

Grunto, veikiamo periodinėmis apkrovomis, elgsenos tyrimai

Šarūnas Skuodis,

Rokas Karpis,

Mindaugas Zakarka,

Modestas Gedvilas,

Vytautas Raginis,

Kornelija Orlova,

Mantas Katauskas

*Vilniaus Gedimino technikos universitetas,
Statybos fakultetas,
Gelžbetoninių konstrukcijų
ir geotechnikos katedra,
Saulėtekio al. 11, 10223 Vilnius, Lietuva
El. paštas sarunas.skuodis@vgtu.lt*

Skuodis Š., Karpis R., Zakarka M., Gedvilas M., Raginis V., Orlova K., Katauskas M. Grunto, veikiamo periodinėmis apkrovomis, elgsenos tyrimai. *Geologija. Geografija*. 2018. T. 4(4). ISSN 2351-7549.

Straipsnyje yra apžvelgtos grunto liekamosios deformacijos ir įvertintas liekamasis grunto deformacijų modulis esant skirtingam grunto apkrovimų ciklų kiekiui. Šie tyrimai leidžia prognozuoti inžinerinio geologinio pagrindo, kuris perima apkrovas, elgseną esant skirtingam apkrovimo ciklų kiekiui (intensyvumui). Bandymai atlikti su triašio slėgio aparatu, imituojant automobilių kelių sukeltas ir perduodamas apkrovas pagrindams. Gruntas ištirtas esant skirtingiems apkrovų intensyvumams ir grunto gyliams. Gauti rezultatai parodė, kad liekamasis grunto deformacijų modulis labai priklauso nuo grunto bandinio apkrovimo ciklų kiekio ir apkrovų intensyvumo. Nustatyta, kad bendrosios tirtu grunto deformacijos nebuvo didesnės nei 2,0 %. Matuojant bandinio vertikalias deformacijas ties bandinio viduriu, liekamosios deformacijos nebuvo didesnės nei 0,5 %. Gauti rezultatai yra labai vertingi prognozuojant / modeliuojant inžinerinio geologinio pagrindo elgseną esant skirtingam apkrovų ciklų kiekiui ir intensyvumui. Rezultatus galima lengvai pritaikyti tokio paties grunto sluoksnio skirtingiems gyliams (įvertinti liekamąjį grunto sustiprėjimą).

Raktažodžiai: deformacijų modulis, liekamasis deformacijų modulis, liekamosios deformacijos, ciklinės apkrovos, triašio slėgio bandymas

ĮVADAS

Dažniausiai gruntai ir jų inžinerinės geologinės sąlygos (Dundulis ir kt., 2008) yra tiriamos statinėmis apkrovomis. Atliekant inžinerinius geologinius tyrimus plačiai naudojami statiniai kūginės penetracijos bandymai (Žaržojus, Dundulis, 2010). Kartais, jei yra neįmanoma ištirti grunto kūginės penetracijos, taikomas dinaminis zondavimas (Žaržojus ir kt., 2013; Žaržojus, Kelevišius, 2016). Greta tyrimų

vietos yra tiriamas gruntas jį išgręžiant ir paimant nesuardytos struktūros grunto bandinius, kurie vėliau bandomi laboratorinėmis sąlygomis. Laboratorijoje nustatomos fizinės ir mechaninės savybės. Mechaninės savybės dažniausiai yra tiriamos su kompresiniu (odometriniu) aparatu (Amšiejus ir kt., 2010; Skuodis ir kt., 2014; Skuodis ir kt., 2017), tiesioginio kirpimo (Medzvieckas ir kt., 2017; Dirgėlienė ir kt., 2017) arba triašio slėgio prietaisais (Dirgėlienė, 2013; Lekstutytė ir kt., 2018).

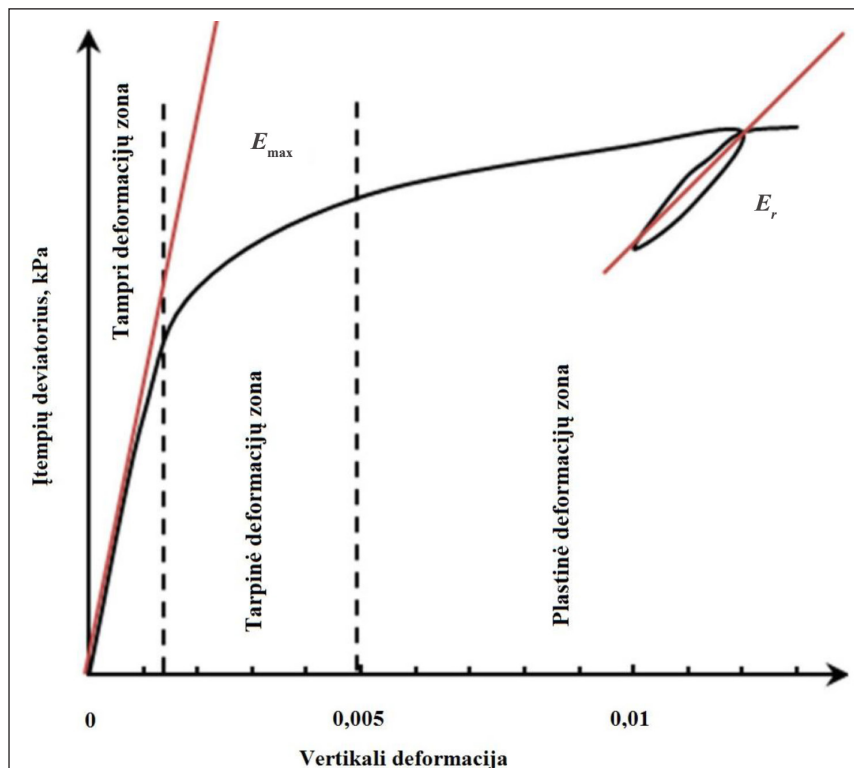
Tiriant gruntą su triašio slėgio aparatu galima nustatyti daug grunto mechaninių savybių. Taip pat gruntas gali būti tiriamas imituojant drenuojančias / nedrenuojančias ir / arba konsoliduotas / nekonsoliduotas sąlygas (Muraro ir kt. 2018; Giger ir kt., 2018). Triašio slėgio aparatu yra įmanoma imituoti ciklines, dinamines, periodines arba kartotiniai kintamas apkrovas (Chen ir kt., 2018; Jamali ir kt., 2018; Polito, Moldenhauer, 2018). Bandant grunto bandinius ne statinėmis apkrovų sąlygomis galima nustatyti liekamąsias grunto deformacines savybes (Arshad ir kt., 2018; George ir kt., 2018). Taigi, žinant geotechninės konstrukcijos eksploatacijos elgseną, galima parinkti tinkamą metodą grunto deformacinių savybių tyrimams (1 pav.), nes deformacinių savybių rodikliai skirtingose deformacijų zonose yra nevienodi.

Šio straipsnio tikslas – nustatyti grunto veikiamo periodinėmis apkrovomis elgseną su triašio slėgio aparatu. Šie tyrimai leidžia nustatyti grunto liekamąjį deformacijų modulį ir jo priklausomybę nuo apkrovų ciklų.

EKSPERIMENTINIO BANDYMO APRAŠYMAS

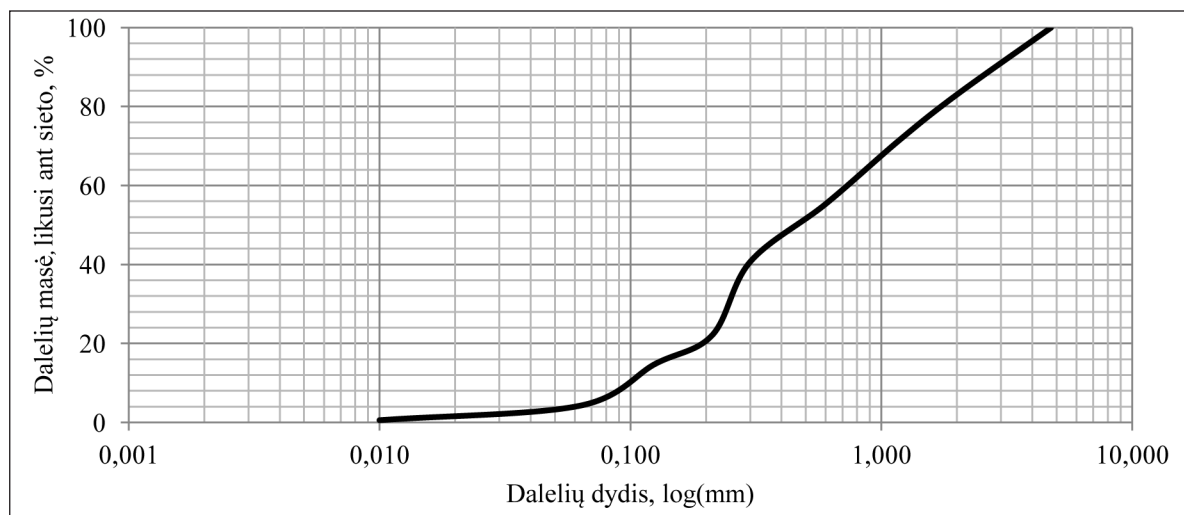
Tyrimuose naudotas gruntas – žvyringas smėlis (grSa). Šio grunto granulimetrinė kreivė pateikta 2 pav. Nustatytas vienodumo koeficientas $C_U = 8,35$ ir sanklodos rodiklis $C_C = 0,77$. Šio grunto kietųjų dalelių tankis $\rho_s = 2,7219 \text{ g/cm}^3$. Prieš plaunant grunto bandinį, bendra tiriamo grunto masė buvo 218,87 g. Po plovimo grunto bandinio masė – 201,72 g. Nustatyta, kad šio grunto sudėtyje yra dulquio ir molio, kurio masė – 18,23 g, t. y. 8,33 %.

Su šiuo gruntu atlikti triašio slėgio bandymai taikant periodines apkrovas. Tirtas 100 mm skersmens ir 200 mm aukščio grunto bandinys. Pasirinktos bandymų sąlygos – izotropiniai neprisotinti, nekonsoliduoti ir drenuoti bandymai (LST EN 13286-7:2004). Šios bandymų sąlygos imituoja automobilių kelių apkrovas su pasirinktu 1 Hz dažniu (pravažiuojanti pirma ir antra automobilio ašis). Kad būtų įmanoma tiksliai išmatuoti kiekvieno ciklo amplitudžių didžiausias



1 pav. Skirtumai tarp grunto deformacijų zonų ir deformacijų modulių (Sas ir kt., 2016)

Fig. 1. Differences between soil deformation zones and Young's modulus (Sas et al., 2016)



2 pav. Tirto grunto granulimetrinė sudėtis

Fig. 2. Granulometric curve of investigated soil

ir mažiausias vertes, bandymui buvo naudojamas duomenų įrašymo intervalas – 50 duomenų per vieną sekundę. Bandymų metu atkurtas grunto drėgnis $w = 8,00\%$. Bandiniai paruošti su pradinio grunto tankiu $\rho = 2,32\text{ g/cm}^3$. Ant paruošto

bandinio papildomai sumontuotas radialinis poslinkių indikatorius, matuojantis bandinio plėtimąsi arba traukimąsi, bei du papildomi vertikalių deformacijų indikatoriai, matuojantys bandinio vidurio suspaudimą (3 pav.). Papildomų indikatorių



3 pav. Papildomų indikatorių montavimas prieš bandymą

Fig. 3. Mounting additional indicators before test

pozicijos atitinka reikalavimus, pateiktus LST EN 13286-7:2004.

Bandyme taikytas celės slėgis $\sigma_3 = 70$ kPa, o deviatorinis įtempių pokytis $\sigma_d = 10\text{--}200$ kPa. Bandymų pradžioje atlikta 20 000 periodinių ciklinių apkrovimų ir ištirta grunto elgsena veikiant gruntą 1 Hz dažniu su kintamu įtempiu deviatoriumi $\sigma_d = 10\text{--}200$ kPa. Esant skirtingam ciklų kiekiui, pagal LST EN 13286-7:2004, nustatytas liekamasis deformacijų modulis: $E_r = (\sigma_1^{r2} + \sigma_1^r \sigma_3^r - 2\sigma_3^{r2}) / (\sigma_1^r \epsilon_1^r + \sigma_3^r \epsilon_3^r - 2\sigma_3^r \epsilon_3^r)$. Po 20 000 ciklų gruntas tirtas atskirai po 100 ciklų, keičiant celės slėgį ir įtempių deviatorių (1 lentelė).

Atlikus bandymus pagal 1 lentelėje nurodytas sąlygas, apskaičiuotas liekamasis deformacijų modulis E_r ir liekamosios vertikalios ϵ_1^r ir radialinės ϵ_3^r deformacijos (pagal LST EN 13286-7:2004). Atliekant skaičiavimus vertinti paskutiniai 10 ciklų rezultatai.

REZULTATŲ ANALIZĖ

Atlikus visus numatytus bandymų etapus, grunto bandinys nesuiro (4 pav.). Vertinant grunto bandinio formos pokyčius po bandymo, galima konstatuoti, kad bandinys per visą bandinio aukštį suspaudė mažiau nei 2,0 %. Vertikalios deformacijos ties bandinio viduriu nebuvo didesnės nei 0,5 %. Taip pat bandinys šiek tiek išsiplėtė ties bandinio viduriu (pradėjo formuotis statinės forma).

Vertikalios deformacijos, kurios buvo tiriamos per visą bandinio aukštį, pradėjo stabilizuotis esant 5 000 apkrovimo ciklų ir praktiškai nepakito iki 20 000 apkrovimo ciklų (5 pav.). Didžiausios deformacijos aptiktos tiriant gruntą nuo 1 iki 10 apkrovimo ciklo. Per visą apkrovimo ciklą buvo sukuriamas deviatorinis įtempių pokytis $\sigma_d = 10\text{--}200$ kPa. Norint išsamiau įvertinti grunto elgseną, reikia atsižvelgti į rezultatus, pateiktus 2 lentelėje.

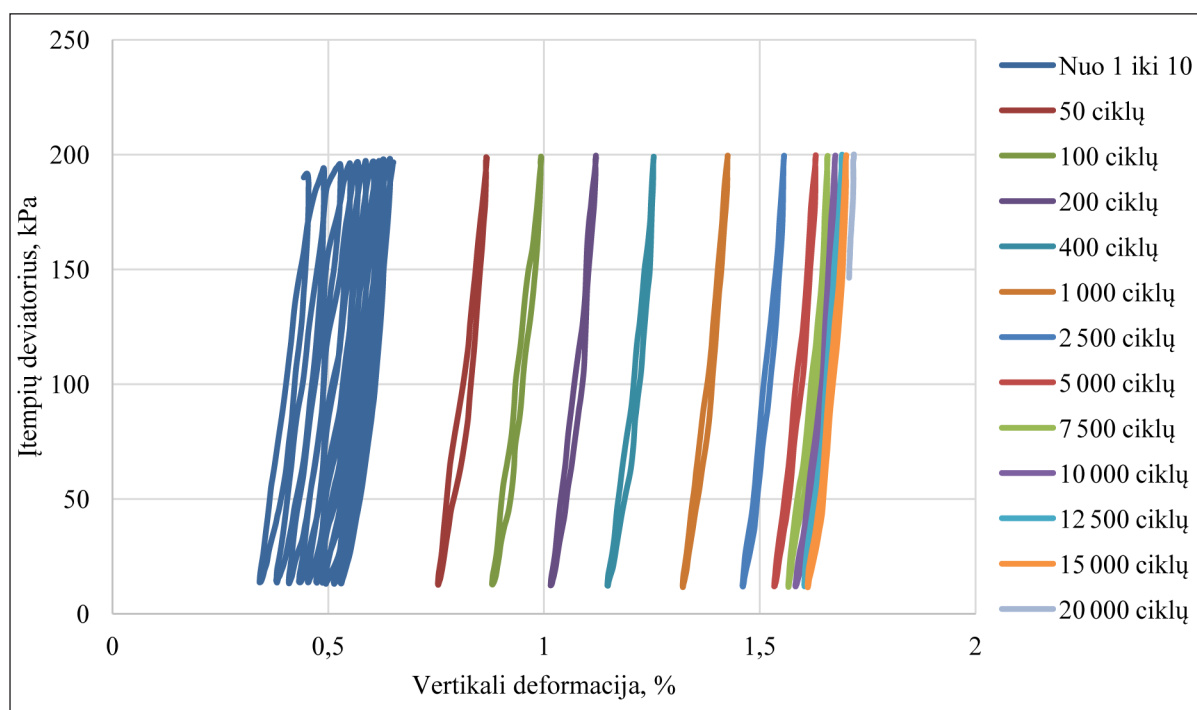
1 lentelė. Bandymų metodika esant ciklų skaičiui 20 001–21 900

Table 1. Testing methodology for cycles 20 001–21 900

| Ciklai Cycles, N (-) | Celės slėgis Cell pressure σ_3 , kPa | Mažiausias įtempių deviatorius Stress deviator (minimum) $\sigma_{d, \min}$, kPa | Didžiausias įtempių deviatorius Stress deviator (maximum) $\sigma_{d, \max}$, kPa |
|-------------------------|---|---|--|
| 20 100 | 20 | 10 | 20 |
| 20 200 | 20 | 10 | 35 |
| 20 300 | 20 | 10 | 50 |
| 20 400 | 20 | 10 | 70 |
| 20 500 | 35 | 10 | 35 |
| 20 600 | 35 | 10 | 50 |
| 20 700 | 35 | 10 | 70 |
| 20 800 | 35 | 10 | 90 |
| 20 900 | 35 | 10 | 120 |
| 21 000 | 50 | 10 | 50 |
| 21 100 | 50 | 10 | 70 |
| 21 200 | 50 | 10 | 90 |
| 21 300 | 50 | 10 | 120 |
| 21 400 | 50 | 10 | 160 |
| 21 500 | 70 | 10 | 70 |
| 21 600 | 70 | 10 | 90 |
| 21 700 | 70 | 10 | 120 |
| 21 800 | 70 | 10 | 160 |
| 21 900 | 70 | 10 | 200 |



4 pav. Grunto bandinio forma po bandymų
Fig. 4. Shape of soil sample after tests



5 pav. Vertikalių deformacijų pokytis, priklausomai nuo apkrovimo ciklų
Fig. 5. Vertical strain progress according to loading cycles

Analizuojant rezultatus, pateiktus 2 lentelėje, pastebima, kad liekamasis tamprumo modulis E_r labai priklauso nuo ciklų skaičiaus N ir atsiran-

dančių deformacijų veikiant kintamam įtempių deviatoriui. Liekamosios deformacijos, kurios matuotos ties bandinio viduriu, neviršijo 0,5 %

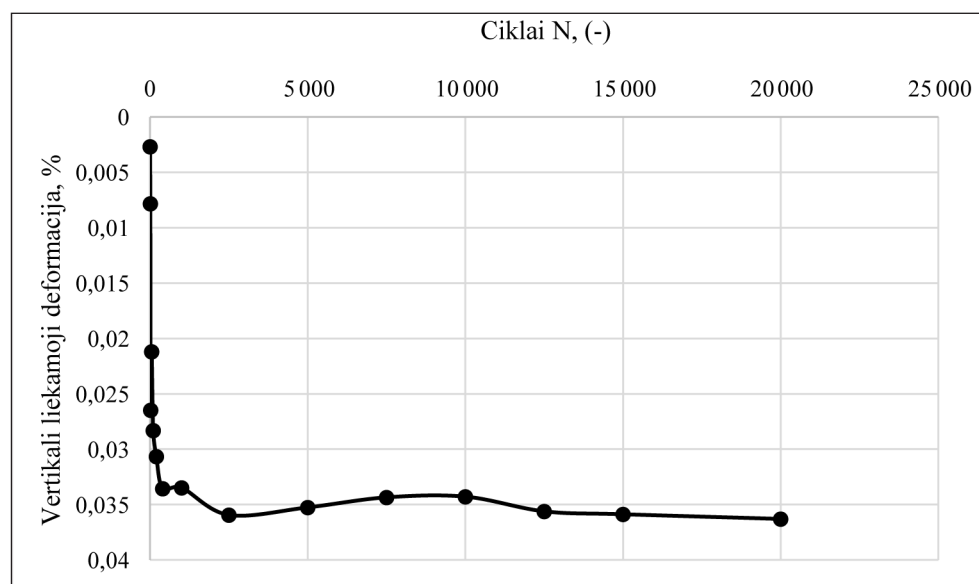
2 lentelė. Grunto, apkrauto 20 000 ciklų apkrova elgsenos rezultatai

Table 2. Results of soil behaviour loaded with 20 000 cycles

| Ciklai Cycles, N (-) | Celės slėgis Cell pressure, σ_3 (kPa) | | Įtempių deviatorius Stress deviator, σ_d (kPa) | | Liekamosios deformacijos Residual strains, % | | Liekamosios ciklo deformacijos Residual cycle strains, % | | Liekamasis tam- prumo modulis Residual Young's modulus, Mpa |
|----------------------------|--|-------|--|--------|--|----------------|---|----------------|--|
| | min | max | min | max | ϵ_1^r | ϵ_3^r | ϵ_1^p | ϵ_3^p | E_r |
| 1 | 62,45 | 65,12 | 13,68 | 190,01 | 0,000690 | 0,000190 | 0,002687 | 0,000059 | 259,47 |
| 10 | 63,34 | 65,80 | 13,42 | 195,48 | 0,000489 | 0,000186 | 0,007833 | 0,000165 | 565,33 |
| 20 | 64,60 | 69,58 | 12,80 | 199,59 | 0,000349 | 0,000189 | 0,026478 | 0,000458 | 406,59 |
| 50 | 66,65 | 69,28 | 12,85 | 198,74 | 0,000378 | 0,000129 | 0,021198 | 0,000478 | 988,14 |
| 100 | 67,80 | 69,48 | 12,58 | 199,08 | 0,000838 | 0,000198 | 0,028314 | 0,000691 | 383,49 |
| 200 | 68,06 | 70,37 | 12,50 | 199,14 | 0,000578 | 0,000164 | 0,030661 | 0,001298 | 602,00 |
| 400 | 68,94 | 70,58 | 12,29 | 198,94 | 0,000475 | 0,000203 | 0,033561 | 0,001510 | 595,02 |
| 1 000 | 69,72 | 70,81 | 11,89 | 199,15 | 0,000332 | 0,000076 | 0,033480 | 0,001898 | 847,34 |
| 2 500 | 69,72 | 71,04 | 12,05 | 199,54 | 0,000855 | 0,000443 | 0,035945 | 0,001708 | 268,23 |
| 5 000 | 69,73 | 70,86 | 11,75 | 199,71 | 0,000998 | 0,000169 | 0,035260 | 0,002043 | 492,38 |
| 7 500 | 69,72 | 70,99 | 11,63 | 199,25 | 0,001018 | 0,000224 | 0,034355 | 0,002176 | 210,96 |
| 10 000 | 69,73 | 71,13 | 11,94 | 199,65 | 0,000686 | 0,000209 | 0,034290 | 0,002266 | 697,27 |
| 12 500 | 69,73 | 71,04 | 11,72 | 199,59 | 0,000625 | 0,000150 | 0,035616 | 0,002297 | 372,21 |
| 15 000 | 69,73 | 71,05 | 11,57 | 199,63 | 0,000390 | 0,000094 | 0,035880 | 0,002145 | 739,19 |
| 20 000 | 69,72 | 70,80 | 24,55 | 199,40 | 0,000574 | 0,000111 | 0,036302 | 0,002566 | 1103,91 |

(6 pav.). Ši tendencija aptikta ir analizuojant atskirų ciklų liekamąsias deformacijas. Tiriama grunto bandinio plėtimosi liekamosios deformacijos

taip pat nebuvo žymios. Vertinant atskirų ciklų liekamąsias plėtimosi deformacijas ties bandinio viduriu, pastebima, kad nuo 5 000 iki 20 000



6 pav. Vertikalių liekamųjų deformacijų (ties bandinio viduriu) pokytis, priklausomai nuo apkrovimo ciklų

Fig. 6. Residual vertical strain (in the middle of the sample) progress according to loading cycles

ciklų šios deformacijos nusistovėjo ir praktiškai nekito.

Pagal gautą rezultatų kreivės pobūdį (6 pav.), tirtas gruntas priskiriamas C3 klasei (vadovaujantis LST EN 13286-7:2004), t. y. stabili deformacinė kreivė. Priskyrimas C3 klasei atliekamas pagal charakteristinės liekamosios ašinės deformacijos vertinimą prie 100 ir 20 000 apkrovimo ciklų ($\epsilon_1^c = \epsilon_1^p(20\ 000) - \epsilon_1^p(100)$). Nagrinėjamu atveju, $\epsilon_1^c = 0,007988$, tai yra daugiau nei 0,006.

Kadangi bendroji tirta žvyringo smėlio (grSa) bandinio aukščio vertikali deformacija buvo mažesnė nei 2,0 % (5 pav.), grunto bandinys papildomai ištirtas pagal bandymų metodiką, nurodytą 1 lentelėje. Nustatytas tiriamo grunto liekamasis deformacijų modulis (3 lentelė), esant skirtingiems imituojamų apkrovų intensyvumams ir grunto gyliams.

Nustatytas grunto liekamasis deformacijų modulis kinta, nes su celės slėgiu yra imituojamas skir-

tingas tiriamo grunto gylis ($\sigma_3 = 20\text{--}70$ kPa). Bandyme imituojant skirtingą gylį, gruntas ištirtas ir su skirtingais apkrovų intervalais ($\sigma_d = 10\text{--}200$ kPa). Analizuojant liekamojo deformacijų modulio vertes pastebėta, kad mažiausios reikšmės gaunamos, kai bandinys yra veikiamas įtempių deviatoriumi, kuris yra praktiškai tokio pačio dydžio kaip celės slėgis. Nustatytos didžiausios liekamojo deformacijų modulio vertės, kai įtempių deviatorius bandymų metu yra nuo 1,4 iki 2,5 kartų didesnis nei celės slėgis.

IŠVADOS

Apibendrinant gautus rezultatus galima teigti:

1. Liekamasis deformacijų modulis labai priklauso nuo deformacijų dydžio esant skirtingiems apkrovimo ciklams.

2. Tiriamo grunto atveju, grunto deformacijų elgsena priskiriama stabilioms deformacijoms,

3 lentelė. Grunto liekamojo deformacijų modulio nustatymas

Table 3. Soil residual Young's modulus determination

| Ciklai Cycles, N (-) | Celės slėgis Cell pressure, σ_3 (kPa) | | Įtempių deviatorius Stress deviator, σ_d (kPa) | | Liekamosios deformacijos Residual strains, % | | Liekamasis tamprumo modulis Residual Young's modulus, MPa |
|----------------------------|--|-------|---|--------|--|----------------|---|
| | min | max | min | max | ϵ_1^r | ϵ_3^r | E_r |
| 20 100 | 20,04 | 20,28 | 9,82 | 19,29 | 0,000889 | 0,000277 | 22,25 |
| 20 200 | 19,94 | 19,94 | 10,54 | 34,13 | 0,001689 | 0,000277 | 16,78 |
| 20 300 | 19,95 | 20,03 | 10,78 | 48,84 | 0,001010 | 0,000272 | 90,68 |
| 20 400 | 19,95 | 20,00 | 11,42 | 69,22 | 0,001338 | 0,000212 | 55,29 |
| 20 500 | 34,81 | 35,79 | 10,30 | 34,36 | 0,001534 | 0,000395 | 18,57 |
| 20 600 | 34,69 | 35,37 | 10,62 | 49,03 | 0,000549 | 0,000268 | 149,56 |
| 20 700 | 34,17 | 35,68 | 11,20 | 69,14 | 0,000863 | 0,000166 | 85,34 |
| 20 800 | 34,12 | 35,72 | 11,67 | 88,92 | 0,001391 | 0,000225 | 65,39 |
| 20 900 | 34,00 | 35,73 | 12,34 | 119,24 | 0,000631 | 0,000113 | 188,62 |
| 21 000 | 49,82 | 51,02 | 10,59 | 49,29 | 0,000994 | 0,000147 | 83,34 |
| 21 100 | 49,82 | 50,85 | 11,05 | 69,27 | 0,000883 | 0,000138 | 112,60 |
| 21 200 | 49,83 | 50,05 | 11,19 | 89,00 | 0,001411 | 0,000178 | 74,51 |
| 21 300 | 49,82 | 50,64 | 11,67 | 119,06 | 0,000446 | 0,000080 | 691,89 |
| 21 400 | 49,82 | 50,68 | 12,08 | 159,25 | 0,000643 | 0,000209 | 239,81 |
| 21 500 | 69,73 | 71,19 | 10,48 | 69,44 | 0,000695 | 0,000156 | 186,30 |
| 21 600 | 69,73 | 71,10 | 10,90 | 89,34 | 0,000986 | 0,000138 | 372,14 |
| 21 700 | 69,83 | 70,79 | 11,39 | 119,23 | 0,000588 | 0,000087 | 1714,93 |
| 21 800 | 69,73 | 70,68 | 11,97 | 159,13 | 0,000624 | 0,000111 | 329,35 |
| 21 900 | 69,72 | 70,72 | 12,25 | 199,43 | 0,000633 | 0,000212 | 500,28 |

pagal vertikalios liekamosios deformacijos ties bandinio viduriu ir apkrovų ciklų skaičių.

3. Pagal charakteristinės liekamosios ašinės deformacijos vertinimą, tiriamas gruntas priskiriamas C3 klasei.

4. Atliekant inžinerinius geologinius ir geotechninius tyrinėjimus tose vietose, kur vėliau grunto sluoksniai bus apkraunami ciklinėmis arba kartotinai kintamomis apkrovomis yra racionalu ištirti liekamąjį grunto deformacijų modulį.

5. Liekamasis deformacijų modulis taip pat labai priklauso nuo tiriamo grunto gylio apkrovų.

6. Siūloma atsakingas automobilių kelių ir geležinkelių atkarpa ištirti šiame straipsnyje pristatytu metodu, nes Lietuvoje tokie tyrimai dar tik pradedami. Gauti rezultatai yra labai vertingi prognozuojant inžinerinio geologinio pagrindo elgseną esant skirtingam apkrovų ciklų kiekiui ir intensyvumui.

PADĖKA

Tyrimų autoriai dėkingi Vilniaus Gedimino technikos universiteto Civilinės inžinerijos mokslo centrui už suteiktą tyrimų bazę ir bandymuose naudotas medžiagas.

Gauta 2019 01 07
Priimta 2019 02 06

LITERATŪRA

1. 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.
2. Arshad A. K., Shaffie E., Ismail F., Hashim W., Rahman Z. A. 2018. Resilient modulus of crushed granite aggregate base for use in mechanistic pavement design. *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 9(9): 1151–1160.
3. Chen R., Yao W., Lu F., Xia K. 2018. Evaluation of the stress equilibrium condition in axially constrained triaxial SHPB tests. *Experimental Mechanics*. 58(2018): 527–531.
4. Dirgėlienė N. 2013. *Grunto tyrimas triašio slėgio aparatu*. Vilnius: Technika. 43 p.
5. Dirgėlienė N., Skuodis Š., Grigusevičius A. 2017. Experimental and numerical analysis of direct shear test. *Procedia Engineering, Modern Building Materials, Structures and Techniques, MBMST 2016*. Amsterdam: Elsevier Ltd. 172(2017): 218–225.
6. Dundulis K., Kacynski R. R., Krauzlis K. S., Žaržojus G. 2008. Engineering geological properties of Vilnius and Warsaw region tills as building subsoils. *Geologija*. 50: S11–S15.
7. George V., Kumar A. 2016. Studies on modulus of resilience using cyclic tri-axial test and correlations to PFW, DCP, and CBR. *International Journal of Pavement Engineering*. 19(11): 976–985.
8. Giger S. B., Ewy R. T., Favero V., Stankovic R., Keller L. M. 2018. Consolidated-undrained triaxial testing of Opalinus Clay: Results and method validation. *Geomechanics for Energy and the Environment*. 14(2018): 16–28.
9. Jamali H., Tolooiyan A., Dehghani M., Asakereh A., Kalantari B. 2018. Long-term dynamic behaviour of Coode Island Silt (CIS) containing different sand content. *Applied Ocean Research*. 73(2018): 59–69.
10. Lekstutytė I., Gadeikis S., Žaržojus G., Skuodis Š. 2018. Medininkų ledynmečio periodo moreninių gruntų mechaninės savybės. *Geologija, Geografija*. 4(2): 69–78.
11. LST EN 13286-7:2004. *Birieji ir hidrauliniais rišikliais sujungti mišiniai. 7 dalis. Biriųjų mišinių periodinės apkrovos triašis bandymas*.
12. Medzvieckas J., Dirgėlienė N., Skuodis Š. 2017. Stress-strain states differences in specimens during triaxial compression and direct shear tests. *Procedia Engineering, Modern Building Materials, Structures and Techniques, MBMST 2016*. Amsterdam: Elsevier Ltd. 172(2017): 739–745.
13. Muraro S., Mašin D., Jommi C. 2018. Applicability of hypoplasticity to reconstituted peat from drained triaxial tests. *Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*. 42(2018): 2049–2064.
14. Polito C., Moldenhauer H. 2018. Energy dissipation and pore pressure generation in stress- and strain-controlled cyclic triaxial tests. *Geotechnical Testing Journal* (in press).
15. Sas W., Gluchowski A., Gabrys K., Sobol E., Szymanski A. 2016. Studies on cyclic and dynamic loading on cohesive soil in road engineering. *Proceedings of 13th Baltic Sea Geotechnical Conference "Historical Experience and Challenges of Geotechnical Problems in Baltic Sea Region"*. Lithuanian Geotechnical Society, Lithuania, 22–24 September. p. 85–92.
16. 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.
17. Skuodis Š., Karaman A. H., Dirgėlienė N. 2017. Comparison of one-step and step-wise compression tests. *Geologija, Geografija*. 3(1): 1–10.
18. Žaržojus G., Dundulis K. 2010. Problems of correlation between dynamic probing test (DPSH) and cone penetration test (CPT) for cohesive soils of Lithuania. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*. 5(2): 69–75.

19. Žaržojus G., Kelevišius K. 2016. Smėlio tyrimai patobulintu dinaminiu penetrometru. *Geologija. Geografija*. 2(2): 84–91.
20. Žaržojus G., Kelevišius K., Amšiejus A. 2013. Energy transfer measuring in dynamic probing test in layered geological strata. *Procedia Engineering, Modern Building Materials, Structures and Techniques, MBMST 2016*. Amsterdam: Elsevier Ltd. 57(2013): 1302–1308.

Šarūnas Skuodis, Rokas Karpis, Mindaugas Zakarka,
Modestas Gedvilas, Vytautas Raginis, Kornelija Orlova,
Mantas Katauskas

INVESTIGATION OF SOIL BEHAVIOUR AFFECTED WITH CYCLIC LOADS

Summary

This paper presents the results of a cyclic triaxial test on soil, namely gravely sand. These tests are very important for the evaluation of engineering geological and geotechnical conditions when the strata is loaded with cyclic loads. The provided research work shows the resilient Young's modulus change according to cycles quantity, stress deviator change and applied cell pressure. During the investigations, the constant cycles frequency (1 Hz) was applied. This frequency imitates moving road loads (moving car's first and second axis

load on road construction). Cycles quantity could be used for ranking materials on the basis of their plastic deformability. During this research it was obtained that investigated soil behaviour acts as stable deformation behaviour (plastic shakedown). The conditioning phase was realised using stress deviator values from 10 to 200 kPa with total cycles quantity 20 000. Analysing soil behaviour at the conditioning phase it was obtained that total sample deformation is less than 2.0% and resilient strain in the middle of the sample is less than 0.5%. According to characteristic permanent axial strain, investigated soil is classified as C3 class. The repeated loading phase was realised using stress deviators from 10 to 200 kPa with cell pressure from 20 to 70 kPa. Repeated loading for resilient testing showed that the resilient Young's modulus depends on applied cell pressure and stress deviator minimum and maximum values. The investigated soil sample shape after tests was almost the same as before the tests. Obtained results are very valuable when it is necessary to evaluate soil behaviour under different cyclic loading and load stresses. Also, when repeated loading tests are provided with different cell pressures it is possible to imitate soil layer behaviour in different depths.

Keywords: Young's modulus, resilient Young's modulus, resilient strains, cyclic load, triaxial test