



Vilniaus Universitetas

Chemijos ir Geomokslų institutas

Hidrogeologijos ir Inžinerinės geologijos katedra

**TERITORIJOS AUKŠTAKALNIO G. 16, UTENOJE INŽINERINĖS
GEOLOGINĖS SĄLYGOS IR ŠLAITO STABILUMO VERTINIMAS**

Magistro baigiamasis darbas

Povilas Jonytis

Darbo vadovas:

dr. doc. Saulius Gadeikis

Vilnius, 2021

Turinys

Įvadas.....	2
1. Tiriamos teritorijos statybos istorija ir geologinės problemos.....	3
1.1 <i>Teritorijos statybos istorija</i>	3
1.2 <i>Teritorijos geologinės problemos</i>	5
1.3 <i>Teritorijoje esančių pastatų deformacijos</i>	5
2. Teritorijos inžinerinės geologinės sąlygos.....	8
2.1 <i>Geomorfologija</i>	8
2.2 <i>Geologinės sąlygos</i>	9
2.3 <i>Hidrogeologinės sąlygos</i>	9
2.4 <i>Gruntų savybės</i>	9
3. Tyrimų teritorijoje atlikti tyrinėjimai ir bandymai, jų aprašymas.....	12
3.1 <i>Tyrimų apžvalga</i>	12
3.2 <i>Lauko bandymai</i>	13
3.3 <i>Laboratoriniai bandymai</i>	20
4. Lauko ir laboratorinių tyrimų rezultatai.....	21
4.1 <i>Dilatometrinių bandymų rezultatai</i>	21
4.2 <i>Statinio zondavimo ir pjezozondo bandymų rezultatai</i>	29
4.3 <i>Laboratorinių tyrimų rezultatai</i>	44
5. Šlaito stabilumo įvertinimas.....	45
5.1 <i>Šlaito stabilumo modelis</i>	45
6. Išvados.....	53
Literatūra.....	54
Santrauka.....	56
Summary.....	57

Įvadas

Tyrinėjama teritorija yra Šiaurės rytų Lietuvoje, Utenos mieste, šiaurinėje jo dalyje. Teritorijoje yra nestabilus šlaitas, ant jo stovi daugiabutis gyvenamasis namas. Problemos su šlaito stabilumu ir statinių deformacijomis prasidėjo 1990 metais.

Tyrimų objektas – teritorija esanti šiaurės rytų Lietuvoje, Utenos mieste, Aukštakalnio g. 16, šiaurinėje miesto dalyje.

Darbo tikslas: įvertinti teritorijos inžinerines geologines sąlygas, atlikti gautų duomenų analizę ir įvertinti šlaito stabilumą.

Uždaviniai:

1. Pateikti teritorijos statybos istorijos, geologinių problemų ir gamtinių sąlygų apžvalgą.
2. Atlikti šlaito gruntų inžinerinius geologinius lauko ir laboratorinius tyrimus, ir įvertinti gautus parametrus.
3. Panaudojant gautus šlaito gruntų rodiklius: savitąjį sunkį, sankibą ir vidinės trinties kampą, sukurti šlaito skaitmeninį modelį.
4. Išanalizavus šlaito skaitmeninį modelį, įvertinti šlaito stabilumą.

Už pagalbą ruošiant magistrinį darbą noriu padėkoti savo darbo vadovui dr. doc. S. Gadeikui, prof. K. Dunduliui ir UAB „Geotestus“ už visokeriopą pagalbą.

1. Tyrimų teritorijos istorija ir geologinės problemos

1.1 Tyrimų teritorijos ir šlaito istorija

Šios teritorijos urbanizacijos istorija prasidėjo prieš trisdešimt metų, t. y. 1990 m., kai buvo pradėti statyti daugiabučiai gyvenamieji pastatai (1.1 pav.). Iki tol tai buvo Utenos miesto teritorija, nepaveikta technogeninės žmogaus veiklos. Vos tik pastačius gyvenamuosius namus, juose iškart prasidėjo geotechninės problemos: pradėjo vykti nevienodi pastatų nuosėdžiai, pamatų ir pagrindų deformacijos.



1.1 pav. Daugiabučiai pastatai tiriamoje teritorijoje pradėti statyti 1990 m. (www.maps.lt)

1989 ir 1990 metais prieš vykdant statybas teritorijoje buvo atlikti inžineriniai geologiniai ir hidrogeologiniai tyrimai, tačiau jų archyvinės medžiagos neišliko.

Norint nustatyti priežastis, kodėl įvyko nevienodi pastato nuosėdžiai, 1992 metais buvo atliktos kelios geotechninės ekspertizės. Taip pat buvo pasiūlytos priemonės pagerinti šlaito ir pastato būklę. Vieną ekspertizę 1992 metais vykdė ir savo išvadas pateikė - Vilniaus Universiteto profesorius K. Dundulis. Kitą pamatinių konstrukcijų specialistas L. Furmanavičius.

Buvo nustatyta, kad pastato konstrukcijų defektų priežastys yra projektavimo ir statybos klaidos. Kai šlaite buvo netinkamai parinkta pastato vieta ir pamatų konstrukcijos pakeitimas jau statybos metu. Taip pat klaidingai įvertintos aplinkos inžinerinės geologinės sąlygos.

Tais pačiais metais buvo imtasi priemonių siekiant sustabdyti pastato nuosėdžius ir stabilizuoti šlaitą. Buvo sustiprinti pamatai, šiaurinė siena sujungta templėmis su kitomis tos sekcijos sienomis (kad nenuvirstų), padaryti šlaito tvirtinimo ir performavimo darbai, įrengta horizontali drena bespūdžio vandens horizonto drenavimui iš šlaite esančio fluvioglacialinio smėlinio vandeningo sluoksnio į šlaito papėdėje esantį upelį (Furmanavičius, 1992). Šios priemonės padėjo stabilizuoti šlaitą ir sustabdyti pastato nuosėdžius.

Laikotarpiu nuo 1992 metų iki 2008 metų, nėra išlikusių jokių archyvinių duomenų apie teritorijos šlaito ir pastatų būklę bei stebėjimus. Iš to galima spręsti, kad priemonės, atliktos šlaito ir pastato stabilumui užtikrinti, veikė.

2008 - 2009 metais buvo atlikta pastato rekonstrukcija vykdant programą: „Modernizacija pagal pastatų energijos taupymo reikalavimus“, tada pastato konstrukcijų deformacijos nenustatytos.

Nuo 2008 metų iki 2017 metų, taip pat nėra išlikusių archyvinių duomenų apie pastato ir šlaito stebėjimus ar jų būklę.

2017 metais (o gal ir anksčiau) renovuotame pastate pastebėti įtrūkimai. Tada buvo prisiminta apie teritorijoje esantį šulinį, kuris drenavo vandeningą smėlio sluoksnį. Jame buvo surasta apie 3 metrai vandens, kuris buvo pakilęs nuo esamo šulinio dugno, šulinys turbūt buvo užsikimšęs. Tikėtina, kad tai paskatino naujus nuosėdžius, prie to prisidėjo ir didelis 2017 metų kritulių kiekis. Bet atnaujinus ir išvalius šulinį, nuosėdžiai nesiliovė. 2018 metais buvo užsakytos kelios geotechninės ekspertizės privačioms įmonėms. Jose buvo pateikta gana panaši informacija apie statinio avarijos priežastis, kaip ir 1992 metų ekspertizėse. Jų išvadose buvo nurodyta atlikti detalius inžinerinius geologinius ir hidrogeologinius tyrimus.

2019 metais buvo parengta inžinerinių geologinių tyrimų programa. Tyrimai buvo įvykdyti ant teritorijos šlaito, prie šiaurinės pastato sienos, kurioje vyksta didžiausi pastato nuosėdžiai.

Buvo pateikta tyrimų ataskaita ir dabar yra rengiamas pastato pamatų ir pagrindų bei šlaito tvirtinimo projektas.

1.2 Šlaito geologinės problemos

Šlaito geologinės problemos prasidėjo žmogui įsikišus į natūralią gamtos sistemą. Iki tol ši teritorija buvo stabili ir nekėlė jokių problemų.

Teritorijos šlaitą sudaro: technogeninis gruntas, glacialinės nuogulos ir fluvio-glacialinės nuogulos. Statybos metu sklypas buvo performuotas – ant šlaito viršaus buvo užpiltas gruntas. Jis padidino piltino grunto storį teritorijoje, susilpnino patį šlaitą ir padidino jo statumą. Taip pat atliekant šlaito tvirtinimo darbus 1992 metais, šlaitas vėl buvo performuotas užpilant jį vandeniui nelaidžiu moliniu gruntu (Dundulis, 1992).

Teritorijoje yra smėlinio grunto sluoksnis, jis yra 1,2 – 1,9 metrų storio (užfiksuotas 2019 metais) jis yra vandeningas. Gruntinis vandens lygis užfiksuotas 2019 metais, šiame smėlio sluoksnyje buvo: 7,0 – 7,5 metrų gylyje nuo esamo žemės paviršiaus. 1989 – 1990 metais vykdytuose tyrimuose užfiksuotas vandens lygis teritorijoje buvo: 5,4 – 6,7 m (Dundulis, 1992). Tokį skirtumą galėjo lemti skirtingas technogeninio grunto storis paviršiuje.

Šis vandeningo smėlio sluoksnis galėjo prisotinti virš jo esančiais glacialines nuogulas ir technogeninį gruntą, taip juos susilpnindamas ir galimai sukurdamas potencialią slydimo plokštumą.

Ši problema buvo išspręsta po dviejų metų nuo statybos darbų, įrengus šulinį į vandeningą smėlio sluoksnį ir iš jo nuvedus horizontalią dreną į šlaito papėdėje esantį upelį.

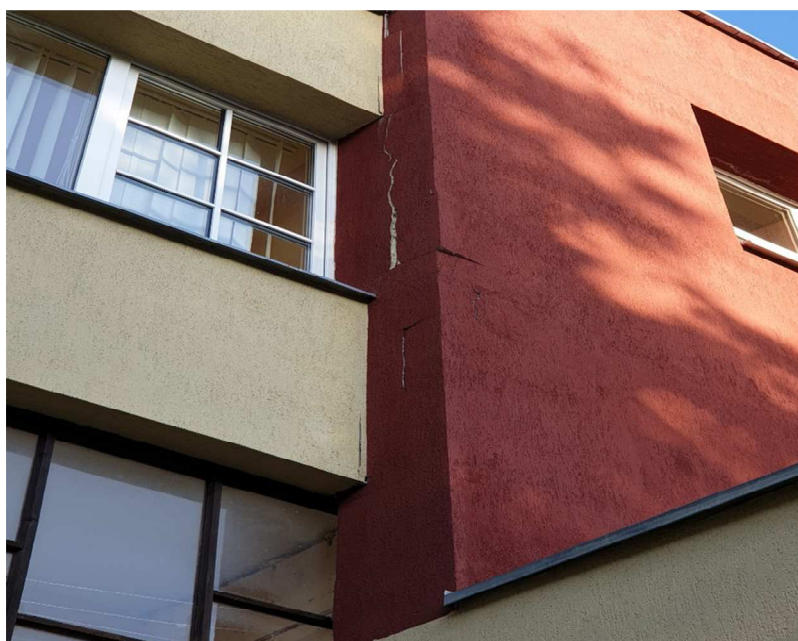
Didžiausia tikimybė, kad pagrindinis geologinis veiksnys lėmęs šlaito nestabilumą, pastato nuosėdžius ir deformacijas yra gruntinis vanduo. Didžiojoje dalyje šlaito slinkimo ar nestabilumo atvejų tiek Lietuvoje, tiek pasaulyje pagrindinis veiksnys būna vandens poveikis ir silpnas technogeninis gruntas.

1.3 Teritorijoje esančių pastatų deformacijos

Pirmosios pastato deformacijos buvo užfiksuotos 1990 m. vasario 4 d. Tuometinių VTU geotechnikos laboratorijos darbuotojai išmatavo santykinės arčiausiai šlaito stovinčio namo sekcijos deformacijas ir nustatė, kad prie šlaito esanti siena yra nusėdusi 160 – 190 mm laiptinės pietinės sienos atžvilgiu (Furmanavičius, 1992). Tokia deformacija pastatą padalino į dvi dalis, ties laiptine. Pastato

laiptinė tapo skėtos zona, kur vyko didžiausios pastato deformacijos. Panašios deformacijos vyksta ir dabar, t. y. 2020 metais (1.2 pav.).

Didžiausios deformacijos buvo trečiajame pastato aukšte, cokoliniame aukšte jos buvo mažiausios. Didžiausi pastato įtrūkimai fiksuoti jo viduje, ypač laiptinėje. Einat toliau nuo šlaito, link piečiau stovinčių daugiabučių kompleksų pastatų deformacijos yra nežymios.



1.2 pav. Riba skirianti šiaurinį daugiabučio pastatą (kur vyksta didžiausios deformacijos) nuo piečiau esančių daugiabučių pastatų komplekso, 2019 m. 09 mėn. (autorius nuotr.).

Šios pastato avarijos buvo išspręstos 1992 metais, atlikus šlaito ir pamatų stiprinimo darbus, sujungus šiaurinę sieną templėmis su kitomis tos sekcijos sienomis, jos pamatai buvo paremti specialia gelžbetonine sija atremta į gręžtinius polių. Rūsyje perdangoms atremti buvo išmūryta siena, lygiagreti slenkančiai pamatų sienai. Taip pat įrengtas šulinys ir vertikali drena, gruntiniam vandeniui filtruoti į šlaito papėdę ir pažeminti gruntinio vandens lygį (Furmonavičius, 1992).

Pastato ir šlaito būklė buvo stabilizuota iki 2017 metų. Tada pastato deformacijos buvo netgi didesnės, negu buvo pirmą kartą (vietomis nuosėdis siekė iki 200 mm) (1.3 – 1.4 pav.). Jos atsirado labai panašiose vietose, kaip ir prieš tai buvusios. Tai labai puikiai išryškėjo, nes 2008 metais, šis pastatas buvo renovuotas.

Šios naujos pastato deformacijos paskatino vėl imtis veiksmų, buvo atlikta pastato ekspertizė, atlikti išsamūs inžineriniai geologiniai tyrimai ir dabar yra rengiamas pastato pamatų ir pagrindų bei šlaito tvirtinimo projektas.



1.3 pav. Pastato deformacijos laiptinėje 2019 metai, 09 mėn. (autoriaus nuotr.)

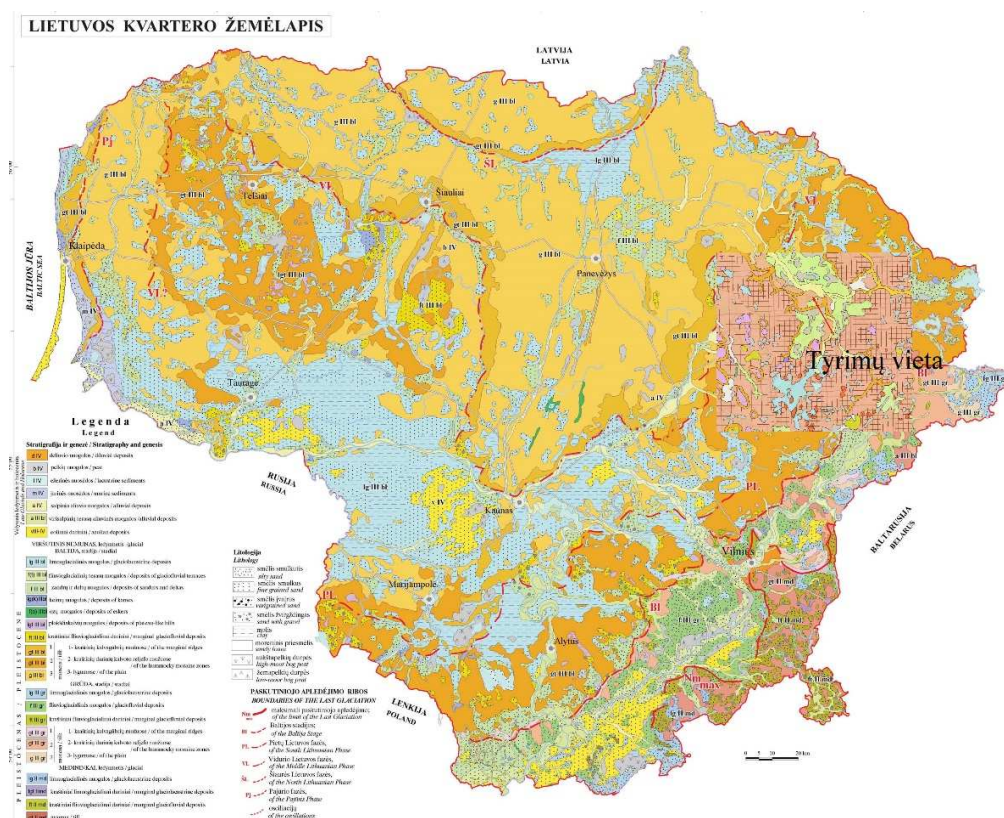


1.4 pav. Pastato deformacijos laiptinėje 2019 metai, 09 mėn. (autoriaus nuotr.)

2. Teritorijos gamtinių sąlygų apžvalga

2.1 Geomorfologija

Geomorfologiniu požiūriu teritorija yra Utenos erozinio duburio mikrorajone, Vakarų Aukštaičių plynaukštės rajone, paskutinio apledėjimo moreninių aukštumų srityje (www.lgt.lt) (2.1 pav.). Teritorija yra Šiaurės rytų Lietuvos dalyje, Utenos miesto šiaurinėje dalyje, Aukštakalno mikrorajone. Baltijos aukštumų rajone. Teritorijos reljefas gana lygus (~ 114,0 m. abs. a.), iki šlaito esančio vietovės šiaurinėje dalyje. Šlaito papėdėje reljefo aukštis yra apie 100,0 m. abs. a. Šlaitas yra status iki 30 laipsnių, aukštis apie 15 metrų. Teritorija užstatyto laipsnis apie 50 procentų, ji yra menkai apodinta išskyrus šlaitą ir jo papėdę, kur yra brandūs spygliuočiai ir lapuočiai medžiai ir krūmynai. Teritorijos šlaito papėdėje teka nedidelis Vyžuonos upelis.



2.1 pav. Tyrimų vieta Lietuvos kvartero žemėlapyje (www.lgt.lt)

2.2 Geologinės sąlygos

Tiriamoje teritorijoje slūgso holoceno amžiaus nuogulos (tIV), viršutinio pleistoceno viršutinio Nemuno ledynmečio Baltijos stadijos, ledyno pakraščio ruožo glacialinės nuogulos (gIIIbl) ir viršutinio pleistoceno viršutinio Nemuno ledynmečio Baltijos stadijos prieledyninės fliuvioglacialinės nuogulos (fIIIbl). Holoceno amžiaus nuogulas sudaro technogeninis gruntas. Baltijos stadijos glacialines nuogulas (gIIIbl) sudaro smėlingas dulkingas molis (moreninis) ir Baltijos stadijos fliuvioglacialines nuogulas (fIIIbl) sudaro smėlingas žvyras. Tyrimų metu, pagal grunto stiprumą glacialinės nuogulos buvo suskaidytos į keturis inžinerinius geologinius sluoksnius (IGS), fliuvioglacialinės nuogulos buvo suskaidytos į vieną inžinerinį geologinį sluoksnį. Pagal šį suskaidymą, buvo sudaryti inžineriniai geologiniai pjūviai (pav. 2.2).

2.3 Hidrogeologinės sąlygos

Vidutinė metinė oro temperatūra Utenos mieste yra apie 6,5 °C, kritulių kiekis apie 750 mm/metus, metinis vėjo greitis apie 3,0 m/s, saulės spindėjimo trukmė 1750 h. (www.meteo.lt).

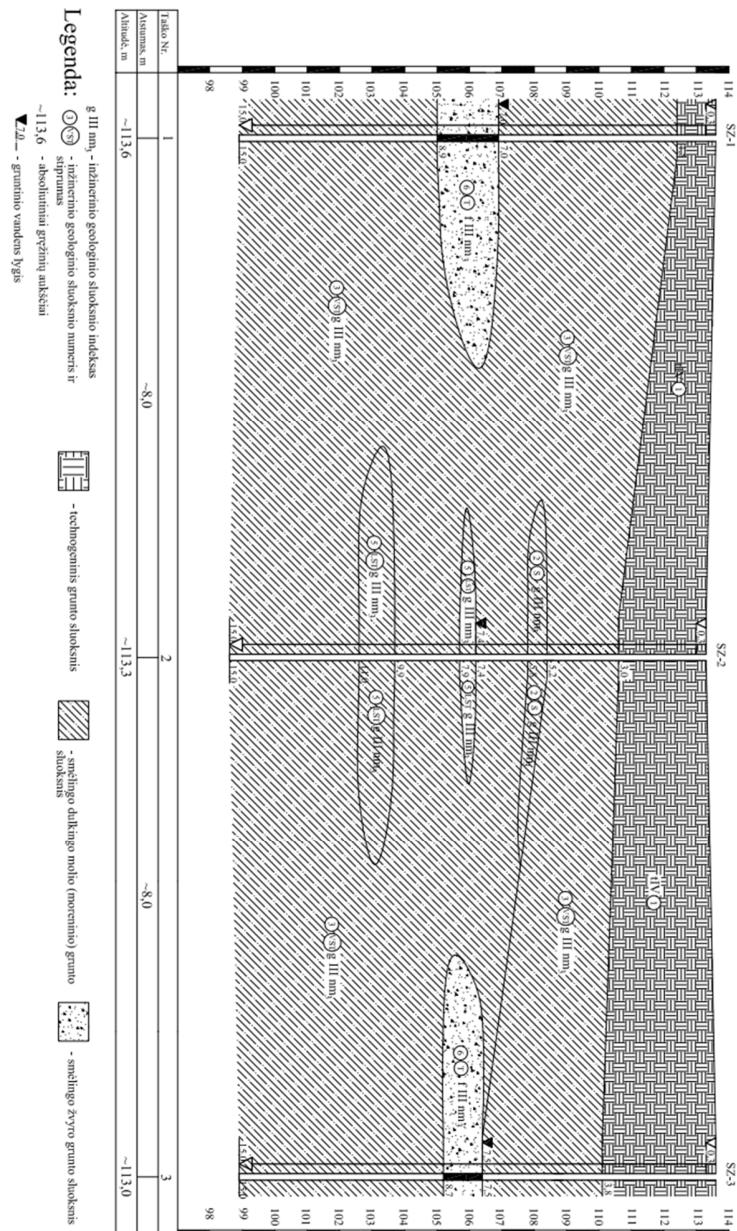
Gruntinis (bespūdinis) vanduo buvo aptiktas Nemuno ledynmečio, Baltijos stadijos fliuvioglacialinėse ir glacialinėse nuogulose: 4,0–7,5 gylyje nuo esamo žemės paviršiaus. Jis talpinasi smėlingo žvyro sluoksnyje ir moreniniame grunte, esančiuose smėlio lęšiuose. Šis vanduo paplitęs visoje tiriamoje teritorijoje. Vandeningąjį sluoksnį maitina kritulių vanduo. Gruntinis vanduo filtruojasi reljefo pažemėjimų kryptimis ir išsikrauna į šlaito apačioje esantį upelį. Bendra iškrovos sritis yra į rytus link ten esančio Utenos tvenkinio.

Tiriama teritorija priklauso šventosios – upninkų (D3šv – D2up) vandeningajam kompleksui, jis yra paplitęs visame regione, išskyrus paleoįrėžius, kur sukloti kvartero dariniai. Komplexas sudarytas iš gana kaičios ir sudėtingos storumės, kur persiluoksniuoja smėlis, smiltainis, molis, molingas aleuritas. Šis vandeningas kompleksas yra pagrindinis vandens šaltinis didesniems regiono miestams.

2.4 Gruntų savybės

Viršutinio Nemuno ledynmečio Baltijos svitos ledyno pakraščio ruožo glacialinėmis (gIIIbl) nuogulos išplitusios visame tyrimo plote. Jų storis kinta nuo 9,0 m iki 13,5 m. Nuogulas sudaro dažniausiai rudos ir pilkos spalvos moreninis smėlingas dulkingas molis su 3 – 7 % žvirgždo ir

gargždo priemaiša. Pagal laboratorinių tyrimų duomenis moreninis smėlingas dulkingas molis yra standžios konsistencijos, jo gamtinis tankis kinta nuo 2,14 iki 2,22 Mg/m³, gamtinis drėgnis kinta nuo 0,129 iki 0,167 vnt. d., soties vandeniu laipsnis kinta nuo 0,91 iki 0,96 vnt. d., kas rodo, kad jis yra artimas pilnam jo įsotinimui vandeniu. Tyrimų vietose vyrauja vidutinio stiprumo ir stiprus moreninis smėlingas dulkingas molis.



2.2 pav. Tiriamos teritorijos inžinerinis geologinis pjūvis (Geotestus, 2019)

Šiame moreniniame grunte yra įsiterpusios viršutinio Nemuno ledynmečio Baltijos svitos prieledyninės fliuvioglacialinės (fIIIb1) nuogulos. Jos buvo aptiktos trijose tyrimų vietose – 7,0 – 8,9 m gylio intervale. Šias nuogulas sudaro gelsvai pilkas smėlingas žvyras su 3 % dulquio ir molio priemaiša. Pagal laboratorinių tyrimų duomenis smėlingo žvyro gamtinis tankis yra $1,8 \text{ Mg/m}^3$, gamtinis drėgnis yra 0,109 vnt. d. Šios nuogulos yra vandeningos.

Lentelėje Nr. 6 yra pateikti visi laboratorinių tyrimų metu nustatyti grunto parametrai.

Taip pat tyrimų teritorijoje slūgso holoceno amžiaus technogeninis (tIV) gruntas, jo storis kinta nuo 1,5 m iki 6,2 m. Šį gruntą sudaro smėlingas dulkingas molis su smėliu ir organika, smėlis su organika, smėlingas dulkingas molis su organika ir statybinėmis atliekomis, smėlis su juodžemiu ir smėlingu dulkingu moliu, smėlingas dulkingas molis su juodžemiu ir smėliu, statybinėmis atliekomis, durpe, medžio priemaiša. Šis gruntas yra nevienalytis ir dažniausiai silpnas arba labai silpnas.

3. Tyrimų aikštelėje atlikti tyrinėjimai ir bandymai, jų aprašymas

3.1 Tyrimų apžvalga

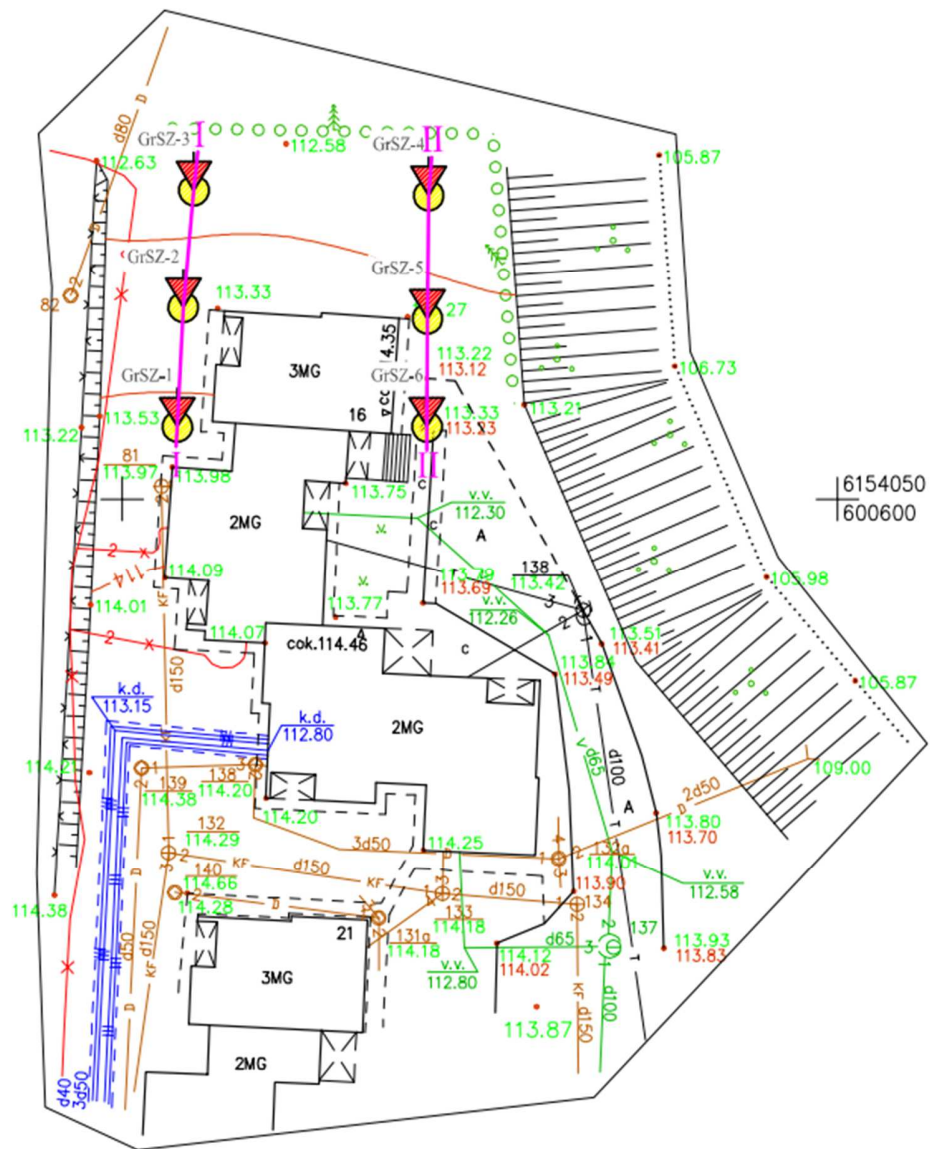
Tyrimų teritorijoje buvo atlikti išsamūs inžineriniai geologiniai tyrimai. Jų metu buvo atlikti statinio zondavimo, statinio zondavimo su porinio slėgio matavimu, dilatometrijos, mechaninio ir koloninio gręžimo lauko tyrimo metodai. Taip pat atlikti laboratoriniai tyrimai, norint nustatyti grunto fizines ir mechanines savybes. Tyrimams buvo parinktos šešios vietos (3.1 pav.).

Atlikti lauko tyrimo metodai:

1. Šeši statinio zondavimo bandymai (angl. *cone penetration test – CPT*) atlikti iki 15,0 – 16,0 m gylio.
2. Trys statinio zondavimo su porinio slėgio matavimu bandymai (angl. *piezocone – CPTU*) atlikti iki 17,0 m gylio.
3. Keturi dilatometrijos bandymai (bandymas plokščiuoju dilatometru), (angl. *flat dilatometer test – DMT*) atlikti iki 5,8 – 9,4 m gylio.
4. Šnekinis mechaninis gręžimas su 180 mm skersmens šnekais iki 15,0 m gylio.
5. Koloninis gręžimas (100 mm skersmens) iki 15,0 gylio, paimti nesuardytos sandaros grunto mėginiams.

Atlikti laboratoriniai tyrimo metodai:

1. Du granulimetrinės sudėties nustatymo (sietų metodu) (ISO/TS 17892-4:2004) bandymai.
2. Trys granulimetrinės sudėties nustatymo (hidrometro metodu) (ISO/TS 17892-4:2004) bandymai.
3. Šeši gamtinio drėgumo nustatymo (ISO/TS 17892-1:2004) bandymai.
4. Šeši kietų dalelių tankio nustatymo (ISO/TS 17892-3:2004) bandymai.
5. Trys konsistencijos ribų nustatymo (krentančio kūgio metodu) (ISO 17892-12:2004) bandymai.
6. Trys pakopomis apkrauto grunto bandymai odometru (ISO 17892-5:2004).
7. Trys tiesioginio kirpimo bandymai (ISO 17892-10:2004).
8. Trys smulkaus grunto vienaašio gniuždymo bandymai (ISO 17892-7:2004).
9. Du vandens bendrosios cheminės analizės bandymai.



3.1 pav. Inžinerinių geologinių tyrimų vietos bendrame teritorijos plane (Geotestus, 2019)

3.2 Lauko bandymai

Prie tiesioginių lauko grunto bandymų galima priskirti bandymus plokščiuoju dilatometru, šnekinį mechaninį ir koloninį gręžimą. Šnekinis mechaninis ir koloninis gręžimas yra gana paprasti metodai, skirti grunto atpažinimui, suardytos ir nesuardytos sandaros grunto paėmimui. Todėl šiems bandymams bus skirta mažiau dėmesio.

Dilatometrijos metodas buvo išrastas ir sukonstruotas Silvano Marchetti, Italijoje 1980 metais (Marchetti, 1980). Jis savo straipsnyje aprašė jo konstrukciją, veikimą ir sudaromas koreliacines priklausomybes. Nuo 1974 m. iki 1980 m. vyko teoriniai ir praktiniai darbai, kurie leido pradėti vykdyti bandomuosius darbus praktikoje (Gadeikis ir kt., 2012). 1980 metais dilatometras panaudotas tirti moliniams gruntams Švedijoje, šio tyrimo pradininkais tapo švedų mokslininkai R. Larsson ir P. Eskilson. Nuo tada jis labai išpopuliarėjo ir šiuo metu pasaulyje DTM naudoja daugiau kaip 50 šalių (3.2 pav.). Jo plusai: jis yra gana paprastas, nebrangus ir gana didelio tikslumo ir su juo galima nustatyti grunto savybes tiesiogiai grunto masyve.



3.2 Dilatometro naudojimas pasaulyje (www.marchetti-dmt.it)

Dilatometrijos bandymą reglamentuoja ASTM D6635-01 (2007) ir EUROCODE-7 (2007): Geotechniniai tyrinėjimai ir bandymai. Lauko bandymai. 2 dalis. Bandymas plokščiuoju dilatometru (EN ISO 22476-11:2005).

Plokščiasis dilatometras yra iš nerūdijančio plieno pagaminta plokščia mentelė (plotis 95 mm., storis 15 mm.), vienoje jo pusėje yra įmontuota apvali plieninė membrana (60 mm. diametro) (3.3 pav.) (Marchetti, 2001). Kuri slėgio pagalba gali judėti į gruntą.

Jo veikimo principas yra gana paprastas. Dilatometro mentelė yra įspaudžiama į gruntą, naudojant gręžimo agregatus t.y. statinę jėgą. Tada mentelėje esanti membrana yra išstumiamą iki kol pasiekia gruntą, tai yra atliekama slėgio pagalba, mentelės plokštė yra sujungta su žemės paviršiuje esančiu prietaisu, pneumatiniu - elektriniu kabeliu, kuris yra štangų viduje, per kurį eina dujos, kurios sukuria slėgį. Atlikus tai membrana vėl yra išstumiamą į gruntą, tik šykart 1,1 mm. (pav. 3.4). Šių

bandymų metu yra fiksuojami A ir B slėgiai, reikalingi membranai pasiekti gruntą ir pajudėti į jį - 1,1 mm. Toliau dilatometras vėl įgilinamas į gruntą (apie 15-30 cm) ir bandymas tęsiamas. Kiekvieno bandymo laikas apie 1 – 2 minutes.



3.3 pav. Dilatometro mentelė (<https://www.marchetti-dmt.it/dmt-instrumentation>)

Pakoreguotos slėgių A ir B vertės, naudojantis kalibracijos kreivėmis, konvertuojamos į slėgius p_0 ir p_1 pagal formules:

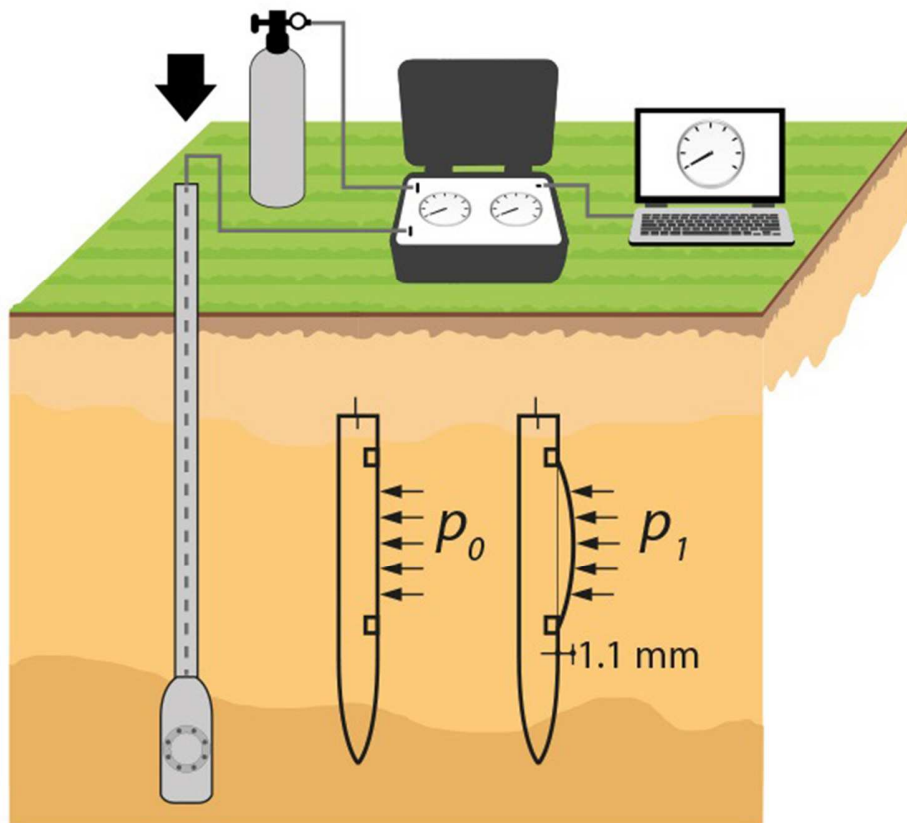
$$p_0 = 1,05 * (A - Z_M + \Delta_A) - 0,05(B - Z_M - \Delta_B)$$

$$p_1 = B - Z_M - \Delta_B$$

kur: Δ_A , Δ_B – kalibruoti slėgiai

Z_M – užfiksuotas slėgis manometru

Turint slėgius p_0 ir p_1 , toliau galima apskaičiuoti kitus geotechninius gruntų rodiklius.



3.4 pav. Dilatometro veikimo schema (www.marchetti-dmt.it)

Plokščiasis dilatometras pasižymi tokiais pranašumais (Schmertmann, 1983):

- Dilatometro mentė spaudžiama į gruntą nepertraukiamo penetracijos proceso (zondavimo) metu, todėl nereikia gręžti gręžinių (priešingai negu, atliekant įleidžiamus presiometrinius bandymus) bei duomenys apie gruntus gaunami nedideliais gylio intervalais (15 – 30 cm.);
- Prietaiso mentės konstrukcija (siaura plokštė aštriu antgaliu) spraudimo į gruntą metu žymiai mažiau suardo gruntą nei kūginis penetrometras, o tai leidžia gauti tikslesnius grunto – savybių parametrus;
- Plokštės dydis ir forma leidžia lengviau įsiskverbti į gruntą;
- Nėra jokių elektroninių daviklių, tai supaprastina prietaiso naudojimą lauko sąlygomis;
- Labai mažos membranos deformacijos leidžia išmatuoti efektyviojo slėgio pokyčius nedrenuotomis sąlygomis.

Taip pat yra seisminis dilatometras, kuris turi standartinį dilatometrą su seisminiu moduliu. Pirmą kartą jis buvo panaudotas devintajame praeito amžiaus dešimtmetyje. Šiuo metu jis yra labai populiarus inžinerinis geologinis lauko tyrimo metodas ir jis naudotas įvairiuose įžymiuose projektuose pasaulyje.

Prie netiesioginių grunto bandymų galima priskirti statinį zondavimą elektriniu zonu ir statinį zondavimą su porinio slėgio matavimu.

Apskritai zondavimas štangomis per silpną gruntą, siekiant aptikti stiprų grunto sluoksnį buvo pradėtas taikyti maždaug prieš šimtą metų (3.5 pav.). O statinis zondavimo metodas, žinomas šiandien, buvo sukurtas 1930 m. Olandijoje (Lunne ir kt., 1997) . Tai buvo bandymo statiniu mechaniniu zonu pradžia, bėgant laikui jis išsivystė į dabartinį. Tuo tarpu statinis zondavimas elektriniu zonu buvo sukurtas Vokietijoje, Berlyne apie 1940 – uosius metus, zondas išbandytas apie 1944 metus (Broms, Flodin, 1988). Pirmas šiuolaikinis elektrinis zondas buvo sukurtas ir užpatentuotas 1948 metais Olandijoje, 1957 metais buvo sukurtas pirmasis elektrinis zondas, kuriame šoninė trintis buvo matuojama atskirai nuo kūginio stiprio (Vlasblom, 1985). 1965 metais Olandijos bendrovė *Fugro* kartu su Nyderlandų valstybiniu tyrinėjimų institutu (*TNO*) ir bendrove *Philips* sukūrė elektrinį zondą, kuris savo konstrukciją ir kitais parametrais artimas dabartiniams elektriniams zondams (Gadeikis ir kt., 2012).

Pirmasis elektrinis zondas su porinio slėgio davikliais arba pjezozondas buvo sukurtas Norvegijos geotechnikos institute (*NGI*), tyrimų rezultatai buvo pristatyti 1974 metais pirmojoje Europos zondavimo metodų konferencijoje Stokholme (Schmertmann, 1974). Panašiu metu – 1975 metais buvo sukurti ir kiti pjezozondai Švedijoje ir JAV, visi šie zondai buvo gana panašūs. Bėgant laikui šio zondo populiarumas didėjo, buvo publikuota daugybė straipsnių apie tyrimus atliktus su šiuo zonu ir jo galimybes. Ir šiuo metu jis kartu su statiniu elektriniu zonu yra bene vieni populiariausių grunto tyrimų metodų pasaulyje.

Pats zondas yra cilindro formos vamzdis, kuriame yra sumontuoti davikliai (tenzometrai), kurie matuoja grunte esančius įtempius t.y. kūginį stiprį (qc , MPa), (angl. *cone resistance*) ir šoninę trintį (fs , kPa) (angl. *local friction*). Pagrindinės jo išorės dalys yra trinties mova, kūgis ir priklausomai nuo zondo porinio slėgio filtrai (3.6 pav.). Elektrinis zondas gali būti su kabeline arba ultragarsine duomenų registravimo sistema. Jo veikimo principas: jis yra spaudžiamas pastoviu greičiu į grunto masyvą, veikiant statiniai jėgai ir jame esantys davikliai registruoja duomenis t. y. matuoja kūginį stiprį ir šoninę trintį. Iš šių dviejų parametru galima iškart spręsti apie grunto stiprumines savybes ir

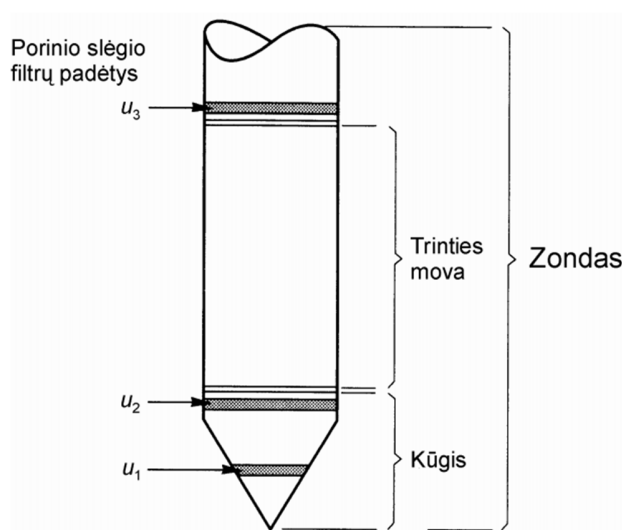
tipą. Vėliau apdorojant duomenis yra suskaičiuojami kiti geotechniniai parametrai, taikant įvairias koreliacijas ir formules.



3.5 pav. Pirmieji statinio zondavimo bandymai štangomis – siekiant pereiti silpno grunto sluoksnį ir atsiremti į stiprų gruntą Nyderlanduose (www.gouda-geo.com).

Pagrindinės statinio zondavimo bandymo įrangos dalys yra tokios:

- Zondas (gali būti įvairių tipų: elektrinis, mechaninis ir t.t.).
- Inkaravimo sistema, hidraulinė zondo įspaudimo sistema ir įranga ir transportavimo technika.
- Zondavimo štangos.
- Gylio matuoklis.
- Duomenų užrašymo prietaisas.
- Kabelinė arba ne signalų gaunamų iš zondo, perdavimo įranga.
- Įvairios priemonės reikalingos tvarkingam zondo veikimui.



3.6 pav. Pagrindinės zondo sudedamosios dalys (Lunne ir kt., 1997)

Pagrindiniai statinio zondavimo bandymo privalumai:

- Palyginus bandymas yra gana nesudėtingas, nebrangus ir gaunami duomenys yra patikimi.
- Jo metu duomenys yra registruojami nepertraukiamai, tai leidžia gauti tikslesnius ir patikimesnius duomenis apie grunto savybes.
- Bandymas tinkamas naudoti daugumoje gruntų (netinka žvyru).
- Dėl jo formos jis beveik nesuardo natūralios grunto sandaros ir jį nesunku įspausti į daugumą gruntų.
- Jo parametrų matavimo ribos yra gana didelės.
- Visa bandymo įranga yra kompaktiška, jį galima atlikti daugumoje vietų.
- Bandymas vis dar yra tobulinamas ir gali būti pritaikomas naujose sferose.

Tiek statinis zondavimas elektriniu zonu (angl. *Electrical cone penetration test – CPT*), tiek statinis zondavimas su porinio slėgio matavimu (angl. *Piezococone – CPTU*) yra patikimi inžineriniai geologiniai lauko tyrimo metodai. Kurie yra tinkami naudoti daugumoje gruntų ir duoda patikimus grunto savybių rodiklius (1 lentelė). Statinio zondavimo elektriniu zonu bandymu galima gauti duomenis: apie grunto tipą, kerpamą stiprį nedrenuotose sąlygose, santykinį tankumo rodiklį, šlyties modulį, horizontalų slėgį, pertankimo slėgio koeficientą, ir patikimai nubrėžti pjūvį. Statinio zondavimo su porinio slėgio matavimu bandymu galima gauti duomenis: grunto tipą, statinį porinį

slėgį, vidinės trinties kampą, kerpamą stiprį nedrenuotomis sąlygomis, santykinį tankumo rodiklį, standumo modulį, konsolidacijos koeficientą, pralaidumo koeficientą, šlyties modulį, pertankinimo slėgio koeficientą ir nubrėžti pjūvį.

1 lentelė. Įvairių tipų zondų taikymo galimybės ir rezultatų patikimumas (Lunne ir kt., 1997)

Zondo tipas	Grunto tipas	Pjūvis	Gruntų savybių rodiklis							Zonduojamas gruntas							
			u	φ	Su	I_D	M	c_v	k	G_0	σ_v	OCR	Gr	Sa	Si	Cl	O
DPT (dinaminis)	C	B	-	C	C	C	-	-	-	C	-	C	B	A	B	B	B
CPT (mechaninis)	B	A/B	-	C	C	B	C	-	-	C	C	C	C	A	A	A	A
CPT (elektrinis)	B	A	-	C	B	A	C	-	-	B	B	B	C	A	A	A	A
CPTu (piezo)	A	A	A	B	A	B	B	B	B	B	C	B	-	A	A	A	A
SCP (seisminis)	A	A	A	B	B	B	B	B	B	A	B	B	-	A	A	A	A
DMI (dilato metras)	B	A	C	B	B	C	B	-	-	B	B	B	-	A	A	A	A
SPT (standartinis)	A	B	-	C	C	B	-	-	-	C	-	C	B	A	A	A	A

Taikymo galimybės: A - geros; B - vidutinės; C - silpnos; - - netaikoma. u - statinis porinis slėgis (in-situ); φ - vidinės trinties kampas; su - kerpamasis stipris nedrenuotose sąlygose; I_D - santykinis tankumo rodiklis; M - standumo modulis; c_v - konsolidacijos koeficientas; k - pralaidumo (skvarbos) koeficientas; G_0 - šlyties modulis; σ_v - horizontalusis slėgis; OCR - pertankinimo slėgio koeficientas; Gr - žvyras; Sa - smėlis; Si - dulkis; Cl - molis; O - organiniai gruntai (durpė).

3.3 Laboratoriniai bandymai

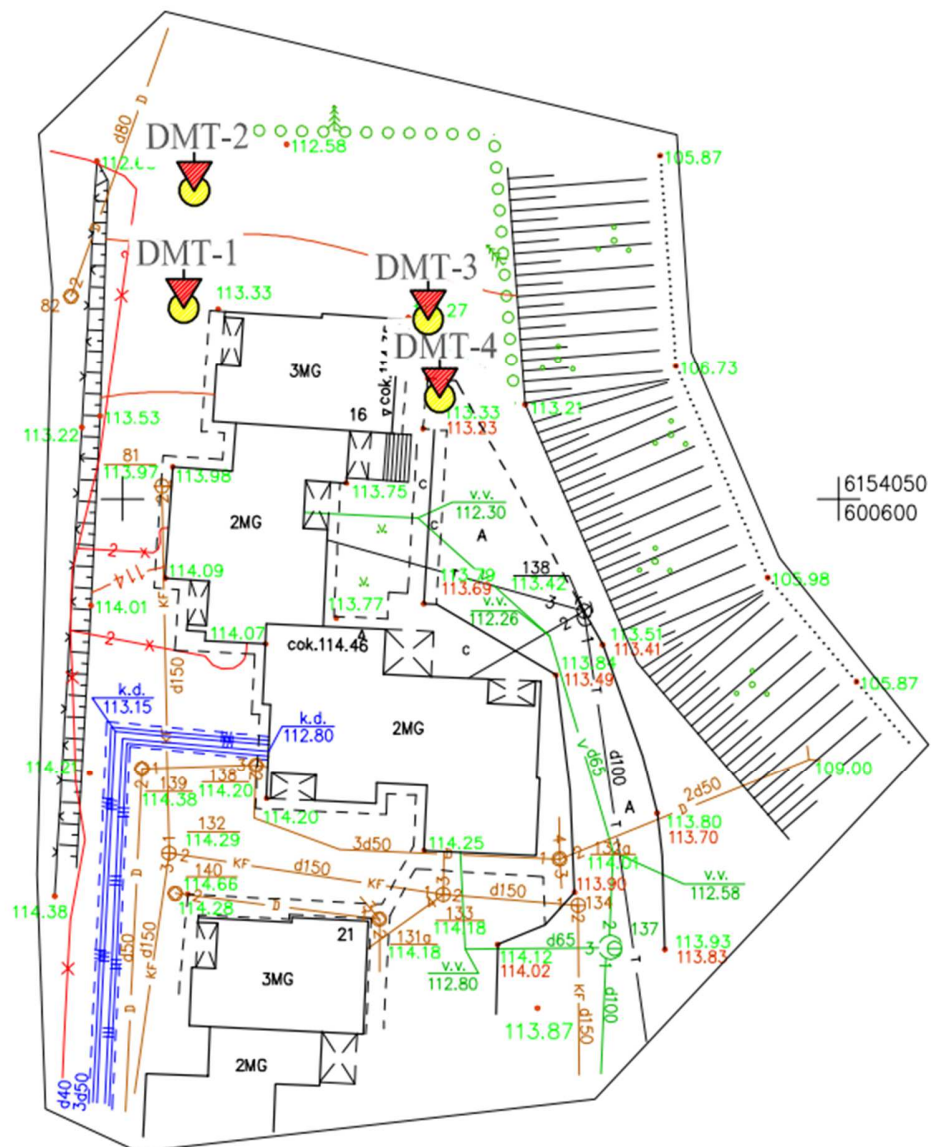
Laboratorinių tyrimų metu buvo atlikti bandymai gauti pagrindinės grunto fizinės ir mechaninės savybės. Tyrimai buvo atlikti Vilniaus Universiteto Geomokslų instituto, Hidrogeologijos ir inžinerinės geologijos katedros, gruntų mechanikos laboratorijoje. Jų metu buvo nustatyta: granulimetrinė sudėtis, gamtinis drėgnis, kietų dalelių tankis, gamtinis tankis, takumo ir plastiškumo riba, plastiškumo ir konsistencijos rodiklis, ometrinis deformacijų modulis, vidinės trinties kampas, sankiba, stiprumas gniuždant, nedrenuotas grunto stiprumas. Bandymai atlikti pagal LST CEN ISO/TS 17892:2004 standartą. Taip pat buvo atlikta bendroji vandens cheminė analizė.

Didžioji tyrimų dalis buvo atlikta moreniniam gruntui, nes šis gruntas sudaro teritorijos šlaito storumę. Bandymų metodikos buvo atliktos vadovaujantis aukščiau paminėtu standartu, todėl plačiau apie tai nebus užsiminta. Iš viso buvo atliktas 36 bandymas. Mėginiai laboratoriniams tyrimams buvo paimti atliekant mechaninį šnekinį gręžimą (suradytos sandaros mėginiai) ir koloninį gręžimą (nesuardytos sandaros mėginiai).

4 Lauko ir laboratorinių tyrimų rezultatai

4.1 Dilatometrinio bandymo rezultatai

Dilatometrijos bandymas buvo atliktas keturiose vietose ant šlaito (4.1 pav.). Šios vietos sutapo su statinio zondavimo ir mechaninio gręžimo vietomis (3.1 pav.), taip pat su dvejomis statinio zondavimo su porinio slėgio bandymo vietomis.



4.1 pav. Dilatometro bandymo vietos bendrame teritorijos sklypo plane (Geotestus, 2019).

Bandymai dilatometru buvo atlikti ankstyvą 2019 metų rudenį (4.2 pav.). Tuo metu visi kiti bandymai (CPT, CPTu, šnekinis ir koloninis gręžimas) jau buvo atlikti. Dilatometro mentelę įspausti į gruntą buvo pasitelktas GEOTECH gręžimo agregatas. Bandymo gyliai priklausomai nuo moreninio grunto stiprumo buvo nuo 0,6 m. iki 9,4 m.



4.2 pav. Tyrimų vietovėje atliekamas dilatometrinių bandymų, 2019 metai, 09 mėn. (autorius nuotr.).

Iš gautų duomenų buvo apskaičiuoti tokie grunto parametrai: grunto savitasis sunkis (γ), efektyvusis vertikalus įtempis (σ'), porinis slėgis (u), tankumo rodiklis (I_d), šoninio slėgio koeficientas (K_d), dilatometrinių deformacijų modulis (E_d), rimties koeficientas (K_o), pertankinimo koeficientas (OCR), standumo modulis (M) ir nedrenuotas kerpamasis stipris (c_u).

Naudoti rodikliai ir formulės (Gadeikis, 2012):

Z - gylis, m;

p₀ - slėgis norint pajudinti membraną iki grunto, kPa;

p₁ - slėgis norint membraną įspausti į gruntą 1,1 mm, kPa;

u = $(z-3) \cdot 0,981$, kur u - porinis slėgis, kPa;

$I_d = (p_1 - p_0) / (p_0 - u_0)$, kur I_d -tankumo rodiklis, vnt.d. (jei $0,1 < I_d < 0,6$ – molis, $0,6 < I_d < 1,8$ -dulkis, $1,8 < I_d < 10$ -smėlis);

$K_d = (p_0 - u_0) / \sigma'$, kur K_d -šoninio slėgio koeficientas, vnt. d., σ' -efektyvusis vertikalus įtempis, kPa;

$\sigma' = \gamma * z$, kur σ' -efektyvusis vertikalus įtempis, kPa, γ -grunto savitasis sunkis kN/m³;

$E_d = 34,7 * (p_1 - p_0)$, kur E_d -dilatometrinis deformacijų modulis, MPa;

$OCR = (0,5 * K_d)^{1,56}$, kur OCR-pertankinimo koeficientas, vnt.d.;

$K_0 = (K_d / 1,5)^{0,47} - 0,6$, kur K_0 -rimties koeficientas, vnt. d.;

$c_u = 0,22 * \sigma' (0,5 K_d)^{1,25}$, kur c_u -nedrenuotas kerpamasis stipris, kPa;

$M = R_m * E_d$, kur M -standumo modulis, MPa, R_m -koreguojantis koeficientas, priklausantis nuo I_d ir K_d ir gaunamas:

jei $I_d \leq 0,6$ $R_m = 0,14 + 2,36 * \log K_d$;

jei $I_d \geq 3$ $R_m = 0,5 + 2 * \log K_d$;

jei $0,6 < I_d < 3$ $R_m = R_{m0} + (2,5 - R_{m0}) * \log K_d$, kai $R_{m0} = 0,14 + 0,15(I_d - 0,6)$;

jei $K_d > 10$ $R_m = 0,32 + 2,18 * \log K_d$;

jei $R_m < 0,85$ $R_m = 0,85$.

Atliktų dilatometrinių bandymų duomenys ir gauti rezultatai pateikti: 2 – 5 lentelėse.

2 lentelė. Pirmos vietos dilatometrinio bandymo rezultatai

1 DMT - 2 GRSZ

DMT TEST RESULTS
1 DMT - 2 SZGR

Z (m)	A (kPa)	B (kPa)	C (kPa)	Po (kPa)	P1 (kPa)	P2 (kPa)	γ (kN/m ³)	σ' (kPa)	U (kPa)	I_d	K_d	Ed (MPa)	Ko	OCR	M (MPa)	Cu (kPa)	Grunto aprašymas pagal Id	Grunto aprašymas pagal GRSZ-2
2.20	220	600		219	560		16.7	37			1.56	5.8	11.8			23.5		Smėlingas dulkis
2.40	250	510		255	470		16.7	41			0.84	6.3	7.5	1.36	5.94	15.1	34	Dulkis
2.60	250	480		255	440		16.7	44			0.72	5.8	6.4	1.25	5.30	12.4	33	Molingas dulkis
2.80	320	700		329	660		17.7	47			1.00	6.9	11.5	1.45	6.99	24.5	45	Dulkis
3.00	350	650		353	610		17.7	51			0.73	6.9	8.9	1.45	6.96	19.0	48	Molingas dulkis
3.20	370	880		362	840		17.7	53	2.0	1.33	6.9	16.6				35.3		Smėlingas dulkis
3.40	360	1000		346	960		17.7	54	3.9	1.80	6.3	21.3				44.0		Smėlingas dulkis
3.60	420	1000		409	960		17.7	56	5.9	1.37	7.2	19.1				41.8		Smėlingas dulkis
3.80	360	970		347	930		17.7	57	7.8	1.72	5.9	20.2				40.5		Smėlingas dulkis
4.00	440	1000		430	960		17.7	59	9.8	1.26	7.1	18.4				39.9		Smėlingas dulkis
4.20	450	1200		430	1160		17.7	60	11.8	1.74	6.9	25.3				54.5		Smėlingas dulkis
4.40	300	890		293	760		17.7	62	13.7	1.67	4.5	16.2				28.2		Smėlingas dulkis
4.60	320	820		313	780		17.7	63	15.7	1.57	4.7	16.2				28.7		Smėlingas dulkis
4.80	330	860		321	820		17.7	65	17.7	1.64	4.7	17.3				30.6		Smėlingas dulkis
5.00	330	980		315	940		18.6	67	19.6	2.11	4.4	21.7				37.9		Dulkingas smėlis
5.20	500	1200		483	1160		17.7	68	21.6	1.47	6.7	23.5				49.8		Smėlingas dulkis
5.40	480	1150		464	1110		17.7	70	23.5	1.47	6.3	22.4				46.0		Smėlingas dulkis
5.60	600	1310		582	1270		19.1	72	25.5	1.24	7.8	23.9				53.8		Smėlingas dulkis
5.80	500	1420		472	1380		19.6	73	27.5	2.04	6.1	31.5				64.1		Dulkingas smėlis
6.00	580	1280		563	1240		19.1	75	29.4	1.27	7.1	23.5				50.8		Smėlingas dulkis
6.20	650	1200		640	1160		19.1	77	31.4	0.85	7.9	18.0	1.58	8.52		40.8	86	Dulkis
6.40	680	1850		639	1810		19.6	79	33.4	1.93	7.7	46.6				91.4		Smėlingas dulkis
6.60	460	850		458	810		17.7	81	35.3	0.83	5.2	12.2	1.20	4.47	22.5	54		Dulkis
6.80	610	1250		596	1210		19.1	83	37.3	1.10	6.8	21.3	1.43	6.70	45.0	76		Dulkis
7.00	600	1300		583	1260		19.1	84	39.2	1.25	6.4	23.5				48.6		Smėlingas dulkis
7.20	390	800		387	760		17.7	86	41.2	1.08	4.0	12.9	0.99	2.96	20.6	41		Dulkis
7.40	170	380		177	340		16.7	88	43.2	1.21	1.5	5.6				4.8		Smėlingas dulkis

3 lentelė. Antros vietos dilatometrinio bandymo rezultatai

DMT TEST RESULTS
2 DMT - SSZGR

Z (m)	A (kPa)	B (kPa)	C (kPa)	Po (kPa)	P1 (kPa)	P2 (kPa)	γ (kN/m ³)	σ' (kPa)	U (kPa)	Id	Kd	Ed (MPa)	Ko	OCR	M (MPa)	Cu (kPa)	Grunto aprašymas pagal Id	Grunto aprašymas pagal GRSZ-3
0.60	400	1300		373	1250		18.6	10		2.35	36.6	30.4			113.4		Dulkingas smėlis	Technogeninis gruntas (tIV)
0.80	140	900		120	850		17.7	14		6.07	8.6	25.3			60.1		Smėlis	
1.00	80	240		90	190		15.7	17		1.11	5.2	3.5	1.19	4.41	6.4	11	Dulkis	
1.20	140	480		141	430		17.7	21		2.04	6.9	10.0			21.5		Dulkingas smėlis	
1.40	200	680		194	630		17.7	24		2.24	8.1	15.1			34.8		Dulkingas smėlis	
1.60	180	510		182	460		16.7	28		1.53	6.6	9.7			20.2		Smėlingas dulgis	
1.80	80	330		86	280		16.7	31		2.27	2.8	6.7			8.9		Dulkingas smėlis	
2.00	80	300		87	250		16.7	34		1.87	2.5	5.6			6.8		Dulkingas smėlis	
2.20	110	420		113	370		17.7	38		2.28	3.0	8.9			12.5		Dulkingas smėlis	
2.40	250	780		242	730		18.6	41		2.02	5.9	16.9			33.9		Dulkingas smėlis	
2.60	150	550		148	500		17.7	45		2.37	3.3	12.2			18.2		Dulkingas smėlis	
2.80	230	850		217	800		18.6	48		2.68	4.5	20.2			36.1		Dulkingas smėlis	
3.00	240	750		233	700		18.6	52		2.01	4.5	16.2			28.3		Dulkingas smėlis	
3.20	290	1180		264	1130		18.6	54	2.0	3.31	4.9	30.1			56.3		Smėlis	
3.40	170	900		157	750		17.7	56	3.9	3.88	2.7	28.6			29.3		Smėlis	
3.60	390	950		380	900		17.7	57	5.9	1.39	6.5	18.0			37.6		Smėlingas dulgis	
3.80	400	1100		383	1050		17.7	59	7.8	1.78	6.4	23.1			48.0		Smėlingas dulgis	
4.00	480	1350		455	1300		18.6	60	9.8	1.90	7.4	29.3			64.9		Dulkingas smėlis	
4.20	500	1200		483	1150		17.7	62	11.8	1.41	7.6	23.1			51.6		Smėlingas dulgis	
4.40	540	1550		508	1500		19.6	64	13.7	2.01	7.7	34.4			77.9		Dulkingas smėlis	
4.60	500	1350		476	1300		19.1	66	15.7	1.79	7.0	28.6			61.8		Smėlingas dulgis	
4.80	490	1380		464	1330		18.6	68	17.7	1.94	6.6	30.1			63.4		Dulkingas smėlis	
5.00	480	1400		452	1350		18.6	69	19.6	2.08	6.2	31.2			64.2		Dulkingas smėlis	
5.20	600	1450		576	1400		19.1	71	21.6	1.49	7.8	28.6			64.6		Smėlingas dulgis	
5.40	600	1500		573	1450		19.1	73	23.5	1.59	7.5	30.4			67.8		Smėlingas dulgis	
5.60	680	1400		662	1350		19.1	75	25.5	1.88	8.5	23.9	1.66	9.59	55.8	91	Dulkis	
5.80	750	1600		726	1550		19.1	77	27.5	1.18	9.1	28.6	1.73	10.66	68.9	102	Dulkis	
6.00	850	1800		821	1750		19.1	79	29.4	1.17	10.1	32.2	1.85	12.48	80.8	118	Dulkis	
6.20	750	1400		736	1350		19.1	80	31.4	0.87	8.8	21.3	1.69	10.03	50.4	102	Dulkis	
6.40	600	1250		586	1200		19.1	82	33.4	1.11	6.7	21.3	1.42	6.63	44.9	75	Dulkis	
6.60	600	1150		591	1100		17.7	84	35.3	0.92	6.6	17.7	1.41	6.45	36.8	75	Dulkis	
6.80	650	1250		639	1200		19.1	86	37.3	0.93	7.0	19.3	1.46	7.09	41.8	82	Dulkis	
7.00	700	1850		661	1800		19.6	88	39.2	1.83	7.1	39.5			86.0		Dulkingas smėlis	
7.20	750	2350		688	2300		19.6	90	41.2	2.49	7.2	55.9			123.4		Dulkingas smėlis	
7.40	490	1400		463	1350		18.6	92	43.2	2.11	4.6	30.8			54.7		Dulkingas smėlis	

4 lentelė. Trečios vietos dilatometrinio bandymo rezultatai

DMT TEST RESULTS
3 DMT - SSZGR

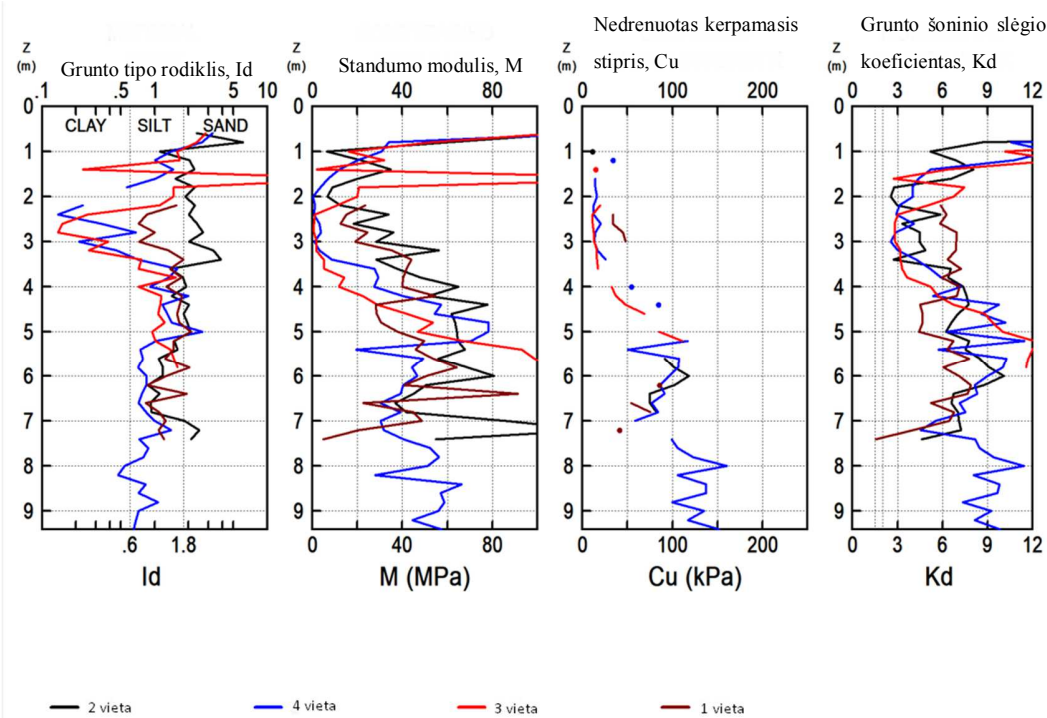
Z (m)	A (kPa)	B (kPa)	C (kPa)	Po (kPa)	P1 (kPa)	P2 (kPa)	γ (kN/m ³)	σ' (kPa)	U (kPa)	Id	Kd	Ed (MPa)	Ko	OCR	M (MPa)	Cu (kPa)	Grunto aprašymas pagal Id	Grunto aprašymas pagal GRSZ-5
0.60	280	1050		260	1000		18.6	4		2.85	61.8	25.7			108.5		Dulkingas smėlis	Technogeninis gruntas (tIV)
0.80	200	700		193	650		17.7	8		2.36	24.4	16.8			53.0		Dulkingas smėlis	
1.00	110	350		116	300		15.7	11		1.58	10.1	6.4			16.0		Smėlingas dulgis	
1.20	200	580		199	530		16.7	15		1.66	13.6	11.5			32.1		Smėlingas dulgis	
1.40	100	190		114	140		14.7	18		0.23	6.3	0.9	1.37	6.07	1.9	15	Dumblas	
1.60	80	350		57	3450		17.7	21		58.83	2.7	117.7			181.6		Smėlis	
1.80	180	500		182	450		16.7	24		1.47	7.5	9.3			20.6		Smėlingas dulgis	
2.00	185	510		187	460		16.7	28		1.46	6.7	9.5			20.1		Smėlingas dulgis	
2.20	150	380		157	330		16.7	31		1.11	5.0	6.0	1.17	4.24	10.9	20	Dulkis	
2.40	90	180		104	130		14.7	34		0.25	3.0	0.9	0.79	1.90	1.2	11	Dumblas	
2.60	90	170		104	120		14.7	37		0.15	2.8	0.5	0.74	1.69	0.7	11	Dumblas	
2.80	100	180		114	130		14.7	40		0.14	2.8	0.5	0.75	1.73	0.7	12	Dumblas	
3.00	110	220		123	170		15.7	43		0.38	2.8	1.6	0.75	1.73	2.0	13	Dulkingas molis	
3.20	130	230		143	180		15.7	44	2.0	0.26	3.2	1.3	0.82	2.07	1.7	16	Molis	
3.40	140	310		150	260		15.7	46	3.9	0.76	3.2	3.8	0.83	2.08	5.1	16	Molingas dulgis	
3.60	150	320		160	270		15.7	47	5.9	0.72	3.3	3.8	0.85	2.18	5.2	17	Molingas dulgis	
3.80	180	500		182	450		16.7	48	7.8	1.54	3.6	9.3			14.2		Smėlingas dulgis	
4.00	260	500		266	450		16.7	49	9.8	0.72	5.2	6.4	1.19	4.45	11.7	33	Molingas dulgis	
4.20	300	680		299	630		17.7	51	11.8	1.15	5.7	11.5	1.27	5.09	22.3	37	Dulkis	
4.40	370	810		366	760		17.7	52	13.7	1.12	6.7	13.7	1.43	6.68	28.8	48	Dulkis	
4.60	500	1050		491	1000		17.7	54	16.7	1.07	8.8	17.7	1.70	10.16	42.0	69	Dulkis	
4.80	550	1220		535	1170		17.7	55	17.7	1.23	9.3	22.0			53.6		Smėlingas dulgis	
5.00	600	1180		589	1130		17.7	57	19.6	0.95	10.0	18.8	1.84	12.34	46.9	85	Dulkis	
5.20	750	1500		731	1450		19.1	59	21.6	1.01	12.1	25.0	2.07	16.65	66.9	111	Dulkis	
5.40	780	1800		747	1750		19.1	60	23.5	1.39	12.0	34.8			92.9		Smėlingas dulgis	
5.60	790	1880		754	1830		19.1	62	25.5	1.48	11.7	37.3			98.9		Smėlingas dulgis	
5.80	810	2000		769	1950		19.1	64	27.5	1.59	11.6	41.0			108.1		Smėlingas dulgis	

Aukščiau esančiuose paveiksluose pateikta dešimt technogeninio ir moreninio grunto parametrų ir pavadinimas nustatytas pagal tankumo rodiklį **Id**, kuris naudojamas klasifikuojant gruntą pagal dilatometro duomenis. Taip pat lentelėse yra pridėtas grunto pavadinimas ir sluoksnių ribos, kurios gautos pagal statinio zondavimo duomenis ir granulimetrinės sudėties nustatymo bandymą. Matomas skirtumas yra akivaizdus, pažymėtina, kad tyrimų vietose yra gana didelė technogeninio grunto storumė, kurios duomenų nereikėtų vertinti, dėl piltinio grunto nevienalytiškumo (ribos parodytos lentelėse). Grafiniuose prieduose (pav. 4.20 – 4.22) yra pateiktos priklausomybės tarp pertankinimo koeficiento (OCR), deformacijų modulio (E) ir nedrenuoto kerpamojo stiprio (c_u) gautų skirtingais lauko tyrimų metodais (DMT ir CPTu). Ten yra aptartas jų koreliacijos koeficientas, priklausomybės laipsnis, panašumai ir skirtumai.

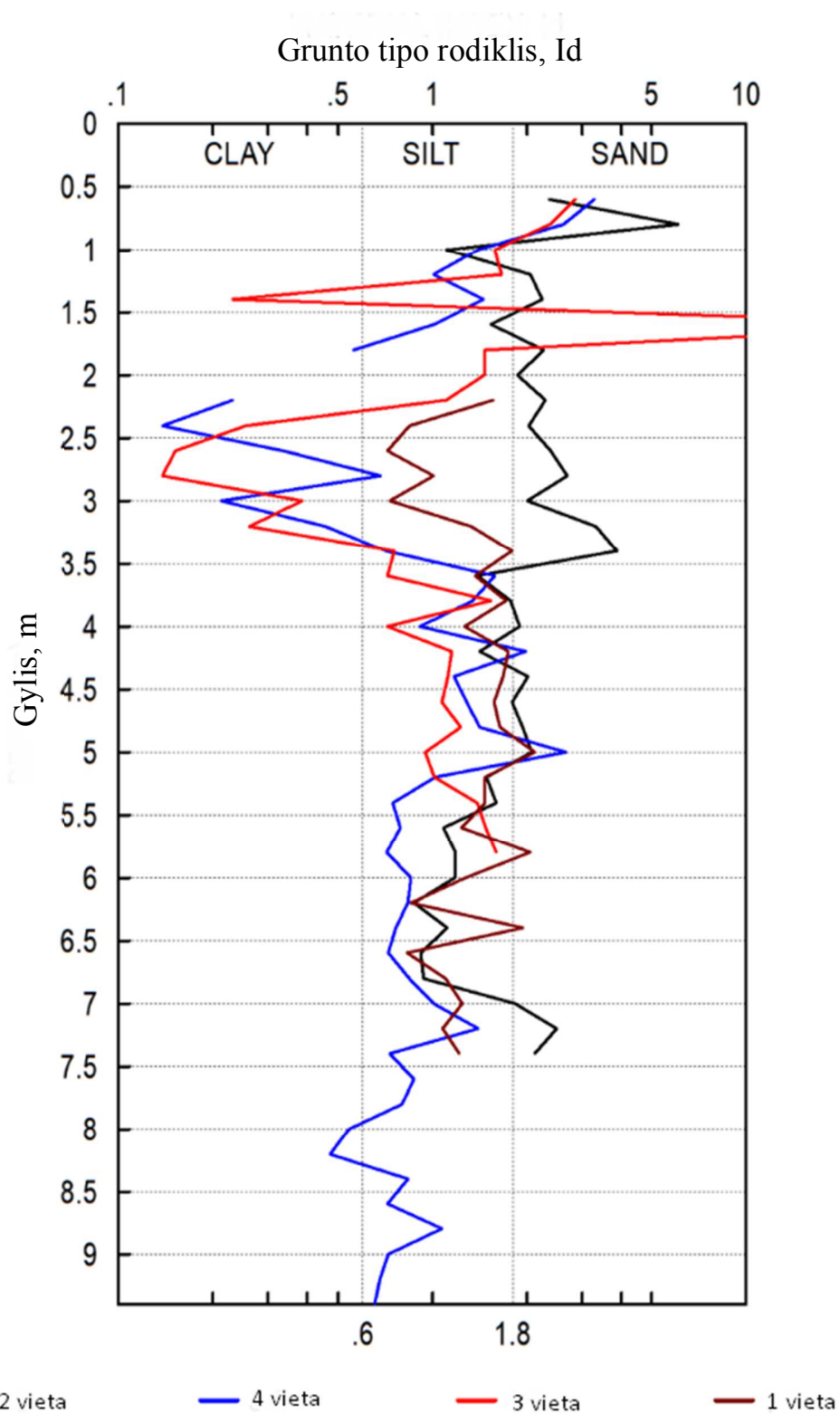
5 lentelė. Ketvirtos vietos dilatometrinio bandymo rezultatai

DMT TEST RESULTS																	Grunto aprašymas pagal GRSZ-6		
4DMT - 6 SZGR																	Grunto aprašymas pagal Id		
Z (m)	A (kPa)	B (kPa)	C (kPa)	Po (kPa)	P1 (kPa)	P2 (kPa)	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	U (kPa)	Id	Kd	Ed (MPa)	Ko	OCR	M (MPa)	Cu (kPa)	Grunto aprašymas pagal Id	Grunto aprašymas pagal GRSZ-6	
0.60	350	1400		316	1350		18.6	10		3.28	31.0	35.9						Dulkingas smėlis	Technogeninis gruntas (tIV)
0.80	150	580		147	530		17.7	14		2.61	10.5	13.3						Dulkingas smėlis	
1.00	230	600		230	550		16.7	17		1.39	13.2	11.1						Smėlingas dulkis	
1.20	220	500		224	450		16.7	21		1.01	10.8	7.8	1.93	13.89	20.1	34		Dulkis	
1.40	120	360		126	310		15.7	24		1.46	5.2	6.4						Smėlingas dulkis	
1.60	110	290		119	240		15.7	27		1.01	4.4	4.2	1.05	3.40	7.0	14		Dulkis	
1.80	110	240		122	190		15.7	30		0.56	4.0	2.4	0.99	2.96	3.7	14		Dulkingas smėlis	
2.00	120	190		135	140		13.7	34		0.84	4.0	0.2	0.99	2.98	0.3	16		Dumblas arba durpė	
2.20	100	190		114	140		14.7	36		0.23	3.1	0.9	0.81	2.02	1.2	13		Dumblas	
2.40	100	180		114	130		14.7	39		0.14	2.9	0.5	0.76	1.80	0.7	13		Dumblas	
2.60	160	280		172	230		15.7	42		0.34	4.1	2.0	1.00	3.05	3.2	21		Dulkingas molis	
2.80	120	270		131	220		15.7	45		0.68	2.9	3.1	0.76	1.78	3.8	14		Molingas dulkis	
3.00	110	200		124	150		14.7	48		0.21	2.6	0.9	0.68	1.47	1.0	13		Dumblas	
3.20	140	270		152	220		15.7	49	2.0	0.46	3.0	2.4	0.79	1.92	3.0	17		Dulkingas molis	
3.40	210	420		218	370		16.7	51	3.9	0.71	4.2	5.3	1.03	3.22	8.6	26		Molingas dulkis	
3.60	280	750		275	700		17.7	52	5.9	1.58	5.2	14.8						Smėlingas dulkis	
3.80	330	800		325	750		17.7	54	7.8	1.34	5.9	14.8						Dulkis	
4.00	410	820		408	770		17.7	55	9.8	0.91	7.2	12.6	1.49	7.42	27.3	55		Dulkis	
4.20	330	970		316	920		18.6	57	11.8	1.98	5.4	21.0						Dulkingas smėlis	
4.40	600	1300		583	1250		19.1	58	13.7	1.17	9.7	23.1	1.81	11.85	57.2	85		Dulkis	
4.60	550	1250		533	1200		19.1	60	15.7	1.29	8.6	23.1						Smėlingas dulkis	
4.80	680	1600		652	1550		19.1	62	17.7	1.41	10.2	31.2						Smėlingas dulkis	
5.00	460	1550		424	1500		19.6	64	19.6	2.66	6.3	37.3						Dulkingas smėlis	
5.20	800	1600		778	1550		19.1	66	21.6	1.02	11.5	26.8	2.00	15.27	70.4	117		Dulkis	
5.40	410	750		411	700		17.7	68	23.5	0.74	5.7	10.0	1.27	5.15	19.4	50		Molingas dulkis	
5.60	750	1350		738	1300		19.1	69	25.5	0.79	10.3	19.5	1.87	12.85	49.2	107		Molingas dulkis	
5.80	750	1300		741	1250		19.1	71	27.5	0.71	10.0	17.7	1.84	12.35	44.2	107		Molingas dulkis	
6.00	700	1300		688	1250		19.1	73	29.4	0.85	9.0	19.5	1.72	10.48	46.7	96		Dulkis	
6.20	650	1200		641	1150		19.1	75	31.4	0.84	8.1	17.7	1.61	8.92	40.5	86		Dulkis	
6.40	680	1210		672	1160		19.1	77	33.4	0.76	8.3	16.9	1.63	9.23	39.2	91		Molingas dulkis	
6.60	600	1050		596	1000		17.7	79	35.3	0.72	7.1	14.0	1.48	7.26	30.2	77		Molingas dulkis	
6.80	650	1200		641	1150		19.1	80	37.3	0.84	7.5	17.7	1.53	7.90	39.1	84		Dulkis	
7.00	500	1000		493	950		17.7	82	39.2	1.01	5.5	15.8	1.24	4.89	30.2	58		Dulkis	
7.20	430	1000		420	950		17.7	84	41.2	1.40	4.5	18.4						Smėlingas dulkis	
7.40	750	1300		741	1250		19.1	85	43.2	0.73	8.2	17.7	1.62	9.01	40.6	99		Molingas dulkis	
7.60	800	1480		784	1430		19.1	87	45.1	0.87	8.5	22.4	1.66	9.54	52.3	106		Dulkis	
7.80	900	1600		883	1550		19.1	89	47.1	0.80	9.4	23.1	1.77	11.19	56.4	123		Molingas dulkis	
8.00	1100	1700		1088	1650		18.6	91	49.1	0.54	11.4	19.5	2.00	15.20	51.2	160		Dulkingas molis	
8.20	800	1200		798	1150		18.6	93	51.0	0.47	8.1	12.2	1.60	8.82	27.8	106		Dulkingas molis	
8.40	1000	1800		978	1750		19.1	94	53.0	0.83	9.8	26.8	1.81	11.95	66.4	137		Dulkis	
8.60	1000	1700		983	1650		19.1	96	54.9	0.72	9.6	23.1	1.80	11.65	57.0	137		Molingas dulkis	
8.80	800	1600		778	1550		19.1	98	56.9	1.07	7.3	26.8	1.51	7.63	58.7	100		Dulkis	
9.00	1000	1700		983	1650		19.1	100	58.9	0.72	9.2	23.1	1.75	10.91	56.0	135		Molingas dulkis	
9.20	900	1500		888	1450		19.1	102	60.8	0.68	8.1	19.5	1.61	8.92	44.6	117		Molingas dulkis	
9.40	1100	1800		1083	1750		19.1	104	62.8	0.65	9.8	23.1	1.82	12.02	57.4	152		Molingas dulkis	

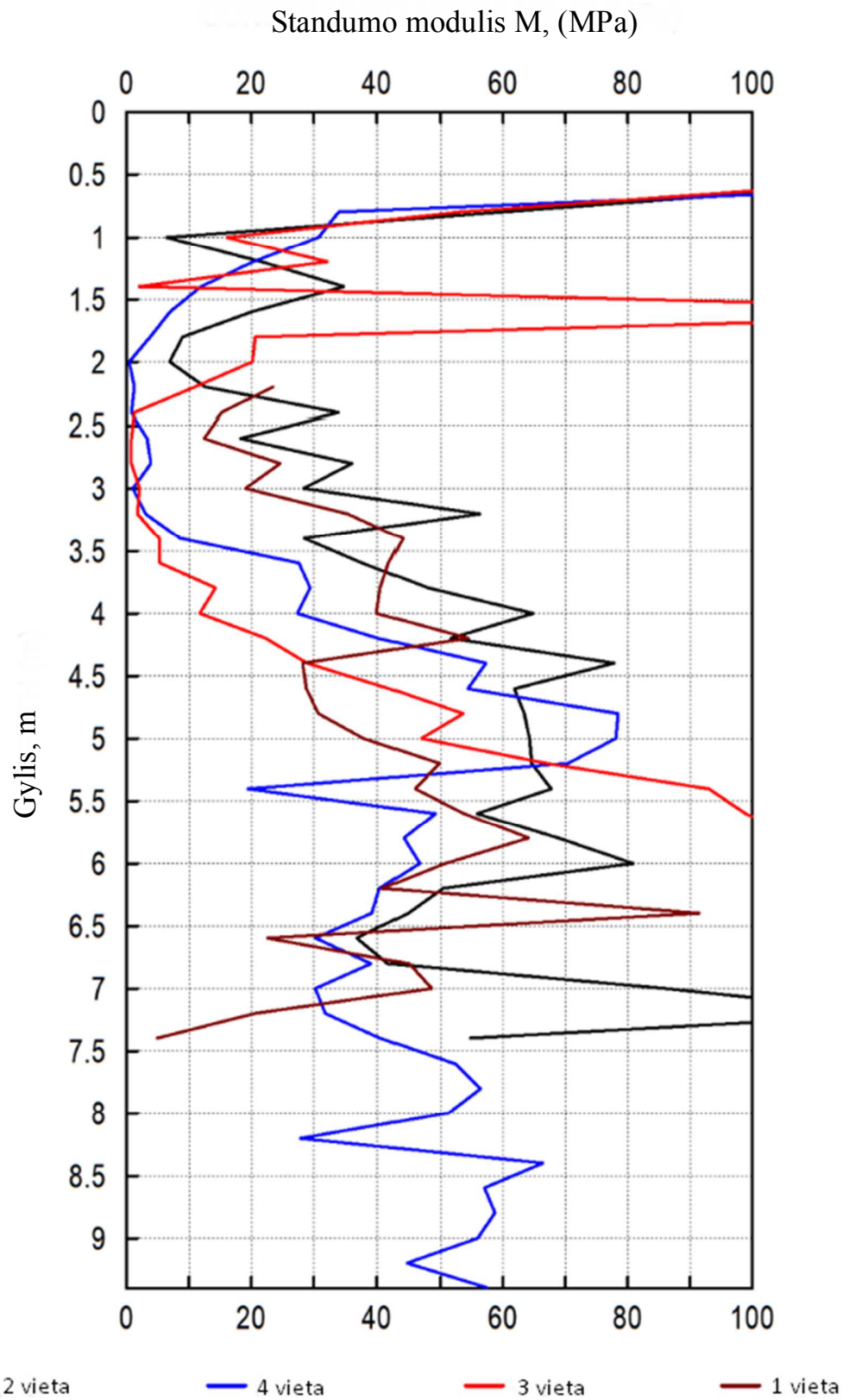
Žemiau pateiktuose grafiniuose prieduose (pav. 4.3 – 4,6) yra pateikta gautų rodiklių grafinė išraiška.



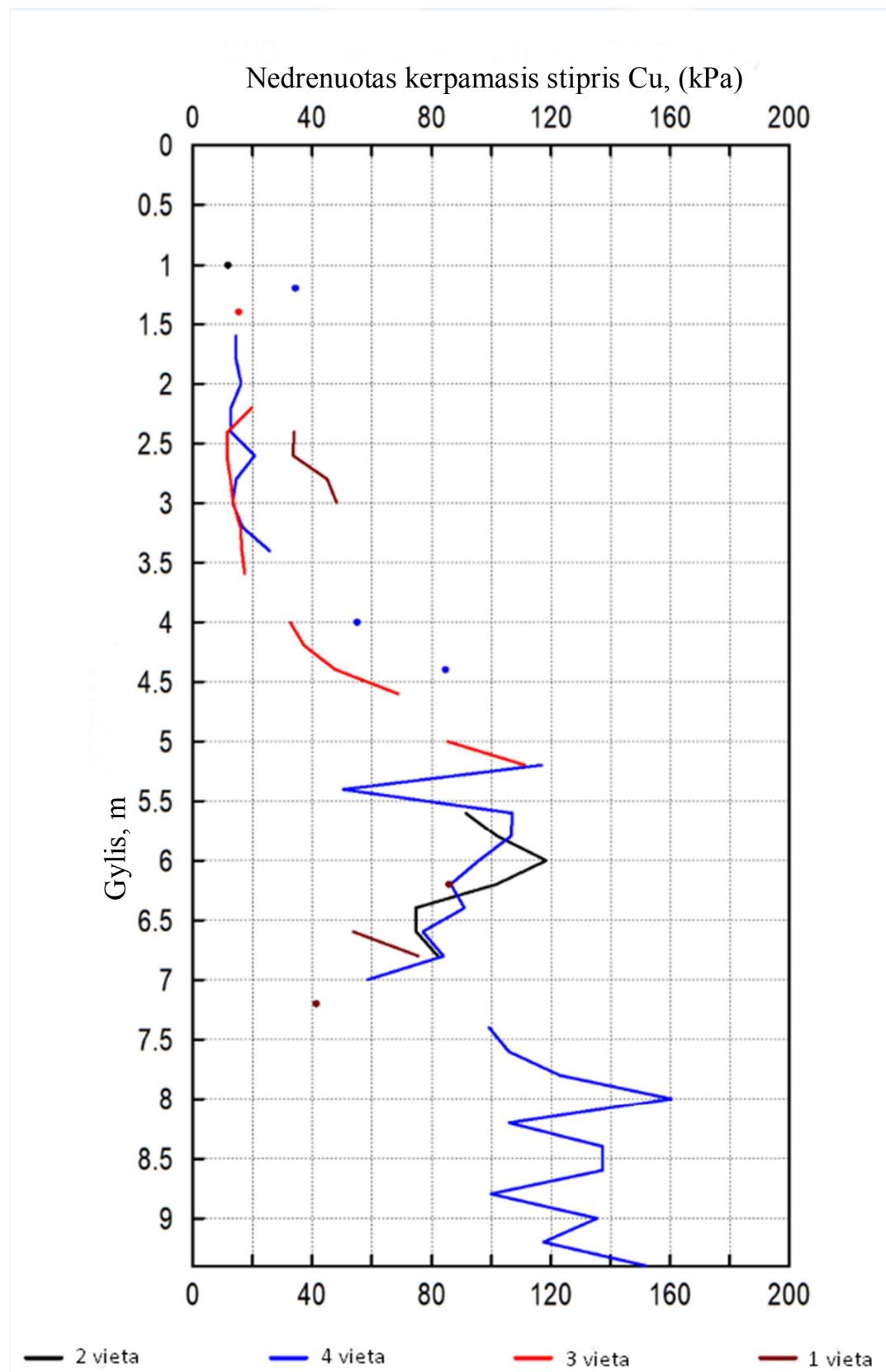
4.3 pav. Grunto tipo rodiklio (Id), standumo modulio (M), nedrenuoto kerpamąjo stiprio (c_u) ir grunto šoninio slėgio koeficiento (Kd) rodiklių palyginimas grafinė išraiška.



4.4 pav. Grunto tipo rodiklio (Id) nuo gylio priklausomybė.



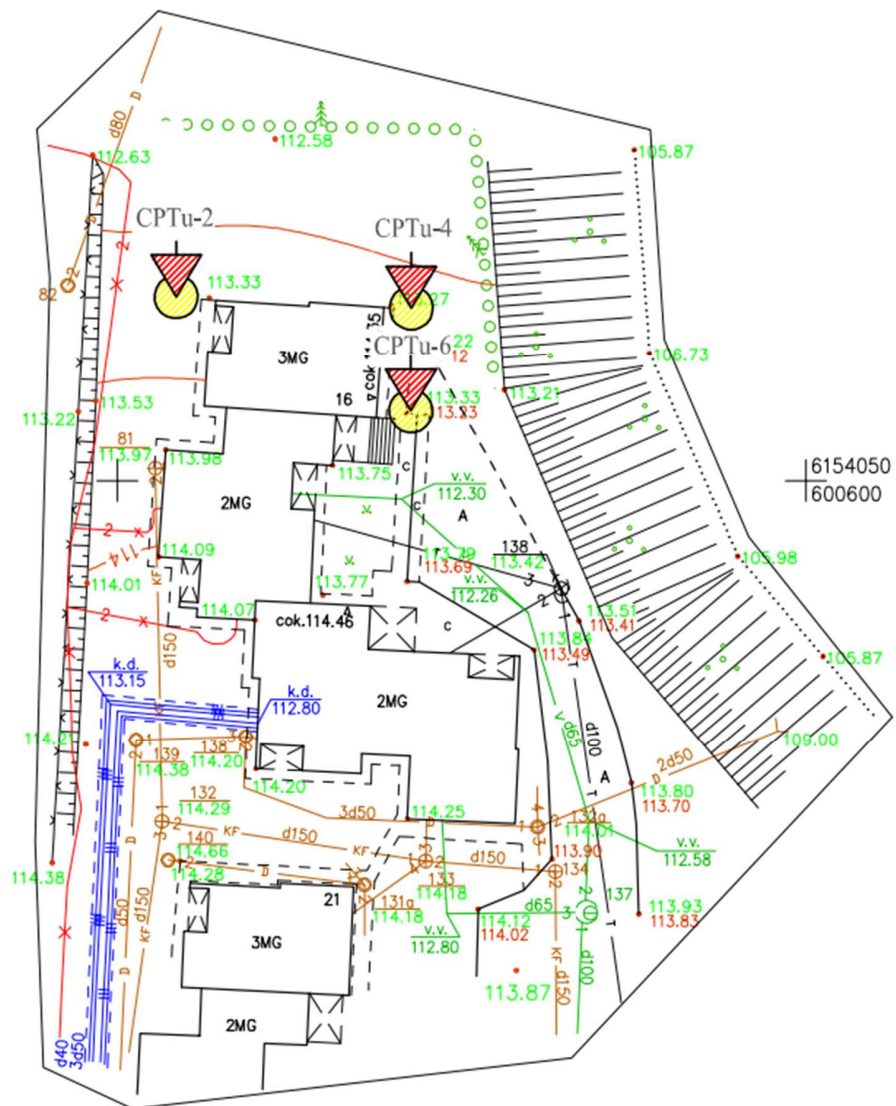
4.5 pav. Standumo modulio (M) nuo gylio priklausomybė.



4.6 pav. Nedrenuoto kerpmojo stiprio (c_u) nuo gylis priklausomybė.

4.2 Statinio zondavimo ir pjezozondo bandymo rezultatai

Statinio zondavimo bandymas buvo atliktas šešiose vietose ant šlaito, tose vietose buvo atliktas ir mechaninis šnekinis gręžimas (3.1 pav.). Keturiose iš tų vietų buvo atliktas ir dilatometro bandymas, taip pat trijose iš tų vietų buvo atliktas zondavimas su porinio slėgio matavimu (4.7 pav.). Zondavimas buvo atliktas 2019 metų pavasarį. Bandymo gyliai buvo nuo 15,3 iki 17,1 m.



4.7 pav. Statinio zondavimo su porinio slėgio matavimu bandymo vietos bendrame teritorijos sklypo plane (Geotestus, 2019).

Iš gautų statinio elektrinio zondavimo su porinio slėgio matavimu duomenų buvo apskaičiuoti tokie grunto parametrai: rimties koeficientas (K_0), pertankinimo koeficientas (OCR) ir nedrenuotas kerpamasis stipris (c_u) deformacijų modulis (E).

Naudoti rodikliai ir formulės (Gadeikis, 2012):

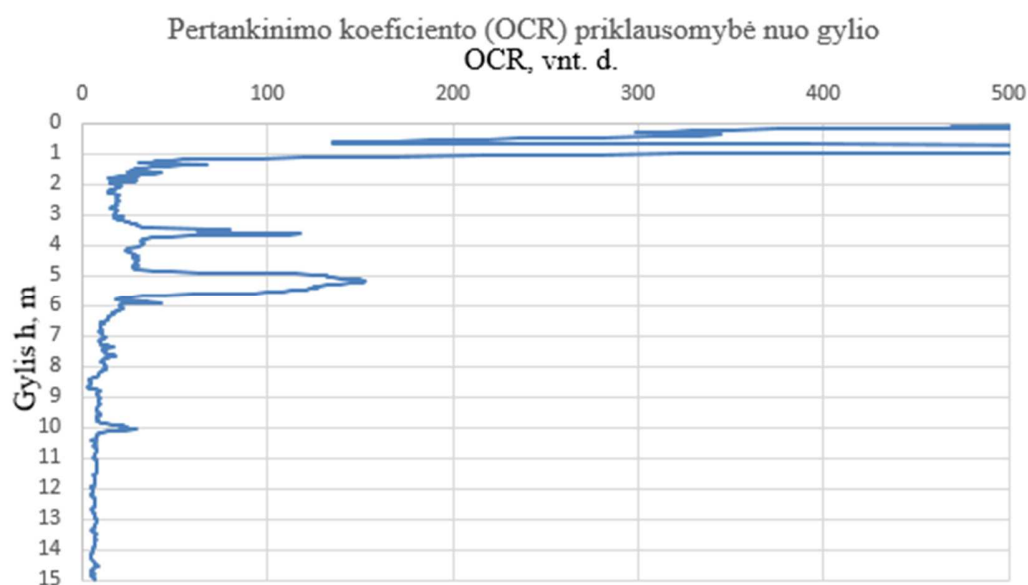
$OCR = k * Q_c$, kur OCR - pertankinimo koeficientas, vnt.d., k – proporcingumo koeficientas (buvo paimta vidurkinė vertė 0,3), Q_c – normalizuotas kūginis stipris, MPa;

$K_0 = 0,1 * ((q_t - \sigma_{vo}) / \sigma'_{vo})$, kur K_0 - rimties koeficientas, vnt. d., q_t – koreguotas kūginis stipris, MPa, σ_{vo} – geostatinis slėgis, MN/m², σ'_{vo} - efektyvus geostatinis slėgis, MN/m²;

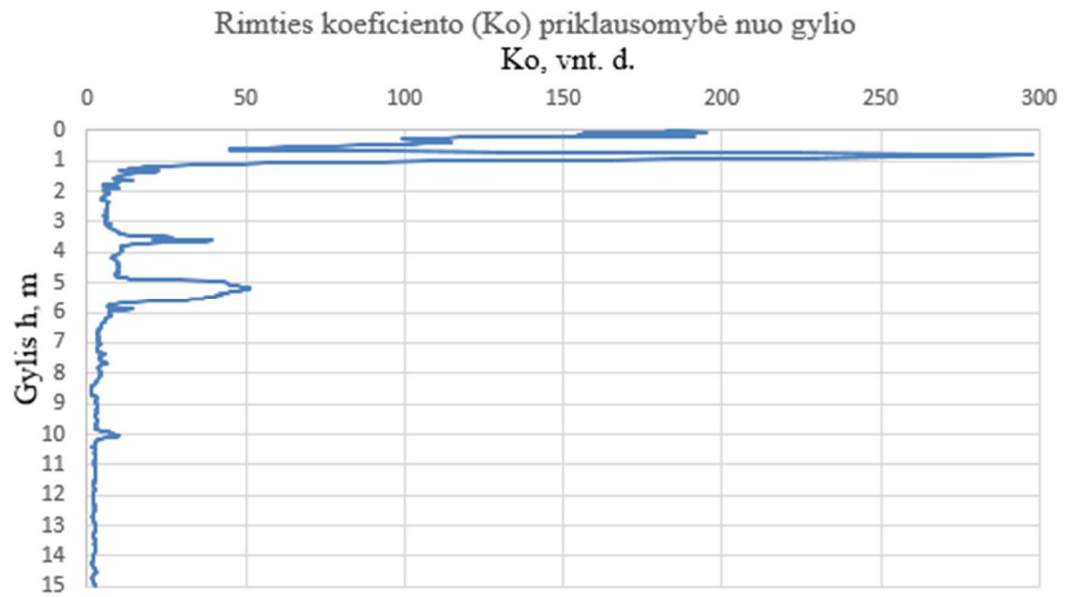
$c_u = q_t - \sigma_{vo} / N_{kt}$, kur c_u -nedrenuotas kerpamasis stipris, kPa; q_t – koreguotas kūginis stipris, MPa, σ_{vo} – geostatinis slėgis, MN/m², N_{kt} – empirinis koreguotas kūgio koeficientas (Lietuvoje moliniams gruntams paprastai taikomas nuo 20 iki 25, skaičiavimams buvo naudotas 20);

$E = 7,4 * q_c + 7,2$, kur E - deformacijų modulis, MPa; q_c -kūginis stiprus, MPa;

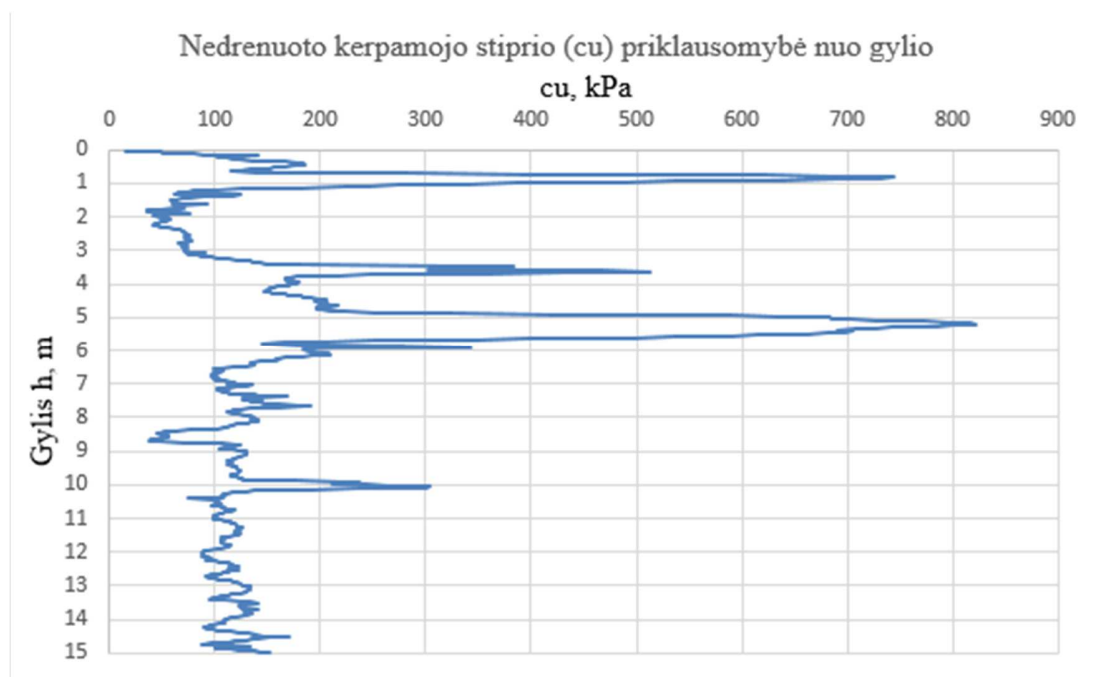
Žemiau pateiktuose grafiniuose prieduose (pav. 4.8 – 4.19) bus parodyti minėtų rodiklių gauti rezultatai grafikų pavidalu.



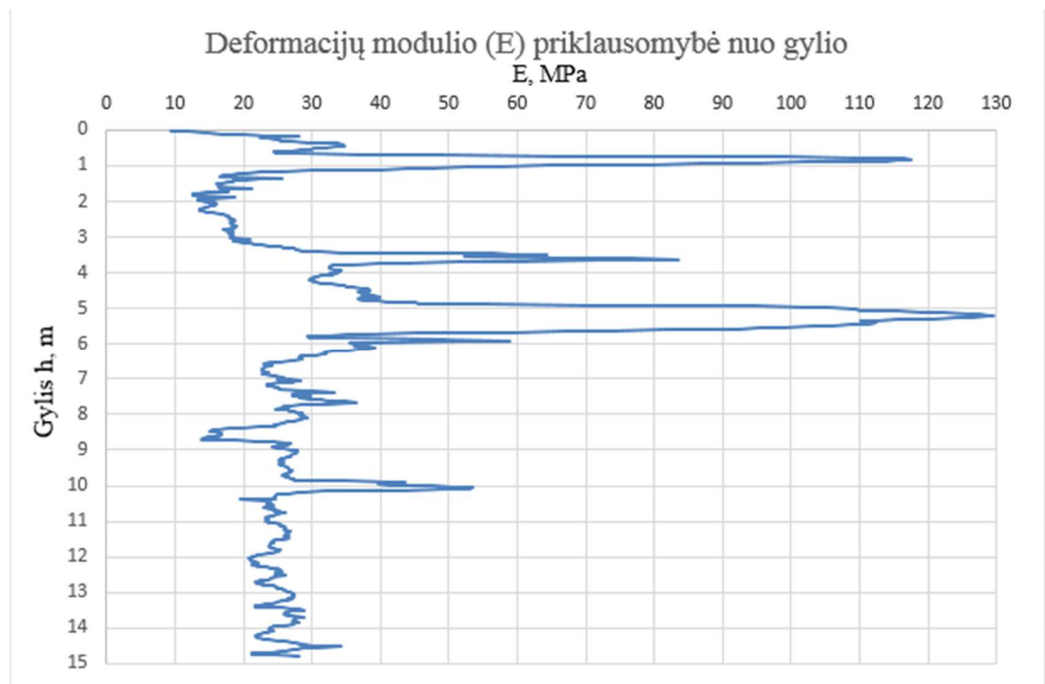
4.8 pav. Pertankinimo koeficiento priklausomybės nuo gylio grafikas (vieta – CPTu - 2).



4.9 pav. Rimties koeficiento priklausomybės nuo gylio grafikas (vieta – CPTu - 2).

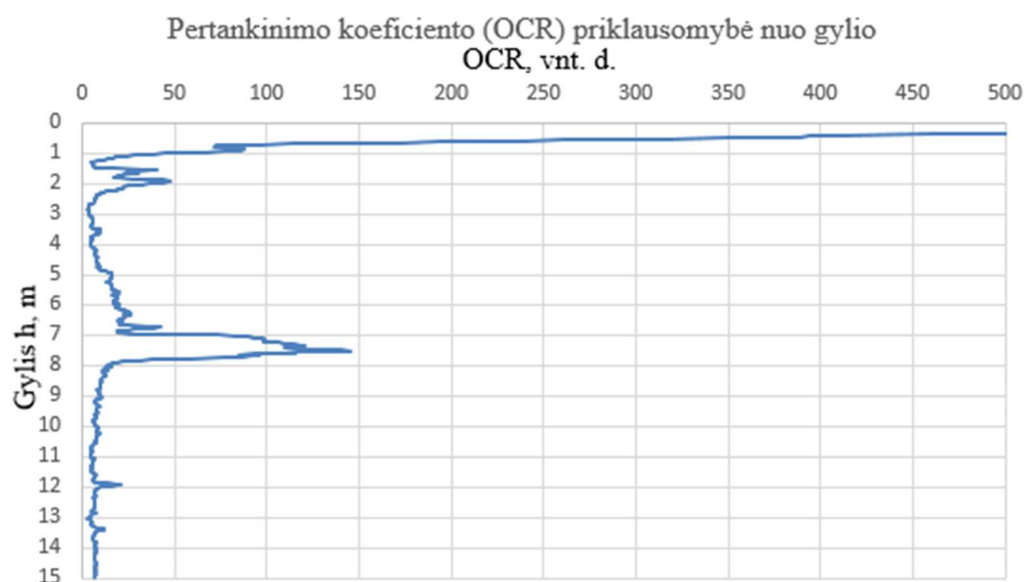


4.10 pav. Nedrenuoto kerpamojo stiprio priklausomybės nuo gylio grafikas (vieta–CPTu–2).

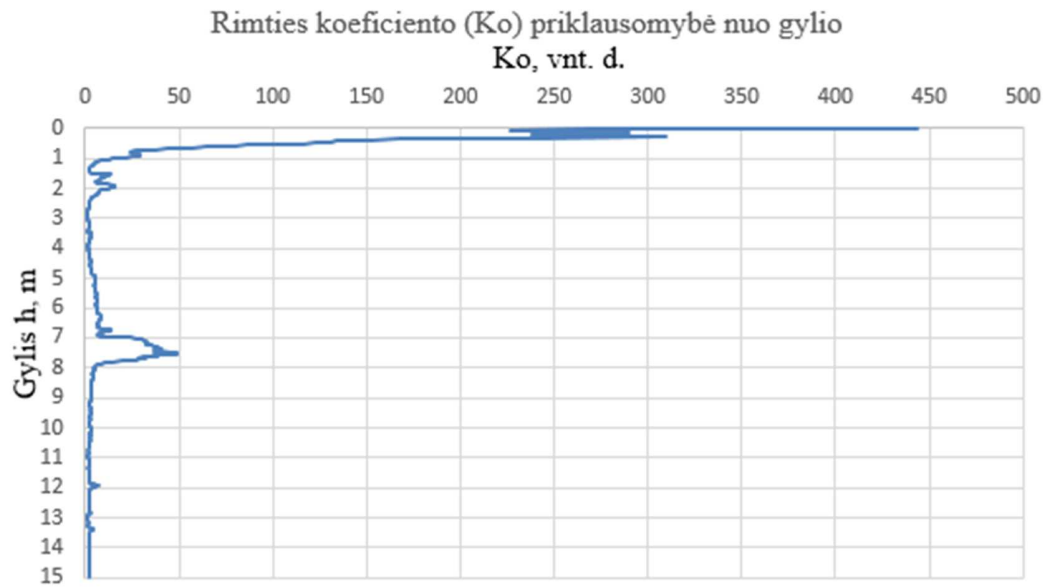


4.11 pav. Deformacijų modulio priklausomybės nuo gylio grafikas (vieta – CPTu – 2).

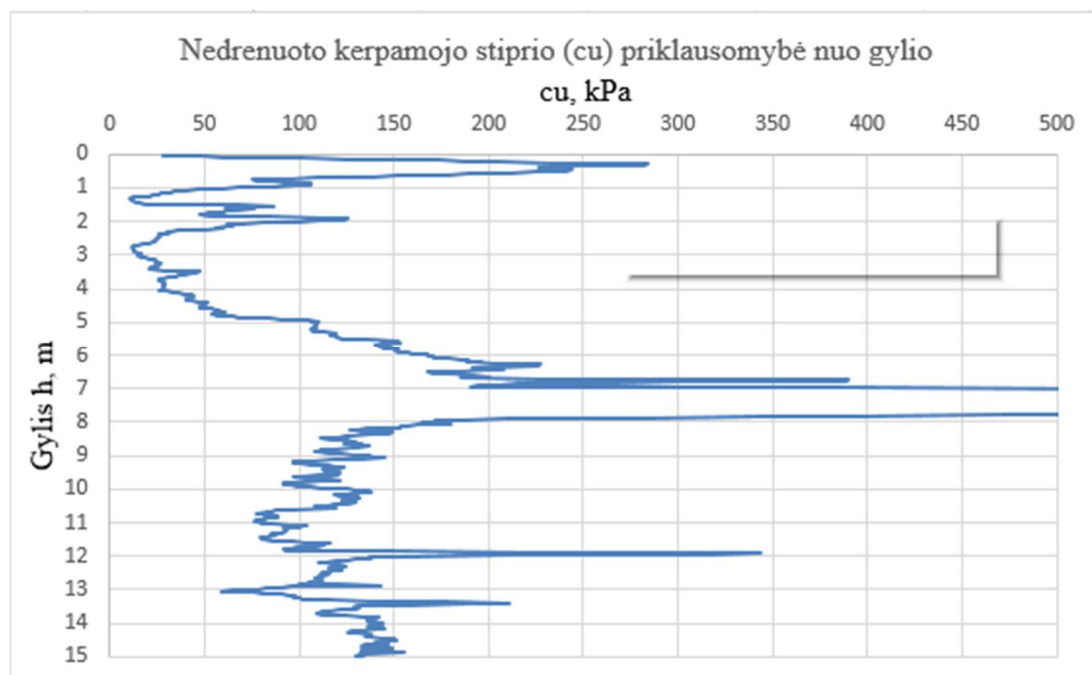
Reiktų pažymėti, kad šioje vietoje technogeninio grunto storis buvo 3,0 m., tai atspindi visi grafikai. Taip pat ties 3,0 m – 6,0 m buvo smėlio tarpsluoksniai, kas taip pat puikiai atsispindi grafikuose.



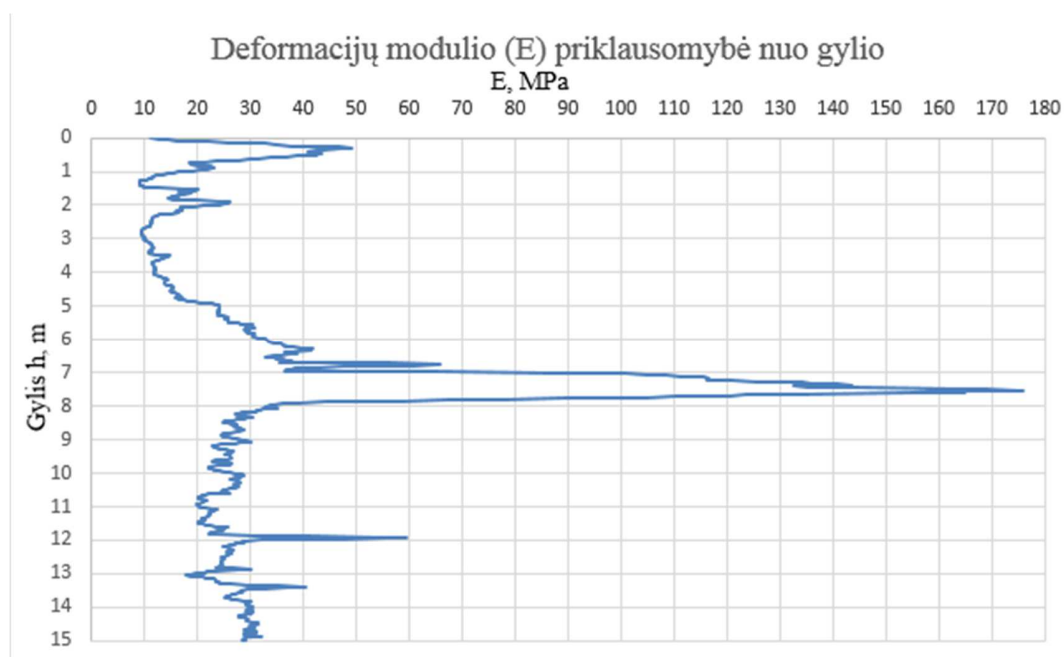
4.12 Pertankinimo koeficiento priklausomybės nuo gylio grafikas (vieta – CPTu – 4).



4.13 Rimties koeficiento priklausomybės nuo gylio grafikas (vieta – CPTu - 4).

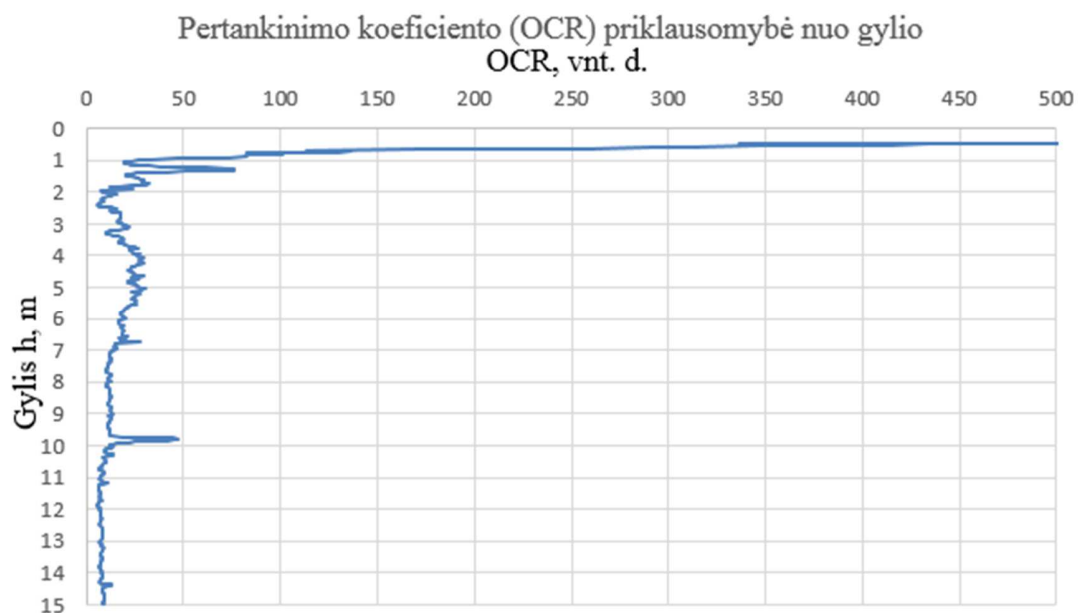


4.14 Nedrenuoto kerpmojo stiprio priklausomybės nuo gylio grafikas (vieta – CPTu – 4).

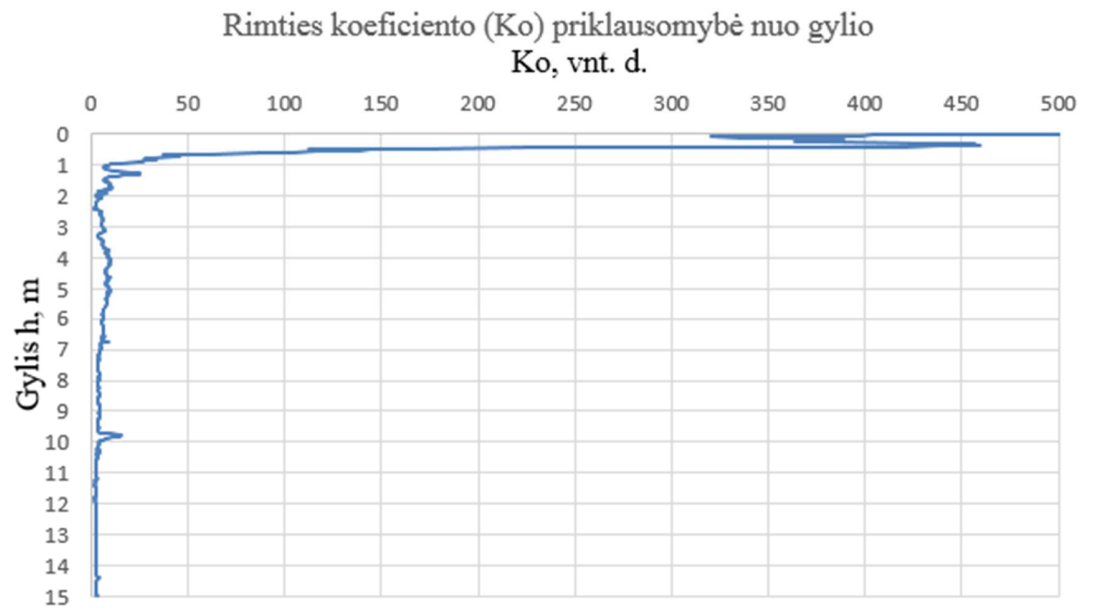


4.15 Deformacijų modulio priklausomybės nuo gylio grafikas (vieta – CPTu – 4).

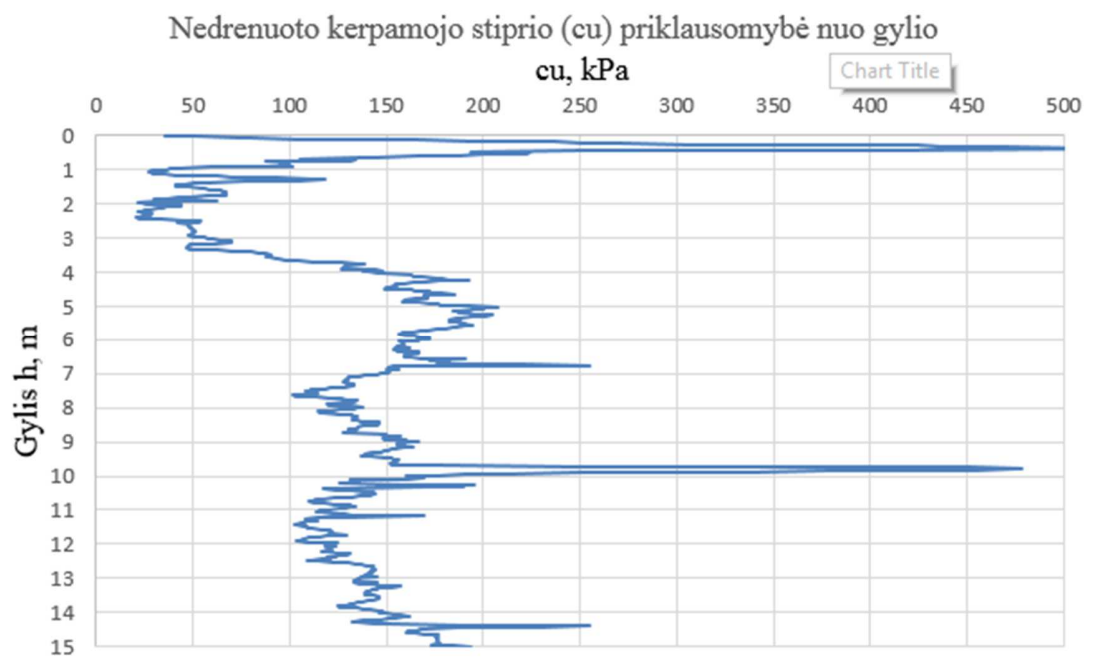
Reiktų pažymėti, kad šioje tyrimų vietoje technogeninio grunto storis buvo 4,5 m. ir ties 7,0 – 8,0 m buvo smėlio tarpsluoksnis. Tai irgi atsispindi grafikuose.



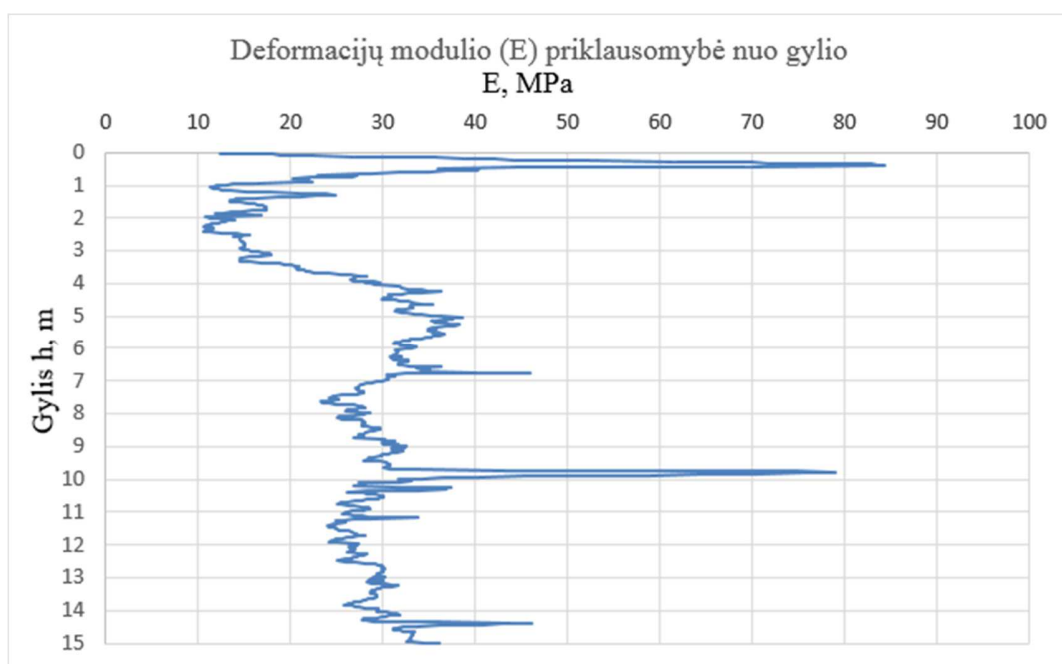
4.16 Pertankinimo koeficiento priklausomybės nuo gylio grafikas (vieta – CPTu – 6).



4.17 Rimties koeficiento priklausomybės nuo gylio grafikas (vieta – CPTu - 6).



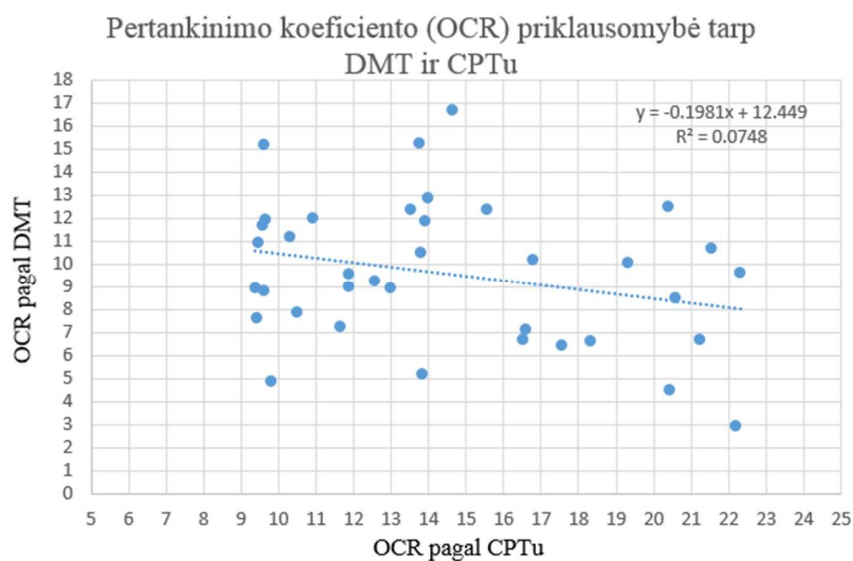
4.18 Nedrenuoto kerpmojo stiprio priklausomybės nuo gylio grafikas (vieta – CPTu – 6).



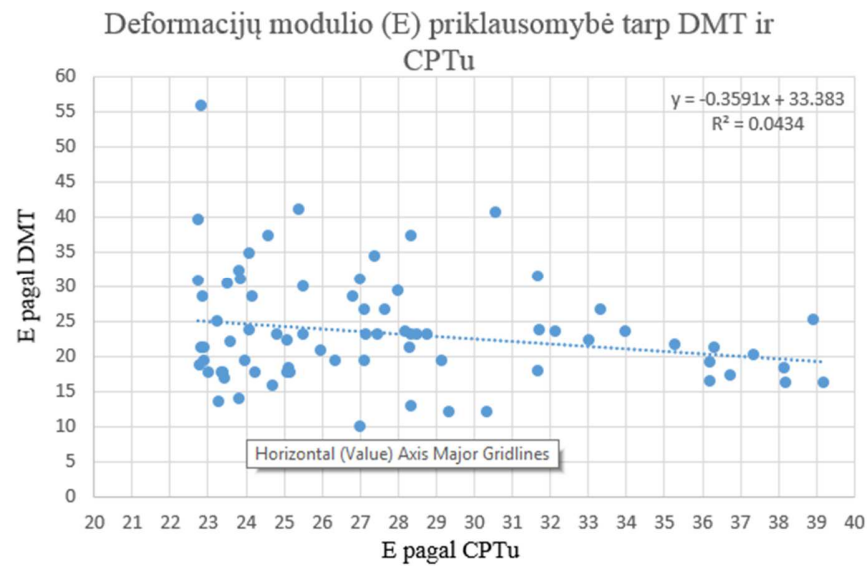
4.19 Deformacijų modulio priklausomybės nuo gylio grafikas (vieta – CPTu – 6).

Reikėtų pažymėti, kad šioje tyrimų vietoje technogeninio grunto storis buvo 4,0 m., ir ties 10,0 m buvo smėlio tarp sluoksnis, grafikuose tai puikiai atsispindi.

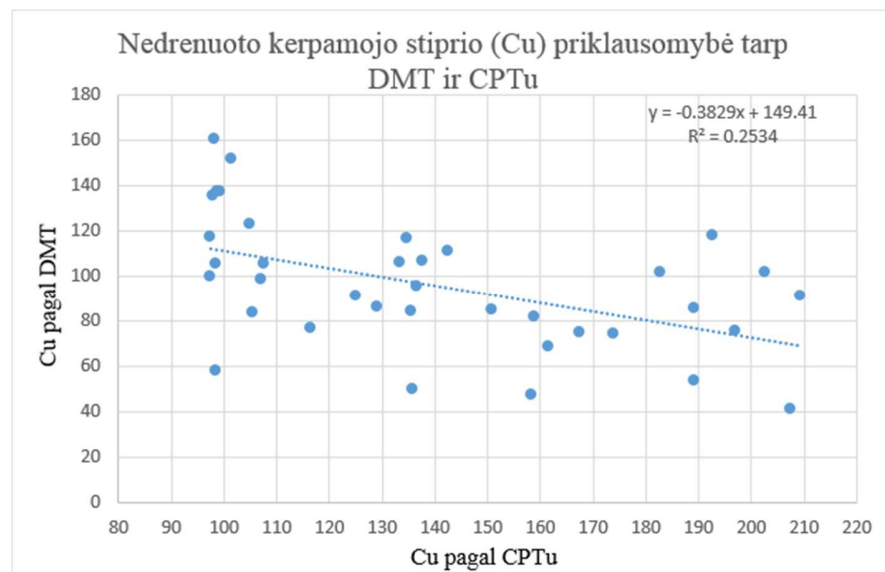
Žemiau pateiktuose grafiniuose prieduose (pav. 4.20 – 4.22) yra parodyta priklausomybė tarp pagrindinių rodiklių (OCR, E, c_u) nustatytų statinio zondavimo su porinio slėgio bandymo metu ir dilatometrinio bandymo metu.



4.20 pav. Pertankinimo koeficiento (OCR) priklausomybė tarp statinio zondavimo ir dilatometrinio bandymo rodiklių.



4.21 pav. Deformacijų modulio (E) priklausomybė tarp statinio zondavimo ir dilatometrinio bandymo rodiklių.



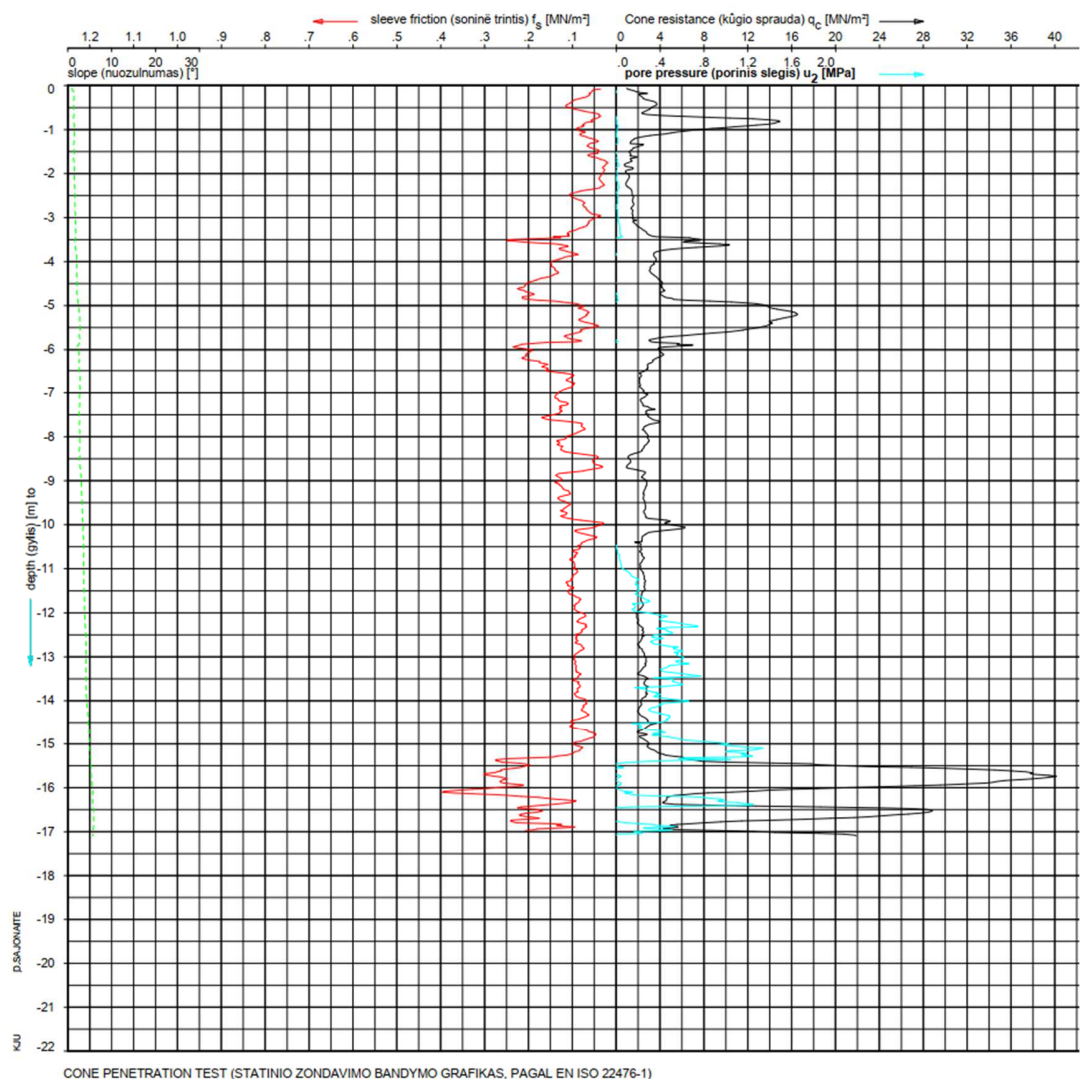
4.22 pav. Nedrenuoto kerpamojo stiprio (c_u) priklausomybė tarp statinio zondavimo ir dilatometrinio bandymo rodiklių.

Atlikta pagrindinių glacialinio grunto parametrų analizė parodė, kad pertankinimo koeficientas ir deformacijų modulis pasižymi silpna priklausomybe. Pertankinimo koeficientui (OCR) nustatyto koreliacijos koeficiento (R) reikšmė buvo – 0,273, kuri parodė silpną priklausomybę tarp skirtingais metodais nustatyto rodiklio. Deformacijų moduliui (E) nustatytas

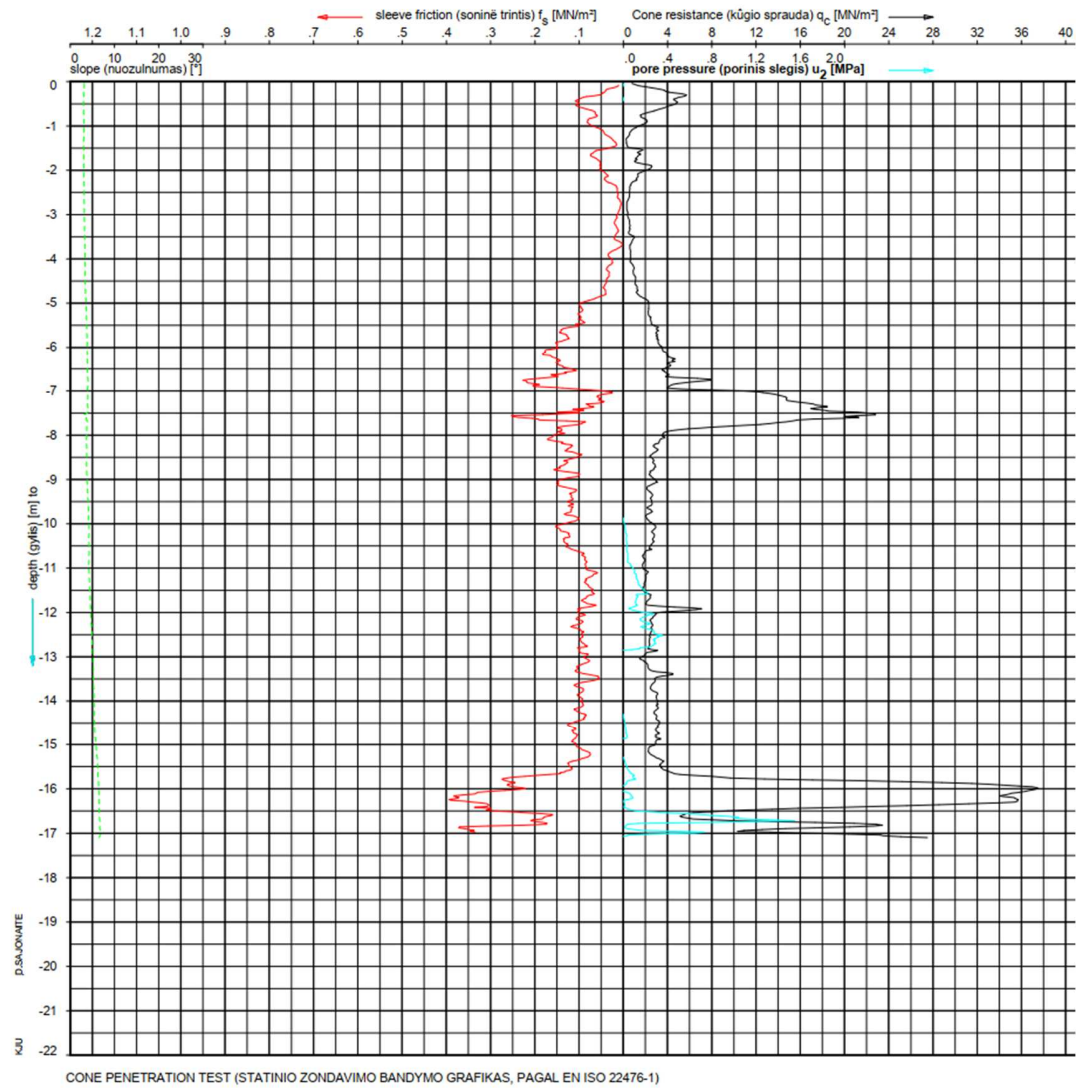
koreliacijos koeficientas buvo $-0,208$, kuris taip pat parodė silpną priklausomybę tarp skirtingais metodais nustatyto rodiklio.

Nedrenuotam kerpamajam stipriui (c_u) nustatyta koreliacijos koeficiento reikšmė buvo $-0,503$, kuri parodė vidutinę priklausomybę, tarp šio rodiklio nustatyto statinio zondavimo ir dilatometrinio bandymo metu.

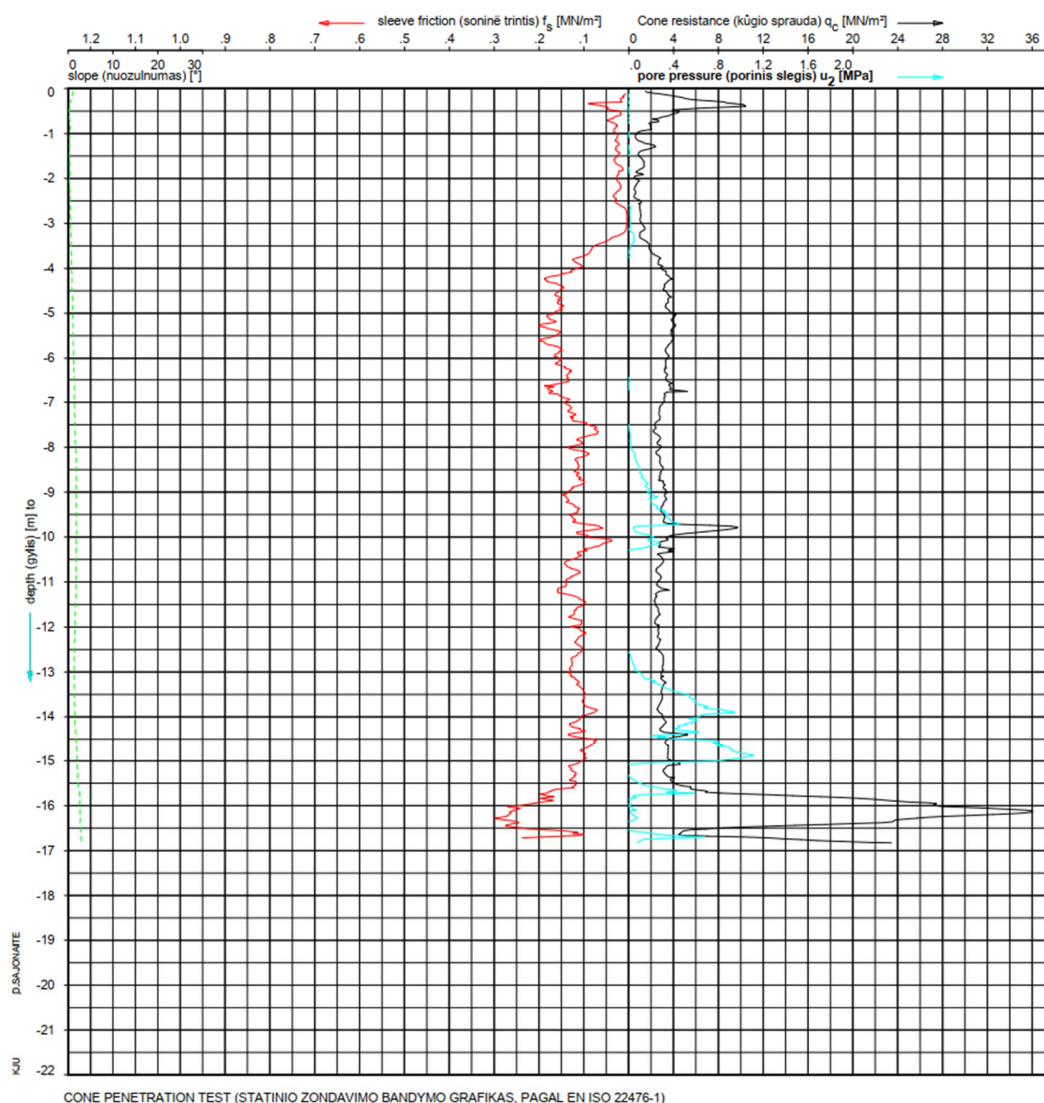
Žemiau pateiktuose grafiniuose prieduose (pav. 4.23 – 4.25) yra parodyta kūginio stiprio, šoninės trinties ir porinio slėgio grafikai.



4.23 pav. Statinio zondavimo su porinio slėgio matavimu kūginio stiprio, šoninės trinties ir porinio slėgio grafikas (vieta Nr. 2)



4.24 pav. Statinio zondavimo su porinio slėgio matavimu kūginio stiprio, šoninės trinties ir porinio slėgio grafikas (vieta Nr. 4)



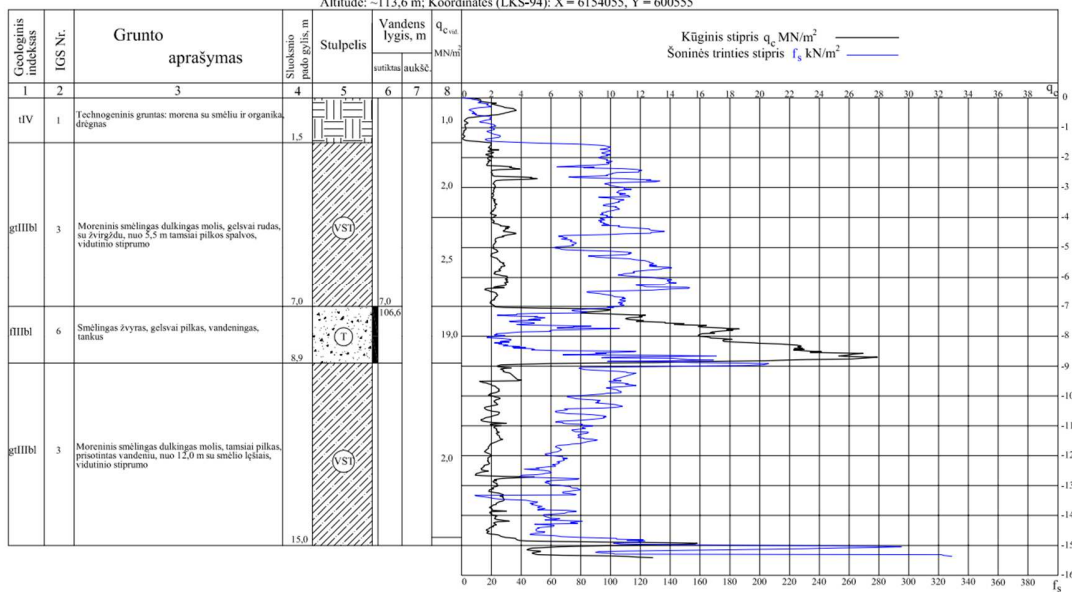
4.25 pav. Statinio zondavimo su porinio slėgio matavimu kūginio stiprio, šoninės trinties ir porinio slėgio grafikas (vieta Nr. 6)

Šiose tyrimų vietose technogeninio grunto storis buvo nuo 3,0 m iki 4,5 m., taip pat visose vietose buvo smėlio tarpfluksnių. Tai puikiai atsispindi visuose grafikuose. Technogeninis gruntas yra labai nevienalytis, todėl jo duomenų vertinti nereikėtų.

Žemiau pateiktuose grafiniuose prieduose (pav. 4.26 – 4.31), yra pateikta statinio elektrinio zondavimo grafikai ir gręžinių stulpelio aprašymai. Tyrimų vietos parodytos 3.1 pav.

GREŽINYS IR STATINIS ZONDAS NR. 1

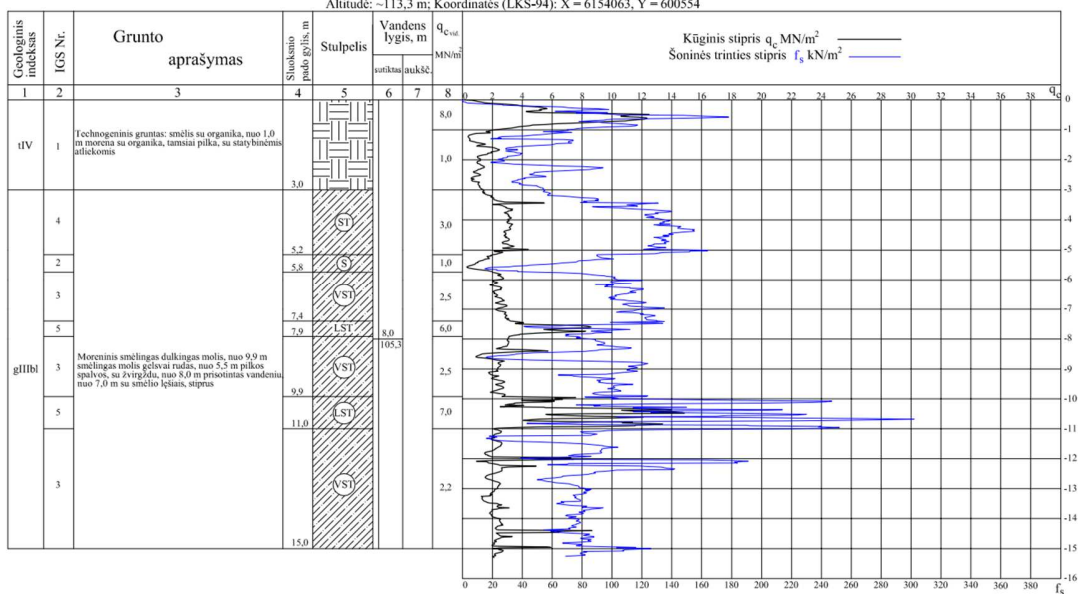
Altitudė: ~113,6 m; Koordinatės (LKS-94): X = 6154055, Y = 600555



4.26 pav. Statinio elektrinio zondavimo grafikas ir gręžinio aprašymas (vieta Nr. 1)

GREŽINYS IR STATINIS ZONDAS NR. 2

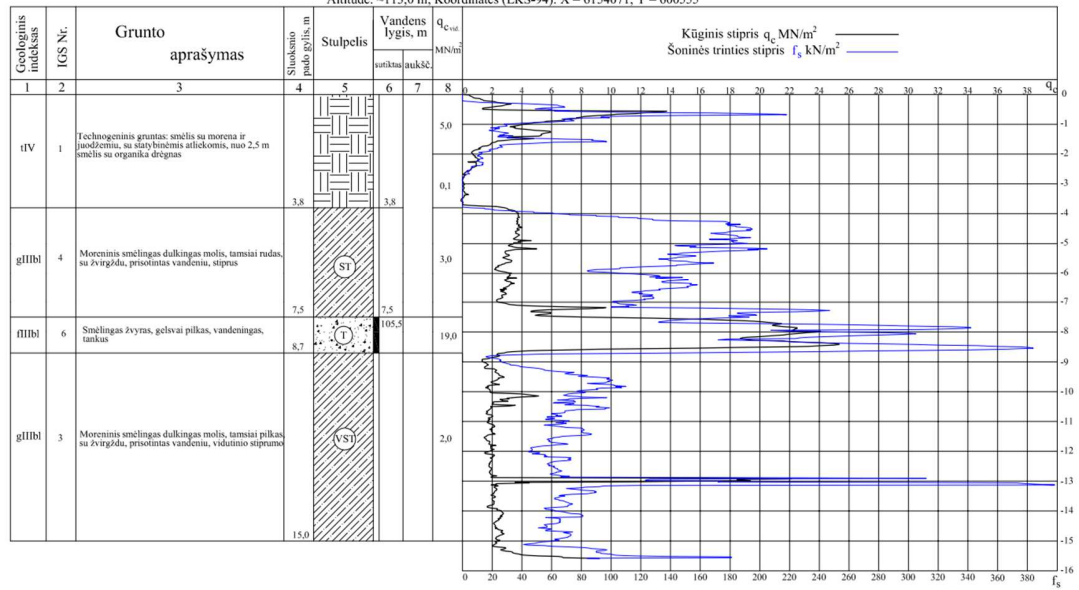
Altitudė: ~113,3 m; Koordinatės (LKS-94): X = 6154063, Y = 600554



4.27 pav. Statinio elektrinio zondavimo grafikas ir gręžinio aprašymas (vieta Nr. 2)

GRĘŽINYS IR STATINIS ZONDAS NR. 3

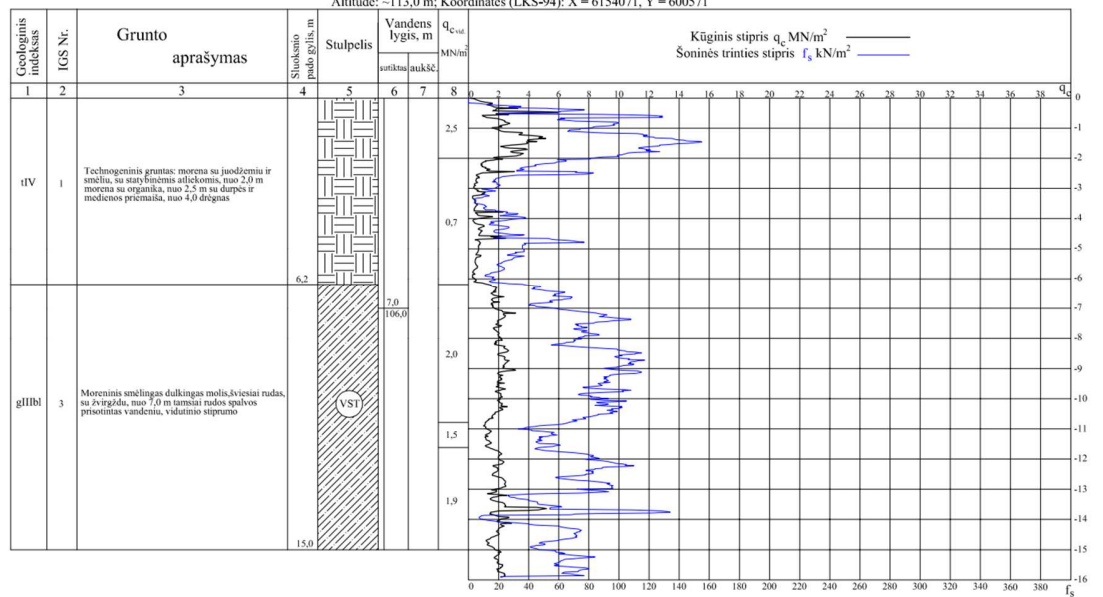
Altitudė: ~113,0 m; Koordinatės (LKS-94): X = 6154071, Y = 600555



4.28 pav. Statinio elektrinio zondavimo grafikas ir gręžinio aprašymas (vieta Nr. 3)

GRĘŽINYS IR STATINIS ZONDAS NR. 4

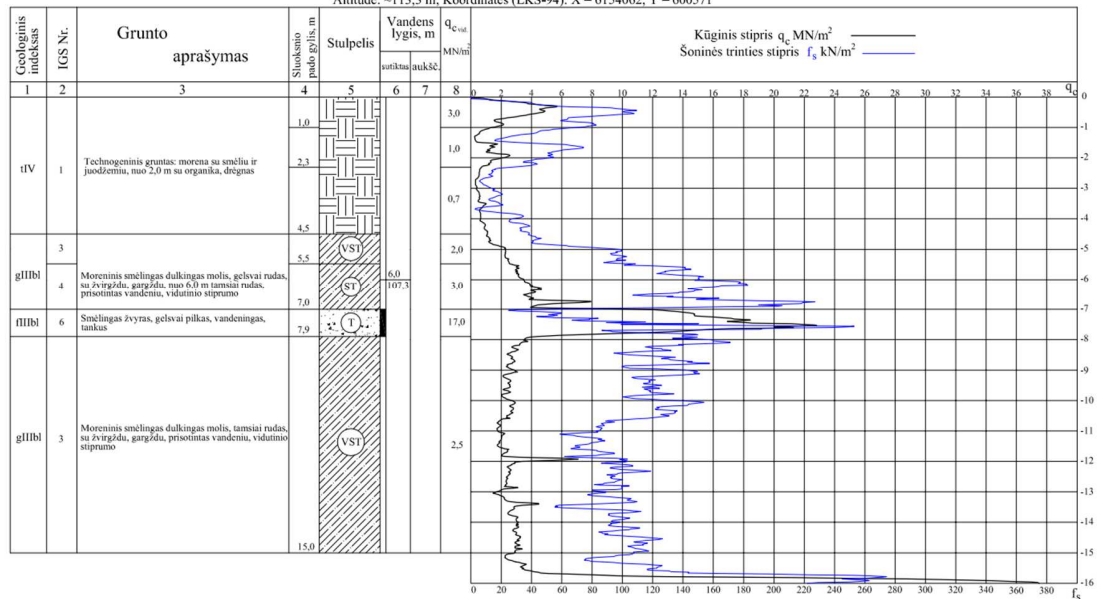
Altitudė: ~113,0 m; Koordinatės (LKS-94): X = 6154071, Y = 600571



4.29 pav. Statinio elektrinio zondavimo grafikas ir gręžinio aprašymas (vieta Nr. 4)

GREŽINYS IR STATINIS ZONDAS NR. 5

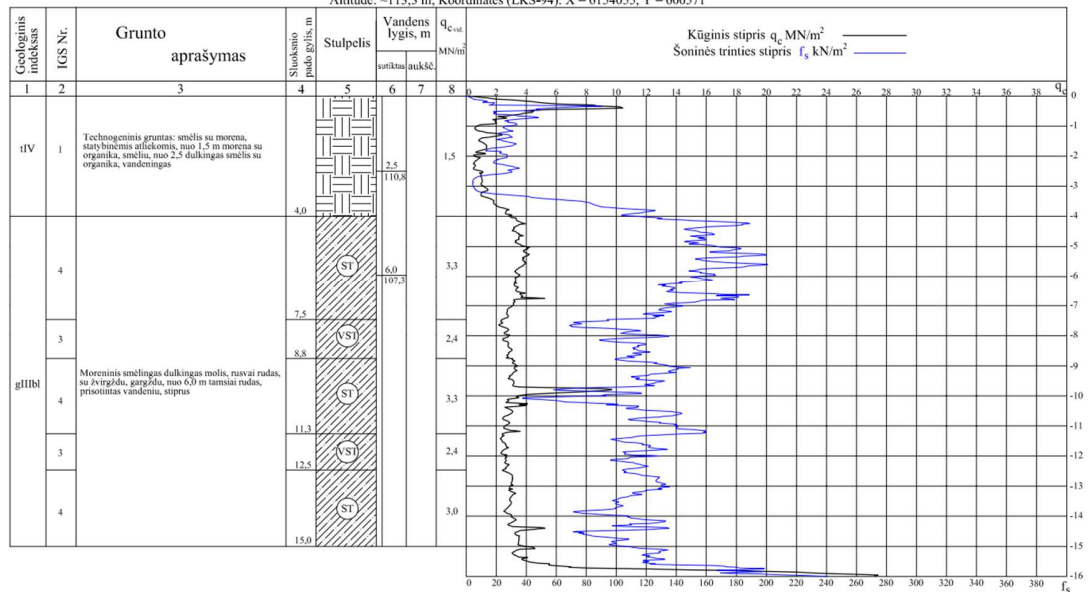
Altitudė: ~113,3 m; Koordinatės (LKS-94): X = 6154062, Y = 600571



4.30 pav. Statinio elektrinio zondavimo grafikas ir gręžinio aprašymas (vieta Nr. 5)

GREŽINYS IR STATINIS ZONDAS NR. 6

Altitudė: ~113,3 m; Koordinatės (LKS-94): X = 6154055, Y = 600571



4.31 pav. Statinio elektrinio zondavimo grafikas ir gręžinio aprašymas (vieta Nr. 6)

4.3 Laboratorinių tyrimų rezultatai

Laboratoriniai tyrimai buvo atliekami tiek suardytos, tiek nesuardytos sandaros grunto mėginiams. Nustatyti grunto rodikliai pateikti lentelėje Nr. 6.

6 lentelė. Laboratorinių tyrimų metu nustatyti grunto rodikliai

Grunto pavadinimas	Gamtinis tankis ρ , Mg/m ³	Savitasis sunkis γ , kN/m ³	Kietų dalelių tankis ρ_s , Mg/m ³	Gamtinis drėgnis w , vnt. d.	Odometrinis deformacijų modulis E_{oed} , MN/m ²	Vidinės trinties kampas φ , °	Sankiba c , kPa	Stiprumas gniuždant, qc , kPa	Nedrenuotas grunto kerpamojo stipris c_u , kPa	Takumo riba W_L , vnt. d.	Koefiavimo riba W_p , vnt. d.	Plastingumo rodiklis I_p , vnt. d.	Konsistencijos rodiklis I_c , vnt. d.	Soties vandens laipsnis S_r , vnt. d.
Smėlingas dulkinas molis (moreninis)	2,14-2,22	21,4-22,2	2,72-2,73	0,129-0,167	2,8-21,0	13-22	59-109	165,7-274,1	82,8-137,1	0,273-0,333	0,133-0,149	0,140-0,183	0,905-0,970	0,91-0,94
Smėlingas žvyras	1,8	18,0	2,67	0,109	-	39	-	-	-	-	-	-	-	-

Moreninio grunto vertės: gamtinio tankio (ρ) vertės: 2,14 – 2,22 Mg/m³, savitojo sunkio (γ) vertės: 21,4 – 22,2 kN/m³, kietų dalelių tankio (ρ_s) vertės: 2,72 – 2,73 Mg/m³, gamtinio drėgnio (w) vertės: 0,129 – 0,167 vnt. d., odometrinių deformacijų modulio (E_{oed}) vertės: 2,8 - 21,0 MN/m², vidinės trinties kampo (φ) vertės: 13 – 22°, sankibos (c) vertės buvo: 59 – 109 kPa, stiprumo gniuždant (qc) vertės: 165,72 – 274,16 kPa, nedrenuoto grunto kerpamojo stiprio (c_u) vertės: 82,86 – 137,08 kPa, takumo ribos (W_L) gautos vertės: 0,273 – 0,333 vnt. d., plasticumo ribos (W_p) gautos vertės: 0,133 – 0,150 vnt. d., plasticumo rodiklio (I_p) gautos vertės: 0,140 – 0,183 vnt. d., konsistencijos rodiklio (I_c) gautos vertės: 0,905 – 0,970 vnt. d., soties vandens laipsnio (S_r) gautos vertės: 0,91 – 0,96 vnt. d.

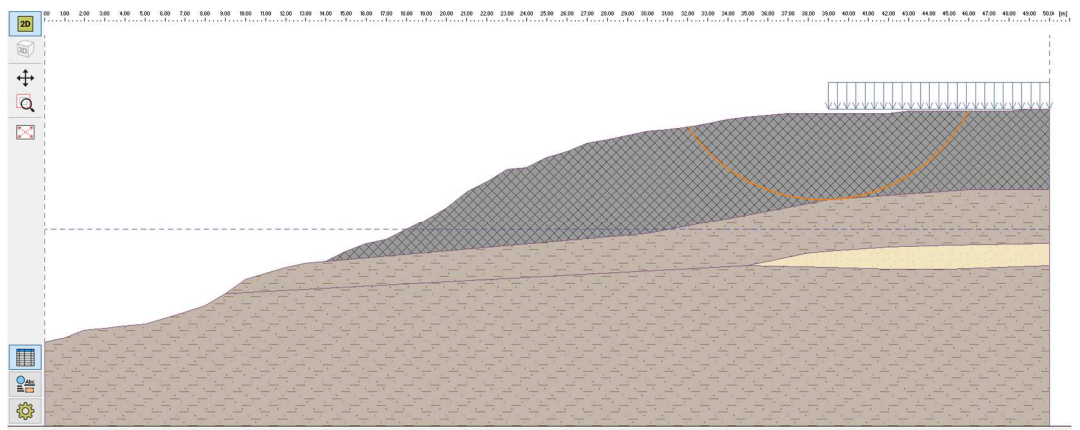
Smėlingo žvyro nustatytas gamtinis tankis (ρ) yra 1,8 Mg/m³, savitasis sunkis (γ) yra 18,0 kN/m³, kietų dalelių tankis (ρ_s) yra 2,67 Mg/m³, gamtinis drėgnis (w) yra 0,109 vnt. d. ir vidinės trinties kampas (φ) yra 39°.

5. Šlaito stabilumo įvertinimas

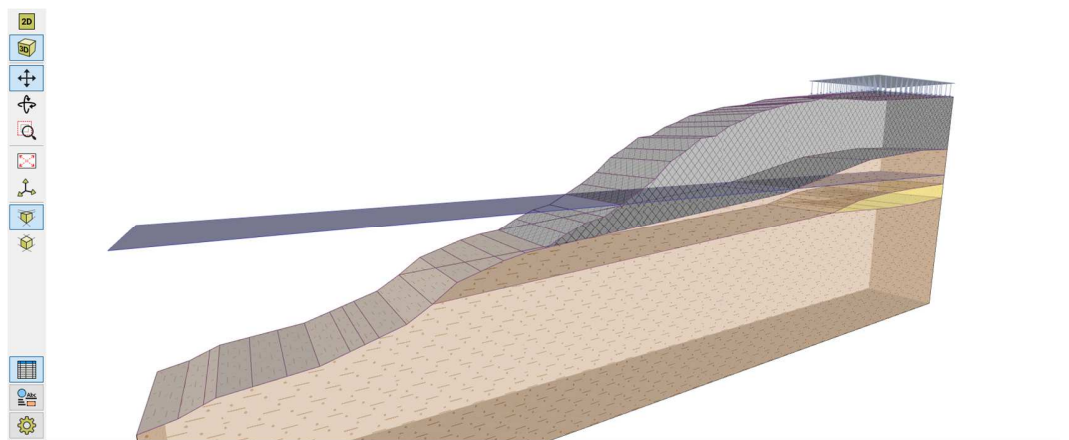
5.1 Šlaito stabilumo modelis

Šlaito modeliavimas buvo atliekamas su “GEO5 slope stability“ programa, kurią sukūrė Čekijos įmonė “Fine spol. s r. o“. Tai populiarī programinė įranga, ji yra naudojama daugiau negu 130 pasaulio šalių ir daugiau negu 5000 vartotojų. Ši programinė įranga turi daug atmainų, skirtas įvairioms geotechninėms sritims. Ji yra gana nesunkiai įsisavinama ir puikiai tinka skirtingoms geologinėms sąlygoms naudoti.

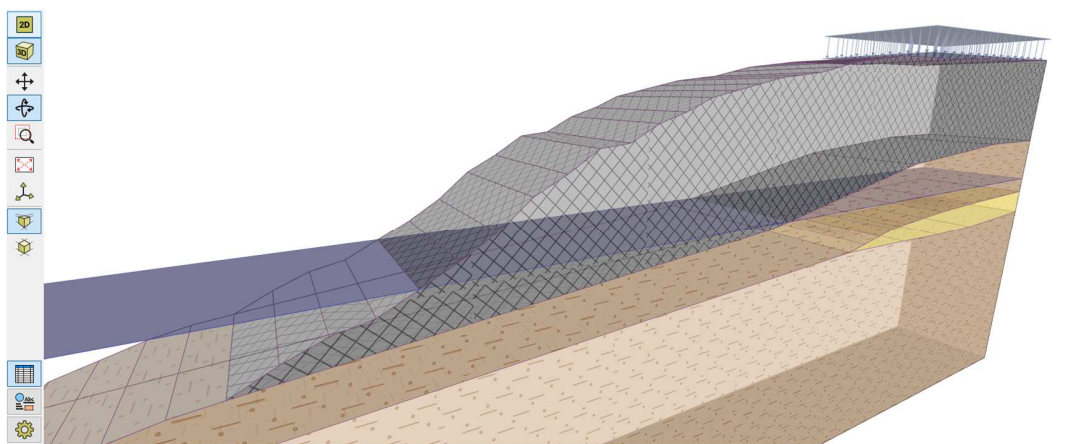
Programą buvo nubraižytas tyrinėjamos vietovės šlaito modelis tiek 2D, tiek 3D vaizdu (5.1-5.5 pav.). Taip pat nustatytas šlaito saugos koeficientas (F_s), naudojant darbe pateiktus grūntų fizinius ir mechaninius parametrus.



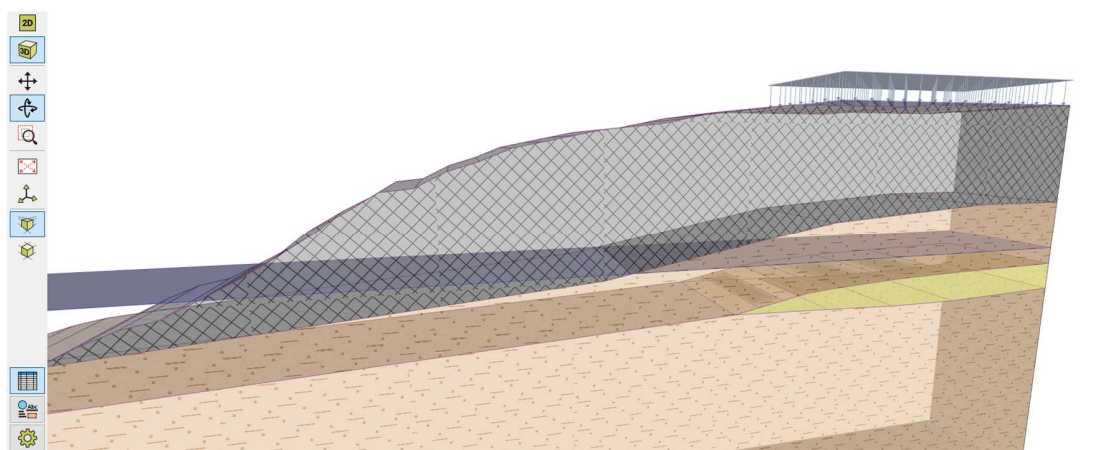
5.1 pav. 2D šlaito modelio vaizdas (autoriaus nuotr.).



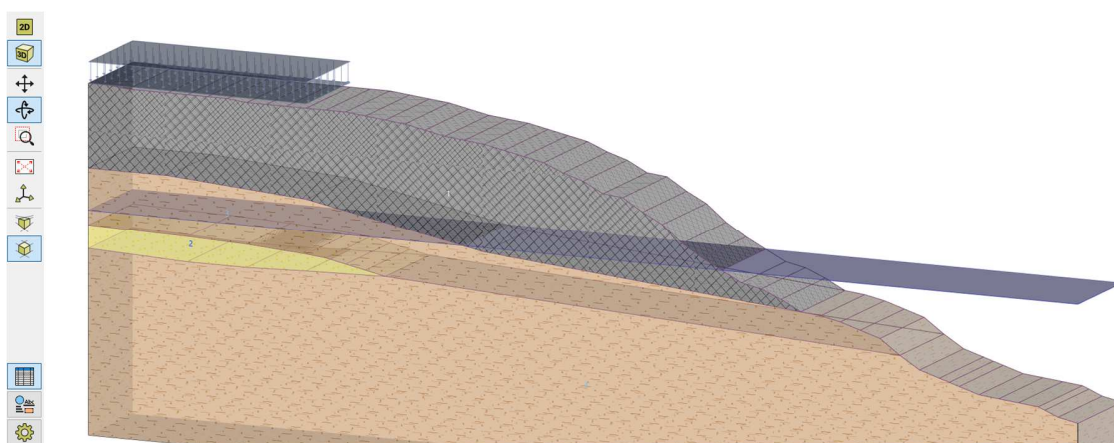
5.2 pav. 3D šlaito modelio vaizdas (autoriaus nuotr.).



5.3 pav. 3D šlaito modelio vaizdas (autorius nuotr.).



5.4 pav. 3D šlaito modelio vaizdas (autorius nuotr.).

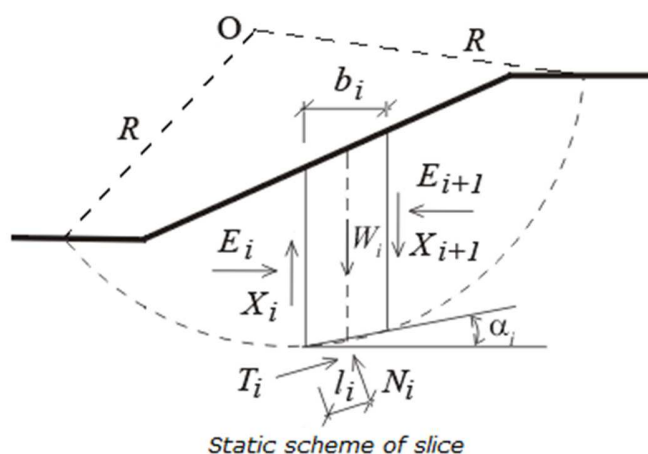


5.5 pav. 3D šlaito modelio vaizdas (autorius nuotr.).

Tyrinėjamos teritorijos fiziniai - erdviniai matmenys buvo išmatuoti vietoje tiesiogiai ir paimti iš literatūros. Fizinės ir mechaninės gruntų savybės buvo gautos atliekant lauko bandymus, tiesioginiais ir netiesioginiais inžinieriais geologiniais metodais ir laboratoriniais bandymais. Visų šių rodiklių reikėjo kuriant šlaido modelį.

Nubraižius šlaido fizinį modelį, kitas žingsnis buvo šlaido saugumo koeficiento (F_s) skaičiavimas, kuris nusako šlaido stabilumą. Iš ankstesnių skyrių yra žinoma, kad šlaidas yra nestabilus, t.y. jo saugumo koeficientas yra mažesnis negu 1,5. Todėl buvo įdomu pamatyti, koks bus šlaido saugumo koeficientas šiame modelyje. Kaip jau buvo minėta pirmame skyriuje, atliekant ekspertizę 1992 metais, buvo suskaičiuotas šlaido saugumo koeficientas, todėl bus galima juos palyginti, žinoma atsižvelgiant į tam tikrus skirtumus.

Skaičiuojant šlaido saugos koeficientą buvo pasirinktas cilindro (apskritimo) formos slysmo paviršius, kuris gali susidaryti šlaitą sudarant smulkiems gruntams. Atliekant skaičiavimus šiuo būdu yra priimama, kad gruntas esantis virš slysmo paviršiaus yra padalijamas į atskirus blokus, visada pagal vertikalią plokštumą. Tada yra skaičiuojamos grunto blokų atsparumas šlyčiai ir ardymo įtempio šlytis plokštumoje ir imamas jų santykis, taip yra gaunamas šlaido saugos koeficientas. Visiems blokams saugumo koeficientas priimamas vienodas. Skaičiavimai buvo atliekami optimizuotos analizės tipu, kuris suranda labiausiai kritinius, galinčius susidaryti slysmo paviršius, t. y. galimas susidaryti blogiausias sąlygas. Paveiksle 5.6 parodyta atskiro bloko bendra skaičiavimo schema esant cilindro formos slysmo paviršiui.



5.6 pav. Bloką veikiančių jėgų bendra schema, esant apskritimo formos slysmo paviršiui (GEO5), kur X_i ir E_i yra jėgos veikiančios tarp blokų, T_i ir N_i yra jėgos veikiančios slysmo paviršiuje atskiruose segmentuose ir W_i yra bloko svoris.

Šlaito saugumo koeficiento skaičiavimas buvo atliekamas penkiais metodais: Bishop, Fellenius/Petterson, Spencer, Janbu, Morgenstern - Price. Šie metodai turi panašumų ir skirtumų, bet jie yra tinkami skaičiuoti šlaito saugumo koeficientą, esamomis sąlygomis. Trumpai apie šiuos metodus ir jų skaičiavimo metodikas žemiau.

Supaprastintas Bishop metodas priima, kad tarp gretimų blokų, veikiančios trinties jėgos yra lygios nuliui, o blokus veikiančios jėgos yra tik horizontalios (Bishop, 1955). Saugumo koeficiento skaičiavimas atliekamas bandymo ir priartėjimo metodu, todėl šis metodas dažnai naudojamas praktikoje. Metodo skaičiavimo galutinė lygtis pateikta 5.7 pav.

$$FS = \frac{1}{\sum_i W_i \cdot \sin \alpha_i} \cdot \sum_i \frac{c_i \cdot b_i + (W_i - u_i \cdot b_i) \cdot \tan \varphi_i}{\cos \alpha_i + \frac{\tan \varphi_i \cdot \sin \alpha_i}{FS}}$$

5.7 pav. Bishop metodo šlaito saugumo koeficiento (Fs) skaičiavimo galutinė lygtis (Bishop, 1955), kur u_i yra porinis bloko slėgis, c_i , φ_i yra grunto sankiba ir vidinės trinties kampas, W_i yra bloko svoris, α_i yra slysmo paviršiaus segmento kampas, b_i yra horizontalus bloko plotis.

Fellenius/Petterson metodas, dar žinomas kaip švediškas, priima tik bendrą pusiausvyros jėgų lygybės lygtį, slydimo paviršiaus centro atžvilgiu, šis metodas neatsižvelgia į horizontalias ir vertikalias jėgas veikiančias tarp blokų, paprastai jos nevertinamos (Petterson, 1955). Skaičiuojant šiuo metodu yra padaroma daug teorinių prielaidų, todėl paprastai šlaito saugumo koeficientas gaunasi mažesnis, negu naudojant kitus metodus. Todėl naudoti vien tik šį metodą yra nerekomenduojama. Metodo skaičiavimo galutinė lygtis pateikta 5.8 pav.

$$FS = \frac{1}{\sum_i W_i \cdot \sin \alpha_i} \cdot \sum_i [c_i \cdot l_i + (N_i - u_i \cdot l_i) \cdot \tan \varphi_i]$$

5.8 pav. Fellenius/Petterson metodo šlaito saugumo (Fs) skaičiavimo lygtis (Petterson, 1955), kur u_i yra porinis bloko slėgis, c_i , φ_i yra grunto sankiba ir vidinės trinties kampas, W_i yra bloko svoris, N_i yra slysmo paviršiaus segmento normalinė jėga, α_i yra slysmo paviršiaus segmento kampas, l_i yra slysmo paviršiaus segmento ilgis.

Spencer metodas atsižvelgia į jėgas, esančias tarp blokų. Tarp blokų veikiančios šlyties ir normalinės jėgos turi pastovų polinkio kampą, iš šio polinkio kampo iteracijos metodu yra

apskaičiuojamas šlaito saugos koeficientas (Spencer, 1967). Šis metodą galima naudoti seismiškai aktyviuose zonuose, nes jis atsižvelgia į žemės drebėjimų įtaką šlaitams.

Janbu metodas taip pat atsižvelgia į jėgas veikiančias tarp blokų, šiame metode yra atsižvelgiama į pusiausvyros jėgų lygybės lygtį tiek horizontalia tiek vertikalia kryptimi ir pusiausvyros momento lygtį visuose blokuose, išskyrus viršutinį. Šio metodo esmė yra padėties pasirinkimo, jėgų veikiančių tarp blokų (Janbu, 1954). Šlaito saugumo koeficientas yra randamas iteruojant jėgas, veikiančias tarp blokų ir paskaičiuojant šių jėgų polinkio kampus. Šį metodą galima taip pat naudoti seismiškai aktyviuose zonuose.

Morgenstern-Price metodas irgi atsižvelgia į jėgas, esančias tarp blokų. Šlyties ir normalinės jėgos veikiančios tarp blokų, turi skirtingus skirtingus polinkio kampus kiekviename bloke (pusė sinuso funkcijos vertės), iš šių jėgų veikiančių tarp blokų, polinkių kampų iteracijos metodu yra randamas šlaito saugumo koeficientas (Morgenstern and Price, 1965).

Šlaito saugumo koeficientas (F_s) buvo skaičiuojamas trimis atvejais, t. y. užduodant šlaito piltinio grunto savybes nuo minimalių iki maksimalių reikšmių, visos reikšmės pateiktos 7 lentelėje. Natūralaus smulkaus ir rupaus grunto parametrai buvo užduodami vienodi, t. y. tokie kokie buvo gauti atlikus laboratorinius bandymus (7 lentelė).

7 lentelė. Užduotos technogeninio grunto reikšmės.

	Technogeninio grunto parametrai		
	Savitasis sunkis (γ) kN/m ³	Vidinės trinties kampas (ϕ) °	Sankiba (c) kPa
1 atvejis	15,0	5	30
2 atvejis	17,5	6,5	34
3 atvejis	20,0	8	38

Šios technogenio grunto fizinių ir mechaninių savybių vertės buvo pasirinktos, atsižvelgus į jo sudėtį, stiprumą ir teritorijos bendrą gruntų paplitimą.

Pirmojo atvejo šlaito saugumo koeficientai pateikti pateikti (8 lentelėje).

8 lentelė. Šlaito saugumo koeficientai gauti pirmuoju atveju.

	Nustatymo metodas	Šlaito saugumo koeficientas (F_s)
1	Bishop	0,78
2	Fellenius/Peterson	0,70
3	Spencer	0,77
4	Janbu	0,77
5	Morgenstern-Price	0,77

Pirmuoju atveju mažiausias šlaito saugumo koeficientas (Fs) buvo 0,7 gautas Fellenius/Peterson metodu, o didžiausias buvo 0,78 gautas Bishop metodu. Visais metodais gautos reikšmės yra panašios išskyrus Fellenius/Peterson metodą, kur buvo gautas 10 procentų mažesnė reikšmė.

Antrojo atvejo šlaito saugumo koeficientai (Fs) pateikti (9 lentelėje).

9 lentelė. Šlaito saugumo koeficientai (Fs) gauti antruoju atveju.

	Nustatymo metodas	Šlaito saugumo koeficientas (Fs)
1	Bishop	0,93
2	Fellenius/Peterson	0,83
3	Spencer	0,93
4	Janbu	0,93
5	Morgenstern-Price	0,93

Antruoju atveju mažiausias šlaito saugumo koeficientas (Fs) buvo gautas naudojant taip pat Fellenius/Peterson metodą – 0,83, didžiausias buvo 0,93 gautas visais likusiais metodais. Taip pat kaip ir pirmuoju atveju, buvo gautos panašios koeficiento reikšmės, išskyrus Fellenius/Peterson metodą. Jis buvo apie 10 procentų mažesnis už kitus.

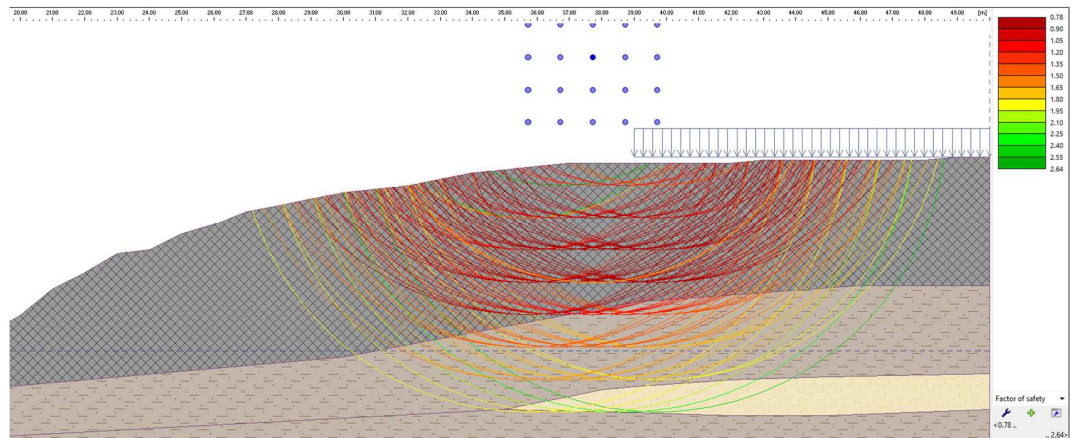
Trečiojo atvejo šlaito saugumo koeficientai (Fs) pateikti (10 lentelėje).

10 lentelė. Šlaito saugumo koeficientai (Fs) gauti trečiuoju atveju.

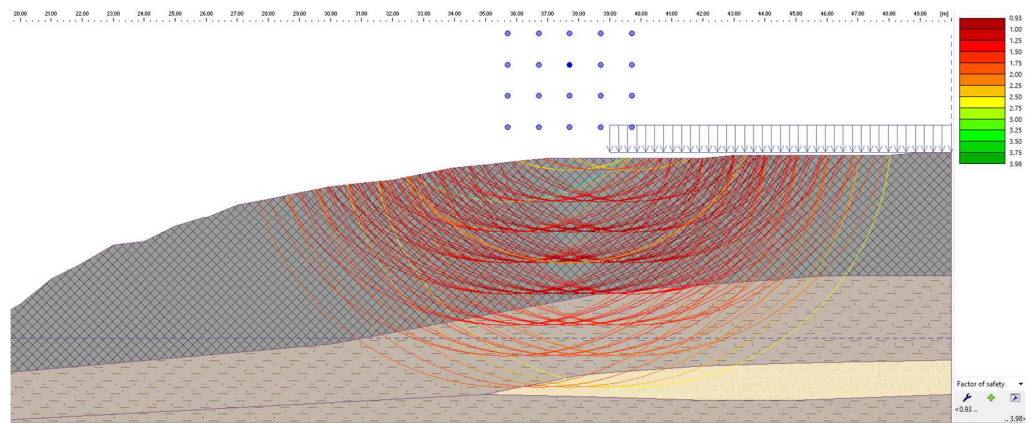
	Nustatymo metodas	Šlaito saugumo koeficientas (Fs)
1	Bishop	1,08
2	Fellenius/Peterson	0,96
3	Spencer	1,08
4	Janbu	1,08
5	Morgenstern-Price	1,08

Trečiuoju atveju vėl įvyko tas pats, mažiausias šlaito saugumo koeficientas buvo gautas Fellenius/Peterson metodu: 0,96. Didžiausias ir tokios pačios reikšmės 1,08. Čia vėlgi mažiausia reikšmė buvo apie 10 procentų mažesnė už likusias.

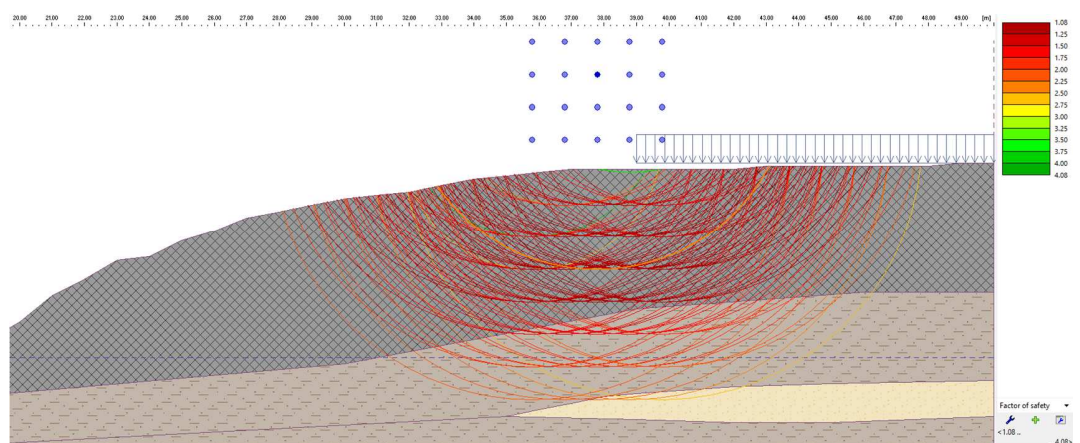
Šlaito stabilumo analizė parodė, kad didžiausia tikimybė susidaryti slysmo paviršiui yra technogeniniame grunte (5.9 – 5.11 pav.). Jame yra didžiausia tikimybė, kad gali įvykti žymus grunto pajudėjimas, kuris dar labiau padidintų jau esamas pastato deformacijas arba blogiausiu atveju įvyktų pastato griūtis. Šiuo metu, kiek yra žinoma, nevyksta jokie šlaito stabilumo padidinimo ir sutvirtinimo darbai. Kas kelia pavojų gyventojams, laiko atžvilgiu.



5.9 pav. Slysmo paviršiai galintys susidaryti šlaite (pirmojo atvejo duomenys)



5.10 pav. Slysmo paviršiai galintys susidaryti šlaite (antrojo atvejo duomenys)



5.11 pav. Slysmo paviršiai galintys susidaryti šlaite (trečiojo atvejo duomenys)

Gauti šlaito saugumo koeficientai (F_s) patvirtino faktą, kad šlaitas yra nestabilus, t. y. gautas koeficientas buvo mažesnis už 1,5. Kas yra riba daugumoje pasaulio valstybių, skirianti stabilų

šlaitą nuo nestabilaus. Ši išvada jau buvo žinoma pradėjus rašyti šį darbą ir padarius šlaito stabilumo modelį. Šis šlaito modelis ją patvirtino.

1992 metais atlikus šlaito ir pastato ekspertizę, buvo paskaičiuotas šlaito saugumo koeficientas, jo reikšmė buvo 1,00-1,09, kuri irgi rodė nestabilumą. Atlikus šlaito tvirtinimo darbus, vėl buvo paskaičiuotas šlaito stabilumo koeficientas, kuris pakilo iki 1,15 ir galiausiai iki 1,68. Lyginant šiame darbe gautus šlaito saugumo koeficientus (F_s), su pradiniu koeficientu gautu 1992 metais, gana panašus buvo gautas trečiuoju atveju.

6. Išvados

1. Teritorijos šlaito stabilumo problemos ir pastato deformacijos prasidėjo 1992 metais. Labiausiai tai įtakojo projektavimo ir statybos klaidos (šlaito performavimas, klaidingas pamatų parinkimas) ir tinkamai neįvertintos aplinkos sąlygos.
2. Šis darbas trumpai nusakė teritorijos šlaito gamtines sąlygas, teritorijos urbanizacijos istoriją ir šlaito stabilumo problemas. Taip pat leido nustatyti šlaitą, sudarančių gruntų fizines ir mechanines savybes įvairiais inžineriniais geologiniais metodais.
3. Šiam darbui buvo sukurtas šlaito stabilumo skaitmeninis modelis, naudojant „GEO5“ programinę įrangą.
4. Nustatyti fiziniai ir mechaniniai natūralaus šlaito grunto parametrai parodė, kad inžinerinės geologinės sąlygos yra gana geros ir šlaito pjūvis yra gana nesudėtingas.
5. Šiame darbe buvo pateiktas šlaito stabilumo modelis, padarytas „GEO5“ programa, kuriuo gautas šlaito saugumo koeficientas (F_s) buvo mažesnis už 1,5. Tai parodė ir patvirtino faktą, kad šlaitas yra nestabilus.
6. Taip pat šlaito stabilumo modelis parodė, kad didžiausia tikimybė susidaryti slysmo paviršiui yra technogeniniame grunte, nors iki šiol dauguma specialistų teigia, kad slysmo paviršius yra tarp glacialinio ir fliuvioglacialinio grunto sluoksnių sankirtos.

Literatūros sąrašas

- Bishop. A. W. 1955. *The use of the slip circle in the stability analysis of slopes*. First technical session: General theory of stability of slopes.
- Broms. B. B, Flodin. N. 1988. *History of soil penetration testing*. International journal of rock mechanics and mining sciences & geomechanics.
- Calabrese. M, Marchetti. S, Monaco. P, Totani. G. 2001. *Use of the Flat Dilatometer test (DMT) in geotechnical design*. University of L'Aquila, Faculty of Engineering, L'Aquila, Italy.
- Dundulis. K. 1992. *Gyvenamo namo Aušros gt. Utenoje pastovumo padidinimo statybos darbų ekspertizės išvada*. Vilniaus universitetas.
- Furmonavičius. L. 1990. *3a gyvenamas namas Utenoje ant šlaito*. Rankraštis.
- Gadeikis. S, Jokšas K, Klizas P, Mokrik. R. 2012. *Geoinžineriniai lauko tyrimų metodai*. Mokomoji knyga. Vilniaus universitetas.
- Janbu. N. O. C. 1954. *Stability analysis of slopes with dimensionless parameters*. PhD thesis. Harvard Soil Mechanics Series 46, Cambridge, USA 1954.
- Marchetti. S. 1980. *In situ tests by flat dilatometer*. Journal of the geotechnical engineering division.
- Petterson. K. E. 1955. *The early history of circular sliding surfaces*. Geotechnique. Volume 5 Issue 4. 275 – 296.
- Powell. J. J. M, Lunne. T, Robertson. P. K. 1997. *Cone-penetration testing in geotechnical practice*. A book. 1st Edition. London.
- Prince. M. A, Morgenstern. N. R. 1965. *The analysis of stability of general slip surfaces*. The Institution of Civil Engineers. London.
- Schmertmann J. H. 1974. *Penetration pore pressure effects on quasi-static cone bearing, qc*. Proceedings of the European Symposium on Penetration Testing. ESOPT, Stockholm, 2.2, 345-51.
- Schmertmann J. H. 1983. *Past, present and future of the DMT*. Proceedings of First international conference on the flat dilatometer. Edmonton, Canada. Mobile augers and research Ltd.
- Spencer. E. 1967. *The method of analysis of the stability of embankments assuming parallel inter-slice forces*. Geotechnique. Volume 17 Issue 1, 11-26.
- Vlasblom. A. 1985. *The electrical penetrometer – A historical account of its development*. Delft Soil Mechanics laboratory.

Tyrinėjimų ataskaitos:

Gadeikis. S. UAB „Geotestus“ (2019). „Daugiabutis gyvenamasis namas Aukštakalnio g. 16, Utenoje III geotechninės kategorijos projektinių inžinerinių geologinių ir geotechninių tyrimų ataskaita“. Vilnius.

„GEO5 slope stability“ programinės įrangos teorinė medžiaga.

Internetiniai šaltiniai:

www.lgt.lt

www.meteo.lt

www.marchetti-dmt.it

www.gouda-geo.com

www.maps.lt

Santrauka

Darbo tema – „Teritorijos Aukštakalnio g. 16, Utenoje inžinerinės geologinės sąlygos ir šlaito stabilumo vertinimas“.

Šio darbo tikslas - įvertinti teritorijos inžinerines geologines sąlygas, atlikti gautų duomenų analizę ir įvertinti šlaito stabilumą.

Tyrimų metu buvo tirtos glacialinės viršutinio pleistoceno viršutinio Nemuno ledynmečio Baltijos stadijos, ledyno pakraščio ruožo glacialinės nuogulos (gIIIb1) ir viršutinio pleistoceno viršutinio Nemuno ledynmečio Baltijos stadijos priledyninės fluvio-glacialinės nuogulos (fIIIb1).

Inžinerinių geologinių lauko tyrimų metu buvo atliktas statinis zondavimas, statinis zondavimas su porinio slėgio matavimu, dilatimetriniai bandymai, šnekinis ir koloninis gręžimas. Šių tyrimų metu gauti parametrai: grunto savitasis sunkis (γ), efektyvusis vertikalus įtempis (σ'), porinis slėgis (u), tankumo rodiklis (I_d), šoninio slėgio koeficientas (K_d), dilatimetrinis deformacijų modulis (E_d), rimties koeficientas (K_o), pertankinimo koeficientas (OCR), standumo modulis (M) ir nedrenuotas kerpamasis stipris (c_u), deformacijų modulis (E). Laboratorinių tyrimų metu gauti parametrai: gamtinio tankis (ρ), savitasis sunkis (γ), kietų dalelių tankis (ρ_s), gamtinis drėgnis (w), odometrinis deformacijų modulis (E_{oed}), vidinės trinties kampas (ϕ), sankiba (c), stiprumas gniuždant (qc), nedrenuotas grunto kerpamasis stipris (c_u), takumo ribos (w_L), plastiškumo ribos (w_P), plastingumo rodiklis (I_p), konsistencijos rodiklis (I_c), soties vandeniui laipsnis (S_r).

Atlikus bandymus ir išanalizavus duomenis paaiškėjo, kad skirtingais lauko tyrimų metodais gauti grunto parametrai silpnai koreliavosi. Panaudojant šiuos gautus grunto parametrus (savitąjį sunkį, sankibą ir vidinės trinties kampą) buvo sukurtas šlaito stabilumo modelis su „GEO5 Slope stability“ programine įranga, kuris parodė, kad gautas šlaito saugumo koeficientas (F_s) yra mažesnis už 1,5 ir taip patvirtino faktą, kad šlaitas yra nestabilus. Taip pat šlaito stabilumo modelis, parodė, kad didžiausia tikimybė susidaryti slysmo paviršiui yra šlaito technogeninio grunto sluoksnyje.

Summary

Work theme – engineering geological conditions and slope stability evaluation of Aukštakalnio g. 16, Utena territory.

The main aim of work: evaluate engineering geological conditions of territory, fulfil data analysis and evaluate slope stability.

Tests and analysis of the data showed that the soil parameters obtained by different field research method were almost uncorrelated.

Using there obtained soil parameters (unit weight, cohesion, angle of internal friction) a slope stability model was developed with „GEO5 Slope stability“ software, which showed that the slope safety factor (F_s) is less than 1.5 and thus confirmed the fact that the slope is unstable. Also the slope stability model showed that the highest probability of slip surface formation is in the technogenic soil layer.