

SKIRTINGŲ SMĖLIO FRAKCIJŲ SPŪDUMO TYRIMAS
KOMPRESINIU APARATUŠarūnas Skuodis¹, Jonas Amšiejus²

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lietuva

El. paštas: ¹sarunas.skuodis@stst.vgtu.lt; ²ajonas@st.vgtu.lt

Įteikta 2011 01 20; priimta 2011 03 01

Santrauka. Straipsnio tikslas – ištirti Baltijos jūros smėlinių gruntų ties Klaipėdos pakrante didžiausius poringumo koeficientus, palyginti atskirų frakcijų spūdumo rezultatus tarpusavyje, išnagrinėti atskirų grunto frakcijų spūdumo kitimą laiko atžvilgiu. Palyginti atskirų smėlio frakcijų tyrimų rezultatus su vienodais kiekiais (pagal masę) sumaišyta smėlio frakcija. Grunto tyrimai atlikti su kompresiniu aparatu, naudojant tokias Baltijos jūros pakrantės ties Klaipėda orasausio smėlio frakcijas: 1,18–0,6 mm, 0,6–0,425 mm, 0,425–0,3 mm, ir vienodais kiekiais (pagal masę) sumaišytą 1,18–0,3 mm frakciją. Išanalizavus skirtingų smėlio frakcijų bandymų duomenis, nustatyta, kad didžiausias poringumo koeficientas $e = 0,840$ būdingas 0,425–0,3 mm dydžio frakcijai. Didėjant frakcijų dydžiui didžiausias poringumo koeficientas mažėja. Sumaišius smėlio frakciją (1,18–0,3 mm) gauta mažiausia didžiausio poringumo koeficiento reikšmė $e = 0,714$.

Reikšminiai žodžiai: gruntas, smėlio frakcijos, spūdumas, poringumo koeficientas, apkrova, laikas, nuosėdis.

1. Įvadas

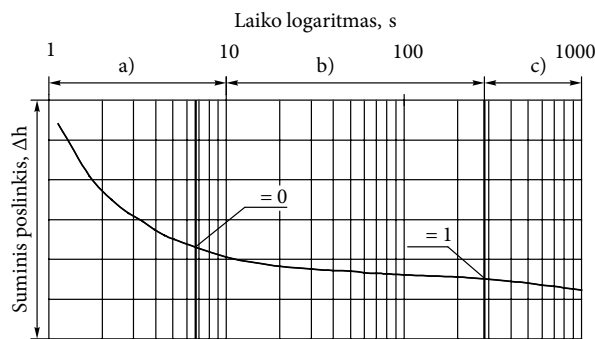
Projektuojant inžinerinius statinius, būtina žinoti pamatų nuosėdžių reikšmes, pastato ir pagrindo tarpusavio elgsenos priklausomybes. Vienas iš pagrindo ir pastato tarpusavio sąveikos veiksnių – grunto spūdumo savybės. Būtina atsižvelgti į skirtingų smėlio frakcijų spūdumą, kad būtų galima lengviau prognozuoti tolesnę pastato ir pagrindo tarpusavio sąveiką.

Šio tyrimo tikslas – ištirti Baltijos jūros smėlinių gruntų ties Klaipėdos pakrante didžiausius poringumo koeficientus, palyginti atskirų frakcijų spūdumo rezultatus tarpusavyje, išnagrinėti atskirų grunto frakcijų spūdumo kitimą laiko atžvilgiu. Palyginti atskirų smėlio frakcijų tyrimų rezultatus su vienodais kiekiais (pagal masę) sumaišyta smėlio frakcija ir išskirti staigiųjų nuosėdžių dalį (LST EN 1997-1), atsirandančių smėliniuose gruntuose apkrovimo metu, pateikti išvadas ir pasiūlymus.

Turi būti skaičiuojamas suminis pastatų konstrukcijų poslinkis (nuosėdis) (1 pav.). Ji sudarytas iš: a) staigiųjų nuosėdžių (atsirandančių iš dalies vandens

įsotintuose gruntuose dėl šlyties deformacijų ir tūrio sumažėjimo); b) nuosėdžių dėl pirminės konsolidacijos (atsirandančių dėl konsolidacijos); c) nuosėdžių dėl antrinės konsolidacijos (atsirandančių dėl valkšnumo).

Smėlinių gruntų spūdumo, elgsenos, dalelių formos įtakos ir daugelis kitų smėlinių gruntų tyrimų atlikta užsienio specialistų (HongNam, Koseki 2003;



1 pav. Suminis poslinkis: a – staigieji nuosėdžiai; b – nuosėdžiai dėl konsolidacijos; c – nuosėdžiai dėl valkšnumo

Fig. 1. Final compression: a – primary compression; b – primary consolidation; c – secondary consolidation

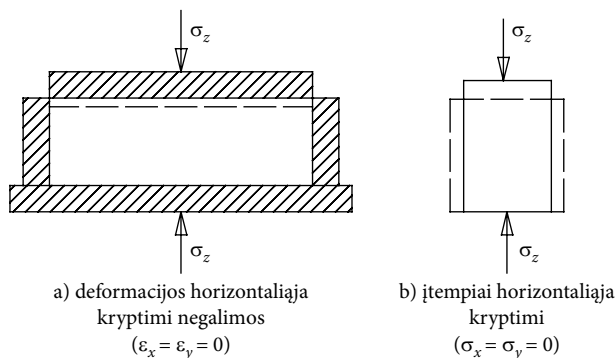
Verruijt 2001, 2006; Abzhalimov, Golovko 2009), tačiau daugelio tyrimų negalima pritaikyti Lietuvos sąlygomis, nes Lietuvoje smėlinių gruntų savybės yra kitokios.

Presti *et al.* (1999) yra vienas iš daugiausiai atliktųjų smėlinių gruntų bandymų. Vienas iš smėlinių gruntų tyrimų atliktas naudojant 16,00 cm skersmens ir 30,00 cm aukščio žiedą. Apkrovus bandinius didžiausia 500,00 kPa apkrova gauti poringumo koeficientai $e = 0,740-0,697$, priklausomai nuo bandymuose naudotos smėlio frakcijų dydžio (nuo 2 mm iki 0,06 mm). Tyrimai, aprašantys grunto poringumo koeficiento kitimą, buvo atlikti (HongNam, Koseki 2003) lauko sąlygomis, skirtinguose gyliuose matuojant efektyviuosius įtempius. Išmatuotų efektyviųjų įtempių kitimo ribos – nuo 144 iki 380 kPa, gauti poringumo koeficientai $e = 1,236-0,740$, kai gylis H kito nuo 4,50 iki 17,50 m.

Apkrovos didinimo arba mažinimo greitis taip pat daro įtaką vertikalios deformacijos, atsirandančioms grunte (Bang, Beneddeto 2003; Fang 1990; Smith 1992; Terzaghi *et al.* 1996).

2. Tyrimo aprašymas

Apkrovos veikiamas gruntas deformuojasi labiausiai dėl to, kad jis tankėja, mažėja jo porų tūris. Ši grunto savybė vadinama spūdumu. Atliekant Baltijos jūros ties Klaipėdos pakrante smėlinių gruntų bandymus buvo naudojamas orasausis gruntas, todėl vertinami tik efektyvieji įtempiai σ_s . Pagrindinė šių smėlinių gruntų sudėtis yra kvarcas (~85 %), žėrutis (6 %) ir kiti mineralai. Bandymams atlikti šis gruntas pasirinktas dėl natūraliai didesnio dalelių paviršiaus apgludavimo ir panašumo į rutulio formą. Gruntui suspausti buvo naudojamas kompresinis aparatas, kuriame gruntas deformuojasi tik viena kryptimi (2 pav.).



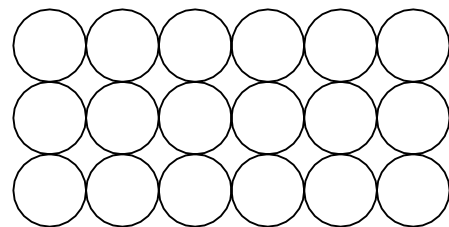
2 pav. Grunto vienmačio gniuždymo schemas
Fig. 2. Schemes for soil linear compression

Gruntų spūdumo rodikliai – deformacijų modulis E ir spūdos koeficientas m_0 apskaičiuojami pagal kompresiniame aparate bandomo grunto poringumo koeficiento pokyčius Δe , laikantis principo, kad kietosios grunto dalelės nesideformuoja (Amšiejus *et al.* 2006). Todėl jų tūris prieš bandymą ir po jo yra tas pats (vandens įtaka nevertinama). Tai galima aprašyti lygybe: $\Delta h/h = \Delta e/(1+e_0)$: čia: e_0 – pradinis grunto poringumo koeficientas; Δe – bandinio poringumo koeficiento pokytis; h – bandinio aukštis; Δh – bandinio aukščio pokytis.

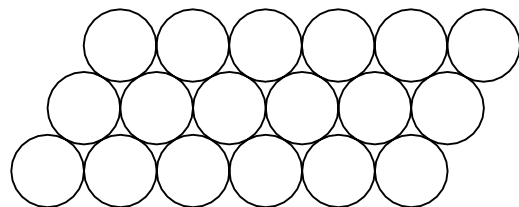
Tiriant didžiausius ir mažiausius poringumo koeficientus (Amšiejus *et al.* 2010; Verruijt 2006; Woodward 2005; Siddiquee *et al.* 2005; Uygar, Doven 2006), prieš atliekant bandymą, stengiamasi priartėti prie didžiausio porų skaičiaus grunte, t. y. gruntas neatankinamas.

Tokiu atveju teigiama, kad grunto dalelės yra apvalios ir turi tik keturis tarpusavio kontakto taškus. Nepriklausomai nuo dalelės skersmens D (Verruijt 2001), santykis tarp porų tūrio ir viso tūrio $V_p/V = 0,476$. Šiuo atveju su tokiu grunto dalelių išsidėstymu gaunamas maksimalus poringumo koeficientas $e = 0,910$ (3 pav.).

Didžiausias porų tūris gaunamas teigiant, kad grunto dalelės apvalios ir išsidėsčiusios šachmatiškai bei tarpusavyje turi šešis sąlyčio taškus. Šiuo atveju nepriklausomai nuo dalelės skersmens D (Verruijt 2001), santykis tarp porų tūrio ir viso tūrio $V_p/V = 0,259$, o mažiausias poringumo koeficientas bus $e = 0,350$ (4 pav.).



3 pav. Didžiausias porėtumas
Fig. 3. Maximum porosity

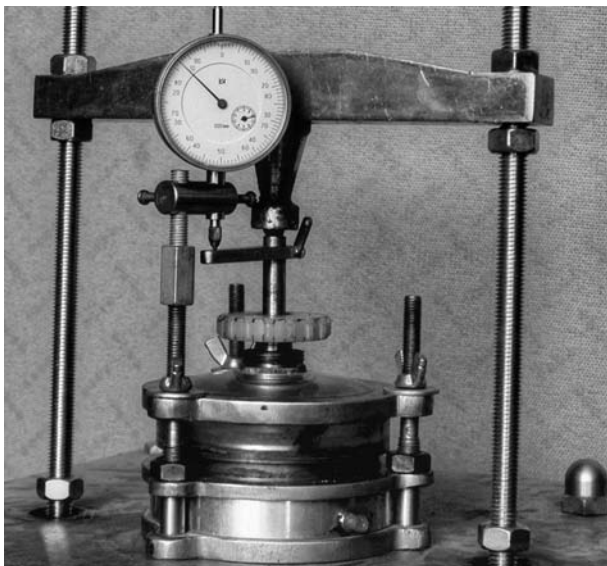


4 pav. Mažiausias porėtumas
Fig. 4. Minimum porosity

Grunto tyrimai atlikti su kompresiniu aparatu, naudojant tokias Baltijos jūros pakrantės ties Klaipėda orasausio smėlio frakcijas: 1,18–0,6 mm, 0,6–0,425 mm, 0,425–0,3 mm ir vienodais kiekiais (pagal masę) sumaišytą 1,18–0,3 mm frakciją. Šis gruntas pasirinktas dėl atskirų dalelių formos panašumo į rutulio formą. Tačiau šiame Baltijos jūros pakrantės smėlyje ties Klaipėdos pakrante sunku išskirti didesnius smėlio frakcijų dydžius negu 1,18 mm ar mažesnius nei 0,3 mm. Su kiekviena skirtinga smėlio frakcija atlikta po tris bandymus.

Visų bandymu metu buvo filmuojamas vertikalių poslinkių rodiklis, kad būtų galima stebėti nuosėdžius pasirinktais laiko tarpais. Filmuotos medžiagos sustabdymas galimas kas 0,57 s.

Bandiniai buvo apkraunami tokiais apkrovimo laipsniais: 0, 100, 200, 300, 400 kPa, apkrovą didinant kas 60 s. Išlaikius 60 s didžiausią apkrovą, kas 60 s bandiniai buvo nukraunami mažinant apkrovą tokia tvarka: 400, 300, 200, 100 ir 0 kPa.



5 pav. Kompresinis aparatas (konstrukcinė schema)

Fig. 5. Oedometer device (principal scheme)

Didinant apkrovą vienu laipsniu, pagal filmuotos medžiagos duomenis, vertikalūs poslinkiai buvo nustatomi tokia tvarka: pirmas 5 s poslinkių ataskaitos fiksuojamos apytiksliai kas 0,57 s, nuo 5 iki 60 s poslinkių ataskaitos buvo fiksuojamos kas 5 s. Nukraunant bandinius vienu apkrovos laipsniu, pirmas 5 s poslinkių ataskaitos fiksuojamos apytiksliai kas 0,57 s, vėliau kas 15, 30, 45 ir 60 s.

3. Bandymo rezultatų analizė

Tirtų smėlio frakcijų spūdumo bandymų duomenys pateikti 6 pav., kuriame vaizduojama skirtingų dydžių frakcijų poslinkių priklausomybė nuo laipsniškai kintamos apkrovos. Iš grafiko matyti, kad bendra smėlio frakcijų spūdumo savybė – apkrovimo metu visi vertikalūs poslinkiai įvyksta praktiškai per pirmas 5 s, nukrovimo metu vertikalūs poslinkiai pasireiškia apytiksliai per pirmas 3 s.

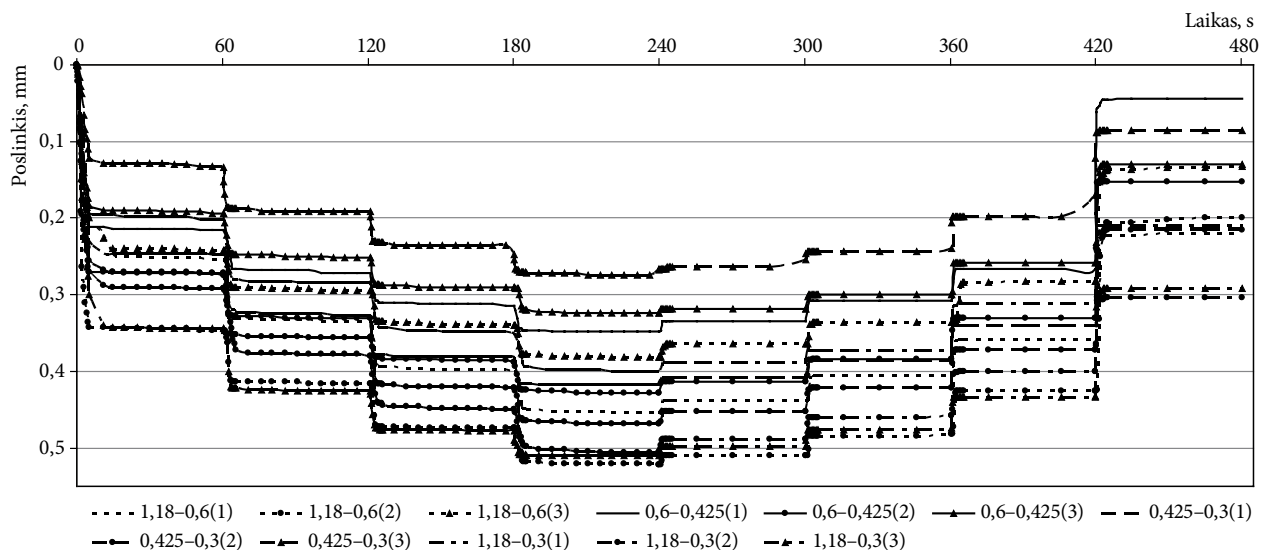
Tačiau poslinkių vystymasis labai priklauso nuo apkrovimo greičio. Apkrauti ir nukrauti bandinius idealiai vienodu greičiu neįmanoma, nes apkrova užkraunama rankiniu būdu. Laiko ataskaitos užfiksuotos kas 0,57 s.

Teoriškai, apkraunant apkrova trifazį gruntą pasireiškia visų tipų nuosėdžiai: staigieji, dėl pirminės konsolidacijos ir dėl antrinės konsolidacijos. Kadangi tirtas gruntas yra dvifazis, per vieną apkrovos laipsnį pasireiškė tik staigieji nuosėdžiai ir nuosėdžiai dėl antrinės konsolidacijos (valkšnumo). Vieno apkrovos laipsnio užfiksuotas vertikalus poslinkis grunte sudarytas iš 99 % staigiųjų nuosėdžių ir 1 % nuosėdžių dėl antrinės konsolidacijos. 1,18–0,6 mm dydžio smėlio frakcijoje, vertikalūs poslinkiai (staigieji nuosėdžiai) apkrovimo metu įvyksta per pirmas 5 s, nedidelis vertikalus poslinkis t. y. antrinė konsolidacija (apie 0,002 mm) įvyksta apytiksliai per 50 s. Nukrovimo metu didžiausios poslinkių vertės atsiranda nukraunant paskutinius du apkrovos laipsnius (iki 0,2 mm).

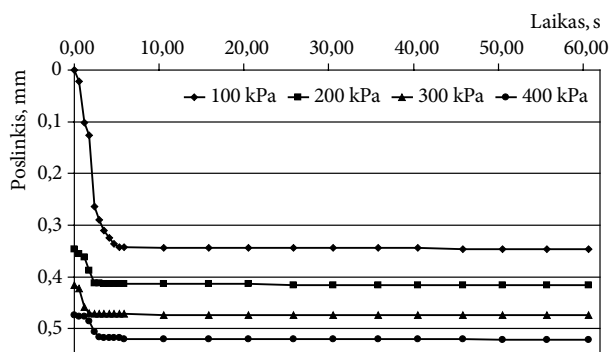
Kitose tirtose smėlio frakcijose nuosėdžių rezultatai gauti tokie patys tiek apkrovimo, tiek nukrovimo metu, tik skirtingais laiko momentais. Apkraunant vertikalūs poslinkiai (staigieji nuosėdžiai) įvyksta per pirmas 5 s, nežymūs nuosėdžiai (antrinė konsolidacija) 0,6–0,425 mm smėlio frakcijoje įvyksta per 40 s, 0,425–0,3 mm smėlio frakcijoje – per 60 s ir 1,18–0,3 mm smėlio frakcijoje – per 60 s. Mažinant apkrovą, didžiausias nuosėdžių pasireiškimas atsiranda nukraunant paskutinius du apkrovimo laipsnius, tuomet nuosėdžiai yra apie 0,2 mm.

1,18–0,6 mm dydžio frakcijos poslinkių kitimas laiko atžvilgiu pateikiamas 7 pav. Matoma, kad poslinkiai apkraunant nauju apkrovos laipsniu įvyksta per pirmas 5 s, t. y. praktiškai per tą laiko tarpą, kai galutinai užkraunama apkrova.

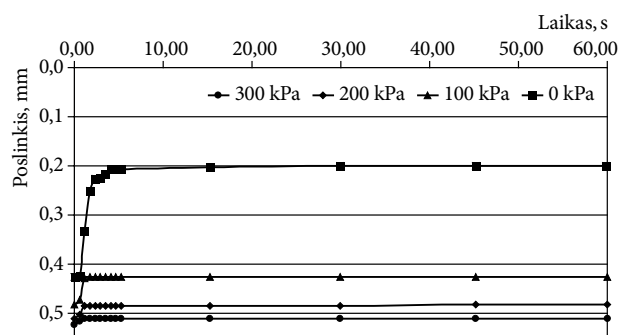
Nukraunant bandinius (8 pav.) grunte vertikalios deformacijos įvyksta apytiksliai per 3–4 s. Deformacijų greitis priklauso nuo apkrovos nukrovimo greičio, nes nukraunama buvo taip pat rankiniu būdu. Todėl nebu-



6 pav. Skirtingo dydžio frakcijų (bandinių Nr.) poslinkių priklausomybė nuo laiko ir laipsniškai kintamos apkrovos
 Fig. 6. The dependence of different size fraction (test number) displacement on time and gradually variable load



7 pav. Poslinkių priklausomybė nuo laiko laipsniškai apkraunant (1,18–0,6 mm dydžio frakcija)
 Fig. 7. Displacement versus load increments (particle size 1,18–0,6 mm)

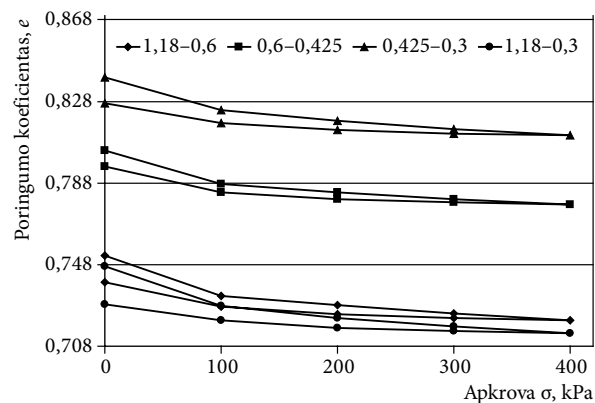


8 pav. Poslinkių priklausomybė nuo laiko laipsniškai nukraunant (1,18–0,6 mm dydžio frakcija)
 Fig. 8. Displacement versus time variation in unloading steps (particle size 1,18–0,6 mm)

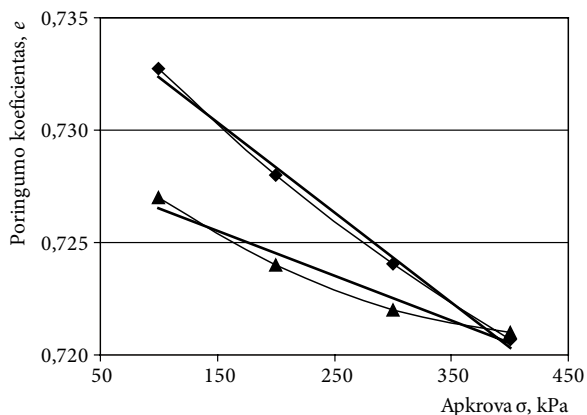
vo idealiai pastovaus ir vienodai kintančio nukrovimo greičio ir apkrovos mažinimo.

Apskaičiuavus vidutinius visų bandinių poringumo koeficientas, mažiausias maksimalus poringumo koeficientas ($e = 0,714$) būdingas vienodais kiekiais sumaišytai (pagal masę) smėlio frakcijai (1,18–0,3 mm dydžio). Visų poringumo koeficientų reikšmės, apkraunant ir nukraunant, pateiktos 9 pav.

Palyginimui pateikta 1,18–0,6 mm dydžio frakcijos antro bandymo vidutinio poringumo koeficiento priklausomybė nuo apkrovos: pirmuoju atveju (10 pav.) poringumo koeficiento priklausomybė nuo apkrovos, aproksimuotos tiesine priklausomybe, antruoju (11 pav.) – logaritminė apkrovos ir poringumo koeficiento priklausomybė, aproksimuota tiesine priklausomybe.

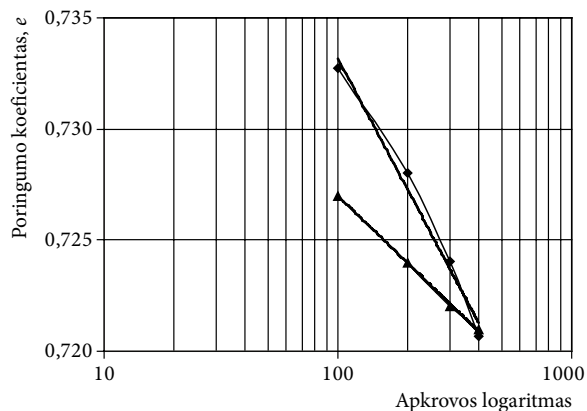


9 pav. Poringumo koeficiento priklausomybė nuo apkrovos
 Fig. 9. Void ratio versus loading



10 pav. Tiesinė poringumo koeficiento priklausomybė nuo apkrovos

Fig. 10. Linear relation of void ratio versus loading



11 pav. Poringumo koeficiento priklausomybė nuo apkrovos, išreikštos logaritmu

Fig. 11. Void ratio versus logarithm of load

Bendruoju atveju gautus bandymų rezultatų duomenis nusako poringumo koeficiento ir apkrovos funkcinė priklausomybė $e = f(\sigma_z)$. 1,18–0,6 mm dydžio frakcijos antrą bandymą apkraunant laipsniškai kintama apkrova, eksperimentinius duomenis geriau

1 lentelė. Funkcinės poringumo koeficiento nuo apkrovos priklausomybės koeficientai

Table 1. Function coefficients of void ratio versus load

Frakcijos dydis	Apkraunant		Nukraunant	
	$e = a\sigma_z + b$		$e = a\log(\sigma_z) + b$	
	a	b	a	b
1,18–0,6	-0,00004	0,7364	-0,0050	0,7504
0,6–0,425	-0,00003	0,7906	-0,0043	0,8034
0,425–0,3	-0,00004	0,8273	-0,0045	0,8380
1,18–0,3	-0,00004	0,7316	-0,0046	0,7415

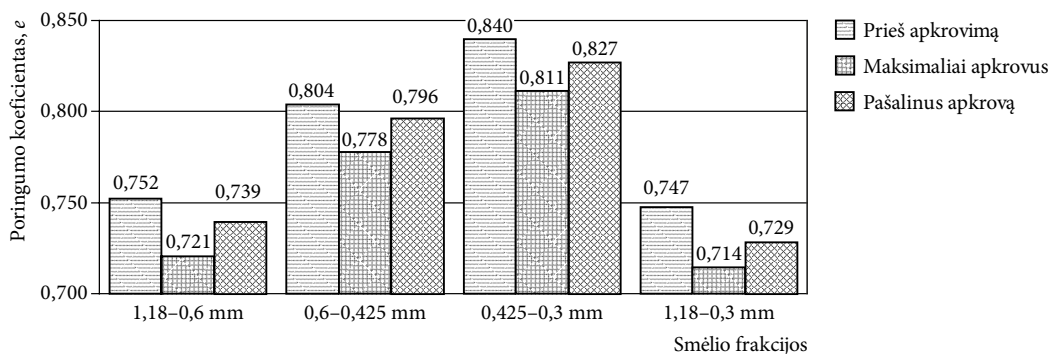
aprašo tiesinė priklausomybė, čia $e = -0,00004\sigma_z + 0,7364$, nukraunant – logaritminė priklausomybė, čia $e = -0,0044 \log(\sigma_z) + 0,7472$. 1 lentelėje pateikiamos visų tirtų frakcijų vidutinės funkcinių priklausomybių reikšmės apkraunant ir nukraunant bandinius.

Tirtiems smėliniams gruntams, kai apkrova yra laipsniškai kintama, apkrovimo metu eksperimentinius duomenis geriau aprašo tiesinė priklausomybė, lygtimi $e = a\sigma_z + b$, nukraunant – logaritminė priklausomybė, aprašoma lygtimi $e = a \log(\sigma_z) + b$. Ši tendencija galioja visoms tirtoms smėlio frakcijoms.

Bendras visų frakcijų poringumo koeficiento kitimas pateiktas 12 pav.

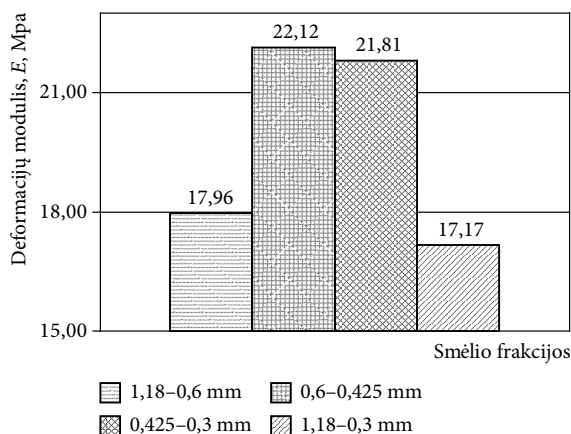
Čia vaizduojami poringumo koeficientai prieš atliekant bandymą, apkrovus bandinį didžiausia apkrova (400 kPa) ir visiškai nukrovus bandinį. Iš 12 pav. matyti, kad puriausia frakcija yra pati smulkiausia (0,425–0,3 mm), tankiausia – maišyta smėlio frakcija (1,18–0,3 mm).

Visų bandinių spūdos rodiklis – deformacijų modulis, vaizduojamas 13 pav. (kai apkrova $\sigma_z = 400$ kPa). Mažiausia deformacijų modulio reikšmė gauta vienodais kiekiais pagal masę sumaišytoje smėlio frakcijoje, didžiausia – 0,6–0,425 mm dydžio frakcijoje.



12 pav. Poringumo koeficiento kitimas apkrovos atžvilgiu

Fig. 12. Void ratio versus loading



13 pav. Skirtingų smėlio frakcijų deformacijų moduliai
 Fig. 13. Deformation modulus of different sand fractions

4. Išvados

Straipsnyje įvertinama skirtingų smėlio frakcijų įtaka grunto spūdumui. Nustatyta, kad:

1. Puriausia smėlio frakcija yra 0,425–0,3 mm dydžio, $e = 0,840$. Bandymų metu gautos poringumo koeficiento kitimo ribos $e = 0,840–0,714$. Didžiausiu spūdumu pasižymėjo 1,18–0,6 mm dydžio frakcija ir vienodais kiekiais (pagal masę) sumaišyta 1,18–0,3 mm dydžio smėlio frakcija.
2. Teorinis didžiausias poringumo koeficientas $e = 0,910$, kai grunto dalelės yra rutulio formos ir turi tarpusavyje keturis sąlyčio taškus bei nepriklauso nuo dalelių skersmens. Bandymų metu gautas didžiausias poringumo koeficientas $e = 0,840$. Teorinis ir bandymų metu gautas poringumo koeficientų skirtumas yra 0,07. Taip yra dėl to, kad gruntas nėra sudarytas iš idealių rutulio formos dalelių ir praktiškai turi daugiau negu keturis dalelių tarpusavio taškus. Todėl atskirų grunto dalelių skersmuo turi įtakos bandinio didžiausiai poringumo koeficiento reikšmei.
3. Apkrovą didinant ar mažinant vienu apkrovos laipsniu, per pirmas 5 s įvyksta apytiksliai 100 % deformacijų. Per pirmas 5 s visos deformacijos, kurios atsiranda pakeitus apkrovą vienu laipsniu, priklauso nuo apkrovimo greičio. Vieno apkrovos laipsnio užfiksuotas vertikalus poslinkis grunte yra sudarytas iš 99 % staigiųjų nuosėdžių ir 1 % nuosėdžių dėl antrinės konsolidacijos.
4. Tirtiems smėliniams gruntams, kai apkrova yra laipsniškai kintama, apkrovimo metu eksperimentinius duomenis geriau aprašo tiesinė priklausomybė

lygtimi $e = a\sigma_z + b$, nukraunant – logaritminė priklausomybė aprašoma lygtimi $e = a \log(\sigma_z) + b$.

5. Kadangi tirtų smėlinių gruntų spūdumas priklauso nuo apkrovimo greičio, reikėtų atlikti tyrimus bandinius apkraunant pastoviu greičiu.

Literatūra

- Abzhalmov, R. Sh.; Golovko, N. N. 2009. Laboratory investigations of the pressure dependence of the frost heaving of soil, *Soil Mechanics and Foundation Engineering* 46(1): 31–38. doi:10.1007/s11204-009-9040-5
- Amšiejus, J., et al. 2010. Investigation of the sand porosity via oedometric testing, *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 5(3): 139–147. doi:10.3846/bjrbe.2010.20
- Amšiejus, J.; Mackevičius, R.; Medzvieckas, J.; Sližytė, D.; Stragys, V. V. 2006. *Gruntų fizinės ir mechaninės savybės: laboratoriniai darbai* [Soil physical and mechanical properties: Laboratory testing]. Vilnius: Technika. 164 p.
- Bang, P. V.; Benedetto, H. 2003. Deformation characteristics of Geomaterials, Effect of strain rate on the behavior of dry sand, in H. Benedetto, et al. (Eds.). *Deformation Characteristics of Geomaterial*. Lisse: Swets & Zeitlinger, 365–373.
- Fang, H. Y. 1990. *Foundation Engineering Handbook*. 2nd ed. Texas: Springer press. 924 p.
- Hong Nam, N.; Koseki, J. 2003. Deformation characteristics of Geomaterials. Modeling quasi-elastic deformation properties of sand, in Benedetto, H. et al. (Eds.). *Deformation characteristics of Geomaterial*. Lisse: Swets & Zeitlinger 2, 275–283.
- Jamiolkowski, M.; Presti, L.; Froio, F. 1998. Design parameters of granular soils from in situ tests, in *Proceedings of the 11th Danube-European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Porec, Croatia, May 25–29, 1998*, 65–94.
- Lo Presti, D.; Shibuya, S.; Rix, G. J. 1999. Innovation in soil testing, in M. Jamiolkowski, R. Lancellotta, D. Lo Presti (Eds.). *Pre-Failure Deformation Characteristics of Geomaterials*. Lisse: Swets and Zeitlinger, 1027–1076.
- LST EN 1997-1 Eurokodas 7. *Geotechninis projektavimas. 1 dalis. Pagrindinės taisyklės* [Eurocode 7: Geotechnical design – Part 1: General rules]. Vilnius, 2006. 186 p.
- LST EN 1997-2 Eurokodas 7. *Geotechninis projektavimas. 2 dalis. Pagrindinis tyrimai ir bandymai* [Eurocode 7: Geotechnical design - Part 2: Ground investigation and testing]. Vilnius, 2007. 186 p.
- Siddiquee, M., et al. 2005. Simulation of geosynthetic-reinforced plane strain compression (PSC) test of Toyoura sand, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies* 6: 1231–1246.
- Smith, M. J. 1992. *Soil Mechanics*. Burnt Mill: Educational Low-Priced Books Scheme.
- Tatsuoka, F.; Presti, L.; Kohata, Y. 1995. Deformation characteristics of soils and soft rocks under monotonic and cyclic loads and their relations, in *Proceeding of the 3rd International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamic, State of the Art* 1(2): 851–879.

- Terzaghi, K.; Peck, B. R.; Mesri, G. 1996. *Soil Mechanics in Engineering Practice*. 3rd ed. John Wiley & Sons, Inc. 529 p.
- Uygar, E.; Doven, A. G. 2005. *Monotonic and Cyclic Oedometer Tests on Sand at High Stress Levels*. Springer: Verlag. 354 p.
- Verruijt, A. 2001. *Soil Mechanics*. Delft: University of Technology. 292 p.
- Verruijt, A. 2006. *Soil Mechanics*. Delft: University of Technology. 311 p.
- Woodward, J. 2005. *An Introduction to Geotechnical Processes*. Spon press. 129 p.

INVESTIGATION INTO THE COMPRESSIBILITY OF DIFFERENT TYPES OF SAND FRACTIONS USING A OEDOMETER

Š. Skuodis, J. Amšiejus

Abstract. This work presents experimental tests on typical Baltic sea-shore sand along Klaipėda. The paper looks into changes in loaded soil void ratio when using different types of sand fractions in Klaipėda region. Three different types of sand fractions, including 1,18–0,6 mm, 0,6–0,425 mm and 0,425–0,3 mm were analyzed under laboratory conditions. In addition, one mixed sand fraction of diameter 1,18–0,3 mm was created from the equal parts (in mass) of these three different types of sand fractions. Soil usually consists of particles, water and air. An important basic parameter is void ratio e . The soil used under laboratory testing was air drained sand and water influence was not accounted. All tests on soil samples were recorded, because this is the only possible way of investigating the actual displacements versus time changes. Load increments were changed one minute later via the following loading steps: 0; 100; 200; 300; 400; 300; 200; 100; 0 kPa. Almost all displacements reached their final magnitudes in the first 5 seconds when load was increased; when unloaded, it took the first 3 seconds. When porosity is large, soil is called loosely packed. A laboratory test shows that maximum void ratio was in soil with 0,425–0,3 mm particle size where $e = 0,840$. The lowest maximum void ratio $e = 0,714$ was obtained for the mixed sand fraction and made 1,18–0,3 mm. The theoretical maximum soil void ratio can be $e = 0,910$, see Figure 3. This is the loosest packing of spherical particles that seems possible (minimum contact places between particle sizes are 4). Certainly, it is not stable: any small disturbance will make the assembly collapse. When using a very dense packing of spherical particles and the theoretical minimum soil void ratio of this assembly is $e = 0,350$, see Figure 4. This seems to be the major packing of a set of spherical particles (maximum contact places between particle sizes are 6). Minimum difference between the theoretical maximum void ratio and laboratory maximum void ratio was 0,07 in soil with particle sizes of 0,425–0,3 mm. Soil never consists of spherical particles and the values calculated above have no real meaning for actual soils. They may give a certain indication of what the void ratio of real soil may be. It can thus be expected that void ratio e may have a value somewhere in the range from 0,350 to 0,910. The results of the investigated sea-shore sand along Klaipėda confirms this statement. For Klaipėda sand, when loading it is better to show results of void ratio versus normal stress in linear relationship ($e = a\sigma_z + b$), see Figure 10, and, when reloading to use semilogarithmic scale ($e = a\log\sigma_z + b$), see Figure 11. In the general outline, one can make a conclusion that sand void ratio e decreases versus an increment in the size of soil fraction.

Keywords: soil, sand particle size, compressibility, void ratio, load, time, displacement.

Šarūnas SKUODIS. An MA student at the Department of Geotechnical Engineering, Vilnius Gediminas Technical University (VGTU), Lithuania. Research interests: evaluation of factors influencing soil - structure interaction.

Jonas AMŠIEJUS. Prof., Dr at the Department of Geotechnical Engineering, Vilnius Gediminas Technical University (VGTU), Lithuania. Research interests: mechanical properties of soil, determination of load intensity and deformations of strata.