

Inžineriniai geologiniai lauko tyrimų metodai – pradžia ir evoliucija

Saulius Gadeikis

Gadeikis S. Inžineriniai geologiniai lauko tyrimų metodai – pradžia ir evoliucija. *Geologija*. Vilnius. 2013. Vol. 55. No. 3(83). P. 75–98. ISSN 1392-110X.

Straipsnyje pateikta grunto inžinerinių geologinių lauko tyrimo metodų vystymosi istorinė apžvalga pradedant gręžimo darbų ypatumais ir metodais senovės laikais ir baigiant konkrečiais metodais, naudojamais šiuolaikinių inžinerinių geologinių tyrimų metu. Pateikiami duomenys apie sparnuotės, sukamojo svorinio, dinaminio, statinio zondavimo, presiometrijos, dilatometrijos ir kitus metodus, jų sukūrimą, tobulėjimą ir šiuolaikinį lygį. Atskleidžiami jų privalumai, palyginti su klasikineis tyrimų metodais, – gręžimo metu paimamais bandiniais ir jų tyrimu laboratorijose. Istorinė lauko metodų vystymosi apžvalga sudaro pagrindą tolesniam metodų tobulinimui ir platesniam taikymui.

Raktažodžiai: inžineriniai geologiniai grunto lauko tyrimai, svorinis zondavimas (SWT), sparnuotė (FVT), dilatometrija (DMT), presiometrija (PMT), dinaminis zondavimas (DP), statinis zondavimas (CPT), standartinis penetracijos bandymas (SPT)

Gauta 2013 12 21, priimta 2014 01 31

Saulius Gadeikis. Vilniaus universitetas, M. K. Čiurlionio g. 21/27, LT-03101 Vilnius, Lietuva. El. paštas: saulius.gadeikis@gf.vu.lt

IVADAS

Bet kokių statinių pamatų projektavimas ir statyba, teritorijos pastovumo vertinimas, įvairių geologinių ir technogeninių procesų vystymosi prognozė neįmanoma be išsamaus geologinio būsimos statybos vietos įvertinimo. Ši informacija yra gaunama tik inžinerinių geologinių arba geotechninių darbų metu ištiriant geologinės aplinkos sąlygas, kurios apima gamtinius ir antropogeninius procesus ir reiškinius, geologinę būsimos statinio pagrindo sandarą, reljefą, požeminius vandenius bei grunto fizines mechanines savybes.

Inžineriniai geologiniai tyrimai yra sudėtingi ir kompleksiniai darbai, kurie priklauso ir nuo gamtinių statybvietės sąlygų, ir nuo projektuojamo statinio pobūdžio. Inžinerinių geologinių sąlygų tyrimai aprėpia archyvinių duomenų rinkimą

ir analizę, taip pat geofizinius, hidrogeologinius, gręžimo bei grunto laboratorinius tyrimus. XX a. pradžioje ypatingą svarbą įgavo ir grunto lauko tyrimai, leidžiantys tirti gruntą tiesiogiai jo slūgsojimo vietose išsaugant gamtinę būseną, kuri prarandama paėmimo, transportavimo ir saugojimo metu. Lauko tyrimų metu taikomi įvairūs metodai leidžia tirti grunto savybes *in situ* neimant grunto bandinių, o bandant juos įvairiais prietaisais ir matuojant jų savybes bei tų savybių kaitą tiesiogiai einant gilyn. Šie darbai pastaraisiais dešimtmečiais inžinerinių geologinių tyrimų spektre užima vieną svarbiausių vietų ir jie nuolat tobulėja. Šių lauko tyrimų darbų didžiausias privalumas yra tas, kad daugeliu atvejų jie yra palyginti greiti ir pigūs. Tad specialistui pravartu žinoti inžinerinių geologinių tyrimų progreso veiksnius ir eigą.

SENOVĖS GEOLOGINIAI TYRIMAI

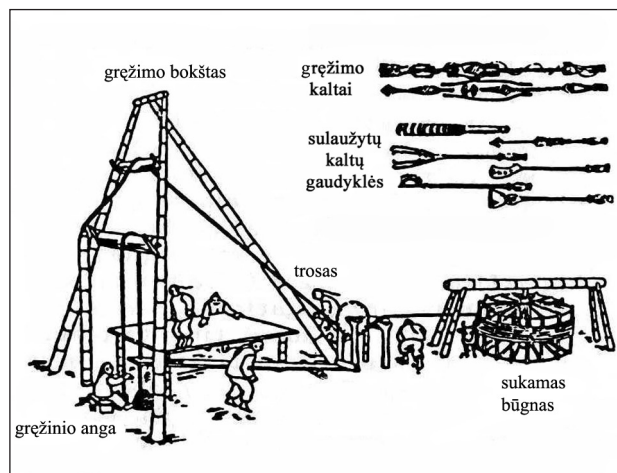
Domėtis gruntu žmonija pradėjo tikriausiai anksčiau, nei atsirado civilizacija. Prieš daugiau nei dešimt tūkstančių metų, kai dar nebuvo metalinių įrankių, žemės ūkio plėtra bei irigacijos sistemų statyba vertė mūsų protėvius pažinti, dažnai konfliktiškai ir tragiškai, sudėtingą „inžinerinę“ grunto aplinką. Žinios apie gruntą ir uolienas bei jų elgseną tapo praktine būtinybe, be kurios buvo neįmanomas civilizacijos vystymasis.

Vietinės gamtinės sąlygos vertė senovės žmonių stiprinti savo gyvenamojo statinio pagrindą, parinkti tam tikslui atitinkamas medžiagas bei tobulinti statinio pamato konstrukciją. Įdomu tai, kad skirtingų tautų pagrindų stiprinimo būdai vienaip ar kitaip buvo panašūs. Laikui bėgant, įvairiose pasaulio vietose priklausomai nuo gamtinių sąlygų susiformavo daugmaž bendri pamatų įrengimo būdai, atspindėję tokius principinius reikalavimus: pamato pagrindas būdavo atremiamas į stiprų gruntą, pamatai buvo įgilinami 1–2 m; esant silpnam gruntui buvo naudojami poliai, rąstiniai paklotai ar sanpylos; vietovėse, kuriose vyraudavo storas silpnas gruntas ir nebuvo medienos poliams pagaminti, pamatus įrengdavo postamento pavidalu iš sumūrytų nedegtų plytų (Ivanov, 1962).

Šiuolaikiniai grunto tyrimai neįsivaizduojami be tam tikrų specialiai pagamintų ir pritaikytų grunto ėmimui ar bandymui instrumentų ir prietaisų. Neiškilo jokių žinių apie prietaisus, skirtus ištirti gruntą pamatų statybos reikmėms, nes ir patys pamatai, matyt, buvo statomi bandant ir klystant.

Tikriausiai būtų sunku įvardyti kaip „grunto tyrimus“ žinias apie gręžimo darbus senovės Kinijoje maždaug III–IV a. pr. m. e. Tačiau pats gręžinio įrengimas, tai yra skverbimasis į žemės gelmes, suteikia informacijos apie grunto sudėtį, tam tikras savybes, požeminį vandenį. „Lauko tyrimais“ galima pavadinti pirmuosius druskų, vandens ir mineralų paieškos gręžinius, kuriuos atlikdami senovės kinai pradėjo naudoti vadinamąjį „trosinį“ instrumentą. Filosofas Konfucijus mini, kad tokiu būdu buvo įmanoma išgręžti 120–150 mm skersmens gręžinius iki 500–600 m gylio. Senovės kinai naudojo sunkius kaltus, pritvirtintus prie įvairaus ilgio bambuko pluošto lynų. Viršutinė lyno dalis buvo sujungta su dideliais būgnais, kurių diametras

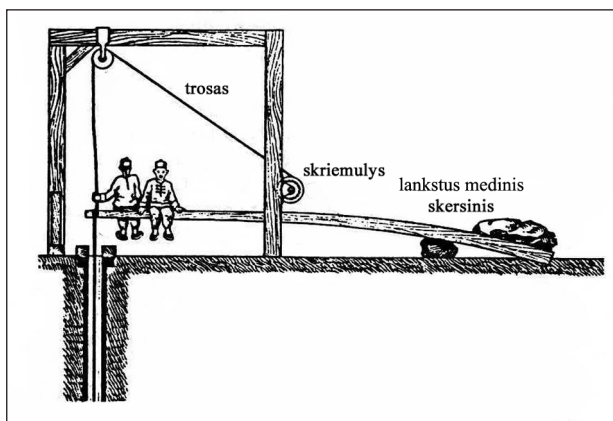
siekė iki 5 m – taigi galėjo būti pasiektas net 1 000 m gręžinio gylis (Broms, Flodin, 1988; Kopylov, 1981). Gręžėjų brigados kaltus pakeldavo įvairiais būdais (1 pav.): sekliuose gręžiniuose (iki 100 m) gręžimo darbai buvo atliekami rankomis, o esant didesniai gyliui buvo naudojama gyvūnų jėga.



1 pav. Gilus gręžimas maždaug prieš 2000 m. Kinijoje (pagal Gaskell, 1969)

Fig. 1. Deep boring in China about 2000 years ago (by Gaskell, 1969)

Gręžėjų brigada (iki 10 žmonių), sėdinti ant lankstaus medinio skersinio, nušokdavo nuo jo kas 10 min. (2 pav.). Gręžimo greitis būdavo apie 50 smūgių/min., kritimo aukštis – apie 100 mm. Kitais atvejais buvo naudojamas 12–15 smūgių / min. greitis.



2 pav. Paprastas sekliasis gręžimas (pagal Tecklenburg 1886/1896)

Fig. 2. Simple shallow boring (by Tecklenburg, 1886/1896)

Gręžiniai būdavo išvalomi mažo skersmens semtuve, gręžinių sienelės nuo griūtės saugodavo audeklu apsukti bambukiniai vamzdžiai (3 pav.). Tokio gręžimo pradininku senovės Kinijoje laikomas inžinierius ir mokslininkas Li Bin.



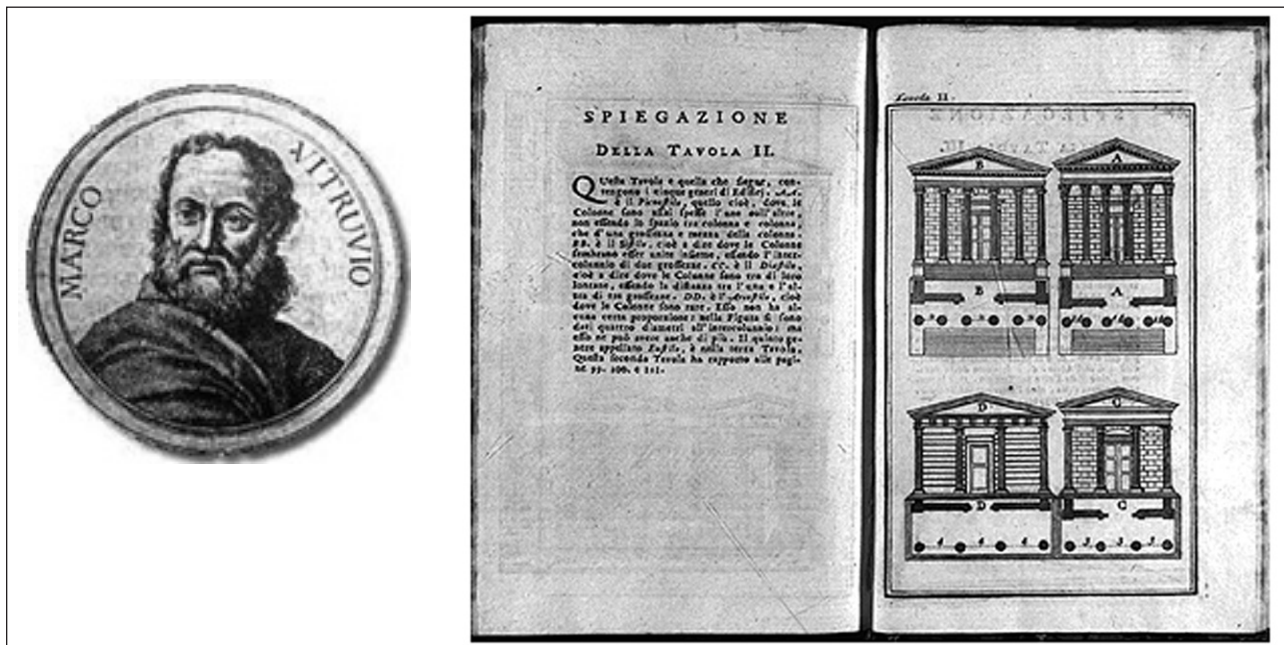
3 pav. Ruošiami bambukiniai apsaugos vamzdžiai (pagal Nachmanson ir Sundberg, 1936)

Fig. 3. Bamboo-casing tubes are being prepared (by Nachmanson and Sundberg, 1936)

Trosinio kalamojo gręžimo metodo prototipas, atsiradęs Europoje tik XVIII a. pirmojoje pusėje, palaipsniui buvo tobulinamas. XIX a. žmogaus ir arklių darbą pakeitė garo mašinos, o XX a. pradžioje atsiradusi standartinė penetracija (SPT) iš esmės ir yra kalamojo gręžimo metodo išdava.

Nėra žinoma apie grunto tyrimus senovės Egipte, Indijoje, Persijoje ar Graikijoje, tačiau tokie monumentalūs statiniai kaip piramidės, milžiniškos gynybinės sienos, šventyklos, obeliskai, pagodos rodo tų laikų žmonijos gebėjimą statyti pamatus, taip pat atitinkamas žinias apie pastatų pamatus laikantį gruntą ir uolienas.

Kaip vienas anksčiausių sistemingų grunto tyrimų statybos tikslams pavyzdžių gali būti Romos imperijos laikų statiniai. Iki šių dienų išliko puikios kokybės keliai su gerai sutankintu pagrindu. Romėnų laikais keliai dažnai buvo tiesiami pelkėtose vietose, toli nuo apgyvendintų vietovių. Tiltai dažnai buvo atremiami į medinius polius, kurie vis dar daugeliu atvejų yra geros kokybės. Žinios apie senovės statinių konstrukcijas išliko dėka Senovės Romos rašytojo, architekto, inžinieriaus Vitruvijaus (4 pav.). Jo veikalas *De Architectura*, parašytas II a. prieš Kristų, yra bene vienintelis dokumentas, liudijantis apie senovės architektūrą ir pastatų statybą.



4 pav. Senovės Romos architektas Vitruvijus (Marcus Vitruvius Pollio, g. 80–70 m. pr. m. e., m. apie 15 m. pr. m. e.) ir jo veikalo fragmentas (<http://lt.wikipedia.org/wiki/Vitruvius>)

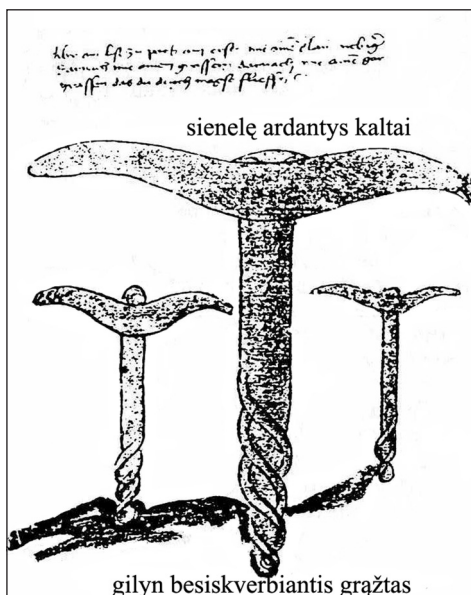
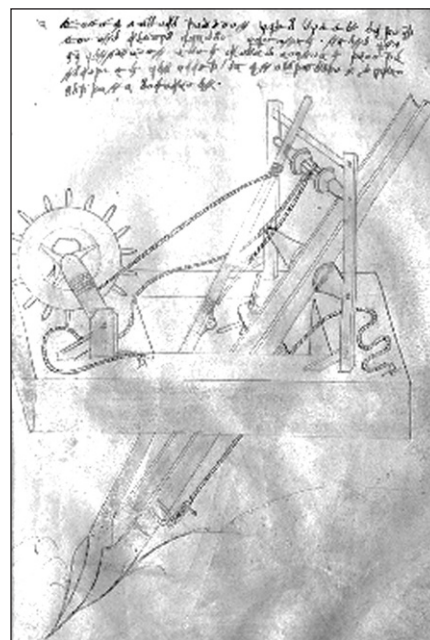
Fig. 4. Roman architect Vitruvius (born c. 80–70 BC, died after c. 15 BC) and fragment of his multi-volume work entitled *De Architectura* (<http://lt.wikipedia.org/wiki/Vitruvius>)

Jis rašė: „pastatai turi būti statomi atsižvelgiant į jų tvirtumą, naudą ir grožį. Tvirtumas pasiekiamas įgilinant statinio pamatą iki kieto grunto (uolienos); sienos turi būti statomos iškasant gruntą iš po kolonų taip, kad būtų iškasta pusė kolonos storio ir kad apatinė dalis būtų stipresnė už viršutinę. Jei nėra kieto pagrindo, o statybos aikštelėje yra silpnas gruntas arba pelkė, šis gruntas turi būti iškastas ir išvalytas arba sutvirtintas alksnio, alyvmedžio ar apdegintais ažuoliniais poliais; poliai turi būti įgilinti mechanizmais kiek įmanoma giliau ir tankiau, o tarpai tarp jų užpildyti medžio anglimi“. Šios nuostatos nepakito iki mūsų dienų, tačiau praėjo daug šimtmečių, kol pasirodė pirmieji grunto tyrimų instrumentai ir buvo pradėta taikyti pirmuosius tyrimų metodus.

Prie pirmųjų specialiai gruntui tirti skirtų instrumentų reikėtų priskirti įvairius gręžimo prietaisus ir grąžtus. Galbūt jie ne visai tiksliai atspindi šiuolaikinę sampratą apie grunto tyrimų prietaisus ir metodus, tačiau atskleidžia pirmuosius žmonijos žingsnius link šiuolaikinės technikos. XV a. Europoje atsiranda rašytinių šaltinių, skirtų grunto tyrimams. Tą iliustruoja ypatingo sraigtinio grąžto, priskiriamo vokiečių karo inžinieriui Konradui Kyeseriui (1366–1405?), paveikslas (5 pav.).

Vienas pirmųjų paveikslėlių, vaizduojančių gręžimo techniką, Europoje yra XV a. Venecijos

Respublikos fiziko ir inžinieriaus Giovanni Fontana (1395–1455) 1420 m. leidinyje *Bellicorum instrumentorum liber* („Knyga apie karo prietaisus“) pateiktas brėžinys (6 pav.).



5 pav. XV a. sraigtinis grąžtas (pagal Cambeftort, 1955)

Fig. 5. 15th century screw auger (by Cambeftort, 1955)

6 pav. G. Fontana (1395–1455) knygos viršelis ir mašinos, skirtos kietam gruntui po vandeniu pragręžti, brėžinys bei jo rekonstrukcija (pagal Kerisel, 1985)

Fig. 6. Cover of G. da Fontana's book and a picture of the machine for breaking up underwater hard material invented by G. da Fontana (1395–1455) and its reconstruction

Renesanso laikotarpio genijų Leonardą da Vinči (1452–1519) taip pat galima priskirti prie „grunto tyrinėtojų“. Jis pateikė grunto grąžto eskizą (7 pav.) ir šio prietaiso instrukciją: „jei

jūs norite išgręžti skylę grunte, tai galite atlikti su iliustruojamu prietaisu; grąžtas įgilinamas į gruntą sukančiam svirtį m-n dešinėn pusėn. Pasiėmus reikiamą gylį, svirtis m-n fiksuojama, o svirtis f-g sukama priešingu būdu: tai leis pakelti grąžtą be sukimo ir iškelti gruntą“ (Kerisel, 1985).

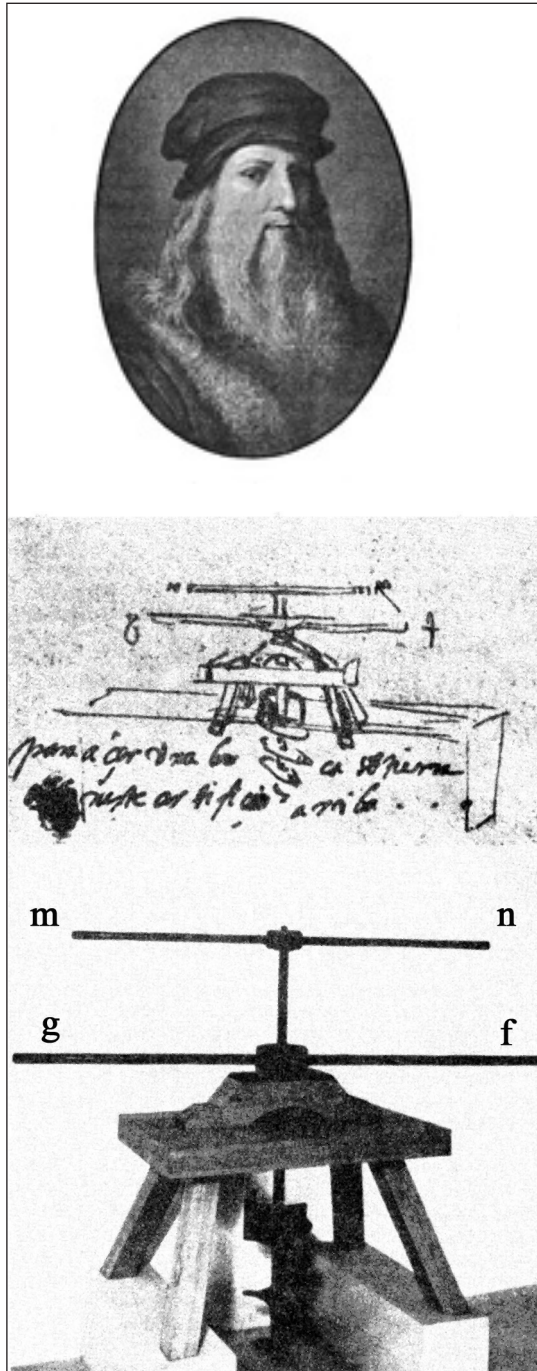
GRUNTO TYRIMO TECHNIKOS UŽUOMAZGOS

1590 m. prancūzų menininkas keramikas Bernardas Palissy (1510–1589), domėjęsis ir hidrologija bei hidrogeologija, savo knygoje *Discours admirables, de la nature des eaux et fontaines* („Žavūs pokalbiai apie gamtinį vandenį ir fontanus“) siūlė, įrengiant gręžinius vandens gavybai, ne tik gręžti gręžskyles, bet ir imti grunto bandinius (kerną) įvairiems tyrimams.

XIX a. viduryje Totmos miestelyje (Vologdos sritis, Rusija) atrastas vienas pirmųjų rankraštinių taisyklių sąvadų apie žvalgybinių ir eksploatacinių gręžinių gręžimą akmens druskai išgauti: „Роспись как зачать делать новая труба на новом месте“ („Aprašymas kaip pradėti naują gręžinį naujoje vietoje“), parašytas XVI amžiuje. Šiame darbe apibendrinti duomenys apie gręžimo darbų praktiką Rusijoje, aprašyti gręžimo instrumentai, metodai, pateiktos grunto ir tirpalų bandinių paėmimo rekomendacijos, žinios apie avarijų likvidavimo priemonės.

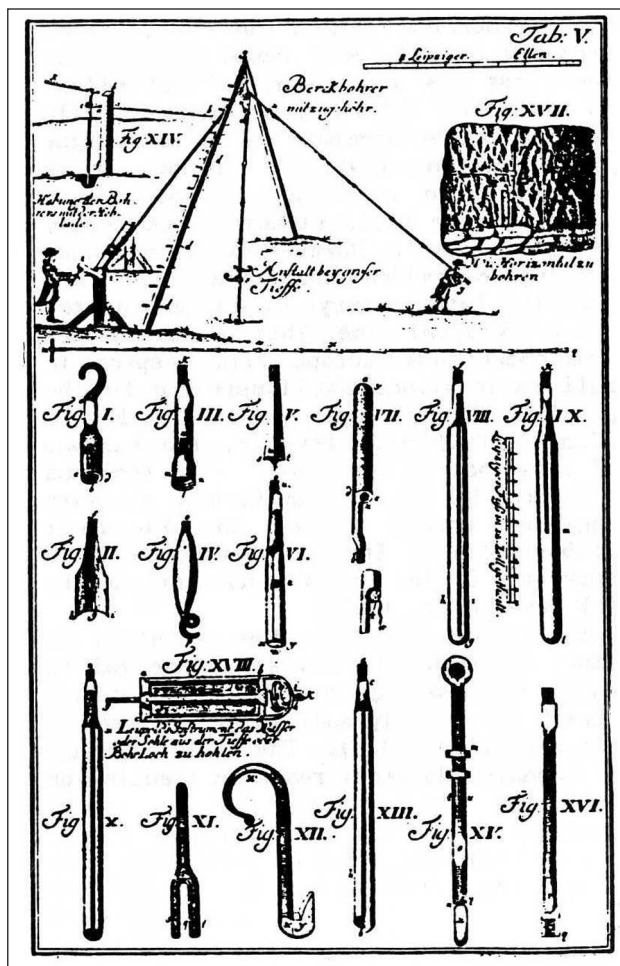
H. Zweckas (1969) savo knygoje *Baugrunduntersuchungen durch Sonden* („Statybiniai tyrimai zondavimu“) mini XVII a. pabaigoje Vokietijoje sukurta „kalamąjį penetrometrą“, skirtą grunto atsparumui įvertinti. Šis prietaisas priskiriamas vokiečių architektūros teoretikui, karo inžinieriui Nicolaus Goldmannui (1611–1665). N. Goldmanno instrumento ir metodo aprašymas toks: tyrimų vietoje įgilinus sugraduotą strypą, galima stebėti penetracijos gylį nuo kiekvieno smūgio ir pamatyti grunto sluoksnių skirtumus. Įdomu tai, kad šis metodas buvo pamirštas iki pat XX a. 3–4 dešimtmečio, kada vokiečių inžinieriai geotechnikai E. Kunzelis, E. Paprothas ir kiti sukūrė lengvo dinaminio penetrometro metodą.

M. Jensenas savo knygoje *Civil Engineering Around 1700. With Special Reference to Equipment and Methods* (1969; „Statybos inžinerija apie 1700. Specialios nuorodos į įrangą ir metodus“) pateikia keletą įdomių penetrometrų ir gręžimo įrangos pavyzdžių, sukonstruotų XVIII a. (8 pav.).



7 pav. Leonardas da Vinči (1452–1519) ir jo grąžto eskizas (viršuje), po juo – vėlesnis modelis (pagal Kerisel, 1985)

Fig. 7. Leonardo da Vinci (1452–1519) and his auger-boring device for soil, with a model below built based on the sketch (above) (by Kerisel, 1985)



8 pav. XVIII a. gręžimo įrangos instrumentų rinkinys, aprašytas V. J. E. Lehmanno 1714 m. (Jensen, 1969)

Fig. 8. 18th century boring equipment as described by Lehmann in 1714 (Jensen, 1969)

Šie instrumentai buvo naudojami Anglijoje, o patekę į Švediją tapo žinomi kaip „angliški žemės grąžtai“. Autorius pažymi, kad juos dar 1714 m. aprašė vokiečių fizikas iš Leipzigo profesorius J. E. Lehmannas. Be to, kai kurie patobulinti grunto tyrimų metodai buvo aprašyti ir kito vokiečio J. Leupoldo (1724), Saksonijos šachtų direktoriaus. Yra žinoma, kad šis tyrinėtojas 1720 m. dalyvavo kasant 76 m gylio šachtą Amsterdame.

1860 m. išleistoje knygoje *Physical Geography of the Sea and Its Meteorology* („Jūrų fizinė geografija ir jų meteorologija“) garsus JAV jūrų karininkas, mokslininkas M. F. Maury mini, kad „pirmųjų bandymų pakeliant grunto pavyzdžius iš jūros dugno garbė priklauso Rusijos carui Petru I. Šis žymus žmogus ir garsus monarchas sukonstravo specialų gruntoatraukį (zondą) grun-

tui imti iš Kaspijos jūros dugno, panašų į dvigubą kablį ledo gabalui ištraukti. Gruntotraukis buvo sukonstruotas taip, kad atsitrenkęs į dugną svarmu atsiskirdavo ir kablys pakildavo į paviršių su grunto bandiniu“ (Maury, 1860).

Savo darbuose grunto tyrimus minėjo ir kiti žinomi XVIII a. inžinieriai: tiltų statytojas prancūzas H. Gauthier (1660–1737), šveicaras Ch. Labelye (1705–1781), aprašęs upės dugno ties Vestminsterio tiltu Londone grunto tyrimus. Ch. Labelye darbų komentaruose galima aptikti aprašytas kai kurias svorinio zondavimo (*Swedish Weight Sounding Test* – SWT) metodo dalis, nors pats metodas buvo sukurtas tik beveik po 200 metų.

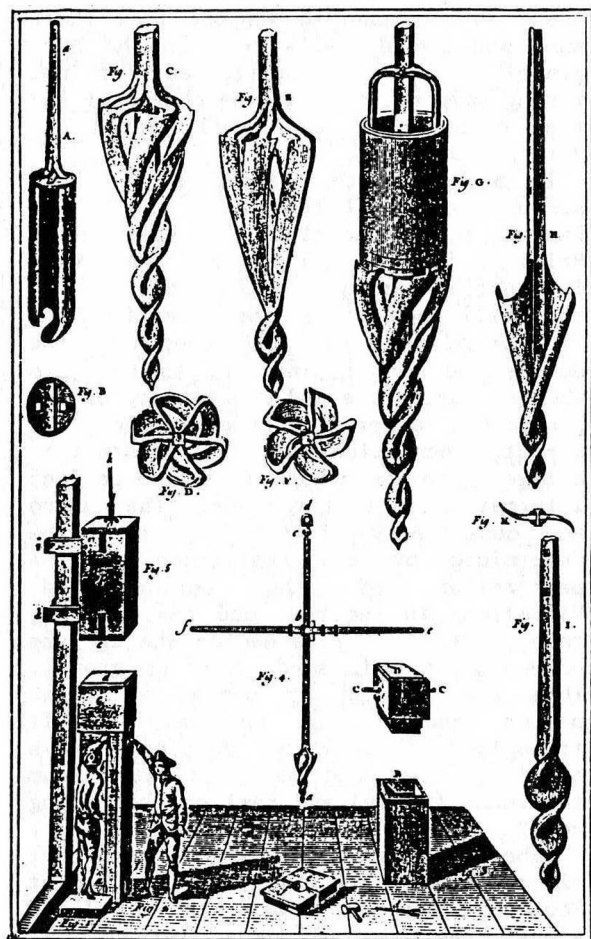
B. F. de Belidor (1697–1761), prancūzų inžinierius bei kelių knygų apie statybos technologijas ir hidraulinę inžineriją autorius, tyrė grunto laikomąją galią „polių bandymais“. Manoma, kad jo tyrimai galėtų būti klasifikuojami kaip grunto zondavimo bandymai.

D. Didro (1713–1784) veikalė „Enciklopedija“ pateikti piešiniai (9 pav.) iliustruoja grunto tyrimų instrumentus, naudotus XVIII a. Vidurio Europos šalyse (Broms, Flodin, 1988).

Kai kurios pastabos apie grunto tyrimus XVIII a. buvo publikuotos ir Skandinavijos šalyse. Nygård (1944) ir Senneset (1974) straipsniuose minima, kad XVIII a. pirmojoje pusėje Norvegijoje gruntas buvo tiriamas naudojant įvairios formos strypus, kuriais buvo įvertinamas grunto stiprumas ar pasipriešinimas išspaudimui (Broms, Flodin, 1988).

1804 m. škotas Thomas Telfordas (1757–1834), kuris laikomas „Britanijos civilinės inžinerijos tėvu“ (10 pav.), projektuodamas Kaledonijos kanalą pažymėjo, kad „gruntą sudaro silpnas dumblas, į kurį gali būti įstumti „plieniniai strypai“ iki 55 pėdų (apie 18 m) gylio“ (Telford, 1830; Tomlinson, 1956). Kurį laiką jis buvo Švedijos Gōta kanalo statybos konsultantas. Instrumentai, kuriais buvo tiriamas kanalo dugnas, pavaizduoti 11 paveiksle. Kanalo grunto tyrimų metu buvo atlikti 347 bandymai iki 4,7 m gylio.

XIX a. viduryje Europoje (daugiausia Vokietijoje bei Skandinavijos šalyse) pasirodė keli žinyrai, kuriuose buvo skyriai apie gruntą, uolienas bei pamatų inžineriją. Vienas pirmųjų tokių vadovėlių, kuriame buvo užsimenama apie gręžimo įrangą, buvo parašytas norvegų



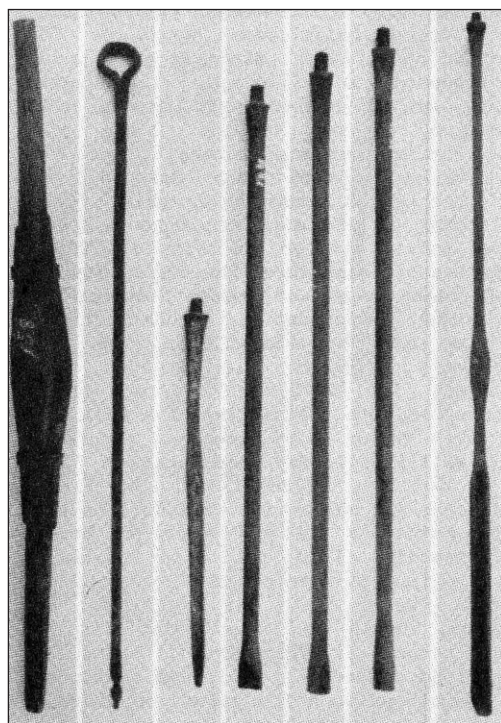
9 pav. D. Didro (1713–1784) ir XVIII a. grunto tyrimo įranga, pateikta veikalė „Enciklopedija“ (1768)

Fig. 9. D. Diderot (1713–1784) and soil penetration equipment from 18th century placed in *l'Encyclopédie* (1768)



10 pav. Thomas Telfordas (1757–1834) – „Britanijos civilinės inžinerijos tėvas“ (http://en.wikipedia.org/wiki/Thomas_Telford)

Fig. 10. Thomas Telford (1757–1834) – “Father of British Civil Engineering” (http://en.wikipedia.org/wiki/Thomas_Telford)

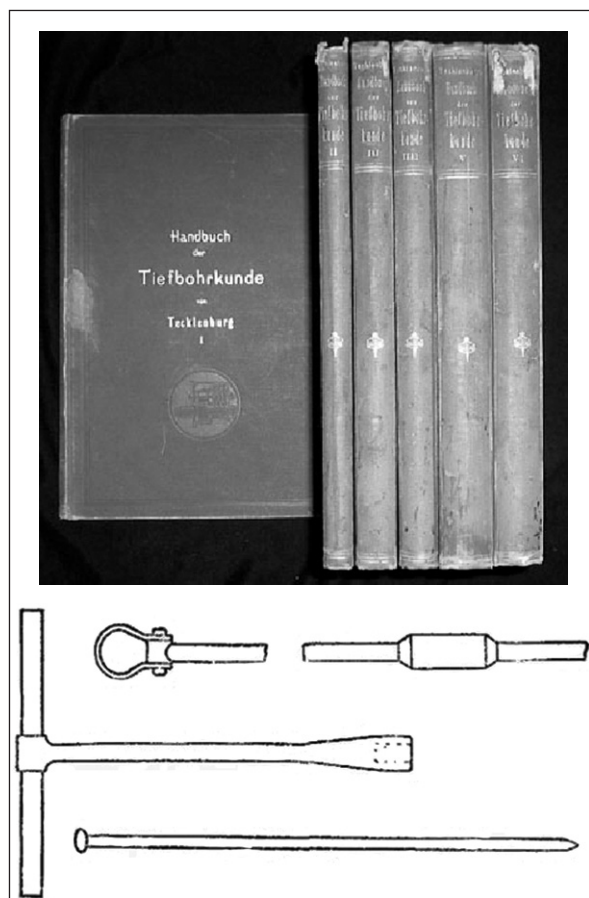


11 pav. Zondavimo įranga, kuria buvo tirtas Švedijos Göta kanalo dugno gruntas, apie 1810 (Flodin, 1981)

Fig. 11. Sounding equipment used at the construction of the Göta Canal in Sweden about 1810 (Flodin, 1984)

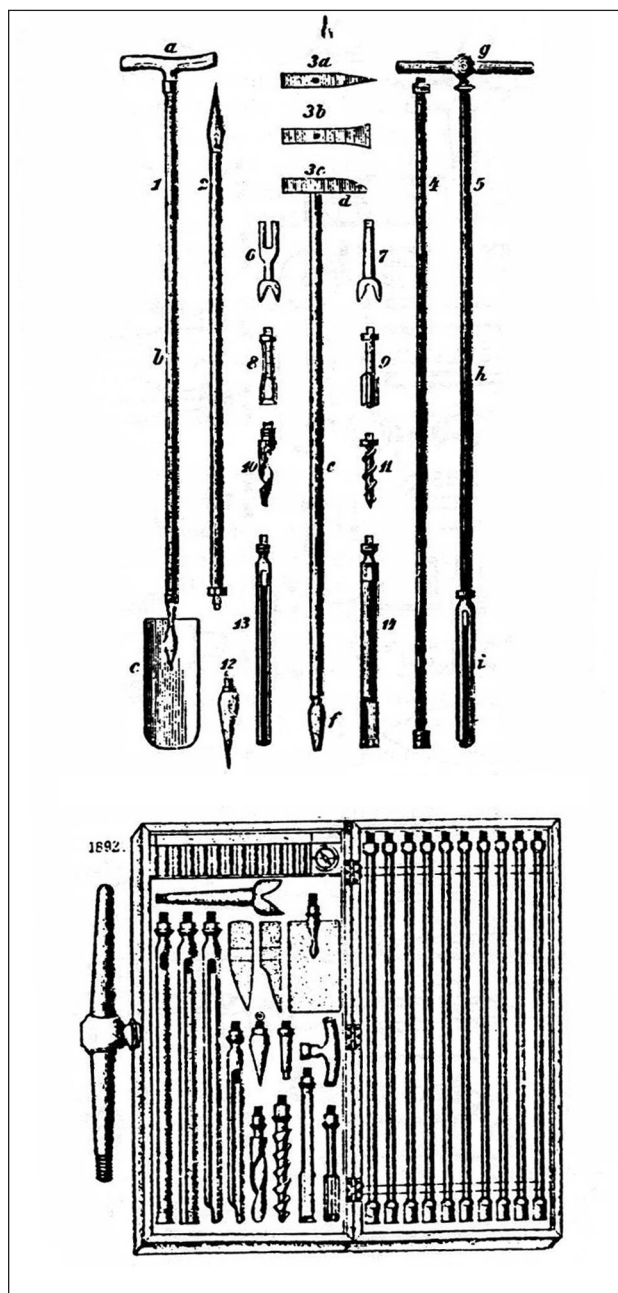
karininko Brocho (1848). Gana žymų 6 tomų veikalą, skirtą daugiausia uolienų ir grunto gręžimo technikai, 1886–1896 m. išleido Theodoras Saladinas Tecklenburgas (1839–1908) – *Handbuch der Tiefbohrkunde* („Gręžinių gręžėjo žinynas“, 1886–1896) (12 pav.). Autorius dirbo kalnų inžinieriumi Darmštate (Vokietija). Šiame veikle jis aprašė didelį kiekį gręžybos instrumentų, metodų, jų kilmę ir istoriją, tačiau daugiausia dėmesio skiria uolienų tyrimų aprašymui (Broms, Flodin, 1988).

T. S. Tecklenburgas taip pat pirmą kartą detalai aprašė zondavimo strypus (*sondiereisen* arba *visitireisen*) (12 pav.) bei patį zondavimo metodą – būdą nustatyti ir įvertinti grunto bei uolienų savybes (13 pav.).



12 pav. T. S. Tecklenburgo *Handbuch der Tiefbohrkunde* (1886–1896) – viršuje (<http://matthias-drummer.antiquariatsportal.de/72129,Handbuch-der-Tiefbohrkunde..html>) bei zondavimo strypai – apačioje

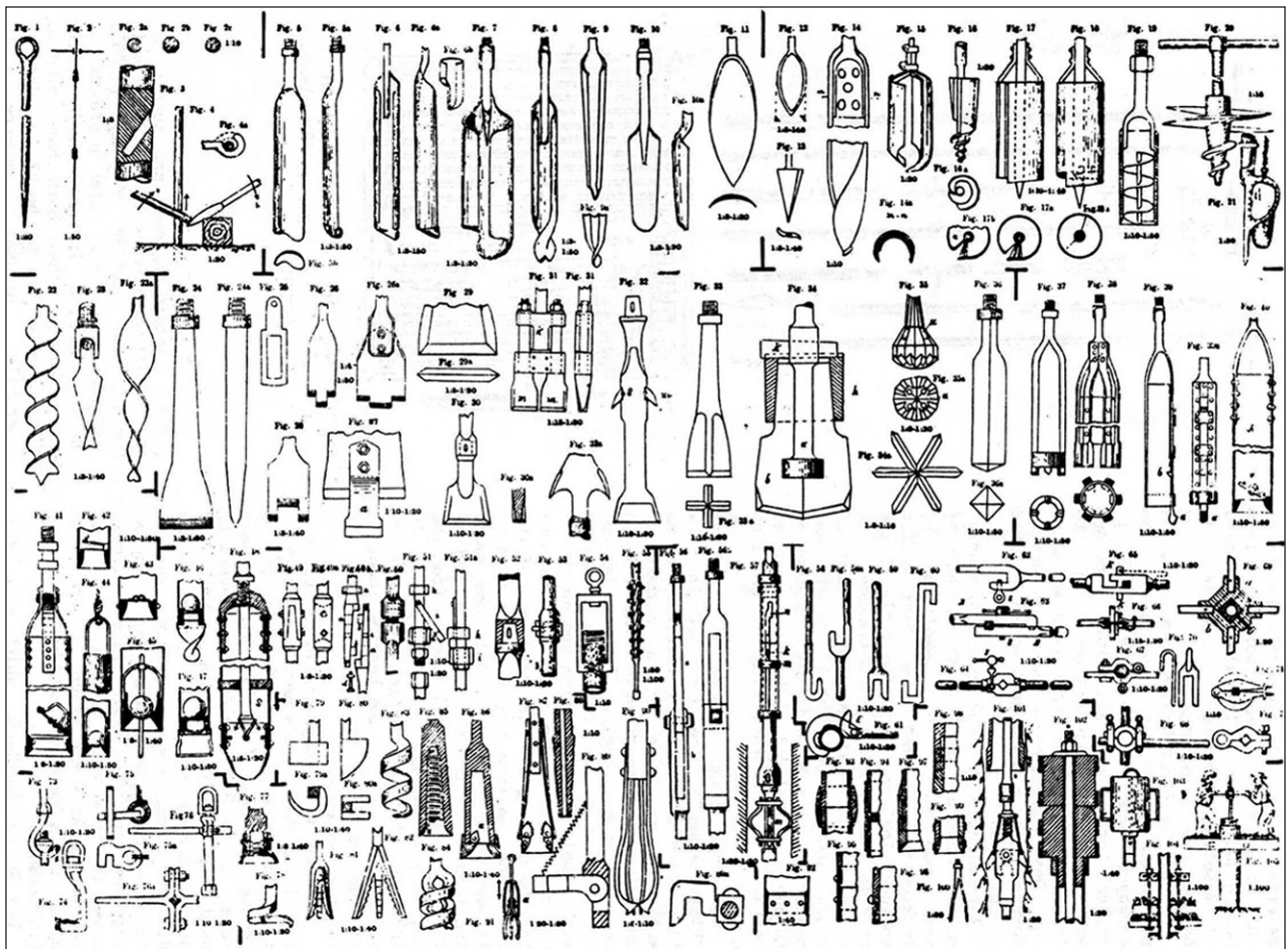
Fig. 12. T. S. Tecklenburg. *Handbuch der Tiefbohrkunde* (1886–1896) – above (<http://matthias-drummer.antiquariatsportal.de/72129,Handbuch-der-Tiefbohrkunde..html>) and sounding rods – below



13 pav. T. S. Tecklenburgo (1886–1896) aprašyti du gręžimo įrangos rinkiniai

Fig. 13. Two soil hand-boring equipment collections by T. S. Tecklenburg (1886–1896)

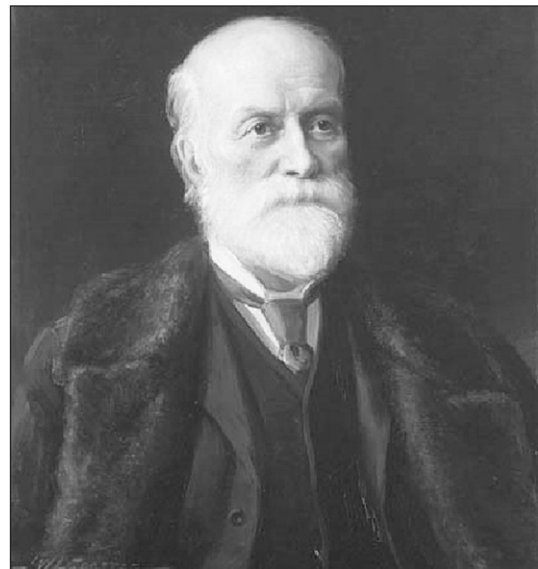
XIX a. pabaigoje Skandinavijos šalyse pasirodė du žinomi žinynai, kurie labiau buvo skirti grunto tyrimams bei pamatų inžinerijai. Vienas jų – norvegų karo inžinieriaus bei karo mokyklos dėstytojo E. Kolderupo (1894), o kitas – Helsinkio Politechnikos universiteto profesoriaus M. Strukelio (1895). Gausios grąžtų iliustracijos M. Strukelio žinyne (14 pav.) atskleidžia to laikotarpio gręžimo ir grunto tyrimo įrangos įvairovę.



14 pav. Gręžimo įrangos rinkinys, naudotas XIX a. (pagal Strukel, 1895)

Fig. 14. Collection of boring equipment used during the 19th century (by Strukel, 1895)

Žymus inžinierius ir išradėjas seras Sandfordas Flemingas (1827–1915), vykdydamas Miramachi geležinkelio tilto statybą New Brunswick vietovėje Kanadoje 1871–1875 m., pažymėjo, kad anksčiau atlikti grunto tyrimai yra nekokybiški ir pasiūlė naują tyrimų metodą, kuris leido spaudimo jėgą matuoti į gruntą įspaudžiant plieninį strypą (15–16 pav.). Nuo trinties tarp strypų ir grunto apsaugojo 125 mm diametro plieniniai vamzdžiai. Naudojamų strypų diametras buvo 75 mm, jų galas bukas. Bandymai buvo atliekami vandenyje strypus apkraunant tam tikru svoriu; taip pat buvo matuojamas apkrovimo laikas. Galbūt tai buvo vienas pirmųjų statinio zondavimo bandymų. Pagal bandymų rezultatus buvo apskaičiuota įvairių grunto sluoksnių laikomoji geba ir patikslintas tilto atramų pamatų projektas. Tačiau S. Flemingo pasiūlytas grunto statinio bandymo metodas buvo užmirštas beveik 100 metų (Broms, Flodin, 1988).



15 pav. Seras Sandfordas Flemingas (1827–1915) (http://en.wikipedia.org/wiki/Sandford_Fleming)

Fig. 15. Sir Sandford Fleming (1827–1915) (http://en.wikipedia.org/wiki/Sandford_Fleming)



16 pav. Paskutinė vinis į geležinkelio bėgius, sujungusius Kanadą nuo Ramiojo iki Atlanto vandenynų. S. Flemingas (balta barzda) stovi už vinį kalančio vyro, 1885 (<http://www.sandfordfleming.ca/en/index.html>)

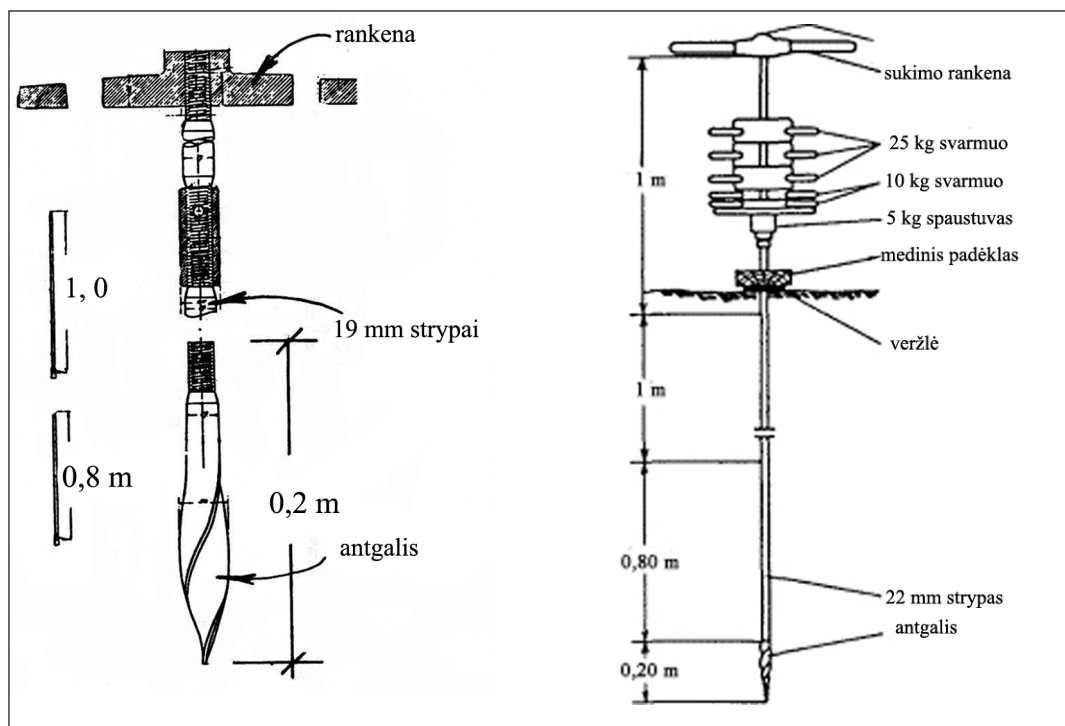
Fig. 16. The last spike to railway which connected Canada from Pacific to Atlantic oceans. Sandford is the man with the white beard standing behind the man driving in the spike, 1885 (<http://www.sandfordfleming.ca/en/index.html>)

ŠIUOLAIKINIŲ LAUKO TYRIMO METODŲ ATSIRADIMAS IR PLĖTOJIMAS

XIX a. pabaigoje ir XX a. pradžioje intensyvi pramonės bei transporto statinių, geležinkelių statyba sudėtingomis geologinėmis sąlygomis Švedijoje bei Norvegijoje vertė inžinierius nemažai dėmesio skirti grunto tyrimams. Tuo pačiu metu įvykusios kelios didelės nuošliaužos, nusinešusios daug žmonių gyvybių Trodheimo apylinkėse (Norvegija), Geteborgo (Švedija) įlankos rajone, taip pat storas, silpnas molinis gruntas ir durpių sluoksnis vertė ištirti geologinę aplinką daug detaliau nei paprastai. Tuo metu Skandinavijoje intensyviai formavosi ir kaupėsi geologinė patirtis, gyvenimas vertė tyrėjus ieškoti įvairių grunto tyrimų metodų. Žinomi geležinkelių inžinieriai švedai, tokie kaip M. Svensson (1899), E. Wendel (1900), W. Fellenius (1911), G. Dahlberg (1913), G. Samuelsson (1926), ne tik dalyvavo grunto tyrimuose, tačiau ir kūrė prietaisus, įrangą bei grunto stiprumo vertinimo metodiką, kuri vėliau tapo mums gerai žinomu **švedų svorinio zondavimo metodu** (*Swedish Weight Sounding Test – SWT*). Šio prietaiso ir me-

todo kūrėju laikomas švedų inžinierius Wolmar Fellenius. 1917 m. Švedijos geotechnikos komisija savo ataskaitoje „Grunto tyrimai geležinkelių tiesimui“ (angl. *Soil Investigation for Railways*) paminėjo ir WST prietaisą (18 pav.). W. Fellenius tuo metu buvo šios komisijos narys. Jo pieštą zondavimo įrangos eskizą žr. 17 paveiksle.

Sparnuotės, arba mentelių, metodas (*Field Vane Test – FVT*) (19 pav.) taip pat atsirado ir pirmą kartą praktiškai buvo pritaikytas Švedijoje. Statybos inžinierius, tuo metu Švedijos valstybinio geležinkelio geotechnikos komisijos sekretorius Johnas Olssonas (1880–1969) 1919 m. sukonstravo ir panaudojo prietaisą, kuriuo tyrė molinius gruntuos Lidingės tilto pamatams Stokholme (Flodin, Broms, 1981). Vėliau šis metodas paplito ir kitose šalyse – Anglijoje, Vokietijoje, Kanadoje ir kt. Iki pat XX a. 4-ojo dešimtmečio pabaigos prietaisas bei jo naudojimo metodika buvo tobulinama. Tokio pavidalo, koks yra šiandien, prietaisas pirmą kartą buvo pristatytas L. Carlssono 1948 m. II tarptautinėje grunto mechanikos ir pamatų inžinerijos konferencijoje Roterdame (Cadling, Odenstad, 1950).



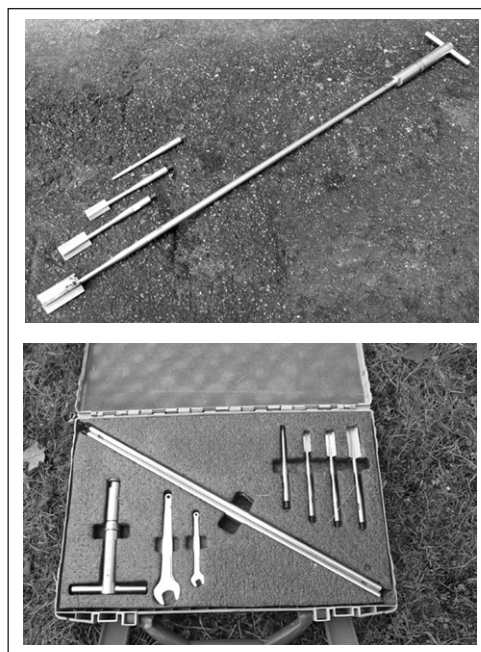
17 pav. Švedų zondavimo įranga (1911): kairėje – pagal W. Fellenius eskizą; dešinėje – šiuolaikinio prietaiso struktūros vaizdas

Fig. 17. Swedish sounding tool (1911) – left side by sketch of W. Fellenius; right side – a picture of modern equipment



18 pav. Svorinio zondavimo prietaisas, 1917 (pagal Broms ir Flodin, 1988)

Fig. 18. Weight sounding apparatus in 1917 (by Broms and Flodin, 1988)



19 pav. „Geonor“ firmos sparnuotė (VU GMF Hidrogeologijos ir inžinerinės geologijos katedra)

Fig. 19. Geonor vane, 2013 (Department of Hydrogeology and Engineering Geology, Vilnius University)

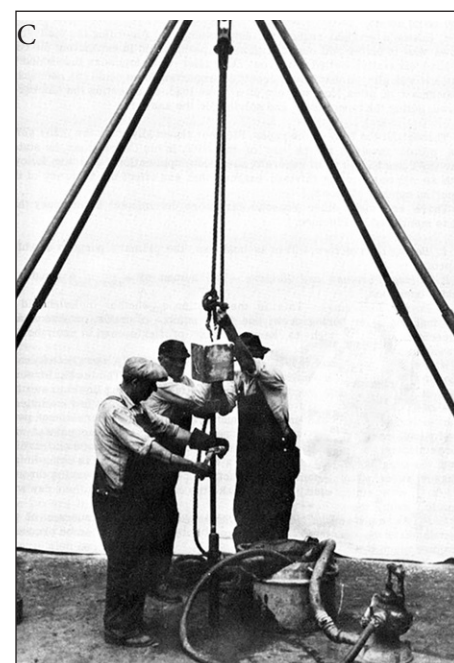
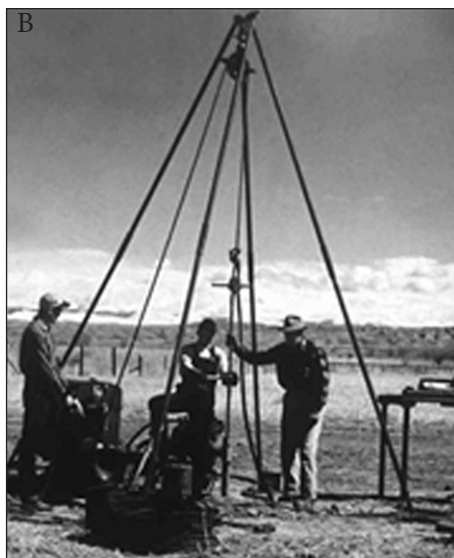
Gręžimas naudojant praplovimo skystį ilgą laiką buvo vienas pagrindinių gręžimo metodų JAV bei Kanadoje XIX a. (Mohr, 1943–1944; Terzaghi, 1953). Geotechninių tyrimų era ten prasidėjo atstiant Čikagą po Didžiojo 1871 metų gaisro. 1902 m. JAV pulkininkas Charles'as R. Gowas (1872–1949) tapo vadinamojo „sausos grunto paėmimo“ metodo pradininku (20 pav., A). Tai buvo standartinio penetracijos bandymo metodo (*Standard Penetration Test* – SPT) užuomazga.

Terminas *Standard Penetration Test* pirmą kartą buvo pavartotas K. Terzaghi 1947 m. VII Grunto mechanikos ir pamatų inžinerijos konferencijoje, vykusioje Ostine, Teksaso universitete (JAV). Iki pat XX a. pradžios Jungtinėse Valstijose grunto tyrimai buvo atliekami gręžiant gręžinius ir naudojant praplovimo skystį. Gruntas buvo aprašomas tik pagal tą grunto medžiagą, kuri buvo išplaunama su vandeniu į paviršių.

1902 m. Bostone įmonės „Gow Construction Co.“ savininkas pulkininkas Ch. R. Gowas pradėjo gręžti žvalgybinius gręžinius, naudodamas 2,54 cm (1 colio) skersmens, 30–45 cm ilgio (12–18 colių) atviro tipo (angl. *open drive*) kalamąjį gruntotraukį, kuris į gruntą sukalamas 50 kg (110 svarų) masės plaktu (Fletcher, 1965; Mohr, 1966; Broms, Flodin, 1988). Gruntotraukiui buvo pritaikytas gręžimo vamzdis, o prie jo galo pritaistas užaštrintas kūginis antgalis (Rogers, 2006A).

Maždaug XX a. 3-iajame dešimtmetyje JAV pasirodė ir daugiau panašaus tipo gruntotraukių, kuriuos pradėjo gaminti ir pardavinėti bendrovė „Sprague and Henwood“. Jie buvo įvairių dydžių: išorinis skersmuo – 5,1 cm, 6,35 cm, 7,6 cm, 8,9 cm, vidinis skersmuo buvo 1,27 cm mažesnis (Rogers, 2006A).

1922 m. pulkininkas Ch. R. Gowas pardavė savo bendrovę polių statybos įmonei „Raymond Concrete Pile Company“ (RCPC), kurios būstinė buvo Niujorke, tačiau kaip šios bendrovės padalinys Ch. R. Gowo bendrovė tęsė grunto tyrimo darbus. Tyrimus atlikdavo specializuota trijų žmonių komanda (20 pav., B, C). 1927 m. Ch. R. Gowo bendrovės inžinierių H. A. Mohro, G. F. A. Fletcherio ir L. Harto pastangomis buvo



20 pav. Pulkininkas Charles'as R. Gowas (1872–1949) (A) ir jo gruntą tiriančios grupės (B, C) (Rogers, 2006B)

Fig. 20. Colonel Charles R. Gow (1872–1949) (A) and his investigation teams (B, C) (Rogers, 2006B)

sukonstruotas 5 cm (2 colių) skersmens gruntotraukis, kuris buvo įgilinamas į gruntą 63,5 kg (140 svarų) plaktu, mėtomu iš 76,2 cm (30 colių) aukščio, skaičiuojant smūgių skaičių 30,5 cm intervalui (12 colių) (Fletcher, 1965; Morh, 1966; Rogers, 2006A).

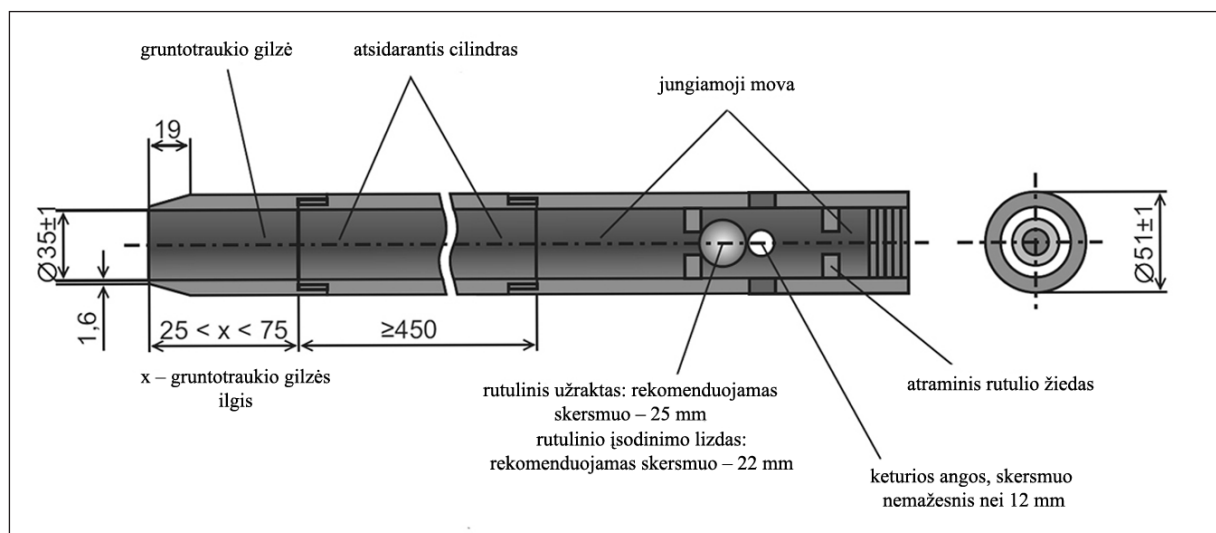
Vėliau, apie 1940 m., gruntotraukis buvo patobulintas RCPC bendrovės (pailgintas iki 55,9 cm (22 colių)) ir dabar gerai žinomas kaip *Raymond sampler* – Raymondo gruntotraukis (Hvorslev, 1949).

XX a. 2–3 dešimtmetyje JAV grunto tyrimams buvo naudojama daugybė įvairių dydžių ir konstrukcijų gruntotraukių ir skirtingo svorio plaktų (21 pav.). Šis tuo metu modernus metodas leido tiksliau išskirti ir aprašyti gruntą, tačiau skirtingi naudojamos įrangos parametrai neleido apibendrinti ir panaudoti sukauptos patirties vertinant grunto savybes ir koreliaciją su skaičiuojamu smūgių skaičiumi (pasipriešinimu penetracijai).

K. Terzaghi ir Harvardo universiteto prof. A. Cazagrande įdėjo daug pastangų, kad būtų nustatyta standartizuota bandymų procedūra ir standartizuota bandymų įranga. 1938 m. įsteigtas Bandymų ir grunto paėmimo komiteto prie ASCE (angl. *American Society of Civil Engineering*) grunto mechanikos ir pamatų padalinys (angl. *the ASCE Committee on (Soil) Sampling and Testing of the Soil Mechanics and Foundations Division*), vadovaujamas J. Hvorslevo, apie 1940 m. publikavo standartizuotą šio metodo aprašymą. Ch. R. Gowo

bendrovės padalinio darbuotojo H. Mohro 20 metų renkama Bostono apylinkėse tiriamo grunto duomenų bazė ir RCPC bendrovės pastangos standartizuoti savo įmonėje naudojamus gruntotraukius visoje šalyje leido K. Terzaghi 1947 m. konferencijos metu pranešime „Recent Trends in Subsoil Exploration“ („Naujos grunto tyrimų tendencijos“) „pakrikštyti“ grunto paėmimą Raymondo gruntotraukiu (angl. *Raymond sampler*) kaip „standartinę penetracijos bandymą“ (angl. *Standard Penetration Test* – SPT). SPT metodu gautos koreliacijos tarp pasipriešinimo penetracijai rodiklio ir grunto geotechninių savybių pirmą kartą buvo publikuotos 1948 m. K. Terzaghi ir R. B. Pecko vadovėlyje *Soil Mechanics in Engineering Practice* („Grunto mechanika inžinerinėje praktikoje“). Labai greitai gana paprastas ir palyginti nebrangus SPT metodas, jo atlikimo procedūros ir paskelbtos klasifikacinės grunto koreliacinės priklausomybės buvo pripažintos visose Jungtinėse Valstijose.

1930 m. Rusijos kelių susisiekimo inžinierius A. A. Ktatarovas pasiūlė tirti gruntą jo sukonstruotu prietaisu. Pagrindinė prietaiso dalis buvo tamprus guminis vamzdis (tamprus polius), įleidžiamas į gręžinį. Pagal vamzdžio skersines deformacijas, esant skirtingiems slėgiams, buvo galima apskaičiuoti grunto deformacines savybes. Šis įrenginys buvo gremėzdiškas, jo montavimui ir demontavimui reikėjo daug laiko, todėl šis metodas neprigijo. 1933 m. vokiečių inžinierius F. Kogleris sukonstravo du įrenginius gruntui gręžiniuose tirti

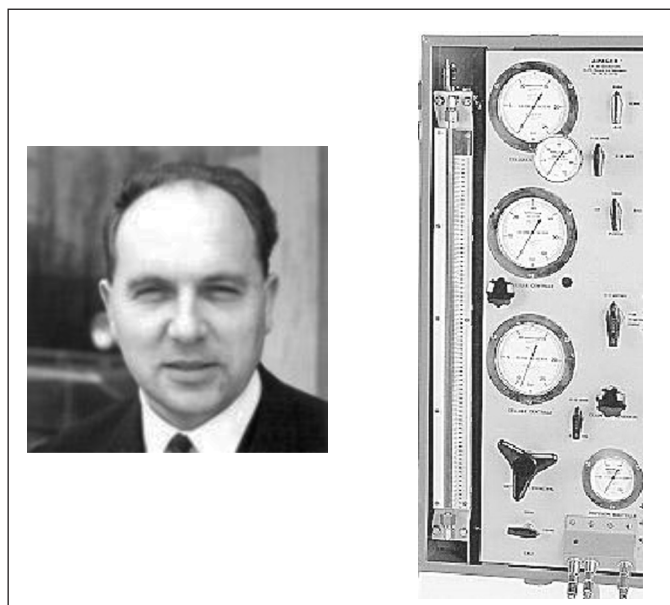


21 pav. Šiuolaikinis SPT gruntotraukis (Gadeikis ir kt., 2012)

Fig. 21. Modern SPT sampler (Gadeikis et al., 2012)

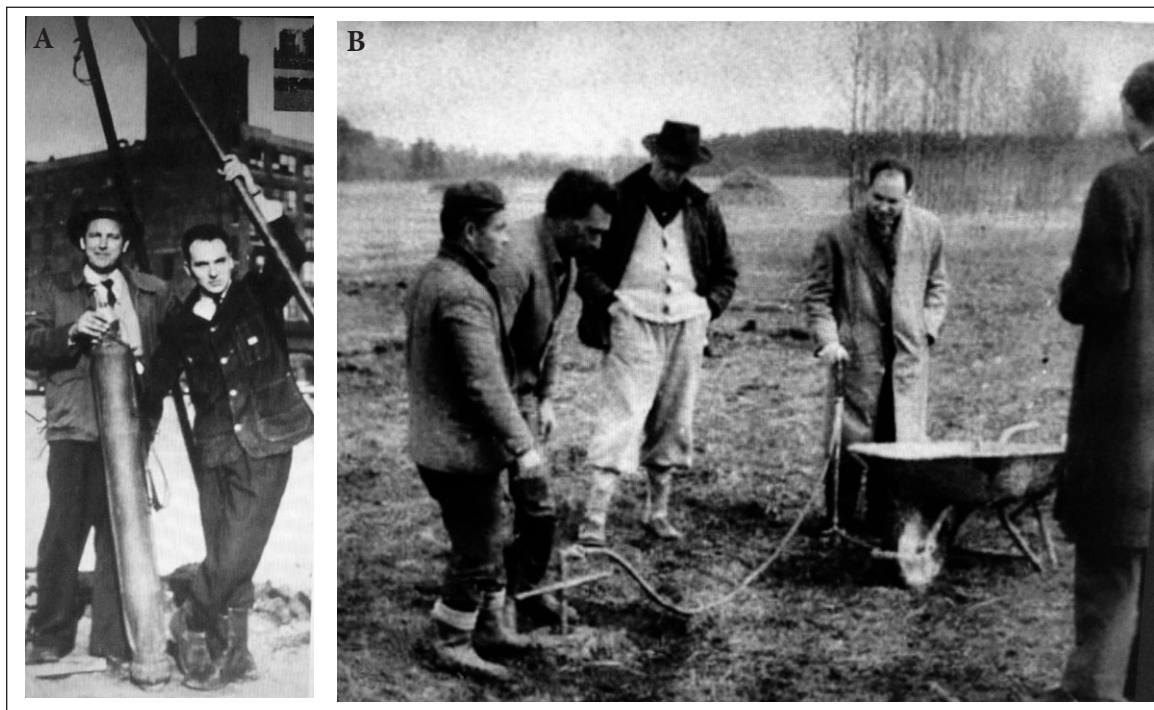
naudojant statinių apkrovų principą. Slėgiui sukurti viename įrenginyje buvo naudojamas mechaninis, o kitame – pneumatinis prietaisas, tačiau dėl įvairių deformacijų, modulio teorinių skaičiavimų netikslumų ir prietaisų konstrukcinių neatitikimų jo prietaisai neprigijo.

1954 m. jaunas, 23 metų, prancūzų inžinierius Louis Ménard'as (1931–1978), atvykęs į Ilinojaus universitetą (JAV) stažuoti, sukonstravo įrenginį, kuriuo galėjo matuoti grunto deformacines savybes gręžinyje (22–23 pav.). 1955 m. L. Ménard'as užpatentavo savo prietaisą, pavadinęs



22 pav. L. Ménard'as (1931–1978) ir jo prietaiso dalis

Fig. 22. L. Ménard (1931–1978) and a part of his device



23 pav. L. Ménard'as su savo sukonstruotu prietaisu (stovi iš dešinės), maždaug XX a. 5-asis dešimtmetis (A); su kolegomis Prancūzijos Rivjeroje, 1969 (B) (http://issuu.com/menard-book/docs/menard__un_demi-si_cle_d_histoire_)

Fig. 23. L. Ménard with his device in about the middle of 1950 (right side) (A) and with colleagues in French Riviera in 1969 (B) (http://issuu.com/menard-book/docs/menard__un_demi-si_cle_d_histoire_)



24 pav. Dilatometras, 2013 (VU GMF Hidrogeologijos ir inžinerinės geologijos katedra)

Fig. 24. Dilatometer, 2013 (Department of Hydrogeology and Engineering Geology, Vilnius University)

jį **presiometru** (*Menard Pressuremeter Test* – MPT). Pirmą kartą presiometras buvo išbandytas Čikagoje. L. Ménard'as laikomas presiometrijos bandymų pradininku ir prietaiso bei presiometrinio grunto tyrimo metodo „tėvu“. Jis labai daug padarė tobulindamas šiam metodui pritaikytas projektavimo normas, kurios galų gale tapo tarptautiniu standartu. 1957 m. L. Ménard'as įkūrė savo firmą „Les pressiomètres Louis Ménard SA“ (angl. *Ménard pressuremeters*), kuri vykdė tyrimus įvairiose pasaulio šalyse.

1950 m. nepriklausomai nuo L. Ménard'o japonas Fukuoka sukūrė prietaisą šoninėms deformacijoms matuoti polių horizontalių apkrovos bandymų metu. Ši presiometro modifikacija buvo tobulinama (buvo tobulinamas pats prietaisas, jo matavimo įranga ir įrengimo metodika) ir tapo Japonijos firmos OYO korporacijos produktu (oyometras).

Dilatometrinio bandymo (*Flat Dilatometer or Marchetti Dilatometer* – DMT) metodo atsiradimą nulėmė profesoriaus S. Marchetti atliekami metalinių polių bandymai horizontaliomis apkrovomis (Schmertmann, 1983). Pirmieji dilatometrinio bandymo žingsniai buvo mėginimas surasti šoninio slėgio modulį. Nuo 1974 iki 1980 m.

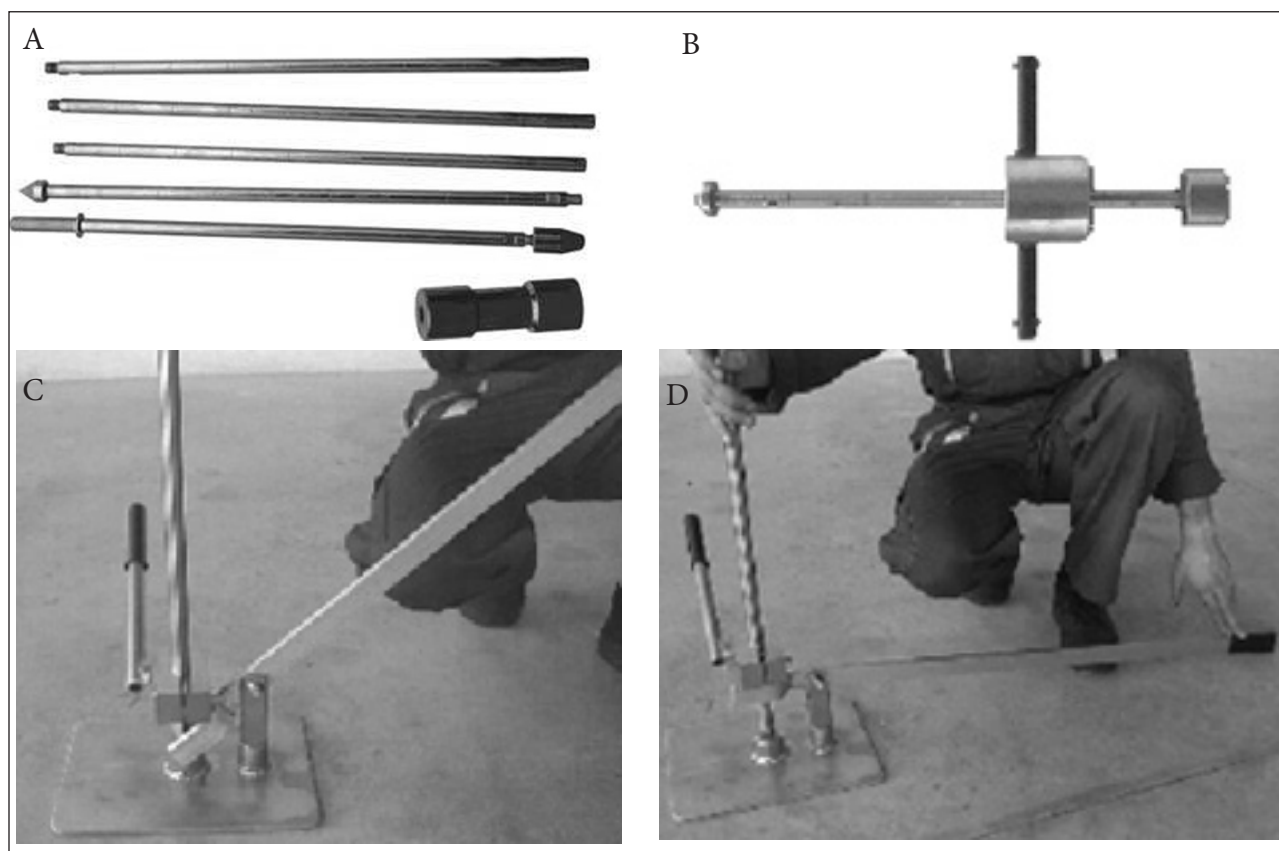
vykę teoriniai ir praktiniai darbai leido 1979 m. pradėti bandomuosius darbus. 1980 m. profesorius S. Marchetti savo straipsnyje „*In Situ Test by Flat Dilatometer*“ („Lauko tyrimai dilatometru“) smulkiai aprašė prietaiso konstrukciją, bandymų procedūras ir gautas koreliacines priklausomybes. *Dilatometras* – iš nerūdijančio plieno pagaminta plokščia mentė su vienoje pusėje įmontuota apvalia plienine membrana (24 pav.). Mentės plokštė su žemės paviršiuje esančiu matavimo prietaisu yra sujungta pneumatiniu elektriniu kabeliu, kuris įstatomas į jungiamųjų skersinių vidų. Pro vamzdelį tiekiamų dujų slėgis yra reikalingas metalinei membranai pajudinti (Marchetti ir kt., 2001). Tyrimo metu pirmiausia dilatometro mentė išspaudžiama į gruntą, paskui membrana slėgio išstumiamą iš mentės ir 1 min. fiksuojami reikalingi parametrai.

Vėliau, plečiantis tyrimų geografijai, daugėjant skirtingo grunto bandymų įvairiose šalyse, buvo sukaupta daug duomenų, leidžiančių tobulinti metodo interpretaciją, gauti papildomos informacijos apie grunto standumą, stiprumą, įtempimo būseną ir jos kitimą. Didelis susidomėjimas šiuo metodu, rezultatų gausa, platus panaudojimas leido organizuoti specialias dilatometrijai skirtas konferencijas: pirmoji tarptautinė konferencija (Kanada, Edmontonas, 1983), tarptautinis seminaras (Japonija, Tokijas, 1999), antroji tarptautinė konferencija (JAV, Vašingtonas, 2006).

Inžineriniuose geologiniuose tyrimuose **dinaminis zondavimas** (*Dynamic Probing* – DP) suprantamas kaip kūgio smeigimas į gruntą veikiant dinamine jėga. Dinaminio zondavimo metu kūgį pakeitus grunto traukiu, zonduojama kitu metodu – vyksta standartinis penetracijos bandymas. Tiek DP, tiek SPT darbo principai yra panašūs, tačiau istoriškai taip susiklostė, kad šios metodikos tapo atskiros.

Dinaminis zondavimas – tai mechaninis arba rankinis zondo su antgaliu įkalimas į gruntą plaktu (25 pav.). Šis metodas nusako grunto pasipriešinimą kūgio smigimui. Ant strypo prisukamas kūgio pavidalo antgalis. Zondas įkalamas į gruntą plakto, kurio svoris ir kritimo aukštis yra pastovūs ir atitinka įrangos tipą, smūgiais. Zondo vertikalumas palaikomas specialiu įtaisu. Tyrimo gylis gali siekti iki 30 m, o zonduojant gręžinyje – iki 45 m.

Anksčiausi įrašai apie dinaminį zondą atsirado XVII a. Vokietijoje. Šio zondo pradininkas



25 pav. Lengvojo dinaminio zondo (DPL) konstrukcija: A – strypas su priekalu, B – plaktas, C, D – atlikimo procedūra (pagal <http://www.pagani-geotechnical.com/>)

Fig. 25. Light dynamic probe (DPL): A – rods with anvil, B – hammer, C, D – test procedure (by <http://www.pagani-geotechnical.com/>)

Nicholaus Goldmannas gruntui tirti naudojo „kalamąjį zondą“. 1936 m. E. Künzelis Vokietijoje pristatė grunto tyrimo *in situ* įrenginį „Prüfstab“ (bandymų strypą). Šis prietaisas 1964 m. buvo standartizuotas Vokietijoje (standartas DIN 4094) ir pavadintas lengvuju zonu (Kleyn ir kt., 1982). Remiantis kitais literatūros šaltiniais, dinaminio zondavimo metodo pradininku laikomas A. J. Scala (Luo ir kt., 1998). 1956 m. Australijoje A. J. Scala, dirbdamas Viktorijos krašto kelių valdyboje, naudojo lengvo tipo savadarbį dinaminį zondą, kurį sudarė 9 kg svorio plaktas, mėtomas iš 508 mm aukščio; antgalio kūgio kampas buvo 30 laipsnių (Scala, 1985). Dinaminiam zondavimui rekomenduojama bandymų procedūra buvo tobulinama ir pabaigta bei pristatyta 1989 m. ISSMFE parengtoje ataskaitoje kartu su kitomis zondavimo metodikomis.

Buvusioje Sovietų Sąjungoje rankinį dinaminį zondą dirbtinai sutankinto smėlinio grunto tankumui nustatyti 1947–1948 m. panaudojo I. A. Fizdelis. Šio zondo kūgio skersmuo ir zondavimo strypų

skersmuo buvo vienodi (60 mm). Zondas buvo įkalamas 9 kg plaktu, jo kritimo aukštis – 1,0 m, nuosėdis matuojamas po dešimties smūgių tankiame smėlyje ir po 5–6 smūgių puriame smėlyje. XX a. 6-ajame dešimtmetyje, atliekant inžinerinius geologinius tyrimus hidroelektrinių statybai prie Volgos ir Dono upių, V. A. Durante naudojo savos konstrukcijos dinaminį zondą, kuris buvo kalamas 60 kg plaktu.

Statinis zondavimas (*Cone Penetration Test – CPT*). Ši statinio zondavimo metodo istorinė apžvalga yra pateikta remiantis daugiausia B. B. Bromso ir N. Flodino straipsniu „History of Soil Penetration Testing“ („Grunto bandymų zondavimu istorija“), kuris buvo publikuotas pirmosios tarptautinės konferencijos *Penetration Testing – 1988* (ISOPT-1, Orlando, JAV) medžiagoje, taip pat T. Lunne'o, P. K. Robertsono ir J. J. M. Powellio knyga *Cone Penetration Testing* (1997) („Statinis zondavimas“), kitais straipsniais bei publikacijomis.

Zondavimas strypais pro silpną gruntą, siekiant aptikti stipresnį sluoksnį, buvo pradėtas taikyti maždaug nuo 1917 m., o statinio zondavimo metodas, koks jis žinomas šiandien, buvo sukurtas apie 1930 m. Olandijoje. Šis metodas anksčiau buvo vadinamas statiniu penetracijos bandymu, kvazistatiniu zondavimo bandymu ir olandišku zondavimo bandymu (Lunne ir kt., 1997). Pirmas statinio zondavimo bandymas *mechaniniu zonu* buvo atliktas 1930 m. Viešųjų darbų departamento (oland. *Rijkswaterstaat*, angl. *Department of Public Works*) statybos inžinieriaus P. Barentseno. Tyrimai buvo atliekami netoli Vlaardingeno miestelio (Olandija) norint nustatyti 4 m storio suplauto grunto sluoksnio laikomąją gebą. Darbas buvo atliekamas rankomis, 1–2 žmonių, tyrimų gylis siekė 2–3 metrus, pasipriešinimas penetracijai buvo matuojamas manometru (Barentsen, 1936) (26 pav.).

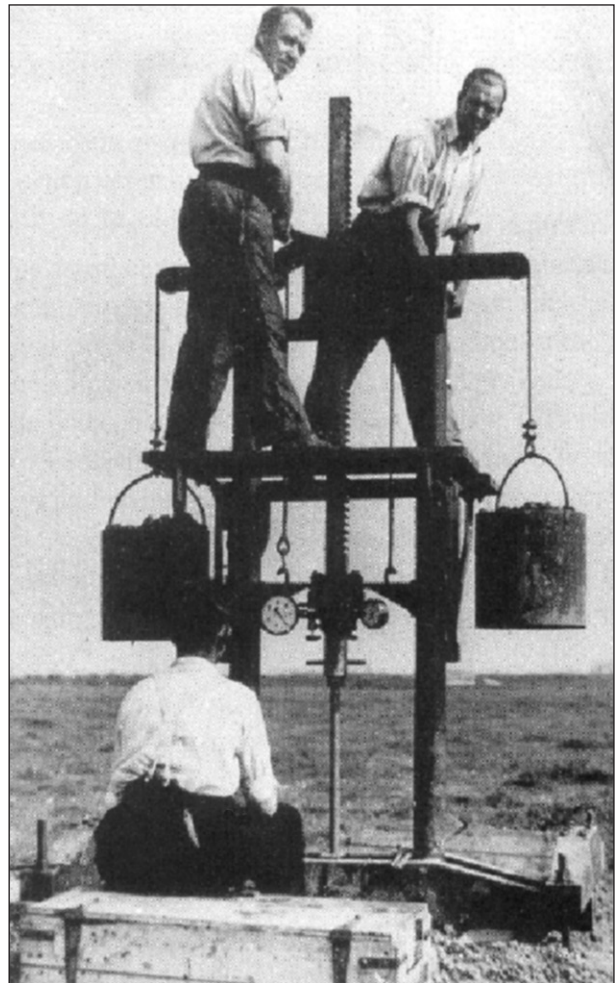
Vėliau Delfto grunto mechanikos laboratorijos (angl. *Delft Laboratory of Soil Mechanics*) direktorius T. K. Huizinga kartu su įmonės „Goudsche Machinefabriek of Gouda“ specialistais suprojektavo ir



26 pav. Kūginis penetrometras, sukurtas P. Barentseno 1936 m. (pagal Broms ir Flodin, 1988)

Fig. 26. Cone penetrometer developed by P. Barentsen in 1936 (by Broms and Flodin, 1988)

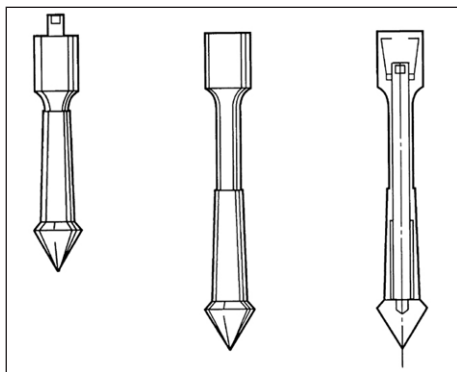
pagamino pirmą rankinį 25 kN galios statinio zondavimo agregatą, kuriuo pirmas bandymas buvo atliktas 1936 m. (Plantema, 1948) (27 pav.). Prietaisas buvo naudojamas su 19 mm skersmens išoriniu vamzdžiu, kuris padėdavo išvengti paviršiaus trinties išilgai 15 mm skersmens vidinių plieninių strypų. Zondo galas buvo prijungtas prie strypo. Ir vamzdis, ir strypas su 10 cm² ploto ir 60° kampo zonu buvo spaudžiami rankomis.



27 pav. „Olandiško“ tipo statinio zondavimo sistema, naudota apie XX a. 3–4 dešimtmetį (nuotrauka iš Lunne ir kt., 1997, pagal „Delft Geotechnics“)

Fig. 27. Dutch cone penetrometer system used in the 1940s (Lunne et al., 1997, by “Delft Geotechnics”)

J. Vermeidenas (1948) ir G. Plantema (1948) patobulino „olandišką“ zondą – virš jo pritaisė kūgio formos gaubtą. Ši nauja zondo forma naudojama iki šiol (28 pav.). Tokia zondo konstrukcija saugojo jį nuo grunto, patenkančio į tarpą tarp apvalkalo ir strypų. Vienas reikšmingiausių statinio zondavimo

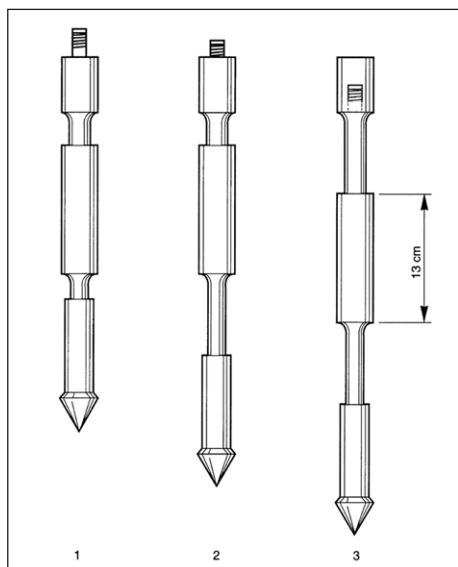


28 pav. „Olandiškas“ zondas su kūginiu gaubtu (pagal Sanglerat, 1972)

Fig. 28. Dutch cone with a conical mantle (by Sanglerat, 1972)

metodo raidos etapų buvo 1953 m. H. K. S. Begemanno (1953, 1965, 1969) pasiūlytas zondo patobulinimas. Jis prie zondo konstrukcijos (virš paties zondo kūgio) pritaikė papildomą movą, kuri leido statinio zondavimo metu išmatuoti ne tik kūginį pasipriešinimą, bet ir grunto sukeliama trintį. Toks zondas su trinties mova buvo užpatentuotas 1953 m. ir iki šiol žinomas kaip Begemanno zondas (29 pav.).

Elektrinio zondo prototipas buvo sukurtas Hoffmanno Berlyne, apie 1940-uosius, vykstant Antrajam pasauliniam karui, Vokietijos grunto mechanikos tyrimų draugijoje (vok. *Deutsche*

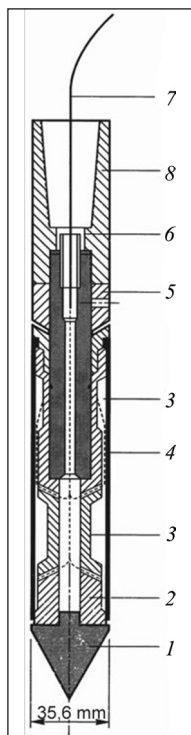


29 pav. Begemanno tipo zondas su trinties mova (pagal Sanglerat, 1972)

Fig. 29. Begemann type cone with a friction sleeve (by Sanglerat, 1972)

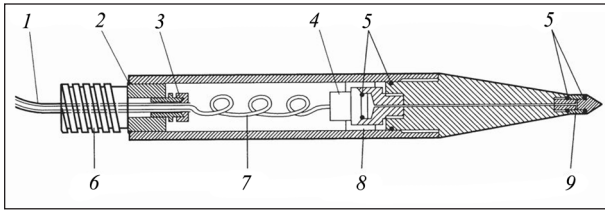
Forschungsgesellschaft für Bodenmechanik – Degebo) (Broms, Flodin, 1988; Muhs, 1949; 1978). Zondas išbandytas apie 1944 metus. Šio zondo signalas buvo perduodamas į žemės paviršių kabeliu, einančiu pro tuščiavidurius zondavimo strypus. Kūginis stipris buvo matuojamas vibrolaidiniu davikliu, pritvirtintu virš zondo. Pirmas šiuolaikinis elektrinis zondas buvo sukurtas ir užpatentuotas inžinieriaus Bakkerio 1948 m. Olandijoje. Dar jis buvo vadinamas „Rotterdam“ kūgiu. Delfto grunto mechanikos laboratorija (DSML) Olandijoje 1949 m. patobulino elektrinį zondą, o jau 1957 m. sukūrė pirmą elektrinį zondą, kuriame šoninė trintis buvo matuojama atskirai nuo kūginio stiprio (Vlasblom, 1985). 1965 m. Olandijos bendrovė „Fugro“ kartu su Olandijos valstybiniu tyrinėjimų institutu (TNO) ir bendrove „Philips“ sukūrė elektrinį zondą, kuris savo konstrukcija ir kitais parametrais yra artimiausias dabartiniams elektriniams zondams (30 pav.). Jo forma ir matmenys buvo pagrindas rengiant tarptautinius standartus (angl. *International Reference Test Procedure* – ISSMFE, 1989).

Elektrinis zondas su porinio vandens slėgio matavimu (pjezozondas) (31 pav.). Pirmas elektrinis zondas su porinio vandens slėgio davikliais, arba pjezozondas, buvo sukurtas Norvegijos geotechnikos institute (NGI). Tyrimų rezultatai, gauti naudojant šios konstrukcijos zondą, N. Janbu,



30 pav. „Fugro“ elektrinis zondas (pagal de Ruiter, 1971): 1 – kūgis (10 cm²), 2 – apkrovos kamera, 3 – įtempimo davikliai, 4 – trinties mova, 5 – koreguojantis žiedas, 6 – vandens nepraleidžianti įvorė, 7 – kabelis, 8 – jungtis su strypais

Fig. 30. The Fugro electrical friction cone (by de Ruiter, 1971): 1 – conical point (10 cm²), 2 – load cell, 3 – strain gauges, 4 – friction sleeve, 5 – adjustment ring, 6 – waterproof bushing, 7 – cable, 8 – connection with rods



31 pav. Wissa pjezozondas (pagal Wissa ir kt., 1975): 1 – apsauginis polietileninis vamzdis, 2 – suvirintas sujungimas, 3 – mova, 4 – slėgio daviklis, 5 – O žiedo plombos, 6 – kvadratinės A strypo sriegės, 7 – elektros laido daviklis, 8 – antveržlės daviklis, 9 – nerūdijančio plieno porinis antgalis

Fig. 31. The Wissa piezometer (by Wissa et al., 1975): 1 – protective polyethylene tubing, 2 – weld, 3 – ferrule, 4 – pressure transducer, 5 – O-ring seals, 6 – square A-rod thread, 7 – transducer electrical cable, 8 – transducer locknut, 9 – stainless steel porous tip

K. Senneseto (1974) bei J. H. Schmertmanno (1974) buvo pristatyti 1974 m. pirmojoje Europos zondavimo metodų konferencijoje (angl. *European Conference on Penetration Testing* – ESOPT-1) Stokholme. Tada pirmą kartą buvo pateikti statinio zondavimo ir porinio vandens slėgio matavimo, naudojant pjezozondą, rezultatai.

Beveik tuo pačiu metu pjezozondai buvo sukurti ir kitų mokslininkų – B. Torstenssono (1975) Švedijoje bei A. E. Z. Wissa ir kolegų (1975) JAV (32 pav.). Šie abu zondai buvo panašios formos. Tokių pjezozondų naudojimas leido, tiriant grunto storymę statinio zondavimo metodu, nustatyti labai plonus, vandeniui laidžius sluoksnius, esančius, pavyzdžiui, molio grunto storymėje.

APIBENDRINIMAS

Grunto tyrimų metodų istorinė apžvalga rodo, kad šių metodų atsiradimą ir įvairovę, jų vystymąsi ir tobulėjimą nulemia savitas įvairių šalių inžinerinės geologijos – geotechnikos, kaip taikomojo mokslo statybos reikmėms, raida, savitos kiekvieno regiono geologinės sąlygos bei asmenybių – inžinerinės geologijos, geotechnikos, grunto ir uolienų mechanikos, statybos inžinerijos tyrinėtojų ir mokslininkų – žinios ir darbai. Kiekvienas iš šių metodų skirtingoje šalyje ar regione yra taikomas nevienodai. Vienose šalyse tam tikri metodai yra populiarūs, kitose jie neprigijo. Tą nulemia ir pamatų projektavimo

tradicijos, ir specialistų – inžinierių geologų, geotechnikų – išsilavinimas, patirtis, finansiniai resursai.

Lietuvoje plačiausiai taikomas statinio zondavimo metodas – dėl savo galimybių, gaunamos informacijos apie grunto savybes jis sudaro apie 80–90 % visų naudojamų lauko tyrimo metodų. Kiti metodai yra naudojami rečiau (dinaminis zondavimas, sparnuotė), kai kurie – tik moksliniams tikslams (dilatometrija), o kai kurie išvis netaikomi (standartinis penetracijos bandymas, presiometrija).

Kaip rodo metodų apžvalga, jų istorinis vystymasis, tobulėjimas ir poreikis gauti kuo įvairesnę ir išsamesnę informaciją apie grunto savybes, lauko tyrimuose naudojami prietaisai tampa vis labiau „elektroniniai“. Viena vertus, gaunama vis detalesnė, tikslesnė, patikimesnė ir visapusiškesnė informacija. Tai ne tik pabrangina tyrimų kainą, tam būtinos ir gilesnės inžinierių geologų žinios ne tik geologinių disciplinų, bet ir kitų tikslųjų mokslų sričių.

Šiuolaikiniai statybos objektai tampa vis sudėtingesni, didėja reikalavimai pamatų projektavimui, o kartu ir atsakomybė grunto tyrimų specialistams. Pasaulinių tyrimų tendencijos rodo, kad vis didesnę reikšmę įgauna metodai, leidžiantys nustatyti grunto savybes ne viename grunto masyvo erdvės taške, o gebantys aprėpti vienu laiko matavimu vis didesnę plotą ir gylį. Tai – geofiziniai antžeminiai ir giluminiai metodai, kurių kompleksinis taikymas su tradiciniais metodais – grunto tyrimų ateitis.

LITERATŪRA

1. Barentsen P. 1936. Short description of a field testing method with cone-shaped sounding apparatus. In: *Proceedings of the First International Conference on Soil Mechanics and Foundations Engineering*. Harvard Printing Office. 6–10.
2. Begemann H. K. S. Ph. 1953. Improved method of determining resistance to adhesion by sounding through a loose sleeve placed behind the cone. In: *Proceedings of the Third International Conference on Soil Mechanics and Foundations Engineering*. Vol. 1. 213–217.
3. Begemann H. K. S. Ph. 1965. The friction jacket cone as an aid in determining the soil profile. In: *Proceedings of the Sixth International Conference on Soil Mechanics and Foundations Engineering*. Vol. 1. 17–20.

4. Begemann H. K. S. Ph. 1969. The Dutch Static Penetration Test with the adhesion jacket cone. *LGM Mededelingen* **12**(4): 69–100.
5. Broms B. B., Flodin N. 1988. **History of soil penetrating testing**. In: *Penetration Testing 1988: Proceedings of the First International Symposium on Penetration Testing / ISOPT-1 / Orlando*. Balkema. Rotterdam. 157–220.
6. Cadling L., Odenstad S. 1950. The vane borer. In: *Proceedings of the Royal Swedish Geotechnical Institute*. No. 2.
7. Cambefort H. 1955. *Forages et sondages. Leur emploi dans les travaux public*. Éditions Eyrolles. Paris. 396 p.
8. Dahlberg G. 1913. Slides and settlements or so-called “Ras” at railway constructions or similar works, their prevention or remedy [In Swedish]. *Teknisk Tidskrift* **43**(12): 129–141.
9. De Ruiter J. 1971. Electric penetrometer for site investigations. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division* **1**: 38–51.
10. Fellenius W. 1911. *Berättelse iifver utfdrandet av fdrsta anlaggnngen af Fiskhamnen vid VadersQgen i Wteborg* (The Fishing Harbour in Gothenburg). Göteborg. 51 p.
11. Fletcher G. F. A. 1965. Standard Penetration Test: Its uses and abuses. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division* **91**: 67–75.
12. Flodin N., Broms B. 1981. In: E. W. Brand, R. P. Brenner (eds.). *Soft Clay Engineering*. Elsevier. Amsterdam, the Netherlands. 449–489.
13. Flodin N. 1981. *Göta Canal. A Historical-Technical Description*. Swedish Geotechnical Institute. Linköping. Sweden [In Sweden].
14. Fontana G. 1420. *War Instruments. Bellicorum Instrumentorum Liber*. The First Italian Technology Manuscript.
15. Gadeikis S., Klizas P., Mokrik R., Jokšas K. 2012. *Geoinžineriniai lauko tyrimo metodai*. Mokomoji knyga CD formatu. Vilniaus universitetas.
16. Gaskell T. F. 1969. Turbo-drilling. *Endeavour* **28**(7): 27–29.
17. Hvorslev M. J. 1949. *Subsurface Exploration and Sampling of Soils for Civil Engineering Purposes: Report on a Research Project of the Committee on Sampling and Testing*. Soil Mechanics and Foundations Division, American Society of Civil Engineers. U. S. Corps of Engineers Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
18. Ivanov V. F. 1962. *Istoriya strojitel'noy tekhniki*. 183 p.
19. Janbu N., Senneset K. 1974. **Effective stress interpretation of in situ static penetration tests**. In: *Proceedings of the European Symposium on Penetration Testing, ESOPT, Stockholm*. 181–93.
20. Jensen M. 1969. *Civil Engineering Around 1700. With Special Reference to Equipment and Methods*. Danish Technical Press. Copenhagen. 207 p.
21. Kerisel J. 1985. The history of geotechnical engineering up until 1700. In: *Proceedings of the 11th International Conference on Soil Mechanics and Foundations Engineering, San Francisco*. Golden Jubilee Volume. 1–121.
22. Kleyn E. G., Maree J. H., Savage P. F. 1982. The application of portable pavement dynamic cone penetrometer to determine *in-situ* bearing properties of road pavement layers and subgrades in South Africa. In: *Proceedings of the Second European Symposium on Penetration*.
23. Kolderup E. 1894. *Site Investigations and Foundations on Land and Under Water for All Kinds of Construction Works* [In Norwegian]. F. H. Aschehoug & Co. Forlag. Christiania (Oslo).
24. Kopylov V. E. 1981. *Buren'ye? Interesno*. Nedra. Moskva. 160 p.
25. Lunne T., Robertson P. K., Powell J. J. M. 1997. *Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice*. Blackie Academic & Professional. London, UK.
26. Luo X., Salgado R., Altschaeffl A. 1998. *Dynamic Cone Penetration Test to Assess the Mechanical Properties of Subgrade Soils*. Final Report FHWA/IN/JTRP-98/13/. Purdue University. West Lafayette, Indiana, USA. 147 p.
27. Marchetti S. 1980. **In situ tests by flat dilatometer**. *Journal of Geotechnical Engineering Division* **106**(3): 299–321.
28. Marchetti S., Monaco P., Totani G., Calabrese M. 2001. *The Flat Dilatometer Test (DMT) in Soil Investigations*. A Report by the ISSMGE Committee TC16. Proceedings of International Conference on In Situ Measurement of Soil Properties, Bali, Indonesia. 41 p.
29. Maury M. F. 1860. *The Physical Geography of the Sea and Its Meteorology*. Harper & Brothers. 474 p.
30. Ménard L. 2007. *Half a Century of History*. http://issuu.com/menard-book/docs/menard__un_demi-si_cle_d_histoire_
31. Mohr H. A. 1943/44. *Exploration of Soil Conditions and Sampling Operations*. Harvard Soil Mechanics Series, No. 21, 3rd edn. Graduate School of Engineering. 63 p.
32. Mohr H. A. 1966. Discussion of Standard Penetration Test: Its uses and abuses. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division* **92**: 196–199.
33. Muhs H. 1949. Arbeiten der Degebo in den Jahren 1938–1948. *Bautechnik-Archiv* **3**: 20–40.
34. Muhs H. 1978. 50 years of deep sounding with static penetrometers. *Mitteilungen* **34**: 45–50.
35. Nachmanson A., Sundberg K. 1936. *Sv. Diamantbergborrnings A 1886–1936*. Almqvist & Wiksell. Uppsala.
36. Nygård B. 1944. *The Great Earthfall. Sappfossen in Poetry and Reality* [In Norwegian]. Tell Forlag. Oslo. 25–32.

37. Plantema G. 1948. Construction and method of operating a new deep sounding apparatus. In: *Proceedings of the Second International Conference on Soil Mechanics and Foundations Engineering, Rotterdam*. Vol. 1. 277–9.
38. Rogers J. D. 2006A. Subsurface exploration using the Standard Penetration Test and the Cone Penetrometer Test. *Environmental & Engineering Geoscience* **12**(2): 161–179.
39. Rogers J. D. 2006B. Gow, Mohr, Terzaghi and the Origins of the Standard Penetration Test. University of Missouri for the Annual Meeting Association of Environmental and Engineering Geologists. Boston, Massachusetts.
40. Samuelsson G. 1926. Earth strengthening work at the construction of the railway line Jarna-Enstaberga. Use of a systematic method to strengthen poor subsoil below railway embankments. *Teknisk Tidskrift* **56**(4): 37–42 and **5**: 54–57 [In Sweden].
41. Sanglerat G. 1972. *The Penetrometer and Soil Exploration*. Elsevier. Amsterdam. 464 p.
42. Scala A. J. 1985. Simple methods of flexible pavement design using cone penetrometers. In: A. C. T. Barton (ed.). *Golden Jubilee of the International Society for Soil Mechanics and Foundation Engineering: Commemorative Volume*. Institution of Engineers. Australia. 1–12.
43. Schmertmann J. H. 1983. Past, present and future of the DMT. In: *Proceedings of the First International Conference on the Flat Dilatometer*. Mobile Augers and Research Ltd. Edmonton, Canada.
44. Schmertmann J. H. 1974. Penetration pore pressure effects on quasi-static cone bearing, q_c . In: *Proceedings of the European Symposium on Penetration Testing, Stockholm*. 345–51.
45. Senneset K. 1974. Penetration testing in Norway. State-of-art report. In: *Proceedings of the First European Symposium on Penetration Testing, Stockholm*. Vol. 1. 85–95.
46. Strukel M. 1895. *Der Grundbau, dargestellt auf Grundlage einer systematisch geordneten Sammlung zahlreicher, anschaulicher Beispiele aus der Praxis*. Nach dem Vorträgen gehalten am polytechnischer Institut in Helsingfors. Verlag von Wenzel Hagelstam. Helsinki and Leipzig (2nd rev. ed. 1906).
47. Svensson M. 1899. Recording soft soils on profiles of investigations [In Swedish]. *Teknisk tidskrift. Afdelningen för byggnadskonst* **29**(3): 55–56.
48. Tecklenburg T. C. 1886/1896. *Handbuch der Tiefbohrkunde*. D 1–6. Baumgärtners Buchhandlung. Leipzig.
49. Telford T. 1830. Inland Navigation. In: *Edinburg Encyclopaedia*. Vol. 15. 209–315.
50. Terzaghi K., Peck R. B. 1948. *Soil Mechanics in Engineering Practice*. 1st Edition. John Wiley. New York.
51. Terzaghi K. 1953. Fifty years of soil exploration. In: *Proceedings of the Third International Conference on Soil Mechanics and Foundations Engineering, Zurich*. Vol. 3. Organizing Committee ICOSOMEF. 227–237.
52. Tomlinson M. J. 1956. Telford and soil mechanics. *Geotechnique* **6**: 99–105.
53. Torstensson B. A. 1975. Pore pressure sounding instrument. In: *Proceedings of the ASCE Specialty Conference on In Situ Measurement of Soil Properties, Raleigh, North Carolina*. Vol. 2. American Society of Engineers (ASCE). 48–54.
54. Vermeiden J. 1948. Improved sounding apparatus as developed in Holland since 1936. In: *Proceedings of the Second International Conference on Soil Mechanics and Foundations Engineering*. Vol. 1. Rotterdam. 280–287.
55. Vlasblom A. 1985. *The Electrical Penetrometer: A Historical Account of Its Development*. Delft Soil Mechanics Laboratory. 51 p.
56. Wendel E. 1900. On the test loading of piles and its application to foundation problems in Gothenburg [in Swedish]. *Tekniska samfundets handlingar* **7**: 3–62.
57. Wissa A. E. Z., Martin R. T., Garlanger J. E. 1975. The piezometer probe. In: *Proceedings of the ASCE Specialty Conference on In Situ Measurement of Soil Properties*. Vol. 1. American Society of Engineers (ASCE). 536–45.
58. http://en.wikipedia.org/wiki/Sandford_Fleming
59. http://en.wikipedia.org/wiki/Thomas_Telford
60. <http://lt.wikipedia.org/wiki/Vitruvius>
61. <http://matthias-drummer.antiquariatsportal.de/72129,Handbuch-der-Tiefbohrkunde..html>
62. <http://www.pagani-geotechnical.com/>
63. <http://www.sandfordfleming.ca/en/index.html>
64. http://issuu.com/menard-book/docs/menard_un_demi-si_cle_d_histoire

Saulius Gadeikis

GEOTECHNICAL FIELD INVESTIGATIONS – ORIGIN AND EVOLUTION

Summary

Engineering geology (geotechnical) investigations are complicated work, which depends on the natural site conditions and type of the designed structure. As from the beginning of the twentieth century, *field investigations* of soils have been gaining increasingly greater value in the range of work of engineering geology condition investigation, thus allowing investigations of soils to be performed directly in the place of their occurrence, preserving their natural state and saving time. Field vane test (FVT), Swedish weight sounding test (SWT), dynamic probing (DP), cone penetration test (CPT), pressuremeter test (PMT), dilatometer test (DMT), and other soil testing methods are the main field methods used in modern engineering geology investigations. These methods were fully developed in the last hundred years, but their creation, evolution, and development provide a lot of interesting information about the historical development of civil engineering, without which it is impossible to know the achievements of current civil geology.

Ancient agricultural development and construction of irrigation systems were forcing our ancestors to familiarize with complicated soil “engineering” environment and behaviour. Knowledge of soils and rocks and their behaviour became a practical necessity, without which the development of civilization became impossible. Local weather conditions, under which the ancient man lived, were forcing him to strengthen his residential building foundation, choose appropriate materials for this purpose, and improve the design of the structure foundation. In various parts of the world, depending on environmental conditions, very similar foundation installation techniques were formed. The first information about the soil “field investigation” came from the ancient China about 2000 years ago. The first drillings for salt, water, and mineral exploration could be also called field investigations. Monumental buildings of ancient Egypt, India, Persia, Greece, and Rome show that-time mankind ability to carry out foundation construction work and the relevant knowledge of the soil and rock, which were holding the load of structure foundations. More extensive knowledge of ancient building construction came from the ancient Roman writer, architect and engineer Vitruvius (*De Architecture*). From the fifteenth century, there appeared written sources intended for “soil investigation” in

Europe. Various illustrations of such authors as the German Conrad Keyser aus Eichstatt, Italian Giovanni Fontana (in the Journal “*Bellicorum Instrumentorum Liber*”), Leonard da Vinci (in various publications), and French Bernard Palissy (in the book “*Discours admirable de la nature des eaux et fontaines*”) testify about that-time developments.

At the end of the seventeenth century, there appeared devices for measuring soil resistance. They were invented by the German Nicolaus Goldmann. In 1714, soil investigation instruments were mentioned by the German physicist J. E. Lehmann and in 1724 by J. Leupold.

In 1860, the USA marine scientist M. F. Maury mentions in his book that the honour of the first attempts to raise soil samples from the seabed belongs to the Russian Tsar Peter I, who built a special soil dredging device to take soil from the bottom of the Caspian Sea. The other well-known eighteenth century engineers mentioning soil investigation in their works were the bridge builder French H. Gauthier (1660–1737) and Swiss Ch. Labelye (1705–1781), who described the river-bottom soil investigation of the London Westminster Bridge. In Ch. Labelye’s work comments, it is possible to come across some parts of the description of the weight sounding test method – SWT, although the method itself was developed nearly 200 years later. The French engineer B. F. de Belidor (1697–1761) studied the soil bearing capacity applying pole testing. It is believed that his research could be classified as soil probe testing. The drawings, presented by D. Diderot (1713–1784) in his work “*Encyclopedia*”, show the soil research instruments used in the eighteenth century in Central Europe. In 1804, the Scot Thomas Telford (1757–1834) designing the Caledonian Canal noted that the soil consisted of weak sludge, into which “steel rods” up to 55 feet (about 18 meters) deep could be pushed. For some period, he was also the Swedish Göta Canal construction consultant. During the canal soil investigations, 347 tests up to 4.7 m deep were carried out.

In the middle of the nineteenth century in Germany as well as Scandinavian countries, several books appeared which contained sections relating to soils, rocks, and foundation engineering. This significant 6-volume work intended for rock and soil drilling equipment was published in 1886/1896 by Theodor Saladin Tecklenburg (1839–1908). He was the first to describe in detail sounding rods (“sondiereisen” or “visitireisen”) and the investigation method itself as a way to identify and evaluate soil and rock properties. The Guide of the Helsinki Polytechnic University Professor

M. Strukel (1895) was richly illustrated with images, which showed in detail the diversity of that-time soil investigation and drilling equipment. In Canada, Sir Sandford Fleming performing Miramachi railway bridge construction in New Brunswick in 1871–1875 noted that earlier performed soil tests were of poor quality and proposed a new soil testing method, in time of which steel rods are pressed into the soil and pressing force is measured simultaneously. Perhaps, it was one of the first static probing attempts. According to the test results, soil bearing capacity of different layers was calculated and the bridge supporting foundation project was adjusted accordingly.

At the end of the nineteenth century and beginning of the twentieth century, intense construction work in complicated geological conditions in Sweden and Norway forced engineers to pay considerable attention to the soil investigation. At the same time, several severe landslides claiming the lives of many people as well as high thickness of weak clay soils and peat forced to investigate the geological environment in much more detail than usual. The well-known railway engineers such as the Swedes M. Svensson (1899), E. Wendel (1900), W. Fellenius (1911), G. Dahlberg (1913), and G. Samuelsson (1926) not only participated in the investigation of the soils, but were also developing devices and equipment as well as creating methodology of assessment of soil strength property, which later became well-known to us as the **Swedish Weight Sounding Test** – SWT.

The Field Vane Test (FVT) was also created and for the first time applied in practice in Sweden. In 1919, the civil engineer John Olsson constructed and used a device to analyse the clay soils of Lidingö Bridge foundations in Stockholm. Until the fourth decade of the twentieth century, the device and used methodology were being improved.

In the nineteenth century in the United States and Canada, for a long time drilling using washing liquid was one of the main drilling methods. In 1902, the U. S. Colonel Charles R. Gow (1872–1949) became the so-called pioneer of the “dry-soil taking” method. It was SPT – the **Standard Penetration Test** – the beginning of the standard penetration probing method.

In the second and third decades of the twentieth century in the USA, soil testing by SPT method was used in many soil dredgers of different size and design as well as different weight hammers. This method, which was modern at that time, allowed to separate and describe more precisely the soils, although different parameters of the used devices did

not allow to generalize and use the accumulated experience of soil properties for assessment as well as correlation with the calculated number of strokes (resistance to penetration). The professor K. Terzaghi and professor A. Cazagrande put a lot of effort in order to establish a standardized test procedure and standardized test equipment.

In 1954, the French engineer Louis Ménard, who came to the University of Illinois (USA) for internship, created a device that could measure soil deformation properties in the borehole. In 1955, L. Ménard patented his device and called it the pressuremeter. L. Ménard is considered to be the pioneer of the **Pressuremeter Test** (PMT) as well as the “father” of the device and method for soil investigation by the pressuremeter method. He also did a lot for perfecting the design standards applied to the process, which eventually became the international standard.

The **Dilatometer Test** (DMT) creation is a result of the professor S. Marchetti’s steel pile tests for horizontal loads. In 1980, the professor S. Marchetti published his article (In-situ test by flat dilatometer), in which he described in detail the design of the device, test procedures, and the resulting correlation dependencies.

In engineering geologic investigations, **Dynamic Probing** (DP) is understood as a cone penetrating the soil under dynamic force. The earliest records of the dynamic probe appeared in the seventeenth century in Germany. The probe pioneer N. Goldmann used a “hammered probe” to investigate the soil. In 1936 in Germany, E. Künzel introduced a “Prüfstab” device for soil investigations in-situ. In 1964, this device was standardized according to the German standard DIN 4094 and named a “light probe”. In 1956 in Australia, A. J. Scala used a light type of a dynamic self-made probe. In the former Soviet Union, a manual dynamic probe was used by I. A. Fizdelio during 1947–1948 to determine the density of the artificially compacted sandy soil. In the sixties of the twentieth century, carrying out the engineering geologic investigations for the construction of hydropower plants on the rivers Volga and Don, V. A. Durante used a dynamic probe of own design.

Cone Penetration Test (CPT). This rod probing through a weak soil to detect a stronger layer has been applied since about 1917. The static probing method itself was created around in Holland in 1930. The first attempt to probe with a static mechanical probe was carried out by the civil engineer P. Barentsen in 1930. The investigations were conducted to determine bearing capacity of a 4 m thick layer of washed

soil. Later, the Delft Laboratory of Soil Mechanics Director T. K. Huizinga together with “Goudsche Machinefabriek of Gouda” specialists designed and manufactured the first manual 25 kN static probing unit, the first testing of which was carried out in 1936. One of the most important phases in the static probing method development was the probe improvement proposed by H. K. S. Begemann in 1953. He added an additional coupling to the probe structure, which allowed during the static probe testing measuring not only conical resistance but also the soil-caused friction. Such a probe with a friction coupling was patented in 1953 and is still known as a Begemann probe. The electric probe prototype was created in Germany, in Berlin, by Hoffmann around 1940. The probe was tested around 1944. The first modern electric probe was created and patented by the engineer Bakker in Holland in 1948. In 1957, the Delft Laboratory of Soil Mechanics created the first electric probe, in which side friction was measured separately from the cone strength. In 1965, the Dutch company Fugro in conjunction with the Dutch National Research Institute (TNO) and the company Philips created an electric probe, which in design and other parameters is the closest to the current electrical probes. The first electric probe with paired water pressure sensors or a piezo probe was created at the Norwegian Geotechnical Institute (NGI). In 1974, the research results were presented at the First European Conference on Penetration Testing (ESOPT-1) in Stockholm by N. Janbu and K. Senneset (1974) and J. H. Schmertmann (1974). Almost at the same time, piezo-probes were created by other scientists – B. Torstensson (1975) in Sweden and A. E. Z. Wissa and colleagues (1975) in the USA.

The emergence and variety of field investigation methods of soil properties in different countries were inspired

by unique evolution of engineering geology (geotechnics), different geological conditions in each region of the world, and personalities – knowledge and work of researchers and scientists in engineering geology, geotechnical, soil and rock mechanics, as well as civil engineering. The most advanced in this field are the countries, where the development of civilization and progress has allowed the construction of complex engineering structures, the countries, the natural environment of which was complicated and required experience and knowledge to be able to reliably construct a variety of engineering objects as well as safely operate and maintain them. Dealing with the sea, dams and dykes, as well as urban growth in river deltas forced the Dutch to become one of the pioneers of engineering geology field investigation methods. They were the first to investigate the soils applying the static loads (CPT). Facing the weak soil problems, the Swedes and Italians invented the techniques that are currently recognized worldwide and are widely used: the vane (FVT) and weight sounding tests (SWT) and Italian S. Marchetti's dilatometer (DMT). Mass construction of large objects in the USA and the Soviet Union led to such field methods as creation and development of the standard penetration test (SPT). France is famous for the Menard's pressure metre (PMT) and Germany has developed the dynamic probing (DP). Complex work in marine research (oil and gas platform construction) allowed to refine the structure probing (T. Lunne – Norway, P. K. Robertson, J. J. M. Powell – USA, Canada).

Key words: geotechnical investigations of soils, Swedish sounding test (SWT), field vane test (FVT), flat dilatometer test (DMT), pressuremeter test (PMT), dynamic probing (DP) and cone penetration test (CPT), standard penetration test (SPT)