

ATSKIRŲ GRUNTO DALELIŲ FORMOS KITIMAS  
PRIEŠ IR PO SPŪDUMO BANDYMOŠarūnas Skuodis<sup>1</sup>, Agata Kavrus<sup>2</sup>

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas: <sup>1</sup>sarunas.skuodis@vgtu.lt; <sup>2</sup>agata.kavrus@vgtu.lt

**Santrauka.** Straipsnio tikslas – ištirti smėlinio grunto granulometrinės sudėties kitimą atliekant skirtingų apkrovimo laipsnių spūdumo bandymus naudojant kompresinį aparatą ir pagal gautus spūdumo bandymus nustatyti staigių nuosėdžių ribas. Tyrimams atlikti naudotas Baltijos jūros pakrantės smėlis ties Klaipėdos pakrante. Spūdumo bandymams atlikti naudotas purus ir tankus gruntas. Grunto granulometrinė sudėtis nustatyta prieš spūdumo bandymą ir po kiekvieno apkrovimo laipsnio, kad būtų galima tiksliai nustatyti, po kokio apkrovimo laipsnio vyksta atskirų grunto dalelių suirimas ir / arba nuskilimas. Sijojimo bandymai atlikti naudojant rutulio formos šratus ant skirtingo dydžio sijojimo sietų. Sieto analizės duomenys palyginti su sijojimo bandymo rezultatais, gautais nenaudojant rutulio formos šratų. Nustatyta staigių nuosėdžių atsiradimo riba tiek puriam, tiek tankiam gruntui, kuri yra nuo 50,0 kPa iki 120,0 kPa. Atliekant tyrimus buvo pasinaudota VGTU Civilinės inžinerijos mokslo centro MTEP infrastruktūra.

**Reikšminiai žodžiai:** dalelių suirimas, granulometrinė sudėtis, sijojimo bandymas, odometras, spūdumo bandymas, staigūs nuosėdžiai, dalelių kompaktiškumas.

## Įvadas

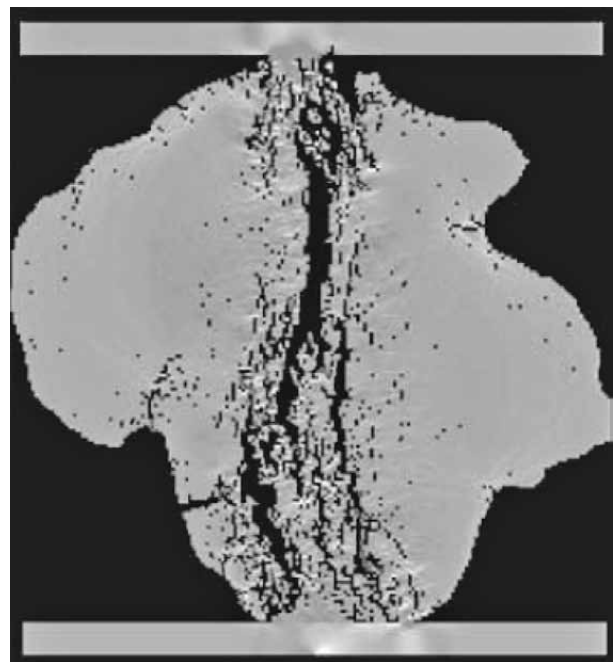
Atliekant smėlinio grunto eksperimentinius bandymus odometru ar kirpimo aparatu, prieš bandymą nustatomas tiriamo grunto drėgnis, tankis ir granulometrinė sudėtis.

Šio straipsnio tikslas – ištirti smėlinio grunto granulometrinės sudėties kitimą atliekant eksperimentinius spūdumo bandymus odometru ir pagal gautus spūdumo rezultatus nustatyti staigių nuosėdžių ribas.

Norint sukurti skaitinį bandymą remiantis jau atlikto eksperimentinio bandymo duomenimis, labai svarbu sumodeliuoti atskirųjų smėlio dalelių formų diskretinius modelius ir jų kiekius, atitinkančius tiriamo smėlio granulometrinį pasiskirstymą (Amšiejus *et al.* 2010). Tačiau, prieš pradėdant skaitinį modeliavimą, reikia žinoti, ar modeliuojamos grunto dalelės kompresinio bandymo metu suyra (1 pav.) ir / arba nuskyła dalelės kampai (2 pav.).

Atliekant grunto spūdumo ir / arba kirpimo bandymus girdimas dalelių kontaktų skleidžiamas garsas. Neaišku, ar šis garsas atsiranda dėl dalelių tarpusavio trinties padidėjimo vykstant dalelių judėjimui bandymo metu, ar dėl skylančių dalelių.

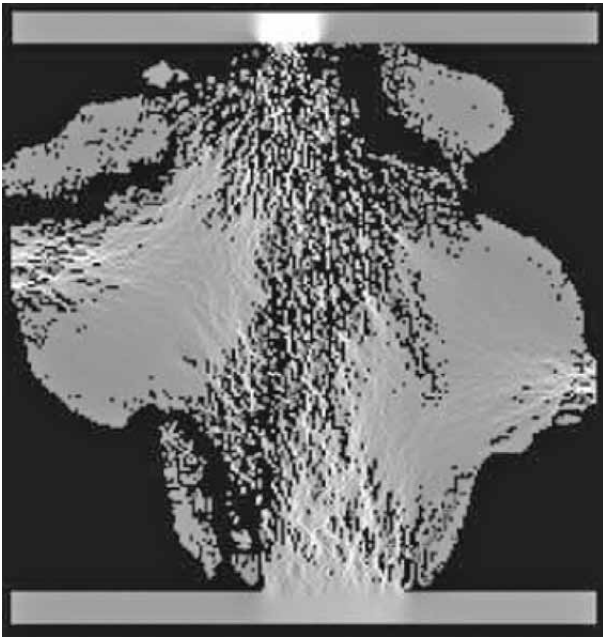
Grunto dalelių suirimo lygio po spūdumo ir / arba kirpimo bandymus galima patikrinti atlikus morfologinius tyrimus (Cavarreta 2009; Cheng *et al.* 2009; Jirasek, Bažant 1994; Prušinskienė 2006). Tačiau tokie tyrimai reikalauja daug laiko.



1 pav. Dalelės suirimas (Tang *et al.* 2001)

Fig. 1. Particle destruction (Tang *et al.* 2001)

Paprasčiausias būdas patvirtinti arba paneigti šį teiginį – atlikti grunto sijojimo bandymus po kiekvieno apkrovos pridėjimo laipsnio ir gautas granulometrinės kreives palyginti su neapkrauto grunto granulometrine kreive.



2 pav. Dalelės kampų nuskilimas (Tang *et al.* 2001)

Fig. 2. Split of sharp angles of the particle (Tang *et al.* 2001)

Grunto, kuriame smulkių dalelių (<0,06 mm) yra mažiau negu 10 %, granulimetrinė sudėtis nustatoma sijojant (Amšiejus *et al.* 2006; Medzvieckas *et al.* 2004; Kandhal *et al.* 1992). Tačiau atliekant paprastą sijojimo bandymą susiduriama su viena problema – ne visos dalelės prakrenta pro sijojimo sieto akutes, t. y. ant sieto lieka mažesnio skersmens dalelės, nei turėtų būti pagal sieto akutės dydį (Kavrus, Skuodis 2012). Norint gauti tikslesnius sijojimo rezultatus, patartina atlikti sijojimo bandymą naudojant vandenį (sijojama ir ant sietų pilamas vanduo) arba ant kiekvieno sieto padėti po keletą skirtingo dydžio rutulio formos šratų. Šie šratai sijojimo bandymo metu dėl vibracijų sukeliama dinaminio poveikio neturi suardyti ir arba nuskelti grunto dalelių kampų (Yoshida *et al.* 2005; Rozenblat *et al.* 2010).

Pagal gautus spūdumo rezultatus nustatytos staigių nuosėdžių ribos (Skuodis, Amšiejus 2011), kurios pasireiškia spaudžiant tiek purų, tiek tankų gruntą.

### Eksperimentinio bandymo aprašymas

Eksperimentiniai bandymai atlikti naudojant Baltijos jūros pakrantės smėlį ties Klaipėdos pakrante. Prieš atliekant grunto spūdumo bandymą, naudojant kompresinį aparatą (Miinea *et al.* 2011; Haigh *et al.* 2012), nustatyta grunto granulimetrinė sudėtis (LST EN ISO 14688-1:2007; LST 1445:1996; German 2010; Maeda *et al.* 2009). Naudoti sijojimo sietai atitinka ISO3310:2-1999 ir BS410-1:2000 standartus.

Kompresinis bandymas atliekamas naudojant universalų ADS1/3 aparatą (3 pav.), su kuriuo esant poreikiui galima atlikti ir paprasto kirpimo bandymus.

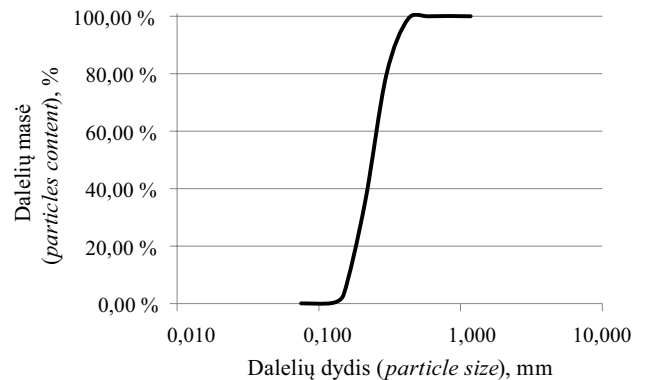
Spūdumo bandymui atlikti naudotas orasausis didžiausio poringumo gruntas ir tankus gruntas. Nustačius tiriamo grunto granulimetrinę sudėtį (4 pav.), gruntas dedamas į odometrą ir slėgiamas iki 200,0 kPa.

Naudojamas apkrovimo greitis 100,0 kPa/min, pasiekus 200,0 kPa slėgį bandinio viršuje, apkrova išlaikoma 2,0 min ir tik tada bandinys yra nukraunamas. Po eksperimentinio bandymo gruntui sijoti naudotas „CONTROLS“ (Model 15-D0409) prietaisas. Pasirinkta svyravimų amplitudė 90,0 %, vieno sijojimo trukmė 10,0 min. Ant kiekvieno



3 pav. Universalus ADS1/3 kompresinis aparatas

Fig. 3. Universal oedometer aparatus ADS1/3



4 pav. Granulimetrinės sudėties kreivė prieš spūdumo bandymą

Fig. 4. Soil grading curve before a compression test

sijojimo sieto naudoti nuo 1 iki 8 rutulio formos šratai, kurių skersmuo nuo 5,0 mm iki 20,0 mm. Skirtingas šratų kiekis ir dydis ant skirtingų sijojimo sietų reikalingas dėl esamos nevienodos grunto sudėties, t. y. toms frakcijoms, kurių yra mažiau, atitinkamai naudojama mažiau šratų, ir atvirkščiai (5 pav.).



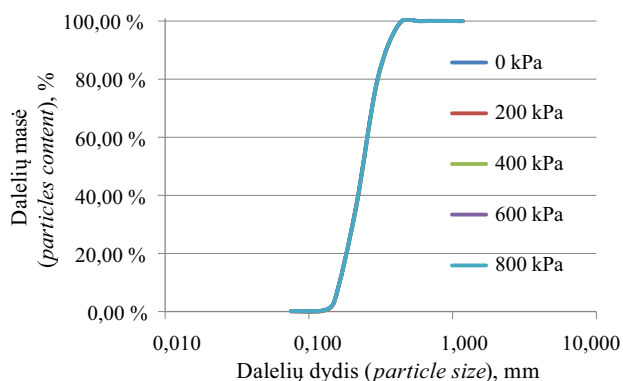
5 pav. Sijojimo sietas su skirtingų dydžių rutulio formos šratais  
Fig. 5. Sieve test applying spherical balls of a different diameter

Atlikus sijojimo bandymą gruntas sumaišomas ir atgal dedamas į odometrą, kad būtų galima tą patį gruntą veikti didesne apkrova, t. y. 400,0 kPa (apkrova išlaikoma 2,0 min). Po spūdumo bandymo gruntas sijojamas ir vėl veikiamas 600,0 kPa apkrova (apkrova išlaikoma 2,0 min), vėliau kartojant sijojimo bandymą gruntas dar kartą veikiamas 800,0 kPa apkrova (apkrova išlaikoma 2,0 min) ir vėl išsijojamas. Ta pati bandymo metodika taikoma tiek puriam, tiek tankiam gruntui.

Norint palyginti buvo atliktas toks pats eksperimentas su tankiu gruntui. Sijojimo bandymai buvo atliekami taikant tokią pačią metodiką, tik nenaudojant jokių šratų.

### Gautų rezultatų analizė

Tiriant purų smėlinį gruntą ( $e_0 = 0,764$ ) ir sijojimo bandymo metu naudojant rutulio formos šratų, po kiekvieno apkrovimo laipsnio (0,0; 200,0; 400,0; 600,0; 800,0 kPa) sudarytos granulometrinės sudėties kreivės. Gauti rezultatai pateikti 6 pav.

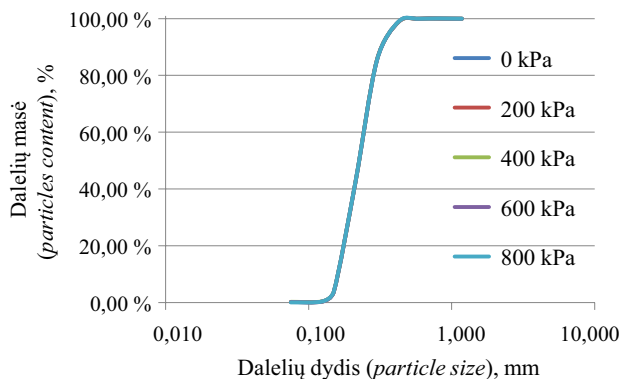


6 pav. Puraus grunto granulometrinės sudėties kreivės kitimas po skirtingų apkrovos laipsnių

Fig. 6. The evaluation of a loose sand grading curve following different loading steps

Pagal 6 pav. pateiktas puraus grunto granulometrinės sudėties kreivės aiškiai matyti, kad smėlinio grunto granulometrinė sudėtis po skirtingų apkrovos laipsnių nepasikeitė, t. y. grunto dalelės nesuiri ir / arba nenuskilo dalelių aštriausi kampai.

Tiriant tankų smėlinį gruntą ( $e_0 = 0,604$ ) ir sijojimo bandymo metu naudojant rutulio formos šratų, po kiekvieno apkrovimo laipsnio (0,0; 200,0; 400,0; 600,0; 800,0 kPa) sudarytos granulometrinės sudėties kreivės. Gauti rezultatai pateikti 7 pav.



7 pav. Tankaus grunto granulometrinės sudėties kreivės kitimas po skirtingų apkrovimo laipsnių

Fig. 7. The evaluation of a dense sand grading curve following different loading steps

Nagrinėjant 7 pav., aiškiai matyti, kad tankų grunto bandinį (kai dalelių tarpusavio kontaktų kiekis yra didesnis nei puraus grunto bandinyje) veikiant skirtingais apkrovos laipsniais, neatsirado dalelių suirimo ir / arba dalelių aštrių kampų nuskilimo (Lin *et al.* 2008).

Tikslūs dalelių kiekiai, likę ant sietų po kiekvieno apkrovimo laipsnio, pateikti 1 lentelėje (purus gruntas) ir 2 lentelėje (tankus gruntas).

**1 lentelė.** Puraus grunto sieto analizės duomenys esant skirtingiems apkrovos laipsniams

**Table 1.** The results of the sieve test on loose soil following different compression steps

Sieto dydis (angl. <i>sieve size</i> ), mm	Masė, likusi ant sieto (angl. <i>mass content on the sieve</i> ), g				
	0 kPa	200 kPa	400 kPa	600 kPa	800 kPa
2,0–1,18	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1,18–0,6	2,145	2,003	1,999	1,864	1,816
0,6–0,425	39,593	39,234	40,478	39,298	39,053
0,425–0,3	91,319	90,727	90,984	90,466	90,640
0,3–0,212	65,780	66,430	64,859	65,803	65,380
0,212–0,150	6,188	6,217	6,206	6,185	6,190
0,150–0,125	0,297	0,306	0,318	0,347	0,359
0,125–0,075	0,121	0,153	0,204	0,324	0,358
0,075–0,063	0,026	0,023	0,026	0,030	0,031
<0,063	0,000	0,045	0,059	0,122	0,095
Suma:	205,469	205,138	205,133	204,439	203,922

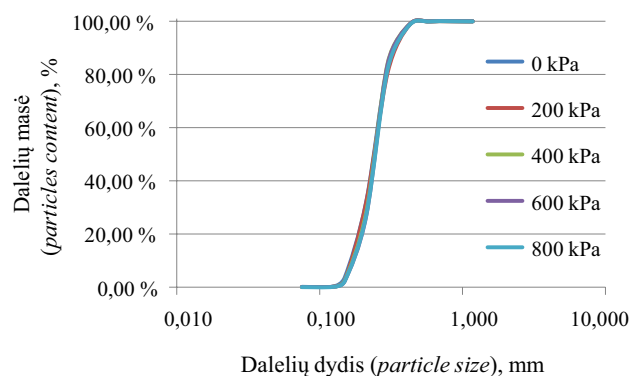
**2 lentelė.** Tankaus grunto sieto analizės duomenys esant skirtingiems apkrovos laipsniams

**Table 2.** The results of the sieve test on dense soil following different compression steps

Sieto dydis (angl. <i>sieve size</i> ), mm	Masė, likusi ant sieto (angl. <i>mass content on the sieve</i> ), g				
	0 kPa	200 kPa	400 kPa	600 kPa	800 kPa
2,0–1,18	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1,18–0,6	2,664	2,531	2,525	2,390	2,256
0,6–0,425	30,608	30,216	30,105	30,438	30,536
0,425–0,3	97,219	97,345	97,370	96,880	96,155
0,3–0,212	86,839	86,468	85,870	85,769	85,603
0,212–0,150	7,861	7,923	7,853	7,866	8,022
0,150–0,125	0,355	0,373	0,419	0,453	0,839
0,125–0,075	0,303	0,325	0,368	0,359	0,014
0,075–0,063	0,044	0,065	0,111	0,056	0,045
<0,063	0,000	0,000	0,000	0,000	0,063
Suma:	225,893	225,246	224,621	224,211	223,533

Veikiant didžiausio laipsnio apkrova purų ir tankų gruntą (800,0 kPa) granulimetrinės sudėties kreivės kitimas, lyginant su nepaveikto apkrova grunto granulimetrine sudėtimi, neviršijo 1,0 %. Taigi, galima teigti, kad bandymo metu girdimas garsas atsiranda dėl dalelių tarpusavio trinties ir slydimo, t. y. ties dalelių kontaktų vietomis nugalėjus trinties jėgas atsiranda dalelių slydimo skleidžiamas garsas – viena dalelė rėžia kitą.

Norint įsitikinti, ar sijojimo metu naudojami rutulio formos šratai sumažina sijojimo rezultatų paklaidą, buvo atliktas analogiškas spūdumo bandymas, tik tarp skirtingų apkrovimo laipsnių buvo sijojama nenaudojant jokių rutulio formos šratų. Gautos grunto granulimetrinės sudėties kreivės kitimas, veikiant skirtingų laipsnių apkrovoms, pateikiamas 8 pav.



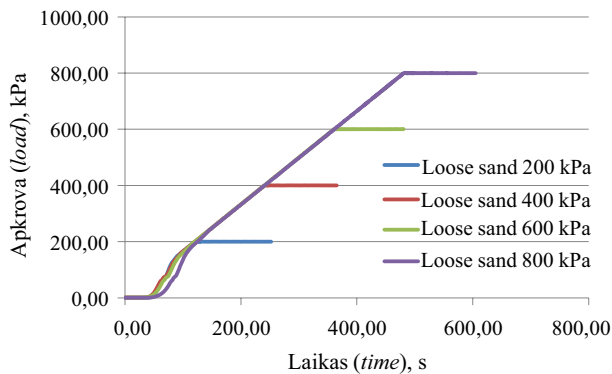
**8 pav.** Tankaus grunto granulimetrinės sudėties kreivės kitimas veikiant skirtingų laipsnių apkrovoms (ant sietų nenaudojant šratų)

**Fig. 8.** The evaluation of a dense sand grading curve following different loading steps when the sieve test is done without spherical balls



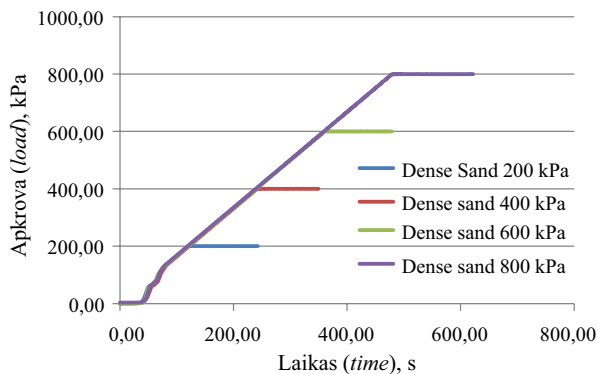
Analizuojant 8 pav., aiškiai matyti, kad sijojant be rutulio formos šratų, granulometrinės sudėties kitimas, paveikus skirtingo laipsnio apkrovomis, yra iki 5,0 %. Padidėjusi rezultatų paklaida atsiranda dėl prastesnio grunto dalelių prakritimo pro naudojamų sietų akutes.

Atlikus pūrus ir tankaus grunto spūdumo bandymus, nustatyta staigių nuosėdžių riba, kuri atsiranda dėl dalelių kompaktiškumo proceso. Gauti rezultatai pateikti 9 ir 10 pav.



**9 pav.** Apkrovos pridėjimo priklausomybė nuo laiko (esant puriam smėliui)

**Fig. 9.** Controlled vertical stress ramp versus time (loose sand)



**10 pav.** Apkrovos pridėjimo priklausomybė nuo laiko (esant tankiam smėliui)

**Fig. 10.** Controlled vertical stress ramp versus time (dense sand)

Pagal 9 ir 10 pav. gautus rezultatus esant tiek puriam, tiek tankiam gruntui staigių nuosėdžių riba pasireiškia ties 50,0–120,0 kPa apkrova.

Atliekant tyrimus, buvo pasinaudota VGTU Civilinės inžinerijos mokslo centro MTEP infrastruktūra.

## Išvados

1. Atlikus grunto spūdumo ir granulometrinės sudėties nustatymo bandymus po kiekvieno laipsnio apkrovos, nustatyta, kad Baltijos jūros pakrantės smėlis nesuyra ir / arba nepradeda skilinėti nuo 800,0 kPa apkrovos.

2. Norint sumažinti sijojimo rezultatų sklaidą, siūloma atlikti sijojimo bandymus ant sietų naudojant rutulio formos šratas.
3. Siūloma atlikti detalius morfologinius smėlinio grunto tyrimus prieš ir po spūdumo bandymų. Šie bandymai tiksliau parodo grunto dalelių parametrus, todėl būtų galima patikrinti, kokio skersmens dalelės perkrenta pro sijojimo sietus, kai sijojama naudojant rutulio formos šratas.

## Literatūra

- 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>
- Amšiejus, J.; Mackevičius, R.; Medzvieckas, J.; Sližytė, D.; Stragys, V. V. 2006. *Gruntų fizinės ir mechaninės savybės: laboratoriniai darbai*. Vilnius: Technika. 164 p.
- BS410-1:2000. Test sieves. Technical requirements and testing. Part 1: Test sieves of metal wire cloth.
- Cavarreta, I. 2009. *The Influence of Particle Characteristics on the Engineering Behavior of Granular Materials*: Ph.D. Thesis. London: London Imperial College.
- Cheng, S.; Bryant, R.; Doerr, S. H.; Rhodri, W. P.; Wright, C. J. 2009. Application of atomic force microscopy to the study of natural and model soil particles, *Journal of Microscopy* 231(3): 384–394. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2818.2008.02051.x>
- German, R. M. 2010. Coarsening in sintering: grain shape distribution, grain size distribution, and grain growth kinetics in solid pore systems, *Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences* 35: 263–305. <http://dx.doi.org/10.1080/10408436.2010.525197>
- Haigh, S. K.; Eadington, J.; Madabhushi, S. P. G. 2012. Permeability and stiffness of sands at very low effective stresses, *Geotechnique* 62(1): 69–75.
- ISO3310-2:1999. Test sieves. Technical requirements and testing. Part 2: Test sieves of perforated metal plate.
- Yoshida, M.; Ogiso, H.; Nakanop, Sh.; Akedo, J. 2005. Compression test system for a single submicrometer particle, *Vir. J. Nan. Sci. and Tech.* 12(12): 5.
- Jirasek, M.; Bažant, Z. 1994. Macroscopic fracture characteristics of random particle systems, *International Journal of Fracture* 69: 201–228. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00034763>
- Kandhal, P. S.; Khatri, M. A.; Motter, J. B. 1992. Evaluation of particle shape and texture of mionerale aggregates and their blends. *NCAT report* No. 92-4. 30 p.
- Kavrus, A.; Skuodis, Š. 2012. Smėlinių gruntų morfologinių parametų nustatymas, in *Proceedings of the 15th Conference for Junior Researchers "Science – Future of Lithuania"*, 22–24 May, 2012, Vilnius, Lithuania.
- Lin, Y. L.; Wang, D. M.; Lu, W. M.; Lin, Y. S.; Tung, K. L. 2008. Compression and deformation of soft spherical particles, *Chemical Engineering Science* 63: 195–203. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ces.2007.09.028>

- LST 1445. Geotechninė gruntų klasifikacija ir identifikacija. LSD, 1996. 22 p.
- LST EN ISO 14688-1:2007 lt. Geotechniniai tyrinėjimai ir bandymai. Gruntų atpažintis ir klasifikavimas. 1 dalis. Atpažintis ir aprašymas. LSD, 2007. 14 p.
- Maeda, M.; Fukuma, M.; Nukudani, E. 2009. Macro and micro critical states of granular materials with different grain shapes, in *Proceedings of the 6 International Conference on Micromechanics of Granular Media*, 829–832.
- Medzvieckas, J.; Sližytė, D.; Stragys, V. 2004. *Soil Mechanics: Laboratory Testing Manual*. Vilnius: Technika. 79 p.
- Miinea, L. A.; Mehta, R.; Kallam, M.; Farina, J. A.; Deorkas, N. 2011. Evaluation and characteristics of a new direct compression performance excipient, *Pharmaceutical Technology* 35(3): 1–8.
- Prušinskienė, S. 2006. *Mineralų ir uolienu makroskopinis apibūdinimas: laboratorinių darbų metodikos nurodymai*. Vilnius: Technika. 60 p. <http://dx.doi.org/10.3846/894-S>
- Rozenblat, R.; Portnikov, D.; Kalman, H.; Aman, S.; Tomas, J. 2010. Particles Compression Strength, in *The 31<sup>st</sup> Israeli Conference on Mechanical Engineering*, Tel Aviv, 2–3 June.
- Skuodis, Š.; Amšiejus, J. 2011. Skirtingų smėlio frakcijų spūdomo tyrimas kompresiniu aparatu, *Engineering Structures and Technologies* 3(1): 16–22. <http://dx.doi.org/10.3846/skt.2011.02>
- Tang, C. A.; Xu, X. H.; Kou, S. Q.; Lindqvist, P. A.; Liu, H. Y. 2001. Numerical investigation of particle breakage as applied to mechanical crushing – Part I: Singel-particle breakage, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 38: 1147–1162. [http://dx.doi.org/10.1016/S1365-1609\(01\)00075-2](http://dx.doi.org/10.1016/S1365-1609(01)00075-2)

## PARTICAL SHAPE EVALUATION BEFORE AND AFTER COMPRESSION

Š. Skuodis, A. Kavrus

### Abstract

The paper investigates typical Baltic sea-shore sand along Klaipėda and diagnoses the level of particle crushing after different loading steps. An oedometer test is done applying to drained loose ( $e_0 = 0,764$ ) and dense ( $e_0 = 0,604$ ) sand. The used loading steps are 0,0; 200,0; 400,0; 600,0; 800,0 kPa. Investigation into the level of particle crushing is made conducting a sieve test employing spherical balls on the sieves of a different size. The sieve test is done following different loading levels. The results of the grading curve show that 800,0 kPa vertical stress does not crushes the particles of the oedometer sample. The analysis of the compression results of loose and dense sand shows that a determined immediate settlement of sample appears when vertical stress makes from 50,0 kPa to 120,0 kPa and where immediate settlement values do not belong to the density of the sand sample. For investigation purposes, the equipment and infrastructure of Civil Engineering Scientific Research Centre of Vilnius Gediminas Technical University were employed.

**Keywords:** particle crushing, grading curve, sieve test, oedometer, compression test, immediate settlement, particle compaction.