



VILNIAUS UNIVERSITETAS
CHEMIJOS IR GEOMOKSLŲ FAKULTETAS
GEOMOKSLŲ INSTITUTAS
HIDROGEOLOGIJOS IR INŽINERINĖS GEOLOGIJOS KATEDRA

Greta Moliakovaite

Hidrogeologija ir inžinerinė geologija
Magistro baigiamasis darbas

**VIRŠUTINIO BEI VIDURINIO PLEISTOCENO MORENINIŲ
SMULKIŲ GRUNTŲ SUDĖTIES ĮVERTINIMAS**

Darbo vadovė
dr. Ieva Lekstutytė

Vilnius 2025



VILNIUS UNIVERSITY
FACULTY OF CHEMISTRY AND GEOSCIENCES
INSTITUTE OF GEOSCIENCES
DEPARTMENT OF HYDROGEOLOGY AND ENGINEERING GEOLOGY

Greta Moliakovaite

Hydrogeology and Engineering Geology
Master thesis

**ASSESSMENT OF THE COMPOSITION OF THE UPPER AND
MIDDLE PLEISTOCENE FINE-GRAINED TILL SOIL**

Scientific adviser
dr. Ieva Lekstutytė

Vilnius 2025

TURINYS

SANTRUMPOS	5
SIMBOLIAI	6
ĮVADAS.....	7
1. LITERATŪROS APŽVALGA	10
1.1 Mineraloginės ir cheminės sudėties tyrimai	10
1.2 Mineraloginės bei cheminės sudėties tyrimų metodika.....	13
1.2.1 Rentgeno spindulių difrakcija	13
1.2.2 Atominė absorbcinė spektrometrija.....	13
1.3 Metodų taikymas	14
1.4 Viršutinio pleistoceno Nemuno svitos Baltijos posvitės tyrimai	15
1.5 Vidurinio pleistoceno Žeimenos svitos Medininkų posvitės tyrimai	17
2. TYRIMŲ METODIKA.....	19
2.1 Tyrimų objektas.....	19
2.2 Tirtų vietovių geologinės ir hidrogeologinės sąlygos.....	20
2.3 Tiriamojo darbo eiga	22
2.4 Lauko bandymai bei bandinių paruošimas	23
2.5 Mineraloginė sudėtis.....	24
2.6 Cheminė sudėtis	25
2.7 Fizikinės savybės.....	25
3. REZULTATAI	26
3.1 Mineraloginė sudėtis.....	26
3.2 Cheminė sudėtis	29
3.3 Statistinis cheminių elementų koncentracijų įvertinimas	35
3.4 Granulimetrinė sudėtis.....	36
3.5 Gruntų plastiškumas	39
4. REZULTATŲ INTERPRETACIJA	42
4.1 Mineraloginė sudėtis.....	42
4.2 Cheminė sudėtis	43
4.3 Granulimetrinė sudėtis.....	46
4.4 Gruntų plastiškumas	46
IŠVADOS.....	48
REKOMENDACIJOS	49
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	50

SANTRAUKA.....	63
SUMMARY	64
PRIEDAI	65
1 priedas	66
2 priedas	67
3 priedas	68
4 priedas	69
5 priedas	70
6 priedas	71

SANTRUMPOS

AAS – atominė absorbcinė spektroskopija;
CIA – cheminių pakitimų indeksas;
CIL – mažo plastiškumo molis;
CPT – statinio zondavimo bandymas;
DC Arc ES – elektros lanko optinė emisinė spektrometrija;
EDX – rentgeno spindulių energijos dispersija;
F – Fišerio kriterijus;
F-AAS – liepsnos atominė absorbcinė spektrometrija;
FTIR – Furjė transformacijos infraraudonųjų spindulių spektroskopija;
g, gt II md – vidurinio pleistoceno Žeimenos svitos Medininkų posvitės glacialinės nuogulos;
g, gt III bl – viršutinio pleistoceno Nemuno svitos Baltijos posvitės glacialinės nuogulos;
GEOLIS – geologijos informacinė sistema;
GF-AAS – grafito krosnelės atominė absorbcinė spektrometrija;
ICP-AES – induktyviai susietos plazmos atominės emisijos spektroskopija;
ICP-MS – induktyviai susietos plazmos masės spektroskopija;
INAA – instrumentinė neutronų aktyvacijos analizė;
ISO – Tarptautinė standartizacijos organizacija;
JAV – Jungtinės Amerikos Valstijos;
pH – vandenilio jonų rodiklis;
pXRF – nešiojama rentgeno spindulių fluorescencijos spektroskopija;
saCIL – smėlingas mažo plastiškumo molis;
saCIL-SiL – smėlingas mažo plastiškumo molis ir dulkis;
SEM – skenuojantis elektroninis mikroskopas;
TAR – teisės aktų registras;
XRD – rentgeno spindulių difrakcija;
XRF – rentgeno spindulių difrakcijos fluorescencijos spektroskopija.

SIMBOLIAI

A – aktyvumo rodiklis;
 Ab – albitas;
 Al_2O_3 – aliuminio oksidas;
 Ba – baris;
 Ca – kalcis;
 Cal – kalcitas;
 CaO – kalcio oksidas;
 Cu – varis;
 Dol – dolomitas;
 Fsp – feldšpatas;
 HCl – druskos rūgštis;
 HNO_3 – azoto rūgštis;
 Ill – ilitas;
 I_p – plastiškumo rodiklis;
 K_2O – kalio oksidas;
 $M. m.$ – molio mineralai;
 Mg – magnis;
 n – literatūros šaltinių skaičius;
 Na_2O – natrio oksidas;
 p – p-reikšmė;
 Pb – švinas;
 Q – kvarcas;
 R – koreliacijos koeficientas;
 Sr – stroncis;
 t – Stjudento t kriterijus;
 TiO_2 – titano dioksidas;
 w_L – takumo drėgnis;
 Zn – cinkas;
 α – reikšmingumo lygmuo;
 λ – rentgeno spinduliuotės bangos ilgis.

IVADAS

Kvartero periodu ledynai dengė Šiaurės Amerikos, Europos bei Azijos šiaurines dalis ne kartą. Jų sunęstos nuogulos dengia didžiąją dalį minėtų teritorijų. Lietuvos paviršių taip pat suformavo ledyniniai procesai, tad glacialinės nuogulos sudaro didžiausią tūrio dalį kvartero storymėje – 70,3 % (Putys ir kt., 2010). Kadangi vyko keletas ledynmečių-tarpledynmečių ciklų, dabartinės aptinkamos nuogulos ne kartą buvo veikiamos ledyno erozijos ir transportavimo. Tai lemia, kad keičiasi ne tik šių nuogulų fizikinės ir mechaninės savybės, granulimetrinė sudėtis, bet ir mineraloginė bei cheminė sudėtis. Tad šių savybių bei sudėties tyrimai suteikia informacijos apie vykusius ledynmečius, ledynų slinkimo kryptis, atstumus bei ciklus. Moreninių nuogulų geochemija leidžia identifikuoti ir koreliuoti sekas, ji gali būti taikoma ne tik vietiniu lygmeniu, kad būtų patikrintos diferenciacijos bei nuogulų sklaidos teorijos, bet ir regioniniu lygmeniu, tiriant moreninių nuogulų kilmę, transportavimo istoriją (Boston, 2007). Nuogulų stratigrafijai atliekami ne tik nuogulų granulimetrinės (Baltrūnas ir Pukelytė, 2003; Rattas ir Kalm, 2001), mineraloginės (Rattas ir Kalm, 2001) ir cheminės sudėties (Dixon-Warren ir Stumpf, 2010; Iisalo, 2003) tyrimai, tačiau atliekami ir spalvos (Luse, 2005), makrofosilijų (Wachecka-Kotkowska ir kt., 2021), petrografiniai (Lozovskis ir kt., 2015; Satkūnas ir Bitinas, 1995), žiedadulkių (Bínka ir Nitychoruk, 2003), liuminescencijos bei kosmogeninio datavimo (Kleman ir kt., 2020) tyrimai. Be to, tyrimuose vis dažniau atkreipiamas dėmesys į gruntų cheminę bei mineraloginę sudėtį, kadangi ji gali suteikti informacijos apie anksčiau paviršiuje slūgsojusias pagrindo uolienas bei senesnes paviršiuje slūgsojusias nuogulas. Iš visų ledynų suklostomų nuogulų, moreninės nuogulos labiausiai atspindi nuogulų šaltinių sudėtį (Sibbick ir kt., 1997). Kadangi kai kuriose vietose kaupiasi naudingieji išteklių, ledynui slenkant dalis cheminių elementų buvo pernešama kartu su gruntais ir rieduliais. Tad neretai yra ieškoma moreninių nuogulų geocheminių anomalijų, pagal kurias bandoma atsekti naudingųjų išteklių šaltinių vietas (Hashmi ir kt., 2015). Nors didžioji dalis moreninių nuogulų geocheminės sudėties yra susijusi su pirmine medžiaga, iš kurios jos susidarė, sudėčiai įtakos turi ir paviršiniai procesai, tokie kaip nuogulų sedimentacija, stratigrafija, amžius, frakcija, vandens aktyvumas bei dėl to atsirandantis rūšiavimas ir transportavimas su ledynų tirpsmo vandenimis (Bergman (red.), 2018).

Inžinerinėje geologijoje moreninių gruntų tyrimai yra labai svarbūs. Ledynai buvo padengę žemynų paviršių pasikartojančių ledynmečių-tarpledynmečių ciklų metu. Kuomet susidariusios nuogulos keletą kartų buvo perdengtos, perneštos, smulkintos, paveiktos tirpsmo vandens bei pasikartojančių ciklinių apkrovų. Tai lėmė, jog skirtingų amžių gruntai turi vis kitokią granulimetrinę sudėtį, plastiškumo ir takumo ribas, gamtinį drėgnį, gamtinį tankį ir mechanines savybes. Taigi, yra svarbu žinoti nuogulų amžių ir kilmę atliekant inžinerinius geologinius tyrimus, numatant tyrimų vietų kiekius, gylius, taip pat vertinant pamatų įgilinimą. Vykstant ledyno erozijai kinta ir gruntų mineraloginė ir cheminė sudėtis, tad šie tyrimai gali būti neatsiejami, vertinant skirtumus tarp skirtingų amžių gruntų (Krawczyk ir Flieger-Szymańska, 2018; Locat ir kt., 2003; Viviescas ir Osorio, 2021).

Gruntų fizikinės ir mechaninės savybės bei mineraloginė ir cheminė sudėtis kaičiai kinta per visą geologinį pjūvį įvairiomis kryptimis. Paviršiuje slūgsantys gruntai yra labiau paveikiami dūlėjimo, todėl jų savybės ir sudėtis gali labai skirtis nuo giliau slūgsančių gruntų. Vertinant pokyčius horizontaliai, pastebima, kad kuo toliau nuslenka ledynas, tuo matoma vis didesnė gruntų kaita (McClenaghan ir Paulen, 2018; Normandeau ir kt., 2024). Dėl šių priežasčių yra svarbu atlikti ne tik lokalius tyrimus, bet ir nagrinėti gruntus regioniniu bei globaliu mastu, taip lengviau įvertinant kaitą bei jos priežastis.

Tyrimų objektas: viršutinio pleistoceno Nemuno svitos Baltijos posvitės bei vidurinio pleistoceno Žeimenos svitos Medininkų posvitės moreninis smulkus gruntas.

Darbo tikslas: nustatyti bei ištirti viršutinio bei vidurinio pleistoceno moreninių smulkių gruntų mineraloginę ir cheminę sudėtį, fizikines savybes bei identifikuoti esminius skirtumus tarp skirtingų posvičių nuogulų. Papildomai įvertinti gautus mineraloginės, cheminės sudėties ir fizikinių savybių rezultatus bei lyginti su pasaulinėje literatūroje pateiktais duomenimis apie smulkius moreninius gruntuos.

Problematika: moreninis smulkus gruntas yra įvairių frakcijų mišinys, susidaręs ledynui eroduoiant, transportuojant ir įvairiais būdais suklostant medžiagą, todėl jo sudėtis yra labai kaiti. Priklausomai nuo transportavimo krypties bei atstumo, suklostymo būdo, pagrindo uolienų, pasaulyje aptinkamos moreninės nuogulos, pasižyminčios vis kitomis savybėmis, todėl yra sudėtinga lyginti gaunamus rezultatus. Yra atliekama nedaug tyrimų, kuriuose nustatoma moreninių nuogulų mineraloginė ir cheminė sudėtis bei fizikinės ir mechaninės savybės, todėl rezultatų lyginimas tampa dar sudėtingesnis. Ne retai literatūroje nepateikiami konkretūs duomenys – nenurodomas nuogulų amžius, skaitinės vertės pateikiamos grafikų pavidalu, geresniu atveju pateikiamos tik minimalios, maksimalios bei vidurkinės vertės, su kuriomis palyginimas yra taip pat sudėtingas. Negana to, dažniausias tyrimų, kuriuose nagrinėjama nuogulų mineraloginė ir cheminė sudėtis, tikslas yra siekis atrasti naudingųjų iškasenų telkinius. Dėl minėtos priežasties aptinkamos tam tikrų mineralų ir elementų vertės yra ženkliai didesnės už fonines, dėl ko lyginimas tampa netikslus. Taip pat dažniausiai tyrimai atliekami bendrai visam nuogulų bandiniui, neišskiriant frakcijų. Skirtingose frakcijose kaupiasi skirtingi cheminiai elementai, mineralai bei jų kiekiai (Ferbey ir kt., 2009; Lett ir Paulen, 2021; McClenaghan ir kt., 2023), todėl rezultatai turi būti lyginami iš vienos frakcijos, kitaip gali būti gaunamos keletą kartų skirtingos vertės. Kadangi literatūros yra nedaug, o rezultatų lyginimui reikalingi konkretūs duomenys iš tam tikrų frakcijų, duomenų surinkimas yra labai sudėtingas. Taipogi, cheminiai elementai gali būti nustatinėjami taikant skirtingus analitinius metodus, kas gali lemti dideles rezultatų paklaidas. Pavyzdžiui taikant atominę absorbcinę spektrometriją, kur bandiniai tirpinami ir dažnu atveju gaunamas mobilių elementų kiekis, ir rentgeno spindulių fluorescenciją, kur bandinys veikiamas rentgeno spinduliuotės ir matuojamas spindulių intensyvumas ir energija ir gaunami maksimalūs elementų kiekiai. Taip pat problematiška yra bandinių analizė. Tiriant molio mineralus su rentgeno spindulių difrakcija yra būtina keletą kartų pakartoti analizes, kadangi molio mineralų plokštumų smailės persidengia – reikalinga ištirti paprastą bandinį, pakaitintą 550 °C temperatūroje bei prisotintą etilenglikoliu. Tai užima daug laiko bei kaštų, kas taip pat apsunkina darbą. Dėl šių visų priežasčių ištirti ir palyginti moreninių gruntų sudėtį bei savybes yra sudėtinga.

Darbo aktualumas: Lietuvoje glacialinis gruntas plačiausiai paplitęs ir aktyviai veikiamas žmogaus ūkinės veiklos. Šių gruntų savybės, įskaitant jų mineraloginę ir cheminę sudėtį, turi didelės įtakos inžinerinei geologijai bei žemės ūkiui. Nors Lietuvoje yra atlikta tyrimų, skirtų moreninių nuogulų fizikinėms ir mechaninėms savybėms įvertinti, jų yra nedaug, o išsamios informacijos apie jų mineraloginę ir cheminę sudėtį bei palyginimą su kitų pasaulio regionų analogiškais gruntais vis dar trūksta.

Darbo naujumas: Lietuvoje nebuvo atlikta detalių tyrimų, vertinančių moreninių smulkių gruntų mineraloginę bei cheminę sudėtį. Taip pat nebuvo lyginami skirtumai tarp skirtingų posvičių nuogulų sudėčių ir savybių tiek nacionaliniu, tiek globaliu mastu.

Darbo uždaviniai:

1. Išanalizuoti ankstesnių mokslinių tyrimų rezultatus, susijusius su viršutinio pleistoceno Nemuno svitos Baltijos posvitės bei vidurinio pleistoceno Žeimenos svitos Medininkų posvitės moreninių smulkių gruntų mineralogine, chemine sudėtimi bei kai kuriomis fizikinėmis savybėmis.
2. Surinkti ir paruošti moreninio smulkaus grunto bandinius ir atlikti mineraloginės ir cheminės sudėties tyrimus bei fizikinių savybių nustatymą.
3. Įvertinti gautus rezultatus, juos palyginti bei interpretuoti siekiant nustatyti moreninio smulkaus grunto mineraloginę, cheminę sudėtį ir fizikines savybes bei jas nulėmusius veiksnius.
4. Gautus rezultatus palyginti tarpusavyje bei įvertinti jų sąsajas, taip pat atlikti lyginamąją analizę su pasauliniais duomenimis.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

1.1 Mineraloginės ir cheminės sudėties tyrimai

Gruntai susidaro yrant pagrindo uolienoms, jas veikiant dūlėjimui, cheminiam ir biologiniam ardymui, vykstant antrinių mineralų susidarymo reakcijoms. Priklausomai nuo veikusių procesų ir nuo to, iš kokių uolienų jie susiformavo, gruntai pasižymi skirtinga mineralogine bei chemine sudėtimi (Cruz-Guevara ir kt., 2020; Santos ir kt., 2017).

Vienas svarbiausių dalykų, kurį suteikia mineralogija yra tai, kad kiekvienas mineralas pasižymi jam būdingomis fizikinėmis ir cheminėmis savybėmis, tad mineralų rūšys bei jų kiekiai, leidžia interpretuoti, kokiomis savybėmis gruntas gali pasižymėti. Pavyzdžiui, rupiuose gruntuose jų elgseną labiausiai apsprendžia granulimetrinė sudėtis, kai tuo tarpu smulkiuosiuose – jų Aterbergo ribos ir mineralogija (Ameratunga ir kt., 2016). Nuo molio mineralų ir molio frakcijos kiekio priklauso gruntų brinkimo potencialas, plastiškumo ribos, hidraulinis laidumas, stiprumas bei grunto tūrio pokyčiai (Al-Shayea, 2001). Nuo mineralogijos priklauso ir mechaninės savybės – atsparumas šlyčiai (kritinis bei liekaninis vidinės trinties kampas, sankiba) ir spūdumas (Akayuli ir kt., 2013; Ameratunga ir kt., 2016). Moreninės nuogulos yra žvyro, smėlio, dulgio ir molio mišiniai, tačiau molio mineralai ir molio frakcijos kiekis turi daugiausiai įtakos viso grunto masės savybėms, net jei molio frakcija užima nedidelę dalį viso grunto kiekio (Al-Shayea, 2001).

Gruntų mineralogijos ir cheminės sudėties nustatymas yra naudingas stratigrafijai (Lunkka ir kt., 2013; Rattas ir Kalm, 2001). Moreninės nuogulos susiformuoja ledynams eroduoju ir transportuojant paviršiuje slūgsančias uolienas, gruntus, tad priklausomai nuo to, kas slūgsojo žemės paviršiuje ledyno slinkimo metu, galima stebėti skirtingus mineralus bei jų kiekius dabartinėse nuogulose. Tokiu būdu skirtingais laikotarpiais ledynų suklostytos nuogulos dėl nuogulų ir uolienų buvusių paviršiuje bei ledynų slinkimo krypties dažniausiai pasižymi skirtinga mineralogine bei chemine sudėtimi (Paškauskaitė, 2015). Poledyninė gruntų erozija taip pat žymiai gali pakeisti jų cheminę bei mineraloginę sudėtį oksidacijos zonoje virš vandens lygio, sunaikindami labilius mineralus, tokius kaip sulfidai (McClenaghan ir Paulen, 2018). Todėl ankstesnių ledynų suklostytos nuogulos, kurios daug metų buvo eroduojamos, gali turėti pastebimus sudėties skirtumus.

Labiausiai taikomas metodas gruntų mineralų nustatymui yra rentgeno spindulių difrakcija (XRD) (Xiao ir kt., 2023). Šiuo metodu galima kokybiškai ir kiekybiškai įvertinti gruntą sudarančius mineralus. Kartu su rentgeno spindulių difrakcija dažnai papildomai naudojamas ir skenuojantis elektroninis mikroskopas (SEM), kuriuo galima identifikuoti mineralus pagal jų formas, nagrinėti jų paviršiaus morfologiją, struktūras (Ural, 2021). Rečiau yra taikoma Furjė transformacijos infraraudonųjų spindulių spektroskopija (FTIR), kuri leidžia analizuoti individualius mineralus, nekristalines priemaišas, aptikti organines medžiagas (Ritz ir kt., 2011). Neretai šis metodas taikomas tiriant molio mineralų struktūrą, jungtis ir chemines savybes (Aroke ir kt., 2013) bei yra gerai pritaikomas analizuojant mineralų mišinius (Sánchez-Sánchez ir kt., 2019).

Cheminė sudėtis gali suteikti informacijos apie aplinkos veiksmus. Pagal cheminę sudėtį bei jos koreliacijas su esamais mineralais galima vertinti ne tik kokios paviršiuje slūgsojo uolienos (Hayashi ir kt., 1997), bet ir kokie veikė aplinkos procesai ir kaip stipriai gruntai buvo jų paveikti. Al_2O_3 santykis su TiO_2 molio frakcijoje naudojamas kaip atmosferos ir klimato rodiklis (Kiipli ir kt., 2012). Cheminių pakitimų indeksas (CIA) (angl. *chemical index of alteration*), skaičiuojamas pagal Al_2O_3 , CaO , Na_2O ir K_2O koncentracijas, yra vienas pagrindinių rodiklių, naudojamų nustatant vykusius fizinio ir cheminio dūlėjimo procesus (Goldberg ir Humayun, 2010). Tai grindžiama prielaida, jog pagrindinis cheminio dūlėjimo metu vykstantis procesas yra feldšpatų irimas ir molio

mineralų susidarymas. Cheminės sudėties tyrimai turi ir ekonominę reikšmę. Šie tyrimai praverčia ir ieškant naudingųjų išteklių (Sarala ir Peuraniemi, 2007), geocheminės anomalijos naudojamos mineralizacijos šaltinių atsekimui (Follestad ir kt., 2014).

Cheminei sudėčiai nustatyti gruntuose taikomi įvairūs metodai. Bendras suskaidymo metodas (angl. *total digestion method*) moreninėms nuoguloms atliekamas norint nustatyti pagrindinius elementus, mikroelementus, nustatant elementų tirpumą, kuris siejamas su pamatinių uolienų litologija, pagrindiniais uolienas formuojančiais mineralais, atspariais mineralais bei erodavimo lygiu (McClenaghan ir kt., 2000). Šiuo metodu galima nustatyti retųjų žemės elementų, volframo, bario, alavo, seleno, chromo ir cirkonio kiekius. Vienas pirmųjų metodų, vystytas 1980–1990-aisiais, pradėtas taikyti glacialinių nuogulų geocheminei analizei buvo induktyviai susietos plazmos masės spektroskopija (ICP-MS) (McClenaghan ir Paulen, 2018). Jis leido nustatyti platų spektrą mikroelementų, įskaitant potencialius indikatorinius elementus. Regioniniuose tyrimuose naudojama nedestruktyvi instrumentinė neutronų aktyvacijos analizė (INAA), induktyviai susietos plazmos atominės emisijos spektroskopija (ICP-AES), kur nustatoma virš 30 elementų ir pateikiama išsami analizė apie smulkiąją moreninių gruntų frakciją (McClenaghan ir kt., 2000). INAA ypač naudinga nustatant sunkiuosius metalus. Dažnai taikomas ir rentgeno spindulių fluorescencijos spektroskopijos metodas (XRF) (Kozak ir kt., 2021), kuris yra greitas bei efektyvus, ir vis dažniau yra naudojamas nešiojamas rentgeno spindulių fluorescencijos (pXRF) prietaisas (Li ir kt., 2022; Sarala, 2016). Taip pat ir atominė absorbcinė spektrometrija (AAS) yra plačiai taikoma, ypač mikroelementų, sunkiųjų metalų kiekių nustatymui (Maurya ir kt., 2018). Taipogi su skenuojančiu elektroniniu mikroskopu atliekama ir rentgeno spindulių energijos dispersijos (EDX) analizė, kuria galima nustatyti atskirų mineralų cheminę sudėtį.

Dažniausiai mineraloginei ir cheminei gruntų analizei keletas skirtingų metodų yra kombinuojami tam, kad būtų pasiekti tiksliausi ir išsamiausi rezultatai (Al-Ani ir kt., 2008; Ferbey, 2009; Lett ir Paulen, 2021). Įvairių metodų taikymas cheminės, mineraloginės sudėties tyrimams bei jų derinimas su kitais tyrimais, tokiais kaip fizikinių bei mechaninių savybių nustatymas, datavimas ir paleontologiniai tyrimai, leidžia interpretuoti ledynų formavimosi ir slinkimo eigą, greičius, nuogulų klostymo būdus ir laiką, kada vyko ledynmetis. Tai suteikia galimybę stebėti bei analizuoti kaip vyko apledėjimai pasaulyje, kiek stipriai jie išplitę, rasti apledėjimų atitikmenis skirtingose šalyse (1 lentelė).

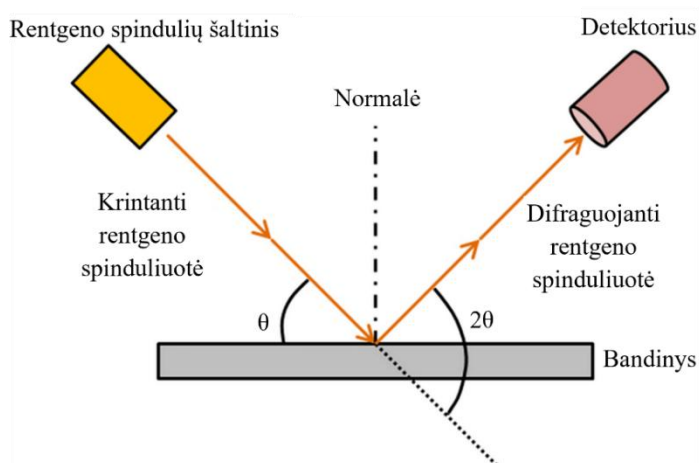
1 lentelė. Dalinė vidurinio bei viršutinio pleistoceno stratigrafinė schema (pagal Lee ir Roberson, 2024; Marks ir kt., 2016; Rattas ir Kalm, 2001; Rovey II ir Balco, 2011; Satkūnas ir kt., 2007; Zelčs ir kt., 2011).

Šalis/ regionas		Lietuva		Latvija	Estija		Šiaurės Amerika	Lenkija	Vakarų Europa		Rusija		Britų salos
Skaidma	Skirsnis	Svita	Posvitė	Svita/posvitė									
Pleistocenas	Viršutinis	Viršutinis Nemunas	Baltija Grūda	Baltija	Järva	Võrtsjärve	Late Wisconsinan	Vistulian	Weichselian	Upper	Valdaian	Ostashkov	Devensian
		Vidurinis Nemunas	Mickūnai 4 Nemunas 2e Mickūnai 3 Nemunas 2d Mickūnai 2 Nemunas 2c Mickūnai 1 Nemunas 2b Jonionys 3 Nemunas 2a			Savala	Mid-Wisconsinan			Middle		Leningrad	
			Apatinis Nemunas										
		Merkinė (tarpledynmetis)				Felicianova	Prangli/Rõngu			Sangamonian		Eemian	
	Vidurinis	Žeimena	Pamarys Medininkai Vilkiškės Žemaitija	Kurzeme	Ugandi	Upper Middle Lower	Illinoian	Odrian Lublinian Krznanian Zbójnian Liwiecian	Saalian	Warthe Drenthe	Middle Russian	Moscow Odintsovo Dnieper	Wolstonian
		Butėnai (tarpledynmetis)		Pulvernieki	Karukūla		Pre-Illinoian	Mazovian	Holsteinian		Likhvinan		Hoxnian
		Dainava	Viršutinė Apatinė	Letiža	Sangaste			Sanian	Elsterian		Belarusian	Oka	Anglian

1.2 Mineraloginės bei cheminės sudėties tyrimų metodika

1.2.1 Rentgeno spindulių difrakcija

Rentgeno spindulių difrakcija (1 pav.) – tai metodas, kurio metu yra analizuojama kristalinių medžiagų struktūra, naudojant rentgeno spindulių bangas, kurios reaguoja su bandinio kristalinės gardelės atomais. Pirmasis rentgeno spindulių difrakcijos eksperimentą taikė Maksas fon Laujė 1912 metais, pasiūlydamas kristalines medžiagas naudoti kaip difrakcijos gardeles rentgeno spinduliams (Sonawane ir kt., 2016). Difrakcijos kampų ir intensyvumo deriniai yra būdingi skirtingi kiekvienam mineralui, todėl galima tiksliai identifikuoti medžiagas (Lavina ir kt., 2014).

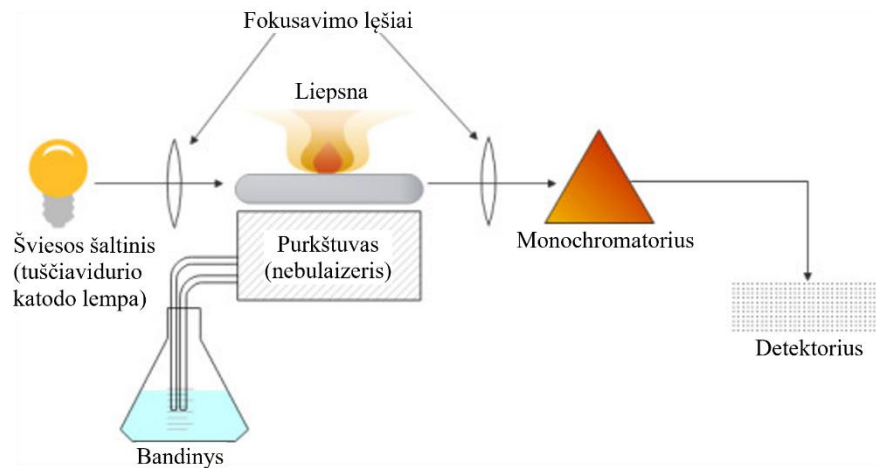


1 pav. Rentgeno spindulių difrakcijos veikimo schema (Biswas ir Chatterjee, 2022).

XRD yra vienas iš pagrindinių būdų mineralų identifikacijai ir analizavimui, taip pat juo galima tirti ir metalus, puslaidininkius, keramiką, polimerus, plastikus, tekstilę, nanomedžiagas, vaistus (Ali ir kt., 2022; Sonawane ir kt., 2016). Taipogi, šiuo metodu galima atlikti kiekybinę junginių analizę, tirti medžiagų kristalų struktūrą, jos defektus (Krapukaitytė, 2009).

1.2.2 Atominė absorbcinė spektrometrija

Atominė absorbcinė spektrometrija – metodas, kuris yra naudojamas kiekybiniam cheminių elementų nustatymui, ir paremtas tuo, kad laisvi atomai sugeria tam tikram elementui būdingą šviesos bangos ilgį (Paul ir kt., 2014). Šį metodą išrado Alanas Walshas 1955 metais, pasiūlydamas techniką, kuri paremta faktu, kad šviesa, kurios bangos ilgis atitinka vieno elemento rezonanso emisijos liniją, yra sugerama jo atominių garų (Wilson, 1966). Teigiama, jei atomui dujų fazėje taikomas tiksliai jam tinkamo dydžio energijos fotonas, to atomo elektronai sugers tą energiją ir pereis iš stabilios būsenos į mažiau stabilią sužadintą būseną (Mohammed, 2024). Bandiniai įprastai yra tirpinami vandenyje, rūgštyse, tuomet dažniausiai kaitinami, jog elementai būtų atomizuoti – virstų laisvais atomais, ir atliekama analizė – parenkamas ieškomajam elementui būdingas bangos ilgis ir matuojama absorbuotos šviesos dalis (Gilmudinov, 2017; Hill ir Fisher, 2017; 2 pav.). Geologiniams tyrimams įprastai taikoma liepsnos (F-AAS) bei grafito krosnelės (GF-AAS) atominė absorbcinė spektrometrija (Fouad ir kt., 2015).



2 pav. Atominės absorbcinės spektroskopijos schema (Mohd Fairulnizal ir kt., 2019).

AAS galima nustatyti bandinius sudarančių pagrindinių elementų bei mikroelementų koncentracijas (Makreski ir kt., 2004). Ši metodika neretai taikoma metalurgijoje, farmacijoje, aplinkosaugoje, žemės ūkyje, geochemijoje, kasyboje (Fernández ir kt., 2019). Ji pasižymi dideliu jautrumu, tad medžiagų koncentracijos gali būti ganėtinai tiksliai nustatytos.

1.3 Metodų taikymas

Rentgeno spindulių difrakcijos metodas moreninių nuogulų mineralogijos nustatymui naudojamas dažnai. Šie tyrimai atliekami įvairiems tikslams. Kartais atliekami ir skirtingų ledynmečių metu suklostytų nuogulų palyginimai. Tokie tyrimai, kur pritaikyta XRD, atlikti Vokietijoje (Hailemariam ir Wuttke, 2021), Šveicarijoje (Musso ir kt., 2022), Jungtinėse Amerikos Valstijose (Willman ir kt., 1966) ir kt. Kinijoje moreninių nuogulų inžinerinės savybės yra dažnai stabilizuojamos fizikiniais ir cheminiais metodais tam, kad būtų pagerintos jų mechaninės savybės. Tam naudotas F1 joninis gruntų stabilizatorius, tad XRD tyrimai atlikti siekiant įvertinti pokyčius tarp grunto mineraloginės sudėties prieš ir po stabilizacijos (Huang ir kt., 2022). Švedijoje buvo tirta kaip skiriasi mineralogija tarp moreninių nuogulų ir pagrindo uolienų, slūgsančių po jomis (Akselsson ir kt., 2006). Neaptiktas ryšys tarp moreninių nuogulų mineralogijos su po jomis slūgsančių uolienų mineralogija. Tai paaiškinama tuo, kad moreninių nuogulų mineraloginę sudėtį lemia pamatinės uolienos, iš kurių susiformavo nuogulos, nuogulų erodavimo laipsnis, atsparumas mechaniniam pagrindo uolienų dūlėjimui bei nuogulų suklostymo būdas. Taikant XRD buvo tyrinėtos Baltijos jūros nuogulų molio mineralai (Gingele ir Leipe, 1997). Pagal vyraujančių molio mineralų pokyčius identifikuotos nuogulų sekos – kur slūgso glacialinės nuogulos, o kurias suklostė upės (aliuvinės nuogulos). Atlikta ir keletas tyrimų, kuriuose nagrinėjamas ryšys tarp moreninių nuogulų mineraloginės ir cheminės sudėties su fizikinėmis savybėmis. Atlikti tyrimai Suomijoje, kur buvo nagrinėjamas ryšys tarp nuogulų tankio su moreninių nuogulų smulkiosios frakcijos geochemine ir mineralogine sudėtimis (Mäkinen, 1992; Räisänen ir kt., 1992). Taip pat atlikti tyrimai Indianoje, Jungtinėse Amerikos Valstijose, siekiant nustatyti, kaip dėl dūlėjimo keičiasi ir kuo skiriasi Kanzaso (angl. *Kansan*), Ilinojaus (angl. *Illinoian*) bei Viskonsino (angl. *Wisconsinan*) nuogulos, kurios atitinka Dainavos svitos, Žeimenos svitos Medininkų posvitės ir Nemuno svitos Baltijos posvitės morenines nuogulas (1 lentelė), mineraloginę sudėtį (Bhattacharya, 1962). Nustatyta, kad dėl intensyvaus dūlėjimo nedideli ilito kiekiai pavirto į ilito-montmorilonito mišinių sluoksnius, o chloritas tapo chlorito-vermikulito mišinių sluoksniais. Dėl intensyvėjančio dūlėjimo molio mineralų

mišinių sluoksniai tampa montmorilonitu. Tai suteikia informacijos apie tai, jog dabartiniai mineralai, aptinkami moreniniuose gruntuose gali būti visai kitokie, nei nuoguloms tik susiformavus.

Lietuvoje rentgeno spindulių difrakcija moreninėms nuoguloms taikyta labai retai. Buvo atlikti vidurinio pleistoceno Žeimenos svitos Medininkų posvītės ir viršutinio pleistoceno moreninių nuogulų molio frakcijos sudėties tyrimai (Lekstutytė, 2024). Metodas taikytas ir tiriant Baltijos jūros pakrantės nuogulų <0,01 mm frakciją, prie kurios sudėties prisideda ir eroduojami šlaitai ir jūros dugnas, kurie sudaryti iš viršutinio pleistoceno moreninių nuogulų (Kairytė ir kt., 2005). Nustatyta, kad moreninių nuogulų erozija lėmė didesnius kvarco, feldšpatų ir dolomito kiekius tirtuose gruntuose, mažesnę nuogulų išrūšiavimą.

Atominės absorbcijos spektrometrijos tyrimai dažniausiai pasaulyje atlikti ieškant naudingųjų išteklių telkinių. Geocheminės anomalijos moreninėse nuogulose gali padėti atsekti mineralizacijos šaltinius (Hirvas, 1989). Tyrimai moreninėms nuoguloms atlikti Suomijoje (Sarala ir kt., 2007; Sarala ir Peuraniemi, 2007), Kanadoje (Bloom ir Steele, 1989; Fox ir kt., 1987; Laurus ir Fletcher, 1999; McClenaghan ir kt., 2000; Steele, 1988), Norvegijoje (Follestad ir kt., 2014), Švedijoje (Lindroos ir kt., 1992) ieškant aukso, vario, kobalto, geležies, urano, cinko, retųjų žemės elementų bei kitų elementų ir įvairių mineralų telkinių. Ši metodika taikyta ir tiriant skirtingų moreninių reljefo formų gruntų geocheminę sudėtį ir ištirti kaip kinta cheminė sudėtis tarp skirtingų frakcijų bei dūlant gruntams (Pulkkinen, 2004). Nustatyta, jog lyginant bendrai smulkiąją frakciją su molio frakcija, smulkiojoje frakcijoje yra daugiau silicio, kalcio ir natrio, o molio frakcija praturtinta aliuminiu, geležimi, magniu, kaliu bei mikroelementais. Dėl dūlėjimo smulkiojoje frakcijoje gausu aliuminio, geležies bei mikroelementų (ypač nikelio, kobalto, vario). Kituose tyrimuose atliekamos cheminės analizės didelėse teritorijose, siekiant įvertinti cheminių elementų kiekių vertikalius ir horizontalius pokyčius skirtingose teritorijos vietose (Binzer, 1974; Stumpf, 2012), įvertinant dūlėjimą, medžiagos transportavimą.

1.4 Viršutinio pleistoceno Nemuno svitos Baltijos posvītės tyrimai

Tyrimų Lietuvoje moreniniams gruntams atlikta nedaug. Atlikus tyrimus Baltijos jūros pakrantėje nustatyta, jog šlaitų, sudarytų iš moreninių nuogulų, erozija lemia, jog pajūryje nuosėdos turi daug didesnę kvarco, feldšpatų ir dolomito kiekį, yra santykinai prastesnio išrūšiavimo (Kairytė ir kt., 2005). Tirtos Ruopiškių drumlinoidą sudarančių glacialinių nuogulų formavimosi glaciodinaminės savybės ir pagal jų granulimetrinę sudėtį bei petrografinę analizę skirtinguose tyrimų taškuose interpretuota, kad ši reljefo forma susidarė atskirais etapais, ne vienu metu, veikiant skirtingų krypčių glaciodinaminėms jėgoms (Lozovskis ir kt., 2015). Ištyrinėjus Baltijos posvītės nuogulų storybę pastebėta, kad ji yra daugiasluoksnė ir tai galima pastebėti tiek vizualiai – pagal tekstūrą, spalvą, įvairios sudėties tarp sluoksnius ir lęšius bei pagal analitiškai įvertintas ir statistiškai paskaičiuotas savybes – fizikines ir mechanines savybes, sudėtį, gargždo ilgųjų ašių polinkį (Baltrūnas ir kt., 2005). Tai galėjo lemti cikliška ledyno dugne vykusi dinamika, atsitraukiant ledynui, jo osciliavimas.

Ištyrus skirtingų moreninių nuogulų frakcijų geocheminę sudėtį bei sunkiuosius mineralus pastebėta, jog rumbėtųjų (angl. *ribbed*) morenų gūbrių viršutinėje dalyje esančios moreninės nuogulos ir rieduliai atspindi vietinių pamatinių uolienų sudėtį, todėl jie yra gera terpė atlikti riedulių stebėsenos – sudėties, transportavimo, tyrimus bei imti mėginius geocheminiams tyrimams, kurie gali būti efektyviai naudojami naudingųjų išteklių paieškai (Sarala ir Peuraniemi, 2007). Šiuose moreniniuose gūbriuose mineralizuotų pagrindo uolienų rodikliais gali būti ir mineralizuoti rieduliai,

daug metalų turinčios moreninės nuogulos bei sulfidiniai indikatoriniai sunkieji mineralai (Sarala, 2005).

Tirta, kaip skiriasi nuogulų geocheminė sudėtis, priklausomai nuo vietovėje esančių pagrindo uolienų ir pastebėta, kad esant skirtingoms uolienoms, moreninių nuogulų sudėtis yra skirtinga (Batterson ir Taylor, 2006). Teigiama, kad moreninių nuogulų geocheminė sudėtis yra artima giliau slūgsančioms pagrindo uolienoms, ir jog regioninis bei vietinis ledo srautas turi ribotą įtaką elementų sklaidai. Ištyrus moreninių ir prekvartero nuogulų cheminę sudėtį Danijoje pastebėta, kad didžioji dalis moreninių nuogulų turėjo būti vietinės kilmės, kadangi dauguma elementų sutampa su prekvartero nuogulų ir yra aptinkama nedaug medžiagos iš svetur (Binzer, 1974). Tačiau kai kuriuose tyrimuose gaunami prieštaringi rezultatai lyginant gruntų ir giliau slūgsančių uolienų mineraloginę sudėtį. Švedijoje atlikus moreninių nuogulų ir pagrindo uolienų mineraloginės sudėties tyrimus nepastebėta jokio ryšio tarp jų. Teigiama, jog neužtenka turėti žinių apie pagrindo uolienas, kad būtų galima prognozuoti moreninių nuogulų mineralogiją – reikia turėti informacijos ir apie ledo judėjimą, moreninių nuogulų susidarymo būdą bei dūlėjimo laipsnį, buvusį nuo paskutiniojo ledynmečio (Akselsson ir kt., 2006).

Ne retai tiriami kaip keičiasi moreninių nuogulų sudėtis vykstant dūlėjimui. Jungtinėse Amerikos Valstijose nustatyta, jog vykstant moreninių nuogulų dūlėjimui chloritas yra labiausiai nestabilus molio mineralas – jis tampa hidratuotas ir susidaro chlorito-vermikulito mišiniai (Droste, 1956). Dėl stipraus dūlėjimo dalis ilito taip pat pavirsta ilito-montmorilonito mišiniais (Bhattacharya, 1962). Vykstant gruntų dūlėjimo procesams – oksidacijai ir išplovimui, po jų sedimentacijos susidaro dvi zonos – viršutinė, kurioje nėra kalcio karbonato, ir oksidacija bei rūgštėjimas yra svarbiausi čia vykstantys procesai, ir apatinė, kurioje yra gausu kalcio karbonato ir svarbiausias procesas yra oksidacija (Ernstsen, 1998). Nors didžioji dalis nustatytos cheminės sudėties yra susiję su pagrindo uolienomis, padidėję ar sumažėję metalų kiekiai taip pat gali būti siejami su vietovės vandenilio jonų rodikliu (pH) ir organinės medžiagos kiekiu (Bergman (red.), 2018). Esant žemam pH, tokie elementai kaip kadmis, kobaltas, varis, geležis, švinas, magnis, manganas, nikelis, fosforas, talis bei cinkas gali būti mobilizuoti ir pernešti į kitus gylius ar vietas, arba patekti į paviršinius bei gruntinius vandenį. Pastebėta, kad mikroelementų kiekiai didėja su gyliu, tai ypač pastebima pereinant iš B į C dirvožemio horizontą (McClenaghan ir DiLabio, 1993).

Nustatyta, kad skirtingose frakcijose kaupiasi nevienodas kiekis elementų – cirkonis kaupiasi dulkio frakcijoje (0,004–0,063 mm), o cinkas, vanadis, cinkas, švinas, titanas, chromas bei nikelis labiau koncentruojasi <0,004 mm frakcijoje (Shilts, 1973). Tai parodo, kad atliekant nuogulų cheminės sudėties palyginimą yra svarbu lyginti vienodas frakcijas, kadangi kitaip bus pasiekami nelygiaverčiai rezultatai.

Inžinerinėje geologijoje vienas aktualiausių dalykų yra gruntų fizikinių ir mechaninių savybių nustatymas. Ištyrus morenines nuogulas iš skirtingų gylių, nustatyta, jog aukščiau esančios ir labiau dūlėjimo paveiktos nuogulos pasižymi didesniu molio ir dulkio frakcijų kiekiu, padidėjusiu gamtiniu drėgniu, plastiškumu, sumažėjusiu kerpamuoju stipriu (Eyles ir Sladen, 1981). Atlikus gruntų, atitinkančių Žeimenos svitos Žemaitijos ir Medininkų posvičių bei Nemuno svitos Baltijos posvitės nuogulas, fizikinių savybių nustatymą Estijoje išsiaiškinta, jog Medininkų posvitę atitinkančios nuogulos smėlingiausios ir pasižymi nedideliu molio ir dulkio frakcijų kiekiu, tuo tarpu Nemuno svitos Baltijos posvitės nuogulos turi plačią granulimetrinės sudėties ir rūšiuotumo variaciją, kurią galėjo lemti sudėtingos klostymosi ir hidrogeologinės sąlygos (Rattas ir Kalm, 2001). Nustatyta, kad paviršiuje slūgsančios nuogulos yra labiau sudūlėjusios, dėl to pasižymi mažesniu gamtiniu tankiu, kerpamuoju stipriu, lyginant su giliau esančiomis nuogulomis, taip pat pasižymi didesniu gamtiniu drėgniu, plastiškumu bei takumo drėgniais (Hashemi ir kt., 2006). Tai parodo, jog lyginant duomenis

yra svarbu atkreipti ne tik į nuogulų amžių, tačiau ir į nuogulų slūgsojimo gylį, sudūlėjimo laipsnį. Taip pat kartu atlikus gruntų mineraloginės sudėties tyrimus su fizikinių ir mechaninių savybių nustatymu nepastebėta, jog mineraloginė sudėtis koreliuotų su jų plastiškumo ribomis bei stiprumo ir spūdumo parametrais, tad remiantis vien tik gruntų savybėmis, negalima skirstyti gruntų stratigrafiškai (Edil ir Mickelson, 1995).

1.5 Vidurinio pleistoceno Žeimenos svitos Medininkų posvitės tyrimai

Lietuvoje atlikta keletas tyrimų, susijusių su moreninių gruntų fizikinių ir mechaninių savybių nustatymu. Pastebėta, kad vidurinio pleistoceno Medininkų posvitės nuogulos pasižymi didesniu tankiu, sankiba, vidinės trinties kampu ir kūginiu stipriu, lyginant su jaunesnėmis viršutinio pleistoceno Grūdų posvitės nuogulomis (Dundulis ir kt., 2008). Be to, atliktas ir palyginimas tarp Vilniuje ir Varšuvoje esančių Medininkų posvitės moreninių gruntų ir pastebėta, jog Vilniuje jos pasižymi didesniu gamtiniu tankiu, sankiba ir vidinės trinties kampu taip pat mažesniu gamtiniu drėgniu bei molio frakcijos kiekiu. Nustatyta, kad dažniausiai šiuos gruntuos sudaro smėlingas mažo plastiškumo molis ir dulkis, jie yra smėlingi, mažai perkonsoliduoti, drėgnis kinta 9–16 % intervale (Lekstutytė, 2024), didelio tankio ($2,24\text{--}2,32 \text{ Mg/m}^3$), mažo plastiškumo – takumo drėgnis dažniausiai mažesnis nei 35 %, mažo poringumo (Lekstutytė ir kt., 2024). Šių tyrimų metu taip pat nustatyta, kad vidurinio pleistoceno bandiniai pasižymi didesniu kalcio oksido, dolomito kiekiu, lyginant su viršutinio pleistoceno moreninėmis nuogulomis. Nustatyta, kad Medininkų ir Žemaitijos posvičių nuogulos pasižymi mažesniu molingumu, lyginant jas su virš ir žemiau jų esančiomis nuogulomis (Baltrūnas (red.), 2004). Lyginant įvairių pleistoceno moreninių nuogulų granulimetrinės sudėties santykinę entropiją pastebėta, jog Medininkų posvitės nuogulose ji didžiausia, o Baltijos – mažesnė (Baltrūnas ir Pukelytė, 2003). Taip pat ištyrus moreninių nuogulų karbonatingumą nustatyta dolomito kiekio nauda įvairaus amžiaus morenų atskyrimui – buvo pastebėta, jog paskutiniojo apledėjimo nuogulose yra mažesnis dolomito ir kalcito santykis, lyginant su Medininkų bei Žemaitijos posvičių nuogulomis (Rudnickaitė ir kt., 2015). Medininkų posvitės nuogulos yra labiau dolomitingos (Rudnickaitė, 2016). Atlikus stratigrafinius tyrimus pastebėta, kad šios nuogulos pasižymi didžiausiais vario, iterbio, skandžio, titano, mangano, itrio, cirkonio kiekiais (Satkūnas ir Bitinas, 1995). Dažnai šių elementų kiekio padidėjimas indikuoja dūlėjimo paveiktus gruntuos. Pagal ordoviko ir silūro klinties bei mezozojaus ir devono uolienų proporcijas, aptinkamas moreninėse nuogulose, sprendžiama, kad ledynas slinko iš šiaurės rytų per devono uolienas – dolomitą bei smiltainius (Baltrūnas ir kt., 2014).

Šios posvitės morenines nuogulos sudėtyje turi įvairius molio mineralus, kurių procentiniai kiekiai nuo tam tikrų aplinkybių gali kisti. Nyderlanduose 70–100 % molio mineralų sudaro kaolinitas, ilitas ir smektitas, o likusią dalį sudaro chloritas, vermikulitas (Haldorsen ir kt., 1989). Gruntai, kuriuose gausu smektito, turi gausų kiekį terciaro nuogulų, ir siejama, kad smektitas susidarė iš šiuo laikotarpiu dūlėjusių vulkaninių nuolaužų, tuo tarpu gruntai su mažu smektito kiekiu yra kilę iš tolimesnių prekambro ir kambro-silūro Baltijos teritorijų. Ištyrus moreninių nuogulų dūlėjimo poveikį jas sudarančių mineralų sudėčiai nustatyta, jog dūlant ilitui ir chloritui susidaro ilito-montmorilonito bei chlorito-vermikulito-montmorilonito mineralų mišiniai (Bhattacharya, 1962). Sudėties pokyčiai pastebimi ir ne tik dėl nuogulų dūlėjimo. Atlikus tyrimus Nyderlanduose pastebėta, kad sudėties kintamumui įtakos turi vietinės medžiagos įterpimas dėl poledyninės šlyties deformacijų ledo ir priešledyninių nuogulų pereinamojoje zonoje. Taip pat petrografinės stratifikacijos susidarymas lede bei skirtingos ledo judėjimo kryptys su skirtingomis šaltinio sritimis (Rappol ir Stoltenberg, 1985). Teigiama, kad rytinės-centrinės Baltijos nuosėdinės uolienos yra pirminis šaltinis

sunkiesiems mineralams, aptinkamiems Nyderlandų Medininkų posvitės atitikmens moreninėse nuogulose. Buvo tirta ir šių nuogulų petrografinė sudėtis. Nustatyta, kad jos pasižymi dideliu karbonatinių uolienų kiekiu, sudarančių apie 40–50 % (Wachecka-Kotkowska ir kt., 2021). Šių tyrimų metu taip pat padaryta išvada, kad moreninių nuogulų medžiaga turėjo atsirasti iš seklių jūrinių nuosėdų, kurios buvo eroduotos taip, kad sunkiųjų mineralų grūdėliai buvo išrūšiuoti pagal tankį ir dydį.

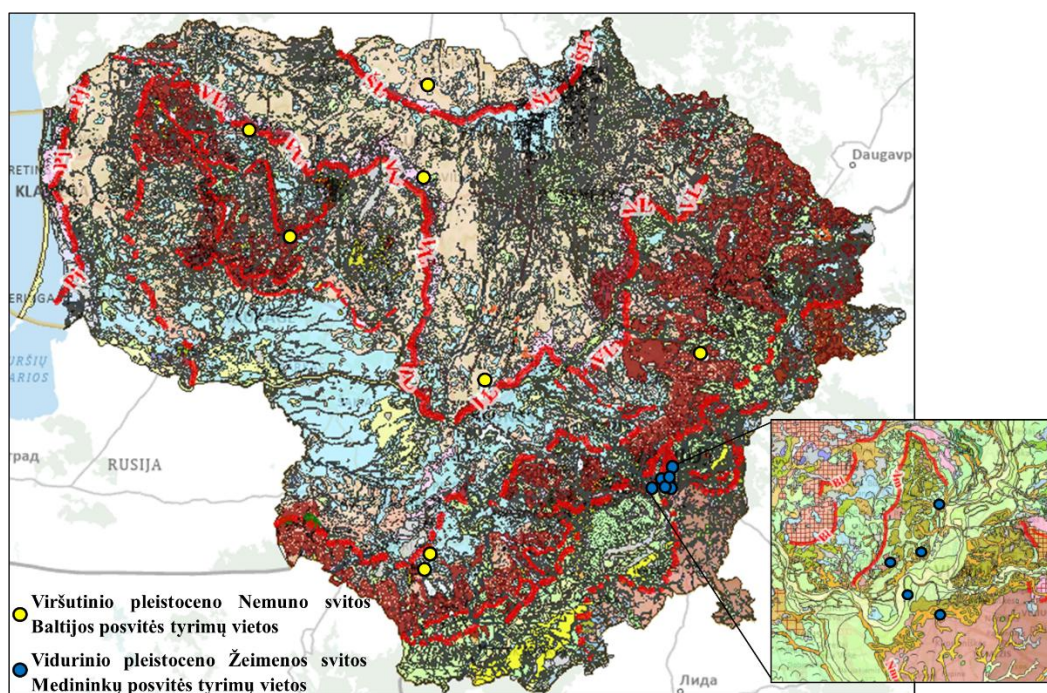
Nors daugelyje tyrimų yra teigiama, kad Medininkų posvitės nuogulos pasižymi didesniu karbonatingumu nei Nemuno svitos Baltijos posvitės (Baltrūnas, 1995; Rudnickaitė, 2016), tačiau kai kuriuose tyrimuose gaunami kitokie rezultatai. Atlikus tyrimus Jungtinėse Amerikos Valstijose pastebėta, kad Ilinojaus ledynmečio, atitinkančio Medininkų ledynmetį, metu susiformavusiose nuogulose karbonatų kiekis buvo mažesnis (Szabo ir kt., 2003). Tai grindžiama prielaida, kad šio ledynmečio metu ledynas pašalino jaunesnius paleozojaus skalūnus, aleurolitą, smiltainius, turinčius mažą karbonatų kiekį, o atslinkęs Viskonsino ledynas, atitinkantis Nemuno, į save įtraukė senesnius paleozojaus karbonatus. Tai tik įrodo, kad moreninės nuogulos yra labai įvairios, skirtingose vietose gali būti gaunami visai kitokie rezultatai.

Atlikus stratigrafinius tyrimus Nemuno svitos Baltijos posvitę bei Žeimenos svitos Medininkų posvitę atitinkančioms nuoguloms nustatyta, jog Medininkų posvitės moreninės nuogulos yra rupesnės, turi mažesnę smulkiosios frakcijos kiekį, ir išsiskiria žymiai didesniu kalcio kiekiu, taip pat didesniu natrio, fosforo kiekiu, mažesniu kalio, cinko kiekiu lyginant su aukščiau esančiomis moreninėmis nuogulomis (Iisalo, 2003). Jos yra labai sutankintos, prie to prisidėjo ir mechaninis ledo lėšių augimas užšalimo ir atšilimo ciklų metu (Jongmans ir kt., 1989).

2. TYRIMŲ METODIKA

2.1 Tyrimų objektas

Šiame darbe tyrinėjami viršutinio pleistoceno Nemuno svitos Baltijos posvitės bei vidurinio pleistoceno Žeimenos svitos Medininkų posvitės moreniniai smulkūs gruntai. Tyrinėjamos nuogulos yra iš vietovių pietrytinėje, pietvakarinėje, rytinėje, šiaurinėje, šiaurės vakarų bei centrinėje Lietuvos dalyse (3 pav.).



3 pav. Geomorfologinis Lietuvos žemėlapis M 1:200 000 (Guobytė, 2000) su tyrimų vietomis. Geltona spalva žymimos viršutinio pleistoceno Nemuno svitos Baltijos posvitės, o mėlyna – vidurinio pleistoceno Žeimenos svitos Medininkų posvitės nuogulų tyrimų vietos.

Tyrimai atlikti iš 40 bandinių (2 lentelė) – 20 priklauso Nemuno svitos Baltijos posvitės bei 20 – Žeimenos svitos Medininkų posvitės glacialinių nuogulų storymėms.

2 lentelė. Tyrimų vietos ir bandinių numeracija.

Adresas	Bandinio gylis, m	Bandinio numeris
Viršutinio pleistoceno Nemuno svitos Baltijos posvitės nuogulos		
Sikariškių k., Inturkės sen., Molėtų r. sav.	2,8–3,0	39
Taikos g., Aukštelkų k., Aukštelkų sen., Radviliškio r. sav.	3,8–4,0	38
Saulėnų k., Simno sen., Alytaus r. sav.	4,0–4,5	14
Kalesninkų k., Simno sen., Alytaus r. sav.	2,5–3,0	4, 23
	3,0–3,5	3, 30
Žylaičių k., Tryškių sen., Telšių r. sav.	2,2–2,5	5
	3,6–4,0	13, 18
Bielskiškių k., Kražių sen., Kelmės r. sav.	2,5–3,0	8
	3,5–4,0	2

Mielaičių g., Mielaičių k., Kepalių sen., Joniškio r. sav.	2,6–2,8	31
Puikonių k., Vandžiogalos sen., Kauno r. sav.	2,8–3,1	15
	3,5–3,7	1
	4,0–4,3	27
	5,0–5,3	19
Preišiogalos k., Vandžiogalos sen., Kauno r. sav.	2,5–2,8	25
	5,0–5,3	16
	5,0–5,3	26
Vidurinio pleistoceno Žeimenos svitos Medininkų posvitės nuogulos		
Poligrafijos g., Vilniaus m.	9,2–9,6	40
	19,3–19,5	33
Ozo g., Vilniaus m.	7,0–7,2	32
	9,5–10,5	10, 20
	21,7–22,0	11, 21
Kaminkelio g., Vilniaus m.	1,2–1,5	29
	3,3–3,5	6
	3,7–4,0	22
	6,6–6,8	17
	7,7–7,9	28
	12,8–13,0	7
Jočionių g., Vilniaus m.	9,5–9,8	34, 35, 36, 37
Geležinio Vilko g., Vilniaus m.	31,0–31,4	9
Jeruzalės g., Vilniaus m.	10,8–11,0	12, 24

Nemuno svitos Baltijos posvitės moreninių nuogulų bandiniai surinkti iš 11 skirtingų Lietuvos vietų (4 priedas). Medininkų posvitės grunto mėginiai surinkti iš 6 vietų Vilniuje (5 priedas), kadangi tik pietryčių Lietuvoje šios nuogulos slūgso žemės paviršiuje, neperdengtos vėlesnių ledynų nuogulomis.

2.2 Tirtų vietovių geologinės ir hidrogeologinės sąlygos

Tiriami bandiniai yra surinkti iš skirtingų Lietuvos vietų, kurios pasižymi nevienodomis geologinėmis ir hidrogeologinėmis sąlygomis, todėl yra svarbu jas išskirti, kadangi tai gali stipriai lemti tiek gruntų sudėtį, tiek savybes (Barbara ir kt., 2025; Paranthaman ir Azam, 2021; Peng ir kt., 2025).

Iš viršutinio pleistoceno Nemuno svitos Baltijos posvitės nuogulų 12 bandinių priklauso kraštiniais glacialiniams dariniams (gt III bl), likę 8 – pagrindinei morenai (g III bl). Geomorfologiniu požiūriu tiriamos teritorijos priskiriamos Paskutiniojo apledėjimo moreninių aukštumų (39 band.), Žemaičių-Kuršo (2, 5, 8, 13, 18, 38 band.) ir Pabaltijo žemumų (1, 3, 4, 14–16, 19, 23, 25–27, 30, 31 band.) sritims (3 lentelė).

Iš tirtų vidurinio pleistoceno Žeimenos svitos Medininkų posvitės nuogulų 14 bandinių priskiriama kraštiniais glacialiniams dariniams (gt II md) ir 5 pagrindinei morenai (g II md). Tiriamos vietovės geomorfologiniu požiūriu priskiriamos Paskutiniojo apledėjimo moreninių aukštumų (10–12, 20, 21, 24, 32, 33, 40 band.), Priešpaskutiniojo apledėjimo aukštumų (6, 7, 17, 22,

28, 29 band.) bei Paskutiniojo apledėjimo fluvio-glacialinių lygumų (34–37, 9 band.) sritims (3 lentelė).

Išsami geomorfologinė tiriamųjų vietų situacija pateikiama 3 lentelėje.

3 lentelė. Tyrimų vietų geologinės ir hidrogeologinės sąlygos.

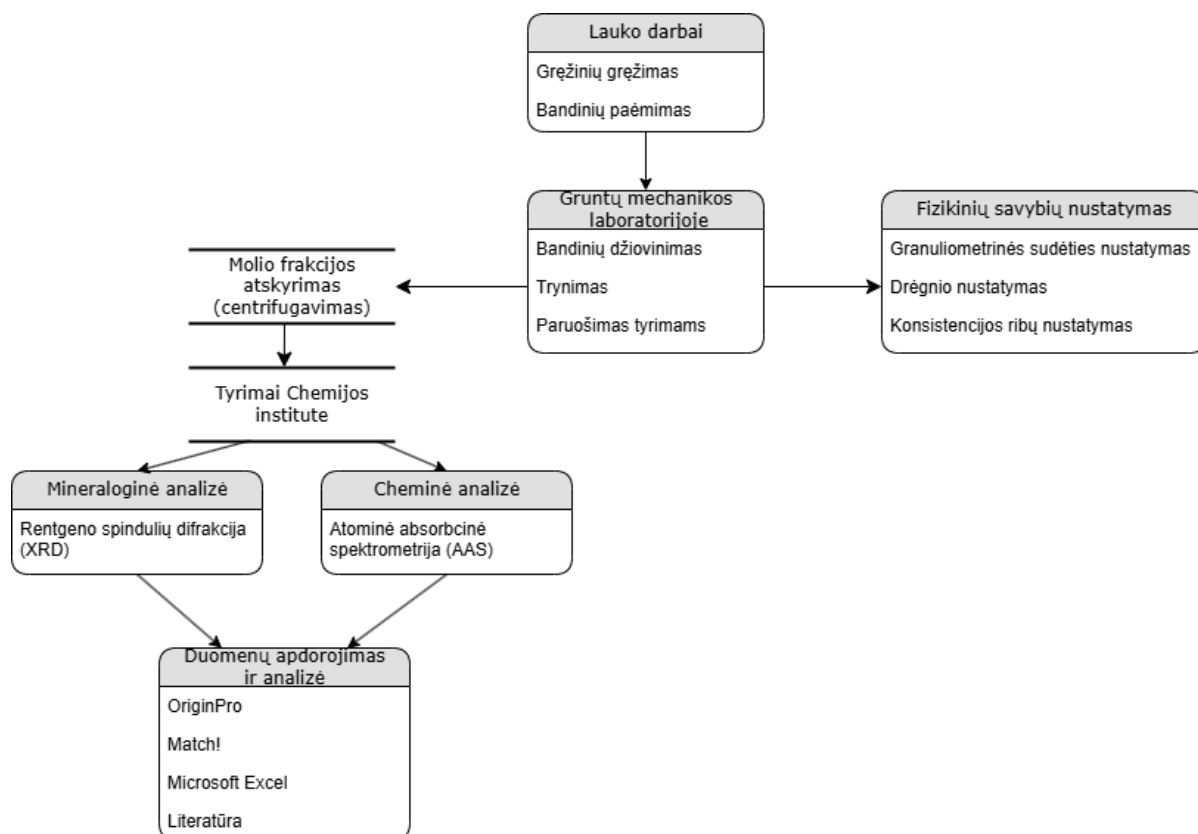
Bandinio numeris	Bandinio gylis, m	Geologinis indeksas	Požeminio vandens gylis, m	Geomorfologinės sąlygos		
				Sritis	Rajonas	Mikrorajonas
Viršutinio pleistoceno Nemuno svitos Baltijos posvitės nuogulos						
39	2,8–3,0	gt III bl	5,0	Paskutiniojo apledėjimo moreninių aukštumų	Aukštaičių aukštuma	Inturkės kalvotas moreninis masyvas
38	3,8–4,0		4,0	Žemaičių-Kuršo	Rytų Žemaičių plynaukštė	Šiaulių kalvotas moreninis gūbrys
5	2,2–2,5		1,3		Šiaurričių Žemaičių plynaukštė	Nevarėnų kalvoto moreninio gūbrio fragmentas
13, 18	3,6–4,0		7,1			
8	2,5–3,0		6,3			Butkiškės kalvota moreninė pakiluma
2	3,5–4,0		6,3			
14	4,0–4,5		2,1	Pabaltijo žemumų	Nemuno vidurupio plynaukštė	Simno banguota limnoglacialinė lyguma
4, 23	2,5–3,0		0,7		Žemgalės lyguma	Joniškio banguota moreninė lyguma
3, 30	3,0–3,5		0,7			
31	2,6–2,8	g III bl	1,5		Nevėžio lygumų	Vandžiogalos moreninė lyguma
15	2,8–3,1		5,0			
1	3,5–3,7		3,7			
27	4,0–4,3		>6,0			
19	5,0–5,3		>6,0			
25	2,5–2,8		>6,0			
16	5,0–5,3		2,0			
26	5,0–5,3		>6,0			
Vidurinio pleistoceno Žeimenos svitos Medininkų posvitės nuogulos						
40	9,2–9,6	gt II md	7,3	Paskutiniojo apledėjimo moreninių aukštumų	Aukštaičių aukštuma	Bajorų fliuvioglacialinis masyvas
33	19,3–19,5		6,5			
32	7,0–7,2		6,7			Gulbinų slėniuota fliuvioglacialinė lyguma
10, 20	9,5–10,5		6,7			
11, 21	21,7–22,0		>25,0			
12, 24	10,8–11,0		>12,0			
29	1,2–1,5		>21,0		Ašmenos aukštuma	Nemėžio moreninė plynaukštė
6	3,3–3,5		>21,0			

22	3,7–4,0		>15,0	Priešpaskutiniojo apledėjimo aukštumų		
17	6,6–6,8		>21,0			
28	7,7–7,9		>21,0			
7	12,8–13,0		>21,0			
34, 35, 36, 37	9,5–9,8	g II md	4,3	Paskutiniojo apledėjimo fliuvioglacialinių lygumų	Pietryčių lyguma	Vokės žemupio klonis
9	31,0–31,4		23,5		Šiaurinių lyguma	Neries vidurupio slėnio terasuota atkarpa

Požeminio vandens gylis tirtose vietovėse yra kaitus (3 lentelė). Kai kurie bandiniai yra žemiau, kiti – aukščiau gruntinio vandens lygio. Viršutinio pleistoceno tirtose vietovėse požeminio vandens gylis yra seklesnis ir kinta nuo 0,7 m iki bent 7,1 m. Tuo tarpu vidurinio pleistoceno nuogulų tyrimų vietose vandens lygis siekia nuo 4,3 m ir kai kuriose vietose viršija ir 25,0 m.

2.3 Tiriamojo darbo eiga

Tyrimui atlikti darbai skirstomi į keletą dalių, susidedančių iš lauko darbų, bandinių paruošimo, laboratorinių darbų – fizikinių savybių bei mineraloginės ir cheminės sudėties nustatymo ir gautų duomenų apdorojimo ir analizės. Darbų eiga ir atlikti tyrimai pateikti tyrimų scheme (4 pav.).



4 pav. Darbo eiliškumo bei atliktų tyrimų schema.

Detalesnės bandinių paruošimo bei tyrimų metodikos pateikiamos tolimesniuose darbo skyriuose.

2.4 Lauko bandymai bei bandinių paruošimas

Pirmoji tyrimų dalis – bandinių surinkimas. Tai atlikta lauko darbų metu tyrimų vietose gręžiant gręžinius ir imant suardytos ir nesuardytos sandaros bandinius. Iš viso išgręžti 26 gręžiniai ir surinkta 40 bandinių. Tyrimų vietos parinktos remiantis Lietuvos kvartero geologiniu žemėlapiu (Guobytė, 1998) (Geologijos informacinė sistema GEOLIS, žr. www.lgt.lt).

Bandiniai buvo apdorojami Vilniaus universiteto Gruntų mechanikos laboratorijoje. Pirmiausia jie buvo parą džiovinami krosnyje 105 °C temperatūroje, vėliau sutrinti. Bandiniai užpilti distiliuotu vandeniu ir praplauti per 0,063 mm sietą. Atskirta smulkioji frakcija su distiliuotu vandeniu supilta į centrifuginius indus iki vienodos masės. Molio frakcijai atskirti paruošti bandiniai buvo centrifuguojami po 20 minučių su IJC-31 M centrifuga (5 pav.).



5 pav. Bandiniai centrifugoje. Nuotrauka autorės.

Po centrifugavimo bandiniai išdžiovinti krosnyje 105 °C temperatūroje. Vėliau mėginio paviršiuje nusėdusi cheminės ir mineraloginės sudėties nustatymui reikalinga molio frakcija (6 pav.) buvo atskirta nuo dulkių frakcijos.



6 pav. Atsiskyrusi molio frakcija bandinio paviršiuje. Nuotrauka autorės.

Atskirtas molio dydžio dalelių sluoksnis buvo sutrintas į miltelius (7 pav.).



7 pav. Keletas sutrintų bandinių, paruoštų cheminės ir mineraloginės sudėties analizėms.
Nuotrauka autorės.

Sutrinti molio frakcijos bandiniai buvo panaudoti mineraloginės ir cheminės sudėties nustatymui.

2.5 Mineraloginė sudėtis

Tiriamųjų bandinių mineraloginei sudėčiai nustatyti taikytas rentgeno spindulių difrakcijos metodas. Analizė atlikta 40 bandinių. Naudotas Vilniaus universiteto Chemijos institute esantis Rigaku MiniFlex II difraktometras (8 pav.) su Bragg-Brentano geometrijos su Cu K α šaltiniu ($\lambda = 1.5418 \text{ \AA}$). Difrakcijos duomenys buvo gauti skenuojant $5\text{--}60^\circ 2\theta$ intervale, $5^\circ/\text{min.}$ greičiu.



8 pav. Mineraloginės sudėties tyrimas: (a) rentgeno spindulių difraktometras; (b) bandiniai.
Nuotraukos autorės.

Gauti tyrimų duomenys buvo analizuojami su Match! programine įranga, lyginant gautų difraktogramų smalių padėtis su duomenų bazėse esančiomis žinomų mineralų difraktogramomis. Difraktogramos darbe pateikiamos naudojant OriginPro programinę įrangą.

2.6 Cheminė sudėtis

Cheminės sudėties analizė atlikta pasitelkiant atominės absorbcijos spektrometrijos metodą Vilniaus universiteto Chemijos institute. Tyrimus atliko Vilniaus universiteto prof. (HP) dr. Stasys Tautkus. Tirti 9 bandiniai – 6 iš Nemuno svitos Baltijos posvītės bei 3 iš Žeimenos svitos Medininkų posvītės nuogulų. Bandymai iš kiekvieno mėginio pakartoti po 2-3 kartus tam, kad būtų gauti paklaidos intervalai – gautiems duomenims buvo paskaičiuoti standartiniai nuokrypiai (3 priedas). Nustatinėtos vario (Cu, ppm), švino (Pb, ppm), cinko (Zn, ppm), stroncio (Sr, ppm), bario (Ba, ppm), kalcio (Ca, %) ir magnio (Mg, %) koncentracijos. Šių cheminių elementų koncentracijos buvo nustatytos su Hitachi 170-50 liepsnos atominės absorbcijos spektrometru su tuščiavidurėmis katodinėmis lempomis. Bandymams buvo naudotas dvigubai bi-distiliuotas vanduo bei analitinės kokybės reagentai. Bandiniai buvo tirpinami kaitinant 10 ml koncentruotos HCl ir HNO₃ rūgščių mišinyje, kurių santykis 3:1. Po to buvo papildomai įpilta 10 ml koncentruotos druskos rūgštis, visas mišinys nugarintas iki minimalaus lygio. Toliau filtruojama, skiedžiama bi-distiliuotu vandeniu iki kol pasiekta 100 ml tūris. Tuomet paruošti mėginiai analizuojami – matuota tirpalų metalų atominė absorbcija ir pagal kalibravimo kreivę apskaičiuojami tiriamų cheminių elementų kiekiai.

Siekiant įvertinti, ar statistiškai skiriasi Medininkų ir Baltijos posvīčių nuogulų cheminė sudėtis, buvo paskaičiuoti Fišerio bei Stjudento kriterijai naudojant Microsoft Excel programinę įrangą. Fišerio kriterijus taikytas siekiant, įvertinti ar yra statistiškai reikšmingas skirtumas tarp dviejų grupių dispersijų (Kanyongo ir Ezugwu, 2023). Gaunamas Fišerio kriterijus (F) rodo, kaip stipriai yra išsibarstę duomenys. Stjudento t kriterijus su dvipuse kritine sritimi (angl. *two tailed*) dviejų nelygių nepriklausomų dispersijų imtims naudotas, siekiant statistiškai palyginti šių dviejų grupių vidurkius. Priimtas reikšmingumo lygmuo $\alpha = 0,05$, ir kuomet apskaičiuota ANOVA p -reikšmė gaunama mažesnė nei 0,05, priimama, kad gauti rezultatai yra statistiškai reikšmingi.

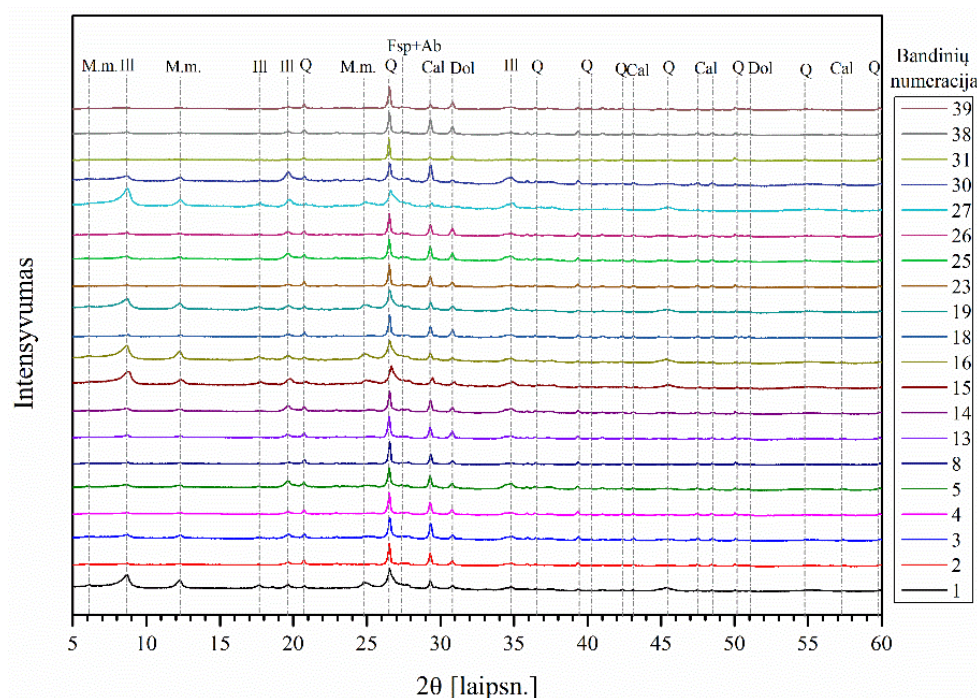
2.7 Fizikinės savybės

Gruntų fizikinių savybių identifikavimui buvo nustatyta jų granulimetrinė sudėtis hidrometro metodu (LST EN ISO 17892-4:2017) (1 priedas), gamtinis drėgnis (LST EN ISO 17892-1:2015), takumo ribos drėgnis ir plastiškumo ribos drėgnis (LST EN ISO 17892-12:2018) (2 priedas). Bandymai atlikti 31 bandiniui.

3. REZULTATAI

3.1 Mineraloginė sudėtis

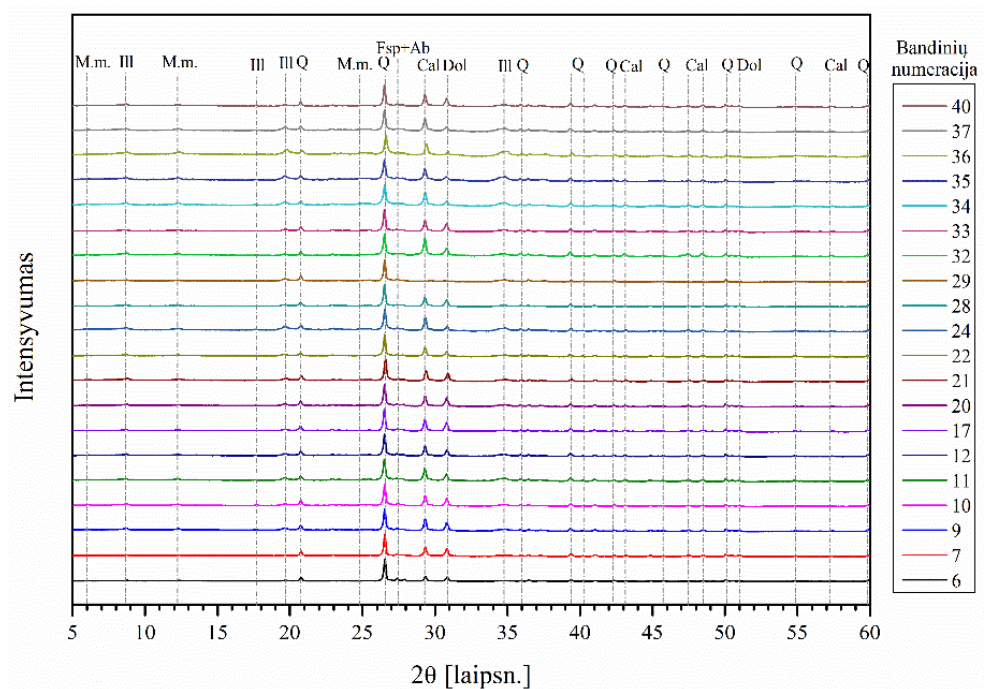
Pagal rentgeno spindulių difrakcijos metodu gautas viršutinio pleistoceno Nemuno svitos Baltijos posvitės (9 pav.) ir vidurinio pleistoceno Žeimenos svitos Medininkų posvitės (10 pav.) nuogulų difraktogramas buvo atlikta bandinius sudarančių mineralų kokybinė analizė.



9 pav. Nemuno svitos Baltijos posvitės nuogulų bandinių difraktogramos. Detalesni bandinių apibūdinimai pateikiami 2 lentelėje.

Nustatyta, jog viršutinio pleistoceno tirtus bandinius sudaro molio mineralai, iš kurių identifikuotas ilitas, taip pat kvarcas, dolomitas, kalcitas, albitas, feldšpatai. Kai kuriuose bandiniuose pastebima, jog karbonatinių mineralų – dolomito ir kalcito nėra arba jų kiekiai yra mažesni, lyginant su kitais bandiniais. Tokia tendencija pastebima šiaurinėje (31 band.), vidurio (16, 27 band.) ir pietinėje (39 band.) Lietuvos dalyse.

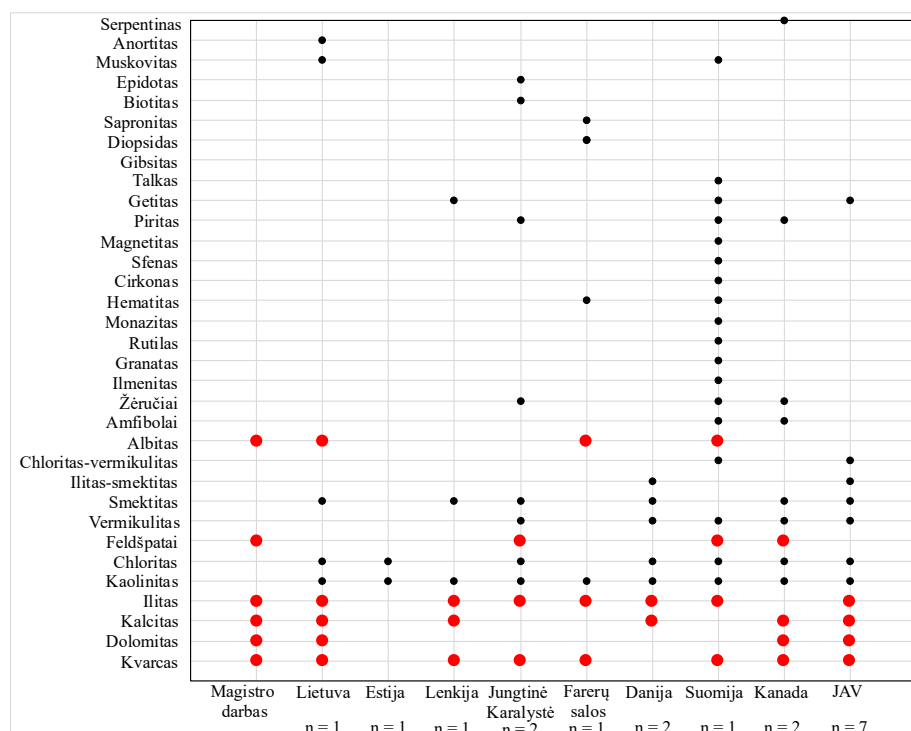
Medininkų posvitės nuogulų bandiniuose (10 pav.) taip pat aptikti molio mineralai, ilitas, kvarcas, dolomitas, kalcitas, albitas ir feldšpatai. Karbonatiniai mineralai aptinkami beveik visuose bandiniuose. Dolomito su kalcitu neaptikta tik pietinėje Vilniaus dalyje (29 band.), tačiau kituose šios teritorijos bandiniuose šie mineralai buvo aptikti.



10 pav. Žeimenos svitos Medininkų posvītės nuogulų bandinių difraktogramos. Detalesni bandinių apibūdinimai pateikiami 2 lentelėje.

Tiek viršutinio, tiek vidurinio pleistoceno moreninių nuogulų smulkiosios frakcijos bandiniuose buvo aptikti tie patys mineralai. Esminis skirtumas yra tai, jog viršutinio pleistoceno Nemuno svitos Baltijos posvītės bandiniuose yra rečiau sutinkami karbonatiniai mineralai – dolomitas ir kalcitas. Pagal difraktogramas iš molio mineralų išskirtas tik ilitas, kadangi jam būdingos plokštumų smailės yra pastovios, ir nepersidengiančios su kitais galimais mineralais. Kiti molio mineralai netikslinti. Manoma, jog plokštumų smailės gali atspindėti chloritą arba kaolinitą, arba juos abu, tačiau jų nustatymui yra reikalinga pakartoti bandymus keletą kartų, kadangi jų smailės persidengiančios. Pakaitinus bandinius iki 550 °C temperatūros ir vėl atlikus rentgeno difrakcijos bandymus, chlorito grupės smailė nekinta, o tuo tarpu smektitų bei kaolinito grupės mineralai suyra (Lugwisha, 2011). Prisotinus bandinius etilenglikoliu smailės gali kisti, jei bandiniuose būtų smektitų grupės mineralų – smailės plokštuma prasiplečia, o ilito, kaolinito bei chlorito grupių smailės nekinta (Woronko ir kt., 2022).

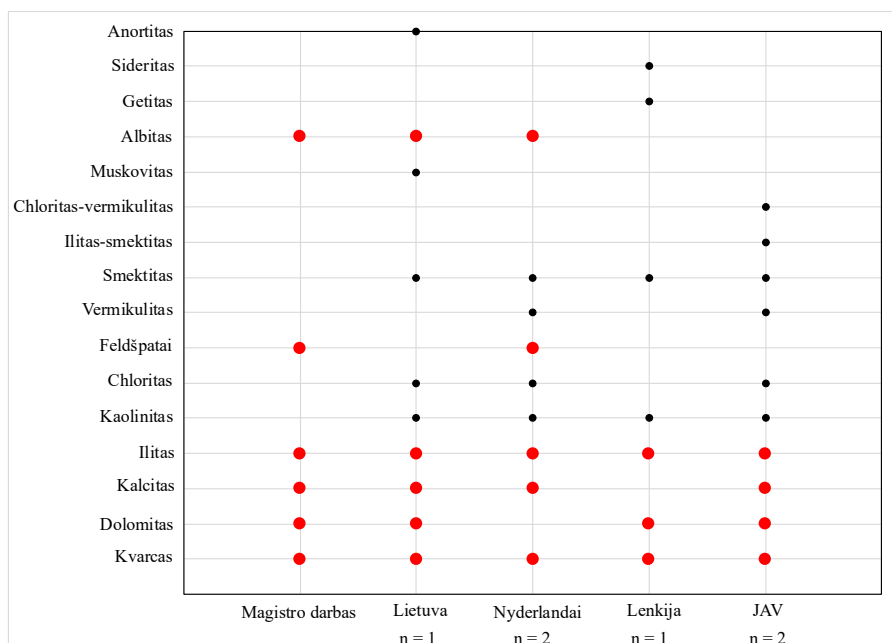
Pasauliniuose tyrimuose gaunami rezultatai yra labai įvairūs. Palyginimui pasirinkti anksčiau atlikti tyrimai iš smulkiosios moreninių nuogulų frakcijos Europoje – Lietuvoje (Lekstutytė, 2024), Estijoje (Kadastik, 2004), Lenkijoje (Barański, 2008), Jungtinėje Karalystėje (Bell, 2002; Madgett ir Catt, 1978), Farerų salose (Humlum ir kt., 2023), Danijoje (Binzer, 1974; Ernsen, 1998), Suomijoje (Al-Ani ir kt., 2008) bei Šiaurės Amerikoje – Kanadoje (Dampier ir kt., 2011; Shilts, 1973) ir Jungtinės Amerikos Valstijose (Bhattacharya, 1962; Constantinescu ir Constantinescu, 2011; Droste, 1956; Edil ir Mickelson, 1995; Fausey ir kt., 2000; Monaghan, 1984; Simpkins ir kt., 1987). Surinkti su viršutinio pleistoceno Nemuno svitos Baltijos posvite koreliuojamų nuogulų smulkiosios frakcijos mineraloginės sudėties rezultatai (11 pav.) rodo, kad skirtingose šalyse moreninės nuogulos yra nevienalytės.



11 pav. Viršutinio pleistoceno Nemuno svitos Baltijos posvītės nuogulų mineraloginė sudėtis (n – literatūros šaltinių skaičius). Raudona spalva pažymėti mineralai, sutampantys su magistro darbo rezultatais. Juoda spalva pažymėti mineralai, neaptikti magistro darbe.

Šiame darbe nustatyti mineralai sutinkami beveik visuose kitų šalių tyrimuose, tačiau yra nemažai mineralų, kurie šiame darbe nebuvo identifikuoti. Šiuo ledynmečiu suklostytos nuogulos pasižymi įvairiais molio mineralais. Vyrauja ilitas ir kaolinitas, mažesniais kiekiais sutinkami chlorito bei smektito grupių mineralai, o kai kuriuose atliktuose tyrimuose Jungtinėje Karalystėje, Danijoje, Suomijoje, Kanadoje ir JAV aptinkamas ir vermikulitas, ilito-smektito ir chlorito-vermikulito mišiniai, kurie dažniausiai siejami su kitų molio mineralų dūlėjimu (Bhattacharya, 1962; Droste, 1956; Ernssten, 1998). Be išvardintų molio mineralų magistro darbe neaptikti Jungtinėje Karalystėje (Madgett ir Catt, 1978), Suomijoje (Al-Ani ir kt., 2008) ir Kanadoje (Dampier ir kt., 2011; Shilts, 1973) nustatyti žėručiai, piritas, Lenkijoje (Barański, 2008), Suomijoje (Al-Ani ir kt., 2008) bei JAV (Fausey ir kt., 2000) rastas getitas, Lietuvoje (Lekstutytė, 2024) ir Suomijoje (Al-Ani ir kt., 2008) – muskovitas. Suomijoje moreninių nuogulų smulkiosios frakcijos sudėtyje yra gausu įvairių mineralų – aptiktas ilmenitas, amfibolai, granatas, rutilas, monazitas, hematitas, cirkonas, sfenas, magnetitas, talkas (Al-Ani ir kt., 2008). Farerų salose taip pat aptiktas hematitas bei diopsidas, sapronitas (Humlum ir kt., 2023). Jungtinėje Karalystėje taip pat nustatytas biotitas ir epidotas (Madgett ir Catt, 1978), Lietuvoje – anortitas (Lekstutytė, 2024), Kanadoje – serpentinas (Shilts, 1973).

Medininkų posvitei priskiriamų moreninių nuogulų mineralogijos tyrimų atlikta kur kas rečiau (12 pav.). Palyginimui pasirinkti anksčiau atlikti tyrimai Lietuvoje (Lekstutytė, 2024), Nyderlanduose (Haldorsen ir kt., 1989; Rappol ir kt., 1989), Lenkijoje (Bąkowska ir kt., 2016) bei Jungtinėse Amerikos Valstijose (Bhattacharya, 1962; Willman ir kt., 1966).



12 pav. Vidurinio pleistoceno Žeimenos svitos Medininkų posvitės nuogulų mineraloginė sudėtis (n – literatūros šaltinių skaičius). Raudona spalva pažymėti mineralai, sutampantys su magistro darbo rezultatais. Juoda spalva pažymėti mineralai, neaptikti magistro darbe.

Viduriniam pleistocenui priklausančių nuogulų mineraloginės sudėties sklaida yra mažesnė nei viršutinio pleistoceno. Šiame darbe išskirti mineralai sutampa su daugeliu, aptinkamų svetur. Čia iš molio mineralų konkrečiai išskirtas tik ilitas, o kiti mineralai nepatiksinti, tuo tarpu literatūroje sutinkama, jog daugelyje vietų – Lietuvoje, Nyderlanduose, Lenkijoje bei JAV, vyrauja ilitas, o kaolinito, chlorito bei smektito grupės mineralai sutinkami rečiau, priklausomai nuo tiriamos vietovės, dūlėjimo laipsnio. Vermikulitas, ilito-smektito bei chlorito-vermikulito mišiniai sutinkami daug rečiau, pavieniauose tyrimuose JAV ir Nyderlanduose ir jie taip pat susiję su gruntų dūlėjimo procesais (Bhattacharya, 1962; Haldorsen ir kt., 1989; Rappol ir kt., 1989; Willman ir kt., 1966). Smektito grupės mineralų kiekiai yra labai kaitūs net tose pačiose tiriamose vietovėse – Nyderlanduose vertės kinta 0–62 % intervale (Haldorsen ir kt., 1989; Rappol ir kt., 1989). Vyraujantys molio mineralai kinta priklausomai ir nuo ledyno slinkimo krypties – JAV tirtoje vietoje pastebėta, kad iš šiaurės rytų atslinkusio ledyno suklostytos nuogulos pasižymi dominuojančiu ilitu, su nedideliu kiekiu chlorito, šiek tiek kaolinito ir montmorilonito, tuo tarpu iš šiaurės vakarų suneštos nuogulose vyrauja montmorilonitas su nedideliu kiekiu kaolinito bei ilito, o chloritas beveik neaptinkamas (Willman ir kt., 1966). Pasauliniuose tyrimuose papildomai sutinkamas getitas ir sideritas (Lenkijoje) (Bąkowska ir kt., 2016), muskovitas ir anortitas (Lietuvoje) (Lekstutyte, 2024).

3.2 Cheminė sudėtis

Atlikus cheminę analizę atominės absorbcinės spektrometrijos metodu identifikuoti tirtą gruntą sudarantys cheminiai elementai (4 lentelė). Rezultatai, perskaičiuoti su paklaidomis, pateikti 3 priede. Tyrimų metu buvo numatyta nustatyti ir bario kiekį, tačiau atominės absorbcinės spektrometrijos metodu bario nustatymo jautrumas yra labai mažas, todėl jo koncentracijos tiriamuose bandiniuose nebuvo galima įvertinti.

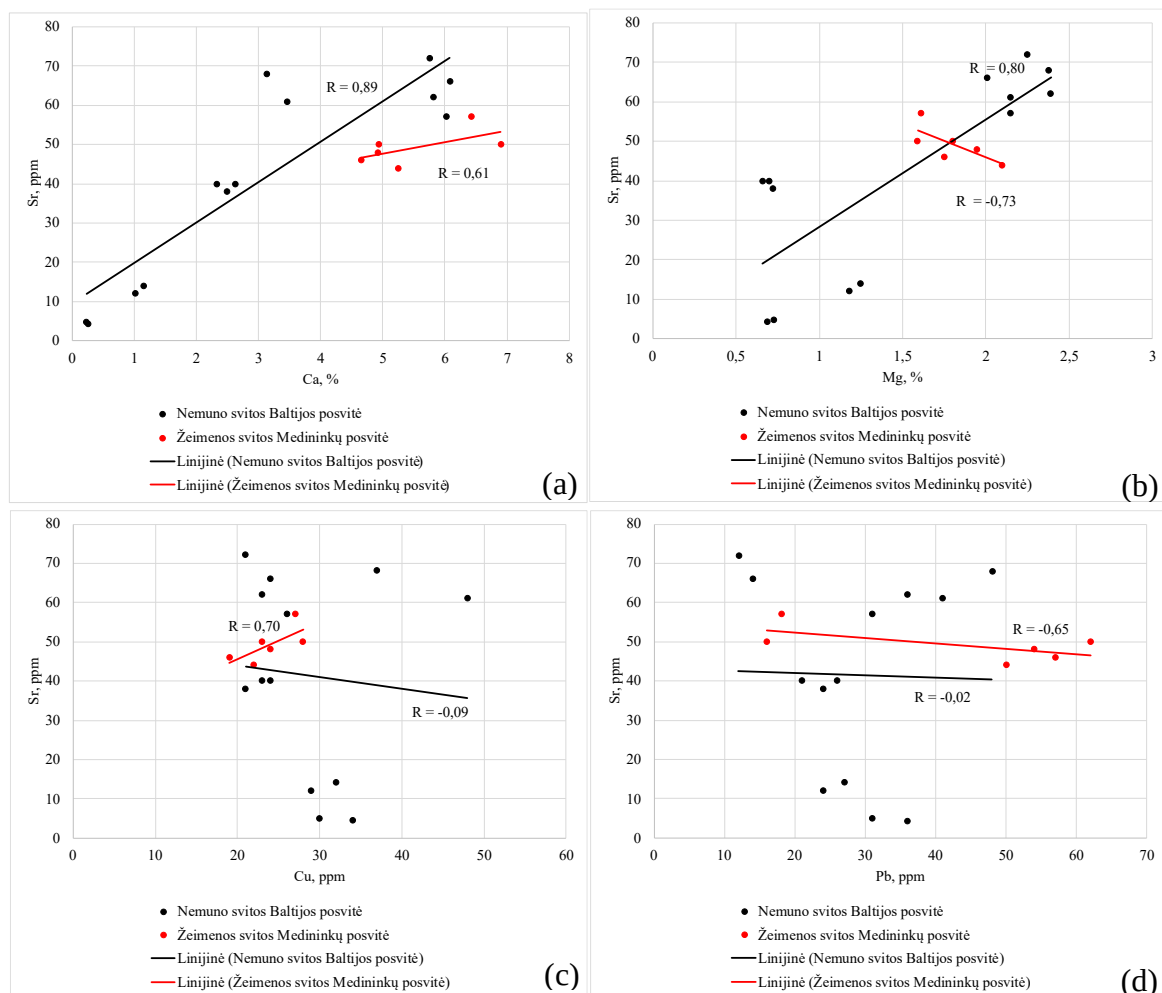
4 lentelė. Atominės absorbcijos spektrometrija moreninių gruntų molio frakcijoje nustatyti cheminiai elementai ir jų kiekiai.

Bandinio Nr.	Cheminis elementas					
	Cu, ppm	Pb, ppm	Zn, ppm	Sr, ppm	Ca, %	Mg, %
Viršutinio pleistoceno Nemuno svitos Baltijos posvitės nuogulos						
15	29	24	160	12	1,01	1,18
	32	27	180	14	1,15	1,25
27	30	31	110	4,8	0,22	0,73
	34	36	99	4,3	0,25	0,69
18	23	36	390	62	5,82	2,39
	26	31	350	57	6,02	2,15
8	24	14	430	66	6,08	2,01
	21	12	400	72	5,75	2,25
3	24	21	150	40	2,62	0,70
	21	24	150	38	2,48	0,72
	23	26	180	40	2,32	0,66
39	37	48	130	68	3,13	2,38
	48	41	110	61	3,45	2,15
Vidurinio pleistoceno Žeimenos svitos Medininkų posvitės nuogulos						
33	24	54	390	48	4,92	1,95
	22	50	360	44	5,25	2,10
21	27	18	230	57	6,43	1,61
	28	16	230	50	6,90	1,80
37	23	62	300	50	4,93	1,59
	19	57	350	46	4,65	1,75

Vario kiekis viršutinio pleistoceno nuogulose svyruoja 21–48 ppm intervale (vidurkis 29 ppm), tuo tarpu vidurinio pleistoceno nuogulose šis kiekis yra kiek mažesnis ir svyruoja 19–28 ppm intervale (vidurkis 24 ppm). Lyginant kitus nustatytus cheminius elementus pastebima, kad didesni jų kiekiai aptinkami Medininkų posvitės nuogulose. Jos pasižymi didesniu švino kiekiu (16–62 ppm, vidurkis 43 ppm) nei Nemuno svitos Baltijos posvitės (12–48 ppm, vidurkis 29 ppm) nuogulos. Cinko kiekis Žeimenos svitos Medininkų posvitės nuogulose yra 230–390 ppm (vidurkis 310 ppm), o Nemuno svitos Baltijos posvitės nuogulose – 99–430 ppm (vidurkis 218 ppm). Stroncio kiekis labai varijuoja viršutinio pleistoceno nuogulose, čia jis kinta nuo 4,3 iki 72 ppm (vidurkis 41 ppm), o vidurinio pleistoceno nuogulose intervalas siauresnis – 44–57 ppm (vidurkis 49 ppm). Kalcio kiekis tirtose nuogulose taip pat skiriasi – Nemuno svitos nuogulose kiekis kinta 0,22–6,08 % intervale (vidurkis 3,10 %), tuo tarpu Žeimenos svitos nuogulose jis kinta 4,65–6,90 % ribose (vidurkis 5,51 %). Viršutinio pleistoceno moreninių gruntų smulkiojoje frakcijoje magnio kiekis siekia 0,66–2,39 % (vidurkis 1,48 %), o vidurinio pleistoceno nuogulose – 1,59–2,10 % (vidurkis 1,80 %).

Kadangi pagal koreliacijas tarp cheminių elementų dažnu atveju galima paaiškinti tam tikrų mineralų buvimą ir atvirkščiai, sudarytos cheminių elementų priklausomybės viena nuo kitos grafiniu atvaizdavimu (13 pav.). Pastebėta, kad pagal koreliacijos koeficientą R , kuris atitinkamai siekia 0,89 ir 0,61, yra stipri tiesinė priklausomybė tarp stroncio ir kalcio kiekių santykio Baltijos posvitės nuogulose bei vidutinė priklausomybė Medininkų posvitės nuogulose (13(a) pav.). Taip pat

pastebima stipri koreliacija tarp abiejų ledynmečių metu suklostytų nuogulų stroncio ir magnio santykio – R Baltijos posvitės nuogulose teigiama 0,80, o Medininkų posvitės nuogulose neigiama 0,73 (13(b) pav.). Vertinant stroncio santykį su variu ir švinu, pastebimas ryšys tik Medininkų posvitės nuogulose. Sr santykis su Cu šiose nuogulose vaizduoja stiprią tiesinę teigiamą priklausomybę ($R = 0,70$) (13(c) pav.), o su Pb – vidutinę neigiamą ($R = -0,65$) (13(d) pav.), tuo tarpu Baltijos posvitės moreninėse nuogulose šios priklausomybės yra labai silpnos (R atitinkamai siekia -0,09 ir -0,02).



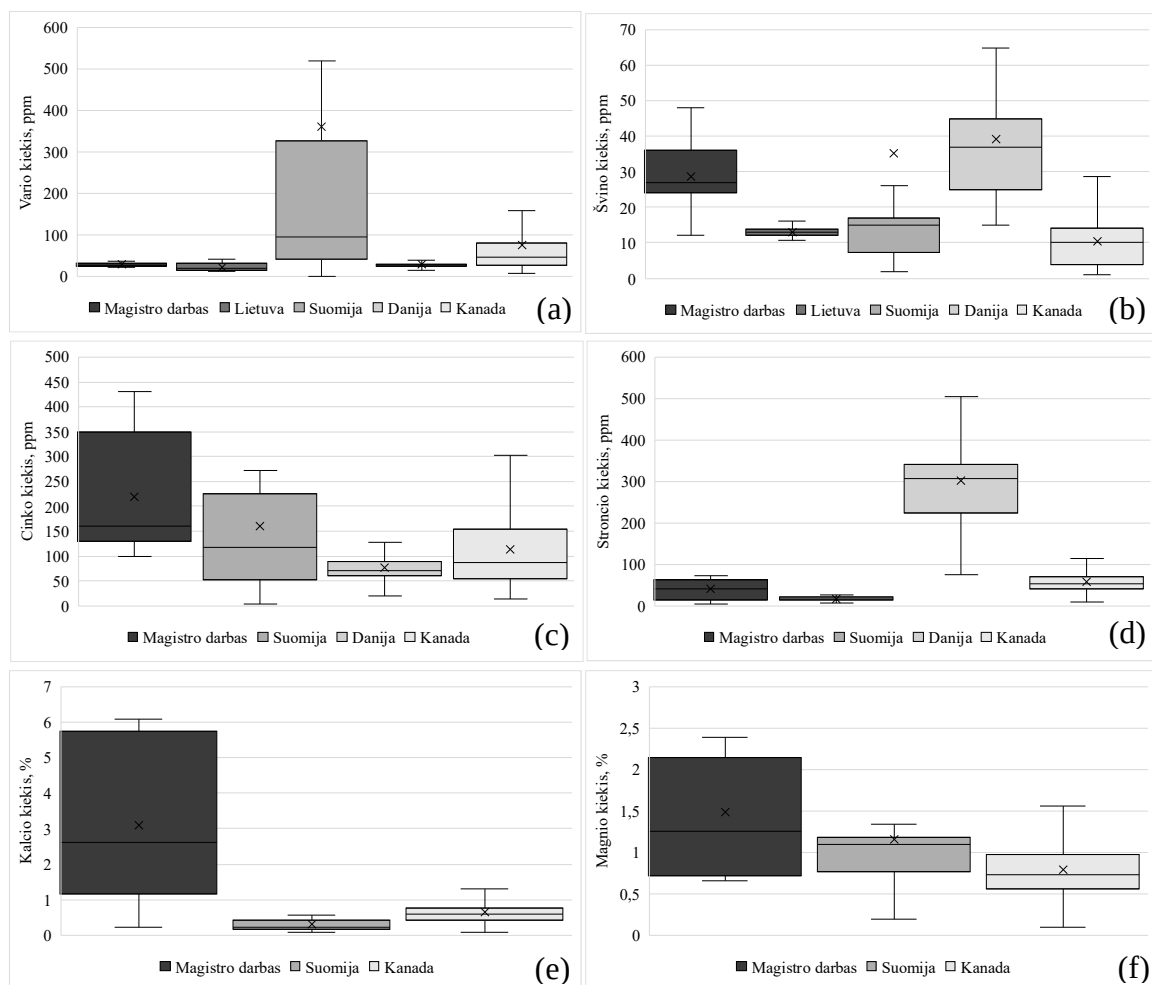
13 pav. Santykis tarp nustatytų cheminių elementų kiekių: (a) Sr ir Ca santykis; (b) Sr ir Mg santykis; (c) Sr ir Cu santykis; (d) Sr ir Pb santykis.

Cheminei moreninių nuogulų sudėčiai įtakos turi daug faktorių, todėl pasaulyje atliktuose tyrimuose matoma didelė duomenų sklaida. Palyginimui surinkti viršutinio pleistoceno moreninių nuogulų smulkiosios frakcijos tyrimai atlikti Lietuvoje (tirtos frakcijos, mažesnės už 1 mm) (Baltrūnas, 1995), Suomijoje, kur taikyta ICP-AES ir GF-AAS (Al-Ani ir kt., 2008; Sarala, 2005; Sarala ir Rossi, 2000), XRF ir AAS (Peuraniemi ir Eskola, 2013), ICP-MS (Valkama ir kt., 2021) bei ICP-AES (Iisalo, 2003; Sarala, 2016), Švedijoje su ICP-MS (Casey ir kt., 2024), Danijoje su AAS (Binzer, 1974) ir Kanadoje taikant INAA ir ICP-AES (Isenor, 2000; Lett ir kt., 2006; Sibbick ir kt., 1997), ICP-MS (Ferbey ir kt., 2009; Hashmi ir kt., 2015), ICP-MS ir INAA (Ferbey, 2009; Ferbey ir Levson, 2001; 2010), ICP-MS, ICP-AES ir INAA (Lett ir Paulen, 2021), emisijos spektrometrija ir AAS (Shilts, 1973), ICP-AES (McClenaghan ir DiLabio, 1993) ir AAS (Snow ir Coker, 1987) (5 lentelė).

5 lentelė. Viršutinio pleistoceno Nemuno svitos Baltijos posvitės nuogulų cheminės sudėties palyginimas tarp magistro darbo ir pasaulinių tyrimų duomenų.

		Cheminis elementas					
		Cu, ppm	Pb, ppm	Zn, ppm	Sr, ppm	Ca, %	Mg, %
Magistro darbas	Minimalus kiekis	21	12	99	4,3	0,22	0,66
	Maksimalus kiekis	48	48	430	72	6,08	2,39
	Vidurkis	29	29	218	41	3,10	1,48
Lietuva	Minimalus kiekis	10	11	-	-	-	-
	Maksimalus kiekis	41	16	-	-	-	-
	Vidurkis	22	13	-	281	-	-
Suomija	Minimalus kiekis	0,2	2	3	6	0,09	0,14
	Maksimalus kiekis	4420	185	511	25	0,94	3,43
	Vidurkis	196	20	118	15	0,31	0,94
Švedija	Minimalus kiekis	0,1	2	3	2	0,04	0,20
	Maksimalus kiekis	125	131	-	64	9,18	2,30
	Vidurkis	6	8,9	20	8	0,19	0,27
Danija	Minimalus kiekis	10	15	20	75	-	-
	Maksimalus kiekis	61	200	190	819	-	-
	Vidurkis	27	39	76	301	-	-
Kanada	Minimalus kiekis	2	1	14	6	0,02	0,09
	Maksimalus kiekis	2182	6628	8314	804	5,62	3,63
	Vidurkis	135	15	105	54	0,61	0,75

Skirtingose šalyse matomas didelis skirtumas tarp aptinkamų elementų koncentracijų (14 pav.). Suomijoje vario kiekis yra beveik 7 kartus, Kanadoje – 4,7 karto didesnis lyginant su magistro darbo rezultatais, Danijoje ir kituose Lietuvoje atliktuose tyrimų rezultatai yra panašūs, o tuo tarpu Švedijoje vario kiekis yra apie 4,5 karto mažesnis (5 lentelė; 14(a) pav.). Švino kiekis šiame darbe yra apie 2–3 kartus didesnis lyginant su kitais Lietuvoje, Švedijoje ir Kanadoje atliktais tyrimais, apie 1,4 karto didesnis lyginant su Suomijos vidurkiu ir 1,4 karto mažesnis lyginant su Danijos (5 lentelė; 14(b) pav.). Magistro darbe nustatyti didžiausi cinko kiekiai – apie 2 kartus viršija Suomijos ir Kanados vidurkį, 3 kartus – Danijos ir beveik 11 kartų viršija Švedijos moreninių smulkių nuogulų cinko vidurkį (5 lentelė; 14(c) pav.). Didžiausiu stroncio kiekiu pasižymi Danijoje slūgsančios moreninės nuogulos, kur stroncio kiekis yra virš 7 kartų didesnis lyginant su magistro darbe nustatytu kiekiu (5 lentelė; 14(d) pav.). Tuo tarpu kituose Lietuvoje atliktuose tyrimuose stroncio kiekis beveik 7 kartus didesnis, Kanadoje – 1,3 karto didesnis, Suomijoje – 2,8 karto mažesnis ir Švedijoje apie 5 kartus mažesnis, lyginant su šio darbo rezultatais. Tuo tarpu šio darbo moreninių nuogulų smulkioji frakcija išsiskiria didesniais kalcio ir magnio kiekiais lyginant su kitų valstybių smulkiosios moreninių nuogulų frakcijos tyrimais. Kalcio kiekis magistro darbe yra 10 kartų didesnis už Suomijos, 16 kartų už Švedijos ir 5 kartus už Kanados vidurkius (5 lentelė; 14(e) pav.). Tuo tarpu magnio kiekis yra apie 1,5–2 kartus didesnis už Suomijos bei Kanados tyrimų duomenis ir 5,5 karto didesnis lyginant su Švedija (5 lentelė; 14(f) pav.).



14 pav. Viršutinio pleistoceno nuogulų geocheminė sudėtis. Išskirtys nevaizduojamos. (a) Vario; (b) švino (ppm) pasiskirstymas magistro darbe, Lietuvoje, Suomijoje, Danijoje ir Kanadoje. (c) Cinko; (d) stroncio (ppm) pasiskirstymas magistro darbe, Suomijoje, Danijoje ir Kanadoje. (e) Kalcio; (f) magnio (%) pasiskirstymas magistro darbe, Suomijoje ir Kanadoje.

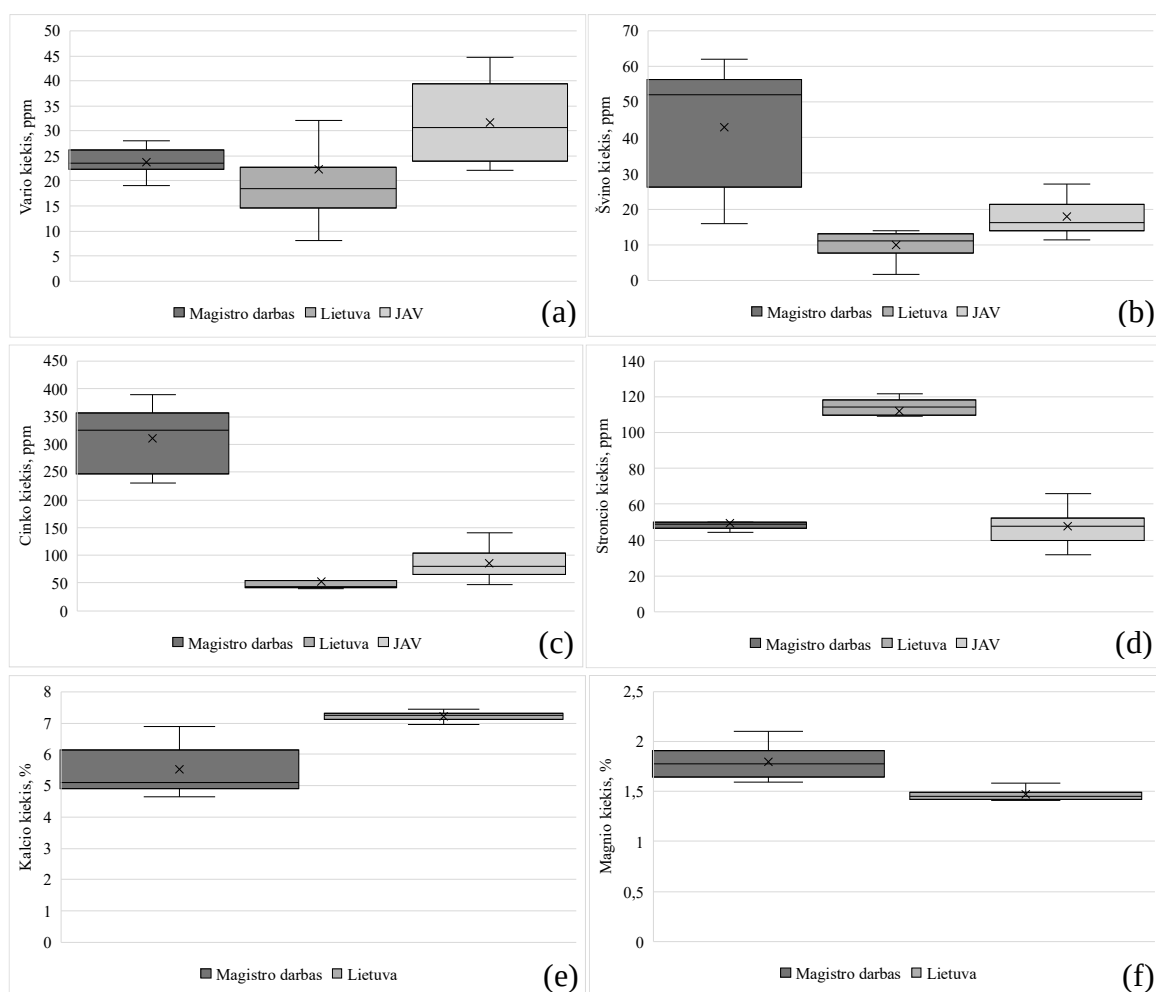
Vidurinio pleistoceno moreninių nuogulų cheminės sudėties tyrimų yra nedidelis kiekis – jie atlikti Lietuvoje (Baltrūnas, 1995), taikytas ir XRF (Lekstutytė, 2024), Suomijoje, kur taikyta ICP-AES (Iisalo, 2003) bei Jungtinėse Amerikos Valstijose tyrimai atlikti, kombinuojant ICP-MS ir ICP-AES metodus (Dixon-Warren ir Stumpf, 2010) (6 lentelė). Dėl duomenų trūkumo, į palyginimą įtraukti ir Lietuvos moreninių gruntų tyrimai (Lekstutytė, 2024), kuriuose cheminė sudėtis nustatyta ne iš smulkiosios frakcijos, o iš bendros viso natūralaus grunto masės.

6 lentelė. Vidurinio pleistoceno Žeimenos svitos Medininkų posvitės moreninių nuogulų cheminės sudėties palyginimas tarp magistro darbo ir pasaulinių tyrimų duomenų.

		Cheminis elementas					
		Cu, ppm	Pb, ppm	Zn, ppm	Sr, ppm	Ca, %	Mg, %
Magistro darbas	Minimalus kiekis	19	16	230	44	4,65	1,59
	Maksimalus kiekis	28	62	390	57	6,90	2,10
	Vidurkis	24	43	310	49	5,51	1,80
Lietuva	Minimalus kiekis	8	2	40	94	6,95	1,41
	Maksimalus kiekis	61	14	82	122	7,46	1,58
	Vidurkis	22	10	53	112	7,22	1,47

Suomija	Minimalus kiekis	6	3	15	11	0,25	0,18
	Maksimalus kiekis	36	8	40	22	0,49	0,69
	Vidurkis	17	4	29	15	0,41	0,45
Jungtinės Amerikos Valstijos	Minimalus kiekis	22	11	48	32	-	-
	Maksimalus kiekis	45	27	141	66	-	-
	Vidurkis	32	18	86	48	-	-

Pastebima mažesnė cheminių elementų sklaida skirtingose vietovėse (15 pav.), lyginant su viršutinio pleistoceno nuogulomis (14 pav.). Vario kiekio vidurkis lyginant su tyrimais atliktais Lietuvoje ir Suomijoje beveik nesiskiria bei yra apie 1,3 karto mažesnis lyginant su JAV nuogulomis (6 lentelė; 15(a) pav.). Šiame darbe tyrinėtose nuogulos pasižymi apie 4,3 kartus didesniu švino kiekiu lyginant su kitais Lietuvoje atliktais tyrimais, 11 kartų didesniu kiekiu lyginant su Suomija ir 2,4 karto didesniu nei JAV nuogulos (6 lentelė; 15(b) pav.). Lyginant su kitais tyrimais atliktais pasaulyje šios nuogulos pasižymi ir didesniu cinko kiekiu. Nustatytas cinko vidurkis šiame tyrime iš molio frakcijos yra beveik 6 kartus didesnis nei kitų Lietuvos tyrimų, kurie atlikti iš visos grunto masės, ir 10,8 karto didesnis nei Suomijoje ir 3,6 karto didesnis nei JAV (6 lentelė; 15(c) pav.). Kalcio ir magnio kiekiai panašūs lyginant su kitais tyrimais iš Lietuvos (6 lentelė; 15(e, f) pav.), tačiau čia kalcio kiekis beveik 13,5 karto, o magnio – 12 kartų didesnis nei Suomijoje (6 lentelė).



15 pav. Vidurinio pleistoceno nuogulų cheminė sudėtis. Išskirtys grafikuose nevaizduojamos. (a) Vario; b) švino; (c) cinko; (d) stroncio kiekio (ppm) pasiskirstymas magistro darbe, Lietuvoje ir JAV. (e) Kalcio; (f) magnio kiekio (%) pasiskirstymas magistro darbe ir Lietuvoje.

Tolimesnė šių gautų duomenų analizė bei interpretacija pateikiama 4 skyriuje.

3.3 Statistinis cheminių elementų koncentracijų įvertinimas

Statistinei analizei buvo taikomi Fišerio (F) bei Stjudento *t* kriterijai (7 lentelė).

7 lentelė. Cheminių elementų koncentracijų statistiniai rodikliai.

Cheminis elementas	Baltijos posvitės nuogulų vidurkis	Medininkų posvitės nuogulų vidurkis	Fišerio kriterijus (F)	Stjudento <i>t</i> kriterijus	ANOVA <i>p</i> -reikšmė	Reikšmingumo lygmuo ($\alpha = 0,05$)
Cu, ppm	29	24	5,45	1,89	0,076	-
Pb, ppm	29	43	0,25	-1,63	0,154	-
Zn, ppm	218	310	3,31	-2,06	0,055	-
Sr, ppm	41	49	31,60	-1,06	0,306	-
Ca, %	3,10	5,51	5,64	-3,37	0,004	+
Mg, %	1,48	1,80	14,08	-1,44	0,170	-

Palyginus Baltijos bei Medininkų posvičių nuogulų cheminių elementų koncentracijų statistinius kriterijus matoma, jog tik kalcis rodo statistiškai reikšmingą skirtumą tarp šių skirtingais ledynmečiais suklostytų nuogulų sudėčių ($p = 0,004$, kai $\alpha = 0,05$). Cinkas yra arti statistinio reikšmingumo ribos ($p = 0,055$), tačiau tai yra daugiau nei reikšmingumo lygmuo. Kiti elementai – varis ($p = 0,076$), švinas ($p = 0,154$), stroncis ($p = 0,306$) ir magnis ($p = 0,170$) rodo, jog skirtumai tarp skirtingų posvičių nuogulų nėra statistiškai reikšmingi.

Pagal Fišerio kriterijų matoma, jog magnio (14,08) ir stroncio (31,60) kiekiai yra labiausiai išsibarstę, lyginant su kitais nustatytais elementais, o tai reiškia, kad šių elementų pasiskirstymas yra labiausiai nevienodas tarp tiriamų posvičių moreninių nuogulų molio frakcijos.

Statistiniam stroncio santykio su kitais cheminiais elementais patikrinimui, taikytas Stjudento *t* kriterijus (8 lentelė).

8 lentelė. Cheminių elementų (Ca, Mg, Cu, Pb) santykio su Sr statistiniai rodikliai skirtingų posvičių nuogulose.

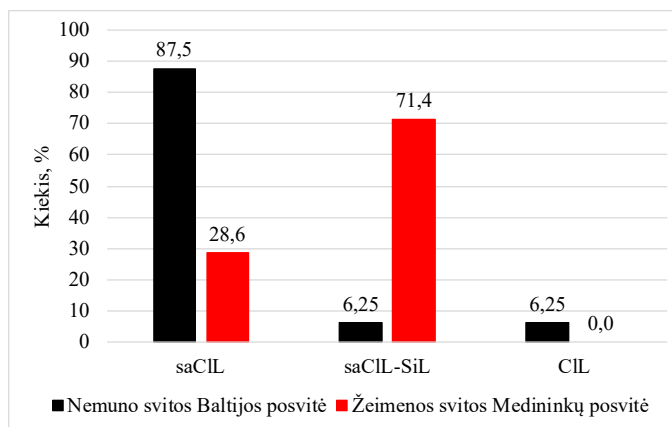
Santykis	Stjudento <i>t</i> kriterijus	ANOVA <i>p</i> -reikšmė	Reikšmingumo lygmuo ($\alpha = 0,05$)
Viršutinio pleistoceno Nemuno svitos Baltijos posvitės nuogulos			
Sr/Ca	5,46	<0,001	+
Sr/Mg	5,71	<0,001	+
Sr/Cu	1,76	0,101	-
Sr/Pb	1,71	0,106	-
Vidurinio pleistoceno Žeimenos svitos Medininkų posvitės nuogulos			
Sr/Ca	23,32	<0,001	+
Sr/Mg	25,81	<0,001	+
Sr/Cu	11,12	<0,001	+
Sr/Pb	0,74	0,491	-

Tiek viršutinio pleistoceno, tiek vidurinio pleistoceno moreninių nuogulų molio frakcijoje pastebima, jog stroncio santykis su kalciumu ir magniumu yra statistiškai reikšmingas, kadangi p -reikšmė siekia $<0,001$, kai $\alpha = 0,05$.

Nemuno svitos Baltijos posvitės nuogulose matoma, kad stroncio santykis su variu ir švinu nėra statistiškai reikšmingas (p atitinkamai 0,101 ir 0,106). Tuo tarpu Žeimenos svitos Medininkų posvitės nuogulose stroncio santykis su švinu yra statistiškai nereikšmingas ($p = 0,491$), o jo santykis su variu rodo statistinį reikšmingumą (p siekia $<0,001$).

3.4 Granuliometrinė sudėtis

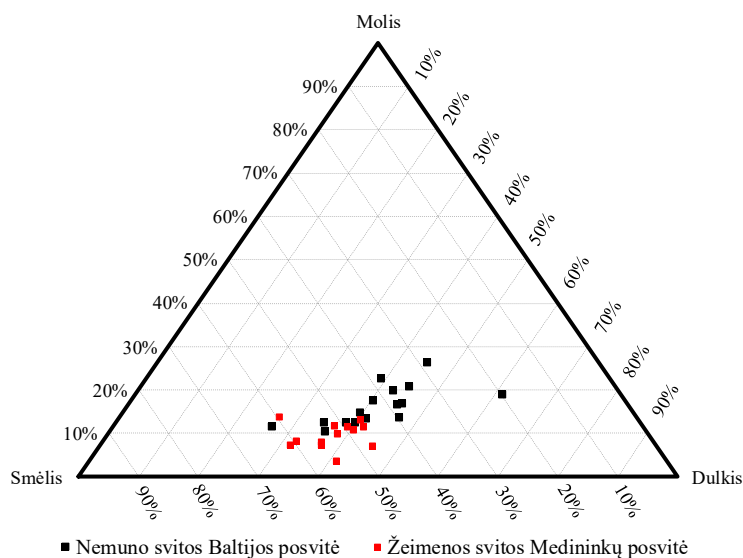
Atlikus laboratorinius tyrimus nustatyta, jog pagal LST EN ISO 14688-2:2018 ir TAR 2019-06-14 Nr. 2019-09653 pateiktą klasifikaciją tiriami moreniniai gruntai pagal granuliometrinę sudėtį skirstomi į moreninį smėlingą mažo plastiškumo molį (saCIL), smėlingą mažo plastiškumo molį ir dulkę (saCIL-SiL) bei mažo plastiškumo molį (CIL) (16 pav.; 1 priedas).



16 pav. Magistro darbo tiriamų bandinių gruntų tipų pasiskirstymas.

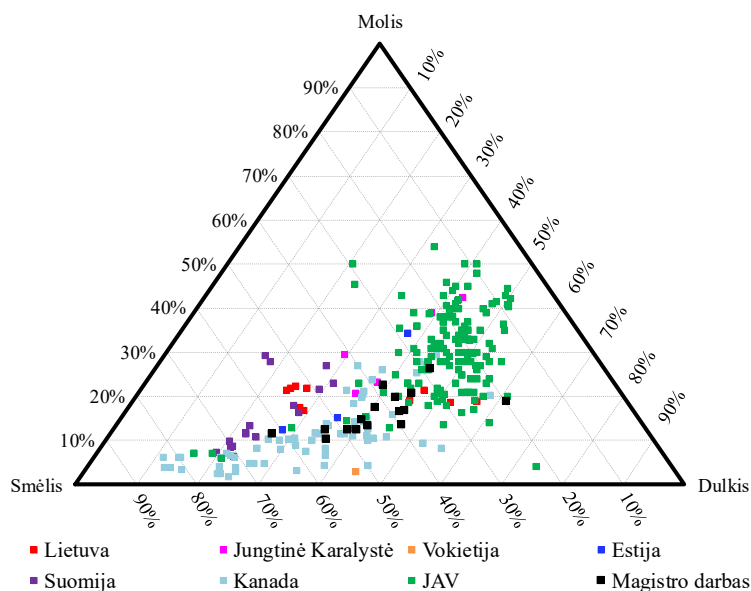
Pastebima, jog viršutinio pleistoceno Nemuno svitos Baltijos posvitės tirtieji mėginiai priskiriami daugiausia moreniniam smėlingam mažo plastiškumo moliui. Šiam gruntų tipui priskiriama 87,5 % analizių (14 bandinių), tuo tarpu moreniniam smėlingam mažo plastiškumo moliui ir dulkiui bei mažo plastiškumo moliui, priskiriama vos po 6,25 % (po 1 bandinį). Tuo tarpu 71,4 % (10 bandinių) iš tirtų vidurinio pleistoceno Žeimenos svitos Medininkų posvitės nuogulų bandinių priklauso moreniniam smėlingam mažo plastiškumo moliui ir dulkiui, o 28,6 % analizių (4 bandiniai) priskiriami moreniniam smėlingam mažo plastiškumo moliui. Apie tai, kad vidurinio pleistoceno nuogulos dažniausiai priskiriamos smėlingam mažo plastiškumo moliui ir dulkiui pastebima ir kituose Lietuvoje atliktuose tyrimuose (Lekstutytė, 2024; Lekstutytė ir kt., 2024).

Išanalizavus rezultatus pastebimi skirtumai ir tarp frakcijų kiekių (17 pav.). Vidurinio pleistoceno gruntų bandiniai yra smėlingesni. Smėlio frakcijos kiekis čia kinta nuo 43,07 iki 60,29 % (vidurkis 51,76 %), o viršutinio pleistoceno bandiniuose kinta nuo 19,65 iki 60,15 % (vidurkis 40,63 %). Taip pat vidurinio pleistoceno gruntai pasižymi mažesniu molio frakcijos kiekiu. Jis kinta 3,5–13,66 % intervale (vidurkis 9,35 %), o viršutinio pleistoceno bandiniuose – 10,27–24,70 % (vidurkis 15,75 %). Dulgio frakcijos kiekis mažesnis Medininkų posvitės nuogulų bandiniuose, čia ji kinta 26,49–44,55 % ribose (vidurkis 36,59 %), o Baltijos posvitės – 25,86–61,26 % ribose (vidurkis 40,46 %).



17 pav. Granulimetrinės sudėties pasiskirstymas magistro darbe. Frakcijų kiekis perskaičiuotas eliminavus žvyro frakciją.

Pasauliniuose tyrimuose gaunami granulimetrinės sudėties rezultatai yra labai įvairūs. Literatūroje dažniausiai patiekiami frakcijų kiekiai, perskaičiuoti atėmus žvyro frakciją. Apibendrinus pasaulyje atliktus tyrimus moreniniams gruntams, atitinkantiems viršutinio pleistoceno Nemuno svitos Baltijos posvitės gruntus, taip pat pastebima didelė frakcijų kiekių variacija (18 pav.). Pasauliniuose tyrimuose atliktuose Lietuvoje, Jungtinėje Karalystėje, Vokietijoje, Estijoje, Suomijoje, Kanadoje bei JAV smėlio frakcijos kiekis kinta nuo 6,80 iki 83,50 % (vidurkis 35,23 %), dulkio – nuo 11,20 iki 61,00 % (vidurkis 40,54 %), o molio – nuo 1,20 iki 54,00 % (vidurkis 24,46 %).

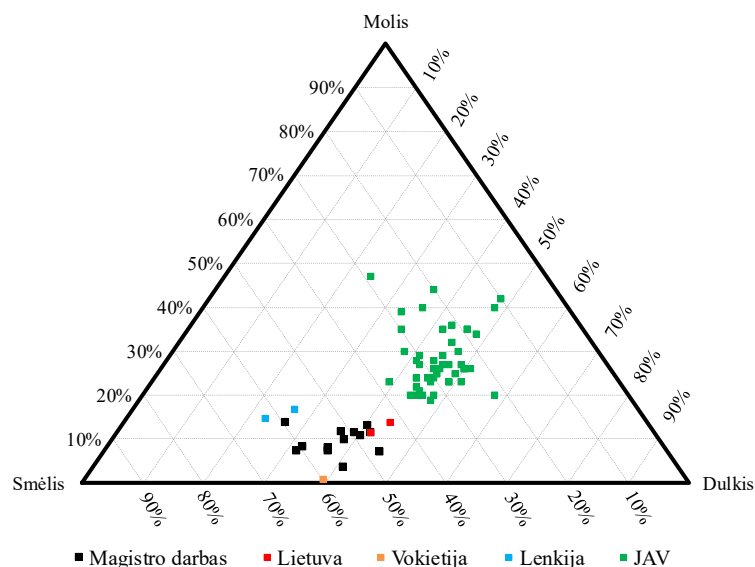


18 pav. Granulimetrinės sudėties pasiskirstymas viršutinio pleistoceno Nemuno svitos Baltijos posvitės moreniniuose gruntuose magistro darbe, Lietuvoje, Jungtinėje Karalystėje, Vokietijoje, Estijoje, Suomijoje, Kanadoje ir JAV.

Kituose Lietuvoje atliktuose tyrimuose rupiosios frakcijos kiekis kinta 51,00–54,60 % ribose, dulkio – 24,00–29,00 %, molio – 16,9–22,3 % (Baltrūnas ir kt., 2020). Šie tirti bandiniai yra smėlingesni bei mažiau dulkingi, lyginant su šiame darbe gautais rezultatais. Estijoje smėlio frakcija

apima 28,30–59,79 %, dulgio – 27,88–39,40 %, o molio frakcija varijuoją plačiose ribose – 12,33–34,41 % (Kadastik ir Kalm, 1998; Rattas ir Kalm, 2001). Didžiojoje Britanijoje tirtų granulimetrinę sudėtį dėl nuogulų dūlėjimo pasižymi išsibarsčiusiomis frakcijų kiekių pasiskirstymo reikšmėmis. Šioje šalyje smėlio frakcija kinta nuo 10,00 iki 64,00 %, dulgio – nuo 18,00 iki 54,00 % bei molio nuo 12,00 iki 55,00 % (Bell, 2002; Boston, 2007; Clarke ir kt., 1998; Eyles ir Sladen, 1981). Vokietijoje ištirtos nuogulos mažai molingos, molio frakcija užima 3,06 %, o smėlis – 52,48 % ir dulgis – 44,47 % (Hailemariam ir Wuttke, 2021). Suomijoje atlikti tyrimai parodė, jog smėlio frakcija kinta 39,00–73,21 % intervale, dulgio – 16,59–30,81 % intervale, o molio – 1,20–29,27 % (Al-Ani ir kt., 2008; Huhta, 2008; Iisalo, 2003). Kanadoje moreninės nuogulos dažniausiai labai smėlingos – smėlio frakcijos ribos kinta nuo 21,70 iki 82,50 % (vidurkis 54,59 %), o dulgio frakcijos aptinkama 11,20–58,10 % (vidurkis 33,85 %) bei molio – 1,90–29,50 % (vidurkis 11,56 %) (Dampier ir kt., 2011; Isenor, 2000). Skirtingose vietose Jungtinėse Amerikos Valstijose atlikta nemažai tyrimų. Nuo vietovės priklauso ir granulimetrinės sudėties įvairovė. Nors smėlio frakcija čia kinta nuo 6,80 iki 77,00 %, vidurkis siekia 24,10 %, tad pastebima, kad moreninės nuogulos nėra labai smėlingos. Šios nuogulos yra molingesnės – molio frakcijos kiekis kinta 3,00–54,00 % intervalo ribose (vidurkis 31,06 %), o dulgio frakcija sudaro 16,00–61,00 % grunto dalies (vidurkis 45,37 %) (Angle, 1991; Constantinescu ir Constantinescu, 2011; Edil ir Mickelson, 1995; Fausey ir kt., 2000; Simpkins ir kt., 1987; Storck ir Szabo, 1991; Szabo ir Ryan, 1981; Szabo ir Totten, 1992; Szabo ir kt., 2003; Szabo, 1987; 2006; Totten, 1987).

Bendrai Lietuvoje, Vokietijoje, Lenkijoje ir JAV su vidurinio pleistoceno Žeimenos svitos Medininkų posvite siejamuose moreniniuose gruntuose smėlio frakcijos kiekis kinta 10,00–62,54 % (vidurkis 29,33 %), dulgio – 22,82–58,00 % (vidurkis 43,95 %), molio – 0,85–47,00 % (vidurkis 26,71 %) intervaluose (19 pav.).



19 pav. Granulimetrinės sudėties pasiskirstymas vidurinio pleistoceno Žeimenos svitos Medininkų posvities moreniniuose gruntuose magistro darbe, Lietuvoje, Vokietijoje, Lenkijoje ir JAV.

Lietuvoje atliktuose tyrimuose smėlio frakcija varijuoją 42,36–46,67 % ribose, dulgio – 41,72–43,84 %, molio 11,61–13,80 % (Lekstutytė ir kt., 2019). Šie kiekiai yra panašūs į šiame darbe pateikiamus. Vokietijoje smėlio frakcijos aptikta 59,91 %, dulgio – 39,24 %, o molio vos 0,85 % (Hailemariam ir Wuttke, 2021). Estijoje tirtos moreninės nuogulos pasižymi dideliu smėlio frakcijos

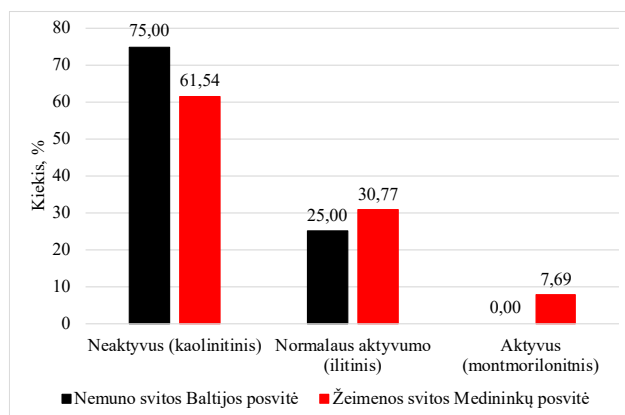
3.5 Gruntu plastiškumas

Galima pastebėti, jog visi grunto bandiniai yra mažo plastiškumo. Vidurinio pleistoceno Žeimenos svitos Medininkų posvitės grunta yra labiau koncentruoti, pasižymi mažesniu takumo drėgniu bei plastiškumo drėgniu, lyginant su viršutinio pleistoceno tirtais gruntais. Vidurinio pleistoceno moreniniai grunta taip pat pasižymi kiek mažesniu gamtiniu drėgniu – jis kinta 7,2–13,9 % intervale (vidurkis 10,3 %), o tuo tarpu viršutinio pleistoceno nuogulų drėgnis kinta nuo 10,6 iki 15,2 % (vidurkis 12,3 %) (2 priedas).

$$A = \frac{I_p}{\text{molio frakcijos kiekis, \%}} \quad (1)$$

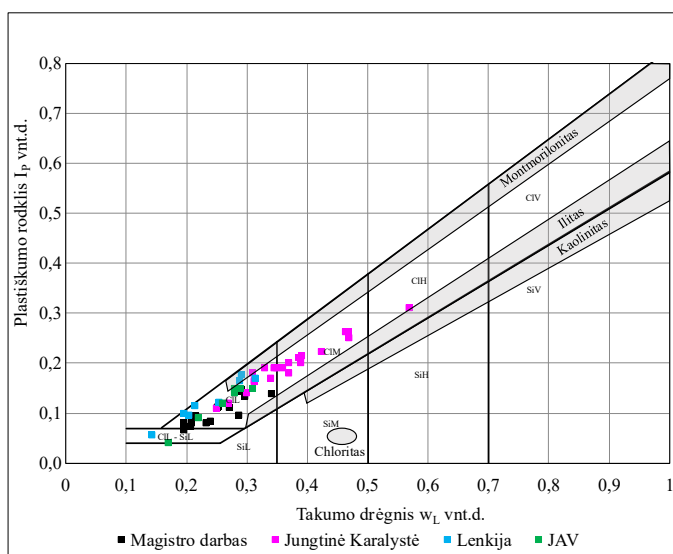
39

Pagal aktyvumą moliai skirstomi į mažai aktyvius ($<0,75$), normalaus aktyvumo ($0,75\text{--}1,25$) bei aktyvius ($>1,25$) (Skempton, 1953). Molio gruntai pagal aktyvumą taip pat gali būti priskiriami tam tikriems molio mineralams. Neaktyvūs moliai dažniausiai laikomi kaolitiniais, normalaus aktyvumo – ilitiniais, o aktyvūs – montmorilonitiniais (Gadeikytė ir Gadeikis, 2013). Šiame darbe analizuojami tiek viršutinio, tiek vidurinio pleistoceno bandiniai daugiausia priskiriami neaktyviems moliams (21 pav.). Apie 25–31 % bandinių priskiriami normalaus aktyvumo moliams ir tik vienas vidurinio pleistoceno bandinys priskiriamas aktyviems moliams. Pagal plastiškumo diagramą (20 pav.) matoma, jog tirtos nuogulos nepatenka į ribas, identifikuojančias molio mineralus.



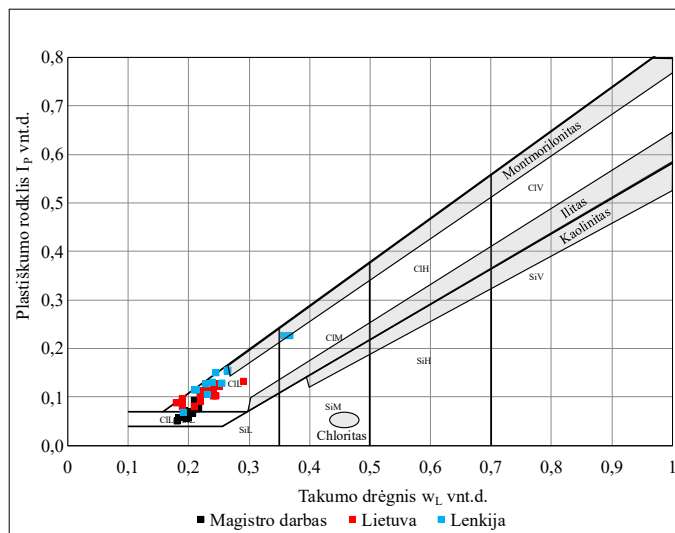
21 pav. Magistro darbo tirtų bandinių aktyvumo pasiskirstymas.

Lyginant šiame darbe gautus rezultatus su pasaulyje atliktais tyrimais, matoma duomenų sklaida. Su viršutinio pleistoceno Nemuno svitos Baltijos posvitės siejamų nuogulų plastiškumo vertės Jungtinėje Karalystėje (Bell, 2002; Clarke ir kt., 2008; 1998; Eyles ir Sladen, 1981; Hashemi ir kt., 2006), Lenkijoje (Barański, 2008, Labak-Mechowska, 2016) bei Jungtinėse Amerikos Valstijose (Edil ir Mickelson, 1995) yra daug plačiau išsibarsčiusios (22 pav.). Nors didelė dalis bandinių patenka į mažo plastiškumo molio, Jungtinėje Karalystėje atliktuose tyrimuose nemažai jų patenka ir į vidutinio plastiškumo ribas, yra ir verčių, patenkančių į didelio plastiškumo molio ribas. Pagal šiuos pasaulyje atliktus tyrimus pastebima, kad kai kurie bandiniai iš Jungtinės Karalystės ir Lenkijos patenka į montmorilonitą bei ilitą identifikuojančias ribas.



22 pav. Viršutinio pleistoceno Nemuno svitos Baltijos posvitės grunto plastiškumo palyginimo tarp magistro darbo, Jungtinės Karalystės, Lenkijos ir JAV tyrimų diagrama.

Didžioji dalis gruntų, asocijuojamų su vidurinio pleistoceno Medininkų posvitės moreniniais gruntais Lietuvoje (Dundulis ir kt., 2008; Lekstutytė, 2024; Lekstutytė ir kt., 2019) ir Lenkijoje (Dundulis ir kt., 2008; Bąkowska ir kt., 2016; Kaczyński ir kt., 2010; Labak-Mechowska, 2016) yra mažo plastiškumo, ir tik keletas bandinių iš Lenkijos patenka į vidutinio plastiškumo ribą (23 pav.). Keli tirtieji mėginiai iš Lenkijos patenka į montmorilonitinius molius žyminčias ribas.



23 pav. Vidurinio pleistoceno Žeimenos svitos Medininkų posvitės grunto plastiškumo palyginimo tarp magistro darbo, Lietuvos ir Lenkijos tyrimų diagrama.

Vidurinio pleistoceno moreniniai gruntai yra labiau koncentruoti, daugiau bandinių yra mažo plastiškumo (23 pav.), o viršutinio pleistoceno bandiniai yra kiek labiau išbarstyti (22 pav.). Panaši tendencija nustatyta ir šiame darbe (20 pav.).

4. REZULTATŲ INTERPRETACIJA

4.1 Mineraloginė sudėtis

Tyrimų metu gauti rezultatai rodo, jog tiek viršutinio tiek vidurinio pleistoceno tirti bandiniai pasižymi vienoda mineralogine sudėtimi (9, 10, 11 ir 12 pav.). Gali būti skirtumų tarp mineralų kiekių, kurie nenustatyti, bei esamų molio mineralų, tačiau šiame darbe šie mineralai nebuvo tikslinami. Esminis skirtumas tarp tiriamųjų bandinių yra tas, jog visi išskyrus vieną vidurinio pleistoceno Žeimenos svitos Medininkų posvitės bandiniai sudėtyje turi karbonatinių mineralų – dolomito ir kalcito (10 pav.), o viršutinio pleistoceno nuogulų bandiniuose šie mineralai aptinkami kiek rečiau (9 pav.). Ši tendencija yra stebima ir kituose tyrimuose. Pastebėta, kad dolomito kiekis gali būti indikatorius skirtingo amžiaus gruntams – nustatyta, jog vidurinio pleistoceno nuogulose šio mineralo kiekis kinta 3,2–14,0 % intervale, kai tuo tarpu viršutinio pleistoceno gruntuose jis siekia vos 0,8–2,8 % (Lekstutytė, 2024). Pagal dolomito ir kalcito santykį Lietuvos moreniniuose gruntuose taip pat pastebima, kad Medininkų posvitės moreninės nuogulos yra dolomitingesnės (Rudnickaitė, 2016). Aptinkama, jog Žeimenos svitos nuogulose gargždo, sudaryto iš dolomito, lyginant su kitomis nuosėdinėmis uolienomis santykis yra 1,19, tuo tarpu Nemuno svitos nuogulose jis siekia 0,66–0,91 (Satkūnas ir Bitinas, 1995). Didesni kiekiai karbonatinių uolienų nuogulose gali lemti ir pačių nuogulų didesnę karbonatingumą. Kadangi vidurinis pleistocenas buvo anksčiau nei viršutinis, o tuo metu ledynas slinko per paviršiuje slūgsojusias devono karbonatines uolienas, moreninėse nuogulose aptinkama daug devono dolomito ir kristalinių uolienų nuolaužų (Kavoliutė, 2012), tad tai galėjo lemti, kad Medininkų posvitės nuogulose aptinkama daugiau karbonatinių mineralų. Kalcio karbonato mineralų kiekiui įtakos turi ir nuogulų dūlėjimas – kuo jos labiau sudūlėjusios, tuo mažesni kiekiai karbonatų bei mažiau atsparių mineralų yra aptinkama (Reutt ir kt., 2024). Taip pat svarbu yra požeminio vandens gylis, vandens cheminė sudėtis bei kritulių ir kito paviršinio vandens infiltracija į gruntą, kadangi jis gali išplauti karbonatines medžiagas (Krklec ir kt., 2015). Medininkų posvitės nuogulos turėtų būti labiau paveiktos dūlėjimo, ir išplovimo, kadangi jos yra kur kas ilgesnį laiką atidengtos paviršiuje ir veikiamos aplinkos veiksnių, tačiau stebima, jog vis dėlto karbonatinių mineralų čia aptinkama daugiau. Tai gali būti lemiamas ir to, kad dūlėjimas ir vandens poveikis labiau pastebimas vertikalia kryptimi. Šių tyrimų metu didžioji dalis Žeimenos svitos bandinių tyrinėti iš didesnio nei 7 metrų gylio, kur nuogulos yra mažiau paveikiamos aplinkos, tuo tarpu Nemuno svitos bandiniai vyrauja iš mažesnio nei 4 metrų gylio (2 lentelė). Vertikali kaita pastebima ir aikštelėse, kuriose buvo atlikti tyrimai keletui bandinių iš skirtingų gylių. Bandinyje Nr. 29, kuris yra iš 1,2–1,5 m gylio, kalcitas ir dolomitas nebuvo aptiktas, tuo tarpu bandiniuose Nr. 6, 7, 17, 22, 28 esančiuose iš giliau, šie mineralai buvo aptikti (10 pav.) ir tai gali būti lemiamas išplovimo bei dūlėjimo.

Kitų, didesnių skirtumų tarp tiriamų bandinių mineraloginių sudėčių nepastebėta, kadangi išskirti vienodi mineralai, o jų kiekiai nenustatyti. Skirtumai tarp molio mineralų nepastebimi, kadangi jie nebuvo patikslinti.

Lyginant šį tiriamąjį darbą su pasauliniais tyrimais iš Lietuvos, Estijos, Lenkijos, Jungtinės Karalystės, Farerų salų, Danijos, Suomijos, Nyderlandų, Kanados bei JAV taip pat matoma, jos šios nuogulos yra nevienalytės (11 ir 12 pav.). Nors nemaža dalis šiame darbe nustatytų mineralų yra aptinkami ir kaip pagrindiniai mineralai (ilitas, kvarcas, kalcitas, dolomitas, feldšpatai, albitas) kitose šalyse, pastebima, jog svetur gali būti aptinkama ir daug kitokių mineralų (kaolinitas, chloritas, smektitas, žėručiai, amfibolai ir kt.) (11 ir 12 pav.). Mineraloginę nuogulų sudėtį lemia paviršiuje slūgsančios uolienos bei gruntai, per kuriuos ledynas slenka, klimato sąlygos, suklostymo būdas,

aplinkos sąlygos, iš kur ir koku atstumu ledynas slinko (Akselsson ir kt., 2006; Thorpe ir kt., 2019). Tai lemia didelę bandinių sklaidą visame pasaulyje.

4.2 Cheminė sudėtis

Ištirti vidurinio bei viršutinio pleistoceno smulkūs moreniniai gruntai pasižymi skirtingais cheminių elementų kiekiais smulkiojoje frakcijoje (4 lentelė). Tai gali būti lemiamą daugybės priežasčių, tokių kaip ledynų slinkimo kryptys, atstumai, slūgsančios pagrindo uolienos ir pirminė medžiaga, iš kurios nuogulos susiformuoja. Taip pat įvairūs antriniai procesai, tokie kaip dūlėjimas ar vandens veikla (Bergman (red.), 2018). Dėl šių priežasčių net ir tos paties šalies teritorijose dažnai pastebimi skirtingi rezultatai, kurie gali skirtis ir dešimtimis kartų. Dažnu atveju moreninių nuogulų cheminės sudėties tyrimai atliekami ieškant naudingųjų iškasenų telkinių (Casey ir kt., 2024; Ferbey ir kt., 2009; Hashmi ir kt., 2015; McClenaghan ir DiLabio, 1993; Sarala ir Ojala, 2008). Dėnustatytos vertės būna stipriai išsiskiriančios, lyginant su aplinkinių teritorijų cheminių elementų kiekiais, o tai lemia didelę duomenų variaciją, dėl kurios duomenų lyginimas daugeliu atveju neteisingas.

Vario kiekis tirtuose gruntuose skiriasi ganėtinai nedaug – viršutinio pleistoceno nuogulose esančio vario kiekio vidurkis (29 ppm) yra 4,8 ppm didesnis nei vidurinio pleistoceno nuogulose (24 ppm) (4 lentelė). Įvertinus galimas paklaidas (3 priedas), galima teigti, jog rezultatai yra nesiskiriantys, vertinant Lietuvos mastu. Šie aptinkami vario kiekiai Lietuvoje yra mažesni, lyginant su kiekiais, aptinkamais kai kuriuose tyrimuose kitose šalyse (Suomijoje, Danijoje, Kanadoje, JAV) (5 ir 6 lentelės; 14(a) ir 15(a) pav.), kur vario kiekio padidėjimą lemia slūgsančios pagrindo uolienos, jas sudarantys mineralai, hidroterminis poveikis (Sarala ir Rossi, 2000). Šių tyrimų metu moreninių nuogulų smulkioje frakcijoje neaptikta tokių mineralų kaip piritas, chalkopiritas, kurie asocijuojami su vario kiekio padidėjimu nuogulose (Hashmi ir kt., 2015). Varis yra siejamas su feldšpatais, kurie aptikti bandiniuose, taip pat yra gerai sorbuojamas molio mineraluose (Kadūnas ir kt., 1999), o viršutinio pleistoceno nuogulos pasižymi didesniu molingumu (17 pav; 1 priedas), tad tai galėtų būti viena iš priežasčių dėl šiek tiek didesnio šio elemento kiekio šiose nuogulose. Jis taip pat yra siejamas su organine medžiaga (Angelaki ir kt., 2022), kuri tirtuose bandiniuose nebuvo nustatinėjama. Teigiama, kad natūraliai gruntuose dėl uolienų iš kurių jie susidarė, įprastai aptinkama 2–100 ppm vario (Onyegbule ir kt., 2010). Tai reiškia, kad šiame darbe aptiktas vario kiekis gali būti natūraliai susiformavęs uolienų dūlėjimo metu ir šie nedideli skirtumai tarp skirtingu metu susiklosčiusių glacialinių nuogulų gali būti lemiami ir pirminės nuogulų medžiagos. Pagal Lietuvos geocheminiame atlase (Kadūnas ir kt., 1999) pateikiamą informaciją iš dirvožemio, esančio A horizonte (paviršiniame 10 cm storio sluoksnyje), sudarytame iš Šiaurės, Vidurio ir Pietų Lietuvos fazių dugninės morenos smėlingo molio (priemolio-molio), vario kiekis siekia 9,4–11,6 ppm, o iš Medininkų ledyno glacigeninių nuosėdų – 8,6 ppm. Tad šių tyrimų metu gauti rezultatai (4 lentelė) lyginant su vario kiekiu skirtingos dirvodarinių uolienų genezės dirvožemyje yra didesni apie 2,5 karto. Viena iš svarbiausių šio skirtumo priežasčių gali būti taikyti skirtingi cheminių elementų metodai. Šiame darbe cheminiai elementai nustatinėti taikant atominės absorbcijos spektrometriją, tuo tarpu Lietuvos geochemijos atlase kiekiai nustatyti taikant elektros lanko optinę emisinę spektrometriją (DC Arc ES), o šių skirtingų analitinių metodų taikymas gali nulemti ir didesnius skirtumus tarp duomenų. Kita svarbi priežastis, dėl kurios stebimi dideli skirtumai yra ta, jog A horizonte kaupiasi organinė medžiaga, maistinės medžiagos, jis labiausiai veikiamas aplinkos poveikio, tad yra nekorektiška lyginti šio magistro darbo duomenų su šiais dirvožemiais.

Medininkų posvitės nuogulose aptinkamas 1,5 karto didesnis švino kiekis (vidurkis 43 ppm), lyginant su Baltijos svitos nuogulomis (vidurkis 29 ppm) (4 lentelė). Aptikti švino kiekiai yra didesni,

lyginant su daugeliu kitų atliktų tyrimų Švedijoje, Suomijoje, Kanadoje, JAV (5 ir 6 lentelės; 14(b) ir 15(b) pav.), tačiau šis kiekis nėra labai išsiskiriantis. Natūraliai susiformavusiuose gruntuose bei dirvožemyje, kurie nėra paveikti taršos ir jų sudėtį lemia pirminės medžiagos geologija, uolienų dūlėjimas, erozija, transportavimas (Zhang ir kt., 2024), foninės vertės siekia 10–50 ppm, o didesni kiekiai gali indikuoti taršą (Brewer ir kt., 2024). Šiame tyrime didžioji dalis nustatytų verčių patenka į šias ribas, tad tai gali reikšti, jog gruntuose esantis švino kiekis gali būti susiformavęs natūraliai dėl pirminių uolienų, mineralų sudėties. Kai kuriuose Medininkų posvitės nuogulų bandiniuose viršijamos šios ribos – švinas siekia iki 62 ppm (4 lentelė), tačiau tai siejama su nuogulų mineralogine sudėtimi. Šis elementas sutinkamas įvairiuose mineraluose, tačiau didžiausi švino kiekiai siejami su galenito, cerusito, anglezito mineralų buvimu (Isenor, 2000; Jelecevic ir kt., 2019), kurių šių tyrimų metu nebuvo aptikta smulkiojoje frakcijoje, tačiau aptikti feldšpatai, kuriuose taip pat dažnai sutinkamas švinas (Qian ir kt., 2003). Švinas gerai adsorbuojamas karbonatuose ir molio mineraluose (Kadūnas ir kt., 1999), o tirtuose bandiniuose aptikti karbonatiniai mineralai bei tirta molio frakcija, kurioje gausu molio mineralų. Tai gali lemti didesnius kiekius lyginant su kitais tyrimais, kuriuose karbonatiniai mineralai neaptikti, arba tyrimai atlikti ne tik iš molio bet ir dulkių frakcijos, kas lemia mažesnę molio mineralų, o tuo tarpu ir švino, kiekį.

Vidurinio pleistoceno nuogulos pasižymi ir didesniu cinko kiekiu – vidurkis siekia 310 ppm, tuo tarpu viršutinio pleistoceno nuogulų smulkiosios frakcijos cinko kiekio vidurkis siekia 218 ppm (4 lentelė). Natūralių neužterštų ir netręštų gruntų ir dirvožemio cinko kiekis varijuoja 10–300 ppm ribose (vidurkis apie 50–55 ppm) (Noulas ir kt., 2018), pagal kitus tyrėjus teigiama, kad natūralios vertės siekia 10–100 ppm (Mertens ir Smolders, 2012). Pagal tai matoma, kad šio tyrimo vertės yra išsiskiriančios didesniu cinko kiekiu, lyginant su foninėmis natūraliomis vertėmis, kurios lemiamos tik geologinės praeities. Nustatytas cinko kiekis yra didesnis lyginant su kitais tyrimais Suomijoje, Švedijoje, Danijoje, Kanadoje, JAV ir ypač didelis skirtumas yra pastebimas su kitais Lietuvoje atliktais tyrimais (5 ir 6 lentelės; 14(c) ir 15(c) pav.). Įprastai cinko kiekis Lietuvos dirvožemiuose, susidariusiuose virš moreninių nuogulų, yra nedidelis ir siekia iki 32,5 ppm (Kadūnas ir kt., 1999), tad šių tyrimų moreninėse nuogulose išskirtas kiekis vietomis yra iki 10 kartų didesnis. Šis metalas yra intensyviai adsorbuojamas molio mineraluose (Umoren ir James, 2023), tačiau net tai, jog tirta molio frakcija, nepaaiškina taip stipriai išsiskiriančių verčių. Tyrimuose atliktuose Lietuvoje, kur tirta bendra natūralaus grunto masė, pastebima, jog cinko kiekis siekia 40–82 ppm (Lekstutytė, 2024), kas yra beveik 6 kartus mažiau nei nustatyta šiame darbe. Šis elementas taip pat yra siejamas su technogenine tarša, ypač su metalo pramone, iš kurios bandiniai gali būti užteršiami dideliais metalų kiekiais (Van ir kt., 2024), tačiau šie bandiniai surinkti vietose, kur tokia pramonė nevystoma, o be to moreninėse nuogulose filtracija su vandeniu yra labai ribota, jog galėtų tarša pasiekti tiriamus gylius. Šio darbo bandinių paruošimo metu, po centrifugavimo atsiskyrusi molio frakcija buvo atskirta metaline mentele, kurios paviršius galėjo būti cinkuotas. Ši netinkamai parinkta mėginių paruošimo technologija galėjo nulemti tai, jog visi bandiniai tikėtina buvo užteršti, todėl šio darbo cinko kiekių nereikėtų vertinti atliekant lyginamąją analizę.

Stroncio kiekis yra vidutiniškai didesnis Medininkų posvitės nuogulose, nors šis skirtumas nėra didelis – Medininkų posvitės nuogulose šio elemento vidurkis yra 49 ppm, tuo tarpu Baltijos posvitės nuogulose – 41 ppm (4 lentelė). Įvertinant tai, jog kai kuriose vietose pakartojant bandymus nustatytos paklaidos siekia iki 4,9 ppm (3 priedas), galima teigti, jog didžiojoje dalyje tiriamųjų vietovių stroncio kiekis yra panašus, su tam tikromis išskirtimis centrinėje Lietuvos dalyje, kur nustatyti nedideli stroncio kiekiai (4,3–12 ppm). Lyginant su pasaulyje atliktais tyrimais pastebima, jog abiejų ledynmečių metu suklestėjusios moreninės nuogulos šiame darbe pasižymi mažesniu stroncio kiekiu lyginant su Danijos, Kanados bei kitų Lietuvos tyrimų nuogulomis (5 ir 6 lentelės; 14(d) ir

15(d) pav.). Tačiau stroncio kiekis čia didesnis lyginant su Suomijos ir Švedijos gruntais. Jis sorbuojamas molio mineraluose ir dažnu atveju yra susijęs su nuogulų karbonatingumu (Kadūnas ir kt., 1999). Stroncis yra neretai įtraukiamas į kalcito sudėtį vietoje kalcio, kadangi stroncio ir kalcio jonų spinduliai ir krūviai yra panašūs (Hodkin ir kt., 2018), o dolomito mineraluose jis gali pakeisti ne tik kalcį, bet ir magnį (Sánchez-Román ir kt., 2011). Kadangi Medininkų posvitės nuogulos karbonatingesnės (Baltrūnas, 1995; Rudnickaitė, 2016; 9 ir 10 pav.), tai gali lemti kiek didesnę šio elemento kiekį jose. Pagal kalcio bei magnio santykį su stronciu (13(a, b) pav.) pastebima, kad tarp jų yra atitinkamai vidutinio stiprumo-stipri bei stipri tiesinė priklausomybė, kurią patvirtina ir paskaičiuota p -reikšmė ($<0,001$, kai $\alpha = 0,05$) (8 lentelė), rodanti jog šie santykiai yra statistiškai reikšmingi, pagal ką galima manyti, jog didžioji dalis stroncio mėginiuose yra karbonatiniuose mineraluose. Medininkų posvitės nuogulose taip pat pastebima stipri ir vidutinė koreliaciją tarp stroncio atitinkamai su variu ir švinu (13 pav.), o stroncio santykis su variu rodo ir statistinį reikšmingumą (p siekia $<0,001$) (8 lentelė). Nors šios koreliacijos Baltijos posvitės nuogulose yra labai silpnos, visgi galima manyti, kad šie santykiai gali būti susiję su stroncio, vario ir švino adsorbavimu ant molio mineralų paviršiaus bei jų įtraukimu į karbonatinius mineralus (Armienta ir kt., 2012; Pakzad ir kt., 2016). Be to, jis gali būti ir feldšpatų sudėtyje (Lerouge ir kt., 2010), kurie buvo aptikti darbe. Lietuvos dirvožemiuose, esančiuose virš moreninių smėlingų molių (priemolių-molių) stroncio kiekiai pastebimi didesni – iki 91 ppm (Kadūnas ir kt., 1999). Didžioji dalis stroncio kaupiasi viršutiniame dirvožemio sluoksnyje po velėna dėl didelio humuso kiekio, didelės katijonų absorbcijos gebos ir neaktyvių junginių susidarymo su dirvožemio organinėmis medžiagomis (Dubchak, 2018). Stroncio jonai yra ganėtinai stipriai adsorbuojami sluoksniniuose silikatuose ir organinėje medžiagoje dirvožemyje (Capo ir kt., 1998), todėl jo kiekis gali būti didesnis Lietuvos dirvožemiuose, susidariusiuose virš moreninių gruntų, nei pačiose moreninėse nuogulose, tad šis lyginimas yra nekorektiškas. Taip pat skirtumas tarp magistro darbo bandinių ir dirvožemių iš Lietuvos geochemijos atlaso gali būti asocijuojamas su skirtingos metodikos – AAS ir DC Arc ES taikymu bei tirtų bandinių gyliais, nustatinėjant šio elemento kiekius.

Kalcio bei magnio kiekiai daugiausia priklauso nuo nuogulose esančių karbonatinių mineralų (Jurković ir kt., 2018). Analizuojant rentgeno spindulių difrakcijos metodu gautas difraktogramas (9 ir 10 pav.) matoma, jog beveik visi Medininkų posvitės grunta sudėtyje turi dolomito ir kalcito mineralų, tuo tarpu šie mineralai aptinkami ne visuose Baltijos posvitės bandiniuose. Tai atspindi ir cheminėse analizėse (4 lentelė) – kalcio ir magnio kiekis vidurinio pleistoceno nuogulose siekia atitinkamai 4,92–6,90 % ir 1,59–2,10 %, o viršutinio pleistoceno nuogulose atitinkamai 0,22–6,08 % ir 0,66–2,39 %, tad Žeimenos svitos bandiniai turi didesnius magnio ir kalcio kiekius, lyginant su Nemuno svitos nuogulomis. Ši prielaida grindžiama ir lyginant XRD bei AAS metodais gautus duomenis. Bandinyje Nr. 27, priklausančiam viršutiniam pleistocenui, kalcio ir magnio kiekiai kinta atitinkamai 0,22–0,25 % ir 0,69–0,73 % ribose (4 lentelė), šie rezultatai ženkliai skiriasi nuo kitų bandinių. Pagal rentgeno spindulių difrakcijos rezultatus (9 pav.) matoma, jog šiame bandinyje kalcito ir dolomito mineralų nėra. Tad karbonatiniai mineralai yra esminis dalykas, lemiantis kalcio ir magnio kiekių skirtumus, ir tai dar kartą įrodo, jog vidurinio pleistoceno nuogulos yra karbonatingesnės. Nors pagal nustatytus kalcio ir magnio kiekius (4 lentelė) galima manyti, jog karbonatinių mineralų abiejų ledynmečių metu suklostytų nuogulų molio frakcijoje nėra daug. Pabrėžtina, kad skirtingų posvičių nuogulose Ca kiekis ($p = 0,004$) yra statistiškai reikšmingesnis nei magnio ($p = 0,170$) (7 lentelė). Apie tai, kad kalcio yra aptinkama daugiau vidurinio pleistoceno nuogulose, ir jog jis siejamas su didesniu karbonatingumu, pastebima ir kituose Lietuvos tyrimuose (Lekstutytė, 2024), kuriuose kalcio ir magnio vertės, nustatytos Medininkų posvitės nuogulose (15(e, f) pav.), atitinka šių tyrimų metu gautas vertes. Kalcis ir magnis, įeinantys į karbonatinių mineralų

sudėtį, gali būti išplaunami dėl kritulių bei intensyvaus nuotėkio (Rudnickaitė ir kt., 2015), todėl dabartiniai rezultatai gali būti kitokie, nei nuogulų susiformavimo metu. Lyginant gautus rezultatus su tyrimais, atliktais Suomijoje, Švedijoje ir Kanadoje (5 ir 6 lentelės; 14(e, f) pav.), pastebima, kad šiame darbe yra ženkliai didesnės šių cheminių elementų vertės, tačiau kadangi šiose valstybėse atliktuose tyrimuose nenustatinėta mineraloginė sudėtis, nėra galima įvertinti šiuos skirtumus lemiančių priežasčių.

4.3 Granuliometrinė sudėtis

Atlikus tiriamų gruntų granuliometrinės sudėties analizę pastebima, jog vidurinio pleistoceno nuogulos yra apie 11 procentų smėlingesnės nei viršutinio pleistoceno (17 pav.; 1 priedas). Tai pastebima ir kituose tyrimuose, atliktuose Lietuvoje (Baltrūnas (red.), 2004). Nors dažniausiai yra teigiama, jog granuliometrinė sudėtis labiausiai kinta dėl nuogulų suklostymo būdo (Wang ir kt., 2023), šiame tyrime nepastebima pokyčių tendencija vertinant skirtumus tarp pagrindinės morenos ir kraštinių darinių nuogulų. Kuomet vyko vidurinio pleistoceno apledėjimai, didžioji dalis paviršiaus, per kurį slinko ledynas, buvo sudaryta iš uolienų (Baltrūnas ir kt., 2014), kurias ledynas slinkdamas kartu taip pat ir egzaro ir pernešė, mineralai buvo atsparesni dūlėjimui, dėl šios priežasties galima manyti, jog dėl to nuogulos yra smėlingesnės. Tuo tarpu Nemuno svitos Baltijos posvitės nuogulos buvo suklostytos paskutiniojo apledėjimo metu, kuomet paviršius, per kurį slinko ledynas, ir pirminiai pernešamos medžiagos šaltiniai daugiausia buvo anksčiau suklostyti gruntai (Kavoliutė, 2012), kuriuos slenkantis ledynas dar labiau trupino, smulkino, todėl gruntai yra smulkesni, aptinkamas didesnis kiekis molio frakcijos (1 priedas).

Moreniniai gruntai turi didžiausią frakcijų pasiskirstymo sklaidą (Clarke, 2018) ir yra sudėtinga rasti koreliaciją, lyginant duomenis pasauliniu mastu. Lyginant šiame darbe gautus rezultatus su nustatytais pasaulyje tiek iš vidurinio (19 pav.), tiek iš viršutinio (18 pav.) pleistoceno nuogulų pastebima, jog svetur aptinkami mažiau smėlingi bei labiau molingi gruntai. Tačiau kiekvienoje šalyje atsispindi vis kitoks grunto frakcijų kiekis (18 ir 19 pav.), pagrinde susijęs su pirminėmis uolienomis, transportavimu, atstumu, kurį nuslinko ledynas (Bell, 2002), taip pat su klimato sąlygomis, dūlėjimu. Pavyzdžiui Suomijoje, Norvegijoje, Švedijoje moreninės nuogulos yra smėlingos, tuo tarpu Danijoje šios nuogulos yra daug molingesnės, mažai smėlingos, ir tai labiausiai yra lemiamas pirminės medžiagos, iš kurios šios nuogulos susiformuoja (Vorren, 1977). Kitur pasaulyje svarbiau yra atstumas, kurį ledynas nuslinko, per tą laiką vis labiau susmulkindamas medžiagą. Tačiau pastebima, kad net toje pačioje valstybėje (pavyzdžiui Kanadoje, JAV) skirtingose vietose atlikti tyrimai rodo skirtingas granuliometrinės sudėties pasiskirstymo tendencijas (18 ir 19 pav.).

4.4 Gruntų plastiškumas

Pagal Skemptono aktyvumo rodiklį didžiausia dalis tiriamųjų bandinių priskiriama neaktyviems (kaolinitiniams) moliams, mažiau – normalaus aktyvumo (ilitiniams) moliams (20 pav.). Tiriamuose mėginiuose molio frakcija sudaro tik nedidelę dalį – ji užima 3,54–24,70 % (vidurkis 12,88 %) (17 pav.; 1 priedas), tuo tarpu yra teigiama, jog šis rodiklis patikimesnis molio gruntams, kuriuose molio frakcijos kiekis yra didesnis ir sudaro bent 15 % (Özdemir ir Gülser, 2017). Tai gali būti lemiamas ne tik nedidelio molio frakcijos kiekio, bet ir to, jog moreninių nuogulų smulkioji frakcija sudaryta iš įvairių mineralų – didelę dalį gali sudaryti ne molio mineralai, o ir molio mineralai bandiniuose yra keletu rūšių (9 ir 10 pav.). Esant nedideliui molio frakcijos kiekiui bei pasitaikant

ne tik molio mineralams, kurie pasižymi kitokia elgsena, molių aktyvumas yra netiesinis ir pateiktas skaičiavimas gali būti neteisingas (Polidori, 2007). Pagal plastiškumo diagramą (20 pav.) bandiniai nepatenka į ribas, kurios identifikuotų molio mineralus. Todėl moreniniams gruntams šie metodai negali būti esminiai, nustatant jų mineraloginę sudėtį.

Visi šiame darbe tirti bandiniai pagal Aterbergo plastiškumo ribas yra mažo plastiškumo (20 pav.). Kadangi moreniniai gruntai Lietuvoje yra smėlingi, vyrauja mažo plastiškumo moreniniai gruntai (Lekstutytė ir kt., 2024), nepriklausomai nuo nuogulų suklostymo amžiaus. Plastiškumo ribos priklauso nuo gamtinio drėgnio, granulimetrinės sudėties – ypač molio frakcijos kiekio, ir smulkiosios frakcijos savybių (Bell, 2002). Kuo didesnis yra molio frakcijos kiekis, tuo didesnis yra plastiškumo bei takumo drėgnis, plastiškumo rodiklis (Constantinescu ir Constantinescu, 2011). Medininkų posvitės nuogulos pasižymi mažesniu plastiškumo bei takumo drėgniu, plastiškumo rodikliu, lyginant su Baltijos posvitės nuogulomis (2 priedas). Tai koreliuoja ir su tuo, jog šios nuogulos pasižymi mažesniu gamtiniu drėgniu bei molio frakcijos kiekiu.

Atliktuose tyrimuose Lenkijoje, JAV, Jungtinėje Karalystėje įprastai taip pat stebima, jog moreniniai gruntai dažniausiai yra mažo plastiškumo, tai remiamasi mažu gamtiniu drėgniu bei molio frakcijos kiekiu. Vidurinio pleistoceno nuogulos (23 pav.) ypač dažnai priskiriamos mažo plastiškumo moliams, tuo tarpu viršutinio pleistoceno gruntai (22 pav.) pasižymi didesne rezultatų sklaida – nors didžioji dalis jų yra priskiriami mažo plastiškumo gruntams, pasitaiko ir nemažai ir vidutinio plastiškumo nuogulų.

IŠVADOS

1. Viršutinio pleistoceno Nemuno svitos Baltijos posvitės ir vidurinio pleistoceno Žeimenos svitos Medininkų posvitės moreninių gruntų smulkiąją frakciją sudaro molio mineralai, iš kurių išskirtas ilitas, kvarcas, kalcitas, dolomitas, albitas bei feldšpatai. Vidurinio pleistoceno grunta pasižymi didesniu karbonatinių mineralų – kalcito ir dolomito aptikimo dažniu, kurį lemia ledynas, tuo metu slinkęs per paviršiuje slūgsojusias devono uolienas.

2. Baltijos posvitės nuogulos turi daugiau vario (1,2 karto), kuris gerai sorbuojamas molio mineraluose, o šios posvitės nuogulos būtent ir pasižymi didesniu molingumu (1,6 karto). Medininkų posvitės nuogulose nustatyta daugiau švino (1,5 karto), stroncio (1,2 karto), kalcio (1,8 karto) ir magnio (1,2 karto), siejamų su pirminėmis nuogulomis ir karbonatingumu. Tik kalcio kiekis yra statistiškai reikšmingesnis ($p = 0,004$) lyginant skirtingų posvičių nuogulas.

3. Įvertinus statistinės analizės rezultatus nustatyta, kad yra stipri stroncio ir kalcio koreliacija Baltijos posvitės nuogulose ($R = 0,89$) ir vidutinė Medininkų posvitės nuogulose ($R = 0,61$), taip pat stipri stroncio ir magnio priklausomybė (atitinkamai $R = 0,80$ ir $-0,73$). Tai rodo, kad stroncis daugiausia susijęs su karbonatiniais mineralais.

4. Tiriamieji viršutinio pleistoceno grunta daugiausia priskiriami smėlingam mažo plastiškumo moliui, tuo tarpu vidurinio pleistoceno vyraujantis gruntas yra smėlingas mažo plastiškumo molis ir dulkis. Vidurinio pleistoceno nuogulos pasižymi apie 1,3 karto didesniu smėlingumu (vidurkis 51,76 %), kuris lemiamas ledyno slinkimo metu paviršiuje vyravusių uolienų ir pirminės nuogulų medžiagos.

5. Tyrime nagrinėtų skirtingų posvičių nuogulų analizė parodė, kad moreninės nuogulos skirtingose šalyse yra nevienalytės. Pirminė moreninių nuogulų medžiaga, geologinės ir hidrogeologinės sąlygos, pagrindo uolienos, ledyno slinkimo kryptys, dūlėjimo intensyvumas bei skirtingų tyrimų metodikų ypatumai lemia labai didelę šių nuogulų cheminės ir mineraloginės sudėties bei fizikinių savybių kaitą visame pasaulyje. Dėl minėtų priežasčių moreninių nuogulų lyginimas pasauliniu mastu yra komplikotas.

REKOMENDACIJOS

Glacialinių nuogulų fizikinės savybės bei mineraloginė ir cheminė sudėtis yra labai kaičios tiek lokaliu, tiek globaliu mastu. Tai yra lemiamą pirminio nuogulų šaltinio, transportavimo atstumo ir būdo, kuriuo nuogulos yra perneštos, nuogulų dūlėjimo, klimato sąlygų, vandens veiklos. Dėl šių įvairių priežasčių šios nuogulos ir jų tyrimai yra labai kompleksiški. Dėl patikimų rezultatų ir detalesnio lyginimo su pasauline literatūra yra rekomenduojama atlikti detalesnius šių nuogulų tyrimus, kuriuose būtų sistemiškai pasirenkamos tyrimų vietos, atsižvelgiant į vietovių reljefą, hidrogeologines sąlygas, nuogulų klostymosi istoriją. Naudinga tyrimų vietas išdėstyti tinklu, kuriuo būtų galima atsekti sudėties keitimosi kelią ir galimas sekas, kuriomis būtų galima lengviau identifikuoti galimas gaunamų rezultatų priežastis. Tyrimų bandiniai turėtų būti parenkami atsižvelgiant į gruntinio vandens lygį ir bandinio gylį nuo žemės paviršiaus.

Gautų cheminės sudėties tyrimų rezultatų tikslumui yra tikslinga atlikti daugiau bandinių analizių, kadangi tyrimai atlikti tik su trimis bandiniais iš Žeimenos svitos Medininkų posvitės nuogulų ir šešiais bandiniais iš Nemuno svitos Baltijos posvitės nuogulų. Tai padėtų patikslinti gaunamus rezultatus ir išskirti ryškesnius skirtumus tarp šių skirtingų nuogulų. Tikslinga būtų atlikti detalesnius tyrimus aplinkinėse vietovėse, išsiaiškinant, ar tiriamos vietovės yra veikiamos technogeninės taršos – atlikti detalią analizę apie tai, ar laukai yra tręšiami ir kokiomis medžiagomis, kokias medžiagas išskiria aplink tirtas vietas veikiančios pramonės įmonės, kadangi ir gruntų, ir požeminio vandens tarša gali turėti įtakos gruntų cheminiai sudėčiai, kuomet tiriami bandiniai, esantys arti žemės paviršiaus. Rekomenduojama atlikti daugiau cheminės sudėties tyrimų, įtraukiant daugiau tiriamų cheminių elementų, bei atlikti analizes keletu skirtingų analitinių metodų, jog būtų įvertinta nustatymo paklaida.

Siekiant įvertinti mineraloginę gruntų sudėtį bei patikslinti nuogulas sudarančius molio mineralus yra tikslinga atlikti daugiau tyrimų, papildomai sudėties nustatymą atliekant ne tik natūraliems bandiniams, tačiau ir paveiktiems etilenglikoliu bei kaitinimu. Kadangi įvairios nuogulų frakcijos pasižymi skirtingais mineralais bei jų kiekiais, tikslinga atlikti ne tik molio, bet ir kitų frakcijų mineralų identifikavimo tyrimus, atliekant ne tik kokybinę, bet ir kiekybinę analizę, jog būtų atliekamas tikslus rezultatų palyginimas.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

- Akayuli, C., Ofosu, B., Nyako, S. O., ir Opuni, K. O. (2013). The influence of observed clay content on shear strength and compressibility of residual sandy soils. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 3(4), 2538–2542.
- Akselsson, C., Holmqvist, J., Kurz, D., ir Sverdrup, H. (2006). Relations between elemental content in till, mineralogy of till and bedrock mineralogy in the province of Småland, southern Sweden. *Geoderma*, 136(3–4), 643–659. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2006.05.001>
- Al-Ani, T., Sarapää, O., Kärkkäinen, N., Sarala, P., Valkama, J., ir Hakala, P. (2008). *Mineralogy and geochemistry of till and weathered bedrock of some gold occurrences in the central Lapland and Pirkanmaa, Finland*. Geological Survey of Finland.
- Ali, A., Chiang, Y. W., ir Santos, R. M. (2022). X-ray diffraction techniques for mineral characterization: A review for engineers of the fundamentals, applications, and research directions. *Minerals*, 12(2), 205. <https://doi.org/10.3390/min12020205>
- Al-Shayea, N. A. (2001). The combined effect of clay and moisture content on the behavior of remolded unsaturated soils. *Engineering Geology*, 62(4), 319–342. [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(01\)00032-1](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(01)00032-1)
- Ameratunga, J., Sivakugan, N., ir Das, B. N. (2016). *Correlations of soil and rock properties in geotechnical engineering. Developments in Geotechnical Engineering*. Springer India. <https://doi.org/10.1007/978-81-322-2629-1>
- Angelaki, A., Dionysidis, A., Sihag, P., Golia, E. E. (2022). Assessment of contamination management caused by copper and zinc cations leaching and their impact on the hydraulic properties of a sandy and a loamy clay soil. *Land*, 11(2), 290. <https://doi.org/10.3390/land11020290>
- Angle, M. P. (1991). Evolution of till stratigraphy in Union County, Ohio. *The Ohio Journal of Science*, 91(1), 83–89.
- Armienta, M. A., Villaseñor, G., Cruz, O., Cenicerros, N., Aguayo, A., Morton, O. (2012). Geochemical processes and mobilization of toxic metals and metalloids in an As-rich base metal waste pile in Zimapán, Central Mexico. *Applied Geochemistry*, 27(11), 2225–2237. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2012.01.015>
- Aroke, U. O., Abdulkarim, A., ir Ogubunka, R. O. (2013). Fourier-transform infrared characterization of kaolin, granite, bentonite and barite. *ATBU Journal of Environmental Technology*, 6(1), 42–53.
- Bąkowska, A., Dobak, P., Gawriuczenkow, I., Kielbasiński, K., Szczepański, T., Trzcinski, J., Wójcik, E., ir Zawrzykraj, P. (2016). Stress-strain behaviour analysis of Middle Polish glacial tills from Warsaw (Poland) based on the interpretation of advanced field and laboratory tests. *Acta Geologica Polonica*, 66(3), 561–585. <https://doi.org/10.1515/agp-2016-0026>
- Baltrūnas, V. (1995). *Pleistoceno stratigrafija ir koreliacija*. Academia.
- Baltrūnas, V. (red.). (2004). *Lietuvos žemės gelmių raida ir ištekliai*. Petro ofsetas.
- Baltrūnas, V., ir Pukelytė, V. (2003). Pleistoceno morenų granulimetrinės sudėties santykinės entropijos kaitos ypatumai Pietų Lietuvoje. *Geologija*, 42, 45–50.
- Baltrūnas, V., Karmaza, B., Dundulis, K., Gadeikis, S., Račkauskas, V., ir Šinkūnas, P. (2005). Characteristic of till formation during the Baltija (Pomeranian) Stage of the Nemunas (Weichselian) Glaciation in Lithuania. *Geological Quarterly*, 49(4), 417–428.
- Baltrūnas, V., Karmaza, B., ir Pukelytė, V. (2014). The multilayered structure of Žemaitija and Medininkai tills and the question of its origin in South Lithuania. *Geologija*, 56(3), 65–73. <https://doi.org/10.6001/geologija.v56i3.2978>

- Baltrūnas, V., Karmaza, B., Katinas, V., Pukelytė, V., Karmazienė, D., ir Lozovskis, S. (2020). Till macro- and microfabrics of mega-scale glacial lineations of Mūša–Nemunėlis Lowland, north Lithuania. *Baltica*, 33(1), 85–96. <https://doi.org/10.5200/baltica.2020.1.8>
- Barański, M. (2008). Engineering-geological properties of normally consolidated tills from Płock area. *Geologija*, 50, S40-S48. <https://doi.org/10.2478/v10056-008-0023-4>
- Barbara, Č., Ulrike, M., Johanna, I., Martin, Š., Polona, K., ir Gorazd, Ž. (2025). Understanding the geochemical composition of alluvial sediments in a complex environmental system – A case study of the Mura/Mur river. *Catena*, 249, 108605. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2024.108605>
- Batterson, M. J., ir Taylor, D. M. (2006). *Till geochemistry of the northern Burin Peninsula and adjacent areas, Newfoundland (NTS map areas 1M/7, 1M/8, 1M/9, 1M/10, 1M/15 and 1M/16) (Open File 1M/0573)*. Government of Newfoundland and Labrador, Department of Natural Resources, Geological Survey.
- Bell, F. G. (2002). The geotechnical properties of some till deposits occurring along the coastal areas of eastern England. *Engineering Geology*, 63(1–2), 49–68. [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(01\)00068-0](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(01)00068-0)
- Bergman, S. (red.). (2018). *Geology of the Northern Norrbotten ore province, northern Sweden* (Rapporter och meddelanden 141, Paper 13(13)). Geological Survey of Sweden.
- Bhattacharya, N. (1962). Weathering of glacial tills in Indiana: I. Clay minerals. *Geological Society of America Bulletin*, 73(8), 1007–1020. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1962\)73\[1007:WOGTHI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1962)73[1007:WOGTHI]2.0.CO;2)
- Bínka, K., ir Nitychoruk, J. (2003). The Late Saalian, Eemian and Early Vistulian pollen sequence at Dziewule, eastern Poland. *Geological Quarterly*, 47(2), 155–168.
- Binzer, K. (1974). Sedimentological and geochemical features of Weichselian tills and pre-Quaternary sediments in Denmark. *Danmarks Geologiske Undersøgelse, Årbog 1973*, 111–131.
- Biswas, R., ir Chatterjee, S. (2022). Effect of chenodeoxycholic acid as dye co-adsorbent and ZnO blocking layer in improving the performance of Rose Bengal dye based dye sensitized solar cells. *Optical and Quantum Electronics*, 54, 391. <https://doi.org/10.1007/s11082-022-03775-9>
- Bloom, L. B., ir Steele, K. G. (1989). Gold in till: preliminary results from the Matheson area, Ontario. Iš R. N. W. DiLabio, ir W. B Coker (red.), *Drift Prospecting* (Geological Survey of Canada, Paper 89–20, p. 61–70). <https://doi.org/10.4095/127364>
- Boston, C. M. (2007). *An examination of the Geochemical properties of late devensian glacial sediments in Eastern England* [Magistro baigiamasis darbas, Durham University]. Durham e-Theses.
- Brewer, L., Sullivan, D. M., Deol, P., ir Angima, S. (2024). *Reducing lead hazard in gardens and play areas*. Oregon State University Extension Service.
- Capo, R. C., Stewart, B. W., Chadwick, O. A. (1998). Strontium isotopes as tracers of ecosystem processes: theory and methods. *Geoderma*, 82(1–3), 197–225. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(97\)00102-X](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(97)00102-X)
- Casey, P., Morris, G., ir Sadeghi, M. (2024). Derivation of predictive layers using regional till geochemistry data for mineral potential mapping of the REE line of Bergslagen, Central Sweden. *Minerals*, 14(8), 753. <https://doi.org/10.3390/min14080753>
- Clarke, B. G. (2018). The engineering properties of glacial tills. *Geotechnical Research*, 5(4), 262–277. <https://doi.org/10.1680/jgere.18.00020>
- Clarke, B. G., Chen, C.-C., ir Aflaki, E. (1998). Intrinsic compression and swelling properties of a glacial till. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 31, 235–246. <https://doi.org/10.1144/GSL.QJEG.1998.031.P3.06>

- Clarke, B. G., Hughes, D. B., ir Hashemi, S. (2008). Physical characteristics of subglacial tills. *Géotechnique*, 58(1), 67–76. <https://doi.org/10.1680/geot.2008.58.1.67>
- Constantinescu, J., ir Constantinescu, D. (2011). Particularity of plasticity characteristics of fine glacial materials (North Chicago area). *Geo-Eco-Marina*, 17, 59–65. <https://doi.org/10.5281/zenodo.56897>
- Cruz-Guevara, L. E., Cruz-Ceballos, L. F., Avendaño-Sánchez, G. M., ir García-González, M. (2020). Proposal for geological classification and nomenclature of soils: both genetic-descriptive and compositional-mineralogical. *Boletín de Geología*, 42(1), 81–97. <https://doi.org/10.18273/revbol.v42n1-2020005>
- Dampier, L., Sanborn, P., Smith, S., Bond, J., ir Clague, J. J. (2011). Genesis of upland soils, Lewes Plateau, central Yukon. Part 1: Soils formed on Pleistocene glacial deposits. *Canadian Journal of Soil Science*, 91, 563–578. <https://doi.org/10.4141/cjss2010-001>
- Dixon-Warren, A., ir Stumpf, A. J. (2010). *Geochemistry of glacial sediments in Illinois and adjacent areas* (Open File Series 2010-2). Illinois State Geological Survey.
- Droste, J. B. (1956). Alteration of clay minerals by weathering in Wisconsin tills. *Bulletin of the Geological Society of America*, 67(7), 911–918. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1956\)67\[911:AOCMBW\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1956)67[911:AOCMBW]2.0.CO;2)
- Dubchak, S. (2018). Distribution of strontium in soil: Interception, weathering, speciation, and translocation to plants. Iš D. K. Gupta, ir C. Walther (red.), *Behaviour of Strontium in Plants and the Environment* (p. 33–43). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-66574-0_3
- Dundulis, K., Kaczyński, R. R., Kraužlis, K. S., ir Žaržojus, G. (2008). Engineering geological properties of Vilnius and Warsaw region tills as building subsoils. *Geologija*, 50, S11–S15. <https://doi.org/10.2478/v10056-008-0019-0>
- Edil, T. B., ir Mickelson, D. M. (1995). Overconsolidated glacial tills in eastern Wisconsin. *Transportation Research Record*, 1479, 99–106.
- Eyles, N., ir Sladen, J. A. (1981). Stratigraphy and geotechnical properties of weathered lodgement till in Northumberland, England. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 14, 129–141. <https://doi.org/10.1144/GSL.QJEG.1981.014.02.04>
- Ernstsen, V. (1998). Clay minerals of clayey subsoils of Weichselian Age in the Zealand-Funen area, Denmark. *Bulletin of the Geological Society of Denmark*, 45, 39–51. <https://doi.org/10.37570/bgsd-1998-45-05>
- Fausey, N. R., Hall, G. F., Bigham, J. M., Allred, B. J., ir Christy, A. D. (2000). Properties of the fractured glacial till at the Madison County, Ohio, field workshop pit site. *The Ohio Journal of Science*, 100(3–4), 107–112.
- Ferbey, T. (2009). *Till geochemical exploration targets, Redstone and Loomis lake map areas (NTS 93B/04 and 05), Central British Columbia* (Open File 2009-09). British Columbia Geological Survey.
- Ferbey, T., ir Levson, V. M. (2001). *Quaternary geology and till geochemistry of the Huckleberry Mine area* (Paper 2001-1). Geological Fieldwork 2000.
- Ferbey, T., ir Levson, V. M. (2010). *Evidence of westward glacial dispersal along a till geochemical transect of the Copper Star Cu±Mo±Au occurrence, Westcentral British Columbia* (Open File 2010-04). British Columbia Geological Survey.
- Ferbey, T., Levson, V. M., ir Lett, R. E. (2009). *Till geochemical exploration targets, Babine porphyry copper belt, Central British Columbia* (Open File 2009-4). British Columbia Geological Survey.

Fernández, B., Lobo, L., ir Pereiro, R. (2019). Atomic absorption spectrometry: Fundamentals, instrumentation and capabilities. Iš P. Worsfold, C. Poole, A. Townshend, ir M. Miró (red.), *Encyclopedia of Analytical Science* (3 leid., 1 tomas, p. 137–143). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409547-2.14116-2>

Follestad, B. A., Fredin, O., Olsen, L., ir Reimann, C. (2014). Distribution of rock fragments, grain size and chemical elements in tills in the Lake Mjøsa area, east Norway. *Norges geologiske undersøkelse Bulletin*, 453, 1–11.

Fouad, H. K., Elrakaiby, R. M., Hashim, M. D. (2015). The application of flame atomic absorption spectrometry for gold determination in some of its bearing rocks. *American Journal of Analytical Chemistry*, 6, 411–421. <https://doi.org/10.4236/ajac.2015.65040>

Fox, P. E., Cameron, R. S., ir Hoffman, S. J. (1987). Geology and soil geochemistry of the Quesnel river gold deposit, British Columbia. Iš I. L. Elliot, ir B. W. Smee (red.), *GEOEXPO/86 Exploration in the North American Cordillera* (p. 61–71). The Association of Exploration Geochemists.

Gadeikytė, S., ir Gadeikis, S. (2013). *Gruntotyros pagrindai*. Vilnius: Vilniaus universitetas.

Gilmutdinov, A. K. (2017). Atomic absorption, theory. Iš J. C. Lindon, G. E. Tranter, ir D. W. Koppenaal (red.), *Encyclopedia of Spectroscopy and Spectrometry* (3 leid., p. 44–51). Academic press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803224-4.00100-X>

Gingele, F. X., ir Leipe, T. (1997). Clay mineral assemblages in the western Baltic Sea: recent distribution and relation to sedimentary units. *Marine Geology*, 140(1–2), 97–115. [https://doi.org/10.1016/S0025-3227\(97\)00023-6](https://doi.org/10.1016/S0025-3227(97)00023-6)

Goldberg, K., ir Humayun, M. (2010). The applicability of the Chemical Index of Alteration as a paleoclimatic indicator: An example from the Permian of the Paraná Basin, Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 293(1–2), 175–183. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2010.05.015>

Guobytė, R. (1998). *Lietuvos kvartero geologinis žemėlapis M 1:200 000*. Lietuvos geologijos tarnyba.

Guobytė, R. (2000). *Lietuvos geomorfologinis žemėlapis M 1:200 000*. Lietuvos geologijos tarnyba.

Hailemariam, H., ir Wuttke, F. (2021). A laboratory study on the shear strength behavior of two till deposits from northern Germany. *Energies*, 14(6), 1692. <https://doi.org/10.3390/en14061692>

Hayashi, K.-I., Fujisawa, H., Holland, H. D., ir Ohmoto, H. (1997). Geochemistry of ~ 1.9 Ga sedimentary rocks from northeastern Labrador, Canada. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 61(19), 4115–4137. [https://doi.org/10.1016/S0016-7037\(97\)00214-7](https://doi.org/10.1016/S0016-7037(97)00214-7)

Haldorsen, S., Jørgensen, P., Rappol, M., ir Riezebos, P. A. (1989). Composition and source of the clay-sized fraction of Saalian till in the Netherlands. *Boreas*, 18(2), 89–97. <https://doi.org/10.1111/j.1502-3885.1989.tb00377.x>

Hashemi, S., Hughes, D. B., ir Clarke, B. G. (2006). The characteristics of glacial tills from Northern England derived from a relational database. *Geotechnical and Geological Engineering*, 24, 973–984. <https://doi.org/10.1007/s10706-005-8508-y>

Hashmi, S., Ward, B. C., Plouffe, A., Leybourne, M. I., ir Ferbey, T. (2015). Geochemical and mineralogical dispersal in till from the Mount Polley Cu-Au porphyry deposit, central British Columbia, Canada. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 15, 234–249. <https://doi.org/10.1144/geochem2014-310>

- Hill, S. J., ir Fisher, A. S. (2017). Atomic absorption, methods and instrumentation. Iš J. C. Lindon, G. E. Tranter, ir D. W. Koppenaal (red.), *Encyclopedia of Spectroscopy and Spectrometry* (3 leid., p. 37–43). Academic press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803224-4.00099-6>
- Hirvas, H. (1989). Application of glacial geological studies in prospecting in Finland. Iš R. N. W. DiLabio, ir W. B Coker (red.), *Drift Prospecting* (Geological Survey of Canada, Paper 89–20, p. 1–6).
- Hodkin, D. J., Stewart, D. I., Graham, J. T., Cibi, G., Burke, I. T. (2018). Enhanced crystallographic incorporation of strontium(II) ions to calcite via preferential adsorption at obtuse growth steps. *Crystal Growth & Design*, 18(5), 2836–2843. <https://doi.org/10.1021/acs.cgd.7b01614>
- Huang, Y., Fan, W., Wu, J., Xiang, X., ir Wang, G. (2022). Experimental study on strength and microstructure of glacial till stabilized by ionic soil stabilizer. *Buildings*, 12(9), 1446. <https://doi.org/10.3390/buildings12091446>
- Huhta, P. (2008). *Studies of Quaternary deposits of investigation trench OL-TK14 at the Olkiluoto study site, Eurajoki, SW Finland* (Working Report 2008-31). Geological Survey of Finland.
- Humlum, O., Christiansen, H. H., Mortensen, L. E., Stuart, F. M., ir Stone, J. O. (2023). Weichselian glaciation of the Faroe Islands. *Bulletin of the Geological Society of Denmark*, 72, 19–100. <https://doi.org/10.37570/bgsd-2023-72-02>
- Iisalo, E. (2003). Till stratigraphy and geochemical differences between till beds in Western Finland. *Geological Survey of Finland, Special Paper* 34, 21–42.
- Isenor, F. M. (2000). *Applied Quaternary geology and till geochemistry of the Loch Lomond region, Cape Breton Island, Nova Scotia* [Magistro baigiamasis darbas, Acadia University].
- Jecevic, A., Horn, D., Eigner, H., Sager, M., Liebhard, P., Moder, K., ir Vollprecht, D. (2019). Kinetics of lead release from soils at historic mining and smelting sites, determined by a modified electro-ultrafiltration. *Plant, Soil and Environment*, 65(6), 298–306. <https://doi.org/10.17221/611/2018-PSE>
- Jongmans, A. G., Feijtel, T. C., ir Bouma, J. (1989). A micromorphological and chemical study of a buried Saalian till deposit in the Northern part of the Netherlands. *Catena*, 16(6), 559–574. [https://doi.org/10.1016/0341-8162\(89\)90042-8](https://doi.org/10.1016/0341-8162(89)90042-8)
- Jurković, J., Habul, E. V., Dörfler, W., Omanović-Mikličanin, E., Hamidović, S., ir Ivanković, A. (2018). Deposition of metals in glacial lake sediment. *Polish Journal of Soil Science*, 51(2), 255–270. <https://doi.org/10.17951/PJSS.2018.51.2.255>
- Kaczyński, R., Bąkowska, A., ir Kiełbasiński, K. (2010). Zachowanie się glin lodowcowych z warszawskiego Ursynowa podczas obciążeń statycznych i dynamicznych. *Przegląd Geologiczny*, 58(9/2), 873–878.
- Kadastik, E. (2004). *Upper-Pleistocene stratigraphy and deglaciation history in northwestern Estonia* [Daktaro disertacija, University of Tartu]. University of Tartu Digital Archive ADA.
- Kadastik, E., ir Kalm, V. (1998). Lithostratigraphy of Late Weichselian tills on the West Estonian Islands. *Bulletin of the Geological Society of Finland*, 70(1–2), 5–17. <https://doi.org/10.17741/bgsf/70.1-2.001>
- Kadūnas, V., Budavičius, R., Gregorauskienė, V., Katinas, V., Kliaugienė, E., Radzevičius, A., ir Taraškevičius, R. (1999). *Lietuvos geocheminis atlasas*. Lietuvos geologijos tarnyba, Geologijos institutas.
- Kairytė, M., Stevens, R. L., ir Trimonis, E. (2005). Provenance of silt and clay within sandy deposits of the Lithuanian coastal zone (Baltic Sea). *Marine Geology*, 218(1–4), 97–112. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2005.04.004>

Kanyongo, W., Ezugwu, A. E. (2023). Feature selection and importance of predictors of non-communicable diseases medication adherence from machine learning research perspectives. *Informatics in Medicine Unlocked*, 38, 101232. <https://doi.org/10.1016/j.imu.2023.101232>

Karakan, E. (2022). Relationships among plasticity, clay fraction and activity of clay–sand mixtures. *Arabian Journal of Geosciences*, 15, 334. <https://doi.org/10.1007/s12517-022-09482-9>

Kavoliutė, F. (2012). *Lietuvos gamtinis pamatas. I dalis: Gelmės ir paviršius*. Vilnius: Vilniaus universitetas.

Kiipli, E., Kiipli, T., Kallaste, T., ir Siir, S. (2012). Al₂O₃/TiO₂ ratio of the clay fraction of Late Ordovician-Silurian carbonate rocks as an indicator of paleoclimate of the Fennoscandian Shield. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 365–366, 312–320. <http://doi.org/10.1016/j.palaeo.2012.10.001>

Kleman, J., Hättstrand, M., Borgström, I., Preusser, F., ir Fabel, D. (2020). The Idre marginal moraine – An anchorpoint for Middle and Late Weichselian ice sheet chronology. *Quaternary Science Advances*, 2, 100010. <https://doi.org/10.1016/j.qsa.2020.100010>

Kozak, L., Silva Souza, J., Nawrot, A., Proch, J., Kaźmierski, M., Zawieja, A., ir Niedzielski, P. (2021). Handheld ED-XRF spectrometers in geochemical investigation: Comparative studies for glacial deposits from Spitsbergen. *Polish Polar Research*, 42(3), 163–172. <https://doi.org/10.24425/ppr.2021.137141>

Krapukaitytė, A. (2009). *Šiuolaikinės ir archeologinės keramikos tyrimas ir apibūdinimas* [Daktaro disertacija, Vilniaus universitetas]. Lietuvos akademine elektronine biblioteka.

Krawczyk, D., ir Flieger-Szymańska, M. (2018). The value of plasticity index (I_p) and liquidity index (I_L) of North Polish ablation boulder clays and varved clays depending of the method of its determination. *Scientific Review Engineering and Environmental Sciences*, 27(2), 167–174. <https://doi.org/10.22630/PNIKS.2018.27.2.16>

Krklec, K., Domínguez-Villar, D., ir Perica, D. (2015). Depositional environments and diagenesis of a carbonate till from a Quaternary paleoglacier sequence in the Southern Velebit Mountain (Croatia). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 436, 188–198. <http://doi.org/10.1016/j.palaeo.2015.07.004>

Labak-Mechowska, E. (2016). A description of the physical properties of selected sediments of the Weichselian and Wartanian glaciations. *Bulletin of Geography. Physical Geography Series*, 10, 123–132. <http://doi.org/10.1515/bgeo-2016-0009>

Laurus, K. A., ir Fletcher, W. K. (1999). Gold distribution in glacial sediments and soils at Boston Property, Nunavut, Canada. *Journal of Geochemical Exploration*, 67(1–3), 271–285. [https://doi.org/10.1016/S0375-6742\(99\)00070-9](https://doi.org/10.1016/S0375-6742(99)00070-9)

Lavina, B., Dera, P., ir Downs, R. T. (2014). Modern X-ray diffraction methods in mineralogy and geosciences. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 78(1), 1–31. <http://doi.org/10.2138/rmg.2014.78.1>

Lee, J. R., ir Roberson, S. (2024). Refining the known extent of major onshore Quaternary glaciation in the UK — Types of evidence, nomenclature and uncertainty. *Proceedings of the Geologists' Association*, 136(3), 101087. <https://doi.org/10.1016/j.pgeola.2024.12.002>

Lekstutytė, I. (2024). *Reljefą sudarančio vidurinio pleistoceno moreninio smulkaus grunto savybių įvertinimas* [Daktaro disertacija, Vilniaus universitetas]. Lietuvos akademine elektronine biblioteka. <https://doi.org/10.15388/vu.thesis.594>

Lekstutytė, I., Gadeikis, S., Žaržojus, G., ir Skuodis, Š. (2019). Engineering geological and geotechnical properties of till soil of the Middle Pleistocene glacial period. *Estonian Journal of Earth Sciences*, 68(2), 101–111. <https://doi.org/10.3176/earth.2019.09>

- Lekstutytė, I., Moliakovaitė, G., Žaržojus, G., Gadeikis, S., ir Skuodis, Š. (2024). Intermediate till soil properties and distinctive features. Iš *Modern building materials, structures and techniques* (p. 612–622). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-44603-0_63
- Lerouge, C., Gaucher, E. C., Tournassat, C., Négrel, P., Crouzet, C., Guerrot, C., Gautier, A., Michel, P., Vinsot, A., Buschaert, S. (2010). Strontium distribution and origins in a natural clayey formation (Callovian-Oxfordian, Paris Basin, France): A new sequential extraction procedure. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 74(10), 2926–2942. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2010.02.013>
- Lett, R. E., Cook, S. J., ir Levson, V. (2006). *Till geochemistry of the Chilanko Forks, Chezacut, Clusko river and Toil mountain map areas, British Columbia (NTS 93C/1, 8, 9 & 16)* (Geofile 2006-1). British Columbia Geological Survey.
- Lett, R. E., ir Paulen, R. C. (2021). Soil and till geochemical surveys at the Ace mineral property, central British Columbia. Iš *Geological Fieldwork 2020* (British Columbia Geological Survey Paper 2021-01, p. 145–165). British Columbia Ministry of Energy, Mines and Low Carbon Innovation.
- Li, S., Shen, J., Bishop, T. F. A., ir Viscarra Rossel, R. A. (2022). Assessment of the effect of soil sample preparation, water content and excitation time on proximal X-ray fluorescence sensing. *Sensors*, 22(12), 4572. <https://doi.org/10.3390/s22124572>
- Lietuvos geologijos tarnybos prie Aplinkos ministerijos direktoriaus 2019 m. birželio 13 d. įsakymas Nr. 1-175 „Dėl inžinerinių geologinių ir geotechninių tyrimų gruntų klasifikacijos patvirtinimo“ (TAR 2019-06-14, Nr. 2019-09653).
- Lietuvos standartizacijos departamentas. (2015). *Geotechniniai tyrinėjimai ir bandymai. Laboratoriniai grunto bandymai. 1 dalis. Vandens kiekio nustatymas* (LST EN ISO 17892-1:2015).
- Lietuvos standartizacijos departamentas. (2017). *Geotechniniai tyrinėjimai ir bandymai. Laboratoriniai grunto bandymai. 4 dalis. Granulimetrinės sudėties nustatymas* (LST EN ISO 17892-4:2017).
- Lietuvos standartizacijos departamentas. (2018). *Geotechniniai tyrinėjimai ir bandymai. Gruntų atpažinimas ir klasifikavimas. 2 dalis. Klasifikavimo principai* (LST EN ISO 14688-2:2018).
- Lietuvos standartizacijos departamentas. (2018). *Geotechniniai tyrinėjimai ir bandymai. Laboratoriniai grunto bandymai. 12 dalis. Takumo ribos drėgnio ir plastiškumo ribos drėgnio nustatymas* (LST EN ISO 17892-12:2018).
- Lindroos, H., Nilsson, B., ir Ros, F. (1992). *NSG Gold exploration in Sweden 1984-1991. State Mining Property Commission NSG nr 92038*. Geological Survey of Sweden.
- Locat, J., Tanaka, H., Tan, T. S., Dasari, G. R., ir Lee, H. (2003). Natural soils: geotechnical behavior and geological knowledge. *Characterisation and Engineering Properties of Natural Soils*, 1, 3–28.
- Lozovskis, S., Katinas, V., ir Baltrūnas, V. (2015). Ruopiškių stambios linijinės subglacialinės formos susidarymo ypatybės: glacialinių nuogulų struktūros tyrimas. *Geologija. Geografija*, 1(4). <https://doi.org/10.6001/geol-geogr.v1i4.3242>
- Lugwisha, E. H. J. (2011). Identification of clay minerals of the eastern southern region of Lake Victoria by ethylene glycol and heat: X-ray diffraction and infrared spectroscopy studies. *Tanzania Journal of Science*, 37(1), 167–178.
- Lunkka, J. P., Peuraniemi, V., ir Nikarmaa, T. (2013). Application of till geochemical and indicator mineral data to the interpretation of the thick till sequence at Muhos, northern Finland. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 13(3), 183–193. <https://doi.org/10.1144/gEOchem2012-119>

- Luse, I. (2005). Significance of colour in moraines stratigraphic correlation. *Latvian Journal of Agronomy*, 8, 42–46.
- Madgett, P. A., ir Catt, J. A. (1978). Petrography, stratigraphy and weathering of Late Pleistocene tills in East Yorkshire, Lincolnshire and north Norfolk. *Proceedings Of The Yorkshire Geological Society*, 42(1), 55–108. <https://doi.org/10.1144/pygs.42.1.55>
- Mäkinen, J. (1992). The relation between unit weight and geochemical and mineralogical compositions in the fine fraction of till. *Bulletin of the Geological Society of Finland*, 64(1), 59–74. <https://doi.org/10.17741/bgsf/64.1.005>
- Makreski, P., Jovanovski, G., Kaitner, B., Stafilov, T., Boev, B., ir Cibrev, D. (2004). Minerals from Macedonia. X. Separation and identification of some oxide minerals by FT IR spectroscopy, AAS, AES-ICP and powder XRD. *Neues Jahrbuch für Mineralogie – Abhandlungen*, 180(3), 215–243. <https://doi.org/10.1127/0077-7757/2004/0180-0215>
- Marks, L., Dzierżek, J., Janiszewski, R., Kaczorowski, J., Lindner, L., Majecka, A., Makos, M., Szymanek, M., Tołoczko-Pasek, A., ir Woronko, B. (2016). Quaternary stratigraphy and paleogeography of Poland. *Acta Geologica Polonica*, 66(3), 403–427. <https://doi.org/10.1515/agp-2016-0018>
- Maurya, A., Kesharwani, L., ir Mishra, M. K. (2018). Analysis of heavy metal in soil through Atomic Absorption Spectroscopy for forensic consideration. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology*, 6(VI), 1188–1192. <https://doi.org/10.22214/IJRASET.2018.6173>
- McClenaghan, M. B., ir DiLabio, R. N. W. (1993). Till geochemistry and its implications for mineral exploration: Southeastern Cape Breton Island, Nova Scotia, Canada. *Quaternary International*, 20, 107–122. [https://doi.org/10.1016/1040-6182\(93\)90040-M](https://doi.org/10.1016/1040-6182(93)90040-M)
- McClenaghan, M. B., ir Paulen, R. C. (2018). Application of till mineralogy and geochemistry to mineral exploration. Iš J. Menzies, J. J. M. van der Meer (red.), *Past Glacial Environments* (2 leid., p. 689–751). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100524-8.00022-1>
- McClenaghan, M. B., Paulen, R. C., Smith, I. R., Rice, J. M., Plouffe, A., McMartin, I., Campbell, J. E., Lehtonen, M., Parsasadr, M., ir Beckett-Brown, C. E. (2023). Review of till geochemistry and indicator mineral methods for mineral exploration in glaciated terrain. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 23(4), 1–42. <https://doi.org/10.1144/geochem2023-013>
- McClenaghan, M. B., Thorleifson, L. H., ir DiLabio, R. N. W. (2000). Till geochemical and indicator mineral methods in mineral exploration. *Ore Geology Reviews*, 16(3–4), 145–166. [https://doi.org/10.1016/S0169-1368\(99\)00028-1](https://doi.org/10.1016/S0169-1368(99)00028-1)
- Mertens, J., ir Smolders, E. (2013). Zinc. Iš B. J. Alloway (red), *Heavy Metals in Soils. Environmental Pollution* (3 leid., 22 tomas, p. 465–493). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7_17
- Mohammed, T. (2024). Atomic absorption spectrophotometry. Iš A. Otsuki, S. Jose, M. Mohan, ir S. Thomas (red.), *Non-Destructive Material Characterization Methods* (p. 549–586). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91150-4.00007-0>
- Mohd Fairulnizal, M. N., Vimala, B., Rathi, D. N., ir Mohd Naeem, M. N. (2019). Atomic absorption spectroscopy for food quality evaluation. Iš J. Zhong, ir X. Wang (red.), *Evaluation Technologies for Food Quality* (p. 145–173). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814217-2.00009-3>

- Monaghan, G. W. III (1984). *Late Wisconsinan drift stratigraphy of the Saginaw and Lake Michigan ice lobes in Southwestern Michigan* [Magistro baigiamasis darbas, Michigan State University]. MSU Libraries Digital Repository. <https://doi.org/doi:10.25335/4gw0-rn46>
- Musso, A., Tikhomirov, D., Plötze, M. L., Greinwald, K., Hartmann, A., Geitner, C., Maier, F., Petibon, F., ir Egli, M. (2022). Soil formation and mass redistribution during the Holocene using meteoric ^{10}Be , soil chemistry and mineralogy. *Geosciences*, 12(2), 99. <https://doi.org/10.3390/geosciences12020099>
- Normandeau, P. X., McMartin, I., ir Corriveau, L. (2024). Till geochemistry as a vector to metasomatic iron and alkali-calcic systems and associated deposits in the Great Bear magmatic zone, northwest territories, Canada. *Minerals*, 14(6), 547. <https://doi.org/10.3390/min14060547>
- Noulas, C. Tziouvalekas, M., ir Karyotis, T. (2018). Zinc in soils, water and food crops. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 49, 252–260. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2018.02.009>
- Onyegbule, A. F., Okorie, D. E., ir Onyegbule, C. E. (2010). Heavy metal distribution in soils and health implications: An appraisal of Umuahia Metropolis, Nigeria. *International Journal of Toxicological and Pharmacological Research*, 2(2), 68–73.
- Özdemir, N., ir Gülser, C. (2017). Clay activity index as an indicator of soil erodibility. *Eurasian Journal of Soil Science*, 6(4), 307–311. <https://doi.org/10.18393/ejss.304519>
- Pakzad, H. R., Pasandi, M., Yeganeh, S., Lahijani, H. A. K. (2016). Assessment of heavy metal enrichment in the offshore fine-grained sediments of the Caspian Sea. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188, 303. <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5302-7>
- Paranthaman, R., ir Azam, S. (2021). Effect of composition on engineering behavior of clay tills. *Geosciences*, 11(10), 427. <https://doi.org/10.3390/geosciences11100427>
- Paškauskaitė, J. (2015). *Lietuvos pajūrio pleistoceno nuogulų sandara ir sedimentacijos sąlygos* [Daktaro disertacija, Vilniaus universitetas]. Lietuvos akademinė elektroninė biblioteka.
- Paul, B. N., Chanda, S., Das, S., Singh, P., Pandey, B. K., ir Giri, S. S. (2014). Mineral assay in atomic absorption spectroscopy. *The Beats of Natural Sciences*, 1(4), 1–17.
- Peng, B., Dong, R., He, Y., Liu, Y., ir Zhao, Y. (2025). Influence of groundwater depth on soil ion distribution in the agricultural irrigation areas of northwest China. *Agriculture*, 15(7), 747. <https://doi.org/10.3390/agriculture15070747>
- Peuraniemi, V., ir Eskola, T. (2013). Glacial dispersal and mode of occurrence of metals in till and esker gravel at Kumpuselkä, northern Finland. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 13, 195–203. <https://doi.org/10.1144/geochem2012-156>
- Polidori, E. (2007). Relationship between the Atterberg limits and clay content. *Soils and Foundations*, 47(5), 887–896. <https://doi.org/10.3208/sandf.47.887>
- Pulkkinen, P. (2004). *Mineralogy and geochemistry of the fine and the clay fractions of till in northern Finland* [Daktaro disertacija, University of Oulu]. University of Oulu Repository.
- Putys, P., Satkūnas, J., ir Jusienė, A., (2010). Lietuvos kvartero storymės geologinių struktūrų tyrimo įvertinimas. *Geologijos akiračiai*, 3–4, 20–30.
- Qian, Z., Zhihao, L., Yuzuo, Q., Jiyuan, G., Yixian, W. (2003). Lead in K-feldspar and its relations to Pb metallogenesis. *Chinese Journal of Geochemistry*, 22(2), 107–115. <https://doi.org/10.1007/BF02831519>
- Räsänen, M. L., Tenhola, M., ir Mäkinen, J. (1992). Relationship between mineralogy and the physico-chemical properties of till in central Finland. *Bulletin of the Geological Society of Finland*, 64(1), 35–58. <https://doi.org/10.17741/BGSF/64.1.004>

Rappol, M., Haldorsen, S., Jørgensen, P., van der Meer, J. J. M., ir Stoltenberg, H. M. P. (1989). Composition and origin of petrographically-stratified thick till in the northern Netherlands and a Saalian glaciation model for the North Sea Basin. *Mededelingen van de Werkgroep voor Tertiaire en Kwartaire Geologie*, 26(2), 31–64.

Rappol, M., ir Stoltenberg, H. M. P. (1985). Compositional variability of Saalian till in the Netherlands and its origin. *Boreas*, 14(1), 33–50. <https://doi.org/10.1111/j.1502-3885.1985.tb00885.x>

Rattas, M., ir Kalm, V. (2001). Lithostratigraphy and distribution of tills in the Saadjärve drumlin field, east-central Estonia. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences. Geology*, 50, 24–42. <https://doi.org/10.3176/geol.2001.1.03>

Reutt, O., Moskalewicz, D., ir Woźniak, P. P. (2024). Preliminary data on geochemical and geophysical record of weathering of Late Weichselian tills in the Eastern Pomerania, Poland. Iš *INQUA Peribaltic Working Group International Field Symposium 2024: Quaternary Sediments, Landscapes, and Early Settlement History in Western Estonia, Pärnu, Estonia* (p. 36–37).

Ritz, M., Vaculíková, L., ir Plevová, E. (2011). Application of infrared spectroscopy and chemometric methods to identification of selected minerals. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, 8(1), 47–58.

Rovey II, C. W., ir Balco, G. (2011). Summary of Early and Middle Pleistocene glaciations in Northern Missouri, USA. *Developments in Quaternary Sciences*, 15, 553–561. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53447-7.00043-X>

Rudnickaitė, E. (2016). *Lietuvos kvartero nuogulų karbonatingumas kaip litostratigrafinis kriterijus ir paleoklimatinių sąlygų indikatorius* [Daktaro disertacija, Vilniaus universitetas]. Lietuvos akademinė elektroninė biblioteka.

Rudnickaitė, E., Slauto, L., ir Guobytė, R. (2015). Švenčionių aukštumos paviršių sudarančių glacialinių nuogulų karbonatingumo tyrimas. *Geologija. Geografija*, 1(2), 78–92. <https://doi.org/10.6001/geol-geogr.v1i2.3117>

Sánchez-Román, M., McKenzie, J. A., Wagener, A. D. L. R., Romanek, C. S., Sánchez-Navas, A., Vasconcelos, C. (2011). Experimentally determined biomediated Sr partition coefficient for dolomite: Significance and implication for natural dolomite. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 75(3), 887–904. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2010.11.015>

Sánchez-Sánchez, A., Cerdán, M., Jordá, J. D., Amat, B., ir Cortina, J. (2019). Characterization of soil mineralogy by FTIR: Application to the analysis of mineralogical changes in soils affected by vegetation patches. *Plant Soil*, 439, 447–458. <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04061-6>

Santos, P. G., Almeida, J. A., ir Sequinatto, L. (2017). Mineralogy of the clay fraction and chemical properties of soils developed from sedimentary lithologies of Pirambóia, Sanga-the-Cabral and Guará Geological formations in southern Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 41, e0160344. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20160344>

Sarala, P. (2005). Till geochemistry in the ribbed moraine area of Peräpohjola, Finland. *Applied Geochemistry*, 20(9), 1714–1736. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2005.04.018>

Sarala, P. (2016). Comparison of different portable XRF methods for determining till geochemistry. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 16, 181–192. <https://doi.org/10.1144/geochem2012-162>

Sarala, P., ir Ojala, V. J. (2008). Implications of complex glacial deposits for till geochemical exploration: Examples from the central fennoscandian ice sheet. Iš Ó. Stefánsson (red.), *Geochemistry Research Advances* (p. 1–29). New York: Nova Science Publishers.

Sarala, P., ir Peuraniemi, V. (2007). Exploration using till geochemistry and heavy minerals in the ribbed moraine area of southern Finnish Lapland. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 7, 195–205. <https://doi.org/10.1144/1467-7873/07-126>

Sarala, P., ir Rossi, S. (2000). The application of till geochemistry in exploration in the Rogen moraine area at Petäjävaara, northern Finland. *Journal of Geochemical Exploration*, 68(1–2), 87–104. [https://doi.org/10.1016/S0375-6742\(99\)00060-6](https://doi.org/10.1016/S0375-6742(99)00060-6)

Sarala, P., Nykänen, V., Sarapää, O., Peltoniemi, A., ir Ojala, J. V. (2007). Quaternary geological and till geochemical studies in verifying GIS-based prospectivity mapping in the Central Lapland Greenstone Belt, northern Finland. Iš *23rd International Applied Geochemistry Symposium (IAGS): exploring our environment* (p. 162–168).

Satkūnas, J., Grigienė, A., ir Bitinas, A. (2007). Lietuvos kvartero stratigrafinio susiskaidymo būklė. *Geologijos akiračiai*, 1, 38–46.

Satkūnas, J., ir Bitinas, A. (1995). The lithological composition of Saalian tills in Lithuania as a criterion for lithostratigraphical subdivision. *Acta Geographica Lodziensia*, 68, 173–180.

Shilts, W. W. (1973). Glacial dispersal of rocks, minerals and trace elements in Wisconsinan till, southeastern Quebec, Canada. Iš R. F. Black, R. P. Goldthwait, ir H. B. Willman (red.), *The Wisconsinan Stage* (Geological Society of America, Memoir 136, p. 189–219). Geological Society of America. <https://doi.org/10.1130/MEM136-p189>

Sibbick, S. J., Balma, R. G., ir Dunn, C. E. (1997). *Till geochemistry of the Mount Milligan area (parts of 93N/1 and 93O/4)* (Open File 1996-22). Geological Survey Branch and Geological Survey of Canada.

Simpkins, W. W., McCartney, M. C., ir Mickelson, D. M. (1987). *Pleistocene geology of Forest County, Wisconsin* (Information Circular 61). Wisconsin Geological and Natural History Survey.

Skempton, A. W. (1953). The colloidal „activity“ of clays. Iš *3rd International conference on soil mechanics and foundation engineering* (1 tomas, p. 57–61). <https://doi.org/10.1680/sposm.02050.0009>

Snow, R. J., ir Coker, W. B. (1987). Overburden geochemistry related to W-Cu-Mo mineralization at Sisson Brook, New Brunswick, Canada: An example of short- and long-distance glacial dispersal. *Journal of Geochemical Exploration*, 28(1–3), 353–368. [https://doi.org/10.1016/0375-6742\(87\)90057-4](https://doi.org/10.1016/0375-6742(87)90057-4)

Sonawane, T. D., Mujoriya, R. Z., ir Nandre, H. N. (2016). Review on X-ray powder diffraction technique. *Research Journal of Pharmaceutical Dosage Forms and Technology*, 8(4), 292–295. <https://doi.org/10.5958/0975-4377.2016.00040.9>

Steele, K. G. (1988). Utilizing glacial geology in uranium exploration; Dismal Lakes, Northwest Territories, Canada. *Boreas*, 17(2), 183–194. <https://doi.org/10.1111/j.1502-3885.1988.tb00545.x>

Storck, R. J., ir Szabo, J. P. (1991). Lithofacies and mineralogy of the Late Wisconsinan Navarre till in Stark and Wayne Counties, Ohio. *The Ohio Journal of Science*, 91(1), 90–97.

Stumpf, A. J. (2012). *Till Geochemistry and Clast Lithology Studies of the Bulkley River Valley, West-Central British Columbia (parts of NTS 093L)* (Report 2012-1). Geoscience BC.

Szabo, J. P. (1987). Wisconsinan stratigraphy of the Cuyahoga Valley in the Erie Basin, northeastern Ohio. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 24, 279–290. <https://doi.org/10.1139/e87-029>

Szabo, J. P. (2006). Textural and mineralogical characteristics of tills of northeastern and north-central Ohio. *The Ohio Journal of Science*, 106(2), 9–16.

- Szabo, J. P., Bradley, K., ir Tevesz, M. J. S. (2003). Foundations from the past: Clues to understanding Late Quaternary stratigraphy beneath Cleveland, Ohio. *Journal of Great Lakes Research*, 29(4), 566–580. [https://doi.org/10.1016/S0380-1330\(03\)70460-2](https://doi.org/10.1016/S0380-1330(03)70460-2)
- Szabo, J. P., ir Ryan, D. E. (1981). Quaternary stratigraphy of the lower Mud Brook Basin, Northampton Township, Summit County, Ohio. *The Ohio Journal of Science*, 81(6), 239-246.
- Szabo, J. P., ir Totten, S. M. (1992). Glacial dispersal rejuvenation on the Allegheny Plateau, north-central Ohio, based on till carbonate patterns. *Journal of Sedimentary Petrology*, 62(6), 1044–1053. <https://doi.org/10.1306/D4267A41-2B26-11D7-8648000102C1865D>
- Szabo, J. P., ir Totten, S. M. (1995). Multiple pre-Wisconsinan glaciations along the northwestern edge of the Allegheny Plateau in Ohio and Pennsylvania. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 32, 2081–2089. <https://doi.org/10.1139/e95-161>
- Thorpe, M. T., Hurowitz, J. A., ir Dehouck, E. (2019). Sediment geochemistry and mineralogy from a glacial terrain river system in southwest Iceland. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 263, 140–166. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2019.08.003>
- Totten, S. M. (1987). *Glacial geology of Crawford County, Ohio* (Open-File Report 87-1). Ohio Department of Natural Resources, Division of Geological Survey.
- Umoren, I. U., ir James, I. O. (2023). Adsorption characteristics of Zn (II), Pb (II) and Cd (II) ions from aqueous solution onto natural clay minerals. *World Journal of Applied Science and Technology*, 15(2), 347–353. <https://doi.org/10.4314/wojast.v15i2.28>
- Ural, N. (2021). The significance of scanning electron microscopy (SEM) analysis on the microstructure of improved clay: An overview. *Open Geosciences*, 13(1), 197–218. <https://doi.org/10.1515/geo-2020-0145>
- Valkama, M., Sundblad, K., ir Korkka-Niemi, K. (2021). Metal anomalies in till in the Sarvialxviken area, Lovisa, southern Finland. *Geochemistry*, 81(4), 125788. <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2021.125788>
- Van, H.-T., Hoang, V. H., Nga, L. T. Q., ir Nguyen, V. Q. (2024). Effects of Zn pollution on soil: Pollution sources, impacts and solutions. *Results in Surfaces and Interfaces*, 17, 100360. <https://doi.org/10.1016/j.rsurfi.2024.100360>
- Viviescas, J. C., ir Osorio, J. P. (2021). Geological origin as an input variable in reliability-based designs: for an accurate exploration in geotechnical engineering. In *6th International Conference on Geotechnical and Geophysical Site Characterization*. Hungarian Geotechnical Society. <https://doi.org/10.53243/ISC2020-70>
- Vorren, T. O. (1977). Grain-size distribution and grain-size parameters of different till types on Hardangervidda, south Norway. *Boreas*, 6(2), 219–227. <https://doi.org/10.1111/j.1502-3885.1977.tb00351.x>
- Wachecka-Kotkowska, L., Krzyszkowski, D., Wieczorek, D., Boswell, S., ir Myśkow, E. (2021). Lithopetrographic and geochemical features of the Saalian tills in the Szczerców outcrop (Poland) in various deformation settings. *Open Geosciences*, 13, 1–15. <https://doi.org/10.1515/geo-2020-0186>
- Wang, H., Wu, Y., Wan, X., Xia, L., ir Wang, S. (2023). Grain size characteristics of surface sediments and their migration trends in the nearshore waters of east Guangdong. *Sustainability*, 15(14), 11069. <https://doi.org/10.3390/su151411069>
- Willman, H. B., Glass, H. D., ir Frye, J. C. (1966). *Mineralogy of glacial tills and their weathering profiles in Illinois. Part II. Weathering profiles*. Illinois State Geological Survey.

Wilson, H. N. (1966). Atomic absorption spectrophotometry. Iš H. N. Wilson, *An approach to chemical analysis: Its development and practice* (p. 280–284). Pergamon. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-011543-6.50018-7>

Woronko, B., Zagórski, Z., ir Cyglicki, M. (2022). Soil-development differentiation across a glacial–interglacial cycle, Saalian upland, E Poland. *Catena*, 211, 105968. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105968>

Xiao, J., Song, Y., Li, Y. (2023). Comparison of quantitative X-ray diffraction mineral analysis methods. *Minerals*, 13(4), 566. <https://doi.org/10.3390/min13040566>

Zelčs, V., Markots, A., Nartišs, M., ir Saks, T. (2011). Pleistocene glaciations in Latvia. *Developments in Quaternary Science*, 15, 221–229. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53447-7.00018-0>

Zhang, S., Li, Q., Zou, Y., Liu, B., Yang, J., Zheng, H., ir Liu, G. (2024). Using isotopic lead and strontium in sediments to trace natural and anthropogenic sources in the Bohai Sea. *Scientific Reports*, 14, 30267. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-81493-w>

SANTRAUKA

VILNIAUS UNIVERSITETAS CHEMIJOS IR GEOMOKSLŲ FAKULTETAS

GRETA MOLIAKOVAITĖ

Viršutinio bei vidurinio pleistoceno moreninių smulkių gruntų sudėties įvertinimas

Darbo vadovė

dr. Ieva Lekstutytė

Moreninės nuogulos yra plačiausiai paplitusios Lietuvoje ir daugiausiai naudojamos žmogaus ūkinėje veikloje. Tiek Lietuvoje, tiek pasaulyje nėra atlikta daug detalių tyrimų ir palyginimų tarp moreninių gruntų mineraloginės bei cheminės sudėties, fizikinių savybių. Šio darbo tikslas yra nustatyti skirtumus tarp viršutinio pleistoceno Nemuno svitos Baltijos posvitės ir vidurinio pleistoceno Žeimenos svitos Medininkų posvitės moreninių smulkių gruntų mineraloginės, cheminės ir granulimetrinės sudėties bei plastiškumo ir palyginti šiuos rezultatus su pasauline literatūra.

Buvo ištirta 40 bandinių iš skirtingų Lietuvos vietų, surenkant bandinius ir juos paruošiant analizėms. Mineraloginė sudėtis nustatyta rentgeno spindulių difrakcijos (XRD) metodu, o cheminei sudėčiai nustatyti taikytas atominės absorbcinės spektrometrijos (AAS) metodas.

Atlikus tyrimus nustatyta, jog vidurinio pleistoceno nuogulos pasižymi didesniu smėlingumu, mažesniu plastiškumu, drėgniu lyginant su viršutinio pleistoceno moreninėmis nuogulomis. Taip pat Medininkų posvitės moreninių nuogulų smulkiojoje frakcijoje dažniau aptinkami karbonatiniai mineralai, tuo tarpu kiti aptinkami mineralai yra vienodi. Nustatyta cheminė sudėtis nuogulose yra įvairi – Žeimenos svitos Medininkų posvitės nuogulos pasižymi didesniu švino, stroncio, magnio ir kalcio kiekiu, kurie siejami su didesniu karbonatinių mineralų kiekiu, tuo tarpu Nemuno svitos Baltijos posvitės nuogulos pasižymi kiek didesniu vario kiekiu, siejamu su didesniu molingumu. Palyginimas su pasauliniais tyrimais rodo, jog moreninės nuogulos yra labai įvairios, jų sudėčiai ir savybėms įtakos turi daug faktorių, kurie komplikuoja šių nuogulų lyginimą globaliu mastu.

SUMMARY

VILNIUS UNIVERSITY
FACULTY OF CHEMISTRY AND GEOSCIENCES

GRETA MOLIAKOVAITĖ

Assessment of the composition of the Upper and Middle Pleistocene fine-grained till soil

Scientific adviser

Dr. Ieva Lekstutytė

Till sediments are the most widespread in Lithuania and they are most commonly used in human economic activities. Both in Lithuania and globally, there have not been many detailed studies and comparisons of the mineralogical and chemical composition as well as the physical properties of till soils. The aim of this study is to identify the differences between the mineralogical, chemical and granulometric composition and plasticity of fine-grained till soils from the Upper Pleistocene Nemunas Formation Baltija Subformation and the Middle Pleistocene Žeimena Formation Medininkai Subformation, and to compare these results with global literature.

A total of 40 samples from various locations across Lithuania were collected and prepared for analysis. The mineralogical composition was determined using X-ray diffraction (XRD), while the chemical composition was analysed using atomic absorption spectroscopy (AAS).

The study revealed that the Middle Pleistocene sediments are characterised by higher sand content, lower plasticity and lower moisture content compared to the Upper Pleistocene till deposits. In addition, the fine fraction of till sediments from the Medininkai Subformation contains more carbonate minerals, whereas the other detected minerals are the same. The chemical composition of the deposits is diverse – the Žeimena Formation Medininkai Subformation sediments contain higher amounts of lead, strontium, magnesium and calcium, which are associated with a higher amount of carbonate minerals, while the Nemunas Formation Baltija Subformation till soil contains slightly higher levels of copper, which is due to higher clay content. A comparison with global studies indicates that till deposits are highly diverse, and their composition and properties are influenced by numerous factors, which makes global-scale comparisons of these sediments complicated.

PRIEDAI

1. 1 priedas. Nustatytos granulimetrinės sudėties rezultatai
2. 2 priedas. Nustatytų fizikinių savybių lentelė
3. 3 priedas. Nustatytų cheminių elementų kiekių su paklaidomis lentelė
4. 4 priedas. Viršutinio pleistoceno Nemuno svitos Baltijos posvitės nuogulų tyrimo vietų gręžinių stulpeliai
5. 5 priedas. Vidurinio pleistoceno Žeimenos svitos Medininkų posvitės nuogulų tyrimo vietų gręžinių stulpeliai
6. 6 priedas. Legenda

NUSTATYTOS GRANULIOMETRINĖS SUDĖTIES REZULTATAI

Bandinio Nr.	Dalelių kiekis, %							
	Molis ($<0,002$ mm)	Dulkis			Smėlis			Žvyras (>2 mm)
		Smulkus ($0,002-0,0063$ mm)	Vidutinis ($0,0063-0,02$ mm)	Rupus ($0,02-0,063$ mm)	Smulkus ($0,063-0,2$ mm)	Vidutinis ($0,2-0,63$ mm)	Rupus ($0,63-2$ mm)	
Viršutinio pleistoceno Nemuno svitos Baltijos posvitės nuogulos								
9	11,15	4,34	6,84	14,68	36,42	16,44	7,29	2,84
38	11,75	8,49	12,49	15,21	30,30	10,79	5,13	5,84
31	11,60	8,17	12,84	14,96	23,21	9,66	6,42	13,14
14	24,70	17,06	12,87	12,53	18,49	5,67	2,82	5,86
4, 23	10,27	10,32	11,11	14,45	36,63	13,29	3,43	0,50
3, 30	12,16	10,64	10,21	13,29	33,86	13,26	4,68	1,90
13, 18	14,54	10,99	12,70	15,40	30,85	9,02	5,16	1,34
5	17,22	12,89	12,93	14,25	29,89	8,92	2,90	1,00
8	18,94	23,80	27,00	10,46	13,43	4,57	1,65	0,15
2	12,01	11,43	12,49	14,73	30,92	10,61	4,53	3,28
15	13,20	11,16	12,84	21,18	26,91	8,31	2,99	3,41
1	21,67	11,62	10,70	15,19	23,54	9,39	3,41	4,48
19	20,29	12,59	12,71	18,53	23,59	6,95	2,98	2,36
25	16,65	13,94	12,90	18,13	25,54	8,18	3,26	1,40
16	16,18	10,84	13,41	19,85	26,39	8,54	2,79	2,00
26	19,69	12,96	13,83	15,41	25,70	8,11	3,20	1,10
Vidurinio pleistoceno Žeimenos svitos Medininkų posvitės nuogulos								
34, 35, 36, 37	11,32	8,61	12,76	19,29	25,61	14,44	5,44	2,53
40	7,25	6,25	8,28	16,82	38,20	15,90	6,19	1,11
32	12,24	11,36	11,79	14,35	25,67	11,99	5,41	7,19
11, 21	9,87	10,25	11,95	15,53	33,13	13,58	4,53	1,16
10, 20	6,89	8,01	15,81	20,73	27,24	14,57	4,71	2,04
17	10,62	10,03	13,50	16,50	33,26	11,72	3,22	1,15
29	13,66	6,12	6,62	13,75	40,20	14,67	4,47	0,51
6	8,04	8,02	9,98	12,82	34,26	15,93	7,00	3,95
28	7,76	7,81	10,70	17,20	34,98	14,37	4,73	2,45
7	7,39	9,05	10,39	17,11	34,86	16,08	4,42	0,70
22	11,78	12,76	8,62	15,46	44,52	6,11	0,75	0,00
9	3,54	5,67	11,58	22,19	35,65	13,10	4,03	4,24
12, 24	11,19	10,20	13,65	14,20	27,94	13,94	6,10	2,78

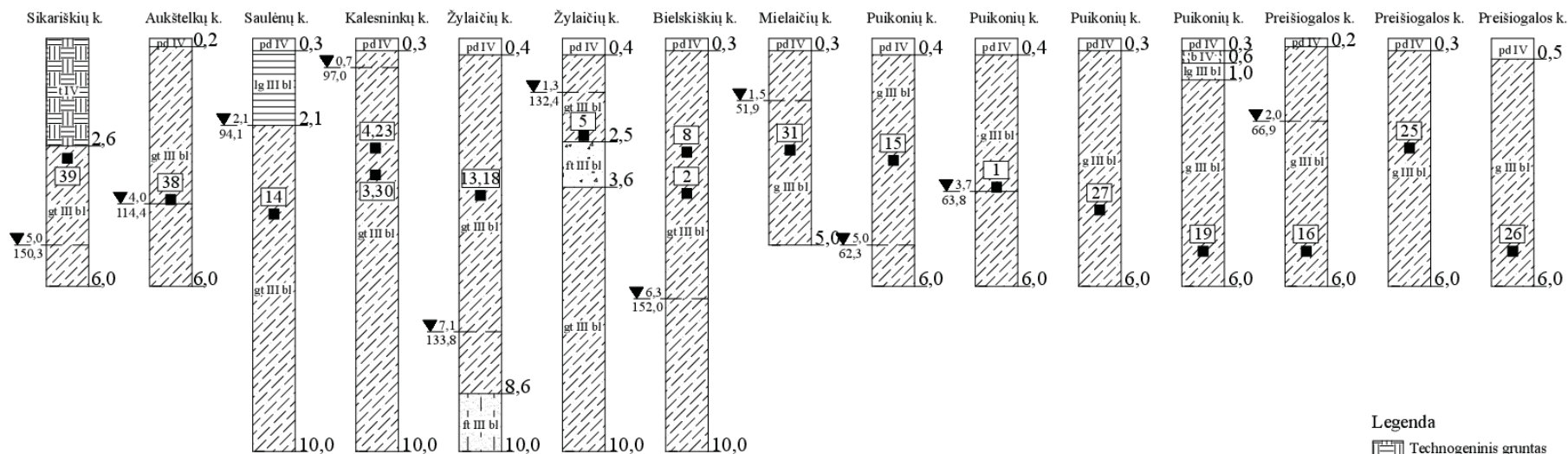
NUSTATYTŲ FIZIKINIŲ SAVYBIŲ LENTELĖ

Bandinio Nr.	Gamtinis drėgnis, vnt. d.	Takumo riba, vnt. d.	Kočiojimo riba, vnt. d.	Plastiškumo rodiklis, vnt. d.	Konsistencijos rodiklis, vnt. d.
Viršutinio pleistoceno Nemuno svitos Baltijos posvitės nuogulos					
9	0,132	0,209	0,128	0,081	0,955
38	0,106	0,216	0,122	0,094	1,174
31	0,117	0,197	0,116	0,081	0,985
14	0,145	0,342	0,203	0,139	1,413
4, 23	0,111	0,196	0,130	0,066	1,297
3, 30	0,110	0,208	0,135	0,073	1,340
13, 18	0,117	0,252	0,141	0,111	1,209
5	0,123	0,240	0,157	0,083	1,402
8	0,142	0,288	0,193	0,095	1,531
2	0,132	0,234	0,154	0,080	1,269
15	0,115	0,254	0,141	0,113	1,231
1	0,152	0,292	0,145	0,147	0,953
19	0,130	0,290	0,146	0,144	1,114
27	0,113	0,298	0,164	0,134	1,378
25	0,108	0,272	0,161	0,111	1,484
16	0,125	0,268	0,141	0,127	1,124
26	0,107	0,261	0,128	0,133	1,157
Vidurinio pleistoceno Žeimenos svitos Medininkų posvitės nuogulos					
34, 35, 36, 37	0,110	0,222	0,125	0,111	1,185
40	0,109	0,183	0,126	0,057	1,301
32	0,123	0,209	0,117	0,092	0,933
11, 21	0,109	0,202	0,133	0,069	1,355
10, 20	0,094	0,181	0,132	0,049	1,769
17	0,074	0,213	0,138	0,075	1,866
29	0,139	0,199	0,143	0,056	1,072
6	0,072	0,188	0,131	0,057	2,013
28	0,080	0,197	0,136	0,061	1,923
7	0,081	0,196	0,141	0,055	2,087
22	0,115	0,207	0,142	0,065	1,414
9	0,093	0,192	0,122	0,070	1,423
12, 24	0,137	0,217	0,140	0,077	1,035

NUSTATYTŲ CHEMINIŲ ELEMENTŲ KIEKIŲ SU PAKLAIDOMIS LENTELĖ

Bandinio Nr.	Cheminis elementas					
	Cu, ppm	Pb, ppm	Zn, ppm	Sr, ppm	Ca, %	Mg, %
Viršutinio pleistoceno Nemuno svitos Baltijos posvitės nuogulos						
15	30,5±2,1	25,5±2,1	170,0±14,1	13,0±1,4	1,08±0,10	1,22±0,05
27	32,0±2,8	33,5±3,5	104,5±7,8	4,6±0,4	0,24±0,02	0,71±0,03
18	24,5±2,1	33,5±3,5	370,0±28,3	59,5±3,5	5,92±0,14	2,27±0,17
8	22,5±2,1	13,0±1,4	415,0±21,2	69,0±4,2	5,92±0,23	2,13±0,17
3	22,7±1,5	23,7±2,5	160,0±17,3	39,3±1,2	2,47±0,15	0,69±0,03
39	42,5±7,8	44,5±4,9	120,0±14,1	64,5±4,9	3,29±0,23	2,27±0,16
Vidurinio pleistoceno Žeimenos svitos Medininkų posvitės nuogulos						
33	23,0±1,4	52,0±2,8	375,0±21,2	46,0±2,8	5,09±0,23	2,03±0,11
21	27,5±0,7	17,0±1,4	230,0±0,0	53,5±4,9	6,67±0,33	1,71±0,13
37	21,0±2,8	59,5±3,5	325,0±35,4	48,0±2,8	4,79±0,20	1,67±0,11

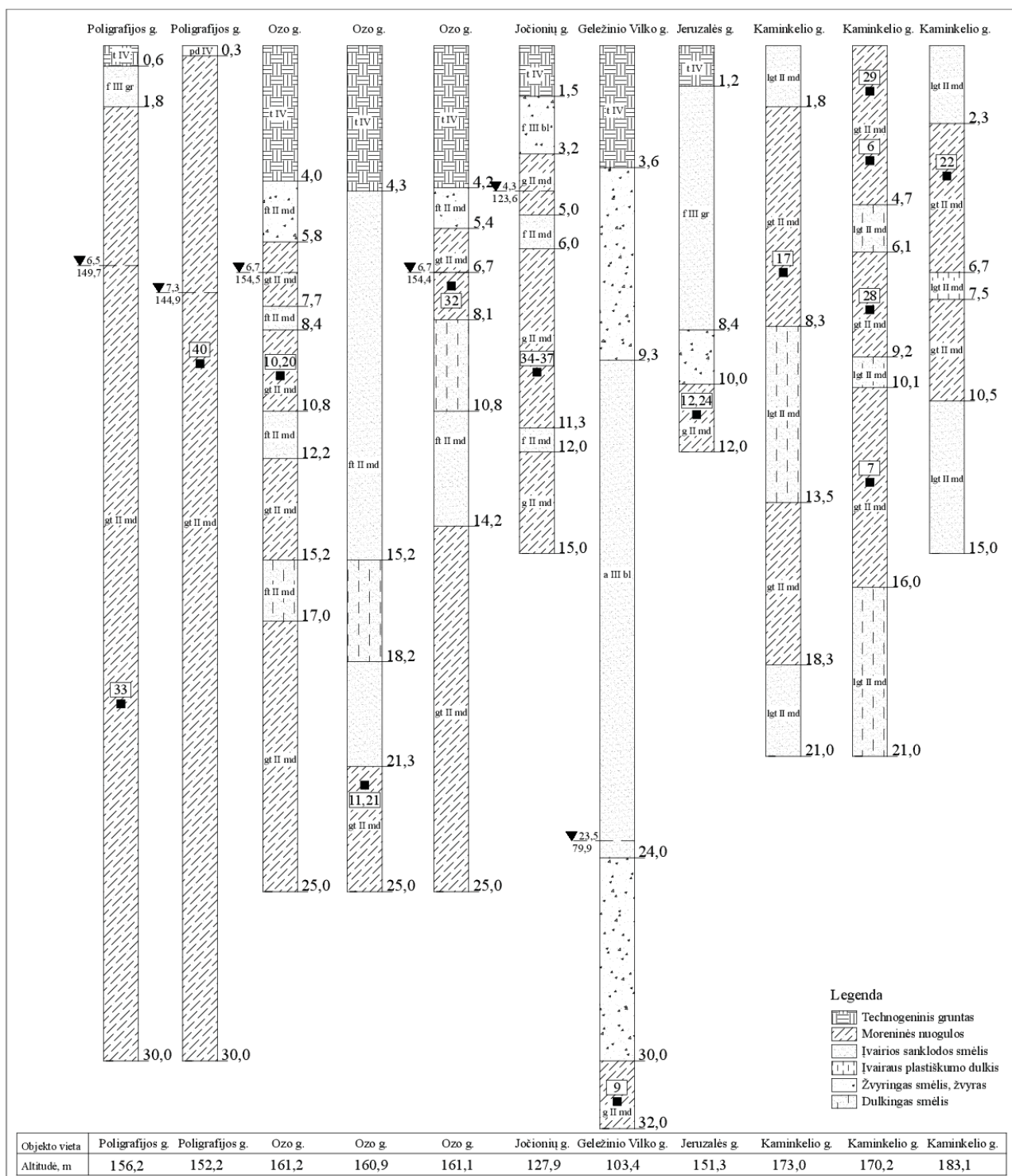
VIRŠUTINIO PLEISTOCENO NEMUNO SVITOS BALTIJOS POSVITĖS NUOGULŲ TYRIMO VIETŲ GREŽINIŲ STULPELIAI



- Legenda**
- Technogeninis gruntas
 - Įvairaus plastiškumo molis
 - Moreninės nuogulos
 - Įvairaus plastiškumo dulkis
 - Žvyringas smėlis, žvyras
 - Dulkingas smėlis
 - Durpės

Objekto vieta	Sikariškių k.	Aukštelkų k.	Saulėnų k.	Kalesninkų k.	Žylaičių k.	Žylaičių k.	Bielskiškių k.	Mielaičių k.	Puikonių k.	Puikonių k.	Puikonių k.	Puikonių k.	Preišiogalos k.	Preišiogalos k.	Preišiogalos k.
Altitude, m	155,3	118,4	96,2	97,7	140,9	133,7	158,3	53,4	67,3	67,5	67,9	67,5	68,9	68,5	69,2

VIDURINIO PLEISTOCENO ŽEIMENOS SVITOS MEDININKŲ POSVITĖS NUOGULŲ TYRIMO VIETŲ GRĘŽINIŲ STULPELIAI



Stratigrafiniai ir genetiniai indeksai		Nuogulų litologija	
	Dirvožemis		Technogeninis gruntas
	Technogeninės nuogulos		Įvairaus plastiškumo molis
	Biogeninės nuogulos		Moreninės nuogulos
	Viršutinio pleistoceno Nemuno svitos Baltijos posvitės fliuvioglacialinės, limnoglacialinės ir glacialinės nuogulos		Įvairios sanklodos smėlis
	Viršutinio pleistoceno Nemuno svitos Grūdės posvitės fliuvioglacialinės nuogulos		Žvyringas smėlis, žvyras
	Vidurinio pleistoceno Žeimenos svitos Medininkų posvitės fliuvioglacialinės, limnoglacialinės ir glacialinės nuogulos		Dulkingas smėlis
			Durpės
Sutartiniai ženklai			
	Bandinio vieta ir numeris		
			
	150,3		
	Gruntinio vandens lygis/altitudė		