

UNIVERSALIAUS SPŪDUMO IR PAPRASTOJO KIRPIMO APARATO,
KONTAKTO VIETOS TARP PORINIO AKMENS IR GRUNTO
TIKSLESNIS NUSTATYMO BŪDASŠarūnas Skuodis¹, Agata Šlečkuvienė²

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas: ¹Sarunas.Skuodis@vgtu.lt; ²Agata.Sleckuviene@vgtu.lt

Santrauka. Nagrinėjamos Baltijos jūros pakrantės smėlio ties Klaipėdos pakrante spūdumo savybės, naudojant dvi skirtingas bandymų metodikas. Pirmoji bandymų metodika paremta slėgio sukūrimu bandinio viršuje, norint užtikrinti kontaktą tarp grunto ir apkrovos stūmoklio porinio akmens. Antroji metodika paremta nustatant kontakto vietą pagal vertikalius prietaiso poslinkius. Grunto bandinys apkraunamas didžiausia 400,0 kPa apkrova, apkrovos pridėjimo greitis 400,0 kPa/min, rezultatų registravimas vykdomas kas 1,0 s. Sukuriant kontaktą tarp grunto ir apkrovos stūmoklio porinio akmens, sudarant vertikalių slėgį (~10 kPa) bandinio viršuje, yra netiksliai apskaičiuojamas bandinio aukštis. Kontakto aukštis nėra lygus pradiniam bandinio aukščiui. Tirtu grunto atveju šie aukščiai skiriasi ~0,80 mm. Šiuo atveju bendras bandinio aukščio pokytis ~1,33 mm. Naudojantis prietaiso aukščio kalibravimo rezultatais prieš bandymą, sukuriama kontakto tarp grunto ir apkrovos stūmoklio porinio akmens aukštis yra nustatoma tiksliai. Antruoju atveju slėgis kontakto plokštumoje neviršija 1,0 kPa ir grunto spūdumo metu tiksliai įvertinamas bandinio aukščio pokytis. Gautas bendras bandinio aukščio pokytis ~1,08 mm.

Reikšminiai žodžiai: kontaktas su gruntu, kompresinis bandymas, grunto mechaninės savybės, grunto spūdumas, odometras.

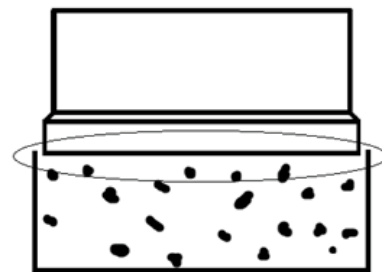
Ivadas

Nustatant grunto spūdumo ir (arba) kerpamojo stiprumo mechanines savybes, gaunami rezultatai priklauso nuo pradinio grunto tankio ρ . Kuo tankesnis gruntas, tuo mažesnis grunto spūdumas, ir atvirkščiai.

Prieš apspaudžiant gruntą tam tikra apkrova ir apkrovimo greičiu, reikia žinoti bandinio pradinį aukštį. Atliekant grunto apspaudimą senesnio tipo odometrais K-1 ir PL-9 (Šimkus *et al.* 1973; Skuodis, Amšiejus 2011; Martinkus *et al.* 2012; Skuodis, Kelevišius 2011; Valiūnas 2003; Amšiejus *et al.* 2010) arba kirpimo aparatais SPF-2 ir PS-10 (Doroševs, Stelmokaitis 2011; Alikonis 1981), kur apkrova pridedama rankiniu būdu, tiksliai negalima pasakyti, kiek pakinta pradinis bandinio aukštis nustatant kontaktą tarp grunto ir apkrovos stūmoklio porinio akmens. Šiuo atveju, nežinant poslinkio vertės, kuri atsiranda dėl kontakto užtikrinimo tarp grunto ir jį slėgiančio porinio akmens, lieka nežinomas ir pakitęs bandinio aukštis, pagal kurį yra apskaičiuojamas grunto tankis ir poringumo koeficientas.

Šio straipsnio tikslas – patikslinti apkrovos stūmoklio porinio akmens pradinio kontakto su gruntu bandinio metodiką (1 pav.), t. y. tiksliai aprašyti kontakto aukštį. Tikslus kontakto aukščio aprašymas yra labai aktualus atliekant pūrus smėlinio grunto spūdumo ir (arba) kirpimo bandymus.

Kontakto tarp grunto ir jį slėgiančio porinio akmens tiksliai aprašymui panaudotas universalus grunto spūdumo ir paprastojo kirpimo aparatas ADS 1/3. Atlikti programinės įrangos (valdančios bandymo eiga) pakeitimai, kurie leidžia įvertinti tikslų kontakto metu sukuriamą bandinio poslinkį. Taip pat sukurta papildoma detalė, kuri leidžia kalibruoti prietaiso vertikalius poslinkius prieš kiekvieną bandymą, tai užtikrina didesnę vertikalių poslinkių nuskaitymo rezultatų tikslumą.



1 pav. Apkrovos stūmoklio ir grunto kontakto vieta
Fig. 1. The initial contact between porous stone and soil

Tiksliau nustatant bandinio kontakto aukštį, atlikti pūrus smėlinio grunto spūdumo tyrimai ir palyginti rezultatai su gautais, nevertinant tikslaus kontaktinio aukščio tarp apkrovos stūmoklio porinio akmens ir grunto.

Eksperimentinio tyrimo aprašymas

Eksperimentiniams bandymams atlikti naudojamas Baltijos jūros pakrantės orasausis smėlinis gruntas ties Klaipėdos pakrante, jis išdžiovinamas pagal LST 1360.3: 1995 ir suskirstomas į atskiras frakcijas (LST 1360.1: 1995; ISO 14688-2, 2004; LST 1331: 2002; EN ISO 14688-1, 2002; LSTEN 1997-2, 2008). Smėliniam gruntui sijoti naudojami sietai atitinka ISO 3310-2:1999 ir BS410-1:2000 standartus. Šio grunto granulometrinė sudėtis pateikiama Skuodžio ir Kavrus straipsnyje (2012).

Nustatant grunto granulometrinę sudėtį, sijojimo bandymo metu naudotos rutulio formos guminės sferos, kurios užtikrina didesnę sijojimo tikslumą. Taip pat dėl atsirandančių dinaminių apkrovų guminės sferos nesuardo bandymo metu atskirų grunto dalelių (Skuodis, Norkus 2012).

Tyrimams atlikti naudojamas didžiausio poringumo smėlinis gruntas, kur bandinio masė $m = \sim 202,783$ g. Bandinio aukštis ometre $h = 3,39$ cm, skersmuo $D = 7,14$ cm.

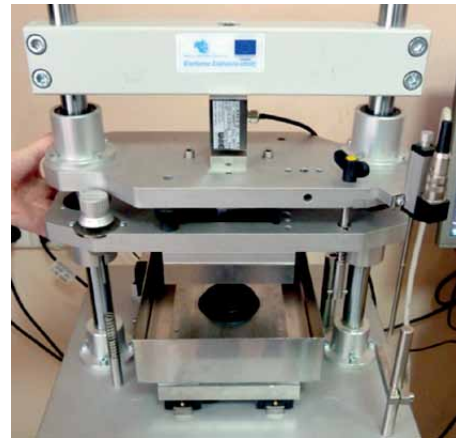
Atlikti dviejų skirtingų bandymo metodikų smėlinio grunto spūdumo bandymai kompresiniu aparatu (odometru). Pirmosios bandymo metodikos eiga (Skuodis *et al.* 2012):

1. Paruošiamas puraus grunto bandinys ir išmatuojamas bandinio aukštis.
2. Apkrova pridedama ant bandinio taikant slėgio išraišką, t. y. kontaktas yra užtikrinamas ne mažesniu kaip 5,0~10,0 kPa pradiniu vertikaliu slėgiu bandinio viršuje.
3. Pradedamas bandymas, t. y. pridedama apkrova pastoviu 400 kPa/min greičiu, iki kol pasiekama 400 kPa apkrovos riba.

Naudojant pirmąją bandymo metodiką, nėra žinomas tikslus bandinio aukščio pokytis, atsirandantis dėl kontakto užtikrinimo, sukuriant vertikalią slėgį bandinio viršuje.

Antrosios bandymo metodikos eiga:

1. Paruošiamas puraus grunto bandinys ir išmatuojamas bandinio aukštis.
2. Prietaiso aukštis kalibruojamas naudojant pilnavidurį plastikinį cilindą (2 pav.), kurio aukštis yra žinomas (20 mm). Pagal šį žinomą aukštį apskaičiuojamas tikslus bandinio ir prietaiso apkrovos stūmoklio porinio akmens kontakto aukštis. Šiuo atveju kontakto vietoje nėra jokio pradinio slėgio bandinio viršuje.
3. Pradedamas bandymas, t. y. pridedama apkrova pastoviu 400 kPa/min greičiu, iki kol pasiekama 400 kPa apkrovos riba.



2 pav. Aukščio kalibravimas prieš spūdumo bandymą (Wille Geotec Group 2010)

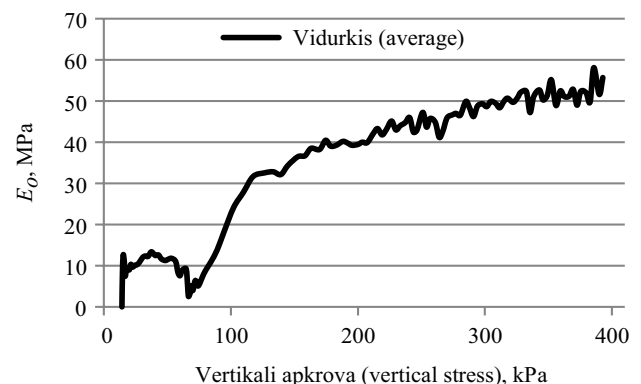
Fig. 2. Height calibration before compression test (Wille Geotec Group 2010)

Naudojant antrąją bandymo eigos metodiką yra išvengiama bandinio aukščio paklaidos, atsirandančios apkrovos stūmoklio porinio akmens ir grunto kontakto metu. Taip pat itin sumažinama prietaiso vertikaliųjų poslinkių paklaida, nes prietaiso vertikalus poslinkiai kalibruojami prieš kiekvieną grunto spūdumo ir (arba) kirpimo bandymą.

Taikant abi bandymo metodikas, bandymo metu rezultatai registruojami apytiksliai kas $\sim 1,0$ s.

Gautų rezultatų analizė

Tirto natūralios sudėties grunto spūdumo rezultatai, esant dviem skirtingiems kontakto tarp apkrovos stūmoklio porinio akmens ir grunto būdams, pateikiami grafiškai 3 pav. (kai kontaktas sukuriamas pridedant slėgį bandinio viršuje) ir 4 pav. (kai kontaktas sukuriamas kalibruojant bandinio aukštį).

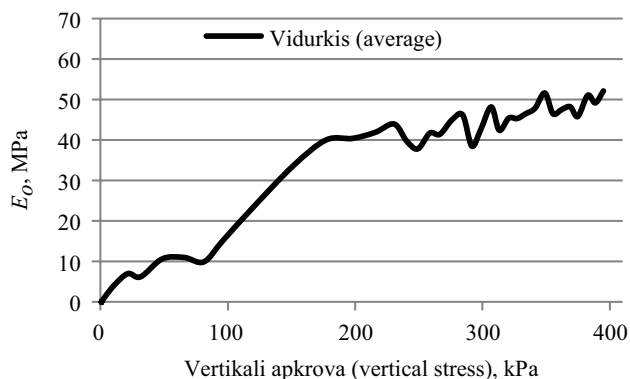


3 pav. Odometrinio deformacijų modulio priklausomybė nuo vertikalios apkrovos

Fig. 3. The oedometric modulus of deformation versus vertical stress

Kai kontaktas tarp grunto ir jį slegiančio porinio akmens sukuriama pridėdant pradinį slėgį (~10,0 kPa) bandinio viršuje, gaunama mažesnė rezultatų sklaida (4 pav.).

Analizuojant 3 ir 4 pav. pateiktas grunto deformacines kreives, matyti, kad šių kreivių pobūdis yra panašus, tik skiriasi kreivių pradžios taškai.

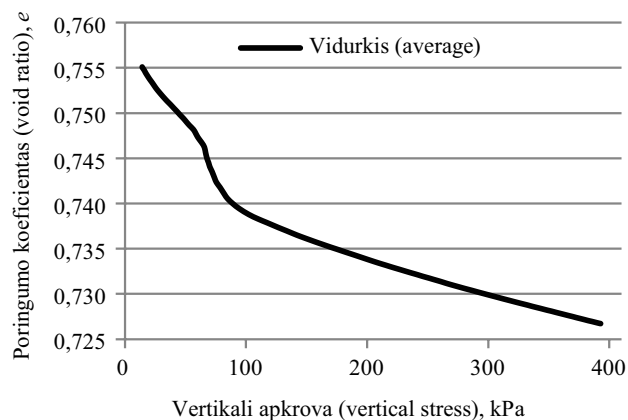


4 pav. Odometrinio deformacijų modulio priklausomybė nuo vertikalios apkrovos

Fig. 4. The oedometric modulus of deformation versus vertical stress

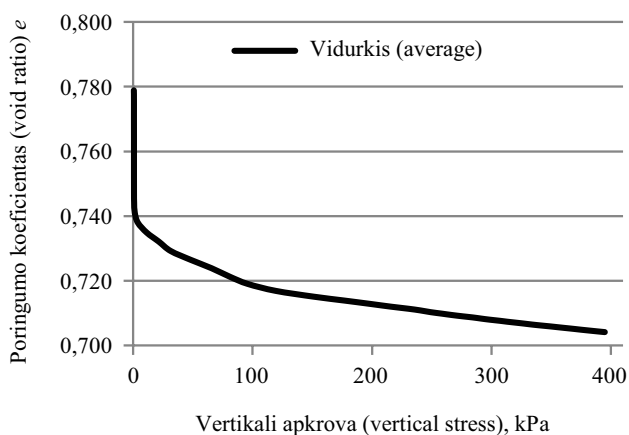
Naudojant pirmąją bandymo metodiką, bandinio viršuje esant 400,0 kPa vertikaliai apkrovai, gautas odometrinis deformacijų modulis $E_o = 55,75$ MPa. Pagal antrąją bandymo metodiką, kai bandinio viršuje vertikalus slėgis lygus 400,0 kPa, nustatytas odometrinis deformacijų modulis $E_o = 52,09$ MPa.

Nagrinėjant grunto poringumo koeficiento kitimą, atliekant spūdimos bandymus pagal dvi skirtingas metodikas, gauti rezultatai pateikiami 5 ir 6 pav.



5 pav. Poringumo koeficiento priklausomybė nuo vertikalios apkrovos (kontaktas tarp grunto ir porinio akmens išreikštas slėgiu bandinio viršuje)

Fig. 5. Void ratio versus vertical stress (contact between soil and porous stone expressed by vertical stress)



6 pav. Poringumo koeficiento priklausomybė nuo vertikalios apkrovos (kontaktas tarp grunto ir porinio akmens išreikštas bandinio aukščiu)

Fig. 6. Void ratio versus vertical stress (contact between soil and porous stone expressed by sample height)

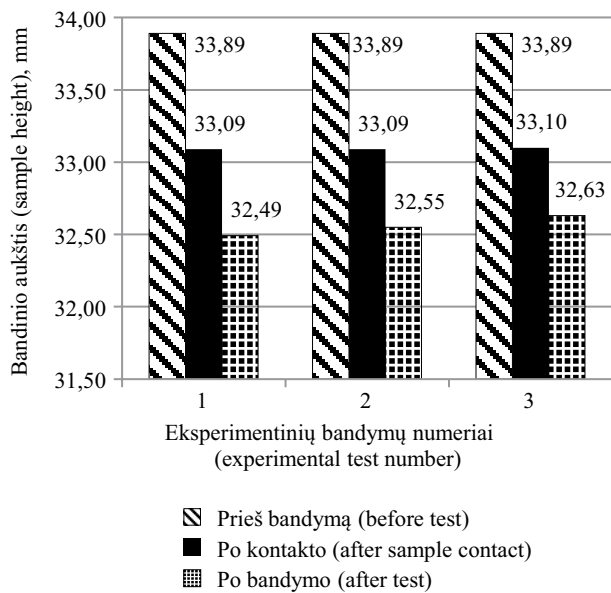
Analizuojant 5 ir 6 pav., aiškiai matyti, kad, kontaktą tarp grunto ir jį slegiančio porinio akmens sukuriant per slėgio išraišką, gaunamas pradinis vidutinis poringumo koeficientas $e_0 = 0,755$. Kontakto aukštį įvertinus pagal antrąją bandymo metodiką, pradinis poringumo koeficientas $e_0 = 0,755$. Šie poringumo koeficientai vienodi, nes, skaičiuojant poringumo koeficientą pagal pirmąją metodiką, skaičiavimuose naudojamas bandinio aukštis prieš sukuriant kontaktą tarp grunto ir apkrovos stūmoklio porinio akmens.

Pagal pirmąją bandymo metodiką, esant 400 kPa apkrovai, gautas poringumo koeficientas $e_0 = 0,727$, o pagal antrąją bandymo metodiką $e_0 = 0,700$.

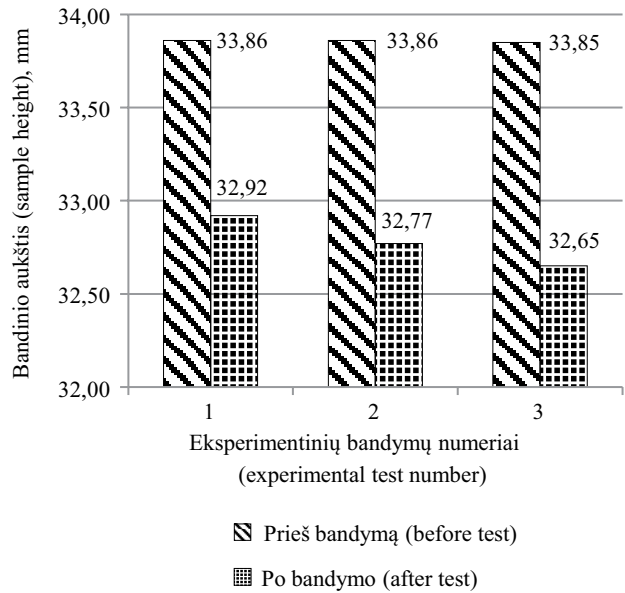
Taip pat 6 pav. matyti, kad, įvertinus tikslų kontakto tarp grunto ir porinio akmens aukštį, bandymo pradžioje poringumo koeficientas kinta, tačiau vertikali apkrova ne. Tai atsitinka dėl grunto dalelių persiskirstymo (Prušinskienė 2012; Pocius, Balevičius 2012; Medzvieckas *et al.* 2004). 5 pav. matyti, kad dėl surto pradinio slėgio (~10,0 kPa) bandinio viršuje yra praleidžiama grunto dalelių persiskirstymo (Verruijt 2006; Whiting *et al.* 2002) bandinyje stadija.

Tikslus bandinio aukščio kitimas, kontaktą tarp grunto ir porinio akmens užtikrinant per pradinio slėgio išraišką, pateikiamas 7 pav.

Nagrinėjant pateiktus duomenis 7 pav. yra žinomas bandinio aukštis, kuris lygus 33,89 mm. Sukuriant pradinį slėgį bandinio viršuje yra užtikrinamas kontaktas tarp grunto ir porinio akmens. Dėl šios priežasties bandinio aukštis pakinta, t. y. sumažėja ~0,80 mm, ir tik tada pradėdamas bandinio apkrovimas vertikalia apkrova. Visas bandinio



7 pav. Bandinio aukščio kitimas bandymo metu (kontakto tarp grunto ir porinio akmens išreikštas slėgiu bandinio viršuje)
 Fig. 7. The evaluation of sample height during testing (contact between soil and porous stone expressed by vertical stress)



8 pav. Bandinio aukščio kitimas bandymo metu (kontakto tarp grunto ir porinio akmens išreikštas bandinio aukščiu)
 Fig. 8. The evaluation of sample height during testing (contact between soil and porous stone expressed by sample height)

susispaudimas po kontakto tarp porinio akmens ir grunto iki galutinės 400 kPa vertikalios apkrovos reikšmės yra ~0,54 mm. Nežinant šios metodikos niuansų, šiuo atveju tikrasis bandinio aukščio pokytis ~1,33 mm. Taigi, skaičiuojant grunto poringumo koeficientą, yra padaroma klaida, nes neįvertinami poslinkiai, atsirandantys dėl kontakto užtikrinimo tarp grunto ir porinio akmens, sukuriant pradinę slėgį bandinio viršuje. Ši problema išlieka ir naudojant senesnio tipo grunto spūdumo ir (arba) kirpimo aparatus.

Atliekant bandymus vadovaujantis antrąja bandymo metodika, prieš kiekvieną spūdumo ir (arba) kirpimo bandymą yra atliekamas prietaiso vertikalų poslinkių kalibravimas, pagal kurį galima tiksliai nustatyti kontakto tarp grunto ir porinio akmens aukščio vietą (8 pav.).

Šiuo atveju yra išvengiama grunto suspaudimo ieškant kontakto tarp grunto ir porinio akmens. Kontakto vietoje pradinis slėgis neviršija 1,0 kPa. Tikrasis bandinio aukščio pokytis ~1,08 mm.

Taigi, dėl dviejų skirtingų bandymo metodikų taikymo tokių pačių pradinių puraus grunto fizinių savybių susispaudimo aukštis skiriasi ~0,25 mm. Dėl netikslaus pradinio bandinio aukščio nustatymo atsiranda grunto pradinio poringumo koeficiento reikšmės pokytis $\Delta e = 0,013$.

Išvados

1. Sukuriant kontaktą tarp grunto ir apkrovos stūmoklio porinio akmens, sudarant vertikalų slėgį (~10 kPa) bandinio viršuje, yra netiksliai apskaičiuojamas bandinio aukštis. Kontakto aukštis nėra lygus pradiniam bandinio aukščiui. Tirtu grunto atveju šie aukščiai skiriasi ~0,80 mm. Šiuo atveju bendras bandinio aukščio pokytis ~1,33 mm.
2. Naudojantis prietaiso aukščio kalibravimo rezultatais prieš bandymą, sukuriama kontakto tarp grunto ir apkrovos stūmoklio porinio akmens aukštis yra nustatomas tiksliai. Šiuo atveju slėgis kontakto plokštumoje neviršija 1,0 kPa ir grunto spūdumo metu tiksliai įvertinamas bandinio aukščio pokytis. Gautas bendras bandinio aukščio pokytis ~1,08 mm.
3. Analizuojant bandinio aukščio kitimą pagal pirmą ir antrą bandymo metodiką, gaunamos skirtingo pobūdžio bandinio aukščio kitimo kreivės.
4. Siūloma grunto spūdumo ir (arba) kirpimo bandymus atlikti naudojant antrąją bandymo metodiką (kai kontakto tarp grunto ir apkrovos stūmoklio porinio akmens vieta nustatoma pagal vertikalų prietaiso aukštį) dėl tikslesnių gaunamų rezultatų.

Literatūra

- Alikonis, A. 1981. Limnoglacialinio molio deformacijos modulio reikšmės, apskaičiuotos pagal pastatų sėdimus [The values of deformation modulus for glacial lake clays calculated from the settlement of structures], *Statyba ir architektūra, XIX. Statybinės medžiagos ir konstrukcijos* 9: 3–7.
- Amšiejus, J.; Kačianauskas, R.; Norkus, A.; Tumonis, L. 2010. Investigation of the sand porosity via oedometric testing, *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 5(3): 139–147. <http://dx.doi.org/10.3846/bjrbe.2010.20>
- BS410-1:2000. Test sieves. Technical requirements and testing. Part 1: Test sieves of metal wire cloth.
- Doroševas, V.; Stelmokaitis, G. 2011. *Gruntų mechanikos laboratoriniai darbai* [Soil mechanics laboratory testing manual], Vilnius: VPU leidykla. 80 p. ISBN 978-9955-20-662-0
- EN ISO 14688-1, 2002. Geotechnical investigation and testing – Identification of soil – Part 1: Identification and description 12 p.
- ISO 3310-2:1999. Test sieves. Technical requirements and testing. Part 2: Test sieves of perforated metal plate.
- ISO 14688-2, 2004. Geotechnical investigation and testing – Investigation and classification of soil – Part 2: Principles for a classification 13 p.
- LST 1331: 2002. Automobilių kelių gruntai. Klasifikacija.
- LST 1360.1: 1995. 4-as skyrius. Granulometrinės sudėties nustatymas sijoiant.
- LST 1360.3: 1995. 4-as skyrius. Drėgnio nustatymas džiovinant krosnyje.
- LST EN 1997-2, 2008. Eurokodas 7. Geotechninis projektavimas. 2 dalis. Pagrindo tyrinėjimai ir bandymai, *LSD*. 186 p.
- Martinkus, V.; Skuodis, Š.; Kelevišius, K. 2012. Rišlių gruntų ometrinio grunto deformacijų modulio ir kūginio stiprio priklausomybė [Relation of deformation modulus and cone penetration tip resistance in cohesive soils], iš *15-osios Lietuvos jaunujų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“, 2012 metų teminės konferencijos „Statyba“, straipsnių rinkinys*: 1–5. ISBN 978-609-457-215-9.
- Medzvieckas, J.; Sližytė, D.; Stragys, V. 2004. *Soil mechanics. Laboratory testing manual*. Vilnius: Technika. 79 p.
- Pocius, G.; Balevičius, R. 2012. Daugiadispersio ir viendispersio dalelių mišinio elgsenos tyrimas. II dalis: Stabilumo būsenų charakterizavimas [Simulation of the Poly- and Monodispersed Granular Material. Part II: The Stability Characterization], *Engineering Structures and Technologies* 4(2): 59–66. <http://dx.doi.org/10.3846/2029882X.2012.697316>
- Prušinskienė, S. 2012. *Smėlio gruntų ypatumai ir jų tyrimo metodai*: mokomoji knyga [Peculiarities of sand soil and investigation methods: course book]. Vilnius: Technika. 184 p. <http://dx.doi.org/10.3846/1314-S>
- Skuodis, Š.; Kavrus, A. 2012. Atskirų grunto dalelių formos kitimas prieš ir po spūdumo bandymo, *Mokslas – Lietuvos ateitis* 4(5): 340–345.
- Skuodis, Š.; Norkus, A. 2012. Kontroluojamu slėgiu apkraunamo smėlinio grunto spūdumo tyrimas [Investigation of sand compression via controlled vertical stress ramp], iš *15-osios Lietuvos jaunujų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“, 2012 metų teminės konferencijos „Statyba“, straipsnių rinkinys*: 1–5.
- Skuodis, Š.; Amšiejus, J. 2011. Skirtingų smėlio frakcijų spūdumo tyrimas kompresiniu aparatu [Investigation into the Compressibility of Different Types of Sand Fractions Using a Oedometer], *Engineering Structures and Technologies* 3(1): 16–22. <http://dx.doi.org/10.3846/skt.2011.02>
- Skuodis, Š.; Kelevišius, K. 2011. Smėlinių gruntų grūdelinės sudėties poveikis tanklumui ir spūdumui [Sand grain size distribution influence to soil density and compression], iš *14-osios Lietuvos jaunujų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“, 2011 metų teminės konferencijos „Statyba“ straipsnių rinkinys*: 1–4.
- Šimkus, J.; Alikonis, A.; Sidauga, B. 1973. *Lietuvos TSR gruntų statybinės savybės* [Lithuanian CCP soil constructional properties]. Vilnius: Mintis. 92 p.
- Valiūnas, K. *Gruntų mechanikos laboratorinių darbų aprašai* [Soil mechanics laboratory testing manual]. Kaunas: Technologija. 60 p.
- Verruijt, A. 2006. *Soil Mechanics*. Delft: University of Technology. 311 p.
- Whiting, D.; Card, A.; Wilson, C.; Reeder, J. 2002. *Soil Compaction*. CMG Garden Notes on Soils, Fertilizers and Soil Amendment, 215–221.
- Wille Geotec Group. 2010. Universal oedometer and simple shear test device ADS 1/3. Göttingen, Germany.

DETAILED INVESTIGATION INTO THE INITIAL CONTACT BETWEEN SOIL, POROUS STONE, UNIVERSAL OEDOMETER AND SIMPLE SHEAR TEST EQUIPMENT

Š. Skuodis, A. Šlečkuvienė

Abstract

The paper presents experimental tests on typical Baltic sea-shore sand along Klaipėda. Natural sand was analyzed under laboratory conditions following two different test procedures for soil compression applying a universal oedometer and simple shear test device. The conducted analysis was concentrated on the influence of the applied contact between soil and porous stone. First, the soil compression test using the contact pressure of ~10.0 kPa was done, which guarantees the absolute contact between soil and porous stone. The applied maximum vertical load reaches 400.0 kPa under the speed of the vertical stress ramp of 400.0 kPa/min. The second test procedure was done with reference to the same physical properties of soil and the type of loading. When laboratory testing is done adopting the second test procedure, the contact between soil and porous stone is applied introducing the soil sample. In this case, the vertical stress of the initial contact on the top of the sample does not exceed 1.0 kPa. A comparison of the results obtained from two testing procedures has disclosed different compression characters of soil. For investigation purposes, the equipment and infrastructure of the Civil Engineering Research Center of Vilnius Gediminas Technical University was employed.

Keywords: contact with soil, compression test, mechanical properties of soil, oedometer test.