



VILNIAUS UNIVERSITETAS

CHEMIJOS IR GEOMOKSLŲ FAKULTETAS

HIDROGEOLOGIJOS IR INŽINERINĖS GEOLOGIJOS KATEDRA

**CHEMINĖS TARŠOS POVEIKIS MORENINIŲ GRUNTŲ  
FIZIKINĖMS IR MECHANINĖMS SAVYBĖMS**

**THE EFFECT OF CHEMICAL POLLUTION ON THE  
PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF MORaine  
SOILS**

Aplinkos hidrogeologijos ir geoinžinerijos magistro baigiamasis darbas

Darbo vadovas: doc. dr. Saulius Gadeikis

# Turinys

ĮVADAS .....	3
1. Užterštų gruntų tyrimų pasaulyje apžvalga.....	5
2. Tiriamų gruntų teritorijos inžinerinės geologinės sąlygos .....	11
2.1 Akmenės rajono geomorfologija.....	11
2.2 Tiriamų gruntų teritorijos geologinė sandara .....	13
2.3. Tiriamojo objekto teritorijos hidrogeologija .....	14
2.4. Tiriamosios teritorijos gamtiniai reiškiniai ir procesai.....	15
2.5. Tiriamosios teritorijos gruntų fizinės ir mechaninės savybės .....	15
3. Tyrimo metodikos aprašymas .....	17
3.1 Bandinių pasiruošimas .....	17
3.2 Bandinių užteršimas cheminėmis medžiagomis .....	18
3.3 Bandinių tyrimai .....	20
4. Tyrimų rezultatai ir analizė .....	23
4.1 Fizikinių savybių nustatymas ir rezultatai .....	23
4.2 Mechaninių savybių nustatymas ir rezultatai.....	27
IŠVADOS .....	29
Literatūra .....	30
<b>Santrauka</b> .....	32
<b>Summary</b> .....	33
PRIEDAI .....	34

## IVADAS

Gruntinio vandens užterštumas yra viena iš opiausių aplinkosaugos problemų šiuolaikiniame pasaulyje, turintis tiesioginį poveikį tiek žmonių sveikatai, tiek aplinkai. Tačiau, svarbu nepamiršti, kad ne mažiau reikšmingas yra ir pačio grunto užterštumas. Grunto tarša gali turėti ilgalaikių pasekmių ekosistemoms, pakenkti augalijai ir gyvūnijai, bei daryti neigiamą įtaką žemės naudojimo efektyvumui ir kokybei. Be to, gruntas, užterštas sunkiaisiais metalais, naftos produktais ar kitais kenksmingais junginiais, gali apsunkinti statybos projektus, nes reikalauja papildomų investicijų ir technologijų teršalams pašalinti. Tiek gruntinio vandens, tiek grunto užterštumas yra glaudžiai susijęs su žmogaus veikla, nes užterštas gruntas keičia savo savybes, todėl būtina taikyti tvarumo principus ir atsakingą požiūrį į aplinkos apsaugą ekologijos ir statybinio sektoriaus kontekste, siekiant užtikrinti žemės išteklių tvarumą ateities kartoms.

Didėjant žmonių vykdomų inžinerinės ir ekonominės veiklos mastams, didėja ir aplinkos užteršimo potencialas įvairiais chemikalais (įskaitant gamtinius ir dirbtinius gruntuos). Todėl ypač svarbu nustatyti, kokia cheminių medžiagų įtaka gruntuos statybinėms savybėms. Teršalų šaltiniai gali būti įvairūs: šiukšlynai, degalinės, seni kariniai objektai, geležinkelio linijos, naftotiekiai, pramonės objektai, pesticidų saugyklos ir pan. Naftos produktų išsiliejimai daro pražūtingą poveikį visuomenės ekonomikai ir natūraliai aplinkai. Jūrinių gręžimo platformų "Deepwater Horizon" naftos išsiliejimas 2010 m. ir "Exxon Valdez" 1989 m. yra didžiausios avarijos padariusios labai didelę žalą aplinkai. Nustatyti naftos išsiliejimo dydį tiek jūrose, tiek vidaus vandenyse, ir parengti atitinkamas atkūrimo priemones, atsižvelgiant į pažeistos teritorijos specifiką, yra vienas iš inžinerinės geologijos ir geoaplinkos inžinerijos uždavinių. Tai yra daugialypės prieigos metodas, kuris gali būti atliktas per geologinių pavojų įvertinimą ir aplinkos poveikio analizę. Gali būti ir kitų priežasčių naftos taršai: pavyzdžiui, sąmoningas išsiliejimas dėl Kuveito naftos gamybos įrenginių sunaikinimo per Persijos įlankos karą 1991 m. Grunto užterštumas, kaip vienas iš kritinių taršos atvejų, ne tik keičia grunto chemines, fizikines ir biologines savybes, bet taip pat veikia grunto geotechnines savybes. Be to, taršos plitimas gruntuose, esančiuose pastatų pamatų įtakos zonoje gali sukelti neatitaisomus poveikiu, kurie paveiktų ir esamo statinio konstrukcijų saugumą.

**Taigi šio darbo tikslas:** Ištirti Lietuvos teritorijos dirbtiniai užteršto grunto geotechnines savybes. Tikslui įgyvendinti pasirinktas Vėlyvojo Nemuno ledynmečio glacialinių nuogulų (gIII nm<sub>3</sub>) molinis gruntas, kurio nesuardytos sandaros bandiniai paimti iš Akmenės raj. sav., Kruopių seniūnijos, Laumėnų kaimo teritorijos.

Tiriami gruntai užteršti dirbtinėmis cheminėmis medžiagomis ir laboratoriniais tyrimų bandymais ištirtos jų geotechnines savybės. Dirbtinam užterštumui buvo naudotos tokios cheminės medžiagos: natrio hidroksidas ir dyzelinas. Buvo tiriamos fizikinės savybės: gamtinis drėgnis, gamtinis tankis, kietų dalelių tankis, poringumo koeficientas, plastiškumo riba, takumo riba, plastiškumo rodiklis, takumo rodiklis, konsistencijos rodiklis, bei mechaninės stipruminės savybės - tiesioginio kirpimo metodu – sankiba ir vidinis trinties kampas.

Šiam tikslui įgyvendinti buvo išsikelti uždaviniai:

- Atsivežti nesuardytos sandaros grunto bandinius iš UAB „Geotestus“ gamybinės bazės Vilniuje į „Energetikų mokymo centras“ gruntų tyrimų laboratoriją Kaune, bei atlikti jų atranką.
- Surinkti ir išanalizuoti Vėlyvojo Nemuno ledynmečio glacialinių nuogulų (gIII nm<sub>3</sub>) molinių gruntų, geotechninių savybių duomenis, gautus atlikus neužteršto grunto tyrimus VU Chemijos ir geomokslų fakulteto Gruntų mechanikos laboratorijoje.
- Atlikti dirbtinį grunto užteršimą cheminėmis medžiagomis ir paruošti pasirinkto laiko intervalo gruntų prisotinimą.
- Ištirti užterštų ir prisotintų gruntų geotechnines savybes laboratoriniais tyrimo metodais ir palyginti su neužteršto, gamtinės būsenos gruntų savybėmis.

Molinio gruntų užteršimui buvo naudoti natūralūs bandiniai, monolitai, kurie buvo parsivežti iš UAB „Geotestus“ bazės Vilniuje į Kauną. Bandinių paruošimo ir užteršimo darbai buvo atliekami „Energetikų mokymo centras“ gruntų laboratorijoje Kaune. Atliekant geotechninių savybių tyrimus buvo naudotasi ISO standartų metodika. Bandinių prisotinimas cheminėmis medžiagomis buvo atliktas skirtingomis laiko stadijomis. Iš viso buvo atlikta 42 tankio, drėgnio, plastiškumo drėgnio ir takumo drėgnio nustatymo bandymų. Atlikta 10 tiesioginių kirpimo bandymų.

Gruntų užteršimas buvo pasirinktas paprastas. Bandiniai užteršiami merkiant į chemines medžiagas. Toks metodas buvo pasirinktas, stengiantis atkartoti realiame gyvenime įvykusius nelaimingus atsitikimus, kai išsilieja cheminiai produktai tiesiogiai ant grunto. Buvo parinktas molinio grunto bandinių užteršimo laikymo laikas – 2 savaites ir 1 mėnuo. Tokiais laiko periodais būtų stebimas, cheminių medžiagų poveikio molinio grunto geotechninėms savybėms, pokytis bei būtų prognozuojamas poveikio efektas laiko atžvilgiu. Tyrimų metu tikimasi, kad pavyks nustatyti kokį poveikį padarys cheminės medžiagos molinio grunto savybėms, koks bus skirtumas palyginus su gamtinio molinio grunto savybėmis ir įvardinti kuri cheminė medžiaga paveikė gruntus labiau.

## 1. Užterštų gruntų tyrimų pasaulyje apžvalga

Šiuolaikinė ekologija susiduria su kritine problema - aplinkos užterštumu, kuris daro tiesioginį poveikį tiek natūraliai aplinkai, tiek žmogaus veiklai. Tai yra šiuolaikinės ekologijos iššūkis. Mokslininkai atkreipia dėmesį į šios problemos mastą ir jos neigiamą įtaką geotechninėms grunto savybėms, ypač naftos telkinių ar pramonės objektų apylinkėse, kur naftos nutekėjimai ir avarijos ne tik sukelia grunto taršą, bet ir keičia grunto struktūrą. Manoma, kad naftos tarša silpnina gruntų stiprumą ir pralaidumą, o tai turi neigiamų padarinių tiek ekosistemoms, tiek žmogaus ekonominei veiklai.

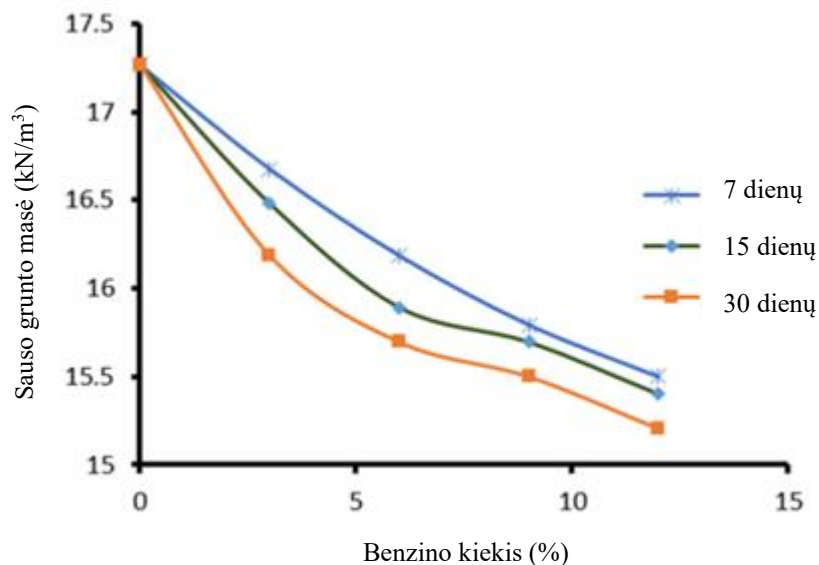
Yazdi et al., (2021) Pietų Mashhad, Irane 2020 metais atliko analizę apie benzino taršos poveikį smulkiagrūdžiam gruntui, nustatydami, kad tai nulemia stiprumo ir drėgno parametrų sumažėjimą. Jonathan Okore Ota (2013) ir Alhassan ir kt. (n.d.) 2013 metais Didžiojoje Britanijoje tyrimai atskleidė, kad naftos tarša veikia molio ir smėlio gruntu skirtingai, kartais netgi galinti padidinti jų stiprumą. Šie tyrimai atskleidžia naftos produktais užteršto grunto tyrimų svarbą geotechnikos ir statybos inžinerijos projektuose. Svarbiausia, naftos produktų, ypač variklio alyvos, poveikis gruntui nevienareikšmiškai rodo, kad kiekvienas užterštumo atvejis reikalauja individualaus vertinimo. Variklio alyvos patekimas į gruntą sumažina jo geotechnines charakteristikas, o tai turi būti atsižvelgta planuojant statybinius projektus užterštuose plotuose. Nepaisant to, tyrimai rodo, kad tam tikromis sąlygomis užterštas gruntas vis dar gali būti pritaikomas geotechniniais tikslais, o tai suteikia pagrindo tolesniems tyrimams ir technologiniams sprendimams šioje srityje. Apibendrinant, naftos produktų tarša kelia rimtą pavojų geotechninėms grunto savybėms, reikalaujant išsamaus mokslinių tyrimų ir technologinių sprendimų ieškojimo. Šie tyrimai padeda geriau suprasti taršos poveikį ir jo valdymo galimybes, atverdami kelią tvariam naudojimui ir užteršto grunto atkūrimui.

Žemiau pateikiama panašių tyrimų apžvalga skirtingose pasaulio kraštuose.

Pietinėje Irano pakrantėje, esančioje prie Persų įlankos, ilgalaikė naftos gavyba, paskutinių metų naftos chemijos pramonės plėtra bei įvykusios avarijos sukėlė reikšmingą teritorijos užterštumą naftos produktais. Dėl šių veiksnių buvo būtina atlikti pakrantės gruntų ir nuosėdų, paveiktų naftos taršos, geocheminių savybių tyrimus, atsižvelgiant į inžinerinius ir aplinkosauginius reikalavimus. Šiam tikslui pasiekti, buvo įgyvendinta plataus masto laboratorinių tyrimų programa, siekiant išsiaiškinti žaliavinės naftos užterštumo įtaką tam tikrų molingų ir smėlingų gruntų, (vidutinio plastiškumo moliui, dulkingam smėliui ir blogai išrūšiuotam smėliui) geotechninėms savybėms (Khomehchian et al., 2007). Gruntai buvo paimti iš Pietinės Irano pakrantės lygumos prie Persijos įlankos. Buvo atlikti gruntų bazinių savybių: Atterbergo ribų, tankumo rodiklio, tiesioginio kirpimo, vienašio gniuždymo bei pralaidumo bandymai, tiek neužterštų, tiek užterštų mėginių, prisilaikant to pačių gruntų būsenos sąlygoms. Užterštų mėginių paruošimui, gruntai buvo sumaišyti su žaliavine nafta 2%, 4%, 8%, 12% ir 16% proporcijomis skaičiuojant nuo sauso grunto svorio. Atterbergo riboms užterštumo padidinimas nuo 2% iki 16%, turėjo neigiamą įtaką: takumo riba sumažėjo 10%, plastiškumo riba sumažėjo 6%, tiesioginio kirpimo bandymų gauti rezultatai taipogi parodė sankibos sumažėjimą didinant užterštumo procentą. Sankiba sumažėjo nuo 0,75 (kg/cm<sup>2</sup>) esant 2% užterštumui iki 0,2 (kg/cm<sup>2</sup>), esant 16% užterštumui, o vidinės trinties kampas padidėjo nuo

26° iki 36°. Drėgnis sumažėjo nuo 16% iki 4%, maksimalus sausasis tankis sumažėjo nuo 1,86 (g/cm<sup>3</sup>) iki 1,82 (g/cm<sup>3</sup>) (Khomehchiyan et al., 2007).

Taip pat Irane atliktų Pietų Mashhad teritorijoje benzinu užteršto dulkingo grunto poveikio tyrime atskleidžiama, kad tarša ne tik mažina vidinės trinties kampą ir didina gruntų koheziją, bet ir sukelia maksimalaus sauso tankio, bei optimalaus drėgmės kiekio sumažėjimą (1 pav.). Šie pokyčiai rodo, kad benzino tarša neigiamai veikia gruntų geotechnines savybes, o tai turėtų būti atsižvelgiama vykdant statybos projektus užterštuose plotuose (Yazdi et al., 2021).



1 pav. Ryšys tarp maksimalaus sauso tankio ir benzino kiekio skirtinguose užteršimo laiko intervaluose.

Anglijoje naftos išsiliejimų ir grunto užterštumo poveikio tyrimo (Jonathan Okore Ota, 2013) rezultatai atskleidė, kad naftos užterštumas padidina linijinį susitraukimą, tankumo ribą, plastiškumo ribą ir plastiškumo indeksą kaolinitiniuose molio gruntuose, mažindamas jų stiprumą, tačiau išvalytas gruntas vis dar gali būti naudojamas geotechniniams tikslams (Ota, 2023).

Pavyzdžiai, kurie buvo surinkti JAV, Naujojo Džersio valstijos teritorijoje, gali atspindėti skirtingą informaciją apie naftos produktų, ypač žaliavinės naftos ir benzino, užterštumo poveikį grunto geotechninėms savybėms. Iki šiol atlikti tyrimai atskleidė, kad naftos produktų buvimas gruntuose gali neigiamai paveikti jo geotechnines savybes, tačiau tam tikromis sąlygomis užterštumas gali ir teigiamai paveikti ir sumažinti grunto poringumo koeficientą (Meegoda et al., n.d.). Gauti rezultatai teigia, jog gruntų, užterštų nepolinėmis organinėmis medžiagomis pagerina (sumažina) poringumo koeficientą, dėl vykstančio tepimo proceso. Kai gruntai užteršti polinėmis organinėmis medžiagomis (be minėto tepimo veikimo) grunto struktūra linkusi suirti. Suirusi grunto struktūra sumažina maksimalų sausąjį tankį, tačiau, jei porų skysčio klampumas buvo didelis, grunto struktūros poveikis yra nepastebimas. 2,5% glicerolio kiekis pagerino visų ištirtų molingų gruntų poringumo koeficientus (Meegoda et al., n.d.). Tai pabrėžia, kad naftos produktais užteršto grunto naudojimas statybos

projektuose, tokiose kaip greitkelio pagrindo statyba, reikalauja išsamaus tyrimo ir atitinkamų inžinerinių sprendimų, siekiant užtikrinti aplinkos saugumą ir statinio ilgaamžiškumą.

Kinijoje Hai-gango regione atlikti tyrimai, Geltonosios upės deltoje (Jia et al., 2011), atskleidžia, kad naftos žaliavos užterštumas daro reikšmingą poveikį grunto savybėms. Naftos, žaliavų užterštumo poveikis buvo įvertintas naudojant mėginius, gautų iš rankomis kasamų iškasų šiame regione. Be elektros varžos nustatymo, buvo atlikta granulimetrinė analizė, Atterbergo ribų, tankumo rodiklio, tiesioginio kirpimo bandymai ir mikrostruktūros analizė. Gauti rezultatai rodo, kad užterštumas buvo „plunksnos“ formos ir netolygus iki 1 m gylio. Labiau užterštas gruntas turėjo didesnį molio dalelių kiekį, tankumo ir plastiškumo ribą bei poringumo koeficientą. Vis dėlto, tarp naftos užterštumo ir kirpimo stiprumo parametrų ryškūs ryšiai nenustatyti (Jia et al., 2011).

Indijos pakrantės juosta yra stipriai paveikta naftos, dujų išsiliejimų, bei kitų kintanti toksikiškumą turinčių ir netoksiškų cheminių medžiagų. Todėl būtina ištirti molio ir smėlio geotechninių savybių elgesį, kad norint sužinoti užterštos zonos tinkamumą būsimų civilinių inžinerijos objektų statybai. Iš atliktų tyrimų galima daryti išvadą, kad kiekvienos smulkiagrūdžio smėlio savybės (savitasis sunkis, tankumo rodiklis) pokytis užterštumo atveju yra didesnis nei molio atveju (Harsh et al., 2016). Šis tyrimas atskleidžia, kad žaliavinės naftos užterštumas turi didelę įtaką molio ir smėlio geomechaninei elgsenai. Tai leidžia vertinti užterštumą procentinėmis dalimis ir periodinio užterštumo įtaką molio stiprumo parametrui. Autoriai išvadose apibendrina, kad smėlio savybės yra labiau linkusios pablogėti dėl žaliavinės naftos poveikio, nei tai yra molio atveju. Priežastis gali būti dėl fizikinių ir cheminių procesų tarp žaliavinės naftos su smėliu ir molium. Dėl mažesnio molio pralaidumo, žaliavinės naftos filtracija per jį nėra reikšminga. Be to, molis suformuoja dvigubą difuzinį sluoksnį aplink save, kuris neleidžia naftai prasiskverbti per jį, nes nafta linkusi plūduriuoti molio paviršiuje, t. y. vyksta adsorbcija. Tuo tarpu smėlyje, dėl didesnio pralaidumo, žaliavinė nafta gali lengvai prasiskverbti per jį, todėl savybės linkusios pablogėti dėl sąveikos tarp žaliavinėje naftoje esančių angliavandenilių ir smėlio grūdėtųjų dalelių (Harsh et al., 2016).

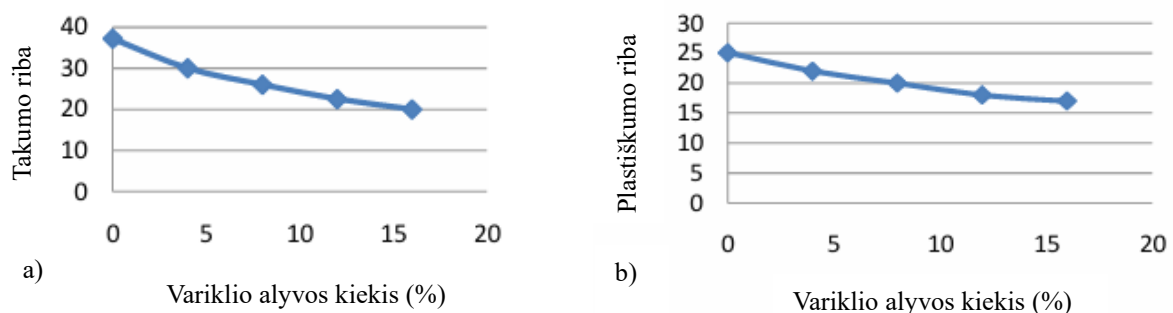
Šiaurės Nigerijos teritorijoje, atliktas bandinių tyrimas, kai naudota variklio alyva. Mazutu ir žalia nafta užteršti molio, laterito ir smėlio gruntų mėginiai atskleidė, kad tam tikros teršalų rūšys gali net padidinti smėlio ir eliuvinio grunto stiprumą. Tai pabrėžia, kaip įvairi tarša skirtingai veikia įvairių tipų gruntuos (Alhassan et al., n.d.).

Naftos išgavimas Nigerijoje, ypač Nigerio upės deltos teritorijoje, kurioje yra didžioji dalis naftos gręžinių, reikšmingai prisideda prie aplinkos užterštumo. Tokios veiklos kaip gręžimo darbai, naftos produktų perdirbimas ir transportavimas, sukelia naftos išsiliejimą ir teršia gruntą, atmosferą ir vandenynus. Tai priveda prie kenksmingų dujų patekimo į orą. Tos vietovės, kurios patiria taršą, grunto savybės smarkiai nukenčia, kas sumažina žemės ūkio derlių ir pakeičia grunto geotechnines savybes, turinčias įtakos būsimiems inžineriniams statybos projektams (Nwachukwu et al., 2020). Šiame tyrime analizuojama žaliavinės naftos taršos įtaka molio geotechninėms savybėms. Molis buvo išgautas iš Engenni Ahoada, esamo upės regiono, Nigerijoje. Mėginiai paimami iš dviejų metrų gylio ir sumaišyti su žaliavine nafta, formuojant skirtingus užterštumo lygius - nuo 0% iki 14% grunto sauso svorio. Atlikti laboratoriniai eksperimentai leido įvertinti grunto geotechnines charakteristikas. Tyrimo duomenys rodo, kad su užterštumo lygio didėjimu, tankumo ir plastiškumo ribos bei plastiškumo indeksas padidėjo, o savitasis sunkis, tankis ir maksimalus sausasis tankis sumažėjo. Optimalus

drėgmės kiekis išaugo nuo 15% neužterštame grunte iki 16,5% esant 14% taršai (Nwachukwu et al., 2020).

Taip pat atlikti tame pačiame regione, Nigero deltos teritorijoje, Nigerijoje, kito autoriaus tyrimai. Šešių mėnesių trukmės laboratoriniai tyrimai atlikti, siekiant išnagrinėti, kaip žaliavinės naftos išsiliejimas veikia eliuvinio grunto kerpamąjį stiprį (Ayininuola & Oyegbile, 2013). Ištirti du eliuvinio grunto mėginiai - A ir B (neužterštas ir užterštas). Grunto mėginyje B yra 10% žaliavinės naftos pagal svorį (10 kg). Per 168 dienas buvo atlikti granulimetrinės analizės, Atterbergo ribų, sutankinimo ir kerpamojo stiprio bandymai. Mėginio A (neužteršto) šlyties stiprumo bandymo rezultatai rodo, jog sankiba yra 51 kN/m<sup>2</sup>, o vidinis trinties kampas - 14°. Per 168 dienas B mėginio sankiba sumažėjo nuo 49 iki 44 kN/m<sup>2</sup>, o vidutinis trinties kampas nuo 11° iki 7°. Taip pat pastebėtas kerpamojo stiprio parametrų sumažėjimas rodo, kad žaliavinės naftos likučiai turėjo reikšmingą poveikį grunto kerpamajam stipriui (Ayininuola & Oyegbile, 2013).

Indijoje grunto užterštumas variklio alyva dažniausiai atsiranda dėl išsiliejimo iš transporto priemonių arba naudoto variklio alyvos išmetimo šalia autoservisų ar aptarnavimo stočių. Ši tarša daro didelę žalą aplinkai. Alyvoje esantys angliavandeniliai veikia užteršto grunto kokybę ir fizikines savybes. Šie angliavandeniliai įsiskverbia į gruntą per poras ir kaupiasi ant žemės paviršiaus. Dalis šių angliavandenilių įstringa ir užkemša porų erdvę, o jų pašalinimas yra sudėtingas ir brangus. Dėl šių priežasčių yra būtina skirti daug dėmesio užterštos teritorijos atkūrimui ir rektivacijai (Naini, Allahabad 40, n.d.). Šio tyrimo metu tirtos upių nuosėdų, užterštų variklio alyva, poringumo charakteristikos. Grunte pridėtas alyvos kiekis kito nuo 0% iki 16% išdžiovintų mėginių svorio. Rezultatai parodė, kad alyvos užterštumas sumažino takumo ribą ir plastiškumo ribą (2 pav.). Taip pat labai paveiktos poringumo vertės. Nustatyta, kad didinant variklio alyvos kiekį, maksimalus sausasis tankis mažėja nuo 1,76 iki 1,70 g/cm<sup>3</sup> (Panaši tendencija pastebėta ir optimalaus drėgmės kiekio vertėse), kas reiškia, kad alyvos padidėjimas neigiamai veikia nagrinėjamo grunto geotechnines savybes.



2 pav. a) takumo ribos priklausomybė b) plastiškumo ribos priklausomybė nuo užteršimo lygio.(Naini, Allahabad 40, n.d.)

Užteršti gruntai gali būti naudojami geotechniniais tikslais, ir šie rezultatai bus naudingi inžinieriams ar mokslininkams, siekiantiems perdirbti arba pakartotinai panaudoti užterštą gruntą. Šis tyrimas svarbus siekiant suvokti variklio alyvos užteršto grunto poveikį ir jo galimybes naudojimui geotechnikoje. Akivaizdu, kad alyvos pridėjimas keičia grunto struktūrą



ir mažina jo stiprumo bei kitas svarbias savybes, tačiau gauti duomenys atveria galimybes ieškoti optimalių būdų užteršto grunto tvarkymui ir taikymui, kas yra itin aktualu aplinkos apsaugos ir inžinerinių sprendimų kontekste (Naini, Allahabad 40, n.d.).

Irano teritorijoje surinkti gruntų pavyzdžiai parodė, jog naftos ir jos produktų nutekėjimas į gruntą gali keisti grunto geomechaninę elgseną bei sukelti aplinkos katastrofas. Be to, užterštų vietovių atkūrimas į jų natūralią būseną ir užterštų medžiagų panaudojimas, kaip aplinkai ir geotechniškai, tinkamos, statybinės medžiagos, reikalauja sanacijos technologijų taikymo. Bioremediacija (suprantama kaip aplinką valanti technologija, kuri teršalų valymui naudoja biologinį potencialą), kaip efektyvus, nebrangus ir aplinkai draugiškas metodas, buvo taikomas labai plastingiems moliams (Salimnezhad et al., 2021). Siekiant geriau suprasti labai plastingus molio gruntuos, bei geotechninių savybių pokyčius dėl žaliavinės naftos užterštumo ir bioremediacijos, buvo atlikti Atterbergo ribų, sutankinimo, vienašio gniuždymo, tiesioginio kirpimo ir konsolidacijos bandymai su natūraliais, užterštais ir bioremediacijos paveiktais grunto mėginiais, siekiant ištirti užterštumo ir sanacijos poveikį molinių gruntų savybėms. Naftos užterštumas sumažina maksimalų sausąjį tankį, optimalų drėgnio kiekį, gniuždomąjį stiprį, stiprumą ir grunto konsolidacijos koeficientą. Taip pat, užterštumas padidino sutankinimo ir brkinimo koeficientus. Bioremediacija sumažino grunto užterštumą apie 50%. Lyginant su užterštu gruntu, bioremediacija sumažino maksimalų sausąjį tankį nuo 1,65 (g/cm<sup>3</sup>) iki 1,53 (g/cm<sup>3</sup>), gniuždomąjį stiprį nuo 300 kPa iki 100 kPa, taip pat sumažėjo išbrinkimo koeficientas, tačiau padidėjo optimalus drėgnio kiekis. Kerpamasis stipris didinant teršalų procentą nuo 0% iki 12% sumažėjo per 40 kPa, o vidinės trinties kampas nuo 12 laipsnių iki 9 laipsnių, taip pat pastebėtas poringumo sumažėjimas. Mikrostruktūrinė analizė parodė, kad naftos užterštumas nekeičia grunto struktūros cheminių junginių, elementų ir sudedamųjų mineralų požiūriu. Nors tai sumažino grunto specifinį paviršiaus plotą, bioremediacija reikšmingai padidino minėtus parametrus. Bioremediacija lėmė kvarco pluoštinių tekstūrų bei poringų ir aglomeruotų struktūrų susidarymą. Taigi, naftos užterštumas neigiamai paveikė grunto mechanines savybes, tačiau bioremediacija šias savybes pagerino (Salimnezhad et al., 2021).

Po Persijos įlankos karo Kuveite įvykę naftos šulinių sproginimai, naftos gaisrai, naftos saugojimo talpyklų sugriovimas ir naftos ežerų susidarymas sukėlė didžiulius užteršto smėlio kiekius. Siekiant išanalizuoti šios medžiagos geotechnines ypatybes, buvo pradėti detalūs laboratoriniai tyrimai (AI-Sanad et al., 1995). Tyrimų metu buvo vertinamos bazinės grunto savybės, atliekami tankinimo ir pralaidumo bandymai, taip pat vienašio gniuždymo ir konsolidacijos bandymai su švriu ir užterštu smėliu, išlaikant tą patį santykinį tankį. Užteršti mėginiai buvo ruošiami maišant smėlį su nafta iki 6% svorio, kad atspindėtų realias lauko sąlygas. Atlikus tiesioginius kirpimo bandymus, buvo tiriama naftos tipo ir santykinio tankio įtaka. Rezultatai atskleidė, kad užteršimas nedideliu mastu sumažina smėlio stiprumą ir pralaidumą, o tuo pačiu didina sutankėjimą. Todėl išryškėjo, kad optimaliausias šios užterštos medžiagos panaudojimas yra naudojimas kaip stabilizatoriaus kelių konstrukcijų ir kitų inžinerinių projektų įgyvendinime. Toks panaudojimas ne tik prisidėjo prie užterštos medžiagos šalinimo, bet ir pasiūlė tvarią alternatyvą jos utilizavimui, kartu užtikrinant geotechninių charakteristikų atitiktį statybos darbams (AI-Sanad et al., 1995).

Pasaulyje nelaimingi atsitikimai, naftos chemijos pramonės veikloje (naftos išsiliejimai ir vamzdynų ar rezervuarų nutekėjimai) sukelia grunto užterštumą, keliantys ne tik

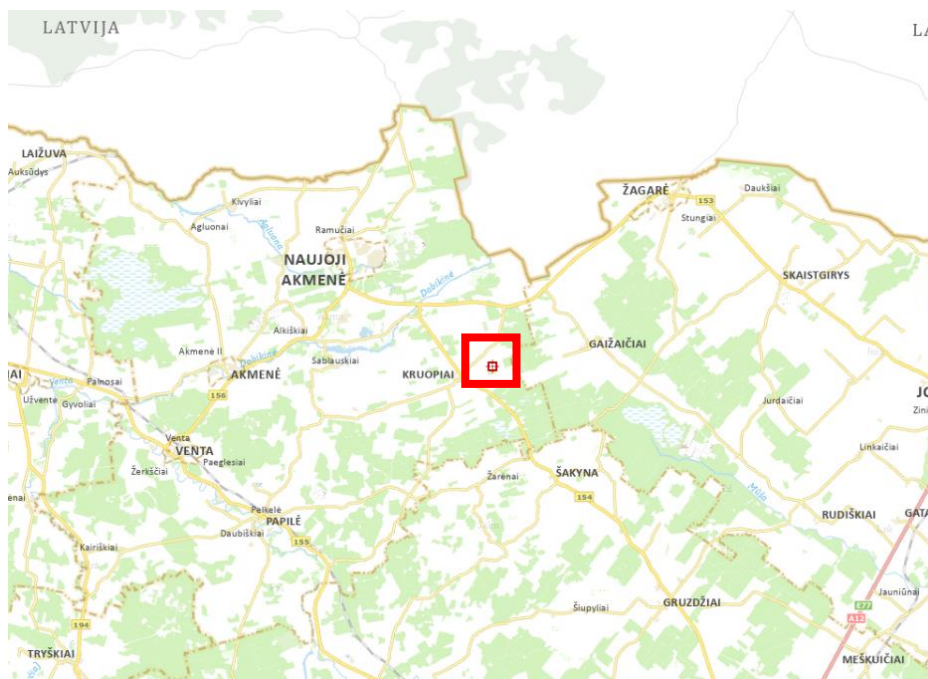
aplinkosaugines problemas (požeminio vandens taršą, rūpesčius dėl užteršto grunto geotechninių savybių pokyčių ir kt.). Šiauriniame Irane imti bandiniai analizuojami straipsnyje, kuriame buvo atlikta išsami laboratorinių bandymų serija ir lygintos neužterštų ir įvairiais žaliavinės naftos kiekiais užterštų, dulkingų gruntų savybės. Mėginiai buvo paimti iš teritorijų šalia Teherano naftos perdirbimo gamyklos - vietos, kur ši problema ypač aktuali (Kermani & Ebadi, 2012). Tyrimo rezultatai atskleidė, kad naftos kiekio didėjimas grunte lemia vidinio trinties kampo, maksimalaus sauso tankio, sutankinimo indekso bei Atterbergo ribų padidėjimą, tuo pačiu metu sumažina optimalų vandens kiekį ir sankibą. Taip pat nustatyta, kad laikui bėgant, sankiba dar labiau sumažėja, nors tai neįtakojė vidinės trinties kampo reikšmių. Atsižvelgiant į šiuos pokyčius, būtina juos įvertinti rengiant naftos perdirbimo gamyklos plėtros programas. Atsižvelgiant į tai, kad užterštų vietovių valymo technologijos reikalauja didelių kaštų, tiriant užteršto grunto geotechnines savybes, siekiama sukurti metodikas, norint panaudoti gruntą kaip statybinę medžiagą, taip siūlant tvarius sprendimus grunto užterštumo problemoms spręsti (Kermani & Ebadi, 2012).

Rytinėje Saudo Arabijos teritorijoje 2018 metais atlikta plastiško marmuro, kuris buvo užterštas dyzelinu, geotechninių savybių analizė. Pradiniam etape išsamiai buvo ištirtos pirminės neužteršto grunto savybių vertės, granulometrija, Atterbergo ribos, sutankinimo charakteristikos, vidinės trinties kampas, sankiba bei gniuždomasis stipris (Mustafa et al., 2018). Gruntas dirbtinai užterštas keturiais skirtingais dyzelino kiekiais – 3, 6, 9 ir 12 procentų pagal sauso grunto svorį – siekiant atkartoti realias aplinkos sąlygas. Nustatyta, kad takumo riba padidėja didinant užterštumo lygį iki 9 procentų, o tolesnis taršos lygio didinimas šią ribą sumažina, tokia tendencija taip pat buvo pastebėta plastiškumo rodiklyje. Kitose savybėse, kaip maksimalus sausasis tankis ir optimalus drėgmės kiekis, ženklų pokyčių nebuvo užfiksuota. Išskirtinis gniuždomojo stiprio padidėjimas pastebėtas grunte, užterštame 3 % dyzelino, tačiau stiprumas sumažėjo, pasiekus 9 % užterštumo lygį, ir vėl pradėjo didėti didinant taršą. Sankibos vertė pasižymėjo panašia tendencija. Minėtus gniuždomojo stiprio ir sankibos pokyčius galima paaiškinti grunto dalelių aglomeracija esant mažesniau užterštumo lygiui ir tepimo efektu, dominuojančiu esant didesniau užterštumo lygiui. Tai parodė skenuojančio elektroninio mikroskopo analizė. Taip pat atlikta dispersinės rentgeno spektroskopijos analizė leido ištirti užteršto grunto cheminę sudėtį, pastebint padidėjusį anglies kiekį, kaip hidrokarbonatų buvimo įtakos rezultata (Mustafa et al., 2018).

## 2. Tiriamų gruntų teritorijos inžinerinės geologinės sąlygos

### 2.1 Akmenės rajono geomorfologija

Tyrimams pasirinkti gruntai - Vėlyvojo Nemuno ledynmečio glacialinės nuogulos (g III nm<sub>3</sub>) (smėlingas mažo plastiškumo molis moreninis [saCIL], labai stiprus, labai standus). Šio grunto bandiniai paimti šiaurės vakarinėje Lietuvos dalyje, Laumenų kaimo teritorijoje (3 pav. ir 4 pav.). Ši teritorija yra Ventos vidurupio žemumoje, ją šiaurės vakaruose riboja Vakarų Kuršo plynaukštė, iš pietų – Žemaičių aukštuma, o rytuose ji pereina į žemesniame lygyje plytinčią Žiemgalos lygumą. Ventos lygumoje vyrauja 70 m aukštis, Žiemgalos lygumoje – 50 m. Riba tarp abiejų gana aiški – 80-90 m, Žagarės – Šakynos balnas, kažkada buvęs ledyno plaštakų sąlytyje. Dabar per vidurį jį kerta Švėtės aukštupys. Latvijos pusėje Ventos vidurupio lygumą (dar vadinama Vadaksties lyguma) iš šiaurės riboja Rytų Kuršo aukštuma (Geolis, <https://www.lgt.lt>).



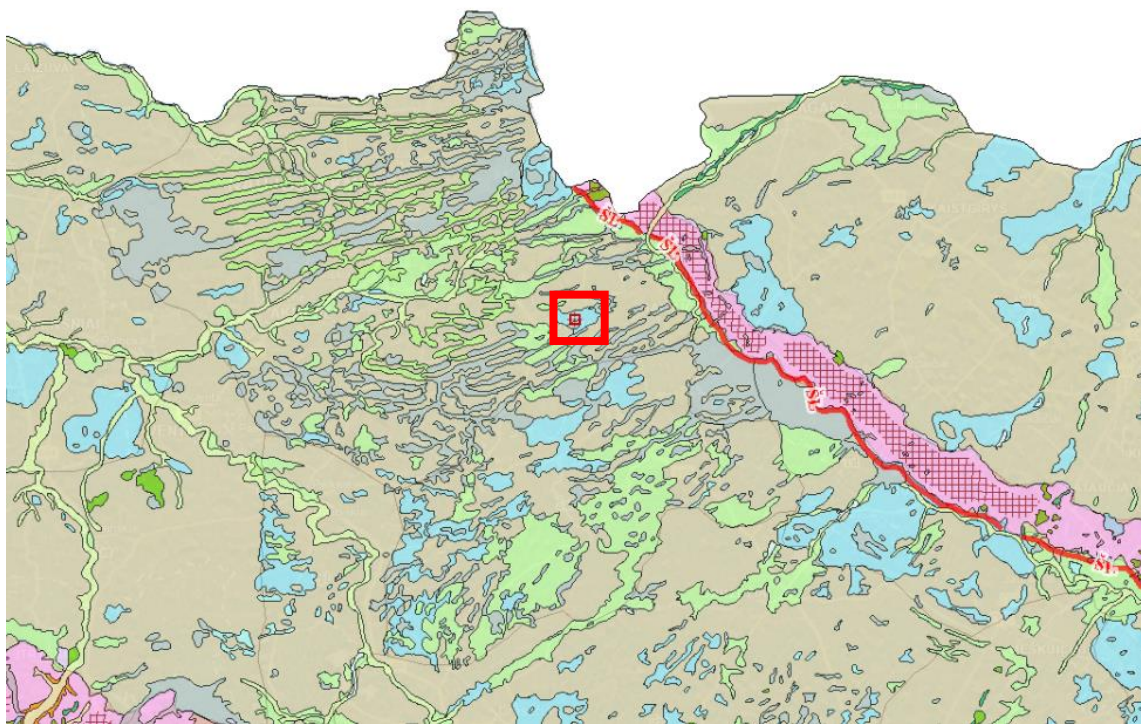
3 pav. Tiriamųjų gruntų paėmimo vieta pažymėta raudonu kvadratu (Nuotrauka, Geolis <https://www.lgt.lt>)

Šiaurinėje lygumų pusėje išsidėstęs Ventos vidurupio plotas padengtas santykinai plonu moreninių nuogulų sluoksniu, kurio storis šiek tiek padidėja artėjant prie aukštumų. Jo storis svyruoja nuo dešimties iki dvidešimties metrų, vietomis siekiantis trisdešimt metrų. Šio plonumo dėka, regiono upės neretai prakerta nuogulą, atidengdamos senųjų permo ir jūros periodų atnašas ant šlaitų. Rytinėje lygumos dalyje matyti būdingi lygiagretūs bangagūbriai, o moreninės formacijos ir smėlio juostos pietvakariuose bei šiaurės rytuose atskirtos vienodo pločio tarpgūbriais. Šiuose tarpgūbriuose susiformavo fluvio-glacialinės nuosėdos, kai kuriose vietose užpelkėjusios, formuojant Kamanų pelkę. Mažiausiai aukštoje šiaurės vakarinėje lygumos dalyje, kur susilieja Ventos, Varduvos ir Vadaksties upės, buvusio limnoglacialinio baseino vietoje susiformavęs lygus paviršius, kurio viršuje yra plonas limnoglacialinio smėlio sluoksnis, paslėpiantis po juo esantį molį (Geolis, <https://www.lgt.lt>).

Akmenės gūbriuotoje moreninėje lygumoje išsiskiria du drumlinų (arba drumlinoidų) laukai, sudaryti iš ištęstų, viena kryptimi orientuotų lygiagrečių moreninių pakilumų (drumlinų) ir tarp jų tįsančių tarpdrumlininių pažemėjimų, dažniausiai užpildytų kadaise tarp drumlinų tekėjusių ledyno tirpsmo vandens srautų sąnašomis. Dabar šie pažemėjimai neretai užpelkėję. Drumlinai ilgosiomis savo ašimis ištįsę juos sukūrusio ledyno plaštakos slinkimo kryptimi. Jie susidarė aktyvaus ledo ir pagrindo uolienų sąlyčio zonoje dėl skirtingo atskirų ledo tėkmių ledyno pade greičio ir dėl to atsiradusio šoninio spaudimo. (Baltrūnas et al., 2014)

Intensyvus neigiamų formų išlyginimas vyko pelkėjimo metu, kada esant pastoviam drėgmės pertekliui uždaruose pažemėjimuose kaupėsi biogeninės nuogulos – durpės. Šiaurės rytinėje Akmenės rajono dalyje gausu įvairios formos ir dydžio žemapelkių bei nenustatyto tipo pelkių, užpildančių nenuotakius reljefo pažemėjimus. (Geolis, <https://www.lgt.lt>)

Remiantis valstybinės geologijos duomenų bazėje (GEOLIS, <https://www.lgt.lt>) pateiktais geomorfologiniais duomenimis, analizuojamo ploto reljefo genezė yra priskiriama fluvioglacialiniam tipui, konkretizuojant jo potipį kaip prieledyninį.



4 pav. Tiriamųjų gruntų paėmimo vieta pažymėta raudonu kvadratu, geomorfologinio žemėlapis ištrauka (Nuotrauka, Geolis, <https://www.lgt.lt>)

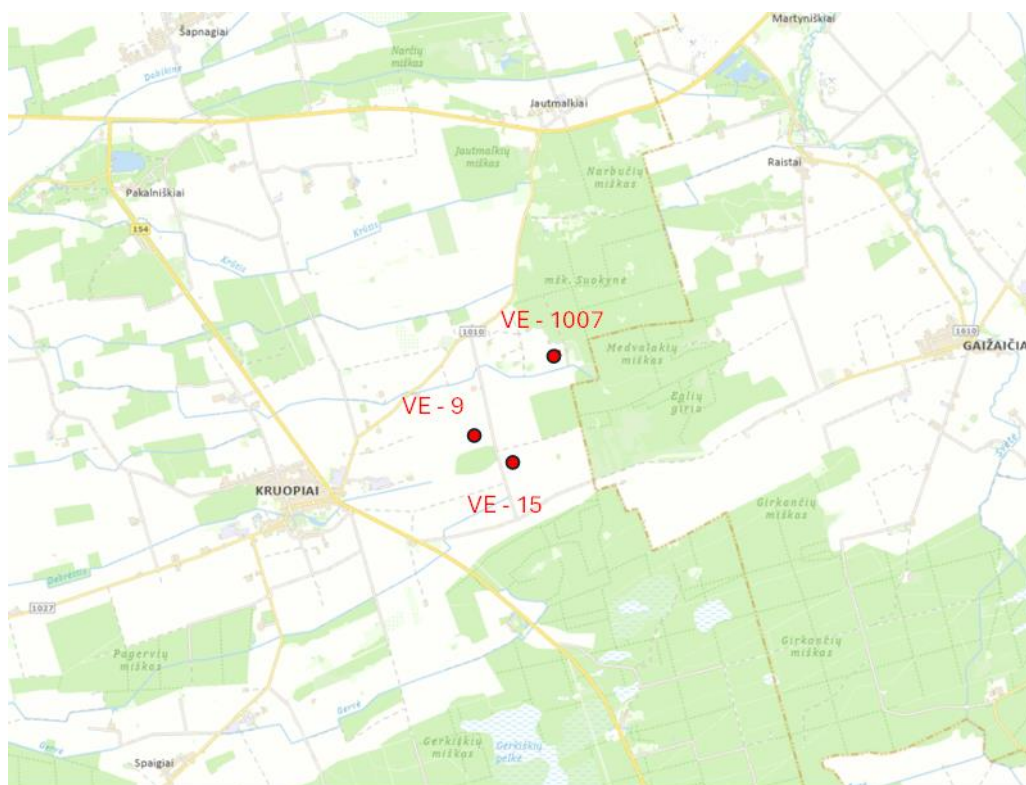
Šios geografinės vietovės išskirtinumą nusako Šiaurės Lietuvos ledyno pakraštyje susiformavęs kalvagūbris, kuris atsirado dėl Žiemgalos ledyno plitimo per Rygos įlanką paskutinio ledynmečio metu (vėlyvasis Nemuno etapas) (Karmaziene et al., 2013). Minėtas kalvagūbris yra kritiškai svarbus geomorfologinis orientyras, indikuojantis ledyno atsitraukimo ribą Šiaurės Lietuvoje per Baltijos etapą vėlyvojo Nemuno periodu. Jo geografinė išplėtis, apibrėžiama maždaug 130 km ilgio lanku, detalai nusako aktyvaus ledyno lobiaus perimetrą. Tuo





geneze, amžiumi, granulimetrine sudėtimi bei statinio zondavimo metu gautomis kūginio stiprio vertėmis. Taip pat, vertinant smulkiųjų gruntų klasifikaciją, buvo atsižvelgta į jų plastiškumą ( $w_L$ ).

Apibendrinus tyrimų rezultatus, galima teigti, jog tyrimų vietose iki 0,4 m gylio visur slūgso dirvožemis. Po dirvožemiu, iki 10,6 – 15,5 m gylio slūgso Vėlyvojo Nemuno ledynmečio glacialinės nuogulos (gIII nm<sub>3</sub>). Nuogulas sudaro moreninis smėlingas mažo plastiškumo molis. Moreninių nuogulų storumėje aptinkami nuo 10,6 – 12,5 m gylio viršutinės jūros vidurinio Kelovėjo smėlio sluoksnis (J<sub>3cl2</sub>). Šias nuogulas sudaro smėlis su organinės medžiagos priemaiša. Arba vietoje šių nuogulų moreninių nuogulų storumėje išskiriamos dulkingo smėlio tarp sluoksniai (f III nm<sub>3</sub>), kuris slūgso nuo 10,8 – 11,9 m gylyje. Po minėtomis nuogulomis nuo 12,0 – 20,0 m gylio išskirtos vidurinio Permo Naujosios Akmenės svitos nuogulos (P<sub>2nk</sub>), kurias sudaro klintis. Pilnas gruntų aprašymas, genezė ir tikslios sluoksnių geometrinės ribos pateiktos gręžinių stulpeliuose ir inžineriniuose geologiniuose pjūviuose Prieduose Nr. 1.1-1.9 ir 2.1-2.9 (D. Urbaitis, 2022m. UAB „Geotestus“ ataskaita).



6 pav. Žemėlapyje pažymėti raudonais taškais tyrimo objektų vietos (Autoriaus nuotrauka)

### 2.3. Tiriamojo objekto teritorijos hidrogeologija

Akmenės rajono vandenvietėse eksplotuojami viršutinio permo (P<sub>2</sub>) ir viršutinio devono (D<sub>3</sub>) vandeningieji sluoksniai. Eksplotuojamas požeminis vanduo pasižymi gera kokybe. Bendra mineralizacija dažniausiai neviršija 500 mg/l. Šių sluoksnių požeminis vanduo - gėlas hidrokarbonatinis kalcio, magnio tipo. Svarbiausia požeminio vandens kokybės problema yra geležis, kaip ir visoje Lietuvoje. Šiuo metu egzistuoja trys valstybinio monitoringo postai (Papilė, Akmenė), kuriuose stebima požeminio vandens cheminė sudėtis ir kokybė.

Bandinių paėmimo veitose požeminis vanduo sutiktas 5,6 – 9,4 m. gylyje. Kai kur šis vanduo yra Kelovėjaus smėlio sluoksnyje, kai kur vanduo yra moreninio smėlingo molio esančiuose smėlio lėšiuose ir tarp sluoksniuose. Remiantis UAB „Geotestus“ ataskaitų gautais rezultatais nustatyta, jog požeminio vandens aplinka, hidrocheminiu požiūriu yra neagresyvi.

#### **2.4. Tiriamosios teritorijos gamtiniai reiškiniai ir procesai**

Šio tyrimo grunto bandinių paėmimo vietose gamtiniai reiškiniai ir procesai nevyksta, bet netoli teritorijos yra pastebimi upės krantų erozijos ir pelkėjimo procesai.

Venta – didžiausia krašto upė, tekėdama paveldėtu ledyno tirpsmo vandens išgraužtu slėniu, pakaitomis gilindamasi, bei klostydama sąnašas nulėmė ir suformavo dvi viršalpinės terasas bei salpą, vingių skardžiuose atidengė ne tik ledyninių nuogulų, bet kai kur ir daug senesnių – jūros sistemos uolienų klodus.

Akmenės rajone vienas iš svarbiausių kraštovaizdžio elementų yra Ventos upės slėnis. Įsirėžęs riedulingo priemolio ir priemolio moreninę lygumą, kurią paliko Nemuno apledėjimo Baltijos stadijos Vidurio Lietuvos fazės ledynas. Anksčiau upės vagoje būdavo galima pamatyti gausybę iš ledyninių sąnašų išplautų eratinių riedulių, kurie daugiausia yra Fenoskandijos kristalinių uolienų atplaišų. Tekėdama iš rytų, upė keletą kartų pasisuka. Įgaubtuose vingių posūkiuose Ventos šlaitai yra statūs, nuo seno ardomi upės šoninės erozijos, ypač pavasario potvynių. Išgaubtuose vingiuose matyti terasų pakopos. Juose išryškėja trijų aukščių terasų aikštelės. Ventos upės slėnis ir kai kurie jo intakai pragaužė kvartero ledynmečių nuogulas ir atidengia senesnių geologinių sistemų kaip permio, triaso ir jūros uolienas, nuogulas ir nuosėdas. (Baubinienė, 2015)

Tarp Vieکشnių ir Naujosios Akmenės 70–80 metrų aukštyje virš dabartinio Baltijos jūros lygio plyti Ventos vidurupio lyguma, o aukščiausia šių apylinkių vieta, kas įdomiausia – yra Kamanų pelkė, pačiame Akmenės seniūnijos pakraštyje. Jos centrinė dalis pūpsio 86 metrų virš jūros lygio arba 5–10 metrų aukščiau, nei aplinkui plytinti lyguma (Ruseckas & Grigaliunas, 2008).

Kamanų pelkės durpės, paleobotaninių tyrimų duomenimis, pradėjo formotis ankstyvajame atlantuje ir šis procesas nepertraukiamai tęsėsi per visą subborealį bei subatlantį. Didžiąją Kamanų pelkės dalį užima aukštapelkė, pasižyminti paviršiaus mikroreljefo įvairove. Čia koncentriškai išsidėsčiusius volus ir duburius keičia kupstuoto ir kauburiuoto mikroreljefo plotai bei įvairaus dydžio klampynės, kuriose telkšo daugybė ežerokšnių (Ruseckas & Grigaliunas, 2008).

#### **2.5. Tiriamosios teritorijos gruntų fizinės ir mechaninės savybės**

Šiame darbo tyrimo objektas buvo pasirinktas moreninis molis iš trijų skirtingų vietų, kurie yra netoli vienas kito kaip pavaizduota 6 pav. Pradiniai duomenys buvo surinkti iš įmonės UAB „Geotestus“. Įmonė atliko išsamius gruntų fizikinių ir mechaninių savybių lauko ir laboratorinius tyrimus. Šių tyrimų vietų (VE – 9; VE – 15 ir VE – 1007) ataskaitos buvo naudojamos bendros informacijos apie natūralaus grunto moreninio molio fizines ir mechanines savybes pateikimui.

Tyrimų metu buvo apskaičiuotas deformacijų modulis ( $E_0$ , MN/m<sup>2</sup>), statinio zondavimo bandymais buvo nustatytos kūginio stiprio ( $q_c$ , MN/m<sup>2</sup>) ir šoninės trinties stiprio ( $f_s$ , kN/m<sup>2</sup>) vertės. Laboratoriniais tyrimais buvo nustatyta gruntų granulimetrinė sudėtis, nustatytos konsistencijos ribos, filtracijos koeficientas, pakopomis apkraunamo grunto odometrinio deformacijų moduliai prie tam tikrų apkrovų bei tiesioginio kirpimo metu grunto sankiba bei vidinės trinties kampas. Bendra natūralių gruntų fizinių ir mechaninių savybių rodiklių verčių lentelė pateikiama Priede Nr. 3.

Trumpas inžinerinių geologinių sluoksnių aprašymas:

Iki pirmo inžinerinio geologinio sluoksnio (IGS) visur vyrauja dirvožemis.

1 IGS – (g III nm<sub>3</sub>) Pagal moreninio smėlingo mažo plastiškumo molio (saCIL) fizikinių savybių tyrimus moreninis gruntas yra labai stiprus ir labai standžios konsistencijos. Jo vidutinis natūralus gamtinis tankis  $\rho - 2,24$  (Mg/m<sup>3</sup>), kietų dalelių tankis  $\rho_s - 2,71$  (Mg/m<sup>3</sup>), natūralus gamtinis drėgnis – 8,83 (%), takumo ir plastiškumo ribų nustatymo bandymais buvo nustatytos šios vidurkinės vertės  $W_L - 20,3$  (%),  $W_P - 11,9$  (%). Plastiškumo ir konsistencijos rodikliai buvo išskaičiuoti, jų vidurkinės vertės  $I_p - 8,3$  (%),  $I_c - 1,32$ . Pagal mechaninių savybių tyrimus, šiam moreniniam gruntui būdingos vertės: Nedrenuotas kerpamasis stipris  $C_u - 190,5$  (kPa), Sankiba  $C - 97$  (KN/m<sup>2</sup>), vidinės trinties kampas  $\varphi - 27,5^\circ$ , vidutinis kūginis stipris  $q_c - 6,5$  (MN/m<sup>2</sup>), deformacijos modulis  $E_0 - 78$  (MN/m<sup>2</sup>).

2 IGS – (f III nm<sub>3</sub>) Pagal dulkingo smėlio (siSa), fizikinių savybių tyrimus smėlis yra labai tankus. Jo vidutinis gamtinis tankis  $\rho - 1,94$  (Mg/m<sup>3</sup>), kietų dalelių tankis  $\rho_s - 2,67$  (Mg/m<sup>3</sup>), gamtinis drėgnis – 14,9 (%), takumo riba  $W_L - 18,1$  (%). Filtracijos koeficientas  $k_{10} - 0,85$  (m/d). Pagal mechaninių savybių tyrimus, šiam gruntui būdingos vertės: vidinės trinties kampas  $\varphi - 40^\circ$ , vidutinis kūginis stipris  $q_c - 31,4$  (MN/m<sup>2</sup>), deformacijos modulis  $E_0 - 90,1$  (MN/m<sup>2</sup>).

3 IGS – (J<sub>3</sub>Cl<sub>2</sub>) Pagal tolygiai išrūšiuoto smėlio su vidutine organinės medžiagos priemaiša (O) fizikinių savybių tyrimus jam būdingos vidutinės vertės: kietų dalelių tankis  $\rho_s - 2,63$  (Mg/m<sup>3</sup>), gamtinis drėgnis – 19,1 (%). Filtracijos koeficientas  $k_{10} - 0,8$  (m/d), organinės medžiagos kiekis grunte  $l_{om} - 6,24$  (%).

4 IGS – (P<sub>2</sub>nk) Klintis.



### 3. Tyrimo metodikos aprašymas

#### 3.1 Bandinių pasiruošimas

Bandiniai buvo paimti iš UAB „Geotestus“ bazės Vilniuje, ir pristatyti į Energetikų mokymo centro laboratoriją Kaune. Iš 28 vnt. monolitų, buvo atrinkti 9 tinkami bandymams. Pagal ataskaitose pateiktose gręžinių stulpelius ir inžinerinius geologinius sluoksnių pjūvius, kurie pateikti priede Nr. 1.1-1.9 ir 2.1-2.9, ir pagal gylius buvo atsirinkti monolitai, kuriuose sutiktos Vėlyvojo Nemuno ledynmečio glacialinės nuogulos (g III nm<sub>3</sub>). Bandiniai buvo užkonservuoti 50 cm ilgio plastikiniuose vamzdžiuose, kurie buvo apklijuoti izoliacine juosta (7 pav.)



7 pav. Monolitų bandiniai surinkti iš Akmenės r. sav. (Autoriaus nuotrauka)

Laboratorijoje monolitai buvo atsargiai praardomi ir paruošiami į trijų dalių rinkinį (8 ir 9 pav.). Iš vieno monolito pavyko gauti 6 - 9 bandinius. 5 bandinių rinkiniai buvo paruošti užteršimui su natrio hidroksidu ir 5 rinkiniai buvo paruošti užteršimui su dyzelinu. Bandiniai buvo dalinami į 5 cm storio mėginius (9 pav.). Likęs gruntas buvo patalpintas į 5 cm pločio plastikinį vamzdį, kuris buvo apvyniotas lipnia juosta taip išsaugant pradinę bandinio struktūrą ir būseną.

Kiekvienas rinkinys buvo patalpintas į atskirą 5 litrų plastikinį indą. Darbo tikslas - imituoti realų gruntų užteršimą, kuris įvyksta po nelaimingų atsitikimų ar avarių.



8 pav. Praardytas monolitas (Autoriaus nuotrauka)



9 pav. Trijų dalių rinkinys (Autoriaus nuotrauka)

### 3.2 Bandinių užteršimas cheminėmis medžiagomis

Cheminės medžiagos, kurios buvo naudotos tyrime -buvo natrio hidroksidas ir dyzelinas.

*Natrio hidroksidas (NaOH)* - plačiai naudojama pramonėje ir laboratorijose, priklauso stipriųjų šarmų grupei. Darbe naudotas skystas Natrio hidroksidas (4 pav.). Jo cheminės savybės:

Stipri bazė – natrio hidroksidas disocijuoja vandenyje, susidarydamas natrio ( $\text{Na}^+$ ) ir hidroksido ( $\text{OH}^-$ ) jonus, todėl tirpalas yra labai šarmingas (Salocks et al., n.d.)

Reaguoja su rūgštimis – NaOH reaguoja su rūgštimis, sudarydamas druską ir vandenį, kas yra neutralizacijos reakcijos pavyzdys (3 pav.) (Salocks et al., n.d.)

Reaguoja su riebalų rūgštimis – naudojamas muilo gamyboje, sudarant glicerolį ir muilą, procesas žinomas kaip saponifikacija (Salocks et al., n.d.)

Reaguoja su metalais – gali reaguoti su kai kuriais neaktyviais metalais (Al, Zn, Pb) išskiriant vandenilį ir sudarant metalo hidroksidus (Modenbach & Nokes, 2014)

Fizikinės savybės: Išvaizda – švarus NaOH yra baltos spalvos, kieta medžiaga, parduodama granuliu, miltelių arba karoliukų pavidalu (Salocks et al., n.d.).

Tirpumas vandenyje – labai gerai tirpsta vandenyje, reakcijos metu išsiskiria šiluma (egzoterminė reakcija)

Higroskopiškumas – sugeria drėgmę iš oro, todėl turi būti laikomas sandariai uždarytame inde (Salocks et al., n.d.)

Panaudojimas:

- Chemijos pramonė – naudojamas gaminti įvairias chemines medžiagas, pvz., plastikus, sintetinius pluoštus ir dažus (Salocks et al., n.d.)
- Muilo ir valymo priemonių gamyba – dėl savo savybės reaguoti su riebalų rūgštimis ir sudaryti muilą (Modenbach & Nokes, 2014)
- Vandens apdorojimas – naudojamas pH reguliavimui ir sunkiųjų metalų nusodinimui iš vandens
- Maisto pramonė – naudojamas kaip maisto priedas (E524), pavyzdžiui, šviežių alyvuogių šarminėje užpiloje minkštinimui (Salocks et al., n.d.)
- Popieriaus ir celiuliozės pramonė – naudojamas celiuliozės baltinimui ir popieriaus gamyboje (Modenbach & Nokes, 2014)

Saugumo priemonės: Natrio hidroksidas yra koroziją sukianti medžiaga, tai pat gali sunkiai pažeisti odą ir akis. Darbą su NaOH būtina atlikti naudojant asmenines apsaugos priemones, tokias kaip pirštinės ir akiniai. Bet kokios avarinės situacijos atveju, patekus ant odos ar į akis, būtina nedelsiant nuplauti dideliu kiekiu vandens ir kreiptis į gydytoją (Salocks et al., n.d.).

*Dyzelinas* yra naftos produktas, gaunamas per žaliavinės naftos perdirbimą (distiliaciją). Jis naudojamas kaip kuro šaltinis dyzeliniuose varikliuose, kuriuos galima rasti įvairiose transporto priemonėse, generatoriuose ir pan. Dyzelino sudėtyje yra ilgesnių anglies grandinių hidrokarbonatų nei benzine (paprastai nuo C10 iki C20). Dėl šios priežasties dyzelinas yra sunkesnis ir turi didesnę virimo tašką nei benziną (Lindström et al., 2009).

Cheminė sudėtis ir savybės:

- Dyzelinas sudarytas iš alkanų, cikloalkanų (nesočiųjų angliavandenilių) ir aromatinių angliavandenilių mišinio. Jo cheminė sudėtis gali skirtis priklausomai nuo naftos rūšies ir perdirbimo proceso (Ni et al., 2020).
- Tankis – paprastai svyruoja nuo 0,820 iki 0,850 kg/l priklausomai nuo sudėties ir temperatūros (Liang et al., 2005)
- Virimo temperatūra – tarp 350°C ir 380°C (Žuolys & Liebuviene, 2023)
- Dyzelinas gali būti nuo labai šviesaus iki geltonai rudos spalvos, priklausomai nuo perdirbimo ir pridėtų priedų (Lindström et al., 2009)

Naudojimas:

- Transportas – dyzeliniuose varikliuose, kurie yra efektyvesni už benzininius variklius dėl didesnio degalų energinio tankio ir geresnio variklio efektyvumo (Liang et al., 2005)
- Pramonė - Statybinėse mašinose, sunkvežimiuose, žemės ūkio technikoje, laivuose ir kai kuriose geležinkelio transporto priemonėse (Liang et al., 2005)
- Energetika – generatoriuose kaip atsarginis ar pagrindinis energijos šaltinis pramoninėse ir komercinėse vietose (Lindström et al., 2009)

Aplinkos poveikis:

- Dyzelinis kuras, degdamas, išskiria teršalus, įskaitant azoto oksidus (NO<sub>x</sub>), sieros dioksidą (SO<sub>2</sub>), kietąsias daleles (suodžius), anglies dioksidą (CO<sub>2</sub>) ir kitus teršalus. Šių teršalų išmetimas turi neigiamą poveikį aplinkai ir žmonių sveikatai, sukeliama oro tarša, rūgštųjų lietu ir prisidedant prie šiltnamio efekto bei klimato kaitos (Lindström et al., 2009)

Technologinės inovacijos:

- Pastaruoju metu dėmesys skiriamas dyzelino tobulinimui ir alternatyvų kūrimui siekiant sumažinti jo neigiamą poveikį aplinkai. Pavyzdžiui, biodyzelinas, kuris yra pagamintas iš augalinių aliejų ar gyvūninės kilmės riebalų, gali būti švaresnė dyzelino alternatyva.
- Tobulinamos technologijos, skirtos dyzelinių variklių emisijų mažinimui, įskaitant pažangius degimo valdymo sistemas ir išmetamųjų dujų valymo technologijas (Žuolys & Liebuviene, 2023).

Bandinių rinkinys yra tiesiogiai užmerkiamas grynu teršalu ir uždaromas plastikiniu dangteliu. Kaip minėta anksčiau buvo naudojami plastikiniai indeliai 5 litrų talpos. Dėl šios priežasties laboratoriniai darbai buvo atliekami periodiškai stengiantis kuo mažiau naudoti cheminių medžiagų. 10 pav. pavaizduota kaip atrodo bandiniai užmerkti natrio hidrokside.



10 pav. Bandinukų rinkinys užmerktas natrio hidrokside (*Autoriaus nuotrauka*)



11 pav. Bandinukų rinkinys užmerktas dyzelyje (*Autoriaus nuotrauka*)

Šiame darbe naudotas dyzelinas ir 11 pav. pateikta kaip atrodo bandiniai užmerkti dyzeliniame kure.

### 3.3 Bandinių tyrimai

Pasirinktas molio bandinių užteršimo intervalas parametrų nustatymams – 2 savaitės ir 1 mėnuo. Tokiais laiko periodais buvo stebimas cheminių medžiagų poveikio molinio grunto geotechninių savybių pokytis. Po dviejų savaičių ir po mėnesio bandiniai išimami iš teršalų ir pradedami ruošti bandymams.

Pagrindinis tyrimas, kuriam reikalingas natūralus nesuardytos sandaros gruntas yra tiesioginio kirpimo bandymas, kurio metu nustatomas kerpamasis stipris ir paskaičiuojama sankiba ir vidinis trinties kampas.

Todėl atsargiai išimti bandiniai paruošti konsoliduotam kerpamojo stiprio bandymui. Likęs užterštas gruntas buvo naudojamas fizikinėms savybėms nustatyti.

Gamtinio drėgnio metodas buvo atliekamas pagal ISO 17892-1:2014, tūrinio tankio nustatymas buvo atliekamas pagal ISO 17892-2:2014, kietų dalelių tankio nustatymas buvo atliekamas pagal ISO 17892-3: 2015, konsistencijos ribų nustatymas (krentančio kūgio metodas) buvo atliekamas pagal ISO 17892-12:2018.

Likęs užterštas gruntas buvo naudojamas konsistencijos ribų nustatymui krentančio kūgio metodu. Išdžiovintas gruntas buvo sutrinamas ir prasijojamas pro 0,4 mm sietą, prasijotas gruntas maišomas su vandeniu, kol pasiekama pastos būseną. Gauta pasta dedama į indelį skirtą gruntui bandyti kūgiu. Bandymuose naudotas penetrometras pateiktas 12 pav., o 13 pav. užfiksuotas vieno taško įsimigimas.



12 pav. Naudotas penetrometras (Autoriaus nuotrauka)



13 pav. Užfiksuotas įsmigimas (Autoriaus nuotrauka)

Plastiškumo drėgnio nustatymo bandymui naudojama dalis grunto pastos, paruoštos takumo drėgniui tirti. Nedidelį suminkyto molio gabalėlį kočiojamas tol, kol jis suplonėja iki 3 mm storio (14 pav.).



14 pav. Grunto pasta iškošiota iki 3 mm storio, šalia padėta 3 mm metalo strypas (Autoriaus nuotrauka)

Mechaninėms – stipruminėms savybėms nustatyti tiesioginio kerpamojo stiprio bandymui buvo naudojami trys metaliniai kirpimo žiedai. Kiekvienas žiedas atsargiai įspaudžiamas į užterštą natūralų gruntą ir šis procesas pakartojamas dar du kartus. Šis tyrimas buvo atliekamas pagal ISO 17892-10:2018 standartą. 15 pav. pateikta kaip atrodo užpildytas žiedas. Kirpimo žiedai su gruntu buvo dėti į vonelę ant drenažo plokštės, o ant bandinio dėti drenažo plokštė ir svirtinio presu atrama. Į vonelę buvo pripilta vandens iki grunto žiedo viršaus. Trys žiedai buvo apkraunami 100 kPa, 200 kPa ir 300 kPa apkrovomis (16 pav.). Po paros tankinimo bandinys perkeliamas į kirpimo aparatą Matest, Shearlab.



15 pav. Metalinis žiedas užpildytas užterštu moliu sveriamas (Autoriaus nuotrauka)



16 pav. Tankinimas prie skirtingų apkrovų 100kPa, 200kPa ir 300 kPa (Autoriaus nuotrauka)

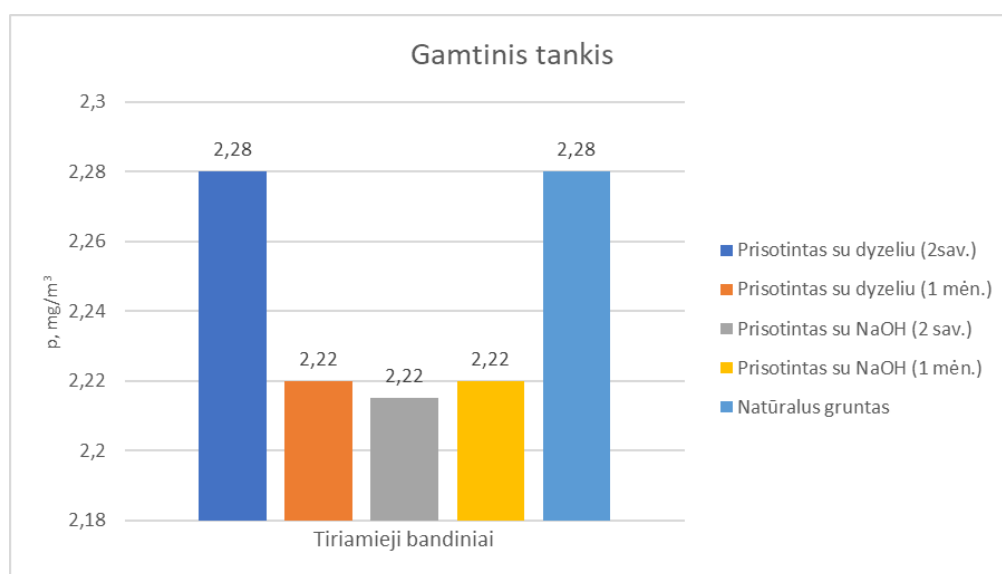
Iš viso buvo atlikta 42 tankio, drėgno, plastiškumo ir takumo drėgno nustatymo bandymų. Atlikta 10 tiesioginių kirpimo bandymų.



## 4. Tyrimų rezultatai ir analizė

### 4.1 Fizikinių savybių nustatymas ir rezultatai

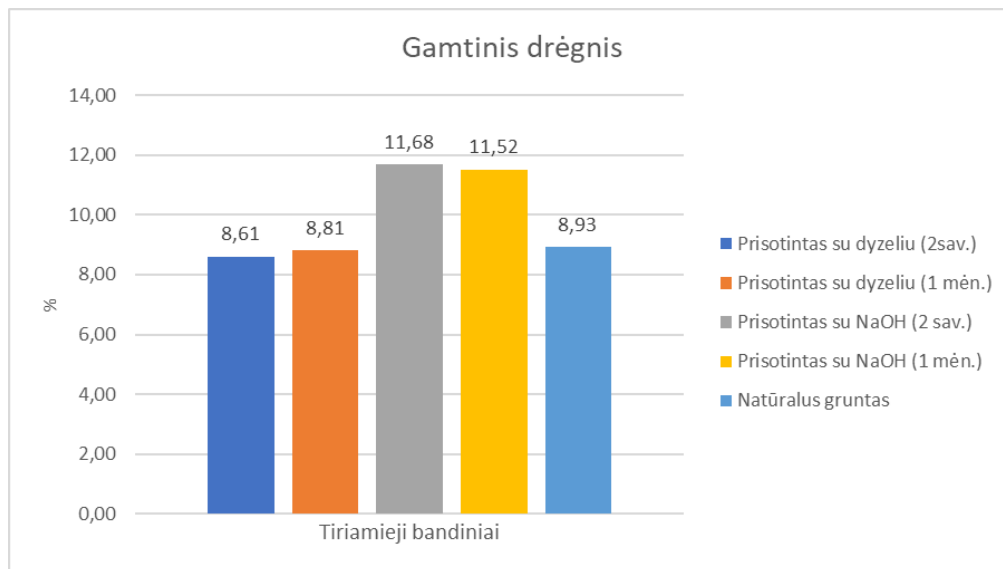
Užterštų bandinių tankiui buvo naudojamas tūrinio tankio nustatymas pagal ISO 17892-2:2014. Išanalizavus „Geotestus“ ataskaitų gautus rezultatus vidurkinis natūralaus moreninio molio gamtinis tankis yra  $2,28 \text{ Mg/m}^3$  po užteršimo gruntų gamtinis tankis nepakito, dyzelinu užteršto ir sotintu 2 savaites. Užtat bandinių, sotintų su dyzelinu ir laikymo trukmė 1 mėnesis, bei bandiniai, kurie buvo sotinti natrio hidroksidu, gamtiniai tankiai sumažėjo iki  $2,22 \text{ Mg/m}^3$ . Rezultatai pateikti 17 pav. Pagal gautus rezultatus matome, jog grunto gamtiniui tankiui dyzelio trumpas poveikis neturi reikšmės. Ilgalaikis ir natrio hidroksido poveikis turi gamtiniam tankiui sumažina  $0,06 \text{ Mg/m}^3$ .



17 pav. Gamtinio tankio rezultatai

#### Drėgnio nustatymas:

Drėgnio nustatymas užterštų gruntų bandiniams atliekamas svėrimo ir džiovavimo būdų. Pradžioje užfiksuojamas drėgnio bandinio svoris, o po to – išdžiovinto bandinio svoris. Skirtumas tarp šių svorių atspindi bandinyje buvusio vandens kiekį. Šis metodas leidžia apskaičiuoti vandens ir sauso mišinio masės santykį, kuris parodo bandinio drėgnį (ISO 17892-1:2014). Natūralaus moreninio molio vidurkinis drėgnis – 8,93 %, o užterštų su dyzelinu gruntų 2 savaitėlių poveikio – 8,61%, 1 mėnesio – 8,81 %, gruntai, kurie buvo užteršti natrio hidroksidu 2 savaites – 11,68 % ir 1 mėnesio – 11,52 %. Sotinimo trukmė cheminėmis medžiagomis neturėjo didelės įtakos grunto drėgniui. Pagal rezultatus, natrio hidroksidas lėmė didesnę drėgmės kiekį 2,7 %. Dyzelio užteršimas neturėjo didelės įtakos natūraliam gruntui. Rezultatai pavaizduoti 18 pav.



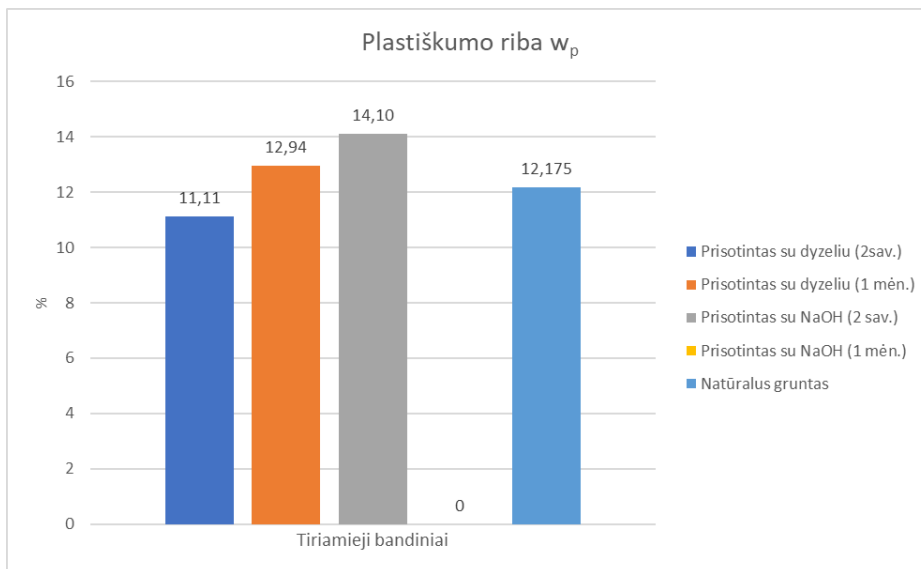
*18 pav. Gamtinio drėgnio rezultatai*

*Plastiškumo nustatymas:*

Nustatant plastiškumo ribos drėgnį  $W_P$ , naudojamas kočiojimo metodas, kuris atliekamas rankiniu būdu. Pradžioje, užterštas molio bandinys išdžiovinamas, sutrinamas ir persijojamas. Tada jis sumaišomas su vandeniu iki vienalytės masės susidarymo. Nedidelis bandinio rutuliukas vyniojamas tarp delnų, kol susiformuoja apie 1 mm storio ir 3 cm ilgio virvelė. Kai šios virvelės paviršius pradeda trūkinėti, tai signalizuoja, kad pasiekta plastiškumo riba. Šio proceso metu išdžiovinti bandiniai leidžia nustatyti buvusio vandens kiekį mišinyje, pagal kurį apskaičiuojamas plastiškumo drėgnis (ISO 17892-12:2018). Tai yra riba, kurią nežymiai viršijus suardytos sandaros molio gruntas iš pusiau kietos būsenos pereina į plastišką (S. Gadeikytė; S. Gadeikis, 2013).

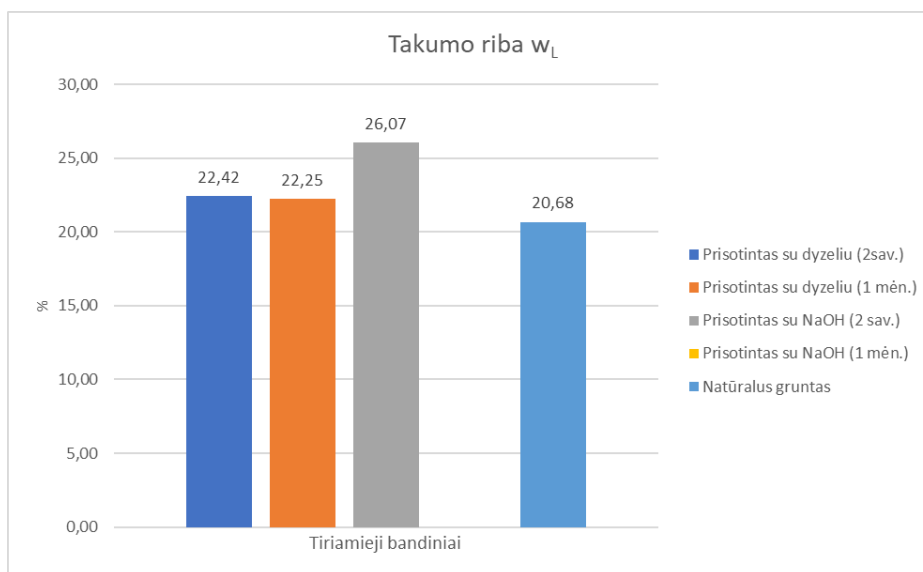
Lyginant su natūralaus moreninio molio vidurkiniu rezultatu plastiškumo riba – 12,18 %, o užterštu dyzelinu grunto rezultatas 2 savaitių – 11,11 %, 1 mėnesio – 12,94 % dyzelis plastiškumo ribai neturėjo didelės reikšmės, nei poveikio trukmė neturėjo ryškaus rezultato. Lyginant su natrio hidroksidu poveikiu, atsiranda labai ryškus požymis poveikio trukmei. Bandiniai, kurie buvo sotinami 2 savaites plastiškumo riba padidėjo – 14,10 %, o po 1 mėnesio sotinimo molis prarado plastiškumo savybę. Remiantis dr. Vytauto Račkausko darbu (V. Račkauskas, 2003) teršiant natrio hidroksidu, pradiniam etape vyksta moreninio grunto išbrinkimo procesas, o tolesnėje eigoje, jam disocijuojant ir sąveikaujant su grunto molio mineralais, silikatais ir tipomorfiniais mineralais, netirpių junginių – cemento susidarymas. Rezultatai parodė, kad gruntas prarado savo plastiškumo savybes ir nepavyko atlikti plastiškumo nustatymo bandymų. Tyrimo rezultatai pateikti 19 pav.





19 pav. Plastiškumo ribos rezultatai

Lyginant natūralaus moreninio molio vidurkinius rezultatus takumo riba – 20,68 %, o moliai, kurie buvo užteršti dyzelinu takumo riba padidėjo, bet poveikio trukmė neturėjo įtakos 2 savaitių – 22,42 %, 1 mėnesio – 22,25 %. Bandiniai kurie buvo užteršti natrio hidroksidu irgi padidėjo, 2 savaitių – 26,07 %, 1 mėnesio nepavyko nustatyti. Dyzelio poveikis mažesnis negu natrio hidroksido. Rezultatai 20 pav.

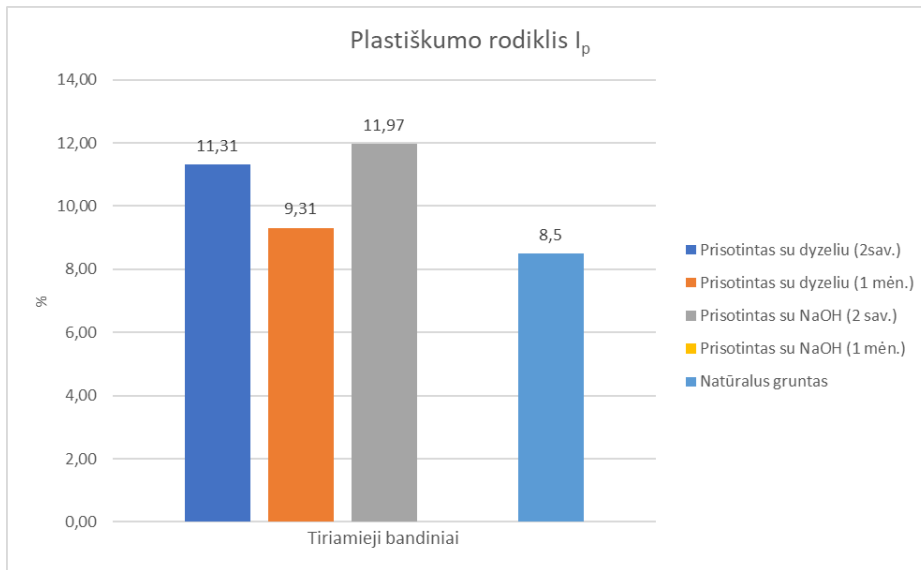


20 pav. Takumo ribos rezultatai

Plastiškumo rodiklis  $I_P$  suprantamas kaip skirtumas tarp grunto takumo drėgnio  $W_L$  ir plastiškumo drėgnio  $W_P$  :

$$I_P = W_L - W_P; (3)$$

Natūralaus moreninio molio vidurkinis plastiškumo rodiklio rezultatas – 8,5 %, o užterštas su dyzelinu 2 savaitių poveikis buvo stipresnis negu 1 mėnesio. 2 sav. – 14,8 %, 1 mėn. – 9,31 %. Natrio hidroksido užteršimo rezultatas 2 savaitių – 11,97 %. Rezultatai pavaizduoti 21 pav.



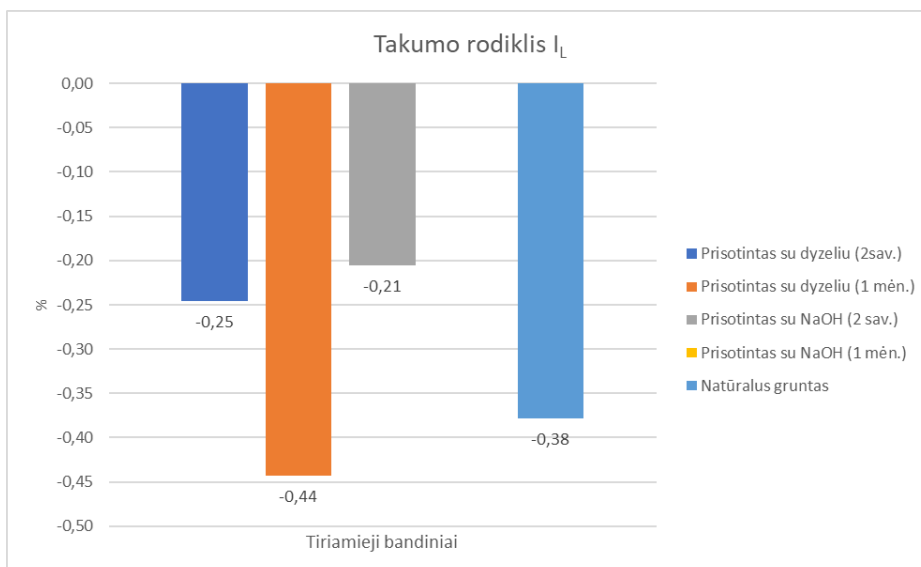
21 pav. Plastiškumo rodiklių rezultatai

Takumo rodiklis  $I_L$  nurodo grunto konsistenciją nuo tokios iki kietos. Apskaičiuojamas pagal formulę:

$$I_L = (W - W_p) / I_p; \quad (4)$$

Čia  $W$  – drėgnis,  $W_p$  – plastiškumo ribos drėgnis,  $I_p$  – plastiškumo rodiklis.

Natūralaus moreninio molio vidurkinis rezultatas yra -0,38, neigiama reikšmė gauta dėl moreninio molio kietos konsistencijos. Užteršto su dyzelinu rezultatai išsiskiria poveikio trukmės padarytos įtakos. 2 savaičių sotinimas padidino rezultatą iki -0,25, 1 mėnesio poveikis sumažino iki -0,44, o natrio hidroksidu užteršti bandiniai, rezultatas padidėjo iki -0,21. Rezultatai pateikti 22 pav.

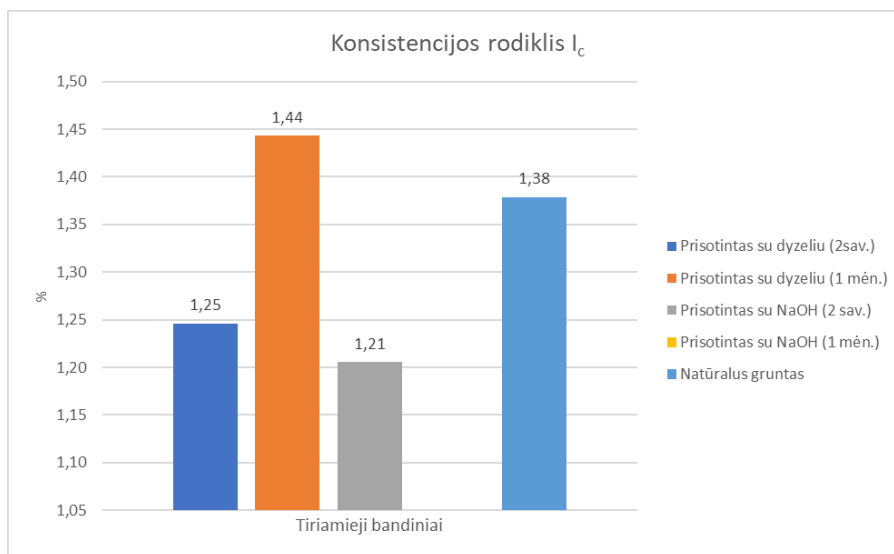


22 pav. Takumo rodiklio rezultatai

Konsistencijos rodiklis  $I_C$  apskaičiuojamas:

$$I_c = \frac{(W_L - W)}{I_p}; (5)$$

Čia  $W$  – drėgnis,  $W_L$  – takumo ribos drėgnis,  $I_p$  – plastiškumo rodiklis.



23 pav. Konsistencijos rodiklio rezultatai

Natūralaus moreninio molio vidurkinis rezultatas – 1,38, dyzelinu užteršimas trumpalaikis sumažino reikšmę, o ilgalaikis padidino. 2 savaitių – 1,25 %, 1 mėnesio – 1,44 % o natrio šarmo trumpalaikis poveikis irgi sumažino iki 1,21. Rezultatai pateikti 23 pav.

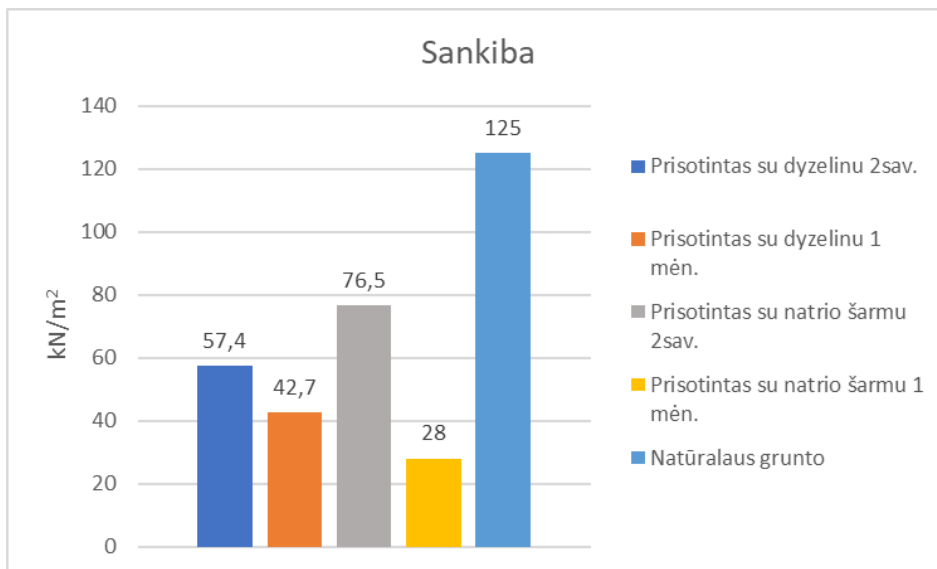
#### 4.2 Mechaninių savybių nustatymas ir rezultatai

Tyrimų metu buvo atlikta 10 tiesioginio kirpimo bandymų, Šie bandymai skirti nustatyti moreninio molio sankibai ir vidiniam trinties kampui. Iš gautų rezultatų galima nustatyti kokį poveikį cheminis užteršimas turi moreniniam moliui stiprumui.

Atliktų bandymų rezultatai pateikti 24 pav. ir 25 pav. Grafikuose pateikiamos gautos užterštų gruntų reikšmės kartu su natūralaus grunto vidurkiniu rezultatu. 24 pav. pateiktas sankibos pokytis paveikus skirtingomis cheminėmis medžiagomis skirtingo poveikio intervalu. Užteršti moliai dyzelinu turėjo neigiamą poveikį stiprumui. 2 savaitių – 57,4 kN/m<sup>2</sup>, 1 mėnesio – 42,7 kN/m<sup>2</sup>. Pagal šiuos rezultatus galima pamatyti, jog ilgesnio poveikio teršimas turi didesnę neigiamą poveikį gruntui.

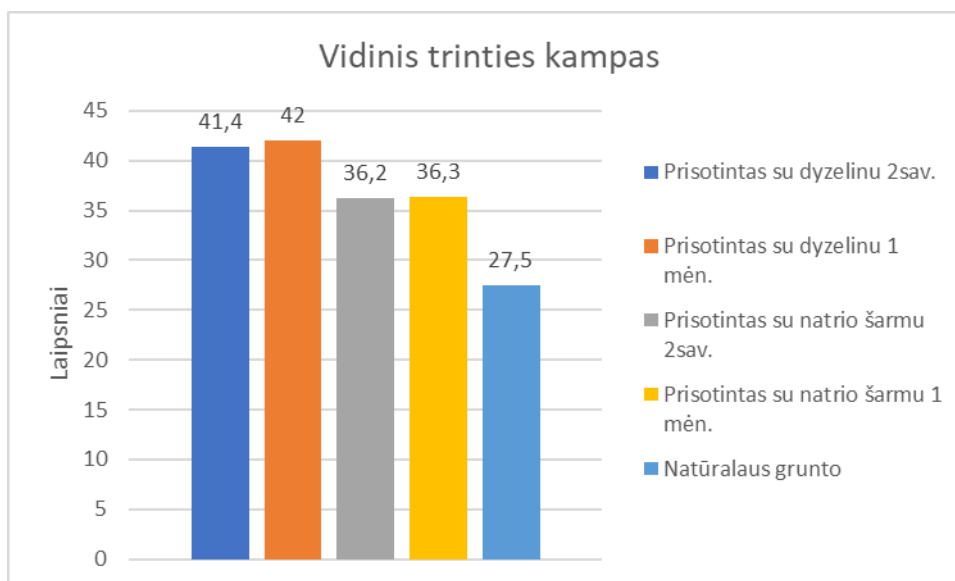
Bandiniai, kurie buvo teršiami natrio hidroksidu irgi turėjo neigiamą poveikį grunto stiprumui. Kaip ir su dyzeliu, taip ir natrio hidroksidu, ilgesnis poveikis turėjo didesnę neigiamą poveikį moliui. 2 savaitių sumažėjo iki 76,5 kN/m<sup>2</sup>, 1 mėnesio sumažėjo iki 28 kN/m<sup>2</sup>. Pagal gautus rezultatus matom, kad ilgesnio intervalo poveikis turės didesnę poveikį grunto stiprumui.

Lyginant, kuri cheminė medžiaga paveikė stipriau, galime teigti, jog trumpesnio poveikio teršime dyzelinas padaro didesnę neigiamą poveikį. Ilgesnio poveikio teršime, galime teigti, kad natrio šarmas paveiks stipriau.



24 pav. Tiesioginio kirpimo bandymo gauti rezultatai – sankiba,

25 pav. pateiktame grafike pavaizduoti tiesioginio kirpimo bandymo metu gauti vidinės trinties kampo rezultatai. Pagal gautus rezultatus galima pastebėti, kad užterštų molių vidinis trinties kampas padidėjo. Natūralaus molio vidurkinis kampas – 27,5 laipsniai, o dyzelinu užteršto molio rezultatai yra didžiausi. 2 savaitių 41,4°, 1 mėnesio - 42°. Natrio šarmo užteršto molio rezultatai 2 savaitių – 36,2°, 1 mėnesio – 36,3°. Šiuose rezultatuose pastebima tendencija,



25 pav. Tiesioginio kirpimo bandymo gauti rezultatai – vidinis trinties kampas

kad poveikio trukmė neturėjo didelės įtakos vidiniam trinties kampui. Dyzelio poveikis, buvo didžiausias.

## IŠVADOS

Atlikus laboratorinius bandymus ir išanalizavus gautus rezultatus pateikiamos tokios išvados:

- Atsižvelgiant į pasaulio mokslinius tyrimus ir publikacijas, nagrinėjančias cheminių medžiagų poveikį natūraliam ir dirbtiniam gruntui, nustatyta, kad cheminės medžiagos pablogina grunto geotechnines savybes.
- Išanalizavus tyrimų ataskaitas ir archyvinę fondinę medžiagą, literatūros šaltinius nustatyta, kad tiriami natūralūs gruntai yra priskiriami Vėlyvojo Nemuno ledynmečio glacialinių nuogulų (g III nm<sub>3</sub>) smėlingam mažo plastiškumo moliui (saCIL). Pagal savo fizikines mechanines savybes tai stiprūs, mažo spūdumo gruntai, sankiba  $c = 125$  (KN/m<sup>2</sup>), vidinės trinties kampas  $\varphi = 27,5^\circ$ , vidutinis kūginis stipris  $q_c = 6,5$  (MN/m<sup>2</sup>), deformacijos modulis  $E_o = 78$  (MN/m<sup>2</sup>).
- Gauti tyrimų rezultatai parodė, jog dyzelinas ir natrio hidroksidas neturi žymios įtakos fizikinėms grunto savybėms. Gauti rezultatai palyginus su natūralaus grunto rezultatais žymiai nesiskyrė. Gauti rezultatai pakliūna į matavimo paklaidų ribas, išskyrus viena bandymą, 1 mėnesio natrio hidroksido sotinimas. Moreninis molis po sotinimo prarado savo plastiškąsias savybes.
- Mechaninių savybių rezultatai leidžia teigti, kad cheminės medžiagos tiek dyzelinas tiek natrio hidroksidas paveikia molinį gruntą. Dviejų savaičių dyzelino sotinimas sumažino sankibą 45 % (nuo 125 iki 57,4 kN/m<sup>2</sup>), o vieno mėnesio sotinimas – 66 % (nuo 125 iki 42,7 kN/m<sup>2</sup>). Natrio šarmo 2 savaičių sotinimas sankibą sumažino 40 % (nuo 125 kN/m<sup>2</sup> iki 76,5 kN/m<sup>2</sup>), o mėnesio sotinimas – 80 % (nuo 125 iki 28 kN/m<sup>2</sup>). Dyzelino sotinimas padidino vidinį trinties kampą nuo 27° iki 41°, tačiau poveikio trukmė neturėjo didelės reikšmės. Natrio hidroksido sotinimas vidinį trinties kampą padidino nuo 27° iki 36°, o poveikio trukmė taip pat neturėjo didelės reikšmės.

*REKOMENDACIJA – atlikti tyrimai parodė, kad įvykus technogeninei nelaimei ar avarijai, kurios pasėkoje gali išsilieti į aplinką teršalai (dyzelinas ir kt.) moreniniai stiprūs gruntai gali netekti savo stiprumo. Savybių sumažėjimas gali siekti gana ženkliai- nuo 45 iki 80 proc. nuo savo pirminio gamtinio stiprumo.*

*Toks stipruminių savybių pablogėjimas gali sukelti įvairių inžinerinių statinių pagrindų deformacijas, kas sukeltų didelį pavojų jų stabilumui ir tolimesnei eksploatacijai.*

*Atliekant geotechninį projektavimą, būtina į tai atkreipti dėmesį*

## Literatūra

1. Al-Sanad, H. A., Eid, W. K., & Ismael, N. F. (1995). Geotechnical Properties of Oil-Contaminated Kuwaiti Sand. *Journal of Geotechnical Engineering*, 121(5), 407–412. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1995\)121:5\(407\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1995)121:5(407))
2. Ayininuola, G. M., & Oyegbile, O. B. (2013). Laboratory Studies on the Influence of Crude Oil Spillage on Lateritic Soil Shear Strength: A Case Study of Niger Delta Area of Nigeria. *Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering*, 3(2), 1792–9660. <https://www.researchgate.net/publication/363484375>
3. Baltrūnas, V., Waller, R. I., Kazakauskas, V., Paškauskas, S., & Katinas, V. (2014). A comparative case study of subglacial bedforms in northern Lithuania and south-eastern Iceland. *Baltica*, 27(2), 75–92. <https://doi.org/10.5200/baltica.2014.27.18>
4. Baubiniene, A. (2015). Nuolydžio įtaka salų pasiskirstymui Lietuvos upėse. *Geografija*, 50(2). <https://doi.org/10.6001/geografija.v50i2.3001>
5. *Effects of Oil Contamination on Geotechnical Properties of Alluvial Soil, Naini, Allahabad 40.* (n.d.).
6. Harsh, G., Patel, A., Himanshu, B., & Tiwari, P. (2016). Effect of Rate of Crude Oil Contamination on Index Properties and Engineering Properties of Clays and Sands. *Indian Journal of Science and Technology*, 9(30), 1–4. <https://doi.org/10.17485/IJST/2016/V9I30/99193>
7. Jia, Y. G., Wu, Q., Shang, H., Yang, Z. N., & Shan, H. X. (2011). The influence of oil contamination on the geotechnical properties of coastal sediments in the Yellow River Delta, China. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 70(3), 517–525. <https://doi.org/10.1007/S10064-011-0349-8/METRICS>
8. Jonathan Okore Ota. (2013). *THE EFFECT OF LIGHT CRUDE OIL CONTAMINATION ON THE GEOTECHNICAL PROPERTIES OF KAOLINITE CLAY SOIL JONATHAN OKORE OTA.*
9. Karmaziene, D., Karmaza, B., & Baltrunas, V. (2013). Glacial geology of north lithuanian ice marginal ridge and surrounding plains. *Baltica*, 26(1), 57–70. <https://doi.org/10.5200/baltica.2013.26.07>
10. Kermani, M., & Ebadi, T. (2012). The Effect of Oil Contamination on the Geotechnical Properties of Fine-Grained Soils. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 21(5), 655–671. <https://doi.org/10.1080/15320383.2012.672486>
11. Khomehchiyan, M., Hossein Charkhabi, A., & Tajik, M. (2007). Effects of crude oil contamination on geotechnical properties of clayey and sandy soils. *Engineering Geology*, 89(3–4), 220–229. <https://doi.org/10.1016/J.ENGGEOL.2006.10.009>
12. Meegoda, J. N., Chen, B., Gunasekera, S. D., & Pederson, P. (n.d.). *Compaction Characteristics of Contaminated Soils-Reuse as a Road Base Material.*
13. Mustafa, Y. M., Al-Amoudi, O. S. B., Ahmad, S., & Maslehuddin, M. (2018). Geotechnical Properties of Plastic Marl Contaminated with Diesel. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 43(10), 5573–5583. <https://doi.org/10.1007/S13369-018-3224-0/METRICS>

14. Nwachukwu, A. N., Okoro, B. C., Osuagwu, J. C., Nwakwasi, N. L., & Onyechere, I. C. (2020). *Index and Compaction Properties of Oil Contaminated Clay Soils in Niger-Delta Region of Nigeria*. <https://doi.org/10.36348/sjet.2020.v05i02.007>
15. Ota, J. O. (2023). *The effect of light crude oil contamination on the geotechnical properties of kaolinite clay soil*.  
/articles/thesis/The\_effect\_of\_light\_crude\_oil\_contamination\_on\_the\_geotechnical\_properties\_of\_kaolinite\_clay\_soil/23753103/1
16. Ruseckas, J., & Grigaliunas, V. (2008). Effect of drain-blocking and meteorological factors on ground water table fluctuations in kamanos mire. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 16(4), 168–177.  
<https://doi.org/10.3846/1648-6897.2008.16.168-177>
17. S. Gadeikytė; S. Gadeikis. (2013). *Gruntotyros pagrindai*.
18. Salimnezhad, A., Soltani-Jigheh, H., & Soorki, A. A. (2021). Effects of oil contamination and bioremediation on geotechnical properties of highly plastic clayey soil. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 13(3), 653–670.  
<https://doi.org/10.1016/J.JRMGE.2020.11.011>
19. Yazdi, A., Ebrahim, , & Teshnizi, S. (2021). *Effects of contamination with gasoline on engineering properties of fine-grained silty soils with an emphasis on the duration of exposure*. 3, 704. <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04637-x>
20. Vytautas Račkauskas disertacija (2003) „Cheminės taršos įtaka glacialinių gruntų stiprumo parametrams“

#### Naudoti standartai:

1. LST EN ISO 17892-1:2014 „Geotechniniai tyrinėjimai ir bandymai. Laboratoriniai grunto bandymai. 1 dalis. Vandens kiekio nustatymas“;
2. LST EN ISO 17892-2:2014 „Geotechniniai tyrinėjimai ir bandymai. Laboratoriniai grunto bandymai. 2 dalis. Tūrinio tankio nustatymas“;
3. LST EN ISO 17892-3:2015 „Geotechniniai tyrinėjimai ir bandymai. Laboratoriniai grunto bandymai. 3 dalis. Dalelių tankio nustatymas“;
4. LST EN ISO 17892 – 12:2018 „Geotechniniai tyrinėjimai ir bandymai. Laboratoriniai grunto bandymai. 12 dalis. Takumo ir plastiškumo ribų nustatymas.

#### Naudotos ataskaitos:

1. D. Urbaitis (2022) Kitos paskirties statinys, vėjo elektrinė VE9, Laumėnų I k., Kruopių sen., Akmenės r. sav., III geotechninės kategorijos projektinių inžinerinių geologinių ir geotechninių tyrimų ataskaita. UAB „Geotestus“
2. D. Urbaitis (2022) Kitos paskirties statinys, vėjo elektrinė VE15, Laumėnų I k., Kruopių sen., Akmenės r. sav., III geotechninės kategorijos projektinių inžinerinių geologinių ir geotechninių tyrimų ataskaita. UAB „Geotestus“
3. D. Urbaitis (2022) Kitos paskirties statinys, vėjo elektrinė VE1007, Laumėnų I k., Kruopių sen., Akmenės r. sav., III geotechninės kategorijos projektinių inžinerinių geologinių ir geotechninių tyrimų ataskaita. UAB „Geotestus“

#### Internetinė prieiga:

[Lietuvos geologijos tarnybos el.paslaugos \(lgt.lt\)](http://lietuvos.geologijos tarnybos el.paslaugos (lgt.lt))

## Santrauka

Gruntinio vandens užterštumas yra viena iš opiausių aplinkosaugos problemų šiuolaikiniame pasaulyje, turintis tiesioginį poveikį tiek žmonių sveikatai, tiek aplinkai. Tačiau, svarbu nepamiršti, kad ne mažiau reikšmingas yra ir pačio grunto užterštumas. Grunto tarša gali turėti ilgalaikių pasekmių ekosistemoms, pakenkti augalijai ir gyvūnijai, bei daryti neigiamą įtaką žemės naudojimo efektyvumui ir kokybei.

**Darbo tikslas** - Ištirti Lietuvos teritorijos dirbtiniai užteršto grunto geotechnines savybes.

**Darbo objektas** - Vėlyvojo Nemuno ledynmečio glacialinių nuogulų (gIII nm<sub>3</sub>) molinis gruntas, esantis Akmenės raj., Laumėnų kaime.

### Darbo uždaviniai:

- Atsivežti nesuardytos sandaros grunto bandinius iš UAB „Geotestus“ gamybinės bazės Vilniuje į „Energetikų mokymo centras“ gruntų tyrimų laboratoriją Kaune, bei atlikti jų atranką,
- Surinkti ir išanalizuoti Vėlyvojo Nemuno ledynmečio glacialinių nuogulų (gIII nm<sub>3</sub>) molinių gruntų, geotechninių savybių duomenis, gautus atlikus neužteršto grunto tyrimus VU Chemijos ir geomokslų fakulteto Gruntų mechanikos laboratorijoje,
- Atlikti dirbtinį grunto užteršimą cheminėmis medžiagomis ir paruošti pasirinkto laiko intervalo gruntų prisotinimą,
- Ištirti užterštų ir prisotintų gruntų geotechnines savybes laboratoriniais tyrimo metodais ir palyginti su neužteršto, gamtinės būsenos gruntų savybėmis.

Atlikus bandymus ir išanalizavus duomenis buvo nustatyta, jog dyzelinas ir natrio hidroksidas turi įtakos grunto fizikinėms ir mechaninėms savybėms. Dyzelinas per 2 savaitės sumažino sankibą 45 %, o per mėnesį 66 % nuo pradinės vertės. Natrio hidroksidas per 2 savaitės sumažino sankibą 40 %, o per mėnesį 80 %. Vidinis trinties kampas padidėjo tiek dyzelino tiek natrio šarmo atveju atitinkamai 15° ir 9°, o užteršimo trukmė neturėjo pastebimo poveikio.



## Summary

Groundwater contamination has emerged as a critical environmental concern due to its well-documented detrimental effects on human health and ecological systems. However, anthropogenic soil contamination, while often overlooked, presents equally significant environmental threats. This research investigates the impact of artificial soil contamination on the geotechnical properties of clay soils in Lithuania.

Aim of the thesis - to investigate the geotechnical properties of artificially contaminated soil in Lithuania.

Research subject - clay soil from the Late Nemunas Glacial Deposits (gIII nm<sub>3</sub>) located in Laumėnai village.

### Research tasks:

- Collect undisturbed soil samples from UAB "Geotestus" production base in Vilnius and transport them to the Soil Testing Laboratory of the Energy Training Center in Kaunas. Select appropriate samples for further analysis,
- Gather and analyse geotechnical data of Late Nemunas glacial deposits (gIII nm<sub>3</sub>) clay soils obtained from uncontaminated soil tests conducted at the Soil Mechanics Laboratory of the Faculty of Chemistry and Geosciences at Vilnius University,
- Perform artificial soil contamination with chemicals and prepare soil saturation for selected time intervals,
- Investigate the geotechnical properties of contaminated and saturated soils using laboratory testing methods and compare them to the properties of uncontaminated, natural state soils.

The research identified significant alterations in the soil's physical and mechanical properties due to contamination with diesel fuel and sodium hydroxide. Diesel fuel exposure resulted in a substantial reduction in soil cohesion, with a 45.1% decrease observed after a two-week period and a 65.8% decrease after one month compared to the initial value. Similarly, sodium hydroxide exposure led to a decrease in soil cohesion, with a 38.8% reduction after two weeks and a 77.6% reduction after one month. Interestingly, the internal friction angle exhibited an increase in both diesel fuel and sodium hydroxide cases (15° and 9°, respectively). However, the duration of contamination did not appear to have a significant effect on this particular property.

# PRIEDAI

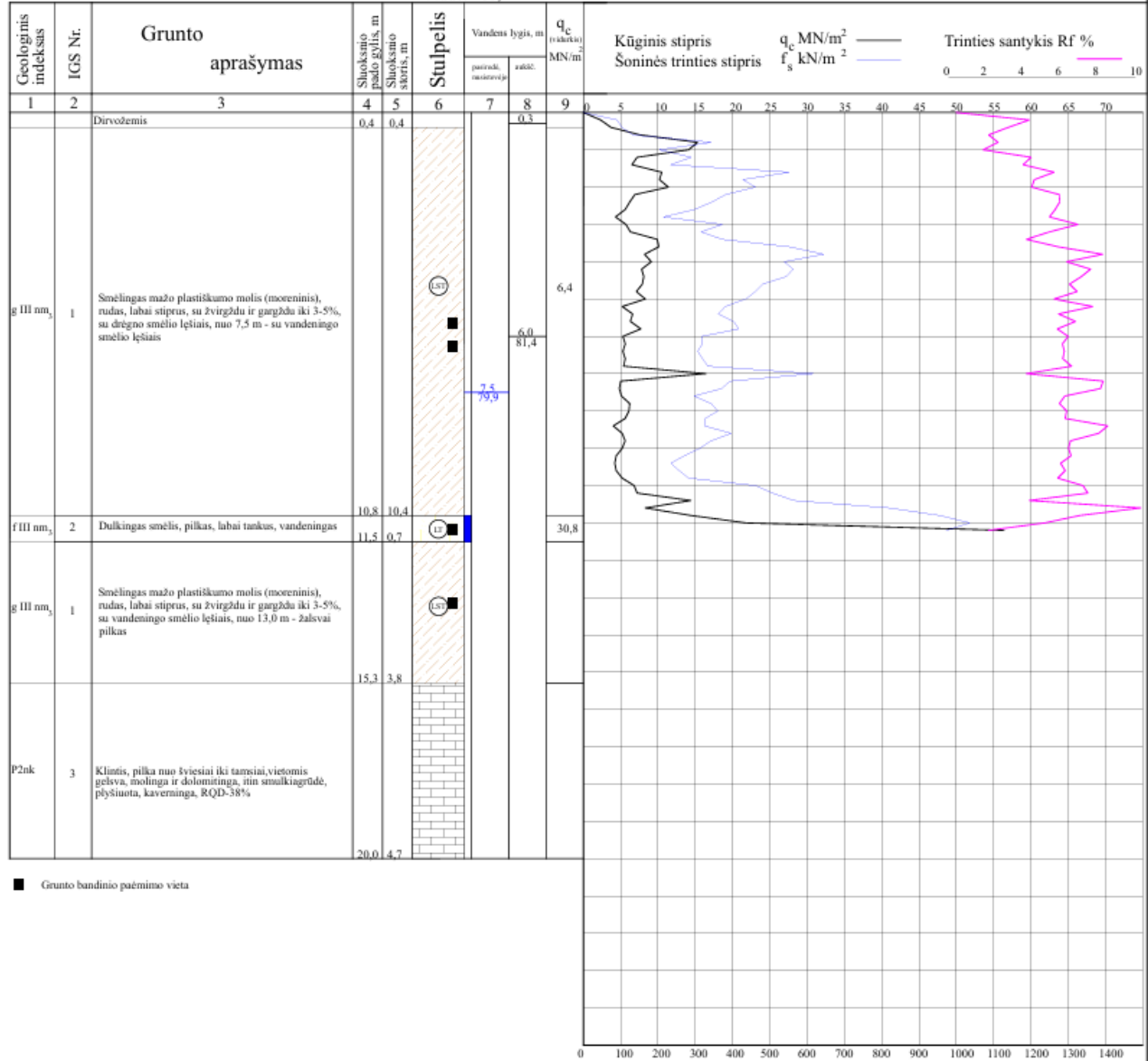
Priedas Nr.1.1.

## GREŽINYS IR STATINIO ZONDAVIMO BANDYMAS Nr. 9-1

VE-09

2022-11

Altitudė: ~87,4 m



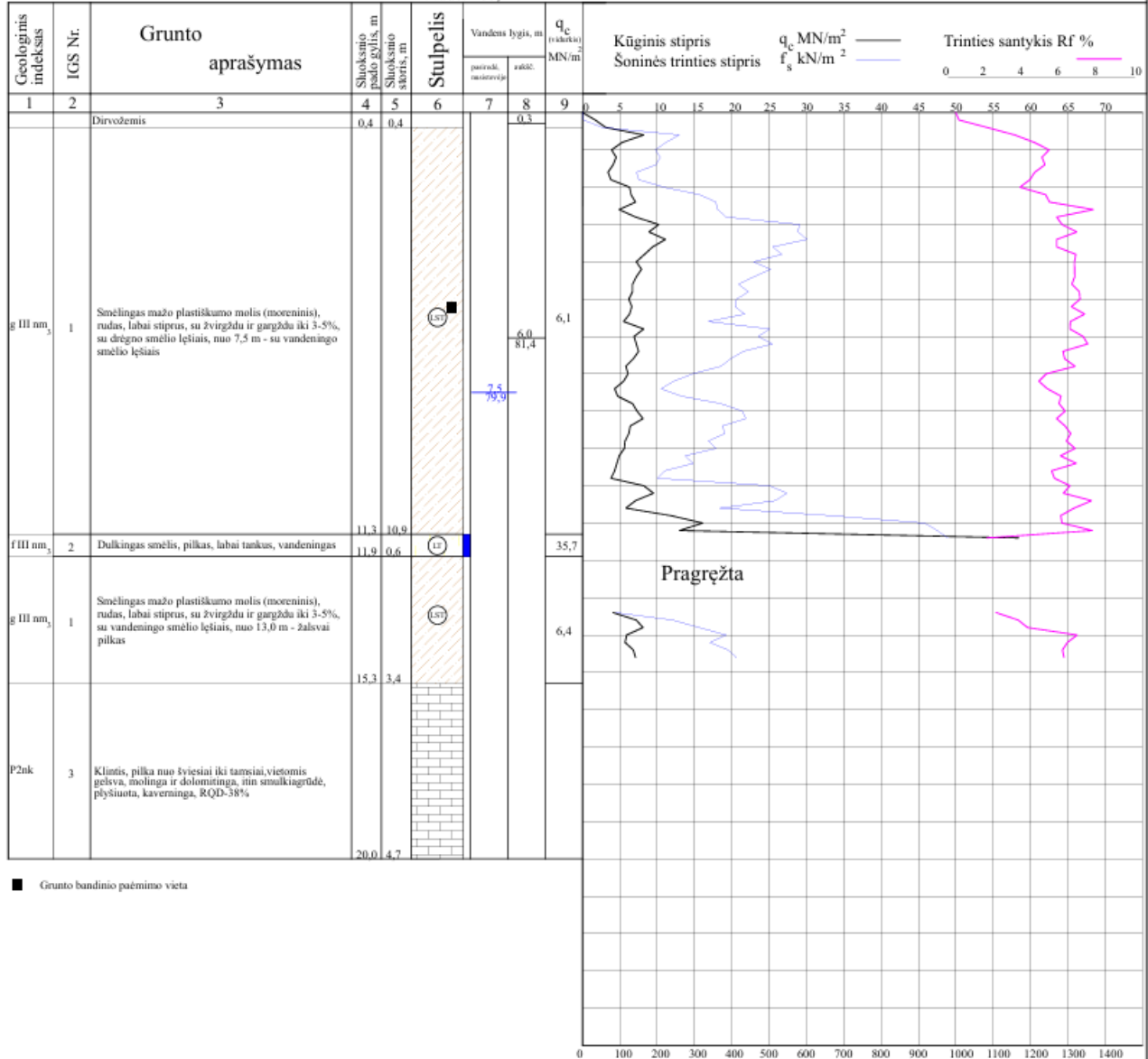
(Nuotrauka, „Geotestus“)

GREŽINYS IR STATINIO ZONDAVIMO BANDYMAS Nr. 9-2

VE-09

2022-11

Altitudė: ~87,4 m



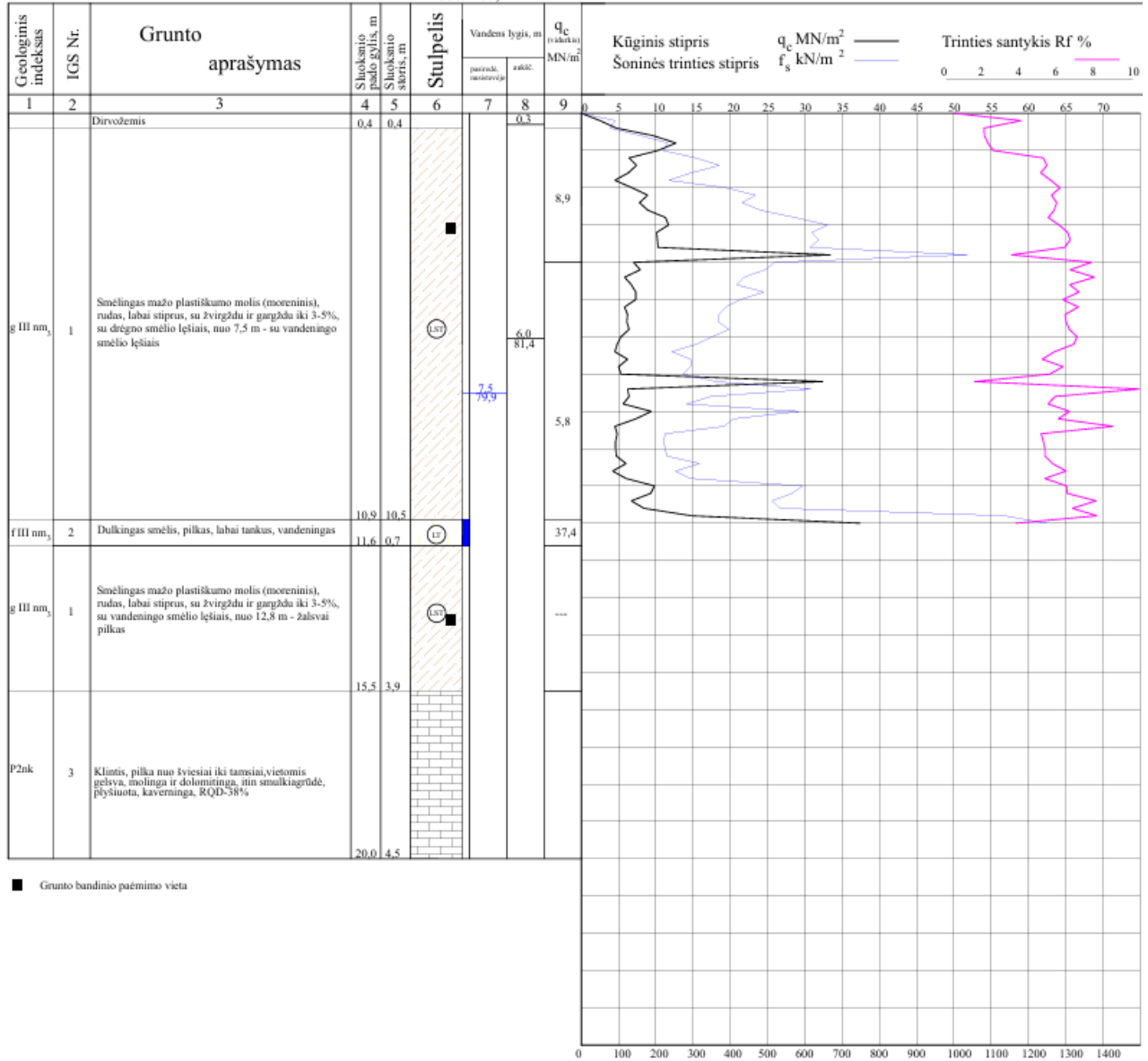
(Nuotrauka, „Geotestus“)

GRĘŽINYS IR STATINIO ZONDAVIMO BANDYMAS Nr. 9-3

VE-09

2022-11

Altitudė: ~87,4 m



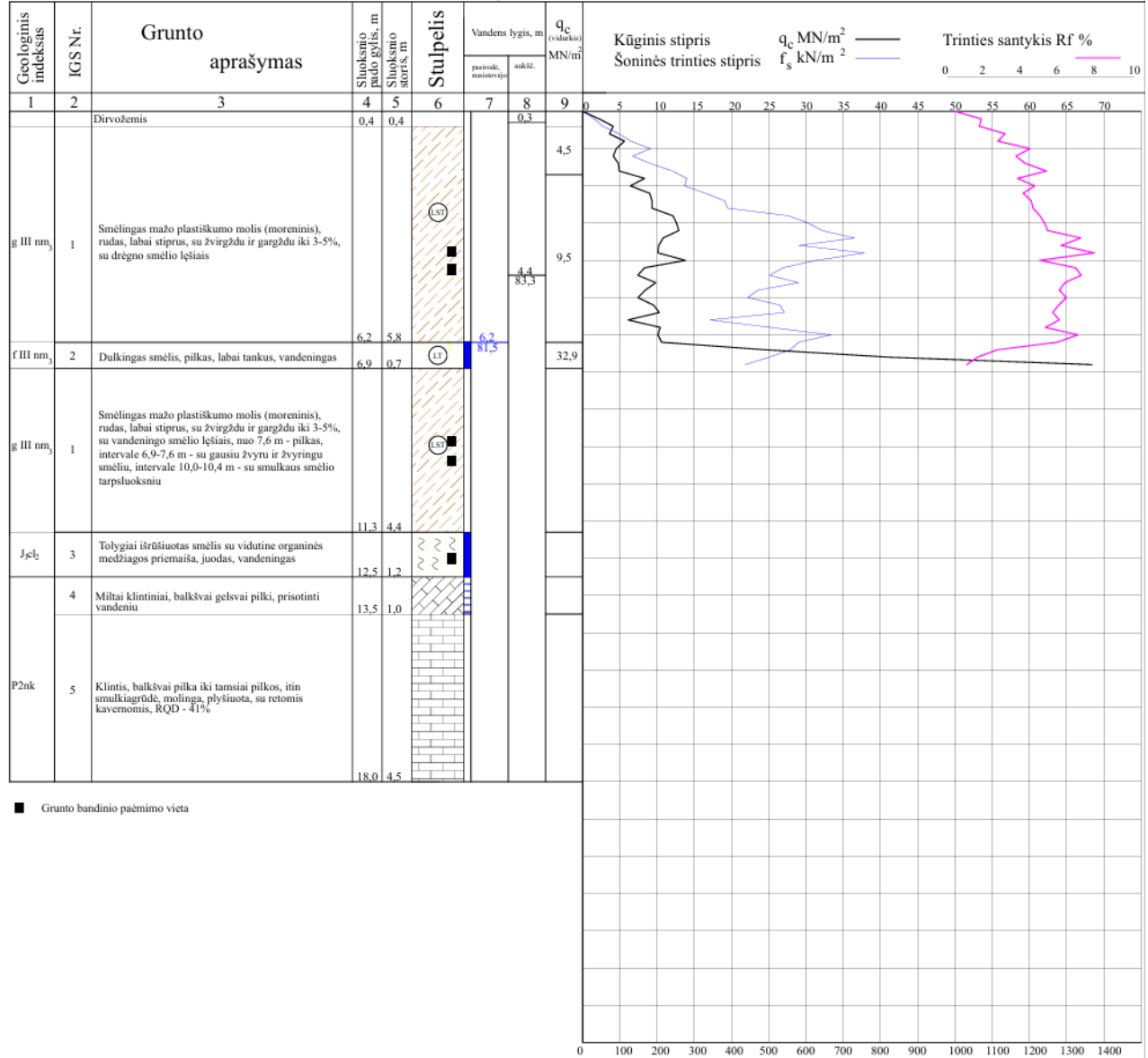
(Nuotrauka, „Geotestus“)

GREŽINYS IR STATINIO ZONDAVIMO BANDYMAS Nr. 15-1

VE-15

2022-11

Altitudė: ~87,7 m



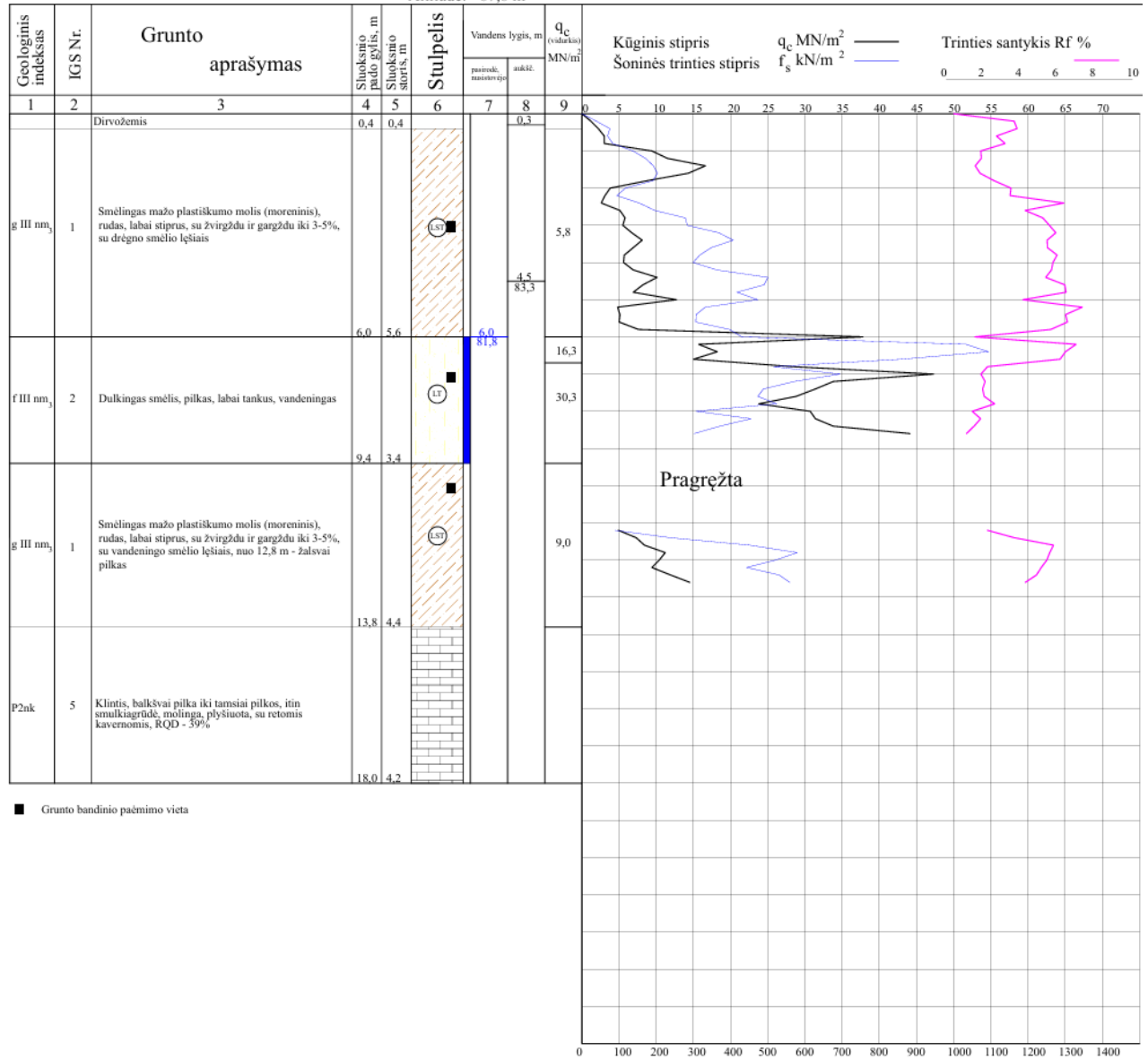
(Nuotrauka, „Geotestus“)

GREŽINYS IR STATINIO ZONDAVIMO BANDYMAS Nr. 15-2

VE-15

2022-11

Altitudė: ~87,8 m



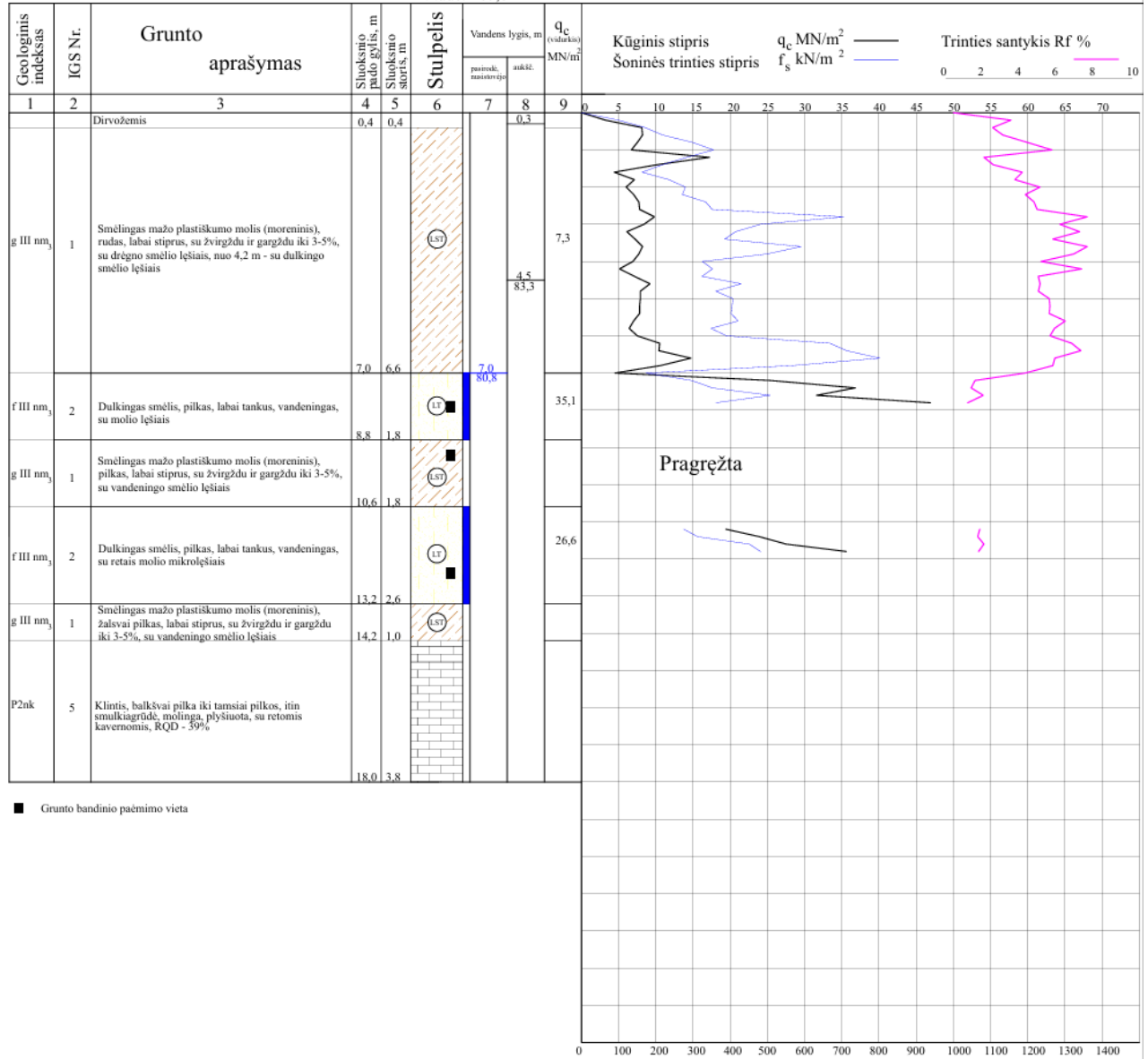
(Nuotrauka, „Geotestus“)

GREŽINYS IR STATINIO ZONDAVIMO BANDYMAS Nr. 15-3

VE-15

2022-11

Altitudė: ~87,8 m



■ Grunto bandinio paėmimo vieta

(Nuotrauka, „Geotestus“)

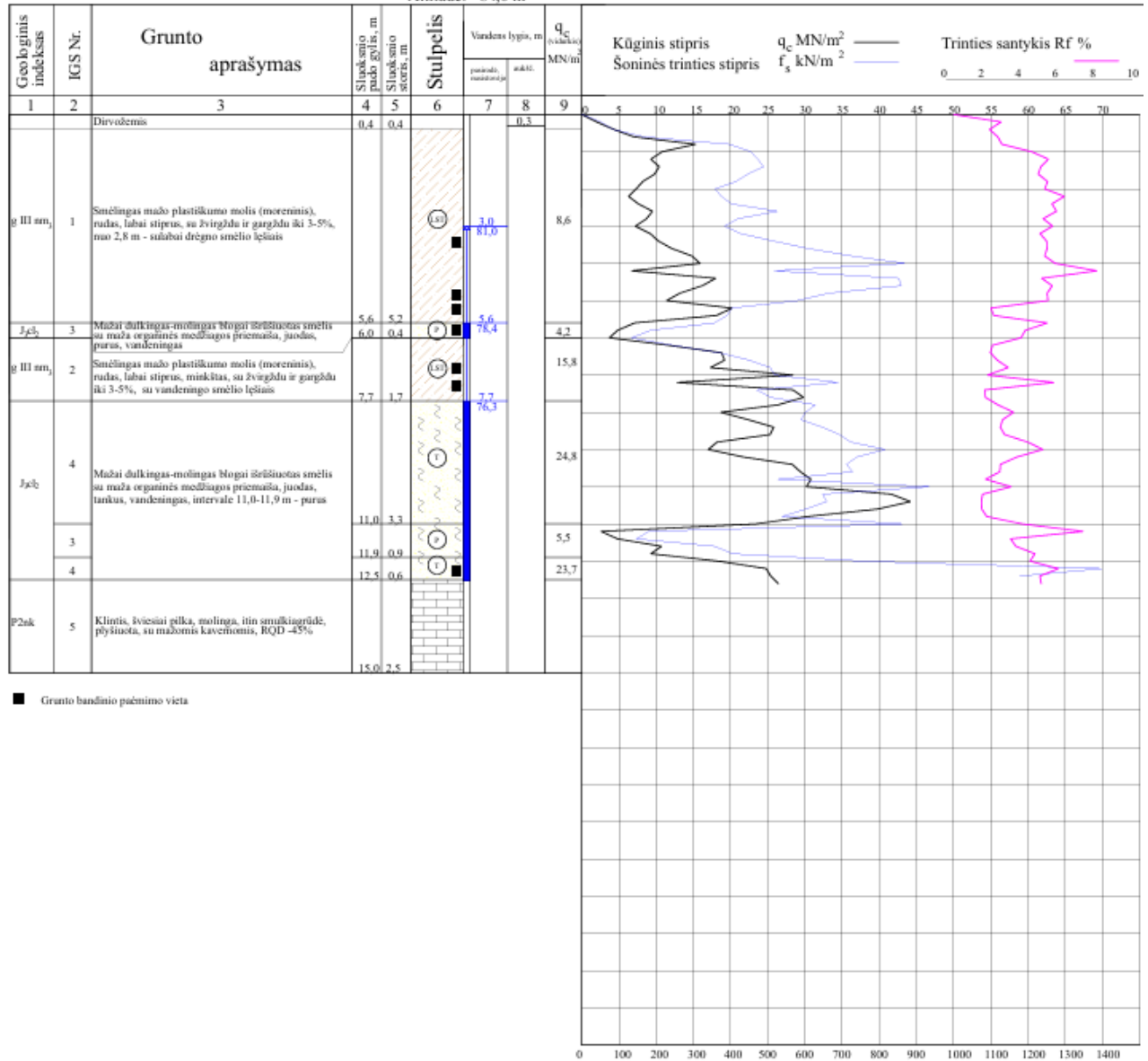


GREŽINYS IR STATINIO ZONDAVIMO BANDYMAS Nr. 1007-1

VE-1007

2022-11

Altitudė: ~84,0 m



■ Grunto bandinio paimimo vieta

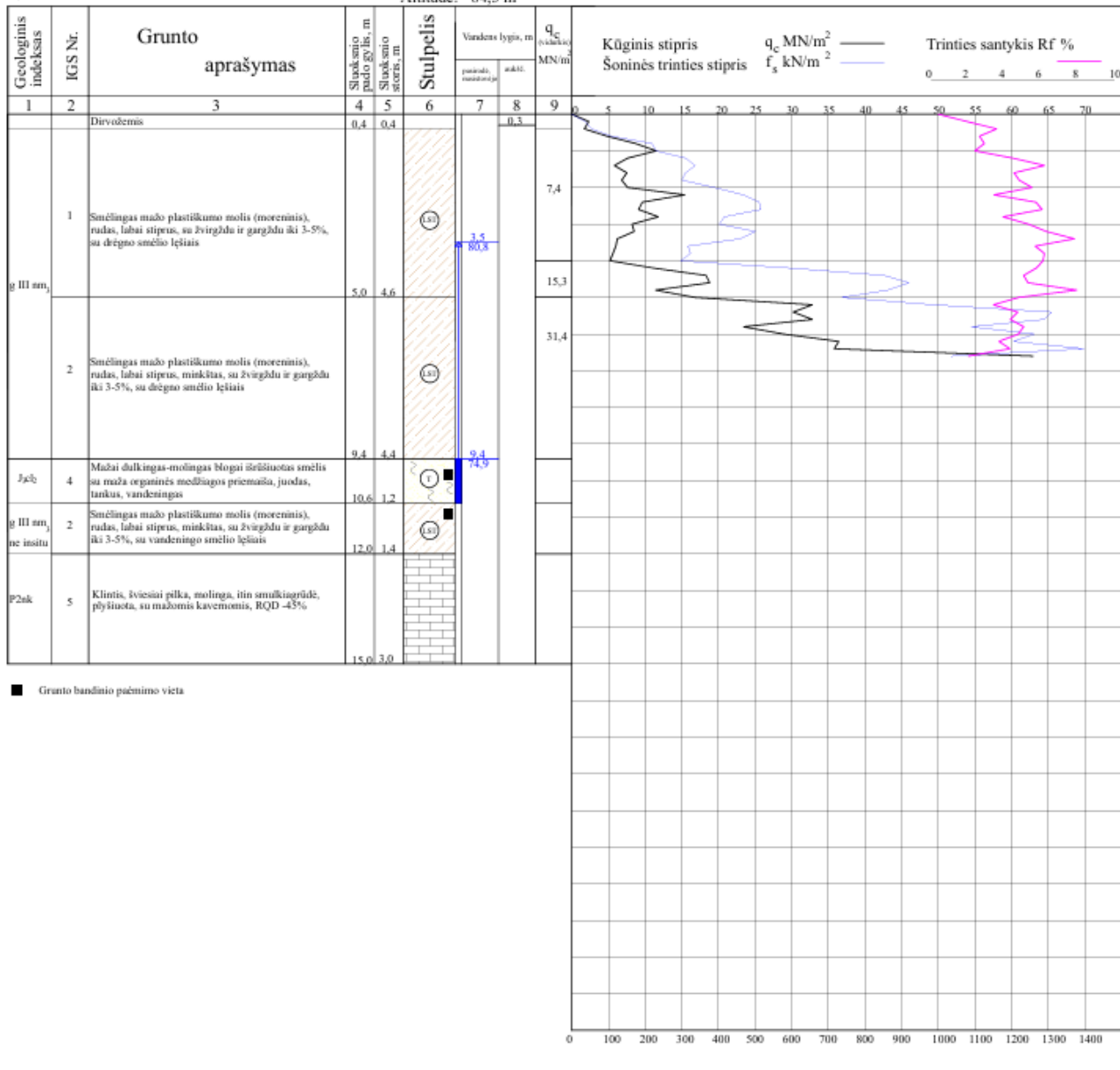
(Nuotrauka, „Geotestus“)

GRĖŽINYS IR STATINIO ZONDAVIMO BANDYMAS Nr. 1007-2

VE-1007

2022-11

Altitudė: ~84,3 m



■ Grunto bandinio paėmimo vieta

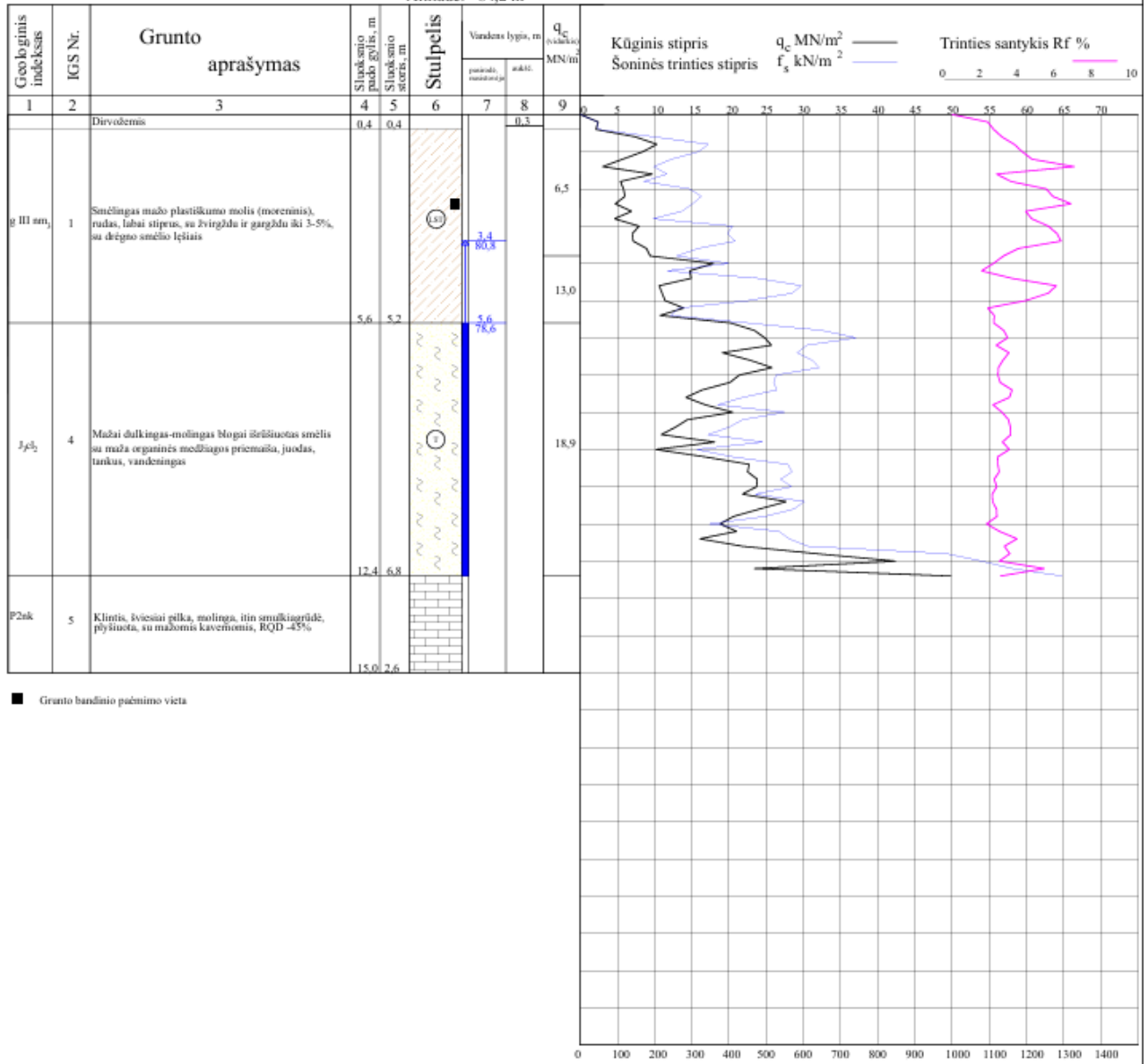
(Nuotrauka, „Geotestus“)

GREŽINYS IR STATINIO ZONDAVIMO BANDYMAS Nr. 1007-3

VE-1007

2022-11

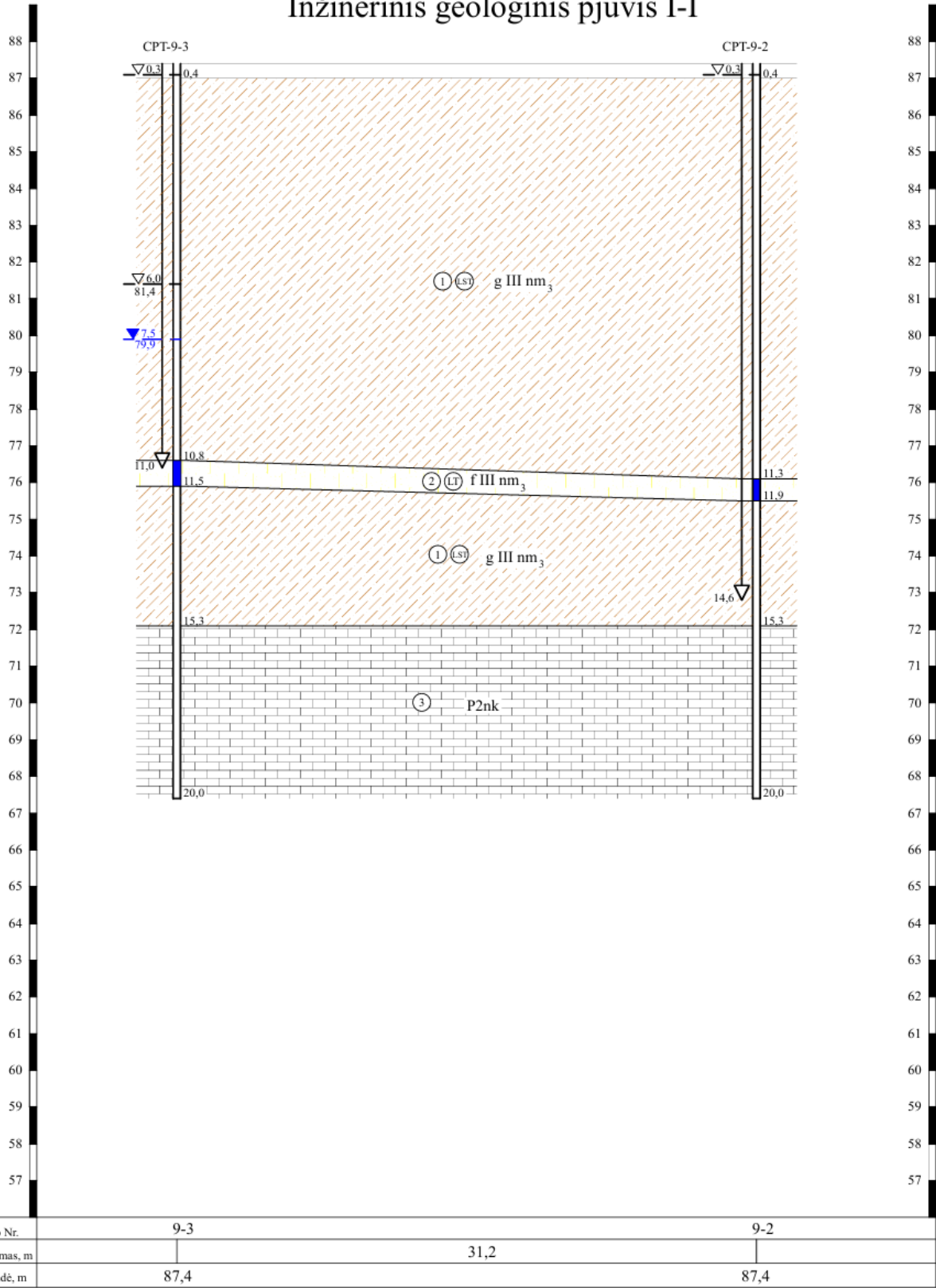
Altitudė: ~84,2 m



■ Grunto bandinio paėmimo vieta

(Nuotrauka, „Geotestus“)

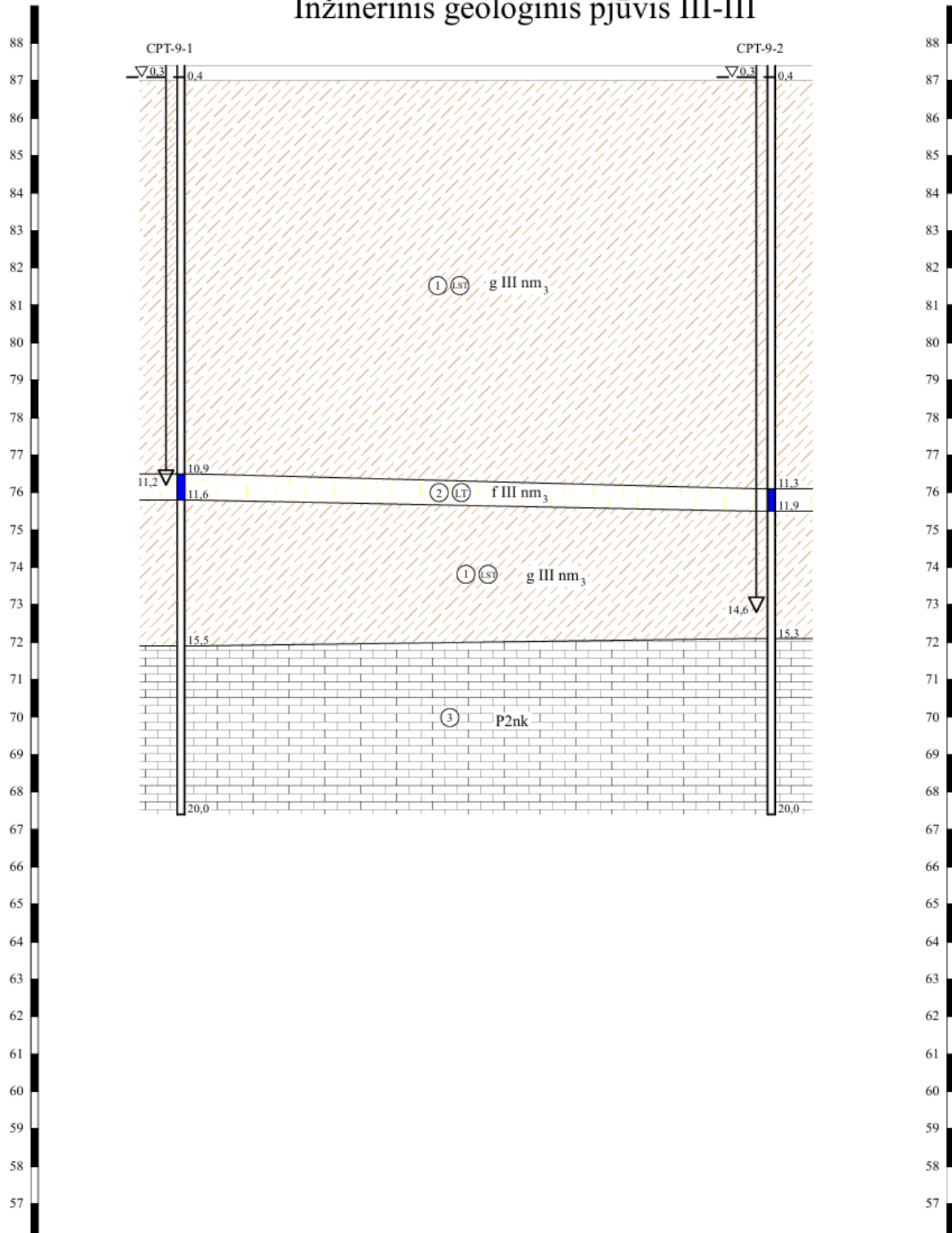
### Inžinerinis geologinis pjūvis I-I



(Nuotrauka, „Geotestus“)



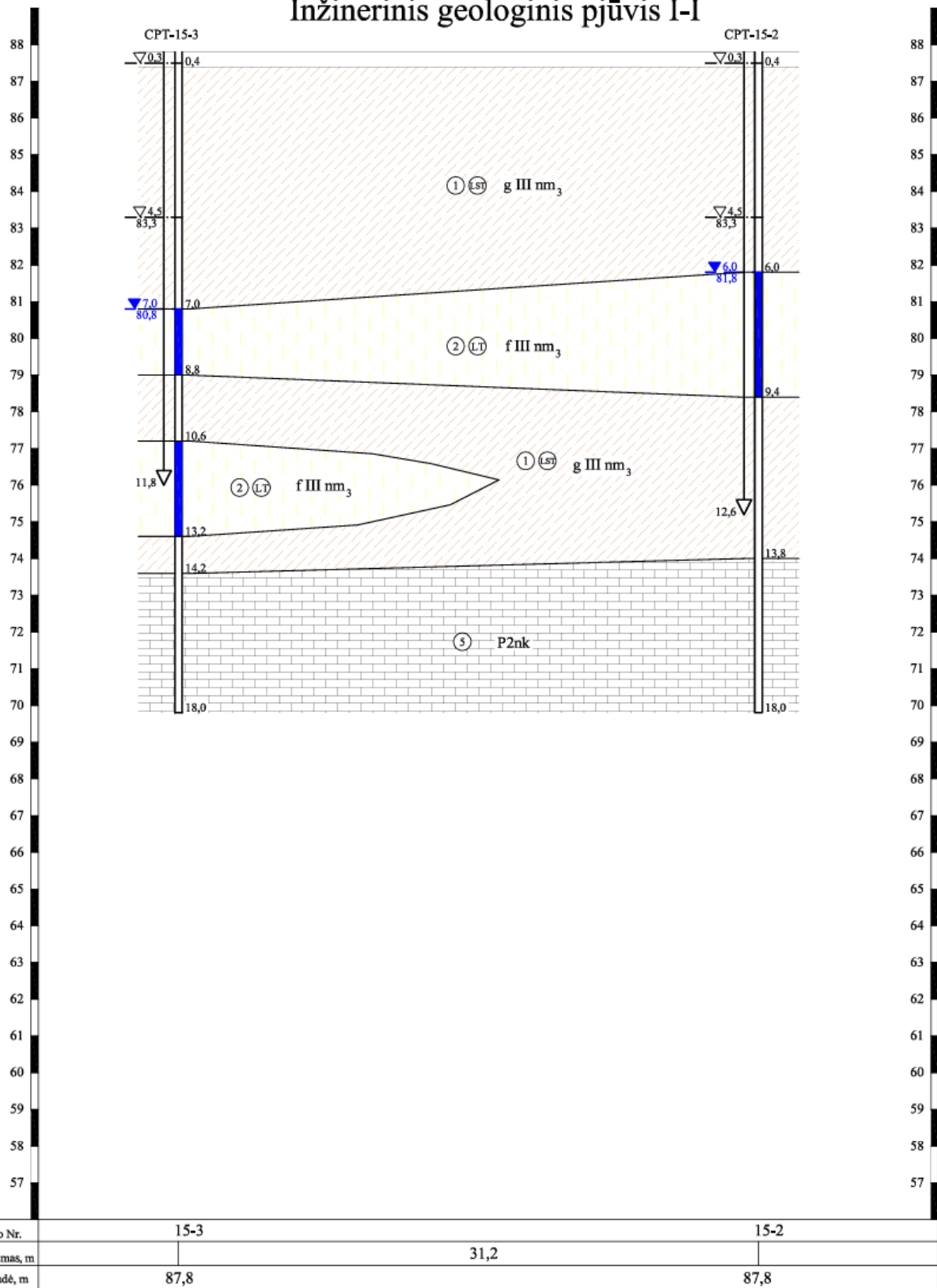
### Inžinerinis geologinis pjūvis III-III



Taško Nr.	9-1	9-2
Atstumas, m	31,2	
Altitudė, m	87,4	87,4

(Nuotrauka, „Geotestus“)

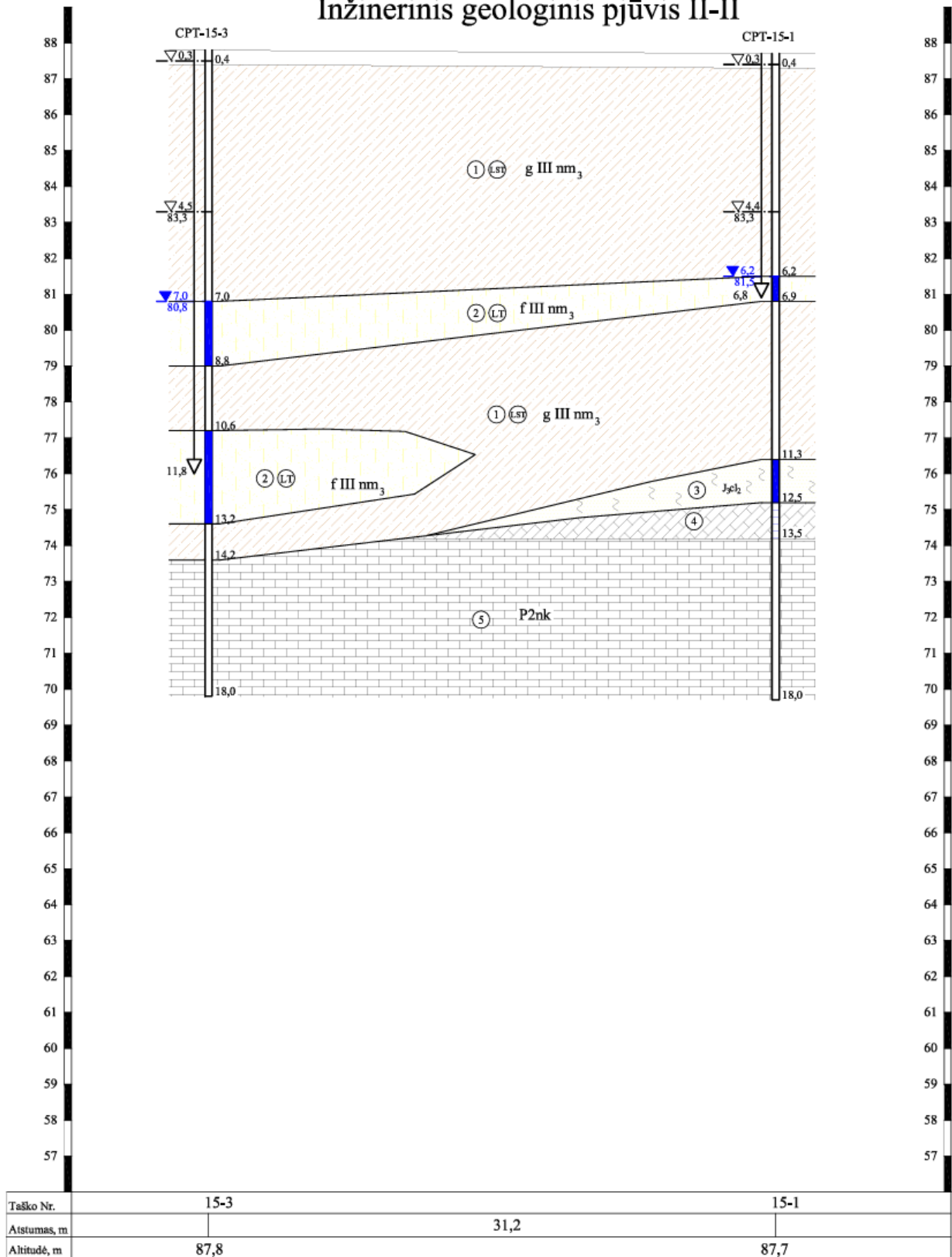
### Inžinerinis geologinis pjūvis I-I



(Nuotrauka, „Geotestus“)



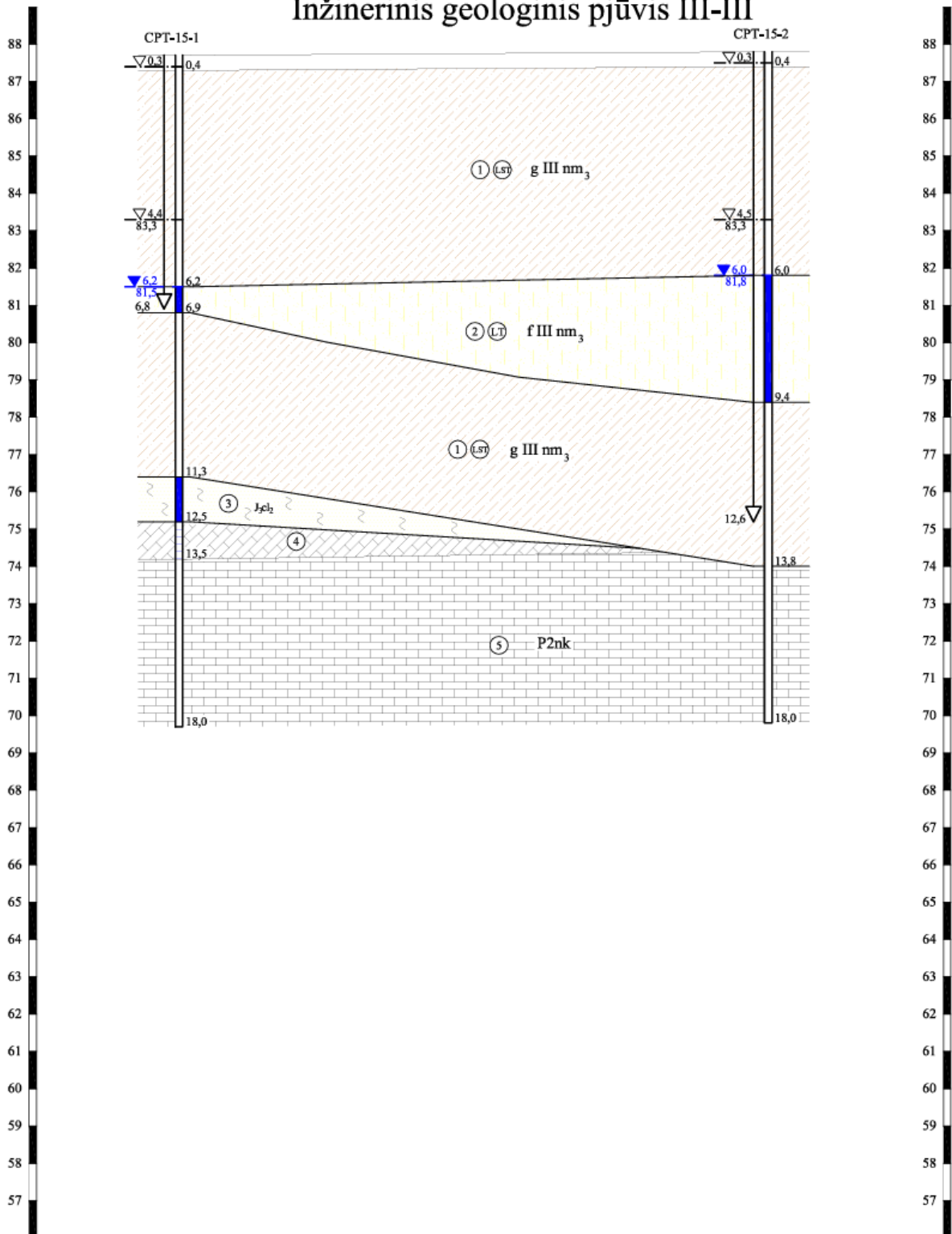
## Inžinerinis geologinis pjūvis II-II



(Nuotrauka „Geotestus“)



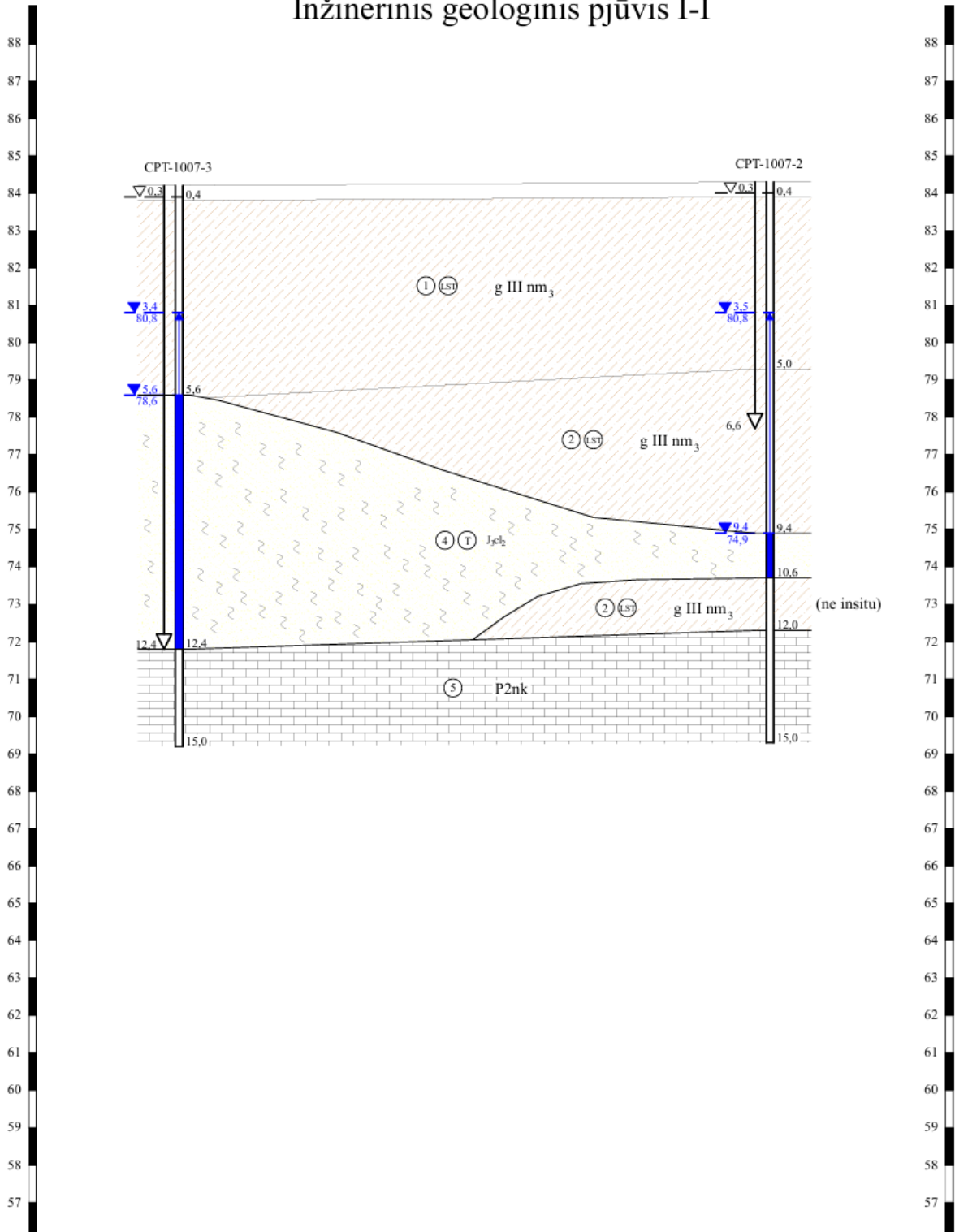
### Inžinerinis geologinis pjūvis III-III



Taško Nr.	15-1	15-2
Atstumas, m	31,2	
Altitudė, m	87,7	87,8

(Nuotrauka „Geotestus“)

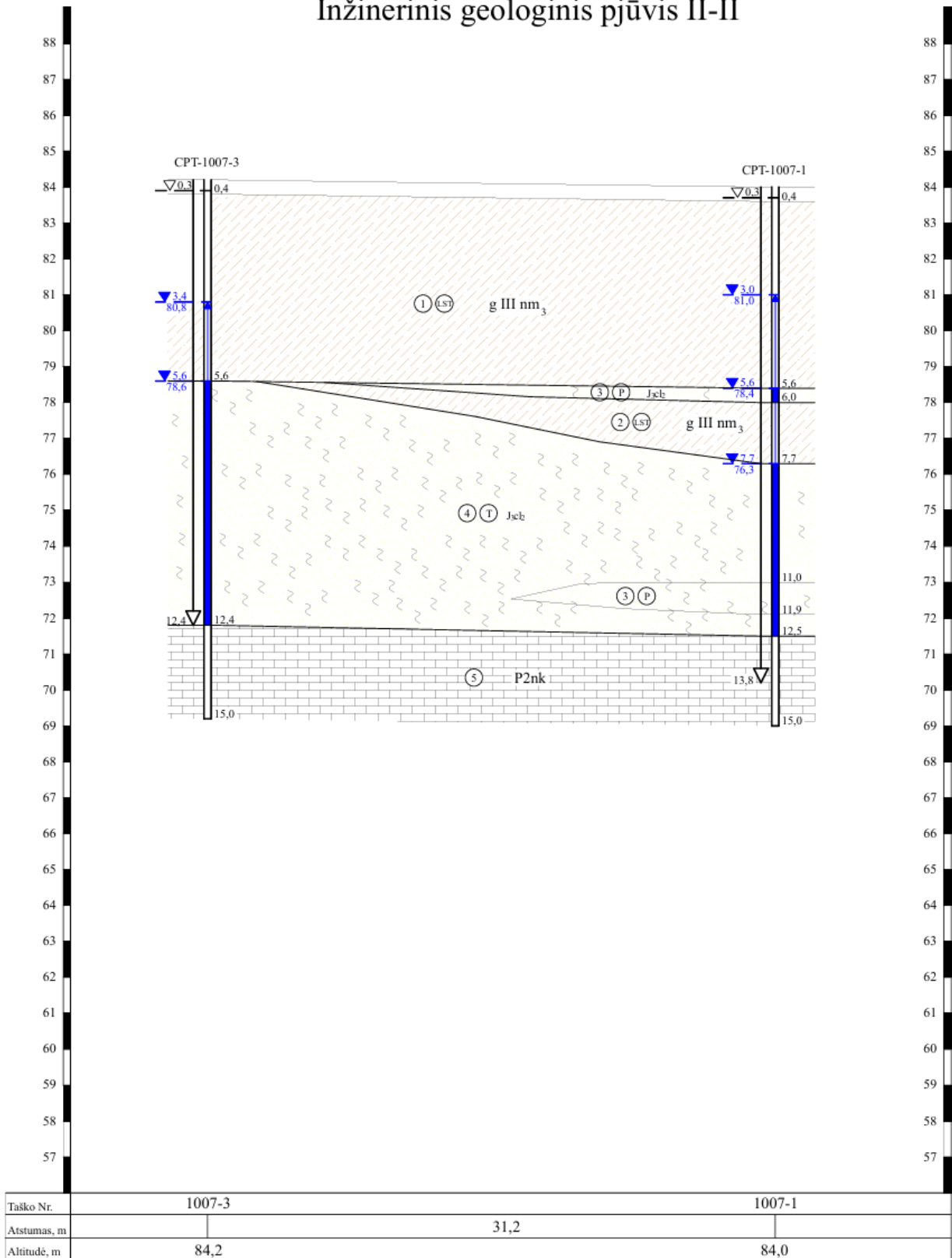
## Inžinerinis geologinis pjūvis I-I



Taško Nr.	1007-3	1007-2
Atstumas, m	31,2	
Altitudė, m	84,2	84,3

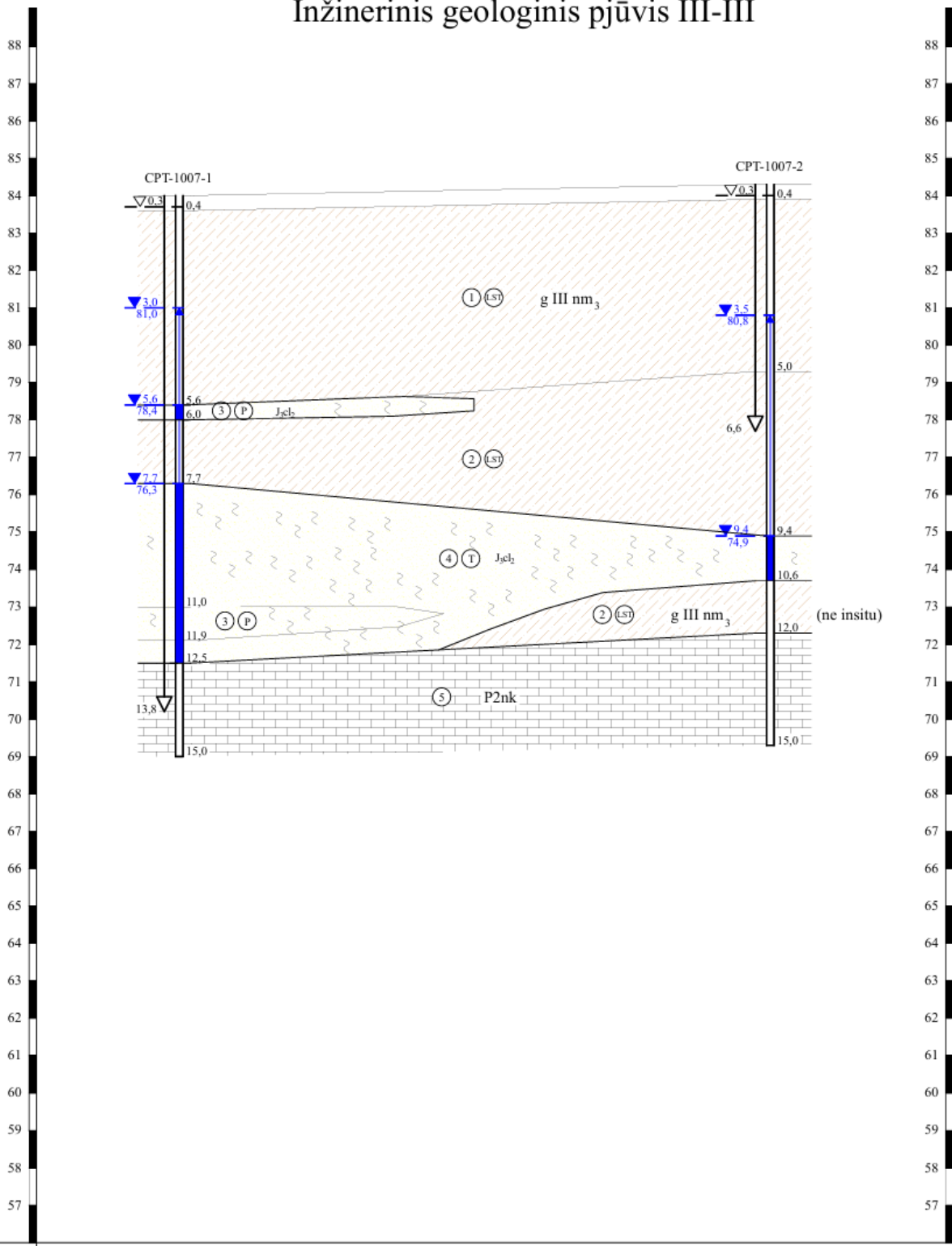
(Nuotrauka „Geotestus“)

## Inžinerinis geologinis pjūvis II-II



(Nuotrauka, „Geotestus“)

### Inžinerinis geologinis pjūvis III-III



Taško Nr.	1007-1	1007-2
Atstumas, m	31,2	
Altitudė, m	84,0	84,3

(Nuotrauka, „Geotestus“)



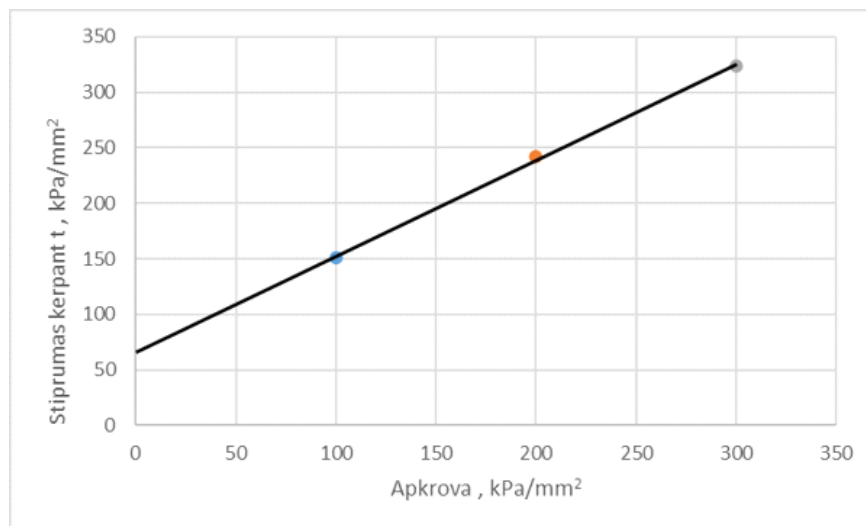
Priedas Nr. 4.1. Moreninio molio geotechninių parametų kortelė

Pavadinimas	
Nr. 1 (Pristintas su Dyzeliu (2sav.) GR1007-1 (4,0-4,5m))	

Gamtinis drėgnis, %	Gamtinis tankis, (p, $\text{mg/m}^3$ )	Kietų dalelių tankis ( $p_s$ , $\text{mg/m}^3$ )	Pradinis poringumo koeficientas ( $e_0$ )	Plastingumo riba $w_p$ , %	Takumo riba $w_L$ , %	Plastingumo rodiklis $I_p$ , %	Takumo rodiklis $I_L$ , %	Konsistencijos rodiklis $I_c$ , %
10,16	2,3	2,71	0,31	11,1	22,53	11,43	-0,08	1,08

c =	66	$\text{kPa/mm}^2$
$\varphi$ =	40,88	laips.
$\tan\varphi$ =	0,865	

Apkrova	Stiprumas Kerpant $\tau$
100	151
200	242
300	324



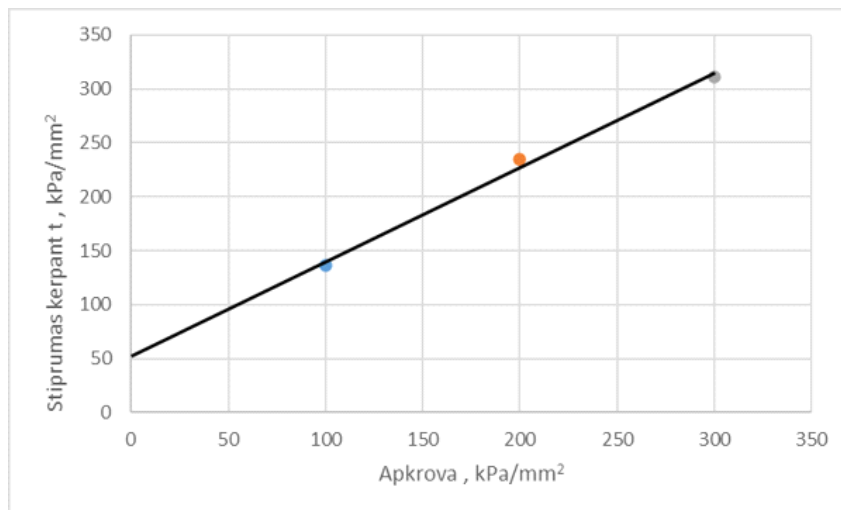
Priedas Nr. 4.2. Moreninio molio geotechninių parametru kortelė

Pavadinimas	
Nr. 2 (Prisotintas su Dyzelium (2sav.) II pakartojimas GR9-1 (10-10,5))	

Gamtinis drėgnis, %	Gamtinis tankis, ( $\rho$ , $\text{mg/m}^3$ )	Kietų dalelių tankis ( $\rho_s$ , $\text{mg/m}^3$ )	Pradinis poringumo koeficientas ( $e_0$ )	Plastingumo riba $w_p$ , %	Takumo riba $w_L$ , %	Plastingumo rodiklis $I_p$ , %	Takumo rodiklis $I_L$ , %	Konsistencijos rodiklis $I_c$ , %
7,71	2,27	2,71	0,29	9,2	19,31	10,11	-0,15	1,15

$c =$	52,3	$\text{kPa/mm}^2$
$\varphi =$	41,2	laips.
$\tan\varphi =$	0,875	

Apkrova	Stiprumas Kerpanant $\tau$
100	136
200	235
300	311



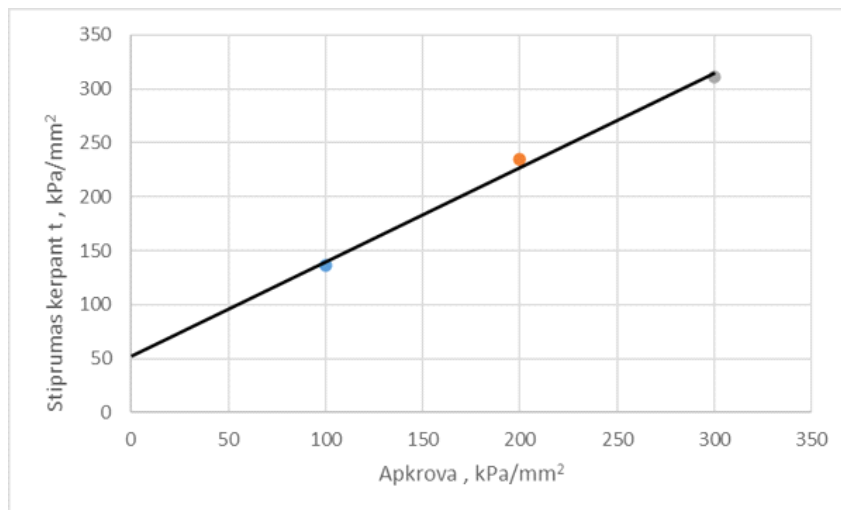
Priedas Nr. 4.3. Moreninio molio geotechninių parametų kortelė

Pavadinimas	
Nr. 3 (Prisotintas su Dyzeļu (2sav.) GR9-1 (10-10,5))	

Gamtinis drėgnis, %	Gamtinis tankis, ( $\rho$ , $\text{mg/m}^3$ )	Kietų dalelių tankis ( $\rho_s$ , $\text{mg/m}^3$ )	Pradinis poringumo koeficientas ( $e_0$ )	Plastingumo riba $w_p$ , %	Takumo riba $w_L$ , %	Plastingumo rodiklis $I_p$ , %	Takumo rodiklis $I_L$ , %	Konsistencijos rodiklis $I_c$ , %
7,63	2,26	2,71	0,32	12,8	21,61	8,81	-0,59	1,59

c =	59,0	$\text{kPa/mm}^2$
$\varphi$ =	40,4	laips.
$\tan\varphi$ =	0,85	

Apkrova	Stiprumas Kerpan $\tau$
100	139
200	239
300	309





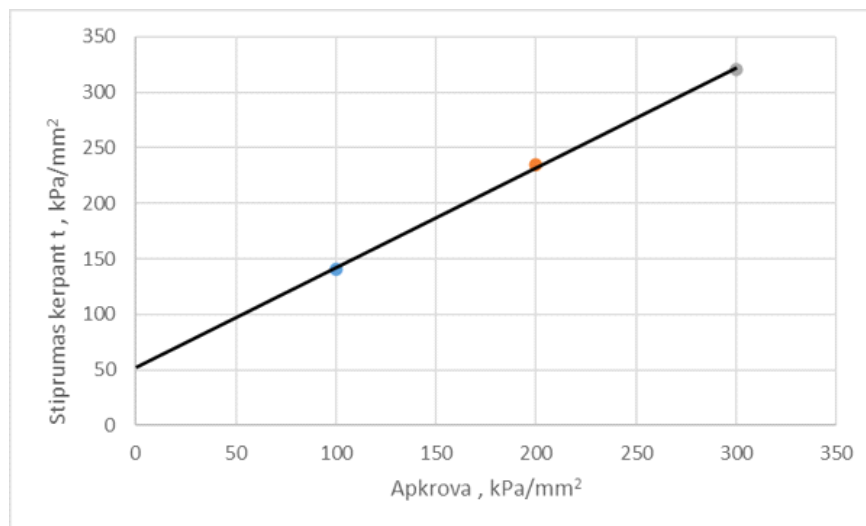
Priedas Nr. 4.4. Moreninio molio geotechninių parametų kortelė

Pavadinimas	
Nr. 4 Prisotintas su Dyzeliu (2sav.) II pakartojimas GR15-1 (2,5-3m)	

Gamtinis drėgnis, %	Gamtinis tankis, ( $\rho$ , $\text{mg/m}^3$ )	Kietų dalelių tankis ( $\rho_s$ , $\text{mg/m}^3$ )	Pradinis poringumo koeficientas ( $e_0$ )	Plastingumo riba $w_p$ , %	Takumo riba $w_L$ , %	Plastingumo rodiklis $I_p$ , %	Takumo rodiklis $I_L$ , %	Konsistencijos rodiklis $I_c$ , %
8,93	2,29	2,71	0,29	11,34	26,22	14,88	-0,16	1,16

c =	52,3	$\text{kPa/mm}^2$
$\varphi$ =	42,0	laips.
$\tan\varphi$ =	0,9	

Apkrova	Stiprumas Kerpant $\tau$
100	141
200	235
300	321



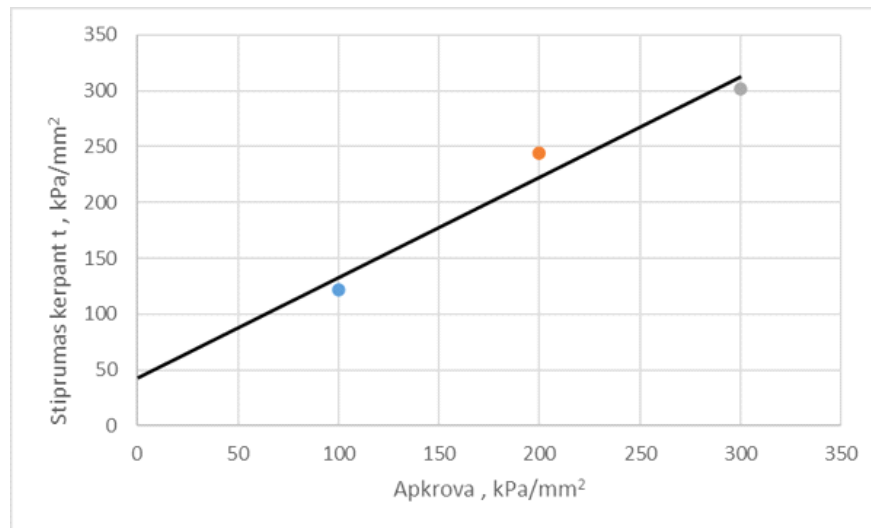
Priedas Nr. 4.5. Moreninio molio geotechninių parametų kortelė

Pavadinimas	
Nr. 5 Prisotintas su Dyzeliu (1mėn.) GR15-1 (2,5-3m)	

Gamtinis drėgnis, %	Gamtinis tankis, ( $\rho$ , $\text{mg/m}^3$ )	Kietų dalelių tankis ( $\rho_s$ , $\text{mg/m}^3$ )	Pradinis poringumo koeficientas ( $e_0$ )	Plastingumo riba $w_p$ , %	Takumo riba $w_L$ , %	Plastingumo rodiklis $I_p$ , %	Takumo rodiklis $I_L$ , %	Konsistencijos rodiklis $I_c$ , %
8,81	2,22	2,71	0,33	12,94	22,25	9,31	-0,44	1,44

$c =$	42,7	$\text{kPa/mm}^2$
$\varphi =$	42,0	laips.
$\tan\varphi =$	0,9	

Apkrova	Stiprumas Kerpanč $\tau$
100	122
200	244
300	302



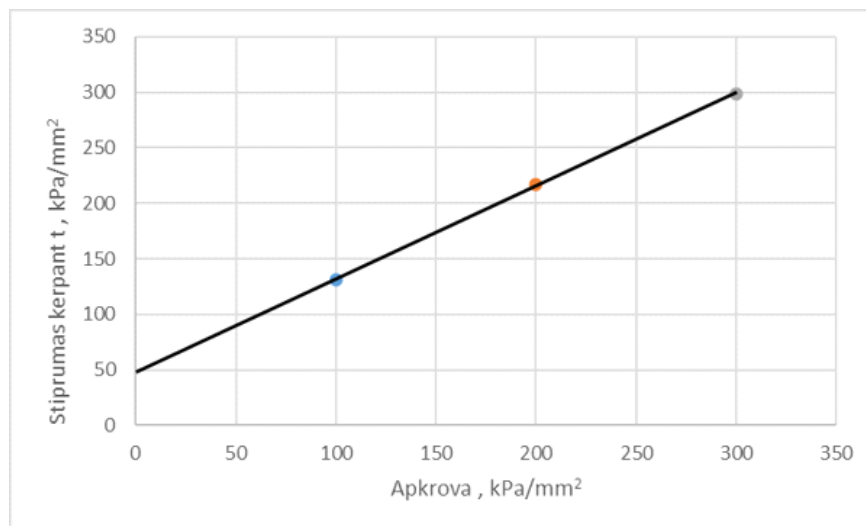
Priedas Nr. 4.6. Moreninio molio geotechninių parametų kortelė

Pavadinimas	
Nr. 6 Prisotintas su NaOH (2sav.) GR15-1 (2,5-3m)	

Gamtinis drėgnis, %	Gamtinis tankis, ( $\rho$ , $\text{mg/m}^3$ )	Kietų dalelių tankis ( $\rho_s$ , $\text{mg/m}^3$ )	Pradinis poringumo koeficientas ( $e_0$ )	Plastingumo riba $w_p$ , %	Takumo riba $w_L$ , %	Plastingumo rodiklis $I_p$ , %	Takumo rodiklis $I_L$ , %	Konsistencijos rodiklis $I_c$ , %
11,3	2,19	2,71	0,38	14,96	26,21	11,25	-0,33	1,33

c =	47,7	$\text{kPa/mm}^2$
$\varphi$ =	40,0	laips.
$\tan\varphi$ =	0,84	

Apkrova	Stiprumas Kerpant $\tau$
100	131
200	217
300	299



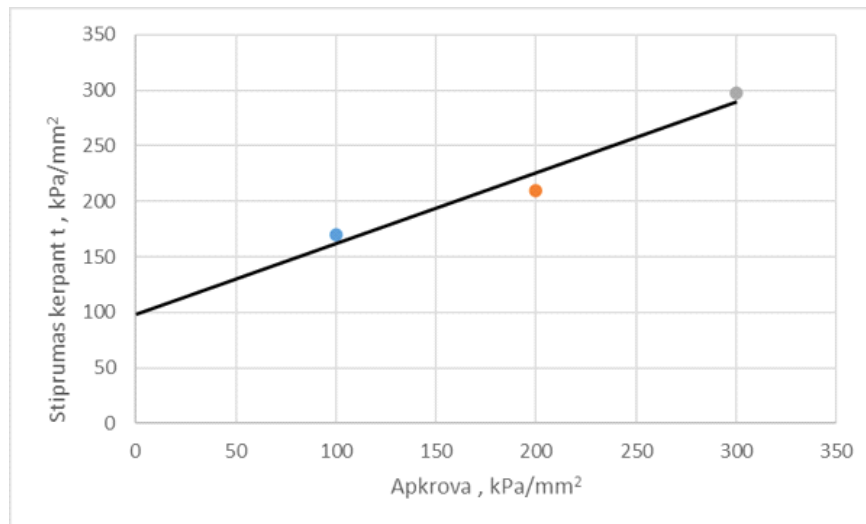
Priedas Nr. 4.7. Moreninio molio geotechninių parametų kortelė

Pavadinimas	
Nr. 7 Prisotintas su NaOH (2sav.) II pakartojimas GR15-1 (2,5-3m)	

Gamtinis drėgnis, %	Gamtinis tankis, ( $\rho$ , $\text{mg/m}^3$ )	Kietų dalelių tankis ( $\rho_s$ , $\text{mg/m}^3$ )	Pradinis poringumo koeficientas ( $e_0$ )	Plastingumo riba $w_p$ , %	Takumo riba $w_L$ , %	Plastingumo rodiklis $I_p$ , %	Takumo rodiklis $I_L$ , %	Konsistencijos rodiklis $I_c$ , %
11,52	2,25	2,71	0,34	13,92	25,51	11,59	-0,21	1,21

c =	47,7	$\text{kPa/mm}^2$
$\varphi$ =	40,0	laips.
$\tan\varphi$ =	0,84	

Apkrova	Stiprumas Kerpant $\tau$
100	170
200	210
300	298



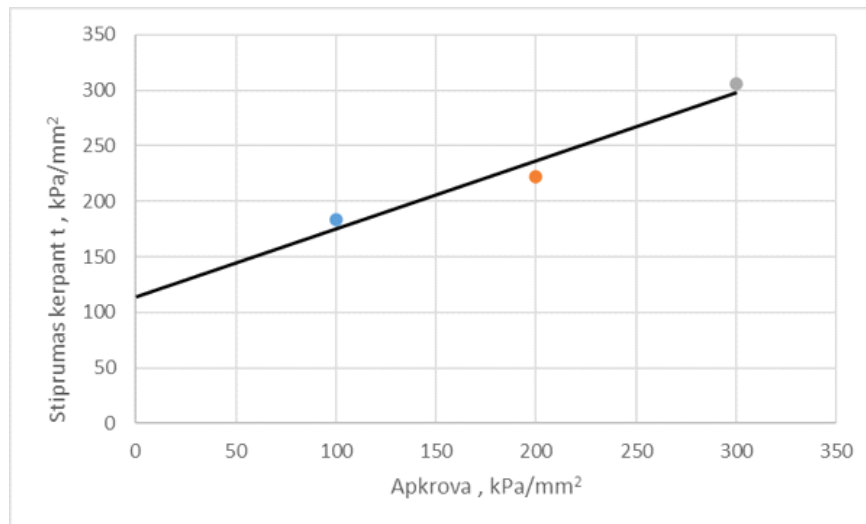
Priedas Nr. 4.8. Moreninio molio geotechninių parametru kortelė

Pavadinimas	
Nr. 8 Prisotintas su NaOH (2sav.) GR9-1 (7-7,5m)	

Gamtinis drėgnis, %	Gamtinis tankis, ( $\rho$ , $\text{mg/m}^3$ )	Kietų dalelių tankis ( $\rho_s$ , $\text{mg/m}^3$ )	Pradinis poringumo koeficientas ( $e_0$ )	Plastingumo riba $w_p$ , %	Takumo riba $w_L$ , %	Plastingumo rodiklis $I_p$ , %	Takumo rodiklis $I_L$ , %	Konsistencijos rodiklis $I_c$ , %
10,95	2,23	2,71	0,34	13,38	27,89	14,51	-0,17	1,17

c =	114,0	$\text{kPa/mm}^2$
$\varphi$ =	31,6	laips.
$\tan\varphi$ =	0,615	

Apkrova	Stiprumas Kerpant $\tau$
100	183
200	222
300	306



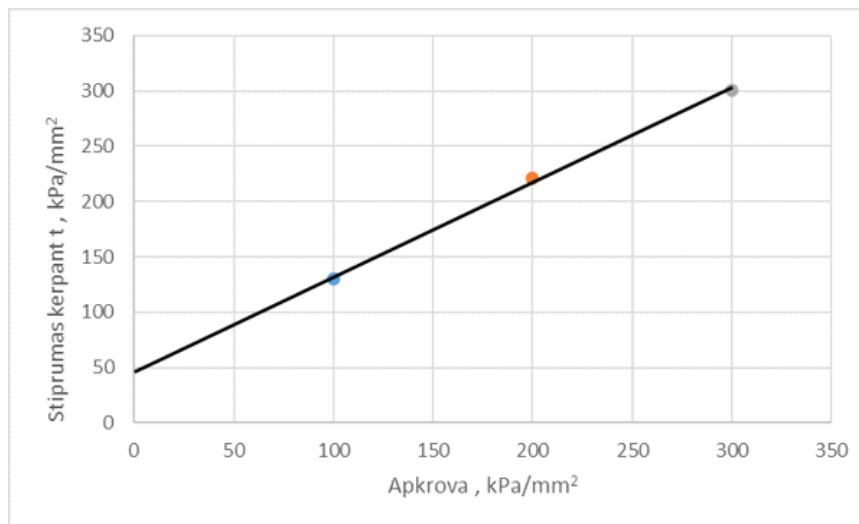
Priedas Nr. 4.9. Moreninio molio geotechninių parametų kortelė

Pavadinimas	
Nr. 9 Prisotintas su NaOH (2sav.) II pakartojimas GR9-1 (7-7,5m)	

Gamtinis drėgnis, %	Gamtinis tankis, ( $\rho$ , $\text{mg/m}^3$ )	Kietų dalelių tankis ( $\rho_s$ , $\text{mg/m}^3$ )	Pradinis poringumo koeficientas ( $e_0$ )	Plastingumo riba $w_p$ , %	Takumo riba $w_L$ , %	Plastingumo rodiklis $I_p$ , %	Takumo rodiklis $I_L$ , %	Konsistencijos rodiklis $I_c$ , %
12,94	2,19	2,71	0,40	14,13	24,66	10,53	-0,11	1,11

c =	46,3	$\text{kPa/mm}^2$
$\phi$ =	40,5	laips.
$\tan\phi$ =	0,855	

Apkrova	Stiprumas Kerpant $\tau$
100	130
200	221
300	301



Priedas Nr. 4.10. Moreninio molio geotechninių parametru kortelė

Pavadinimas	
Nr. 10 Prisotintas su NaOH (1 mėn.) GR9-1 (7-7,5m)	

Gamtinis drėgnis, %	Gamtinis tankis, ( $\rho$ , $\text{mg/m}^3$ )	Kietų dalelių tankis ( $\rho_s$ , $\text{mg/m}^3$ )	Pradinis poringumo koeficientas ( $e_0$ )	Plastingumo riba $w_p$ , %	Takumo riba $w_L$ , %	Plastingumo rodiklis $I_p$ , %	Takumo rodiklis $I_L$ , %	Konsistencijos rodiklis $I_c$ , %
11,52	2,22	2,71	0,39	-	-	-	-	-

c =	28,0	$\text{kPa/mm}^2$
$\phi$ =	36,3	laips.
$\tan\phi$ =	0,735	

Apkrova	Stiprumas Kerpant $\tau$
100	104
200	170
300	251

