

Smėlio tyrimai patobulintu dinaminiu penetrometru

Gintaras Žaržojus^{1,2},

Kęstutis Kelevišius³

¹ Vilniaus universitetas,
Gamtos mokslų fakultetas,
Hidrogeologijos ir inžinerinės geologijos katedra,
M. K. Čiurlionio g. 21/27, LT-03101 Vilnius

² Vilniaus Gedimino technikos universitetas,
Statybos fakultetas,
Geotechnikos katedra,
Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius

³ UAB „Vilniaus kogeneracinė jėgainė“,
Žvejų g. 14, LT-09310 Vilnius
El. paštas: gintaras.zarzojus@gf.vu.lt;
kestutis.kelevisius@outlook.com

Žaržojus G., Kelevišius K. Smėlio tyrimai patobulintu dinaminiu penetrometru. *Geologija. Geografija*. 2016. T. 2(2). ISSN 2351-7549.

Grunto tyrimai atlikti ypač sunkiu DPSH-B tipo dinaminiu penetrometru. Šiuo penetrometru galima tirti įvairios granulometrinės sudėties gruntų fizinę būklę, tačiau inžineriniuose geologiniuose tyrimuose daugiausia tiriama birūs gruntai. Bandymo metu gautų duomenų analizė yra sudėtinga, ypač tyrinėjant rišlius gruntuos. Duomenų patikimumas priklauso nuo naudojamos įrangos savybių, zondavimo strypų ir grunto tarpusavio sąveikos bei nuo grunto reakcijos į smūgį. Tam, kad būtų galima įvertinti įrangos įtaką rezultatų patikimumui ir grunto reakciją į smūgį, dinaminės penetracijos metodą reikia tobulinti. Šiam tikslui dinaminio penetrometro kūgyje sumontuoti pagreičių matuokliai, o prie plakto pritvirtinta smūgio parametrus registruojanti įranga. Minėti įrangos patobulinimai leido detaliau analizuoti bandymo rezultatus. Šiame straipsnyje pateikiami pirmųjų tyrimų rezultatai ir gairės tolimesniems darbams.

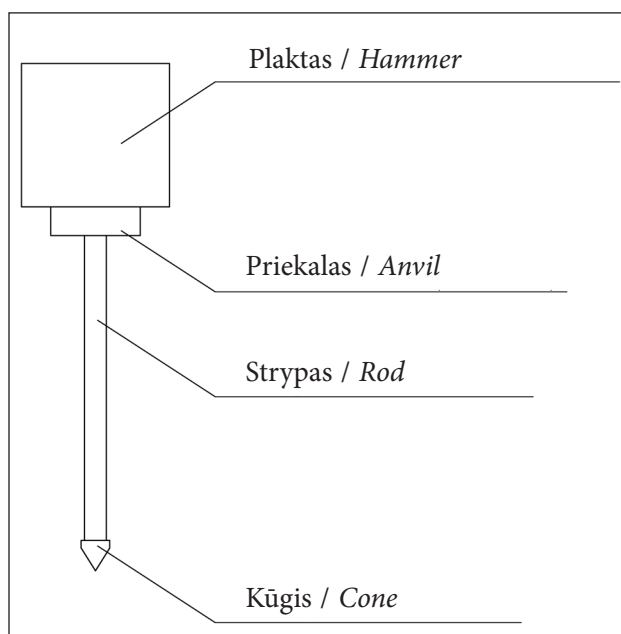
Raktažodžiai: dinaminis zondavimas, dinaminis penetrometras, grunto lauko tyrimai, inžineriniai geologiniai tyrimai, pagreičių matavimas

ĮVADAS

Visų statinių projektavimas ir statyba prasideda nuo inžinerinių geologinių ir geotechninių tyrimų. Vykdam tyrimus gaunama informacija apie grunto, kuris bus statinių pamatų pagrindu ar terpe statiniams, fizikines ir mechanines savybes. Inžinerinių geologinių ir geotechninių tyrimų metu gruntai tiriama tiek laboratoriniais, tiek įvairiais lauko tyrimo metodais. Pastarieji yra įvairūs grunto zondavimo *in-situ* metodai. Iš šių metodų gausos išsiskiria du: grunto bandymas statiniu kūginiu penetrometru (CPT) ir bandymas dinaminiu penetrometru (DPT). Bandymas statiniu kūginiu penetrometru yra populiariausias inžinerinių geologinių tyrimų metodas ir tinka įvairaus stiprumo bei įvairios granulometrinės sudėties gruntams tirti. Tačiau, jei tyrinėjamoje stovymėje slūgso tankesnio žvyro ar kitų stipraus

grunto sluoksnių, tada statiniu kūginiu penetrometru juos zonduoti yra sudėtinga, o kartais ir visai neįmanoma. Esant šioms sąlygoms gruntas gali būti zonduojamas dinaminiu penetrometru (DPT). Tai bene vienintelis *in-situ* tiesioginio tyrimo metodas, tinkantis tirti žvyringus ar labai stiprius gruntuos. Šio bandymo metu penetrometro kūgis plakto pagalba yra kalamas į gruntu. Bandymas aprašytas ISO 22476-2:2005 standartu. Priklausomai nuo naudojamos DPT įrangos tipo, gruntu galima tirti net iki 30,0 m gylio. Dinaminiu penetrometru rekomenduojama tirti tik birius gruntuos. Nustačius rišlaus grunto plastines savybes ir konsistenciją, dinaminiu penetrometru galima tirti ir pastarąjį gruntu (Žaržojus, 2010).

DPT įrangą sudaro plaktas, priekalas, zondavimo strypai ir strypų gale pritvirtintas kūgis, kuriuo zonduojamas gruntas (1 pav.). Zonduojant plaktu smūgiuojama į jį, taip smūgio energija



1 pav. Dinaminio penetrometro principinė schema

Fig. 1. The principle scheme of dynamic penetration equipment

perduodama į zondavimo strypus, o per juos – kūgiui. Pastarasis, gavęs kinetinę smūgio energiją, įsminga į gruntą. Bandymo metu skaičiuojamas smūgių skaičius (N_x), reikalingas kūgiui įsmigti į pasirinktą gylio intervalą, kuris paprastai būna 10 arba 20 cm. Pagal smūgių skaičių sprendžiama apie grunto masyvo fizinį būvį.

Nepaisant DPT metodo paprastumo jis turi nemažai trūkumų. Smūgių skaičius (N_x), apskaičiuojamas DPT bandymo metu, priklauso nuo dviejų pagrindinių veiksnių – naudojamos įrangos ir zonduojamo grunto savybių (2 pav.).

Standartinė dinaminio penetrometro įranga neleidžia pamatuoti jos darbo fizikinių parametrų bei tiksliai stebėti grunto atsaką į smūgį. Norint stebėti įrangos darbą ir grunto atsaką būtina šią įrangą tobulinti. Įrangos darbui stebėti, t. y. plakto smūgio parametrus įvertinti, prie plakto buvo sumontuota elektroninė poslinkio matavimo sistema. Grunto reakcijai į smūgį fiksuoti zondo kūgyje buvo įmontuoti pagreičių matuokliai.

Apie dinaminio penetrometro tobulinimą pasaulinėje mokslinėje literatūroje informacijos pateikta mažai. Tik viena tyrėjų grupė yra paskelbusi publikacijas šia tema (Byun, Lee, 2013; Byun ir kt., 2015). Žinoma, kad pagreičių ir deformacijų matuoklių pritaikymas dinaminiam

(DPT) ir standartiniam (SPT) zondavimui pasaulyje yra naudojamas plačiai, ypač atliekant standartinio zondavimo bandymus (Lukiantchuki, Esquivel, 2011; Restrepo ir kt., 2013; Žaržojus ir kt., 2013; Look, 2015). Be to, yra sukurtas naujo tipo lengvasis dinaminis zondas PANDA, kuriame įrengti šie matuokliai (Langton, 1999; Figueiredo ir kt., 2013). Tačiau visuose šiuose penetrometruose pagreičių ir deformacijų matuokliai sumontuoti zondavimo strypų viršuje ir skirti tik zondavimo energijai kalibruoti. Šiuo atveju plakto smūgio parametrų matavimo įranga sumontuota ant plakto, o pagreičių matuoklės – kūgyje, kuris kalamas į gruntą. Kūgio poslinkio pagreičiai, kurie priklauso nuo grunto savybių, pamatuojami betarpiškai grunte, tyrinėjamame gylyje, kas leidžia *in-situ* analizuoti grunto savybes dinaminių poveikių metu. Tai labai svarbu projektuojant pastatus, nes jie eksploatacijos metu perduos dinaminis poveikius į gruntą. Dabar grunto savybių tyrimui dinaminių poveikių metu yra naudojami tik geofizikiniai – mikroseisminiai tyrimo metodai.

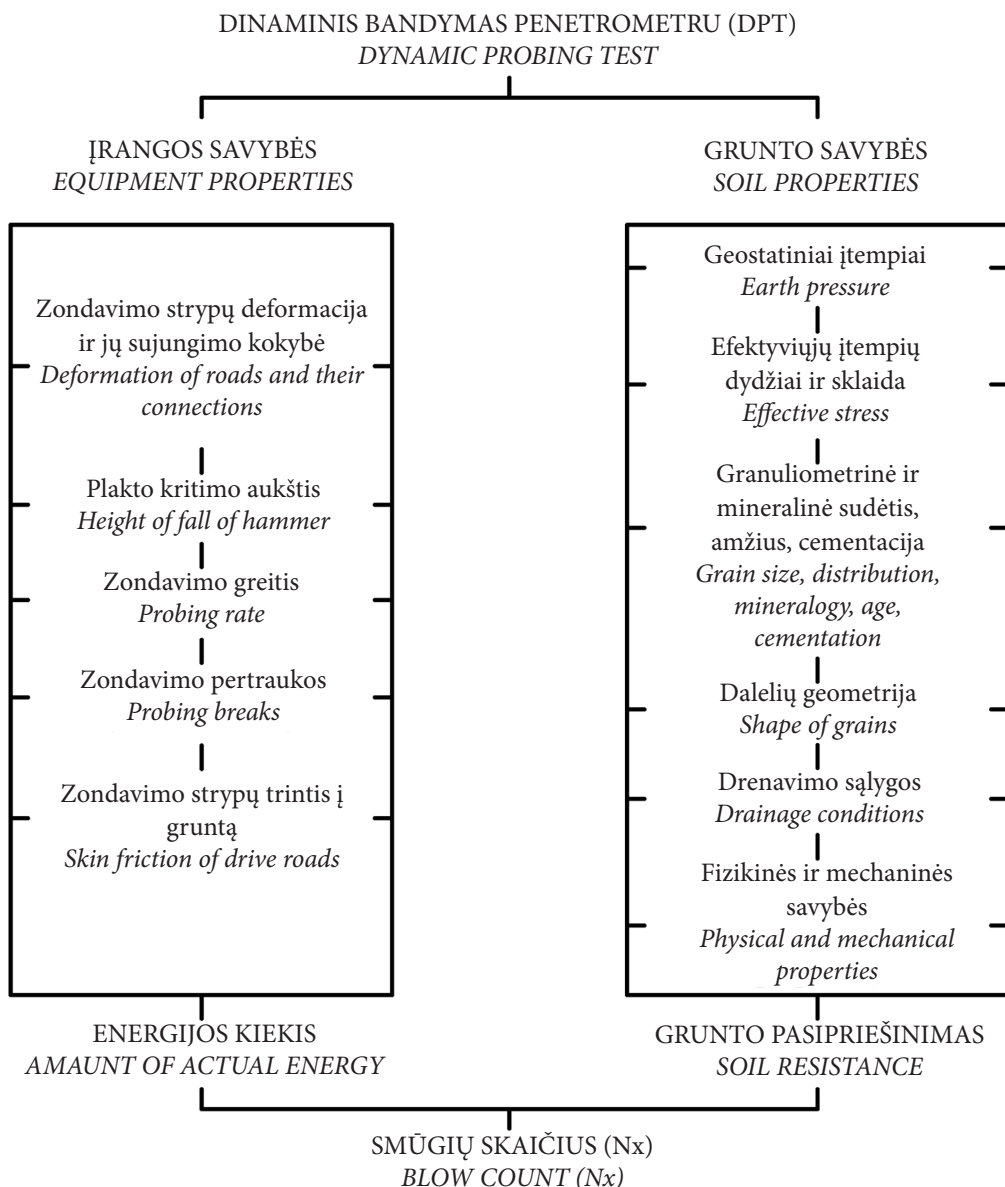
DARBO METODIKA

Dinaminis penetrometras

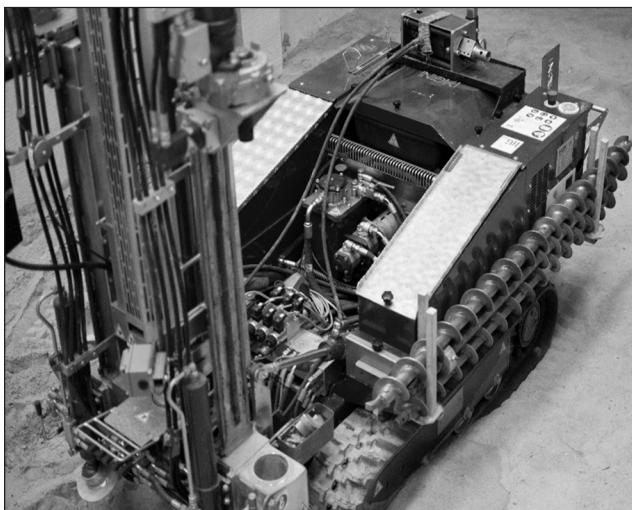
Tyrimų metu buvo tobulintas ypač sunkus dinaminis penetrometras (DPSH-B) (3 pav.), kuris aprašytas ISO 22476-2:2005 standartu. Penetrometro įrangą sudaro 63,5 kg plaktas, jis mėtomas iš 760 mm aukščio į priekalą. Pastarasis sujungtas su 36 mm skersmens zondavimo strypais. Jų gale yra prisuktas zondavimo kūgis, kurio skersmuo 50 mm, o kampas 90°. Zondavimo metu, kūgį įkalus vieną metrą į gruntą, prisukamas naujas zondavimo strypas ir zonduojama giliau. Per bandymą skaičiuojamas smūgių skaičius, reikalingas kūgiui įsmigti į 20 cm gylį (N_{20}). Iš smūgių skaičiaus sprendžiama apie grunto fizinį būvį.

MODIFIKUOTAS PENETROMETRO KŪGIS

Šiems tyrimams iš labai kieto plieno buvo pagamintas specialus išardomas penetrometro kūgis, kuris susideda iš dviejų dalių – korpuso ir įsukamo antgalio. Korpusas su įsuktu kūgio formos antgaliu savo išore atitinka standartinį DPSH-B įrangos antgalį. Naujai pagamintame korpuse



2 pav. Smūgių skaičių lemiantys veiksniai ir jų tarpusavio sąsajos (Žaržojus, 2010)
Fig. 2. The factors affecting the number of blows and interrelation between them



3 pav. Įranga, sudaranti ypač sunkų dinaminį penetrometrą (DPSH-B)
Fig. 3. Super heavy dynamic probing (DPSH-B) test equipment

yra išgręžta skylė, skirta sumontuoti prietaisus. Prietaisus sudaro: pagreičių jutiklis (matuoklis), mikroprocesorius, baterija ir MicroSD atminties kortelė (toliau – CPU). Pagreičių jutiklis prisuktas prie antgalio ir sujungtas su CPU laidais. CPU dalis plastikiniu korpusu yra apsaugota nuo drėgmės patekimo ir laidų susilietimo. MicroSD kortelė, USB jungtis mikroprocesoriui programuoti, baterijos krovimo kontaktai ir CPU jungtukas yra išvesti į išorę ir juos galima lengvai pasiekti. Viršutinis ir apatinis CPU kraštai yra atremti į minkštą medžiagą, kad būtų išvengta žalingų vibracijų, atsirandančių smūgio metu, poveikio. Įrengtas pagreičių jutiklis yra analoginis. Naudoto pagreičių jutiklio projektinis matavimo diapazonas – ± 500 g ($g = 9,81$ m/s²) su didžiausia netiesiškumo paklaida 2 %. Matuojant didesnius pagrečius netiesiškumo paklaida didėja. Pagreičių jutiklis yra nuskaitomas be jokių įtampos apdorojimo prietaisų (be žemo dažnio filtro). Mikroprocesoriaus analoginio signalo diskretizacijos laipsnis yra 14 bitų.

CPU veikimo algoritmas yra šis: tik įjungus CPU atliekamas pagreičių jutiklio kalibravimas, o jo rezultatai įrašomi į atminties kortelę (MicroSD). Vėliau CPU skaito pagreičio jutiklio matavimo rezultatus nustatytu dažniu (šiuo atveju 40 000 kartų per sekundę). Kiekvienas pagreičių jutiklio nuskaitytas rezultatas yra įrašomas į žiedinę atmintį, kad būtų galima turėti 100 smūgių rezultatų istoriją. Jei išmatuota vertė neviršija nustatytos ribinės vertės, CPU vėl skaito pagreičio jutiklio vertę. Kitu atveju mikroprocesorius formuoja 5 000 pagreičio jutiklio nuskaitytų verčių bloką, į kurį įeina ir žiedinėje atmintyje saugomos vertės, ir įrašo duomenis į MicroSD kortelę CSV formatu.

Plakto poslinkių matavimo įranga

Plakto poslinkių matavimo įranga yra pagaminta iš mikroprocesoriaus, baterijų, Holo efekto jutiklių, SD kortelės ir magnetinės liniuotės. Liniuotė pritvirtinta prie DPSH-B įrangos rėmo, šalia plakto. Holo jutikliai ir plakto poslinkių matavimo CPU pritvirtinti ant plakto viršaus. CPU bloko svoris yra mažesnis nei 100 g, todėl šis svoris laikomas nežymus, jis neturi didelės įtakos rezultatams. Matavimo rezultatai įrašomi į SD kortelę CSV formatu. Poslinkių liniuotės padalos vertė – 0,79 mm.

Duomenų apdorojimas

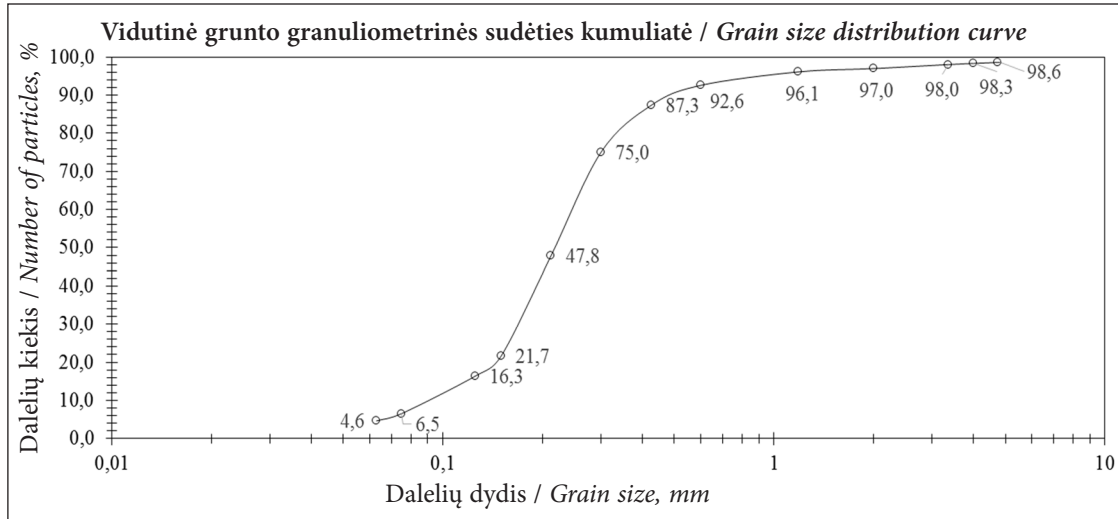
Atliekant bandymus nustatyta, kad pagreičių jutiklio matavimo diapazonas yra nepakankamas atlikti visą kūgio pagreičių matavimą. Didžiausias neatitikimas pastebėtas 2–5 išmatuotų pagreičio jutiklio rezultatų intervale, kai duomenų įrašymo greitis siekė 40 000 rez/s. Šiame intervale išmatuotos vertės yra didesnės nei 780 g. Apskaičiavus kūgio greitį bėgant laikui ir naudojant išmatuotus pagrečius gauta, kad jo greitis po smūgio nebuvo lygus 0 m/s, o tai neteisingas rezultatas, bet greičio kreivė po smūgio yra horizontali, t. y. lygiagreti laiko ašiai. Tada keičiant 2–5 išmatuotas reikšmes į didesnes vertes greitis po smūgio tampa lygus 0 m/s. Žinant, kad kūgio greitis prieš ir po smūgio yra 0 m/s, į 2–5 matavimo rezultatus įrašomos tokios vertės, kad viso įrašo pagreičių suma būtų lygi 0. Greičio integravimo į poslinkius metu tokios verčių korekcijos nedaromos. Autoriai mano, kad apskaičiuoti poslinkiai yra adekvatūs. Tikrinant įvertinti poslinkiai yra lyginami su tiesiogiai išmatuotais. Toliau analizuojant duomenis priimta, kad apskaičiuoti poslinkiai neturi viršyti išmatuotų per vieną tiesioginio poslinkio matavimo padalos vertę, t. y. 0,79 mm.

Bandymo vieta

Dinaminiai bandymai penetrometru buvo atlikti betoniniame pamatų bandymo stende. Šio stendo gylis ~5,0 m, o plotas 25,0 m². Jis užpiltas smulkiu ir vidutinio rupumo smėliu (4 pav.), kuris pilant buvo tankinamas. Užpiltas smėlis iki 3,8 m gylis yra mažai drėgnas, giliau – vandeningas. Kad būtų fiksuota smėlio sluoksnio nevienalytiškumas jo tankumo atžvilgiu, atliktas statinis bandymas kūginiu penetrometru (CPT). Šis bandymas leido išsamiai ištirti visos stovymės nevienalytiškumą, kadangi jo metu nustatyti kūginis stipris (q_c , MN/m²) ir šoninis stipris (f_s , kN/m²) buvo matuojami kas 2 cm. Zondavimo bandymai dinaminio ir statiniu penetrometru (CPT ir DPSH-B) parodė, kad tyrinėtas smėlio sluoksnis yra vidutinio tankumo ir tankus. Dinaminio bandymo metu gauto smūgių skaičiaus (N_{20}) ir statinio zondavimo duomenų (q_c ir f_s) palyginamasis grafikas pateiktas 5 pav.

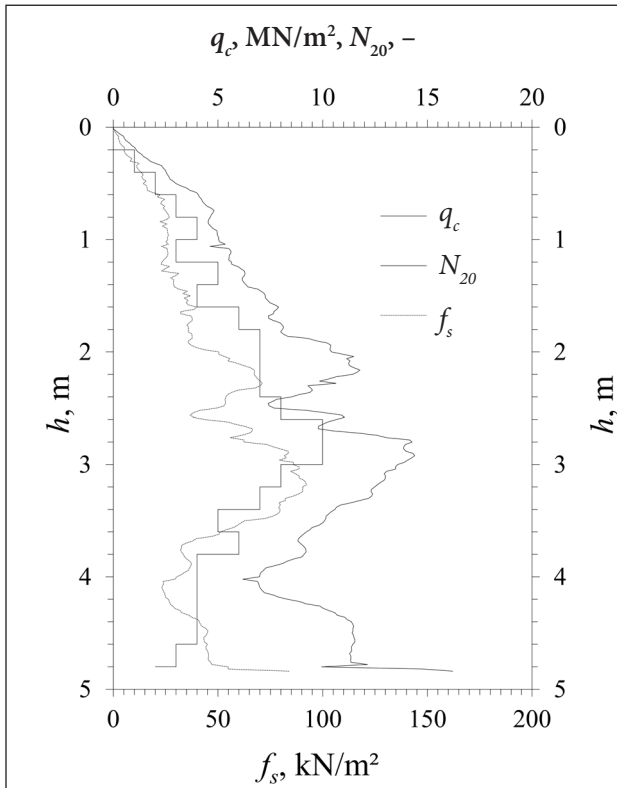
PIRMŪJŲ BANDYMŲ REZULTATAI

Pirmieji bandymai atlikti modifikuotu DPSH-B tipo dinaminio penetrometru leido stebėti visą



4 pav. Tyrineto smėlio granulimetrinės sudėties kreivė

Fig. 4. The averaged grain size distribution curve of investigated sand



5 pav. Tyrineto smėlio sluoksnio zondavimo rezultatų palyginamasis grafikas

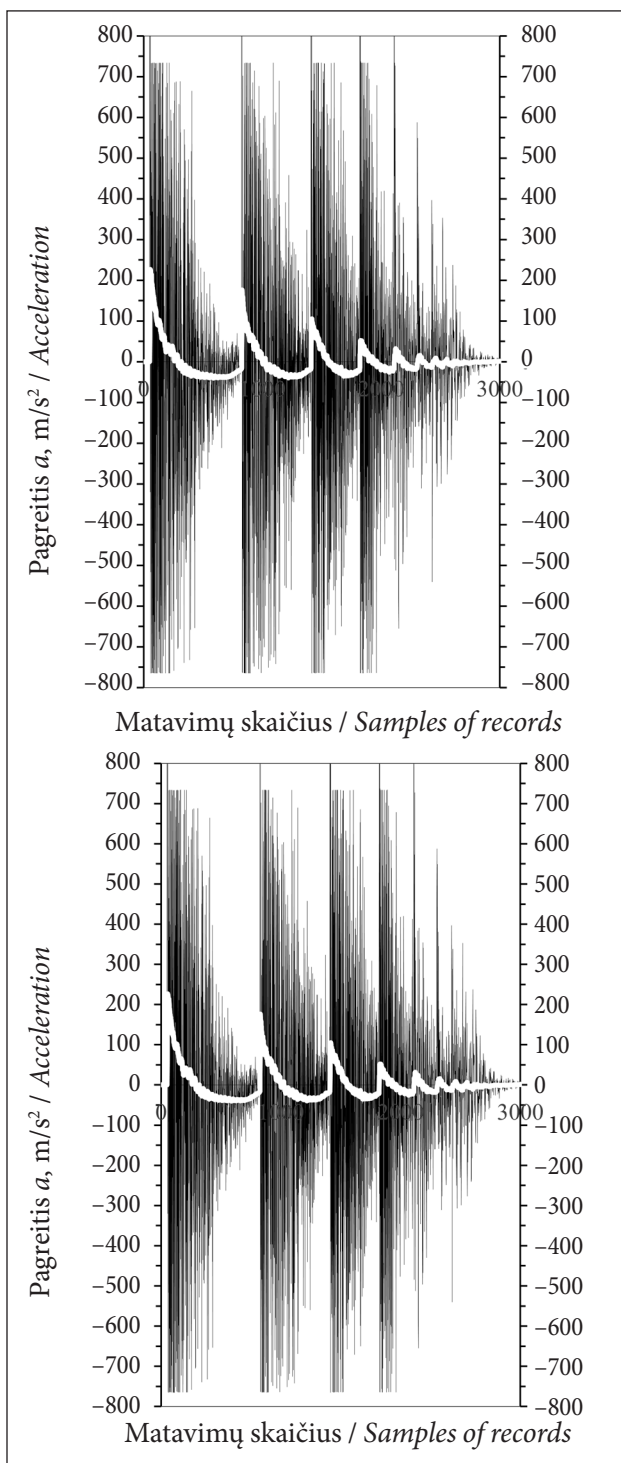
Fig. 5. The comparative diagram of CPT and DPSH-B test results in a foundation pit

plakto smūgio ir penetrometro kūgio smigimo istoriją. Analizuojant smūgio ir kūgio smigimo istoriją matome, kad kūgis smigdamas nuo vieno smūgio buvo keletą kartų sustojęs ir vėl greitėjo (6 pav.). Taip įvyko dėl plakto atšokimo ir

vis silpnėjančios pasikartojančių smūgių serijos, kurių pastebėti be prietaisų yra neįmanoma. Ši informacija leis dešifruoti pirmą tikrą smūgį ir atmesti kitus pasikartojančius smūgius.

Dešifravus smūgio istorijos rezultatus ir sugretinus juos su grunto stiprumą atspindinčiu statinės penetracijos bandymo grafiku (7 pav.) matome, kad pagreitis (a) mažėja, kai gruntas stiprėja, t. y. kai didėja q_c vertės. Tai natūralu, nes stipresnis gruntas labiau priešinasi ir lėtina kūgio smigimą. Tačiau ši tendencija pastebima tik maždaug iki 3,5 m gylio. Analizuojant CPT duomenis paaiškėjo, kad gilesniuose sluoksniuose gruntas silpnėja, tačiau kalamo kūgio pagreičio (a) vertės ir toliau mažėja.

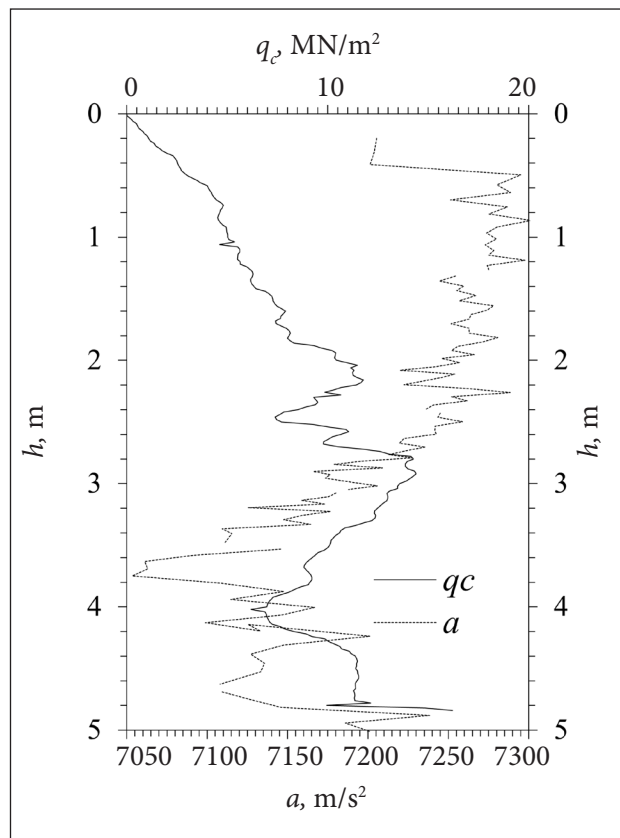
Kaip būtų galima šį fenomeną paaiškinti? Zonduotas smėlis nuo 3,8 m gylio yra vandeningas. Tai reiškia, kad jo fizinis būvis šiame gylyje pasikeičia. Grunte atsiranda papildoma medžiaga (vanduo), kuri taip pat priešinasi dinaminiam penetrometro smigimui. Vandens esančio grunto porose pasipriešinimas smūgiui sukelia dinaminį (perteklinį) porinį slėgį (Δu_d). Šį momentinį pasipriešinimą galime vadinti grunto stiprumu nedrenuotomis sąlygomis, nes staigaus smūgio metu vanduo iš porų nespėja pasišalinti. Juolab kad grunte yra nemažas smulkių dalelių kiekis $>4\%$ (4 pav.), kuris apsunkina vandens filtraciją. Kodėl šis fenomenas pasireiškia kiek aukščiau gruntinio vandens lygio? Tai galima paaiškinti gruntinio vandens pakilimu kapiliarais. Tokios granulimetrinės sudėties grunte vanduo



6 pav. Kūgio pagreičio (a) istorijos diagramos: a) keturi smingančio kūgio pagreitėjimai, b) du smingančio kūgio pagreitėjimai

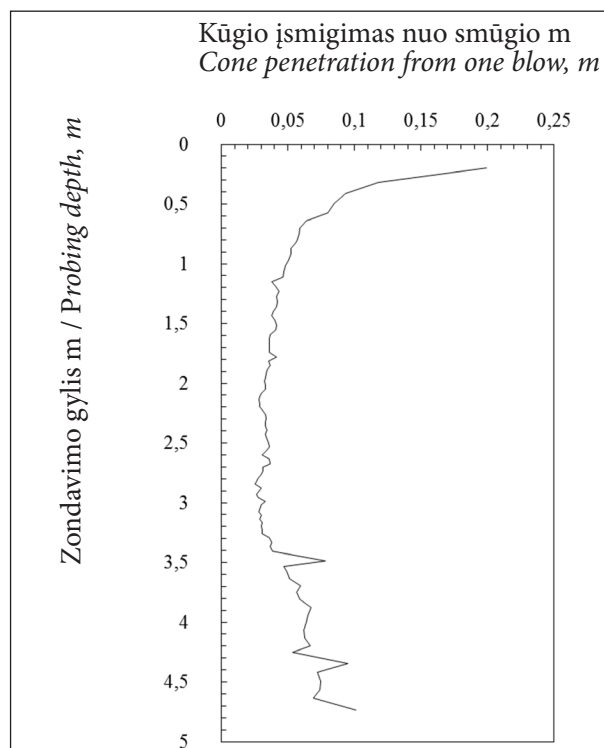
Fig. 6. The diagrams of cone acceleration (a) history: a) four accelerations of the cone, b) two accelerations of the cone

kapiliarais gali pakilti iki 0,5 m aukščio. Statinės penetracijos (CPT) metu šis porinio slėgio pasipriešinimas neįjuntamas, nes apkrovimas vyksta statiškai, užtrunka ilgesnį laiko tarpą, ir vanduo



7 pav. Kūgio smigimo maksimalaus pagreičio (a) palyginimas su CPT duomenimis (q_c)

Fig. 7. The comparative diagram of peak values of cone acceleration (a) and cone resistance (q_c) estimated in CPT test



8 pav. Kūgio išmigimo gylis nuo vieno smūgio

Fig. 8. The cone penetration depth due to a single impact

iš po kūgio spėja drenuoti nesukeldamas porinio slėgio. Čia grunto stiprumas veikia drenuotomis sąlygomis.

Analizuojant smūgių skaičių, gautą DPSH-B bandymo metu, matome, kad esant mažai drėgnam smėliui jis beveik proporcingai atkartoja statinio zondavimo kreivę, tačiau nuo gruntinio vandens lygio ši tendencija išnyksta, ir smūgių skaičius (N_{20}) rodo gruntą esant silpnesnį, nei tai parodo CPT bandymo duomenys (q_c) (5 pav.). Klausimas, kodėl? Smūgio metu susiformavęs dinaminis porinis slėgis grunto daleles atstumia vieną nuo kitos, taip mažina efektyviusius įtempius po penetrometro kūgiu, gruntas silpnėja, o kūgis vieno smūgio metu įsminga vis giliau, taip mažinamas smūgių skaičius N_{20} (8 pav.).

IŠVADOS

Dinaminio penetrometro įrangos patobulinimas leidžia stebėti smūgio ir kūgio smigimo istoriją, kuri yra labai svarbi analizuojant duomenis ir sprendžiant apie grunto stiprumą.

Išsamesnė smingančio kūgio pagreičio ir greičio analizė leis įvertinti grunto savybes dinaminio poveikio metu, kurios yra svarbios projektuojant sudėtingų statinių pamatus.

Kūgio smigimo istorijos analizė leidžia įvertinti požeminio vandens įtaką gruntų savybėms. Ši įtaka išryškėjo atliekant jau pirmuosius tyrimus. Išsamesniam paaiškinimui reikalingi platesni tyrimai, apimantys ir grunto fizikinių bei mechaninių savybių laboratorinius tyrimus.

Tolimesniuose tyrimuose planuojama papildomai į dinaminio penetrometro kūgį įdiegti jėgos matuoklius, kurie leistų tiksliai apskaičiuoti plakto energijos kiekį, tenkantį kūgiui.

PADĖKA

Tyrimų autoriai dėkingi Vilniaus Gedimino technikos universiteto Civilinės inžinerijos mokslo centrui už suteiktą tyrimų bazę ir zondavimo įrangą.

Gauta 2016 04 07
Priimta 2016 05 12

Literatūra

1. Byun Y., Lee J. 2013. Instrumented dynamic cone penetrometer corrected with transferred energy into a cone tip: a laboratory study. *Geotechnical Testing Journal*. 36(4): 533–542.
2. Byun Y., Hong W., Lee J. 2015. Characterization of railway substructure using a hybrid cone penetrometer. *Journal of Smart Structures and Systems*. 15(4): 1085–1101.
3. Figueiredo L. C., Cunha R. P., Conciani W. 2013. An overview on existing dynamic cone penetration test research related to the Central Area of Brazil. *Proceedings of 4th International Conference on Site Characterization “Geotechnical and Geophysical Site Characterization 4”*. Porto De Galinhas – Pernambuco. 1669–1675.
4. Langton D. D. 1999. The Panda lightweight penetrometer for soil investigation and monitoring material compaction. *Journal of Ground Engineering*. 32(9): 33–37.
5. Look B. G., Seidel J. P., Sivakumar S. T., Welikala D. L. C. 2015. Real time monitoring of SPT using a PDM device – The failings of our standard test revealed. *Proceedings of International Conference on Geotechnical Engineering*. Colombo. 435–438.
6. Lukiantchuki J. A., Esquivel E. R., Bernardes G. P. 2011. Interpretation of force and acceleration signals during hammer impact in SPT tests. *Proceedings of 14th Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. Toronto.
7. Mayne P. W. 2006. Invited Overview Paper: In-situ test calibrations for evaluating soil parameters. *Characterization & Engineering Properties of Natural Soils*. Vol. 3 (Proc. Singapore 2006). London: Taylor & Francis Group. 1602–1652.
8. Restrepo V. H., Rodríguez J. A., Nicolas E. P. 2013. Measurements of energy and dynamic force using instrumented SPT in a soil profile and wave propagation analysis. *Proceedings of 4th International Conference on Site Characterization “Geotechnical and Geophysical Site Characterization 4”*. Porto De Galinhas – Pernambuco. 319–328.
9. Žaržojus G. 2010. *Dinaminio zondavimo rezultatų ir juos įtakančių veiksnių analizė bei sąsajos su statinio zondavimo duomenimis Lietuvos gruntuose*: daktaro disertacija. Vilniaus universitetas.
10. Žaržojus G., Kelevišius K., Amšiejus J. 2013. Energy transfer measuring in dynamic probing test in layered geological strata. *Procedia Engineering* (57). Amsterdam: Elsevier Science Ltd. 1302–1308.

Gintaras Žaržojus, Kęstutis Kelevišius

INVESTIGATION OF SAND WITH AN IMPROVED DYNAMIC PENETROMETER

S u m m a r y

The dynamic penetration test (DPSH-B) is one of a large amount of soil *in-situ* tests known. In world practice, this method is usually used for granular soil investigations although it can be applied in cohesive soils. Correlation of received DPSH-B test results with soil properties is complex and often not reliable. Especially it becomes obvious after application of cohesive soil analysis. In most cases, correlation depends on soil response to dynamic cone penetration and deformation of dynamic sounding equipment. Measurement of cone accelerations allows precisely evaluate the loss of hammer energy, displacement of the cone during strike, and etc. Correlation of DPSH-B (measured acceleration of the cone) and CPT test results are presented in this article. Studies of possibilities to determine other soil dynamic characteristics are presented too.

During these studies, a super heavy dynamic penetrometer (DPSH-B) was used. The modified DPSH-B

cone is made of very hard steel. The cone consists of two parts – a body and a screwed anvil. The body part is drilled for an accelerometer and a central processor unit (CPU). The anvil consists of a standard shape cone anvil, a thread to fasten the anvil into the body part and a cage for holding the accelerometer and CPU. The hammer displacement measurement equipment is made of a microprocessor, battery, Hall Effect sensors, SD card, and magnetic ruler. The DPSH-B test with a modified cone was carried out in a sandbox made of concrete walls and concrete bottom. The sandbox was about 5.0 m in depth and had about 25.0 m² area.

The studies have shown that the history of hammer impact and cone sinking helps to analyze the test data and to find correlations with soil properties, especially with dynamic characteristics.

The groundwater influence in the values of cone acceleration should be examined very carefully, because this may have link with the dynamic pore water pressure.

Key words: dynamic probing, dynamic penetrometer, soil *in-situ* tests, engineering geology testing, acceleration measurement