

GRUNTO STIPRIO, KINTANČIO IŠILGAI POLIO, ĮTAKA SMŪGIO BANGOS SKLIDIMUI POLYJE

Kęstutis Kelevišius¹, Jonas Amšiejus², Šarūnas Skuodis³

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

El. paštas: ¹kestutis.kelevisius@vgtu.lt; ²ajonas@st.vgtu.lt; ³sarunas.skuodis@stst.vgtu.lt

Įteikta 2011 03 08; priimta 2011 04 26

Santrauka. Daugeliu atvejų tikroji polio laikomoji galia gali būti nustatyta natūraliomis sąlygomis atlikus polio laikomosios galios statinius arba dinامينius bandymus bei atlikus skaitinį dinaminį bandymų modeliavimą. Pateikiama idealizuota polio bandymo arba kalimo sistema, kuri apima plaktą, kalimo sistemą ir grunto savybes. Nurodoma, kokia informacija reikalinga norint atlikti minėtos sistemos analizę, aprašoma, kaip ši sistema veikia. Pateikta idealizuotos polio bandymo arba kalimo sistemos sprendimo veiksmų seka – vienmatės bangos sklidimo polyje skaičiavimo metodas, užprogramuotas kompiuterinėje programoje MW87, kuri straipsnio autorių buvo pakoreguota. Šiame straipsnyje nagrinėjama skirtingai pasiskirsčiusio grunto stiprio, kintančio išilgai polio, įtaka polio kalimo atsakui, kai visas grunto stipris, kintantis išilgai polio, nekinta, nes, remiantis esant tampriajai stadijai gautais skaitinio modeliavimo rezultatais, nustatyta, kad grunto stipris, kintantis išilgai polio, virš pado vieno polio skersmens intervale yra kur kas didesnis negu per polio vidurį arba jo viršuje.

Straipsnyje nagrinėjamas 0,8 m skersmens 3 m ilgio polis, esantis smėlio grunte. Skaičiuojant polis yra išdalintas į 20 baigtinių elementų (segmentų). Grafiškai pavaizduota, kaip, priklausomai nuo laiko intervalų, idealizuotoje polio skaičiuojamojoje schemoje kinta segmentų greičiai ir poslinkiai. Atlikus polio dinaminio bandymo skaičiavimus, kai plakto masės ir suminiai grunto stipriai, kintantys išilgai polio, yra skirtingi, buvo sudaryta nomograma, kuria naudojantis galima nustatyti polio statinį stiprį. Straipsnyje pateikiama, kaip, naudojantis nomograma, nustatyti polio laikomąją galią, kokie polio dinaminio bandymo duomenys tam reikalingi.

Reikšminiai žodžiai: Smith modelis, grunto stipris, smūgio bangos sklidimas, nomograma.

1. Įvadas

Daugeliu atvejų tikroji polio pagrindo laikomoji galia gali būti nustatyta atlikus statinius arba dinامينius bandymus. Atliekant dinامينius polio bandymus, naudojama specialiai tam pagaminta įranga ir polio laikomajai galiai apskaičiuoti matematinis modelis. Skaičiuojama gali būti naudojant Smith (Smith 1960) arba TNOWAVE (Middendorp 2004) matematinis modelius. Dažniausiai bangos sklidimo polyje analizei naudojamas Smith modelis. Laikui bėgant jis buvo tobulinamas. Dažniausiai keičiamos grunto reologinių modelių, kuriais modeliuojamas polio pagrindo stipris, kintantis išilgai polio, kombinacijos, taip pat gali būti keičiama baigtinių elementų elgsena. Šie skaičiavimo

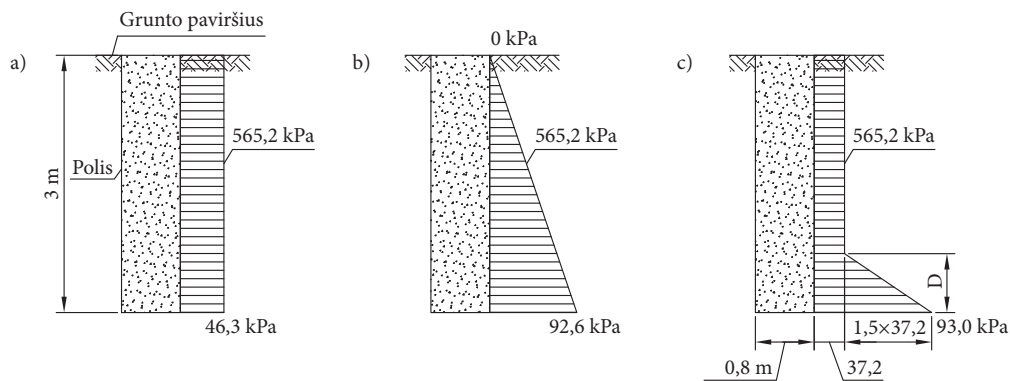
modeliai užprogramuoti „TTI“ (Samson 1963; Lowery *et al.* 1969), „WEAP“ (Goble 1976, 1986) (Wave Equation Analysis of Pile driving) vėliau pervadinta „GRLWEAP“ (Rausche *et al.* 1988; PDI 2006), „ZWA-VE“ (Warrington 1988), „TAMWAVE“ (Warrington 1988) ir t. t. kompiuterinėse programose (Rausche 2004; Stain 2005). Skaičiuojant bangos sklidimą polyje, grunto stipris dažniausiai įvertinamas kaip vienodai pasiskirstęs visame polio ilgyje (1 pav., a) arba tiesiškai didėjantis (1 pav., b) išilgai polio per visą polio ilgį.

Pradinėje polių kalimo modeliavimo praktikoje buvo taikomi Niutono dėsniai, kuriais remiantis buvo daroma prielaida, kad smūgio metu plakto generuota energija bus perduodama į polio smailgalį. Deja, tai-

kant šį metodą, buvo gaunami nepatikimi rezultatai dėl to, kad nebuvo įvertinama plastinė grunto elgsena. 1960 m. Smitas (Smith 1960) pasiūlė bangos sklidimo matematinį sprendinį spręsti sudėtingiems polių kalimo uždaviniams. Jis pristatė kaltinių polių kalimo uždavinio diskrečiųjų elementų formuluotes, paremtas vienmatės bangos sklidimo teorija. Nuo tada jo metodas buvo tobulintas daug kartų. Atliekant polio kalimo analizę minėtu metodu, gaunama keletas fizinių netikslumų, susijusių su pagrindiniais bangos sklidimo kintamaisiais ir polio kalimo operacijoms dėl polio, plakto ir grunto. Į plakto charakteristikas įeina termodinaminis plakto elgesys (jei naudojamas dyzelinis plaktas), pagalvėlės ir kitų priedų savybės. Grunto savybės – tai grunto stipris, poslinkis, konsolidacijos ir sankabumo lygis, atsparumas smūgiams ir slopinimo konstantos. Nepaisant šių netikslumų, bangos sklidimo analizės metodas buvo sėkmingai taikomas inžineriniams tyrinėjimams. Lowery (Lowery *et al.* 1969) atliko nuodugnius polių kalimo analizės studijas ir sukūrė keletą kompiuterinių programų versijų, paremtų Smith matematinio modeliu. Šių programų versijų modeliai galėjo nustatyti kalimo įtempius polyje ir polio laikomąją galią generuojant polio pasipriešinimo grunte plakto smūgiui grafiką. Deja, jų modeliai tinkami modeliuoti tik vienam plakto smūgiui, ir polis gali būti dalintas į ne daugiau kaip ~70 elementų. Be to, šiuose modeliuose visada įvertinama nuosava segmentų masė, o Edwards programoje (Edwards 1969) tokia funkcija gali būti nenaudojama. Minėtos programos tinkamos modeliuoti tik vieną plakto smūgį į polio viršų ir neįvertina liekamųjų įtempčių polyje. Holloway atliko išsamią bangos sklidimo analizės programų apžvalgą ir parašė kompiuterines programas, kurias naudojant galima nustatyti polio laikomąją galią, apribojimus

ir kiekvieno modelio ypatumus. Taip pat į Holloway skaičiavimo modelius buvo įtraukti liekamųjų įtempčių skaičiavimai tiems atvejams, kai plaktas smūgiuodavo į polio viršų. Liekamieji įtempiai ir jų svarba buvo žinomi daug anksčiau, tačiau jie nebuvo vertinami atliekant ciklinius polių kalimo analizės skaičiavimus. Briaud ir Tucker (Briaud *et al.* 1984) atliko išsamią liekamųjų įtempčių skaičiavimo apžvalgą. Jie analizavo polių bandymus, kuriuos galima atlikti įvertinant liekamuosius įtempčius. Deja, jų apkrovas – nuosėdžių duomenis paveikė natūralus grunto stiprių pasklidimas ir prasta duomenų kokybė. Rieke ir Crowser (Rieke *et al.* 1987) atliko mechaninius polių tempimo ir gniuždymo bandymus įvertindami liekamuosius įtempčius. Jie nustatė, kad liekamieji įtempiai priklauso nuo apkrovimo eigos ir grunto išpurenimo laipsnio, ir kad vienas arba du tempimo apkrovos ciklai neviseškai panaikina liekamuosius įtempčius. Rieke ir Crowser nepateikė jokių sisteminių skaičiavimo procedūrų, kurios būtų naudojamos liekamųjų įtempčių skaitinei analizei atlikti.

Bangos sklidimo polyje analizei atlikti taip pat gali būti naudojamos komercinės programos, tokios kaip UAB „Goble Raushe Linkins and Associates“ programa „GRL“ (Goble *et al.* 1996). „GRL“ programa turi puikių galimybių analizuoti ne tik standartinių plaktų smūgius, bet ir dyzelinių plaktų, kurių apkrovai imituoti reikia tikslių termodinaminį plakto duomenų. „GRL“ programa naudoja specialų algoritmą dyzelinių plaktų smūgiui imituoti ir gali ribotą laiko tarpą atlikti liekamųjų įtempčių analizę. „GRL“ programinė įranga turi atskirą programą ilgų polių analizei. Minėtuose metoduose reikia įvertinti grunto charakteristikas naudojant koeficientus. Tam reikia gerų įgūdžių arba patirties. „GRL“ kompiuterinė programa, naudodama polio dinaminio bandymo rezultatus, pati parenka grunto



1 pav. Skirtingai išilgai polių pasiskirstęs grunto stipris
 Fig. 1. Dependence of variable soil stiffness across the pile

koeficientus. Taip analizės rezultatai maksimaliai priartinami prie bandymo rezultatų. Turint tinkamiausius polio pagrindą aprašančius koeficientus, galima tiksliai prognozuoti polio laikomąją galią.

2. Tyrimo aprašymas

Smith modelis užprogramuotas kompiuterinėje programoje MW87 (Lowely 1988), kuri yra koreguota straipsnio autorių. Iš bangos sklidimo analizės, kuri buvo pateikta Smith, geotechnikos inžinieriai gali nustatyti polio dinaminę laikomąją galią, kuri lyginama su statinio bandymo rezultatais (Linkins et al. 2004). Atliekant statinius bandymus, esant tam tikrai projektoinei apkrovai, kyla rizika, kad polio viršus gali supleišėti dėl vietinio glemžimo. Tuo atveju labai tinkamas būtų polio dinaminis bandymas.

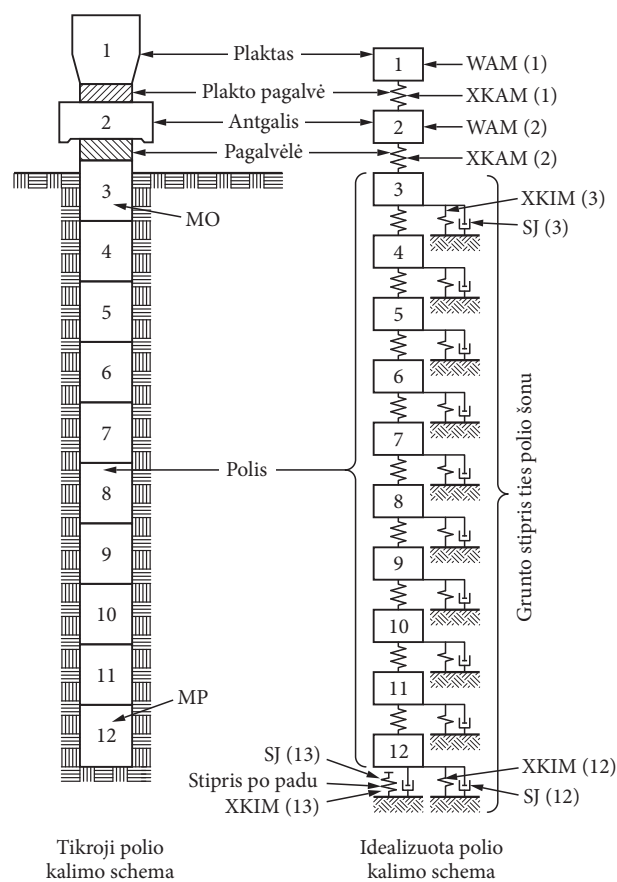
Šiame straipsnyje nagrinėjama skirtingai pasiskirsčiusio grunto stiprio išilgai polio įtaka polio kalimo atsakui, kai visas (suminis) grunto stipris išilgai polio nekinta, nes, remiantis esant tamprios stadijos gautais skaitinio modeliavimo rezultatais, nustatyta, kad grunto stipris, kintantis išilgai polio, virš polio pado per vieną polio skersmenį yra gerokai didesnis negu per polio vidurį. Šis kitimas parodytas 1 pav. Straipsnyje lyginami skaičiavimai, kai grunto stipris, kintantis išilgai polio šonu, yra pasiskirstęs tolygiai (1 pav., a), tiesiškai didėja per visą polio ilgį (1 pav., b) ir grunto stipris labai padidėja ties polio padu (1 pav., c).

Kompiuterinė programa „MW87“ parašyta „Fortran“ kalba. Ją parašė „WILD WEST SOFTWARE“ kompanija, kurios kontaktinis asmuo yra Dr. Lee Lowery Jr. iš Teksaso A&M universiteto Civilinės inžinerijos katedros. Kompiuterinė programa „MW87“ buvo parašyta šiems uždaviniams analizuoti:

- 1) nustatyti įtempius polyje, atsirandančius bandymo arba kalimo metu;
- 2) nustatyti nuo plakto smūgio atsirandančius polio poslinkius;
- 3) priklausomai nuo grunto savybių, nustatyti bandymo arba kalimo metu polio smigimą į gruntą.

Idealizuota polio bandymo arba kalimo sistema pateikta 2 pav. Ji apima plaktą, kalimo sistemą ir grunto savybes.

Skaičiuojamoji schema gali būti lengvai koreguojama, pavyzdžiui, tarp plakto ir polio pridendant galvenos antgalį. Kintamieji, aprašantys elementų mases, žymimi WAM. Kintamieji, aprašantys vidines spyruo-



2 pav. Idealizuota polio bandymo arba kalimo sistema
Fig. 2. Idealization of pile test or hammering scheme

kles (pagalvėles ir polio spyruokles), žymimi XKAM. Grunto spyruoklių (išorinių spyruoklių) kintamieji žymimi XKIM. Grunto slopintuvų kintamieji žymimi SJ.

Norint atlikti minėtos sistemos analizę, reikalinga tokia informacija:

1. Poliakalė:
 - 1.1. Plakto greitis smūgio metu.
 - 1.2. Plakto masė.
 - 1.3. Sprogimo jėga (jei naudojamas dyzelinis plaktas).
 - 1.4. Antgalio masė (jei naudojamas dyzelinis plaktas).
2. Polio kalimo priedai:
 - 2.1. Spyruoklės standis, jei naudojama pagalvėlė tarp plakto ir antgalio.
 - 2.2. Antgalio masė.
 - 2.3. Spyruoklės, esančios tarp antgalio ir polio, standis (jei naudojama).
3. Polio charakteristikos:
 - 3.1. Bendras ilgis ir skerspjūvio charakteristikos (jei polis yra vienodo skerspjūvio).

- 3.2. Skirtingų skerspjūvių ilgiai kiekvienam skerspjūviui (jei polis yra nevienodo skerspjūvio).
- 3.3. Nuosava polio medžiagos masė.
- 3.4. Polio medžiagos deformacijų modulis.
- 3.5. Polio medžiagos slopinimo koeficientas.
4. Grunto charakteristikos:
 - 4.1. Polio įgilinimas grunte.
 - 4.2. Grunto tipai, esantys išilgai polio (grunto litologinis pjūvis).
 - 4.3. Statinis grunto stipris ir dydis išilgai polio.
 - 4.4. Statinis grunto stipris po polio padu.
 - 4.5. Maksimaliai tamprūs grunto poslinkiai išilgai polio ir po polio padu.

Atkreiptinas dėmesys į tai, kad programa pateikia vieno plakto smūgio atitinkamai įgilintam poliui ir atitinkamą gruntą su atitinkamomis savybėmis sprendinį.

Smith (1960) pateikė bangos sklidimo analizės matematinę realizaciją. Sprendinys grindžiamas diskrečiųjų elementų sąveika esant tikrajai plakto, polio ir grunto sistemai. Plakto ir polio sistema pateikiama kaip daug masių, sujungtų spyruoklėmis. Daroma prielaida, kad visos spyruoklės yra tobulai tamprios, o gruntas modeliuojamas kaip spyruoklė ir slopintuvas, kuris literatūroje dažnai vadinamas Kelvin ir Voight modeliui. Sąveika tarp kiekvienos masės ir spyruoklės skaičiuojama kiekvienu laiko intervalu, kad, esant pateiktam grunto atsparumui, būtų nustatomas polio poslinkis, jėga ir grunto poslinkis vienam plakto smūgiui. Smith sprendinys gali būti apibendrintas (1)–(5) lygtimis. Plakto, polio ir grunto sistema yra pateikta 1 pav.

$$D_{i,t} = D_{i,t-1} + v_{i,t-1} \cdot \Delta t; \quad (1)$$

$$C_{i,t} = D_{i,t} - D_{i+1,t}; \quad (2)$$

$$F_{i,t} = C_{i,t} \cdot K_i; \quad (3)$$

$$R_{i,t} = (D_{i,t} - D'_{i,t}) \cdot K'_i \cdot (1 + J_i \cdot v_{i,t-1}); \quad (4)$$

$$v_{i,t} = v_{i,t-1} + (F_{i-1,t} - F_{i,t} - R_{i,t}) \cdot g \cdot \Delta t / W_i; \quad (5)$$

čia: D – polio elemento i poslinkis t laiku; v – polio elemento greitis; C – spyruoklės spūdimas; F – suspaustos spyruoklės jėga; K – polio spyruoklės standis; R – polio elementą veikiantis grunto atsparumas; D' – plastiniai grunto poslinkiai; K' – grunto spyruoklės standis; J – slopinimo koeficientas; g – laisvojo kritimo pagreitis; W – 1-ojo elemento masė; i – elemento numeris; Δt – iteracijos laiko intervalas; t – laiko intervalo numeris.

Nustatant grunto atsparumą kalant polius, Smith pasiūlė naudoti tampriai plastinį modelį. Daroma prielaida, kad gruntas susispaudžia tampriai iki tam tikrų poslinkių. Pasiiekus tam tikrą poslinkį, gruntas deformuojasi plastiškai veikdamas polį pastovia jėga, buvusia prieš pat plastinį suirimą, nepriklausomai nuo poslinkio. Kai po plakto smūgio gruntas, esantis išilgai polio, baigia deformuotis plastiškai, polis atšoka atgal per didžiausios tamprios grunto deformacijos atstumą. Likusi polio ir grunto deformacija yra plastinė. Kitais žodžiais tariant, jeigu bendras polio poslinkis yra mažesnis negu didžiausia tampri grunto deformacija, teoriškai polis nėra įkalamas į pagrindą. Nėra lengva tiksliai įvertinti didžiausią tamprią grunto deformaciją, nes jis kinta. Dažniausiai literatūroje pateikiama 2,5 mm vertė (Miyasaka *et al.* 2006).

3. Bandymo rezultatų analizė

Naudojant literatūroje pateikiamą vertę, dažniausiai gaunami kai kuriems grunto tipams ar sąlygoms nepatenkinami rezultatai, ypač kai analizuojami lauko eksperimento duomenys.

Kai polis sminga į gruntą, grunto stipris poliui smingant dideliu greičiu yra didesnis negu smingant mažu. Slopinimo dydis yra proporcingas greičiui, todėl slopinimo koeficientas yra proporcingumo konstanta. Slopinimas yra laikinas ir jis nedaro įtakos polio pagrindo statiniam atsparumui (žr. (4) lygtį). Kol gruntas po polio padu yra išspaudžiamas arba teka statmenai poliui, gruntas, esantis išilgai polio, yra kerpamas. Todėl slopinimo konstantos po polio padu ir išilgai polio nėra tokios pačios.

Originaliame Smith metode žemės traukos veikimas nėra įvertintas. Jis įtrauktas į kelių autorių, tokių kaip Edwards (Edwards 1969), Lowery (Lowery *et al.* 1969), skaičiavimo modelius. Jų modeliuose įvertintas žemės traukos ir plūdrumo, esant požeminiam vandeniui, efektas.

Atsižvelgiant į žemės traukos ir plūdrumo poveikius, kurie žymimi simboliais BF, (5) lygtis atrodo šitaip:

$$v_{i,t} = v_{i,t-1} + \left[(F_{i,t-1} - F_{i,t} - R_{i,t}) + W_i \cdot B \cdot F \right] \cdot g \cdot \frac{\Delta t}{W_i}. \quad (6)$$

Po plakto smūgio banga, kuri nukeliavusi iki polio pado ir grįžusi į polio viršų, vadinama atsaku. Grįžusios bangos charakteristikos priklauso nuo plakto tipo, plakto masės, grunto savybių ir polio vientisumo. Polių atsakų būna įvairių, pagal juos galima spręsti apie po-

lio poslinkį, polio tempimo jėgas arba įtempius polyje (CAPWAP 1990). Šios informacijos reikia polio laikomajai galiai ir polio vientisumui nustatyti.

(1)–(5) lygčių skaitinis integravimas atliekamas baigtinių skirtumų metodu. 2 pav. pavaizduota skaičiuojamoji schema, kuriai spręsti reikia atlikti šiuos žingsnius:

1. Pradinis viršutinio segmento greitis yra lygus plakto greičiui smūgio metu.
2. Skaičiavimo laiko intervalas t yra laikytinas 1/5000 sek. eilės.
3. Laikytina, kad plakto greitis nekinta pirmame laiko intervale t , paskui skaičiuojamas naujas plakto poslinkis.
4. Kadangi visų likusių masių greičiai yra lygūs nuliui, po pirmo laiko intervalo jų greičiai nepakis.
5. Dėl plakto poslinkio pirmame laiko intervale susispaudžia viršutinė spyruoklė ir dėl to atsiradusi jėga gali būti suskaičiuota naudojant spyruoklės standį.
6. Jėga, atsiradusi polio antgalyje, veikia plaktą ir antgalį. Ši išbalansuojanti jėga mažina plakto greitį ir didina polio antgalio greičio atsiradimą. Skaičiuojami nauji plakto ir polio antgalio greičiai, kiti greičiai lieka lygūs nuliui.
7. Skaičiuojamas antras laiko intervalas t .
8. Laikytina, kad plakto ir polio antgalio greičiai nekinta per laiko intervalą t , suskaičiuojami nauji jų poslinkiai. Šie nauji poslinkiai sukelia naujus pirmos ir antros spyruoklių susispaudimus, iš kurių suskaičiuojamos naujos jėgos. Dėl to pirmose trijose masėse kyla sistemą išbalansuojančios jėgos, paskui skaičiuojami nauji greičiai. Tokia procedūra vykdoma tol, kol randami didžiausi poslinkiai ir įtempiai.

Atkreiptinas dėmesys į tai, kad analizės rezultatas yra vieno plakto smūgio atitinkamai įgilintam poliui į atitinkamą gruntą su tam tikromis savybėmis. Norint nustatyti smūgių, reikalingų sukalti polį per 10 cm, skaičių, daroma prielaida, kad smūgiai į polio viršų bus vienodi kalant 10 cm, t. y. imamas polio įkalimo gylis nuo vieno smūgio.

Skaičiuojant nėra nustatytas didžiausias laiko intervalų skaičius. Vis dėlto pastebėta, kad reikšmingas skaičiavimo rezultatų dydis paprastai gaunamas tik po kelių iš eilės einančių laiko intervalų. Kad uždavinio sprendinio rezultatai būtų adekvatūs, naudotina (7) lygtis, kuri padės nustatyti iteracijų skaičių.

$$N_{STOP} = 30L_p / L_{min}, \quad (7)$$

čia: N_{STOP} – didžiausias iteracijų skaičius; L_p – polio ilgis; L_{min} – analizėje naudojamo trumpiausio polio segmento ilgis. (Paprastai šis skaičius yra didesnis negu reikia, todėl programoje MW87 yra įtraukta skaičiavimo nutraukimo funkcija, kuri trumpina programos veikimo laiką.)

Detalesnis Smith sprendinio aprašas pateiktas Smith straipsnyje (1960), Edwards (1969), Lowery et al. (1969) darbuose.

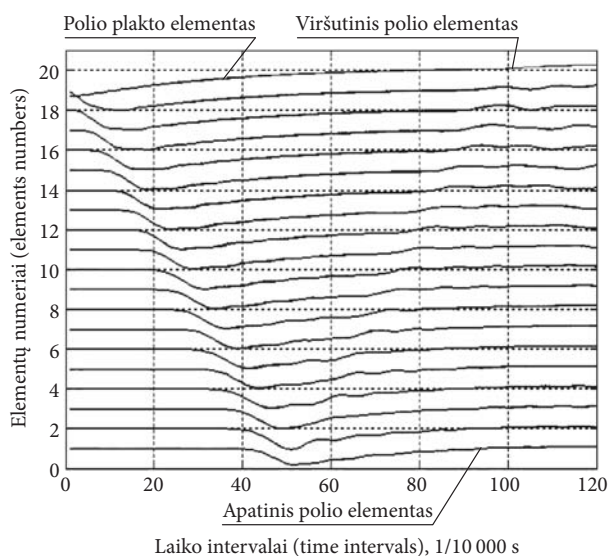
Į kompiuterinės programos „MW87“ kodą buvo įvesti tokie pakeitimai:

- Grunto stiprio kitimo išilgai polio, kuris padidėja ties polio padu, skaičiavimas (1 pav., c) bangos sklidimo analizei atlikti.
- Įvesti kintamieji ir padidinti skaičių masyvai.
- Pakeistos duomenų įvedimo ir išvedimo tvarkos. Koreguotoje programoje kodas koreguotas taip, kad duomenų įvedimo byloje būtų galima rašyti komentarus apie įvedamus duomenis.
- Reikiamų skaičiavimo rezultatų įrašymas skaičiavimo rezultatų byloje. Programa gali įrašyti skaičiavimo duomenų byloje visų laiko intervalų arba visų masių greičius, arba visų masių poslinkius, arba jėgas, atsirandančias tarp masių arba grunto statinio stiprio ties kiekviena mase.

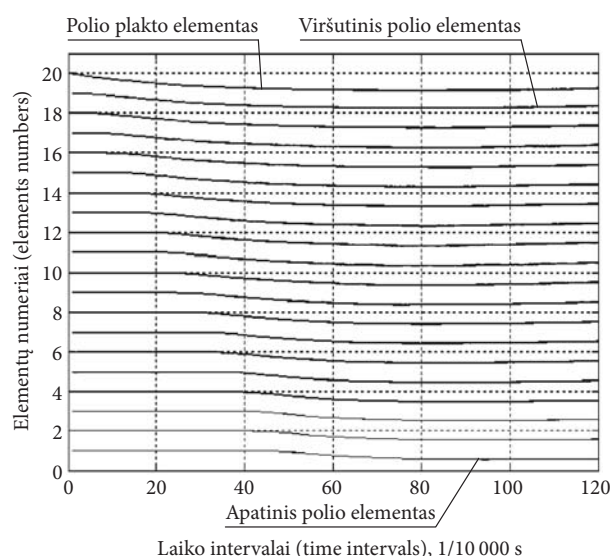
Gauti skaičiavimo rezultatai pavaizduoti naudojant kompiuterinę programą „Matlab“.

Straipsnyje nagrinėjamas 0,8 m skersmens 3 m ilgio polis, esantis smėlio grunte. Skaičiuojant polis išdalintas į 20 baigtinių elementų (segmentų). Laikytina, kad analizuojamo polio grunto stipris, esantis išilgai polio, yra 565,2 kN, o ribinė grunto stiprio jėga po polio padu yra 1442,0 kN. Skaičiuojant grunto stiprį, esantį išilgai polio, laikytina, kad smėlio grunto slopinimo koeficientas yra 0,164 s/m, o skaičiuojant grunto stiprį po polio padu, slopinimo koeficientas yra 0,495 s/m. Kompiuterinė programa grunto stiprį, esantį išilgai polio, įvertina kaip spyruokles, kurių standumas yra grunto stipris, padaugintas iš elemento ilgio.

Skaičiuojant laikoma, kad ribinis grunto, esančio išilgai polio ir po polio padu, stipris bus pasiektas, kai polio elementas pasislinks yra 2,5 mm. Polio pagrindo, esančio išilgai polio, stipris pateiktas 1 pav. Idealizuotos polio skaičiuojamosios schemas, kai grunto stipris, esantis išilgai polio šonu, pasiskirstęs kaip 1 pav., a, b, c, segmentų greičių per laiką skaičiavimo rezultatai pateikti 3 pav., segmentų poslinkių per laiką skaičiavimo rezultatai pateikti 4 pav.



3 pav. Idealizuotos polio skaičiuojamosios schemos segmentų greičių per laiką skaičiavimo rezultatai
Fig. 3. Idealized segments speed of pile scheme versus time



4 pav. Idealizuotos polio skaičiuojamosios schemos segmentų poslinkių per laiką skaičiavimo rezultatai
Fig. 4. Idealized segments displacements of pile scheme versus time

Vertikalūs greičio mastelis yra 1:5, o vertikalūs poslinkio mastelis – 50:1. Iš skaičiavimo rezultatų matyti, kad, esant skirtingai pasiskirsčiusiam grunto stipriui išilgai polio, bangos greitis ir poslinkiai polyje mažai kinta, t. y. kinta 3 proc.

Atlikus polio dinaminio bandymo skaičiavimus, kai plakto masės ir grunto stiprio, esančio išilgai polio, dydžiai yra skirtingi, buvo sudaryta nomograma, kuria naudojantis galima nustatyti polio statinį stiprį (5 pav.). Norint nustatyti polio laikomąją galią, reikia atlikti bent vieną polio statinį bandymą tokiomis pat inžinerinėmis geologinėmis sąlygomis arba naudoti lyginamąją patirtimi.

Polio laikomoji galia, naudojant nomogramą, yra nustatoma taip:

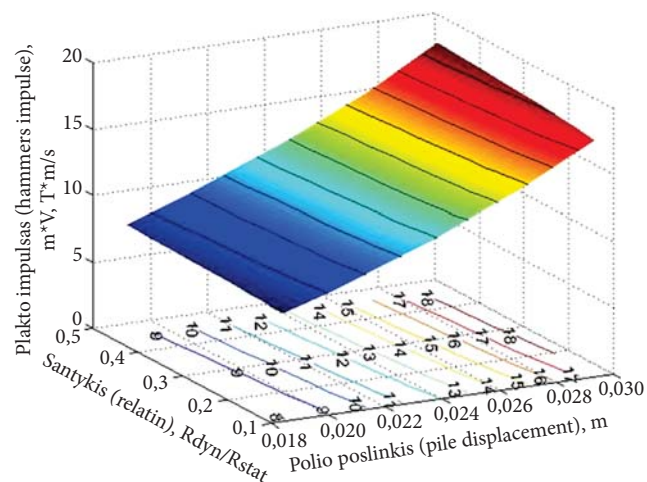
- Atliekamas vieno arba kelių polių statinis bandymas ir nustatoma polio statinė laikomoji galia.
- Atliekamas polio dinaminis bandymas ir nustatomas polio liekamasis poslinkis.
- Nomograma yra kalibruojama – esant atitinkamai dinaminio bandymo sistemai ir atitinkamam poliui, nustatomas dinaminis polio atsparumas.

Reikalingi šie polio dinaminio bandymo duomenys: plakto masė, plakto kritimo greitis smūgio su bandomuoju poliui pradžioje (greitis apskaičiuojamas pagal (8) formulę), liekamasis polio viršaus poslinkis.

$$v = \sqrt{2g \cdot H_p}, \tag{8}$$

čia: v – plakto greitis smūgio su poliui pradžioje; g – laisvojo kritimo pagreitis ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$); H_p – polio kritimo kelias nuo pakelto fiksuoto polio apačios iki bandomojo polio pagalvės viršaus.

Dinaminis polio atsparumas nustatomas pagal atliktų bandomojo polio statinio ir dinaminio bandymų rezultatus, naudojant nomogramą. Tokiomis pačiomis arba panašiomis inžinerinėmis geologinėmis sąlygomis galima atlikti dinaminis bandymus bei, žinant dinaminį polio atsparumą ir naudojantis 5 pav.



5 pav. Polio poslinkio, pagrindo dinaminio ir statinio stiprių santykio bei plakto impulso priklausomybės
Fig. 5. Pile displacement versus foundation dynamic and static strength relation versus hammers impulse

pateikta nomograma, nustatyti bandomojo polio statinę laikomąją galią.

Šią nomogramą rekomenduojama taikyti naudojant tokias pačias nesugadintas bandomojo polio pagalvėles. Bandomojo polio pagrindas neturėtų būti nuo vibracijų atsparumą prarandantis gruntas. Reikia parinkti tokį dinaminio bandymo plaktą arba plakto kritimo aukštį, kad liekamosios polio deformacijos neviršytų nomogramoje nustatytų ribų. Kitu atveju naudojamą atitinkamo dinaminio bandymo įrangą, remiantis teoriniais sprendiniais, reikia sudaryti atskirą nomogramą. Bandomojo polio liekamosios deformacijos visais atvejais neturi būti mažesnės negu 2 mm.

Naudojantis 5 pav. pateikta nomograma ir turint gamybinę patirtį, galima parinkti plaktą dinaminiam bandymui arba polių kalimui. Polio dinaminis atsparumas turi būti nustatytas tik tam tikro skersmens poliams.

4. Išvados

1. Netolygus grunto stiprio, esančio išilgai polio, kintimas polyje daro nedidelę įtaką ir bangos greičiui polyje (kinta iki 3 proc.).
2. Įvertinus netolygų grunto stiprio išilgai polio ilgio pasiskirstymą, kai kitos sąlygos vienodos, gaunami skaičiavimo metodo paklaidos dydžio poslinkiai.
3. Nomogramoje pateiktos netiesinės priklausomybės tarp dinaminio bandymo plakto impulso – liekamosio polio viršaus poslinkio – dinaminio atsparumo ir statinio stiprio santykio.
4. Tolesnių tyrimų tikslas – sulyginti skaičiavimo rezultatus su eksperimentiniais statinio ir dinaminio bandymų rezultatais.

Literatūra

- Briaud, J. L.; Tucker, L. 1984. Piles in sand: A method including residual stresses, *Journal of Geotechnical Engineering* 110(11): 1666–1680.
doi:10.1061/(ASCE)0733-9410(1984)110:11(1666)
- CAPWAP Manual. 1990. Cleveland, Ohio: Grl & Associates. Drop weight dynamic testing of drilled deep foundations, in *The 7th International conference on the application of stress – wave theory to piles. Malaysia*, 13–81.
- Edwards, T. C. 1969. *Pile analysis wave equation computer program manual*. Research Rep. No. 33–11, Texas A&M University, College Station, Texas.
- Goble, G. G.; Rausche, F. 1976. *Wave equation analysis of piling driving: WEAP program*. Washington: Federal Highway Administration, Springfield.
- Goble, G. G.; Rausche, F. 1986. *Wave equation analysis of piling driving: WEAP program*. Washington, DC: Federal Highway Administration.
- Goble, G.; Rausche, F.; Likins, G. and Associates, Inc. 1996. *GRL wave equation analysis manual*. Ottawa, Ontario.
- Linkins, G. E.; Rausche, F. 2004. Correlations of CAPWAP with static load tests, in *Proceedings of the 7th International conference of the application of stress – wave theory to piles. Peating Jaya, Selangor, Malaysia*, 153–165.
- Lowery, L. L. 1993. *Pile driving analysis by the wave equation*. Texas: Department of Civil Engineering Texas A&M University College Station.
- Lowery, L. L. Jr.; Hirsch, T. J.; Edwards, T. C.; Coyle, H. M.; Samson, C. H. Jr. 1969. *Pile driving analysis – State of art*. Research Rep. No. 33–13, Texas A&M University, College Station, Texas.
- Middendorp, P. 2004. Thirty years of experience with stress wave simulation applications based on method of characteristics (TNOWAVE), in *International conference on the application of stress – wave theory to piles, 7, Lumpur, Malaysia*, 165–175.
- Miyasaka, T.; Kuwabara, F. 2006. Large scale pseudostatic pile load test. Part 1 – Ground oscillation and ultimate soil resistance, in *Proceedings of 41st annual conference of Japanese Geotechnical society, Kagoshima*, 1547–1548.
- PDI – Pile dynamics, Inc. 2006. CAPWAP background report. Available from Internet: <http://www.pile.com>.
- Rausche, F.; Goble, G. G.; Linkins, G. E. 1988. Recent WEAP developments, in *3rd International conference of the application of stress – wave theory to piles*, 164–173.
- Rausche, F. 2004. Non-destructive evaluation of deep foundations, in *Proceedings of the 5th International conference on case Histories in geotechnical engineering: New York, N.Y.*, 1–9.
- Rieke, R. D.; Crowser, J. C. 1987. Interpretation of a pile load test considering residual stresses, *Journal of Geotechnical Engineering* 113(4): 320–334.
doi:10.1061/(ASCE)0733-9410(1987)113:4(320)
- Samson, C. H. Jr.; Hirsch, T. J.; Lowery, L. L. 1963. Computer Study of Dynamic Behavior of Piling, *Journal of the Structural Division ASCE* 89(ST4): 413–449.
- Smith, E. A. L. 1960. Tension in Concrete Piles During Driving, *Journal Prestressed Concrete Institute* 5: 35–40.
- Stain, R. 2005. Simbat dynamic pile testing results of an independent pile capacity prediction event, in *DFI 30th Annual conference on deep foundations, Chicago, Illinois*.
- Warrington, C. 1988. A new type of wave equation analysis program: ZWAVE, in *3rd International conference of the application of stress – wave theory to piles, Ottawa, Ontario*.
- Warrington, Don C. 2007. *A pile design analyzer for academic use: TAMWAVE. Pile Buck*. Available from Internet: <http://www.vulcanhammer.net/soils/Pile-Driving-Analyser.pdf>.

THE INFLUENCE OF CHANGING SHAFT FRICTION OF THE PILE TO WAVE PROPAGATION

K. Kelevišius, J. Amšiejus, Š. Skuodis

Abstract. In most cases, the bearing capacity of the pile under natural conditions can be determined by applying static and dynamic pile tests as well as the numerical modelling of a dynamic test. The integrated business problem is employed for calculating vertical displacements. This integral is calculated using the summing method. In the majority of cases, real pile strength capacity can be investigated referring to the adapted means of testing applying the mathematical model that can calculate static or dynamic investigations. The idealized scheme of a pile test is presented including a hammering system and soil properties. Moreover, information on the analysis and work of the scheme is disclosed. The article also describes pile hammering models and the equation for Smith method improved by Edwards, Holloway, Briaud and Trucker, Rieke and Crowser, „GRL“, including the advantages and disadvantages of the introduced method. Smith realized the mathematical analysis of wave propagation supported by a real hammer-pile-soil scheme by discrete elements interaction. Basing on this for classical one dimensional method of wave propagation (that is programmed in computer program MW87) the code of the computer program was changed by authors of this article. When using a computer program, an algorithm for an integral equation was created. The introduced algorithm was made for counting experimental displacement the growth of which along the pile was analyzed. All obtained results were compared with the engineering method indicating that difference in results made less than 2%. Using computer program MW87, a different distribution of shaft friction along the pile was studied when the total shaft friction in all cases was constant, because, the results of numerical modelling disclosed that the shaft friction of the pile in one diameter above the pile's toe was larger than that in the middle or at the top. The hammer-pile-soil system was analyzed with reference to the impact of the returning wave at the top of the pile. Wave propagation in the pile is vertical: the first wave moves from the top to the bottom of the pile. When the bottom is reached, impact wave returns to the top of the pile. All information about the pile of the returning wave is useful as then we can analyze the integrity and bearing capacity of the pile. All this information received from the returning wave is integrated and later shown in the scheme where we can see all steps of performed operations. This article investigates soil deformations and these deformations in soil influence for a hammering pile. A pile of 0,8 m in diameter and 3 m in height, which is in sand, is an object of investigation in this article. For calculation purposes, the pile is divided into 20 segments. Changes in velocities and displacements of pile segments during analysis are graphically shown. After calculating tests on pile dynamics considering different masses of hammers, falling heights of hammers, contribution of shaft friction and static resistances of the piles, a nomogram for determining static resistance of the pile was made. The article explains how the use of the nomogram determines static resistance of the pile and what data on conducting a pile test are needed.

Keywords: Smith model, soil resistance, impact wave propagation, nomogram.

Kęstutis KELEVIŠIUS. A PhD student at the Department of Geotechnical Engineering, Vilnius Gediminas Technical University (VGTU), Lithuania. Research interests: interaction of strata and foundations.

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 to strata.

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.