

KŪGINIO STIPRIO IR GILIOJO SPRAUSTINIO PAMATO PAGRINDO
LAIKOMOSIOS GALIOS BANDYMU, TAIP PAT KITAIŠ METODAIS
NUSTATYTŲ DEFORMACIJŲ MODULIŲ PRIKLAUSOMYBĖSTautvydas Statkus¹, Vaidas Martinkus²*Vilniaus Gedimino technikos universitetas**El. paštas: ¹Tautvydas.Statkus@vgtu.lt; ²Vaidas.Martinkus@dok.vgtu.lt*

Santrauka. Šio straipsnio tikslas yra nustatyti priklausomybes tarp grunto kūginio stiprio ir grunto deformacijų moduliu, gautų iš giliojo pamato pagrindo laikomosios galios bandymų duomenų, taip pat grunto tyrimo išspraudžiamaisiais horizontaliojo slėgio matuokliais bei kompresiniu aparatu. Straipsnyje pateiktos tiriamojo orasausio smėlinio grunto fizinės ir mechaninės savybės nustatytos laboratoriniais ir lauko tyrimo metodais. Atlikus regresinę bandymų duomenų analizę straipsnio išvadose pateiktos minėtų dydžių priklausomybės. Tyrimo duomenys gali būti panaudoti sudarant praktinį metodą giliųjų sprausitinių pamatų smėlinių pagrindų nuosėdziams prognozuoti.

Reikšminiai žodžiai: sprausitinis pamatas, kūginis stipris, išspraudžiamieji slėgio matuokliai, deformacijų modulis, smėlis, kompresinis aparatas.

Įvadas

Tikrinant giliųjų sprausitinių pamatų ir kitų geotechninių konstrukcijų tinkamumo ribinius būvius vienas iš dažniausiai skaičiavimuose naudojamų dydžių yra grunto deformacijų modulis E . Grunto deformacijų modulis tiksliausiai nustatomas lauko tyrimo metodais, kurie taikomi lauko sąlygomis gruntą per šampą apkraunant statine apkrova. Giliųjų pamatų pagrindo deformacijų modulis gali būti nustatytas iš pamato bandymo vertikaliojo statine apkrova grafiko, darant prielaidą, jog pamato pagrindą veikiant gana mažiems įtempimams tarp gruntą veikiančių įtempių ir pagrindo deformacijų pasireiškia tiesinė priklausomybė. Tačiau tai daug darbo ir laiko sąnaudų reikalaujantys metodai, kuriais grunto savybės nustatomos nedideliame gylyje ir tik lokaliuose tiriamojo grunto masyvo vietose.

Dažnai grunto deformacinėms savybėms nusakyti naudojamas kompresiniu aparatu (odometru) nustatomas deformacijų modulis E_0 . Žinant grunto tipą, jo normalinių įtempių kitimo intervalą ir santykinės deformacijos arba poringumo koeficiento pokytį, pagal bandymo duomenis galima apskaičiuoti grunto odometrinį deformacijų modulį E_0 . Tirdami gruntą kompresiniu aparatu, jis deformuojasi viena kryptimi (Amšiejus *et al.* 2006; Medzvieckas *et al.* 2004), todėl jo reikšmės skiriasi nuo lauko metodais nustatytų grunto deformacijų modulių reikšmių. Smėlinio

grunto spūdomo tyrimui kompresiniu aparatu paimti nesuardytos struktūros bandinius yra techniškai sudėtingas uždavinys.

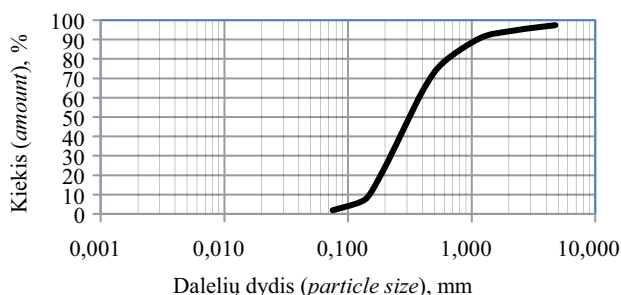
Todėl vis dažniau taikomi greitesni ir ekonomiškai efektyvesni gruntų lauko tyrimo metodai, kuriais netiesiogiai galima nustatyti grunto deformacijų modulį E . Vienas tokių metodų yra statinis zondavimas, arba penetracija, kai nustatomas grunto kūginis q_c ir šoninis f_s stipriai. Zondavimas – tai metalinio strypo (zondo) su specialiu antgaliu (kūgiu) įgilinimas į gruntą (Gadeikis 2007).

Dar vienas efektyvus, tačiau retai taikomas lauko tyrimo metodas yra grunto zondavimas išspraudžiamaisiais horizontalaus slėgio matuokliais. Jie gali būti naudojami stebėti horizontalius grunto slėgio pokyčius, atsirandančius dėl geotechninių konstrukcijų poveikio grunto masyvui (Lutenegger 2012). Spraudžiant slėgio matuoklius į gruntą, proceso metu taip pat galima matuoti horizontalaus slėgio pokytį, kurį sukelia gamtinis grunto slėgis.

Šio straipsnio tikslas yra nustatyti priklausomybes tarp grunto kūginio stiprio ir grunto deformacijų modulių, gautų iš grunto tyrimo išspraudžiamaisiais horizontalaus slėgio matuokliais, kompresiniu aparatu ir giliojo pamato laikomosios galios bandymu. Šių dydžių tarpusavio priklausomybių tiesinės lygtys pateikiamos rezultatų analizėje.

Tyrimo aprašymas

Laboratoriniams bandymams paimti suardytos struktūros orasausio smėlinio grunto bandiniai, kuriems laboratorijoje nustatyta granulimetrinė sudėtis ir pavadinimas (ISO 14688-1 2002; ISO 14688-2 2004; LST 1360.1: 1995). Granulimetrinės sudėties kreivė pateikta 1 pav.



1 pav. Granulimetrinės sudėties kreivė
Fig. 1. Particle size distribution curve

Iš 1 pav. pateiktos kreivės nustatyta, kad tai smėlis – Sa (ISO 14688-2 2004). Tirto grunto atskirų frakcijų vidutiniai kiekiai pateikti 1 lentelėje.

1 lentelė. Smėlinio grunto frakcijos
Table 1. Fractions of sand soil

Dydis, mm	0,02–0,06	0,06–0,2	0,2–0,6	0,6–2,0	2,0–6,3
Kiekis, %	0,71	26,27	52,00	15,84	5,18

Piknometru nustatytas vidutinis kietųjų dalelių tankis $\rho_s = 2,68 \text{ g/cm}^3$ pagal (Prušinskienė 2012) pateiktą metodiką.

Nustatyti tirto orasausio smėlio didžiausiasis e_{\max} ir mažiausiasis e_{\min} poringumo koeficientai pagal (Amšiejus *et al.* 2006) pateiktą metodiką. Didžiausiojo poringumo koeficientui nustatyti naudotas Proktoro cilindras. Gruntas tankintas trimis sluoksniais, iš 0,3 m aukščio mėtant 2,5 kg masės svarmenį. Vienam sluoksniui sutankinti atlikti 25 smūgiai. Pagal gautus rezultatus apskaičiuoti orasausio smėlio tankiai ρ . Esant mažiausiajam poringumui nustatytas tankio ρ intervalas nuo 1,77 iki 1,84 g/cm^3 , o didžiausiajam poringumui nuo 1,63 iki 1,69 g/cm^3 .

Poringumo koeficientas e išreikštas iš smėlinių gruntų tankumo rodiklio intervalų, pateiktų šaltinyje (Šimkus 1984). Apskaičiuotosios poringumo koeficiento reikšmės pateiktos 2 lentelėje.

Bandant gruntą kompresiniu aparatu bandinys apkrautas maksimaliu 400 kPa slėgiu. Apkrovimas atliktas 100 kPa/min greičiu. Naudoto kompresinio aparato žiedo

skersmuo 71,4 mm, aukštis 33,9 mm. Odometrinis deformacijų modulis apskaičiuotas kirstinės metodu pagal formulę (Amšiejus *et al.* 2006):

$$E_0 = \frac{(1 + e_0)\Delta\sigma_z}{\Delta e}, \quad (1)$$

čia: e_0 – pradinis poringumo koeficientas; $\Delta\sigma_z$ – vertikaliųjų įtempių pokytis; Δe – poringumo koeficiento pokytis.

Puriam smėliui odometrinis deformacijų modulis nustatytas esant įtempių kitimo intervalui nuo 1 iki 150 kPa ir nuo 30 iki 150 kPa. Šie intervalai atitinka grunto natūralaus slūgsojimo sąlygų vertikaliųjų 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 odometrinio deformacijų modulių reikšmės pateiktos 2 lentelėje.

Lauko tyrimai atlikti geotechnikos mokslo laboratorijos, polių bandymo stende (2 pav.).



2 pav. Geotechnikos mokslo laboratorijos giliųjų pamatų bandymo stendas

Fig. 2. Pile testing stand in the geotechnical science laboratory

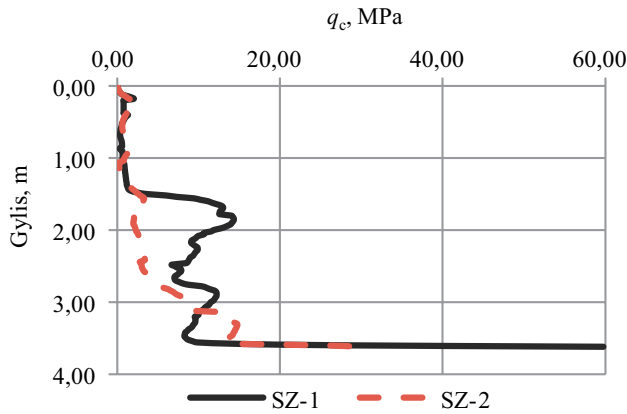
Giliojo pamato laikomosios galios bandymai atlikti modelinį pamatą į gruntą įspraudus 1,1, 1,4 ir 1,6 m gylį. Laikomosios galios kreivė pateikta 4 pav. Deformacijų modulis E apskaičiuotas iš giliojo sprausinio pamato laikomosios galios bandymo rezultatų taikant kirstinės metodu pagal formulę (Amšiejus *et al.* 2006):

$$E = \frac{(1 - \nu^2)w_{\text{const}}\sigma_{zp0}\sqrt{A}}{s}, \quad (2)$$

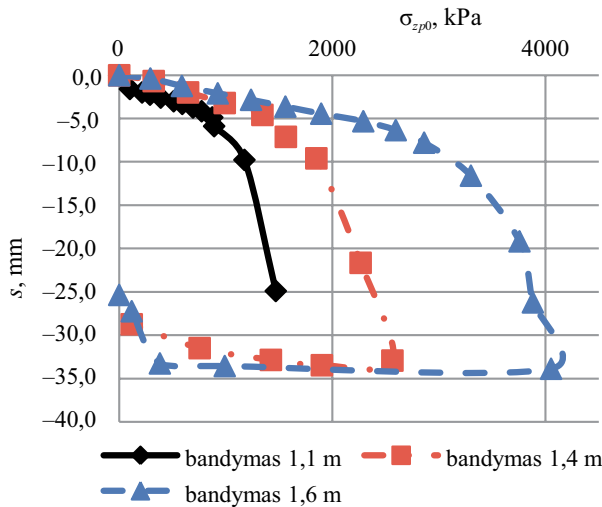
čia: ν – grunto skersinių deformacijų koeficientas; w_{const} – standaus pamato formos koeficientas; \sqrt{A} – pamato pado plotas; σ_{zp0} – papildomi įtempiai; s – deformacija, sukėlusios įtempis.

Apskaičiuotosios deformacijų modulių reikšmės pateiktos 2 lentelėje.

Statinis zondavimas atliktas naudojant „PAGANI TG 63 -150“ zondavimo agregatą, kuris zondą spaudžia 2 cm/s greičiu (LST EN 1997-2). Bandymui naudota „Geotech“ bevielio zondavimo sistema – NOVA ir standartinis zondas (Mlynarek *et al.* 2012), kurio pagrindo skersmuo 35,7 mm, posvyrio kampas lygus 60°. Statinio zondavimo duomenys pateikti 3 pav. Pagal statinio zondavimo duomenis išskirti smėlių tankumo I_D intervalai pagal (Gadeikis 2007) nurodytą metodiką.



3 pav. Statinio zondavimo bandymų duomenys
Fig. 3. The results of the cone penetration test



4 pav. Giliojo spraustinio pamato laikomosios galios bandymo kreivės
Fig. 4. Load testing curves of a deep displacement pile

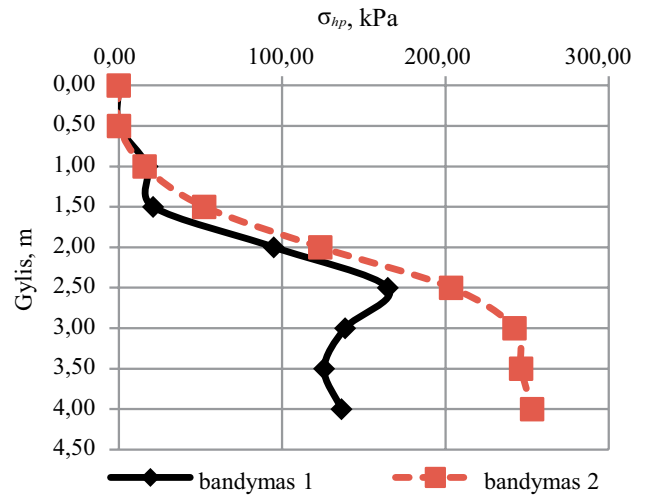
Grunto horizontalus slėgis skirtingame gylyje išmatuotas naudojant „Geokon 4830“ virpančiosios stygos metodu veikiančius matuoklius. Prietaiso skersmuo 50 mm, aukštis 600 mm, jautriosios zonos aukštis 200 mm, plotis 50 mm, storis 9 mm. Spraudžiant horizontaliuosius slėgio matuoklius 2 cm/s greičiu į pasirinktą gylį, proceso metu

liauną membraną veikė horizontalus grunto slėgis, kuris atliekant bandymą užrašytas kas 6 sekundes (Marchetti *et al.* 2001; Lutenegger *et al.* 2012). Bandymo duomenys pateikti 5 pav. Taikant tampriųjų deformacijų metodą (Šimkus 1984) apskaičiuotas išspraudžiamųjų slėgio matuoklių deformacijų modulis E_p pagal formulę:

$$E_p = \frac{(1 - \nu^2)wb\sigma_{hp}}{s}, \quad (3)$$

čia: w – formos koeficientas; b – jautrios zonos plotis; σ_{hp} – horizontalūs įtempiai stūmimo metu.

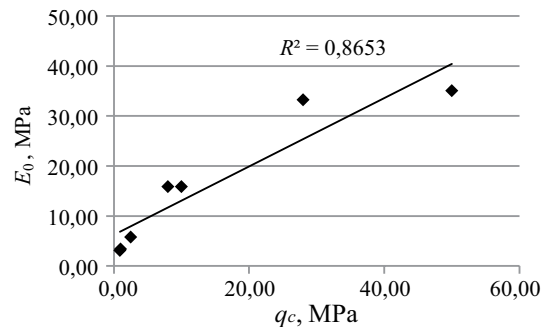
Apskaičiuotosios ištumiamųjų slėgio matuoklių deformacijų modulių reikšmės E_p pateiktos 2 lentelėje.



5 pav. Horizontalaus slėgio kitimo kreivės
Fig. 5. Results of the thrust test

Bandymų rezultatai

Sugretinus tirto orausio smėlinio grunto kūginio stiprio q_c ir kompresiniu aparatu nustatytų odometrinių deformacijos modulių E_0 reikšmes nustatyta, kad priklausomybė tarp šių dydžių yra tiesinė (6 pav.).



6 pav. Odometrinių deformacijų modulio ir kūginio stiprio priklausomybė

Fig. 6. Relation between the oedometric modulus of deformation and cone tip resistance

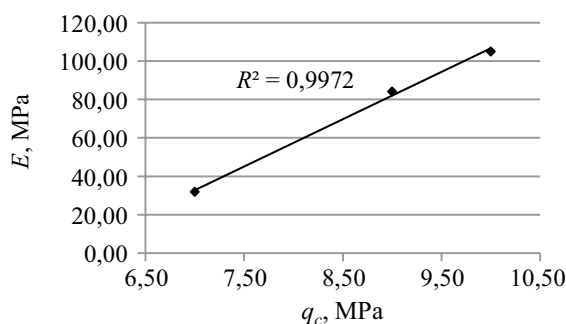
Laboratoriniais ir lauko tyrimo metodais nustatytos tiriamojo grunto pagrindinės fizinės ir mechaninės savybės pateiktos 2 lentelėje.

2 lentelė. Fizinių ir mechaninių savybių suvestinė lentelė

Table 2. Summary of physical and mechanical properties

Smėlis	Purus	Vidutinio tankumo	Tankus
ρ_s , g/cm ³	2,68	2,68	2,68
ρ , 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_0 , MPa	3,11~6,71	15,67~16,17	33,23~36,03
E_p , MPa	0,005~0,510	2,816~2,893	1,801~5,509
E , MPa	17,88~19,54	~35,28	~60,69

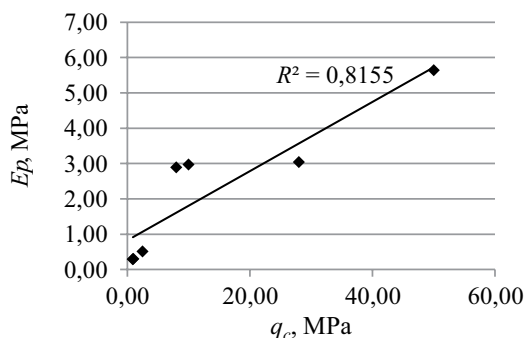
Sugretinus to paties grunto kūginio stiprio q_c ir iš giliojo spraustinio pamato laikomosios galios grafiko gautų deformacijos modulį E reikšmes nustatyta, kad priklausomybė tarp šių dydžių yra tiesinė (7 pav.).



7 pav. Deformacijų modulio ir kūginio stiprio priklausomybės

Fig. 7. Relation between the deformation modulus and cone tip resistance

Palyginus to paties smėlinio grunto kūginio stiprio q_c ir iš horizontaliųjų slėgio matuoklių bandymo duomenų gautų deformacijos modulį E reikšmes nustatyta, kad priklausomybė tarp šių dydžių yra tiesinė (8 pav.).



8 pav. Įspraudžiamųjų slėgio matuoklių deformacijų modulio ir kūginio stiprio priklausomybė

Fig. 8. Relation between the deformation modulus of push-in pressure load cells and cone tip resistance

Pastebėta, kad įspaudus į tam tikrą gylį ir palikus apkrautą spaudimo įrangą horizontalus slėgis palaipsniui mažėja ir po 5–10 min stabilizuojasi. Tiek laiko pakanka, kad įvyktų grunto sutankėjimo procesas.

Išvados

Atlikus regresinę tyrimo duomenų analizę nustatyta tiesinė priklausomybė tarp odometrinių deformacijų modulio E_0 ir kūginio stiprio q_c orasausiuose smėliuose:

$$E_0 = f(q_c) = 0,6961q_c + 6,3186. \quad (4)$$

Taip pat nustatyta, kad priklausomybė tarp deformacijų modulio E , nustatyto iš giliojo spraustinio pamato pagrindo duomenų, ir kūginio stiprio q_c orasausiuose smėliuose yra tiesinė:

$$E = f(q_c) = 24,601q_c + 139,46. \quad (5)$$

Sugretinus deformacijų modulio E_p , nustatyto iš horizontaliųjų slėgio matuoklių bandymo duomenų, ir statinio zondavimo duomenis nustatyta tiesinė kūginio stiprio q_c ir deformacijų modulio priklausomybė E_p :

$$E_p = f(q_c) = 0,0979q_c + 0,8295. \quad (6)$$

Rekomenduojama papildyti grunto tyrimo duomenų imtį tam, kad būtų galima patikslinti gautąsias regresijos lygtis ir tiksliau apibrėžti grunto kūginio stiprio ir straipsnyje aprašytų deformacijų modulį sąryšį.

Tyrimo rezultatai gali būti panaudoti sudarant praktinį metodą giliųjų spraustinių pamatų smėlinių pagrindų nuosėdziams prognozuoti.

Literatūra

- Amšiejus, J.; Mackevičius, R.; Medzvieckas, J.; Sližytė, D.; Stragys, V. 2006. *Gruntų fizinės ir mechaninės savybės: laboratoriniai darbai* [Soil mechanics. Laboratory testing manual]. Vilnius: Technika. 164 p. <http://dx.doi.org/10.3846/855-S>
- BS 410-1:2000. Test sieves. Technical requirements and testing. Part 1: Test sieves of metal wire cloth.
- Gadeikis, S. 2007. *Inžinerinės geologijos lauko tyrimų metodai* [Engineering geology field research methods]. Vilnius: Vilniaus universitetas. 63 p.
- ISO 14688-1, 2002. Geotechnical investigation and testing – Identification of soil. Part 1: Identification and description. 12 p.
- ISO 14688-2, 2004. Geotechnical investigation and testing – Investigation and classification of soil. Part 2: Principles for a classification. 13 p.
- ISO 3310-2:1999. Test sieves. Technical requirements and testing. Part 2: Test sieves of perforated metal plate.

- Yu, H. S.; Schnaid, F.; Collins, I. F. 1997. Analysis of Cone Pressuremeter Tests in Sands, *ASCE Jnl GGE* 123(9): 886–888.
- LST 1360.1: 1995. 4-as skyrius. Granulimetrinės sudėties nustatymas sijoiant.
- LST 1360.9: 1996. Automobilių kelių gruntai. Bandymo metodai. Pavyzdžių paėmimas.
- LST EN 1997-2. 2008. Eurokodas 7. Geotechninis projektavimas. 2 dalis. Pagrindo tyrinėjimai ir bandymai, LSD. 180 p.
- Lutenegger, A. J. 2012. Field response of push-in earth pressure cells for instrumentation and site characterization of soils, *Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA* 43(4): 24–33.
- Marchetti, S.; Monaco, P.; Totani, G.; Calabrese, M. 2001. The Flat Dilatometer Test (DMT) in Soil Investigations, *International Conference on in situ Measurement of Soil Properties*. Bali, Indonesia.
- Medzvieckas, J.; Sližytė, D.; Stragys, V. 2004. *Soil mechanics: Laboratory testing manual*. Vilnius: Technika. 79 p.
- Mlynarek, Z.; Gogolik, S.; Poltorak, J. 2012. The effect of varied stiffness of soils layers on interpretaion of CPTU penetration characteristics, *Archives of Civil and Mechanical Engineering* 12: 253–264. <http://dx.doi.org/10.1016/j.acme.2012.03.013>
- Prušinskienė, S. 2012. *Smėlio gruntų ypatumai ir jų tyrimo metodai*. Vilnius: Technika. 184 p. <http://dx.doi.org/10.3846/1314-S>
- R 33-02. 2002. Automobilių kelių inžineriniai geologiniai tyrimai. 60 p.
- Šimkus, J. 1984. *Gruntų mechanika, pagrindai ir pamatai* [Soil mechanics, basement and foundation]. Vilnius: Mokslas. 266 p.

THE RESULTS OF CORRELATION BETWEEN CONE TIP RESISTANCE, PUSH-IN PRESSURE LOAD CELLS AND A COMPRESSION DEVICE

T. Statkus, V. Martinkus

Abstract

The article is aimed at identifying the correlation between soil cone resistance and soil deformation modules determined referring to the results of tested data on deep foundation bearing capacity, the push-in pressure cell and the use of an oedometer. Physical and mechanical properties of soil have been determined conducting laboratory and field tests. After regression analyses, the correlation between cone resistance and different kinds of soil deformation modules have been given. The results of the experimental study can be used for predicting a practical approach to deep foundation in cohesionless soil.

Keywords: displacement pile, cone resistance, push-in pressure load cell, deformation modulus, sand, oedometer.