

NESANKABAUS GRUNTO SU HIDROSTATINIŲ SLĖGIŲ
KERPAMOJO STIPRIO RODIKLIAITadas TAMOŠIŪNAS¹, Šarūnas SKUODIS²*Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva*
El. paštas: ¹t.tamosiunas@stud.vgtu.lt; ²sarunas.skuodis@vgtu.lt

Santrauka. Šiame straipsnyje aprašyti pirminiai bandymai ir jų rezultatai kerpant smėlinį gruntą tiesioginio kirpimo aparatu, kai viso bandymo metu bandinys yra visiškai prisotintas vandens ir jame sukuriamas hidrostatinis slėgis. Tyrimai atliekami su Baltijos jūros pakrantės smėliniu gruntu, kuris dėl savo savybių gali būti vadinamas etaloniniu gruntu. Analizuojant gautus kerpamojo stiprio rezultatus, nustatyta, kad vidinės trinties kampas, esant 100 kPa hidrostatiniam slėgiui, padidėja 21,24 % lyginant su orasausio grunto kirpimo rezultatais.

Reikšminiai žodžiai: tiesioginio kirpimo bandymas, pastovūs įtempiai, kerpamasis stipris, hidrostatinis slėgis, vidinės trinties kampas, sankiba, smėlis.

Įvadas

Lietuvoje smėlio dariniai dengia kiek daugiau nei 30 % šalies teritorijos (Žaržojus 2006). Visi žvyro ir smėlio telkiniai, susidarę per kvartero periodą, naudojami keliams tiesti, pagalbiniais statybos darbams ir statybinių medžiagų pramonėje (Skuodis 2015). Smėlio darinių susidarymas Lietuvos teritorijoje daugiausia susijęs su vandens – ledynų tirpimo, upių srautų, ežerų ir jūros – veikla (Prušinskienė 2012). Skirtingos kilmės smėlių geotechninės savybės lemia skirtingi jų susidarymo būdai, ypač eolinių, jūrinių ir dabartinio aliuvio smėlių savybės labiausiai priklauso nuo jų granulometrinės sudėties, dalelių morfologijos ir pradinio poringumo (Prušinskienė 2012).

Projektuojant inžinerinius statinius vandens ekvatorijose, fjorduose, jūrose ir pan., pamatai įrengiami giliai ir pagrindu esantis gruntas perima konstrukcijų apkrovas, šiame grunto tūryje porinio slėgio dydis priklauso nuo vandens stulpo aukščio. Teoriškai grunto kerpamojo stiprio rezultatai nepriklauso nuo grunto drėgnio, nes nagrinėjami efektyvūs įtempiai (Dirgėlienė 2013). Nepaisant teorinių sprendinių, nutarta atlikti tyrimus su tiesioginio kirpimo aparatu, kurio techninės galimybės leidžia sukurti hidrostatinį slėgį aplink bandinį ir bandinio viduje. Ši funkcija užtikrina tiriamo grunto pradinių slūgsojimo sąlygų atkūrimą, t. y. sukuriamas hidrostatinis slėgis (imituojamas vandens stulpo aukštis) ir tik tada pradedama tiesioginio kirpimo bandymo procedūra. Tai labai svarbu, nes, neatkuriant grunto bandinyje tokio pačio hidrostatinio slėgio kaip

natūraliomis slūgsojimo sąlygomis, nustatomas kerpamasis stipris yra netikslus. Žinant, kad grunto bandiniui paimti iš jūros dugno (Funes 2014) reikia daug pastangų, t. y. specialaus laivo su kernų gręžimo įranga ir pan., vieno gręžinio ir statinio zondavimo taško kaina siekia net iki 500 000 eurų. Dėl grunto bandinių paėmimo sudėtingumo ir santykinai didelės tyrimų kainos rezultatai, nustatyti tiesioginio kirpimo bandymu su hidrostatiniu slėgiu, yra itin vertingi, nes atkuriamas pradinis hidrostatinis slėgis imituojant realias grunto slūgsojimo sąlygas.

Grunto duomenys

Tyrimams naudotas smėlis, paimtas iš bangų skalaujamos zonos (14 kg, paėmimo gylis 0,4–0,5 m, paėmimo koordinatės 55°46'4,07", 21°4'39,06"(WGS)), kurioje slūgso Holoceno amžiaus jūrinės nuogulos (mIV) (Skuodis *et al.* 2014). Tyrimų vieta yra kontinentinio sektoriaus pietuose, t. y. Klaipėdos šiaurėje. Šioje vietoje (Bitinas *et al.* 2005; Viška, Soomere 2013), priekrantėje, yra nedidelė smėlio juosta (mIV), kuri tęsiasi maždaug iki 4–5 m gylio, giliau slūgso moreninės nuogulos (g II–III) (Skuodis 2015). Vėlyviausios jūrinės nuosėdos (mIV) sudarytos daugiausia iš žvyringo, vidutinio rupumo ir smulkaus smėlio (Dundulis *et al.* 2006). Tirtu grunto pagrindinė sudėtis yra kvarcas (~85 %), žerutis (6 %) ir kiti mineralai (Amšiejus *et al.* 2010), kietųjų dalelių tankis $\rho_s = 2,65 \text{ g/cm}^3$. Šio grunto dalelės pasižymi dideliu sferiškumu ($S_{2D} = 0,836$), formos koeficientas $K_{f,2D} = 0,702$. Pagal granulometrinę sudėtį (1 pav.) nustatytas

grunto pavadinimas – smėlis ($C_U = 1,47$; $C_C = 0,93$; vienoda sankloda). Gruntą sudaro 1,34 % rupi, 96,38 % vidutinio rupumo ir 2,28 % smulki frakcija (Skuodis 2015). Dėl pirmiau išvardytų grunto savybių šį gruntą galima praktiškai vadinti etaloniniu gruntu (Ojuri, Agbolade 2015).

Bandymo eiga

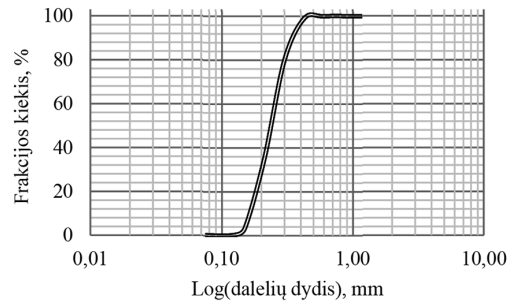
Bandymams atlikti buvo naudojamas tiesioginio kirpimo aparatas L03550 (2 pav.) su cele (3 pav.). Bandiniai buvo kerpami 0,5 mm/min greičiu iki 9 mm žymos, tarpas tarp kirpimo plokštumų – 1 mm (bandymo metu suvaržytas). Bandiniai kirpimo metu buvo nuolatos veikiami vertikalaus efektyviojo įtempio σ_v (10 arba 100 kPa). Bandymai buvo atliekami skirtingomis hidrostatinėmis (σ_H) sąlygomis: kai gruntas neturi jokio sąlyčio su vandeniu (orasausis gruntas, kuris žymimas $\sigma_H = 0$ kPa), kai gruntą veikia 30 kPa hidrostatinis slėgis (imituojamas ~3,0 m gylis) ir kai gruntą veikia 100 kPa hidrostatinis slėgis (imituojamas ~10,0 m gylis). Šiomis hidrostatinėmis sąlygomis ($\sigma_H = 0$ kPa, 30 kPa, 100 kPa) bandiniai buvo kerpami veikiant skirtingiems vertikaliems efektyviesiems įtempiams: $\sigma_v = 10$ kPa ir 100 kPa. Atliekant bandymus su skirtingais hidrostatiniais slėgiais, prietaiso viduje vanduo yra pripildomas itin lėtai (vandens tiekimas iš apačios į viršų trunka iki 30 min.). Tai leidžia teigti, kad, lėtai pildant vandenį, iš smėlinio grunto porų vanduo išstumia orą ir poras užpildo vanduo. Viso bandymo metu palaikomi pastovūs vertikalūs įtempiai σ_v ir vandens slėgis celėje bei bandinyje σ_H . Visi paruošti bandiniai yra vienodo aukščio: $h = 30$ mm, tankis – $1,671$ g/cm³ (vidutinio tankio bandiniai).

Rezultatai

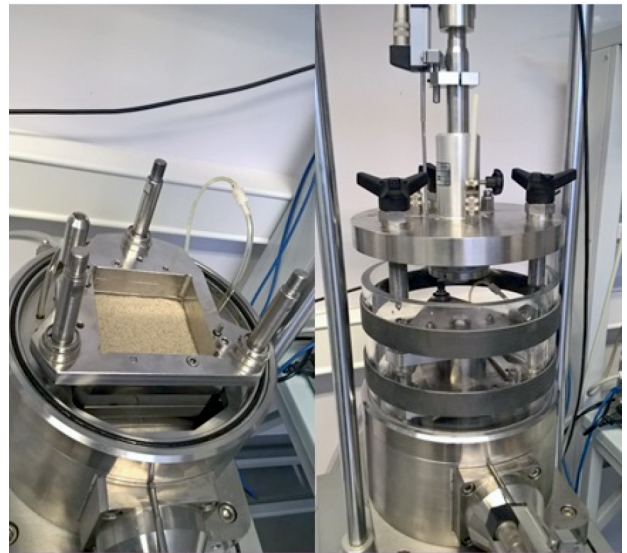
Atlikus tiesioginio kirpimo bandymus, esant skirtingiems hidrostatiniams slėgiams ($\sigma_H = 0$ kPa, 30 kPa, 100 kPa), buvo nustatyti didžiausieji tangentiniai įtempiai τ_f ir horizontalūs poslinkiai u_h . Grunto didžiausiasis kerpamasis stipris nustatytas pagal didžiausią tangentinio ir normalinio įtempio santykį τ/σ . Pagal didžiausiąjį kerpamąjį grunto stiprį apskaičiuotos vidutinės vidinės trinties kampo ϕ_{mean} ir sankibos c_{mean} vertės (1 lentelė).

Nustatytas vidinės trinties kampas orasausiam gruntui – 25,81 laipsniai. Jis teoriškai turėjo būti toks pats ir vandens prisotintam, ir su hidrostatiniu slėgiu kerpamam gruntui. Tačiau, analizuojant rezultatus, nustatyta, kad, didėjant hidrostatiniam slėgiui, didėja ir kerpamo grunto vidinės trinties kampas. Didžiausia vidinės trinties kampo vertė (32,77 laipsniai) nustatyta esant 100 kPa hidrostatiniam slėgiui, ir tai yra 21,24 % didesnis vidinės trinties kampas, nei lyginant su nustatytu orasausiam gruntui.

Atliekant tiesioginio kirpimo bandymus, buvo tiriama bandinių aukščio priklausomybė nuo horizontalaus poslinkio (4 pav.) ir bandinių aukščio pokyčio priklausomybė

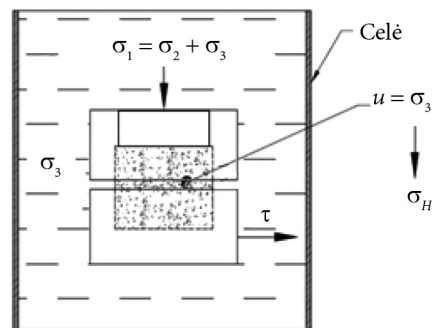


1 pav. Tiroto grunto granulometrinė sudėtis
Fig. 1. Granulometric curve of investigated soil



2 pav. Tiesioginio kirpimo aparatas LO3550 su vandens slėgio cele

Fig. 2. Direct shear device LO3550 with cell for hydrostatic pressure establishment

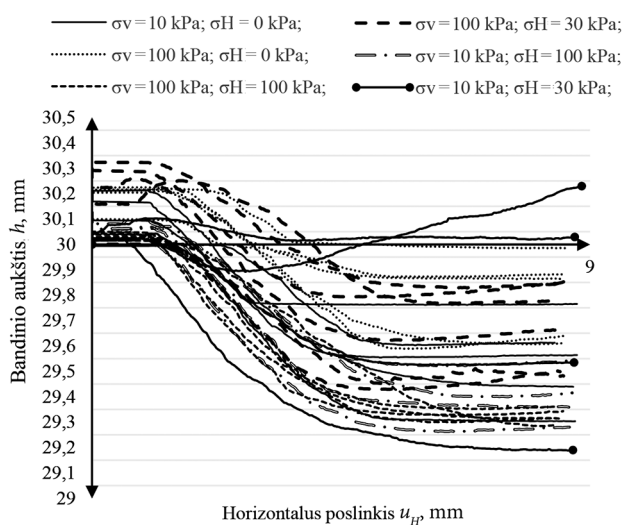


3 pav. Tiesioginio kirpimo aparato su vandens slėgio cele schema

Fig. 3. Scheme of direct shear device with cell pressure

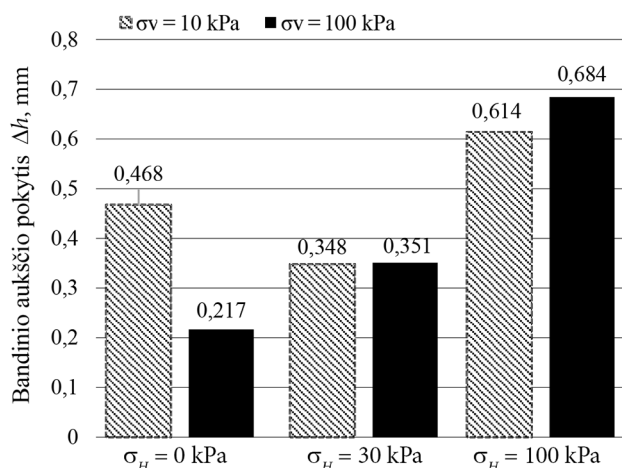
nuo vertikalaus ir hidrostatinio slėgio (5 pav.). Analizuojant rezultatus, pateiktus 4 pav., pagal bandinio aukščio pokyčius kirpimo bandymo metu bandinio aukščio kitimo kreivė gali būti priskiriama puraus grunto kirpimo kreivei (Mokni, Desres 1999; Fukushima, Tatsuoka 1984).

Taip pat, atlikus 5 pav. (5 pav. žymėjimas $\sigma_H = 0$ kPa reiškia vandens neprisotinto bandinio sąlygas, t. y. kerpamas orasausis gruntas) pateiktą duomenų analizę, nustatyta, kad, esant hidrostatiniam slėgiui, bandinio aukštis didesnis kerpant gruntą, kai yra didesni normaliniai įtempiai. Kerpant orasausį gruntą, bandinio aukštis yra didesnis nei kerpamo grunto, kai normaliniai įtempiai mažesni.



4 pav. Bandinio aukščio priklausomybė nuo horizontalaus poslinkio

Fig. 4. Sample height versus horizontal displacement



5 pav. Bandinio aukščio pokyčio priklausomybė nuo vertikalaus ir hidrostatinio slėgio

Fig. 5. Change of sample height versus vertical stress and hydrostatic pressure

Išvados

Nustačius nesankabaus grunto su hidrostatiu slėgiu kerpamojo stiprio rodiklius, pastebėta, kad didžiausio hidrostatinio slėgio ($\sigma_H = 100$ kPa) veikiamo grunto didžiausioji vidutinė vidinės trinties kampo φ'_{mean} vertė, lyginant su orasausio ($\sigma_H = 0$ kPa) grunto vertėmis, padidėjo 21,24 %. Didžiausio hidrostatinio ($\sigma_H = 100$ kPa) slėgio veikiamo grunto didžiausioji vidutinė sankiba c'_{mean} , lyginant su orasausio ($\sigma_H = 0$ kPa) grunto vertėmis, kito nedaug. Didėjant

1 lentelė. Nustatyti kerpamojo stiprio didžiausiųjų verčių rezultatai

Table 1. Obtained results of peak shearing strength

Hidrostatinis slėgis σ_{Hp} kPa	Vertikalus įtempis σ_v kPa	Tangentinis įtempis τ_p kPa	Horizontalus poslinkis u_H , mm	Vidinės trinties kampas φ'_{mean} , °	Sankiba c'_{mean} , mm
0	10,1	10,1	3,83	25,81	5,43
0	10,0	10,7	2,73		
0	10,3	10,3	3,12		
0	10,5	10,1	2,37		
0	9,9	10,5	3,08		
0	100,0	50,1	3,61		
0	100,0	50,5	3,78		
0	100,1	54,0	3,60		
0	99,9	55,1	3,71		
0	100,0	59,2	4,07		
30	9,9	6,1	2,29	29,92	3,30
30	9,7	8,5	8,34		
30	11,0	11,6	2,25		
30	9,8	10,1	3,27		
30	99,1	68,4	3,70		
30	99,7	77,0	3,23		
30	100,0	55,9	2,89		
30	99,8	47,1	3,22		
30	99,7	64,2	4,18		
30	99,9	51,4	2,95		
100	10,0	12,3	3,51	32,77	5,89
100	10,0	12,8	2,79		
100	10,2	12,7	3,54		
100	10,0	11,5	2,60		
100	99,9	54,8	3,30		
100	100,0	58,6	2,74		
100	99,1	85,3	4,49		
100	99,4	84,6	3,65		
100	99,9	67,1	3,15		

PASTABA: Žymint, kad $\sigma_H = 0$ kPa, turima omenyje, jog kerpamas gruntas yra orasausis ir be vandens celėje.

hidrostatiniam slėgiui, galimai grunto dalelių pozicija kinta, padaugėja sąlyčio taškų tarp dalelių, gruntas sutankėja. Dėl padidėjusio grunto tankio atsiranda grunto sustiprėjimo efektas, kuris pasireiškia didesniu vidinės trinties kampu.

Padėka

Atliekant tyrimus buvo naudotasi Vilniaus Gedimino technikos universiteto Civilinės inžinerijos mokslo centro MTEP infrastruktūra.

Interesų deklaracija

Autoriai neturėjo finansinių, profesinių ar asmeninių interesų su kitomis suinteresuotomis organizacijomis ar asmenimis.

Literatūra

- Amšiejus, J.; Kačianauskas, R.; Norkus, A.; Tumonis, L. 2010. Investigation of the sand porosity via oedometer testing, *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 5(3): 139–147. <https://doi.org/10.3846/bjrbe.2010.20>
- Bitinas, A.; Žaromskis, R.; Gulbinskas, S.; Damušytė, A.; Žilinskas, G.; Jarmalavičius, D. 2005. The results of integrated investigations of the Lithuanian coast of the Baltic Sea: geology, geomorphology, dynamics and human impact, *Geological Quarterly* 49(4): 355–362.
- Dirgėlienė, N. 2013. *Grunto tyrimas triašio slėgio aparatu. Metodikos nurodymai*. Vilnius: Technika. 44 p. <https://doi.org/10.3846/1461-S>
- Dundulis, K.; Gadeikis, S.; Gadeikytė, S.; Račkauskas, V. 2006. Sand soils of Lithuanian coastal area and their geotechnical properties, *Geologija* 53: 47–51.
- Fukushima, S.; Tatsuoka, F. 1984. Strength and deformation characteristics of saturated sand at extremely low pressures, *Soils and Foundations* 24(4): 30–48. https://doi.org/10.3208/sandf1972.24.4_30
- Funes, I. 2014. Multi-disciplinary site investigations: integration of geology, geophysics and geotechnics in offshore wind projects, in *Proceedings of the 23rd European Young Geotechnical Engineers Conference*, 2–5 September, Barcelona, Spain.
- Mokni, M.; Desres, J. 1999. Strain localization measurements in undrained plane-strain biaxial tests on Houston RF sand, *Mechanics of Cohesive-Frictional Materials* 4:

419–441. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1484\(199907\)4:4<419::AID-CFM70>3.0.CO;2-1](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1484(199907)4:4<419::AID-CFM70>3.0.CO;2-1)

- Ojuri, O. O.; Agbolade, O. C. 2015. Improvement of engineering properties of Igbokoda standard sand with shredded polyethylene wastes, *Nigeria Journal of Technology* 34(3): 443–451. <https://doi.org/10.4314/njt.v34i3.3>
- Prušinskienė, S. 2012. *Smėlio gruntų ypatumai ir jų tyrimo metodai*. Mokomoji knyga. Vilnius: Technika. 183 p. <https://doi.org/10.3846/1314-S>
- Skuodis, Š. 2015. *Smėlio dalelių morfologinių parametrų įtakos grunto mechaninėms savybėms eksperimentiniai ir skaitiniai tyrimai*: daktaro disertacija. Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Vilnius: Technika.
- Skuodis, Š.; Markauskas, D.; Norkus, A.; Žaržojus, G.; Dirgėlienė, N. 2014. Testing and numerical simulation of Holocene marine sand uniaxial compression at Lithuanian coast, *Baltica* 27(1): 33–44. <https://doi.org/10.5200/baltica.2014.27.04>
- Viška, M.; Soomere, T. 2013. Simulated and observed reversals of wave-driven alongshore sediment transport at the eastern Baltic Sea coast, *Baltica* 26(2): 145–156. <https://doi.org/10.5200/baltica.2013.26.15>
- Žaržojus, G. 2006. Polinių pamatų pagrindų rajonavimas, iš *Mokslas Gamtos mokslų fakultete: ketvirtosios mokslinės konferencijos, vykusios 2006 m. lapkričio 23–24 d., pranešimai*. Vilnius: VU leidykla, 228–234.

NON-COHESIVE SOIL DIRECT SHEAR STRENGTH AFFECTED WITH HYDROSTATIC PRESSURE

T. Tamošiūnas, Š. Skuodis

Abstract

This paper presents first results of non-cohesive soil direct shear tests with hydrostatic pressure. To reach this aim, it was chosen the Baltic Sea Klaipėda sand, due to granulometry composition and particles shape. According to this, investigated Baltic Sea sand can be called Lithuanian standard sand for scientific testing. Analysis of results revealed, that when it is increased hydrostatic pressure, the shearing strength is also increasing. Comparing air-dry sand results with fully saturated sand and affected with 100 kPa of hydrostatic pressure, the angle of internal friction increased for 21,24%. Meanwhile, the cohesion was not changing so dramatically according to hydrostatic pressure change. Obtained results allows to proceed this research work more detailed with different loading types, testing procedures and hydrostatic pressures.

Keywords: direct shear test, constant stress, shearing strength, hydrostatic pressure, angle of internal friction, cohesion, sand.