kietųjų dalelių tankis $\rho_s = 2,68 \text{ g/cm}^3$ taikant žinomą metodiką (Prušinskienė 2012). Duobės gruntui nustatyti didžiausiasis e_{max} ir mažiausiasis e_{min} poringumo koeficientai taikant Amšiejaus pasiūlytą metodiką (Amšiejus *et al.* 2006). Didžiausiojo poringumo koeficientui nustatyti naudotas standartinis Prokto bandymas. Esant mažiausiajam poringumui nustatytas tankio ρ intervalas nuo 1,77 iki 1,84 g/cm^3 , o esant didžiausiajam poringumui – nuo 1,63 iki 1,69 g/cm^3 . Atliktu granulometrinės sudėties bandymu nustatyta, kad tirtas smėlis yra vienodos sanklodos smėlis (2 pav.).

Dirbtinio pagrindo duobės smėlis taip pat ištirtas kompresiniu aparatu. Bandinys buvo apkrautas maksimaliu 400 kPa slėgiu. Apkrovimas vykdytas 100 kPa/min greičiu. Naudoto kompresinio aparato žiedo skersmuo 71,4 mm, aukštis 33,9 mm. Odometrinis deformacijų modulis apskaičiuotas kirstinės metodu taikant žinomą metodiką (Amšiejus *et al.* 2006). Puriam smėliui odometrinis deformacijų modulis nustatytas esant įtempių kitimo intervalui nuo 1 iki 150 kPa ir nuo 30 iki 150 kPa. Šie intervalai



1 pav. Dirbtinio pagrindo polių bandymo duobė

Fig. 1. Artificial base pile testing pit



2 pav. Granulometrinės sudėties kreivė

Fig. 2. Particle size distribution curve

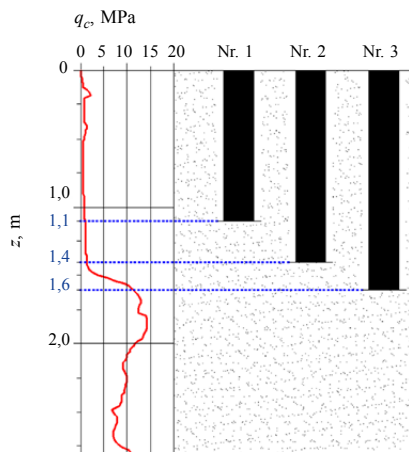
atitinka grunto natūralaus slūgsojimo sąlygų vertikalųjų įtempių reikšmes. Vidutinio tankumo smėliui odometrinis deformacijų modulis nustatytas esant įtempių kitimo intervalui nuo 50 iki 300 kPa, o tankiam smėliui nuo 100 iki 400 kPa. Apskaičiuotosios odometrinės deformacijų modulius ir kitų mechaninių bei fizinių savybių reikšmės pateiktos 2 lentelėje.

2 lentelė. Fizinių ir mechaninių savybių suvestinė lentelė

Table 2. Physical and mechanical properties summary table

Smėlis	Purus	Vidutinio tankumo	Tankus
$\rho_s, \text{g/cm}^3$	2,68	2,68	2,68
$\rho, \text{g/cm}^3$	1,63~1,69	1,69~1,77	1,77~1,84
e	0,645~0,583	0,583~0,518	0,518~0,456
I_D	0~0,33	0,33~0,67	0,67~1,00
q_c, MPa	<5	5~15	>15
E_o, MPa	3,11~6,71	15,67~16,17	33,23~36,03
E, MPa	12,86	23,68	40,91

Statinis dirbtinio pagrindo duobės zondavimo bandymas atliktas naudojant „PAGANI TG 63 -150“ zondavimo agregatą, kuris zondą spaudžia 2 cm/s greičiu. Bandymui naudota „Geotech“ bevielio zondavimo sistema – NOVA ir standartinis zondas, kurio pagrindo skersmuo 35,7 mm, posvyrio kampas lygus 60°. Statinio zondavimo duomenys pateikti 3 pav. Pagal statinio zondavimo duomenis išskirti smėlio tankumo I_D intervalai taikant žinomą metodiką (Gadeikis 2007).



3 pav. Dirbtinio pagrindo polių bandymo duobė ir statinio zondavimo duomenys

Fig. 3. Artificial base pile testing pit and cone penetration test results

Gautų rezultatų analizė

Palyginus išmatuotąsias ir apskaičiuotąsias polio nuosėdžių reikšmes, gauta didelė reikšmių sklaida. Pačiais konservatyviausiais Daso ir Flemingo metodais apskaičiuotų nuosėdžių reikšmės, lyginant su bandymo duomenimis, skyrėsi iki 30 kartų. Pauloso ir Daviso metodu apskaičiuoti nuosėdžiai gauti 2,2 karto didesni už bandymu nustatytus nuosėdžius (4 pav.).

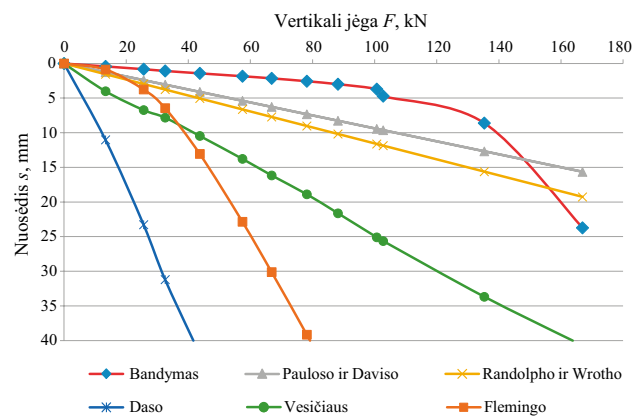
Lyginant išmatuotąsias ir apskaičiuotąsias polio nuosėdžių reikšmes nustatyta, kad esant mažam apkrovos laipsniui (polio pagrindui deformuojantis tiesiškai) Randolpho ir Wrotho bei Pauloso ir Daviso metodais apskaičiuoti nuosėdžiai gauti 1,6 karto mažesni už tikruosius. Na o Vesičiaus ir Flemingo metodais gauti nuosėdžiai buvo 5 kartus didesni, palyginti su eksperimento duomenimis (5 pav.).

Iš apskaičiuotųjų ir antruoju eksperimentu nustatytų pagrindo nuosėdžio reikšmių palyginimo matyti, kad sklaida sumažėjo. Pagal statinio zondavimo duomenis apskaičiuotų nuosėdžių reikšmės gautos artimiausios eksperimentinėms taikant Randolpho ir Wrotho, Pauloso ir Daviso bei Vesičiaus metodus (6 pav.). Santykis tarp šių reikšmių apie 2 kartai.

Sulyginus antrojo bandymo rezultatus su apskaičiuotaisiais nuosėdžiais, taikant tiesiogiai nustatytą deformacijų modulį, pastebėta, kad Randolpho ir Wrotho metodu nustatyti nuosėdžiai gauti didesni už eksperimento metu nustatytuosius (7 pav.).

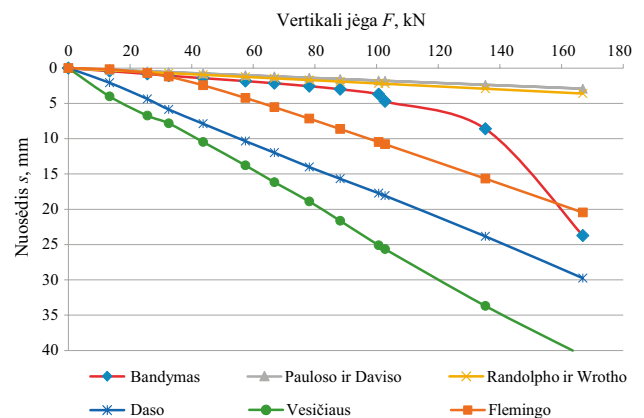
Iš trečiojo bandymo rezultatų sugretinimo matyti, kad visais metodais apskaičiuotų nuosėdžių reikšmių sklaida itin sumažėjo (8 pav.).

Skirtingai nuo pirmųjų dviejų bandymų, trečiojo bandymo rezultatų ir apskaičiuotųjų nuosėdžio reikšmių sklaida padidėjo. Didžiausią įtaką turėjo Daso metodu apskaičiuotų nuosėdžio reikšmių nutolimas nuo vidurkio, kuris siekė 4 kartus (9 pav.).



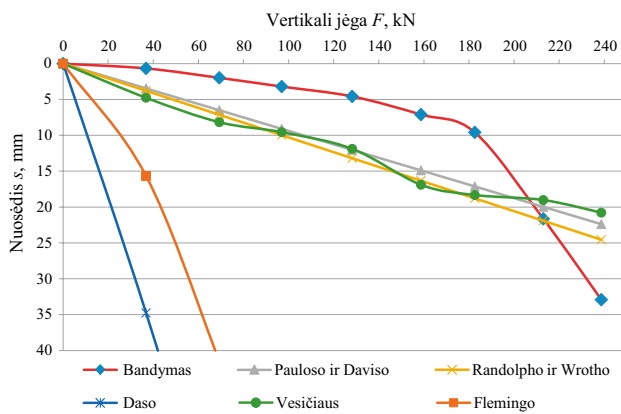
4 pav. Pirmojo polio bandymo (1,1 m gilyje) rezultatų palyginimas, kai deformacijų modulius apskaičiuotas pagal kūginį stiprį

Fig. 4. First pile test (at 1.1 m depth) results comparison, when deformation modulus is calculated according to conical strength



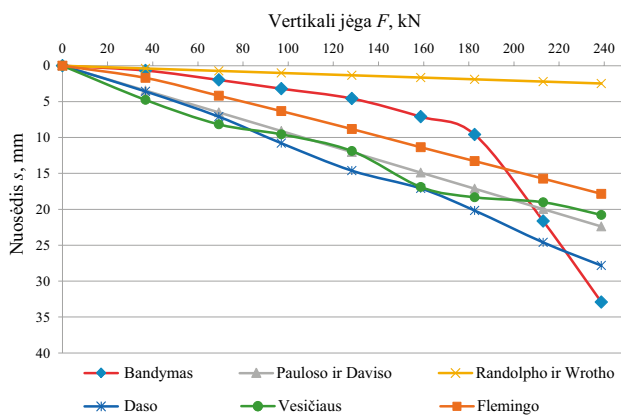
5 pav. Pirmojo polio bandymo (1,1 m gilyje) rezultatų palyginimas, kai deformacijų modulius nustatytas statiniu štapu

Fig. 5. First pile test (at 1.1 m depth) results comparison, when deformation modulus is determined by static stamp



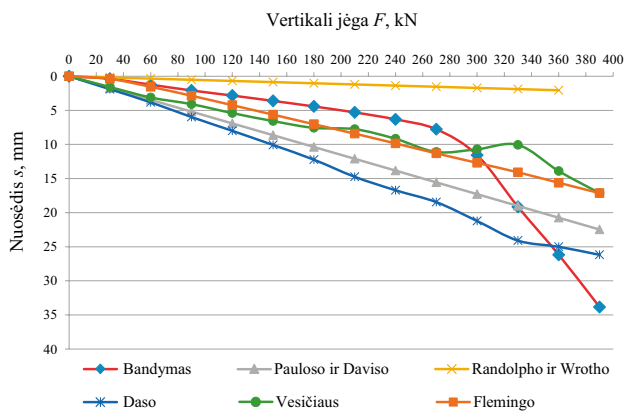
6 pav. Antrojo polio bandymo (1,4 m gylyje) rezultatų palyginimas, kai deformacijų modulis apskaičiuotas pagal kūginį stiprį

Fig. 6. Second pile test (at 1.4 m depth) results comparison, when deformation modulus is calculated according to conical strength



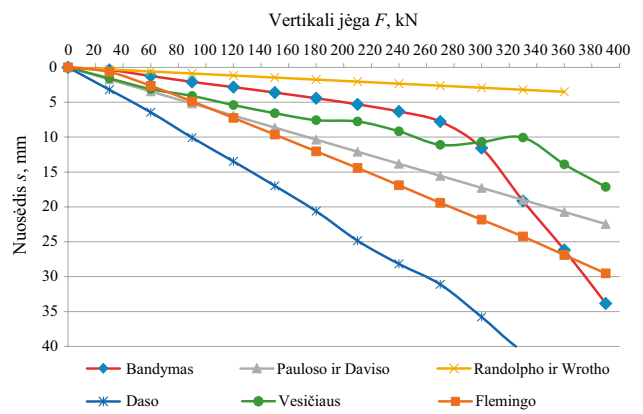
7 pav. Antrojo polio bandymo (1,4 m gylyje) rezultatų palyginimas, kai deformacijų modulis nustatytas statiniu štampu

Fig. 7. Second pile test (at 1.4 m depth) results comparison, when deformation modulus is determined by static plate



8 pav. Trečiojo polio bandymo (1,6 m gylyje) rezultatų palyginimas, kai deformacijų modulis apskaičiuotas pagal kūginį stiprį

Fig. 8. Third pile test (at 1.6 m depth) results comparison, when deformation modulus is calculated according to conical strength



9 pav. Trečiojo polio bandymo (1,6 m gylyje) rezultatų palyginimas, kai deformacijų modulis nustatytas statiniu štampu

Fig. 9. Third pile test (at 1.6 m depth) results comparison, when deformation modulus is determined by static plate

Išvados

Trumpų polių, kurių gylio ir skersmens santykis $<4,25$, smėlinio pagrindo nuosėdžiams skaičiuoti taikant deformacijų modulį, nustatytą tiesiogiai (statinio štampo metodu), gauta rezultatų sklaida itin mažesnė, palyginti su nuosėdžio reikšmėmis, gautomis taikant deformacijų modulį, nustatytą pagal statinio zondavimo duomenis.

Didėjant polių gylio ir skersmens santykiui, apskaičiuotųjų smėlinio pagrindo nuosėdžių reikšmių sklaida mažėja skaičiavimams taikant deformacijų modulį, nustatytą pagal statinio zondavimo duomenis.

Skaičiuojant trumpų polių smėlinio pagrindo nuosėdžius, taikant deformacijų modulį, nustatytą tiesiogiai, tiksliausi rezultatai gauti taikant Randolpho ir Wrotho, Pauloso ir Daviso metodus, kai polio gylio ir skersmens santykis buvo 3,3, Flemingo metodą, kai polio gylio ir skersmens santykis buvo 4,25, Vesičiaus metodą, kai šis santykis buvo 4,85.

Skaičiuojant trumpų polių smėlinio pagrindo nuosėdžius, taikant deformacijų modulį, nustatytą pagal statinio zondavimo duomenis, tiksliausi rezultatai gauti taikant Randolpho ir Wrotho, Pauloso ir Daviso metodus, kai polio gylio ir skersmens santykis buvo 3,3, Randolpho ir Wrotho, Pauloso ir Daviso bei Vesičiaus metodus, kai polio gylio ir skersmens santykis buvo 4,25, Vesičiaus ir Flemingo metodus, kai šis santykis buvo 4,85.

Literatūra

Ai, Z. Y.; Yue, Z. Q. 2009. Elastic analysis of axially loaded single pile in multilayered soils, *International Journal of Engineering Science* 47: 1079–1088.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijengsci.2008.07.005>

Amšiejus, J.; Mackevičius, R.; Medzvieckas, J.; Sližytė, D.; Stragys, V. 2006. *Gruntų fizinės ir mechaninės savybės. Laboratoriniai darbai*. Vilnius: Technika.

- Azizi, F. 2000. *UK Applied analyses in Geotechnics*. University of Plymouth.
- Bowles, J. E. 1997. *Foundation analysis and design*. Singapore: McGraw-Hill.
- Das, B. M. 2007. *Principles of foundation Engineering*. Wisconsin: Thomson.
- Dijkstra, J.; Broere, W.; Heeres, O. M. 2011. Numerical simulation of pile installation, *Computers and Geotechnics* 38: 612–622. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compgeo.2011.04.004>
- Fleming, K. 1992. A new method for single pile settlement prediction and analysis, *Geotechnique* 42(3): 411–425. <http://dx.doi.org/10.1680/geot.1992.42.3.411>
- Gadeikis, S. 2007. *Inžinerinės geologijos lauko tyrimo metodai*. Vilnius: Vilniaus universitetas.
- Poulos, H. G.; Davis, E. 1980. *Pile foundation analysis and design*. New York: Wiley and Sons.
- Poulos, H. G. 1999. Common procedures for foundation settlement analysis – are they adequate? Keynote lecture, in *Proc. 8th Australia – New Zealand Conf. Geomechanics*, February 1999, Hobart, Australia, 1–25.
- Prušinskienė, S. 2012. *Smėlio gruntų ypatumai ir jų tyrimo metodai*. Vilnius: Technika. <http://dx.doi.org/10.3846/1314-S>
- Randolph, M.; Wroth, C. 1978. Analysis of deformation of vertically loaded piles, *Journal of Geotechnical Engineering Division* 104(12): 1465–1488.
- Trickey, S. A. 2005. *Three-dimensional finite element modeling of buried pipes including frost actions*: Master thesis. Queen's university, Kingston.
- Vesic, A. S. 1977. *Design of Pile Foundations*. National Cooperative Highway Research Program Synthesis of Practice No. 42. Washington.
- Wang, Z.; Xie, X.; Wang, J. 2012. A new nonlinear method for vertical settlement prediction of a single pile and pile groups in layered soils, *Computers and Geotechnics* 45: 118–126. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compgeo.2012.05.011>

EXPERIMENTAL AND THEORETICAL RESEARCH OF DEFORMATION OF VERTICALLY LOADED DISPLACEMENT PILES IN SAND SOIL

T. Statkus, V. Martinkus

Abstract

The displacement piles are one of the oldest type of foundation not just in Lithuania, but also all over the world. Stiff, glacial origin sands lay not far from the ground surface in Lithuania as opposed to the rest of the Western Europe, therefore this kind of foundation is carried out into practice very often in our country. For geotechnical engineers it is very hard to decide which method should be applied, when there is no local experience. Five approaches are discussed on this paper and the results of three single piles' tests are compared. The full scale single piles' tests were carried out at the artificial bearing stratum pit. Piles' diameter was 330 mm. The ratio of the piles' depth and diameter were 3.3, 4.4 and 4.8. In conclusion of this paper the recommendations are given, which should be applied in different cases using mentioned above methods.

Keywords: displacement pile, sand, bearing stratum, settlement, vertical load test, bearing capacity.