

LIETUVOS AGRARINIŲ IR MIŠKŲ MOKSLŲ CENTRAS

TVIRTINU:

Direktorius
Gintaras Brazauskas
2025 m. lapkričio mėn. ... d.

**PROJEKTAS ĮGYVENDINTAS PAGAL ŽEMĖS ŪKIO, MAISTO ŪKIO IR
ŽUVININKYSTĖS 2023–2027 METŲ MOKSLINIŲ TYRIMŲ IR EKSPERIMENTINĖS
PLĖTROS FINANSAVIMO TAISYKLES**

**NAUJŲ AR TOBULINTINŲ KLIMATUI IR APLINKAI PALANKIŲ PRIEMONIŲ,
KURIOS PADĖTŲ SPREŠTI DIRVOŽEMIO RŪGŠTĖJIMO PROBLEMAS,
IDENTIFIKAVIMAS IR EKONOMINĖS NAUDOS ĮVERTINIMAS**

2025 m. GALUTINĖ ATASKAITA

**Tyrimo vadovas
REGINA REPŠIENĖ**

VĖŽAIČIAI, 2025

Turinys

ĮVADAS	5
1. TYRIMO METODIKA	7
1.1. Tyrimo objektas	7
1.2. Tyrimo metodai	8
2. TYRIMO REZULTATAI	9
2.1. Priemonės dirvožemių rūgštėjimui mažinti	9
2.1.1. Tradicinės ir kitos kalkinės medžiagos	9
2.1.2. Kalkinimo ir tręšimo derinio parinkimas	19
2.1.3. Naujos kalcingos medžiagos	30
3. Žemės ūkio augalai galintys augti žemesnio pH (rūgštesniame) dirvožemyje	42
4. Dirvožemio rūgštumo mažinimo priemonių (kalkinimo) ekonominis vertinimas ..	43
IŠVADOS ir REKOMENDACIJOS.....	49
LITERATŪRA	53

Lauko eksperimento vykdytojai ir galutinės ataskaitos rengėjai:

dr. Regina Repšienė

dr. Danutė Karčauskienė

dr. Gintaras Šiaudinis

MTEP projekto duomenų viešinimas

Seminaras „Kalcingų medžiagų naudojimas rūgščių dirvožemių neutralizavimui“ 2025-03-14.

<https://lammc.lt/lt/renginiu-archyvas/seminaras-kalcingu-medziagu-naudojimas-rugsciu-dirvozemiu-neutralizavimui/4776>

Seminaras „Organinių ir kalcingų medžiagų vaidmuo plėtojant tvarų žemės ūkį rūgščiuose dirvožemiuose klimato kaitos sąlygomis“ 2025-10-14. <https://lammc.lt/lt/seminaras-apie-tvaraus-zemes-ukio-pletra-rugsciuose-dirvozemiuose-vyko/5043>

Tarptautinis VII Eurosoil 2025 kongresas <https://eurosoil2025.eu/EUROSOIL2025> (2025-09-07-12) Pranešimas „Lime and gypsum application to low acidity soil: changes in soil chemical properties and spring barley yield“ [EUROSOIL25 Book of Abstracts.pdf](#)

Rengiamas straipsnis žurnalui Mano ūkis 2025 „Ar reikia kalkinti rūgščius dirvožemius?“

Tarpinėje ataskaitoje pateikta:

Seminaras „Dirvožemių rūgštėjimas ir jo valdymo svarba šiandienos žemdirbystės kontekste“ 2024-09-24.

<https://www.lammc.lt/lt/lammc-zi-vezaiciu-filialo-mokslininkai-kalbejo-apie-dirvozemiu-rugstejimo-valdyma/4606>

Straipsnis „Rūgštumo pokyčiai nekalkintuose ir kalkintuose dirvožemiuose“ Žurnalas Mano ūkis 2024/10, p. 28-29. <https://www.manoukis.lt/mano-ukis-zurnalas/augalininkyste/>

Naujų ar tobulintinų klimatui ir aplinkai palankių priemonių, kurios padėtų spręsti dirvožemio rūgštėjimo problemas, identifikavimas ir ekonominės naudos įvertinimas

Tikslas – mažinti rūgščių dirvožemių plotus, taikyti aplinkai palankias priemones ir skatinti žemės ūkio produkcijos gamybos pritaikymą pagal dirvožemio pH, bei įvertinti ekonominę naudą.

Uždaviniai:

1. Identifikuoti galimas naujas ar tobulintinas klimatui ir aplinkai palankias priemones, kurios padėtų spręsti dirvožemio rūgštėjimo problemas.
2. Parengti rekomendacijas dėl dirvožemio rūgštingumo mažinimo, prevencinių priemonių ir jų etapiškumo taikymo.
3. Parengti rekomendacijas dėl augalų, galinčių produktyviai augti padidinto rūgštingumo dirvožemiuose.
4. Atlikti mokslinį - ekonominį dirvožemio rūgštingumo mažinimo priemonių vertinimą, apskaičiuojant potencialią ekonominę naudą ūkininkui.

IVADAS

Dirvožemio rūgštėjimas yra viena iš pagrindinių nūdienos dirvožemio cheminės degradacijos problemų, keliančių didelę grėsmę pasėlių produktyvumui ir ekosistemų sveikatai. Sveikas dirvožemis yra svarbus žemės ūkio produktyvumo ir biologinės įvairovės palaikymui, išteklių reguliavimui, klimato kaitos švelninimui ir prie jos prisitaikymui. Tuo tarpu dirvožemio degradacija, tame tarpe ir rūgštėjimas, sukelia didelių ekonominių išlaidų, įskaitant sumažėjusį pasėlių derlių, padidėjusias sąnaudas ir ekosistemų funkcijų praradimą (Areas-Navarro et al., 2024).

Daugiau nei 40 % pasaulio žemės ūkio paskirties dirvožemių yra rūgštūs ($\text{pH} \leq 5,5$), o pastaraisiais metais šis plotas didėja dėl kintančio klimato ir intensyvios antropogeninės veiklos (Rezaee et al, 2013; Chen and Huang 2024).

Pastaruoju metu klimato kaita yra viena iš pagrindinių dirvožemio degradacijos veiksnių, daranti didelę įtaką įvairiais mechanizmais (Banerjee, van der Heyden, 2023).

Aukšta temperatūra gali paspartinti dirvožemio organinės anglies skaidymąsi, dėl kurio padidėja anglies dioksido emisijos ir sumažėja dirvožemio derlingumas, o per didelis kritulių kiekis gali sukelti dirvožemio eroziją, maistinių medžiagų išplovimą ir dirvožemio rūgštėjimą (Wang et al., 2021)

Lietuvoje rūgštūs dirvožemiai sudaro apie 21,8 %. Ypatingai dirvožemiai rūgštėja Vakarų Lietuvoje ir jie sudaro daugiau nei 40 % nuo bendro žemės ūkio paskirties dirvožemių ploto (Staugaitis, Vaišvila, 2015). Šie dirvožemiai problematiški tuo, kad juose daug judriojo fitotoksiško aliuminio (Al^{+3}). Rūgščiuose dirvožemiuose aliuminis yra lengvai biologiškai prieinamas ir svarbus veiksnys, ribojantis augalų šaknų augimą. Al toksiškumas slopina šaknų ir ūglių augimą, sumažina augalų biomąsę, sutrikdo vandens pasisavinimą, dėl ko sutrinka mitybos pusiausvyra ir atsiranda neigiamų fiziologinių, biocheminių ir molekulinų procesų pokyčių. Šis poveikis kartu sumažina augalų derlių ir kokybę, taip pat dirvožemio derlingumą (Rahman et al., 2024). Kita pagrindinė dirvožemio rūgštėjimo priežastis yra anglies (C) ir sieros (S) virsmas žmogaus valdomose ir nevaldomose ekosistemose, dėl kurio į dirvožemio tirpalą išsiskiria vandenilis (H^+). Dirvožemio rūgštėjimą valdomose ekosistemose pirmiausia lemia netinkamas trąšų naudojimas, tačiau jį taip pat lemia augalų antžeminės biomasės pašalinimas iš žemės ūkio pasėlių ir azoto išplovimas (Bolan NS, Curtinas D., Adriano D.C., 2025).

Dirvožemio rūgštėjimas yra nuolatinė problema tradiciškai intensyviai dirbamuose pasėliuose dėl neefektyvaus ir per didelio tręšimo mineralinėmis azoto (N) trąšomis (Wu et al., 2022) Azoto panaudojimo efektyvumas vidutiniškai tesiekia apie 50 % visame pasaulyje ir apie 60 % Europos pasėlių plotuose (Zhang et al., 2015). Tai reiškia, kad daugiau nei pusė nesunaudoto trąšų azoto sudaro stiprų dirvožemio rūgštingumo šaltinį – kasmetinį vandenilio jonų perteklių 6.1×10^7 kmol H^+ , kurio neutralizavimui per metus prarandama iki $6,1 \times 10^9$ kg CaCO_3 (Hao et al., 2020; Zhang et al., 2021). Prognozuojama, kad ateityje karbonatų neturinčiuose dirvožemiuose bazinių katijonų (Ca^{2+} , Mg^{2+} ir

kt.) metinis praradimas sieks $2,1 \times 10^7$ kmol ir per ateinančius 50 metų sukels stiprų mažiausiai 2,6 mln. ha Europos pasėlių plotų rūgštėjimą, kuris labai sumažins pasėlių plotų maistinių medžiagų būklę ir produktyvumo potencialą (Raza et al., 2024; Zamanian et al., 2021). Dirvožemio rūgštėjimas labai veikia jo derlingumą, sumažindamas ne tik maistinių medžiagų prieinamumą, bet skatindamas dirvožemio struktūrinių dalelių dispersiją, keisdamas mikrobu bendrijos struktūrą, padidindamas metalų tirpumą ir dėl to užteršdamas dirvožemį bei vandenį (Farooqi et al., 2025). Todėl dirvožemio rūgštėjimo kontrolė ir mažinimas yra labai svarbūs siekiant išvengti žemės ūkio dirvožemių degradacijos, o tai galima padaryti taikant geriausią valdymo praktiką ir didinant maistinių medžiagų naudojimo efektyvumą (Zamanian et al. 2024).

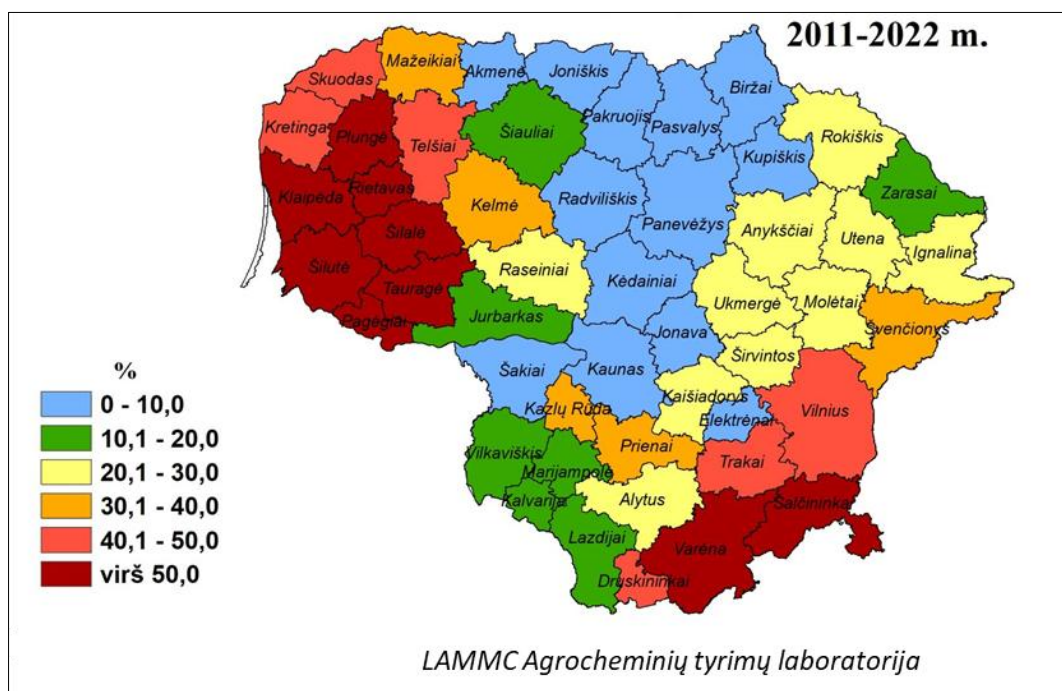
Gausiais ankstesniais (1965-1998m.) tyrimais Lietuvoje nustatyta, kad efektyviausia priemonė dirvožemio rūgštumui neutralizuoti ir augalų derliui esmingai padidinti yra kalkinimas didelėmis dulkių klintmilčių (CaCO_3) normomis. Aštuntame dešimtmetyje, siekiant sumažinti dirvožemio rūgštumą iki pH 6,5–7,0, Vakarų ir Rytų Lietuvoje buvo rekomenduojama kalkinti dirvožemius vidutiniškai kas 5 metus, parenkant kalkinių trąšų normą 3–10 t/ha CaCO_3 , atsižvelgiant į dirvožemio granulimetrinę sudėtį. Buvo teigiama, kad esant tokiam rūgštumui augalai geriausiai dera ir užaugina geresnės kokybės produkciją (Triposkaja ir kt., 2018). Šiuo pagrindu sukurta intensyvi rūgščių dirvožemių kalkinimo ir žemės ūkio augalų auginimo kalkintuose dirvožemiuose sistema bei įdiegta dirvožemių kalkinimo pramoninės gamybos kalkinėmis medžiagomis – dulkiomis klintmilčiais, industrinė technologija (Kalvaitis, Kalvaitienė, 1968; Knašys, 1985; Pleševičius, 1995; Ežerinskas 1995; Eidukevičienė ir kt. 2010). Tuometė rūgščių dirvožemių kalkinimo sistema optimaliai reakcijai (pH_{KCl} 6.5 ir daugiau) pasiekti ir palaikyti, buvo diegiama intensyvios žemdirbystės t.y. intensyvaus mineralinio tręšimo, cheminės apsaugos ir tradicinio gilaus verstuvinio žemės dirbimo fonuose, siekiant maksimalaus augalų derliaus, neatsižvelgiant į dirvožemio ekologinę būklę.

Tuo tarpu nūdienos tvarios žemdirbystės siekis yra išlaikyti aplinkosaugine ir agronomine prasmėmis tinkamiausią dirvožemio valdymo strategiją, garantuojančią pusiausvyrą tarp pelningo ūkininkavimo ir aplinkos kokybės išsaugojimo, kas numatyta Europos Sąjungos 2030 m. dirvožemio Strategijoje paremtoje Europos žaliuoju kursu (Europos Komisijos Komunikatas, 2021). Pasikeitusi dirvožemio vizija numatant, kad dirvožemio apsauga ir tvarus jo naudojimas, bei atkūrimas taptų įprasta praktika reikalauja pokyčių dirvožemio valdyje, tame tarpe ir dirvožemio reakcijos valdyje. Tai reiškia, jog būtina peržiūrėti intensyvioms augalų auginimo technologijoms sukurta rūgščių dirvožemių kalkinimo sistemą, ją labiau orientuojant į tvarumą, dirvožemio sveikatą bei aplinkos kokybę. Minėtų teiginių kontekste šio darbo tikslas yra įvertinti dirvožemių rūgštėjimo valdymo galimybes, identifikuojant agronominiu, dirvosauginiu, aplinkosauginiu ir ekonominiu požiūriu svarbiausias priemones šių dirvožemių plotų mažinimui šalyje kintančio klimato sąlygomis.

1. TYRIMO METODIKA

1.1. Tyrimo objektas

Rūgštūs žemės ūkio paskirties dirvožemiai – įvairios granulometrinės sudėties išplautžemiai, balkšvažemiai ir smėlžemiai, susiformavę veikiant natūraliems dirvodaros procesams, kurių daugiausia (40,1-50,0 ir net virš 50%) Rytų, Pietryčių ir Vakarų Lietuvoje (1 pav.).



1 pav. Sąlygiškai rūgščių ($\text{pH} < 5,5$) dirvožemių pH pokyčiai Lietuvoje (LAMMC Agrocheminių tyrimų laboratorijos duomenys) (Staugaitis, 2023)

Toks sąlygiškai rūgščių ($\text{pH} < 5,5$) dirvožemių plotų pasiskirstymas yra susijęs su gamtiniais veiksniais: dirvodarine uolienu ir karbonatingojo sluoksnio gyliu. Vakarų Lietuvoje dirvožemiai iš kitų išsiskiria tuo, kad jų karbonatingasis sluoksnis yra giliau (1,5-3m gylyje), o podirvis dėl intensyvaus išplovimo prieš kalkinimą buvo labai rūgštus ir vidutinio rūgštumo (Staugaitis, Vaišvila, 2015).

Naujausių (1999 - 2013m) agrocheminių tyrimų duomenimis Rytų ir Vakarų Lietuvoje rūgštūs dirvožemiai sudaro atitinkamai 25,0 ir 39,5 % nuo bendro žemės ūkio paskirties dirvožemių ploto. Dirvožemio rūgštėjimo procesas nuolat vyksta ir kas 10-15 metų rūgščių dirvožemių padidėja apie 3,8 %.

1.2. Tyrimo metodai

Darbas atliktas taikant šiuos tyrimo metodus:

1. Mokslinės literatūros analizė
2. Mokslinių tyrimų analitinių duomenų analizė: išanalizuoti ilgalaikių ir trumpalaikių kalkinimo ir jo derinio su organiniu tręšimu lauko eksperimentų duomenys
3. Projekto antrojo etapo laikotarpiu (2025m.) vykdyto tikslojo lauko eksperimento gautų duomenų analizė.

***Mokslinės literatūros duomenų analizė.** Surinkti, išanalizuoti ir susisteminti paskutinio dešimtmečio mokslinių tyrimų literatūriniai duomenys apie dirvožemio rūgštėjimo procesą, pasekmes ir priemones padedančias spręsti šio proceso švelninimą kintančio klimato ir tvarios aplinkos kontekste.*

***Mokslinių tyrimų analitinių duomenų analizė.** Apibendrinti Lietuvos žemdirbystės instituto Vėžaičių filiale vykdytų 2-jų ilgalaikių (66 ir 76 metų trukmės) ir daugiau kaip 5-ių trumpalaikių (5-6 metų) bei užsakomųjų tyrimų (1 -3 metų) su Lietuvos ūkio subjektais tikslųjų lauko eksperimentų analitiniai duomenys įvairaus intensyvumo kalkinimo ir jo derinio su organiniu tręšimu (tradicinio žemės dirbimo fone), tematika.*

Ilgalaikių lauko eksperimentų, nuo 2023 m. įtrauktų į Europos ilgalaikių eksperimentų tinklą trumpas pristatymas:

- *Eksperimentas I* „Nepasotintųjų balkšvažemių produktyvumo išsaugojimo galimybės agrarinėse ekosistemose“ (įrengtas 1959m.)
- *Eksperimentas II* „Rūgštėjančių dirvožemių tvarumo įvertinimas agroekosistemose po įvairaus intensyvumo kalkinimo“ (įrengtas 1949m.).

Eksperimentai įrengti drenuotame Nepasotintajame balkšvažemyje (*Bathyglyic Dystric Glosic Retisol*) (Samališkės km. Klaipėdos r.) Dirvožemis susidaręs mažai karbonatinguose lengvuose ir vidutinio sunkumo skeletinguose moreniniuose priemoliuose. Karbonatai išplauti giliau nei 2 metrai, todėl šio dirvožemio profiliui būdinga labai rūgšti reakcija (pH_{KCl} 3,9 – 4,2) ir net keliolika kartų kritinę ribą viršijantis judriojo aliuminio (Al) kiekis (50-403mg kg⁻¹).

Pirmojo eksperimento tyrimų tikslas – įvertinti iš prigimties rūgščiame ir pakalkintame moreninio priemolio dirvožemyje ilgalaikio tręšimo mėšlu ir kitomis organinėmis trąšomis poveikį dirvožemio kokybiniams rodikliams, biogeninių elementų pokyčiams ir agrarinės ekosistemos produktyvumui.

Antrojo eksperimento tyrimo tikslas – įvertinti anglies sekvestracijos padidinimo galimybes, taikant tvarias augalų auginimo technologijas, nukreiptas dirvožemio degradacijos ir šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos mažinimo linkme po įvairaus intensyvumo kalkinimo rūgštėjančiuose dirvožemiuose.

Projekto antrojo etapo laikotarpiu (2025 m.) vykdyto tikslinio lauko eksperimento duomenų analizė. Detali tyrimų metodika pateikta skyrelyje „Naujos kalkingos medžiagos“

2. TYRIMO REZULTATAI

2.1. Priemonės dirvožemių rūgštėjimui mažinti

2.1.1 Tradicinės ir kitos kalkinės medžiagos

Kalkinės medžiagos yra veiksmingiausia priemonė rūgščių dirvožemių pH ir susijusiam Al toksiškumui koreguoti (Damon et al., 2018). Kalkinių medžiagų veiksmingumą, neutralizuojant rūgštų dirvožemį, pirmiausia lemia jų grynumas (kalcio karbonato kiekis), dalelių dydis (stambumas) jų paskleidimo tolygumas ir įterpimas į dirvožemį (Whitten et al. 2001).

Kalkines medžiagas skirstome į dvi pagrindines grupes gamtinės kilmės ir pramonės atliekines.

Kalkinių medžiagų (tradicinių ir kitų) cheminė sudėtis ir fizinė forma. Dirvožemių kalkinimui gali būti naudojamos įvairios kilmės kalkinės medžiagos. Gamtinės kilmės: klintmilčiai, degtos ir gesintos kalkės, dolomitmilčiai, kreida, klintinis tufas, sapropelis ir pramonės atliekos: defekatas ir medžio pelenai. Cheminiu požiūriu šios medžiagos – tai kalcio ir magnio junginiai, iš kurių svarbiausias kalcio karbonato (CaCO_3) kiekis reikalingas neutralizuoti rūgštų dirvožemį.

- **Tradicinės gamtinės kilmės kalkinės medžiagos** yra kalcio ir magnio karbonatai. Populiariausi natūralių kalkinių medžiagų šaltiniai yra klintis (kalcitinė arba dolomitinė), kreida, mergelis, dolomitas, midijų kriauklių miltinė frakcija, degtos (negesintos) kalkės arba hidratuotos (gesintos) kalkės.

Klintis yra nuosėdinė uoliena, daugiausia sudaryta iš kalcio karbonato kalcito (CaCO_3) arba kalcio magnio karbonato mineralų pavidalu (DiPietro 2018). Klinties cheminė sudėtis: kalcio karbonatas CaCO_3 88–94 %, savyje turintis ir magnio karbonato (MgCO_3): 4–8 %, ir turinti labai nedidelius kiekius geležies, mangano, sieros, vario, cinko, molibdeno. Tai labiausiai naudojama kalkinė medžiaga.

Dolomitas yra nuosėdinė karbonatinė uoliena, kurioje yra daug kalcio magnio karbonato mineralo. Ši kalkinė medžiaga gaunama smulkinant ir malant dolomito uolieną. Cheminė sudėtis: kalcio – magnio karbonatas $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ – kalcio karbonatas (CaCO_3): 52–56 %, magnio karbonatas

($MgCO_3$): 35–45 % dalelių dydis 0-2 mm. Kitos medžiagos: nedideli kiekiai geležies, silicio, molibdeno ir kitų mikroelementų kiekiai.

Kreida taip pat yra nuosėdinė uoliena, savo sudėtimi panaši į klintį, bet porėtesnė ir minkštesnė nei klintis (Fabricius, 2007).

Mergelis yra nuosėdinė kalcio karbonato uoliena, kurioje yra įvairus molio ir dumblo kiekis (Górniak 2011).

Midijų kriauklių dulki (miltinė) frakcija gaunama biologiškai indukuoto kalcio karbonato nusodinimu iš jūros vandens gyvūnų kiautų (Falini et al., 1996).

- **Nepagrindinės (atliekinės) medžiagos rūgščių dirvožemių neutralizavimui** yra dažniausiai pramonės atliekos: medžio pelenai, cukrinių runkelių ir popieriaus pramonės atliekos ir kt.. Visoms joms būdinga, kad turi nemažus kiekius kalcio, bet ir kitų priemaišų.

Defekatas cukraus fabriko gamybos atlieka, turinti 80-90 % $CaCO_3$. Defekato sudėtyje organinės medžiagos yra 10-14 %, azoto – 0,4-0,7 %, fosforo – 0,9-1,7 %, kalio – 0,1-0,8 % ir mikroelementų. Cukraus fabriko kalkių defekatas yra per drėgnas skleisti – drėgmė siekia 40–50 ar net 60 procentų. Prieš kalkinimą jį reikia išdžiovinti iki 30 proc. drėgmės. Kalkių defekatas, kaip kalkinė medžiaga/ trąša pasiteisina rūgščiuose dirvožemiuose. Skandinavijos šalyse (Danijoje, Švedijoje) iki 10 t ha⁻¹ kalkių defekato naudojama kas 3–5 metai. Tai palyginti pigi dirvožemio rūgštumą mažinanti, dirvų struktūrą gerinanti medžiaga, praturtinanti dirvožemį pagrindinėmis maisto medžiagomis bei mikroelementais.

Medžio pelenai – natūralus šalutinis medienos deginimo produktas, kuriame gausu Ca – 40 % yra ir kitų makro ir mikro elementų (K, P, N, Cu, Si ir kt.) bet ir sunkiųjų metalų. Pelenus galima naudoti rūgščių dirvožemių kalkinimui tik atsižvelgiant į reikalavimus **LR Aplinkos ministro 2011 m. sausio 5 d. įsakymas Nr. D1-14**.

Dirvožemio kalkinimui naudojamos tradicinės kalkinės medžiagos (1 lentelė) skiriasi ne tik savo kilme, bet ir chemine sudėtimi, pagal kurią grupuojamos sekančiai:

- ✓ karbonatine $CaCO_3$ – klintis ir dolomitai – $CaMg(CO_3)_2$,
- ✓ hidroksidines $Ca(OH)_2$ – gesintos kalkės,
- ✓ oksidines CaO – degtos kalkės.

Visos išvardintos kalkinės medžiagos esmingai skiriasi pagal tirpumą vandenyje, neutralizuojančią vertę ir kalcio karbonato ekvivalentą (1 lentelė).

Kalcio karbonato didžiausią ekvivalentą (179 %) turi oksidinė forma – degtos kalkės, nežymiai mažesnę (136 %) turi hidroksidinė forma – gesintos kalkės, santykinai mažiausią (109 %) turi natūralios kilmės karbonatinės kalkinės medžiagos – dolomitmilčiai. Nustatyta, kad grynas $MgCO_3$ gali neutralizuoti 1,2 karto daugiau rūgščių negu $CaCO_3$. Kadangi kalkinių medžiagų suminė neutralizuojanti vertė išreiškiama kalcio karbonato (ar kalcio oksido) ekvivalento procentine dalimi,

tai ir kalkinių medžiagų neutralizuojanti vertė kinta tuo pačiu eiliškumu: santykinai didžiausia neutralizuojanti vertė yra oksidinės formos, o mažiausia – karbonatinės formos kalkinių medžiagų. Kalkinant oksidinėmis kalkinėmis medžiagomis, neutralizacijos reakcija dirvožemyje vyksta labai greitai. Natūralios kilmės karbonatinės kalkinės medžiagos reaktiškumo atžvilgiu mažiau aktyvios nei oksidinės ar hidroksoidinės, todėl dirvožemyje rūgštumo neutralizacijos reakcija vyksta lėtai.

1 lentelė. Dažniausiai naudojamos natūralios kalkinės medžiagos ir jų charakteristikos*

Kalkinė medžiaga	Cheminė sudėtis	Molekulinė masė (g)	Tirpumas vandenyje (g/L)	pH	Neutralizuojanti vertė (% CaO)	Kalcio karbonato ekvivalentas (%)
Klintis	CaCO ₃	100	0,015	8,5-10	44-55	100
Kreida	CaCO ₃	100	0,015	8-9	44-55	100
Dolomitas	CaMg(CO ₃) ₂	184,3	0,038	8,5-9	50-56	60-109
Degtos kalkės	CaO	56	1,338	12,5-13,5	80-95	179
Gesintos kalkės	Ca(OH) ₂	74	1,85	12,5-13,5	70-72	136
Kriauklės (midijų)	CaCO ₃	100	0,015	9,8	45-52	90-100

Pastaba* (pagal Fabricius 2007; Górnjak 2011; Falini ir kt., 1996)

Oksidinės (degtos kalkės) kalkinės medžiagos yra labai reaktyvios – neutralizuoja ypatingai greitai. Hidroksoidinės (gesintos kalkės – kalcio hidroksidas) – veikia greitai. Karbonatinės (klyntys) veikia lėčiau ir jų neutralizavimo poveikis yra ilgalaikis, palyginus su oksidinės ir hidroksoidinės. Dėl greito ir stipraus jų poveikio naudojimas turi būti atsargus – negalima naudoti didelių normų, kad nepakenktų dirvožemio biotai bei augalams. Lenkai oksidinių kalkinių medžiagų siūlo naudoti – 500 – 800 kg ha⁻¹ (iki 1 t ha⁻¹). Trumpiausias neutralizavimo poveikis yra oksidinių ir hidroksoidinių.

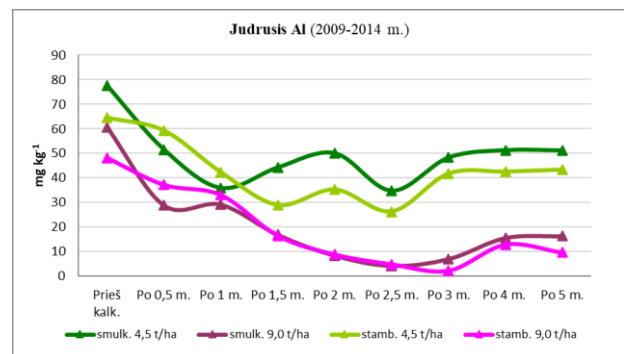
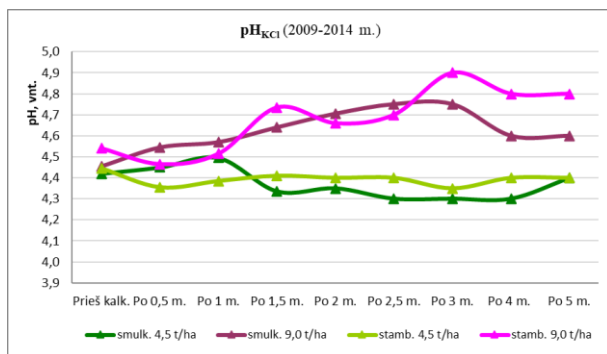
Dirvožemio kalkinimui naudojamos kalkinės medžiagos pagal fizinę formą (dalelių dydį) gali būti:

- ✓ dulkyos (miltinė forma)
- ✓ trupintos
- ✓ granuliuotos

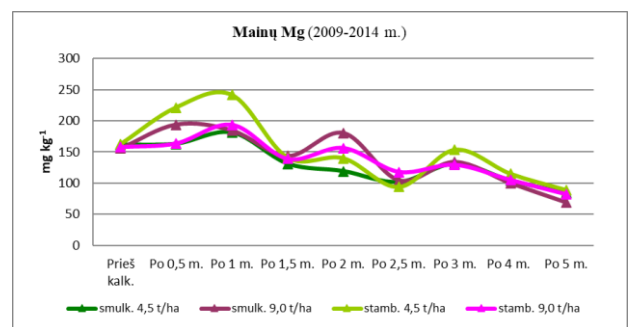
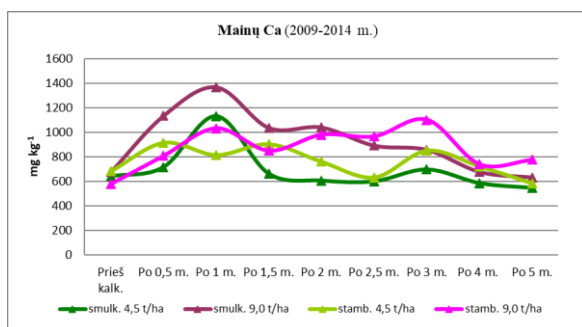
Kalkinių medžiagų neutralizuojantis poveikis, priklauso nuo kalkinių medžiagų dalelių dydžio, diferencijuojamas sekančiai: kai dalelių dydis < 0,3 mm (neutralizuojančio poveikio efektyvumas 100 %), kai dalelių dydis nuo 0,3 iki 0,85 mm (neutralizuojančio poveikio efektyvumas 60 %), o kai įterpiamos dalelės > 0,85 mm (neutralizuojančio poveikio efektyvumas 0,1 %) (Stone et al., 1998). Todėl pagal neutralizuojantį poveikį (jo mažėjimo linkme) kalkinės medžiagos grupuojamos sekančiai: dulkyos, granuliuotos, trupintos. Greičiausiai veikia dulkyos kalkinės medžiagos, tik jų

išbėrimas, palyginus su granuliuotomis yra sudėtingesnis, nes reikalinga speciali technika (Ossom and Rhykerd, 2008). Dulkių kalkinių medžiagų neutralizuojantis veikimas pasireiškia po 10 -12 d. kartais po 7 d. Neutralizavimo greitis priklauso nuo aplinkos sąlygų – gero sąlyčio su dirvožemiu ir optimalios drėgmės kiekio. Granuliuotos kalkinės medžiagos užima tarpinę padėtį tarp dulkių ir trupintų. Granuliuotos kalkinės medžiagos būna stambesnės ir smulkesnės frakcijos. Europos šalyse granuliuotos kalkinės medžiagos pagrinde naudojamos palaikomajam kasmetiniam dirvų kalkinimui (Pierce, Warncke, 2000). Čekijoje pagrindiniam kalkinimui naudojamas (10,0 t ha⁻¹ kartą per 7 metus) kalkinių medžiagų produktas „Fertdolomite“ – 4 % CaO + 16 % MgO; 3 % N; 2,5 % P₂O₅; ir 3,0 % K₂O (Kovacevic ir kt., 2009). Kanadoje palaikomajam dirvožemių kalkinimui naudojama (500 kg ha⁻¹) granuliuotos kalkinės medžiagos „Calcipril“ – CaO 51 % arba „Magpril“ – CaO 46 % ir MgO 15 % (Lalande ir kt., 2009).

Kalkinių medžiagų granulių dydis lemia neutralizacijos reakcijos greitį dirvožemyje ir kalkinės medžiagos kiekį. Efektyviausiai ir greičiausiai rūgštų dirvožemį neutralizuoja smulkios granuliuotos kalkinės medžiagos dėl didesnio paviršiaus ploto ir geresnio sąlyčio su dirvožemiu. LAMMC ŽI Vėžaičių filiale atlikti tyrimai parodė, kad pakalkinus granuluotų kalkių smulkios frakcijos 0,1-2 mm ir stambios frakcijos – 2-4 mm dydžio 0,5 ir 1,0 normomis pagal hidrolizinį rūgštumą (4,5 t ha⁻¹ ir 9 t ha⁻¹) nustatyta, kad pirmiausia rūgštų dirvožemį pradėjo neutralizuoti smulkioji frakcija, vėliau stambesnioji frakcija (2 ir 3 pav.).



2 pav. Skirtingo stambumo granuluotų kalkinių medžiagų poveikis dirvožemio pH_{KCl} rodikliui ir judriojo Al kiekiui



3 pav. Skirtingo stambumo granuluotų kalkinių medžiagų poveikis mainų Ca ir Mg kiekiams dirvožemyje

Rūgštumo sumažinimo poveikis, praėjus 5 metams, greičiau pradėjo mažėti nuo smulkesnės frakcijos ir mažesnės normos ($4,5 \text{ t ha}^{-1}$), palyginus su stambesniąja frakcija ir didesne (9 t ha^{-1}) norma (2 ir 3 pav.).

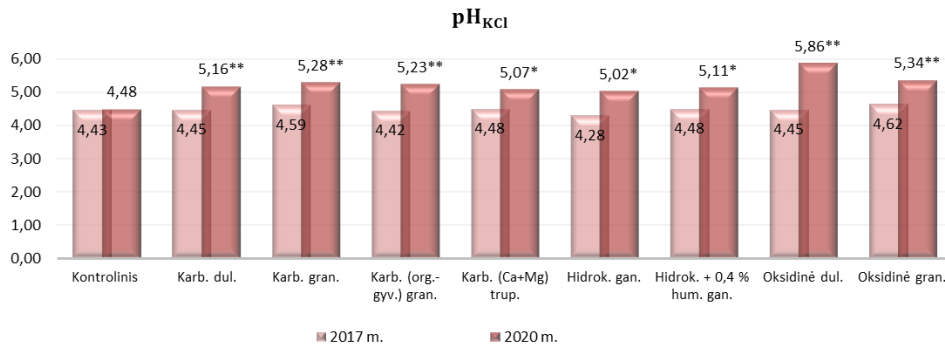
Vienkartinis kalkinimas stambesne frakcija (2-4 mm) santykinai didelėmis ($4,5 \text{ t ha}^{-1}$ ir $9,0 \text{ t ha}^{-1}$) KALK V (kalktrašės) normomis labai rūgštaus dirvožemio rodikliams (pH ir judriajam Al, mainų Ca ir Mg) veiksmingas išlieka ir po pakalkinimo praėjus 5 metams. Dirvožemis dar yra neutralizuotas iki pH 4,6-4,8, ir turintis judriojo aliuminio kiekį ($13,0 - 15,6 \text{ mg kg}^{-1}$) dar nesiekiantį augalams toksiško.

Kadangi kalkinės medžiagos skiriasi ne tik pagal fizinę formą, bet ir pagal cheminę sudėtį, todėl *pagal cheminę sudėtį dirvožemio rūgštumo neutralizacija pasiskirsto sekančiai mažėjančia tvarka oksidinės → hidrosidinės → karbonatinės*.

Dirvožemio neutralizavimo greitis ir poveikio trukmė priklauso ne tik nuo kalkinių medžiagų frakcijos dydžio, bet labai svarbi yra medžiagų cheminė sudėtis bei gamtinė aplinka (dirvožemio genetinė grupė, granulimetrinė sudėtis ir klimatinės sąlygos), kurioje tos kalkinės medžiagos išberiamos. Skirtingos cheminės sudėties ir fizinės formos kalkinių medžiagų efektyvumo įvertinimui 2017-2020 m. buvo atlikti tikslieji trumpalaikiai eksperimentai moreninio priemolio nepasotintajame balkšvažemyje (*Bathygleyic Distric Glossic Retisol*) (LAMMC ŽI Vėžaičių filiale) ir priemolio paprastajame išplautžemyje (*Haplic Luvisol*) (LAMMC ŽI Vokės filiale). Kalkinimas atliktas pagal schemą: 1) kontrolinis variantas (nekalkinta), 2) karbonatinė, dulki, 3) karbonatinė, granuliuota, 4) karbonatinė (organinės-gyvūninės kilmės), granuliuota, 5) karbonatinė (Ca+Mg), trupinta, 6) hidrosidinė, granuliuota, 7) hidrosidinė su 0,4 % humuso priedu, granuliuota, 8) oksidinė, dulki, 9) oksidinė, granuliuota. Nepasotintasis balkšvažemis kalkintas tris metus po $2,0 \text{ t ha}^{-1} \text{ CaCO}_3$ prieš augalų sėją arba nuėmus derlių keturlaukėje sėjomainoje: avižos → žieminiai kvietrugiai → sėjamieji žirniai → žieminiai kviečiai. Paprastasis išplautžemis, priklausomai nuo dirvožemio rūgštumo, kalkintas $2,0 \text{ t ha}^{-1} \text{ CaCO}_3$ vieną kartą pradžioje keturlaukės rotacijos: vasariniai kviečiai → sėjamieji žirniai → žieminiai rugiai → vasariniai kvietrugiai

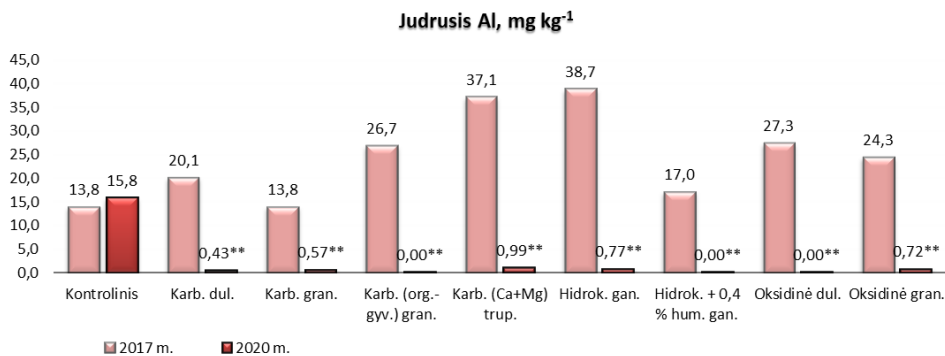
Moreninio priemolio nepasotintajame balkšvažemyje kalkinant skirtingomis kalkinėmis medžiagomis nustatyta, kad pH_{KCl} rodiklis padidėjo nuo 4,3-4,6 iki 5,0-5,9 vnt. Didžiausią įtaką turėjo oksidinė dulki (4 pav.), judriojo Al sumažėjo nuo 13,8-38,7 mg kg^{-1} iki augalams nekenksmingo 0,43-0,99 mg kg^{-1} kiekio (5 pav.). Lauko eksperimente naudotos visos kalkinės medžiagos turėjo esminį poveikį neutralizuojant judrųjį Al. Kalcis svarbiausias elementas rūgštaus dirvožemio neutralizavimui, tačiau jis būtinas ir augalams nuo pat dygimo normaliam šaknų ir antžeminių organų augimui. Nekalkintame dirvožemyje mainų Ca buvo mažai (760 mg kg^{-1}), o pakalkintame visomis kalkinėmis medžiagomis (išskyrus karbonatinę Ca+Mg) jo kiekis padidėjo 1,1-1,6 karto (6 pav.). labiausiai jo kiekis padidėjo nuo smulkiausių t.y. dulkių (karbonatinės ir oksidinės) kalkinių medžiagų. Mainų Mg

buvo 60,3–84,3 mg kg⁻¹ ir po kalkinimo beveik visais atvejais, išskyrus trupintą karbonatinę (Ca + Mg) kalkinę medžiagą, jo kiekis nepakito. Pakalkinus trupinta karbonatine (Ca+Mg) kalkine medžiaga mainų Ca kiekis nepakito, tačiau mainų Mg kiekis padvigubėjo nuo 84 mg kg⁻¹ iki 152 mg kg⁻¹, o toks Ca ir Mg santykis (5:1) nėra palankus augalams. Visais kitais atvejais Mg buvo vidutiniškai 73,4–84,1 mg kg⁻¹.



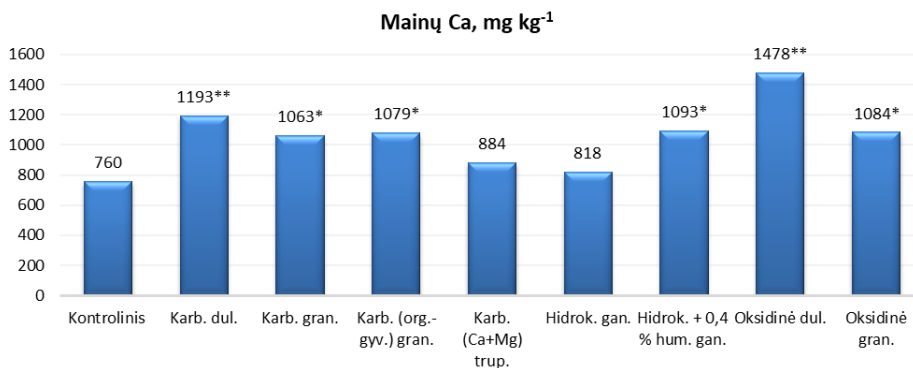
2017 m. prieš įrengiant lauko eksperimentą, 2020 m. – eksperimento pabaigoje

4 pav. Skirtingų kalkinių medžiagų įtaka dirvožemio pH_{KCl} rodikliui



2017 m. prieš įrengiant lauko eksperimentą, 2020 m. – eksperimento pabaigoje

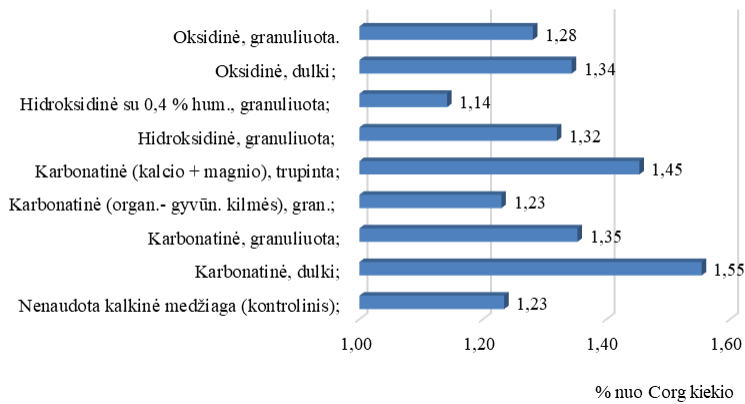
5 pav. Skirtingų kalkinių medžiagų įtaka judriojo Al kiekiui dirvožemyje



6 pav. Skirtingų kalkinių medžiagų įtaka kalčio kiekiui dirvožemyje 2020 m.

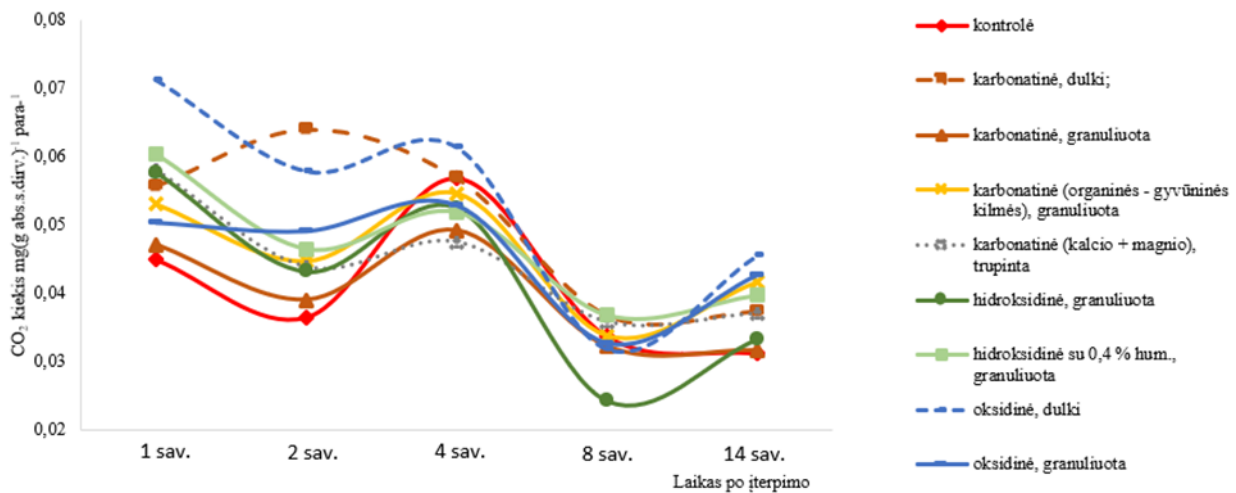
Dirvožemyje labai svarbus yra organinės C kiekis – tai dirvožemio kokybės ir ekologinio stabilumo rodiklis. Dirvožemius kalkinant, organinės C kiekis didėjo, priklausomai nuo kalkinės medžiagos cheminės sudėties. Pakalkinus hidroksidinė su 0,4 % humuso priedu granuluota kalkine medžiaga, dirvožemyje esmingai sumažėjo labilių (vandeninyje tirpių) C junginių kiekis, o tai rodo, kad dirvožemyje vyksta C junginių transformacija – jų sudėtyje atsiranda daugiau stabilių, fizikiniais

ir cheminiais ryšiais apsaugotų huminių medžiagų. Tuo tarpu dirvožemį kalkinant oksidine dulkia kalkine medžiaga nustatytas esminis organinės C kiekio sumažėjimas (0,18 proc. vnt.), palyginus su kitomis kalkinėmis medžiagomis (7 pav.).



7 pav. Labilios organinės anglies dalis dirvožemyje, % nuo organinės anglies kiekio.

Įvertinus natūraliai rūgštaus ir pakalkintų dirvožemių mikrobiologinį aktyvumą, nustatyta, kad kalkinių medžiagų įterpimas, nepriklausomai nuo jų cheminės sudėties ir fizinės formos, turėjo teigiamą įtaką įvairių dirvožemio mikroorganizmų fiziologinių grupių gausumui ir biologiniam aktyvumui. Šiuo požiūriu ypač išsiskyrė dulkiškos formos kalkinės medžiagos, nors jų poveikio trukmė, palyginus su kitomis kalkinėmis medžiagomis, trumpesnė (8 pav.).



8 pav. Dirvožemio mikroorganizmų kvėpavimo intensyvumo dinamika po kalkinių medžiagų įterpimo.

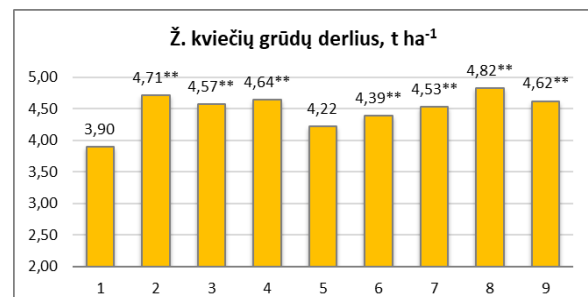
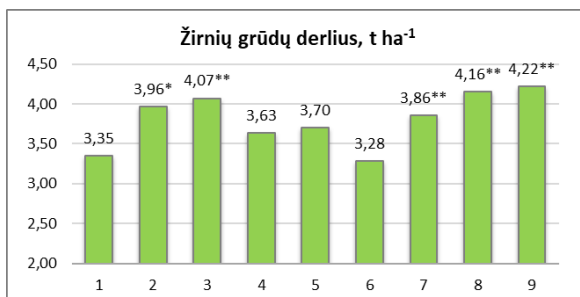
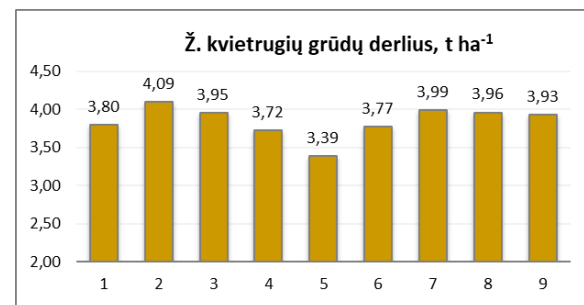
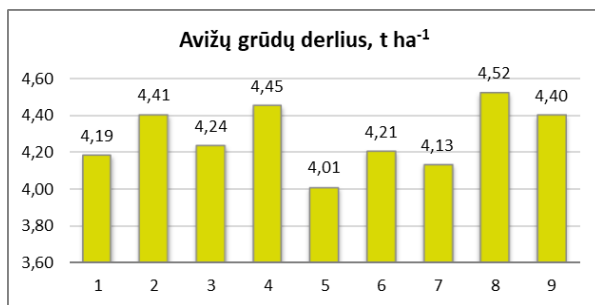
Tirtų kalkinių medžiagų poveikis dirvožemio, patvarių trupinėlių (>0,25 ir >1,0 mm) susidarymui esminės įtakos neturėjo, išskyrus karbonatinę (organinės- gyvūninės kilmės) granuliuotą kalkinę medžiagą, kuria pakalkintame dirvožemyje šių trupinėlių kiekis buvo 13 ir 3,7 % didesnis nei natūraliai rūgščiame dirvožemyje. Mažiausi šių vandenyje patvarių trupinėlių (>0,25 ir >1,0 mm) kiekiai nustatyti dirvožemyje pakalkintame dulkia oksidine kalkine medžiaga arba jų buvo 50 ir 36 % mažiau nei nekalkintame dirvožemyje. Toks ženklus vandenyje patvarių trupinėlių kiekio

sumažėjimas siejamas su šiame dirvožemyje nustatytu mažiausiu (1,30 %) organinės C kiekiu (2 lentelė).

2 lentelė. Skirtingų kalkinių medžiagų įtaka dirvožemio (0-20 cm sluoksnio) vandenyje patvarių agregatų kiekiui (%) žieminių kviečių pasėlyje, 2020 08 20

Variantas	Agregatų dydis, mm	
	>1,0	>0,25mm
1. Nenaudota kalkinė medžiaga (kontrolė)	7,01	40,28
2. Karbonatinė, dulki	6,52	36,55
3. Karbonatinė, granuliuota	6,47	39,07
4. Karbonatinė (organinė - gyvūninės kilmės), granuliuota	7,89	45,50
5. Karbonatinė (kalcis + magnis), trupinta	7,46	35,05
6. Hidroksidinė, granuliuota	7,27	39,64
7. Hidroksidinė su 0,4 % humuso, granuliuota	5,87	33,18
8. Oksidinė, dulki	5,15	26,86*
8. Oksidinė, granuliuota	6,51	33,45
R ₀₅	2,319	8,269

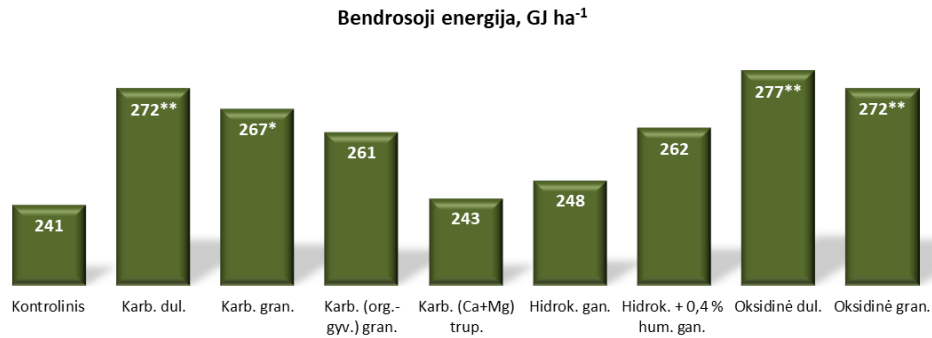
Kalkinių medžiagų įtaka sėjomainos augalams priklausė nuo jų jautrumo dirvožemio rūgštumui. Didžiausias esminis teigiamas kalkinimo poveikis buvo sėjamųjų žirnių ir žieminių kviečių derliui. Sėjamųjų žirnių esminis derliaus padidėjimas buvo gautas kalkintame karbonatine dulkia ir granuliuota, hidroksidine su 0,4 % humuso priedu bei oksidine dulkia ir granuliuota. Žieminių kviečių grūdų derliaus esminis padidėjimas buvo beveik nuo visų, išskyrus trupintą karbonatinę (Ca + Mg). Sėjamųjų avių ir žieminių kvietrugių derlingumui kalkinimas esminės įtakos neturėjo (9 pav.).



1) kontrolinis (nekalkinta), 2) karbonatinė, dulki, 3) karbonatinė, granuliuota, 4) karbonatinė (organinės-gyvūninės kilmės), granuliuota, 5) karbonatinė (Ca + Mg), trupinta, 6) hidroksidinė, granuliuota, 7) hidroksidinė su 0,4 % humuso priedu, granuliuota, 8) oksidinė, dulki, 9) oksidinė, granuliuota kalkinė medžiaga

9 pav. Skirtingų kalkinių medžiagų įtaka sėjomainos augalų derliams nepasotintajame balkšvažemyje (2017-2020 m.)

Vertinant kalkinių medžiagų įtaką bendrosios energijos kiekiui sėjomainos augaluose per 4 metus nustatyta, kad kalkinant dulkiomis ir granuliuotomis karbonatinėmis bei oksidinėmis kalkinėmis medžiagomis bendrosios energijos sukaupimą augaluose padidino 10,8-14,9 %, palyginus su nekalkintu dirvožemiu (10 pav.).



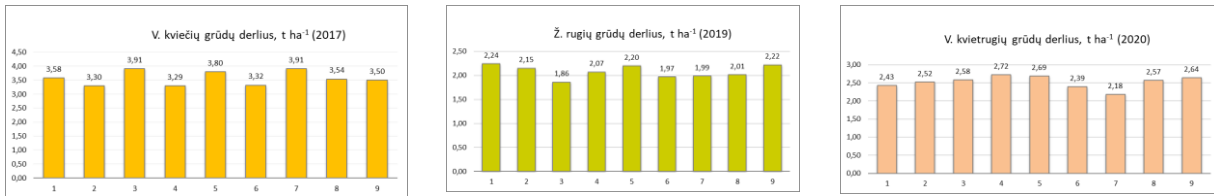
10 pav. Bendrosios energijos susikaupimas sėjomainos augaluose per 4 metus

Priesmėlio paprastajame išplautžemyje nustatyta, kad rūgštėjančio priesmėlio vienkartinio kalkinimo 2,0 t ha⁻¹ CaCO₃ poveikyje padidėjo pH, sumažėjo judriojo Al kiekis. Pagal dirvožemio pH didėjimą tirtos kalkinės medžiagos išsidėsto sekančia mažėjančia tvarka: karbonatinė dulki → karbonatinė (organinės- gyvūninės kilmės) granuliuota → karbonatinė (Ca+Mg) trupinta → oksidinė dulki → hidroksidinė granuliuota su 0,4 % humuso priedu. Minėtų kalkinių medžiagų poveikyje panašios kitimo tendencijos buvo ir judriojo Al kiekiui. Labiausiai judriojo Al sumažėjo (nuo 2,58 ir 0,87 iki 0,04 mg kg⁻¹) dirvožemyje pakalkintame dulkiomis karbonatine ir oksidine kalkinėmis medžiagomis (3 lentelė).

3 lentelė. Skirtingų kalkinių medžiagų įtaka pH_{KCl} ir judriojo Al dirvožemyje pokyčiams

Variantas	pH			Judrusis Al, mg kg ⁻¹		
	2017 m.	2020 m.	Pokytis ±	2017 m.	2020 m.	Pokytis ±
1. Nenaudota kalkinė medžiaga (kontrolė)	5,55	5,60	0,36	0,04	0,43	0,39
2. Karbonatinė, dulki	5,05	5,20	-3,72	2,58	0,04	-2,54
3. Karbonatinė, granuliuota	5,23	5,23	-1,73	0,60	0,51	-0,09
4. Karbonatinė (organinė - gyvūninės kilmės), granuliuota	5,10	5,23	-3,64	0,45	0,81	0,36
5. Karbonatinė (kalcis + magnis), trupinta	5,07	5,20	-3,73	0,75	0,31	-0,44
6. Hidroksidinė, granuliuota	5,35	5,20	1,34	0,04	0,04	0,00
7. Hidroksidinė su 0,4 % humuso, granuliuota	5,07	5,20	-1,15	0,75	0,60	-0,15
8. Oksidinė, dulki	5,10	5,17	-4,56	0,87	0,04	-0,83
8. Oksidinė, granuliuota	5,00	5,00	-1,27	1,51	0,79	-0,72

Įvertinus sėjomainos augalų derlių nustatyta, kad pakalkintame dirvožemyje didėjo vasarinių kviečių ir vasarinių kvietrugių grūdų derlius, gerėjo grūdų kokybė, didėjo azoto susikaupimas grūdų derliuje (10 pav.). Palyginus su kitomis kalkinėmis medžiagomis, vienkartinis kalkinimas karbonatine granuliuota, karbonatine (Ca+Mg) trupinta ir oksidine granuliuota medžiagomis bendrosios energijos sukaupimą augaluose padidino 5,2-8,1 %.



10 pav. Skirtingų kalkinių medžiagų įtaka sėjomainos augalų derliams paprastajame priesmėlio išplautžemyje (2017-2020 m.)

Apibendrinus įvairios cheminės sudėties ir fizinės formos kalkinimo nedidelėmis kalkinių medžiagų normomis poveikį dirvožemio savybėms ir sėjomainos augalų derliui skirtingomis dirvožemio ir klimato sąlygomis galima teigti:

Vakarų Lietuvoje vyraujančios dirvožemio grupės – Nepasotintojo balkšvažemio kalkinimas sąlyginai nedidele (2,0 t ha⁻¹ CaCO₃) skirtingų kalkinių medžiagų norma 3 kartus keturlaukėje sėjomainoje esminiai sumažino dirvožemio rūgštumą. Pakalkintame dirvožemio ariamajame sluoksnyje (0-20 cm gylyje) pH_{KCl} rodiklis padidėjo per 0,59-1,41 vnt., judrusis Al buvo imobilizuotas netirpiuose junginiuose arba sumažėjo iki augalams nekenksmingų kiekių (0,43-0,99 mg kg⁻¹). Jeigu nekalkintame dirvožemyje mainų Ca buvo mažai (760 mg kg⁻¹), tai kalkintame dirvožemyje beveik visomis kalkinėmis medžiagomis jo kiekis padidėjo 1,1-1,6 karto. Svarbiausio dirvožemio kokybinio rodiklio – organinės anglies (C_{org}) kiekio didžiausias esminis sumažėjimas (0,18 proc. vnt.) nustatytas į dirvožemį įterpus oksidines, dulcias kalkines medžiagas. Tokį sumažėjimą galėjo lemti suaktyvėjusi mikroorganizmų veikla, spartinanti organinių liekanų mineralizaciją ir padidėjęs iššiplovimas į gilesnius dirvožemio sluoksnius. Tuo tarpu dirvožemio kalkinimas karbonatinėmis, hidroksidinėmis ir oksidinėmis granuliuotomis kalkinėmis medžiagomis esminės įtakos organinės anglies kiekiui dirvožemyje neturėjo. Įterpus į dirvožemį granuliuotas hidroksidines su 0,4 % humuso priedu kalkines medžiagas, esminiai sumažėja labilių (vandenyje tirpios) anglies junginių kiekis. Tai leidžia teigti, kad šiomis kalkinėmis medžiagomis pakalkintame dirvožemyje vyksta anglies junginių transformacija, persitvarkymas: jų sudėtyje atsiranda daugiau stabilių, fizikiniais ir cheminiais ryšiais apsaugotų huminių medžiagų. Kalkinių medžiagų įterpimas (nepriklausomai nuo kalkinės medžiagos cheminės sudėties ir jos fizinės formos) teigiamai įtakojo skirtingų dirvožemio mikroorganizmų fiziologinių grupių gausumą ir biologinį aktyvumą. Dulcios kalkinės medžiagos poveikis, palyginus su kitomis medžiagomis, mikroorganizmų aktyvumui pasireiškia greičiausiai, tačiau poveikio trukmė neilga.

Moreninio priemolio dirvožemyje, kuriame molio frakcija sudaro 13-15 %, o organinės anglies kiekis mažas -1,48 %, tirtos kalkinės medžiagos neturėjo esminės teigiamos įtakos patvarių agregatų (abiejų frakcijų) kiekiams, išskyrus karbonatinę gyvūninės kilmės granuliuotą kalkinę medžiagą, kuria kalkintame dirvožemyje patvarių agregatų >0,25 mm ir >1,0 mm buvo nežymiai (13 % ir 3,7 %) daugiau nei natūraliai rūgščiame dirvožemyje. O dirvožemyje pakalkintame oksidine (CaO) dulkia kalkine medžiaga nustatyti mažiausi vandenyje patvarių agregatų >0,25 ir >1,0 mm kiekiai, atitinkamai 26,9 % ir 5,2 % arba šie kiekiai buvo 50 % ir 36 % mažesni nei natūraliai rūgščiame dirvožemyje. Toks patvarių agregatų kiekio sumažėjimas šiame dirvožemyje siejamas su mažiausiu (1,30 %) tarp tirtų dirvožemių, organinės anglies kiekiu. Kalkinių medžiagų poveikis augalų derliui priklausė nuo augalų jautrumo dirvožemio rūgštumui. Sėjamųjų žirnių esminis derliaus padidėjimas buvo gautas kalkintame karbonatine dulkia ir granuliuota, hidroksidine su 0,4 % humuso priedu bei oksidine dulkia ir granuliuota. Žieminių kviečių grūdų derliaus esminis padidėjimas buvo beveik nuo visų, išskyrus trupintą karbonatinę (Ca+Mg). Sėjamųjų avižų ir žieminių kvietrugių derlingumui kalkinimas įtakos neturėjo. Vertinant kalkinių medžiagų poveikį bendrosios energijos (BE) kiekiui sėjomainos augaluose per keturis metus nustatyta, kad kalkintame dulkiomis ir granuliuotomis tiek karbonatinėmis, tiek oksidinėmis kalkinėmis medžiagomis BE kiekį padidino 10,8-14,9 %, palyginus su BE nekalkintame dirvožemyje.

Rytų Lietuvoje vyraujančios dirvožemio grupės – priesmėlio Išplautžemio vienkartinis kalkinimas sąlyginai nedidele ($2,0 \text{ t ha}^{-1} \text{ CaCO}_3$) skirtingų kalkinių medžiagų norma sumažina dirvožemio rūgštumą: didėja pH reikšmės, mažėja judriojo aliuminio koncentracija. Labiau mažina rūgštumą karbonatinės kalkinių medžiagų formos (dulki ir granuliuota), karbonatinė (Ca+Mg) trupinta medžiaga ir oksidinė dulki ir hidroksidinė su 0,4 % HR medžiagos. Taip pat kalkinimas turėjo įtakos sėjomainos augalų derliui, priklausomai nuo augalo jautrumo dirvožemio rūgštumui. Vasarinių kviečių ir vasarinių kvietrugių grūdų derlius pakalkintame dirvožemyje didėjo, gerėjo grūdų kokybė, didėjo trąšų azoto įsisavinimas. Ž. rugių produktyvumui kalkinimas įtakos neturėjo arba turėjo silpnai neigiamą poveikį. Šiame rytų Lietuvos regione įvertinant kalkinimą kaip ilgalaikę dirvožemio gerinimo priemonę, galima teigti, kad dirvožemio kalkinimas (2 t ha^{-1} keturiems metams) karbonatine granuliuota medžiaga, karbonatine (Ca+Mg) trupinta medžiaga ir oksidine granuliuota medžiaga labiau padidina bendrosios energijos sukaupimą (+5,2-8,1 %) palyginus su kitomis tirtomis kalkinėmis medžiagomis.

2.1.2. Kalkinimo ir tręšimo derinio parinkimas

Organinių trąšų ir kalkinimo naudojimas neutralizuoja dirvožemio rūgštumą, praturtina dirvožemį maistinėmis medžiagomis ir padidina augalų derlių labiau nei kalkinimas derinyje su mineralinėmis trąšos. Tai rodo, kad augalų augintojai gali taikyti šį metodą, siekdami ilgalaikio

dirvožemio sveikatos gerinimo, kuris atitinka tvarios žemės ūkio praktikos reikalavimus. Siekiant sumažinti dirvožemio rūgštumą efektyvus yra kalkinimo derinys su įvairiais kompostais, biologine anglimi ir kraikniu galvijų mėšlu. Bioanglies naudojimas naudojimas rūgščiame dirvožemyje padidina dirvožemio pH, organinių medžiagų (DOM) kiekį ir katijonų mainų talpumą, maistinių medžiagų įsisavinimą, mikrobu aktyvumą ir įvairovę bei fermentų aktyvumą, o tai mažina neigiamą rūgštingumo poveikį augalams (Huang et al., 2023).

Rūgščiuose dirvožemiuose pagrindinis derlių limituojantis veiksnys yra augalams neprieinamas fosforas. Kalkinės medžiagos padidina augalams prieinamo ir aktyvaus fosforo kiekius dirvožemyje (Szymanska et al, 2008). Ilgalaikiuose kalkinimo tyrimuose vidutinių platumų regionuose nustatyta, kad augalų derlius ir organinės medžiagos kiekis iš esmės padidėja tik tada kai kalkinimas yra nenutrūkstamas ilgalaikis procesas. Tokio kalkinimo tikslas yra palaikyti dirvožemio pH_{H_2O} apie 6,0 (Haynes, Naidu, 1998).

Augalams augti reikia ne tik palankaus pH, bet ir daug pagrindinių maistinių medžiagų. Pagrindinių maistinių medžiagų – azoto (N), fosforo (P), kalio (K) – makroelementų, augalams reikia dideliais kiekiais. Antrinių maistinių medžiagų – kalcio (Ca), magnio (Mg), sieros (S) – augalams reikia vidutiniais kiekiais. Taip pat yra maistinių medžiagų, kurių reikia labai mažais kiekiais, bet kurios yra tokios pat būtinos augalų augimui kaip ir makro bei antrinės maistinės medžiagos – tai mikroelementai: varis (Cu), cinkas (Zn), manganas (Mn), boras (B), geležis (Fe), molibdenas (Mo) ir kt. Dirvožemyje įprastai būna dauguma maistinių elementų, tačiau dažniausiai jų neužtenka žemės ūkio paskirties augalų augimui optimaliam jų derlingumui. Naudojant trąšas augalai aprūpinami maistiniais elementais. Nerūgščiuose dirvožemiuose gausu kalcio ir papildomai jo naudoti nereikia, o rūgščiuose priešingai – šio elemento trūkumas. Trūkstant kalcio, dirvožemio tirpale išivyrąja katijonai (H, Na, K, Al, Fe, Mn) ir suardo tirpalo fiziologinę pusiausvyrą, ir augalai nebegali įsisavinti maisto medžiagų. Be to rūgščiuose dirvožemiuose tręšiant fosforu, jis pereina į netirpius junginius (geležies ir aliuminio fosfatus) ir augalų nebeįsisavinamas. Todėl šiuose dirvožemiuose vienas iš pagrindinių augalų augimą ir derlingumą limituojančių veiksnių yra augalams neprieinamas fosforas. Rūgščiuose dirvožemiuose tik naudojant kalcingas medžiagas (kalkinant) pagerinamas trąšų efektyvumas, padidėja augalams prieinamo fosforo kiekiai dirvožemyje (Agegnehu et al., 2023, Szymanska et al, 2008). Todėl kalkių naudojimas turėtų būti laikomas dirvožemio pH ir maistinių medžiagų prieinamumo optimizavimo būdu, siekiant padidinti pasėlių derlių.

Dirvožemio potenciniam našumui palaikyti ir gauti stabilius derlius, pastoviai reikia papildyti dirvožemio atsargas organinėmis medžiagomis bei reguliuoti jų sintezės ir destrukcijos procesų intensyvumą. Trąšų parinkimą lemia daug faktorių, tačiau visada naudingiau naudoti tokias trąšas, kurios ne tik aprūpina augalus mineraliniais mitybos elementais, bet ir pagerina dirvožemių savybes. Organinės trąšos ypač gyvūninės kilmės kaip galvijų mėšlas yra kol kas geriausia trąša, palaikanti dirvožemio potencinį derlingumą. Su mėšlu patenka įvairūs augalams reikalingi biogeniniai elementai,

bet jo įtaka dirvožemio derlingumo atsistatymo procese išryškėja tik per ilgą laiką (Repsiene, Karcauskiene 2016). Tačiau organinėse trąšose yra mažai maistinių elementų, o norint, kad augalai gautų pakankamą kiekį maisto medžiagų bei išaugintų stabilius derlius, reikia kartu derinti ir mineralinį tręšimą.

Tvarus sprendimas padidinti rūgščių dirvožemių potencines galimybes yra kalkinimą derinti su organinių trąšų naudojimu ir optimaliomis mineralinių trąšų normomis, siekiant atkurti dirvožemio derlingumą ir padidinti trąšų naudojimo efektyvumą.

Rūgščiuose smėlingame priemolio (*Typic Hapludalf*) dirvožemyje nustatyta, kad kartu naudojant mėšlą ir kalkes, kukurūzų derlius ir fosforo panaudojimo efektyvumas padidėjo atitinkamai 7-16 ir 30 %, o vidutinis fosforo įsisavinimas kukurūzuose siekė 124 kg ha⁻¹ (Venkatesh et al., 2002).

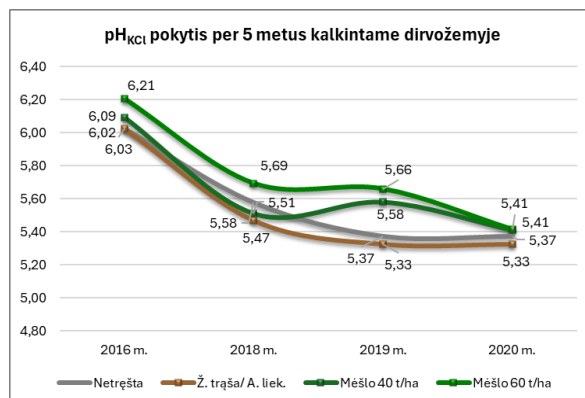
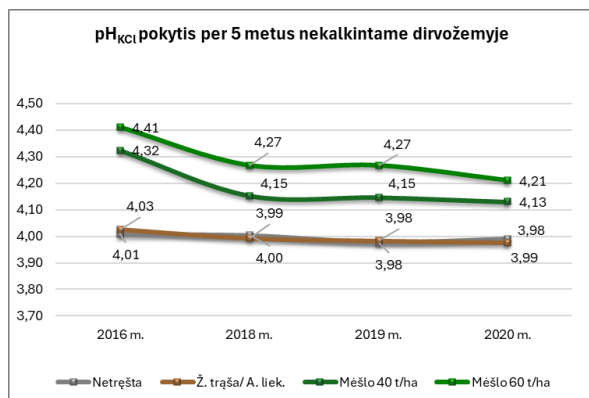
Rūgščiuose dirvožemiuose pagrindinės cheminės savybės, turinčios esminės įtakos augalų produktyvumui yra pH, judriojo aliuminio kiekis. Mėšlo poveikis šių rodyklių pokyčiams labiausiai priklauso nuo jo įterpimo normų ir periodiškumo. Esant nedideliam dirvožemio rūgštumui (pH_{KCl} 5,5), mėšlo poveikis judriojo aliuminio kiekiui yra nedidelis (Tripolskaja, 2001). Lauko augalams įterpiant 1-2 kartus per sėjomainos rotaciją 42-84 t ha⁻¹ mėšlo, per 12 metų pH rodiklis nepakito (Tripolskaja, 2005). Mėšlo veiksmingumas ypač išryškėja rūgščiuose dirvožemiuose, kuriuose yra labai dideli judriojo aliuminio kiekiai.

LAMMC Vėžaičių filiale 2016–2020 m. vykdytame eksperimente rūgščiame moreniniame priemolyje buvo vertinta ilgalaikio (nuo 1959 m.) kalkinimo (kas 5 m. po 3,4–4,0 t ha⁻¹ CaCO₃) ir tręšimo (40 ir 60 t ha⁻¹) galvijų kraikiniu mėšlu bei kasmetinio kitomis organinėmis ir mineralinėmis trąšomis įtaka dirvožemio kokybinių rodiklių pokyčiams ir javų produktyvumui. Lauko eksperimento tyrimo schema: 1) be organinių trąšų (kontrolinis), 2) žaliaji trąša arba augalinės liekanos, 3) 40 t ha⁻¹ mėšlo, 4) 60 t ha⁻¹ mėšlo. Penkialaukės sėjomainos augalų kaita: žieminiai kviečiai → lubinų ir avižų mišinys → žieminiai rapsai → vasariniai miežiai → daugiametės žolės. Tręšta mineralinėmis trąšomis, trąšų normos: žieminiams kviečiams ir vasariniams miežiams – N₆₀P₆₀K₆₀, žieminiams rapsams – N₆₀P₉₀K₁₂₀.

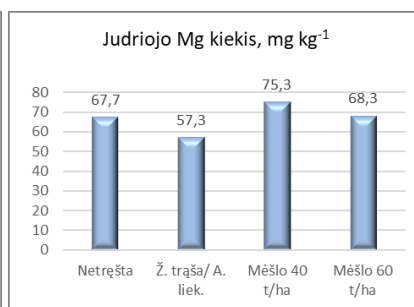
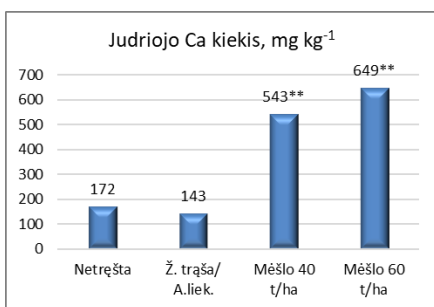
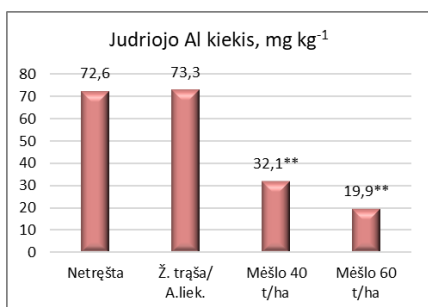
Nekalkintame dirvožemyje patręšus mėšlu (40 ir 60 t ha⁻¹) augalų rotacijos pradžioje pH_{KCl}, atitinkamai buvo 4,41 ir 4,32, rotacijos pabaigoje (po 5 m.) nustatytas sumažėjimas per 0,2 pH vnt. Netręštame (kontrolė) ir tręštame žaliaja trąša/ augalinėmis liekanomis pH_{KCl} išliko nepakitęs (1a pav.). Rotacijos pradžioje vien tik pakalkintame dirvožemis buvo pH_{KCl} – 6,02, o kalkintame ir tręštame mėšlu pH_{KCl} – 6,21 t. y. dirvožemis buvo neutralokas. Lauko eksperimente periodiškai naudojant ne tik kalkinimą, bet ir mėšlavimą (kas 5 m.) dirvožemis lėčiau rūgštėja. Praėjus 4 metams pH buvo 5,58 - 5,66. Ir tik po 5 metų visais atvejais pH sumažėjimas buvo panašus (11 pav.).

Nekalkintame dirvožemyje buvo labai daug augalams toksiško judriojo Al – 72,6 mg kg⁻¹, o periodiškai tręštame 40 ir 60 t ha⁻¹ mėšlu jo kiekis sumažėjo atitinkamai iki 32,1 ir 19,9 mg kg⁻¹ arba sumažėjo 2,3 ir 3,6 karto, judriojo Ca dirvožemyje padidėjo, atitinkamai 3,2 ir 3,8 karto (12 pav.).

Periodiškai kalkintame ir tręštame mėšlu labai pagerėja augalų augimo sąlygos, nes kalkėse ir mėšle esantis Ca ir Mg imobilizuoja judrųjį aliuminį į netirpius junginius. Kalkinimo ir mėšlavimo pasėkoje dirvožemyje judriojo Ca padidėjo 1,2 karto, o judriojo Mg buvo padidėjimo tendencija, palyginus tik su kalkintu dirvožemiu (13 pav.).

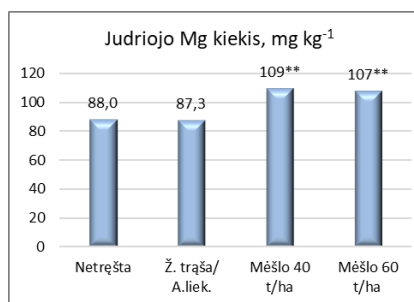
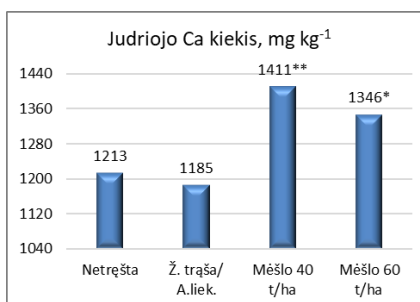
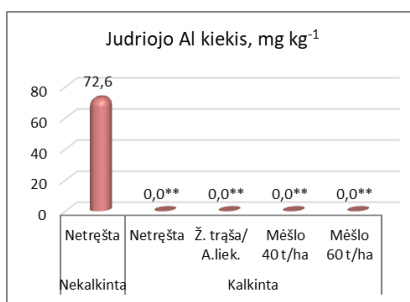


11 pav. Ilgalaikio ir sisteminio mėšlu tręšimo įtaka pH_{KCl} rodiklio pokyčiams per 5 metus nekalkintame ir kalkintame dirvožemyje



Pastaba: ** – esminis skirtumas esant 99 % tikimybės lygiui

12 pav. Ilgalaikio ir sisteminio mėšlu tręšimo poveikis aliuminio, kalcio ir magnio kiekiams Al kiekiui nekalkintame dirvožemyje



Pastaba: ** – esminis skirtumas esant 99 % tikimybės lygiui

13 pav. Ilgalaikio ir sisteminio mėšlu tręšimo poveikis aliuminio, kalcio ir magnio kiekiams Al kiekiui kalkintame dirvožemyje

Judrieji fosforas ir kalis. Kalkintame ir tręštame mėšlu bei kitomis (mėšlo fone) organinėmis liekanomis dirvožemyje judriojo P₂O₅ buvo nustatytas apie 40 % didesnis kiekis, nei netręštame. Nekalkintame dirvožemyje judriojo fosforo diferencijos beveik nebuvo, išskyrus kai buvo tręšiama 60 t ha⁻¹, nustatytas iš esmės didžiausias (243 mg kg⁻¹) šio maistinio elemento kiekis (4 lentelė).

Nekalkintame ir netręštame arba tręštame tik augalinėmis liekanomis dirvožemyje judriojo P_2O_5 buvo 24 % didesnis kiekis nei pakalkintame (4 lentelė). Nulėmė tai, kad rūgščiame dirvožemyje augalų derliai buvo žymiai mažesni ir šio biogeninio elemento mažiau reikėjo produkcijos išauginimui, o pakalkintame dirvožemyje visais sėjomainos metais su didesniu augalų derliumi buvo paimamas iš dirvožemio ir didesnis fosforo kiekis. Nustatyti analogiškai ir judriojo K_2O pokyčiai tiek kalkintame, tiek nekalkintame dirvožemyje (4 lentelė).

4 lentelė. Skirtingo dirvožemio rūgštumo ir organinio tręšimo poveikis judriųjų P_2O_5 ir K_2O kiekiams, Vėžaičiai, 2020 m.

Variantai	Judrusis P_2O_5 , mg kg ⁻¹		Judrusis K_2O , mg kg ⁻¹	
	Kalkinta	Nekalkinta	Kalkinta	Nekalkinta
1. Be organinių trąšų	171	212	140	197
2. Žalioji trąša/ augalinės liekanos	168	209	150	184
3. Mėšlo 40 t ha ⁻¹	239**	227	206**	219
4. Mėšlo 60 t ha ⁻¹	239**	243**	217**	238**
R ₀₅	25,958	18,863	29,251	28,247

Pastaba. ** – esminiai skirtumai esant 99 % tikimybės lygiui

Ilgalaikis tręšimas mėšlu 60 t ha⁻¹ 4,5 % sumažino suminio nekristalinio Al, išlaikė pastovią suminio organinio Al koncentracijas (5 lentelė). Tačiau taikant tręšimo mėšlu ir kalkinimo derinį dirvožemyje sumažėjo 11,0 % suminio nekristalinio Al ir 25,4 % organinio Al koncentracijos.

5 lentelė. Kalkinimo ir tręšimo įtaka aliuminio junginių koncentracijai, 2016–2020, vid. duomenys

Variantai	Suminis nekristalinis Al (Al _o)	Suminis organinis Al (Al _p)	Didelio patvarumo Al kompleksai su OM (Al _p -Al _{cu})	Silpnai surištų Al kompleksai su OM	Al _p /Al _o	(Al _p -Al _{cu})/Al _p
	mg kg ⁻¹				proc.	
Nekalkinta (be mėšlo)	3264d	2751c	2119c	454,1c	84,3c	77,1a
Kalkinta (be mėšlo)	3038b	1696a	1426a	265,8a	55,8a	84,0b
Nekalkinta (mėšlo 60 t ha ⁻¹)	3118c	2804c	2346d	401,2b	89,9d	83,7b
Kalkinta (mėšlo 60 t ha ⁻¹)	2904a	2052b	1781b	267,1a	70,6b	86,8c

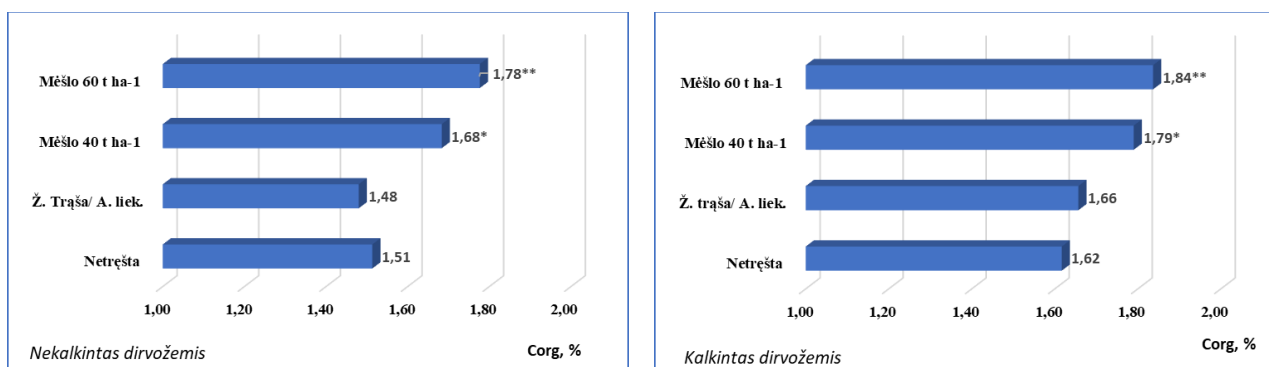
Pastaba. (skirtingos raidės parodo statistiškai reikšmingus skirtumus tarp tyrimo variantų, kai $P < 0,05$)

Tręšimas mėšlu ar jo derinys su kalkinimu pagerino suminio organinio Al kokybinę sudėtį – padidėjo 8,5-12,5 % didelio patvarumo Al kompleksų su dirvožemio organine medžiaga (OM). Šių junginių pastovios koncentracijos su didesniu pH išlaikymas gali padėti išsaugant organinę medžiagą

dirvožemyje, o Al ir humuso kompleksai yra patvarūs, jie sunkiai mineralizuojami mikroorganizmų (Baldock and Broos, 2011).

Dirvožemio organinė medžiaga (DOM). Dirvožemio derlingumo palaikymas, įterpiant organines trąšas, vienas iš galimų būdų, siekiant palaikyti optimalų DOM lygį agroekosistemose. Daugybė tyrimų parodė, kad nuolatinis organinių trąšų naudojimas skatina DOM sekvestraciją (Kundu et al., 2007; Da Silva et al., 2017). Organinių medžiagų įterpimas padidina ne tik DOM kiekį dirvožemyje, bet ir huminių rūgščių kiekį bei pakeičia jų cheminę sudėtį (Chien et al. 2006; Dou et al. 2008).

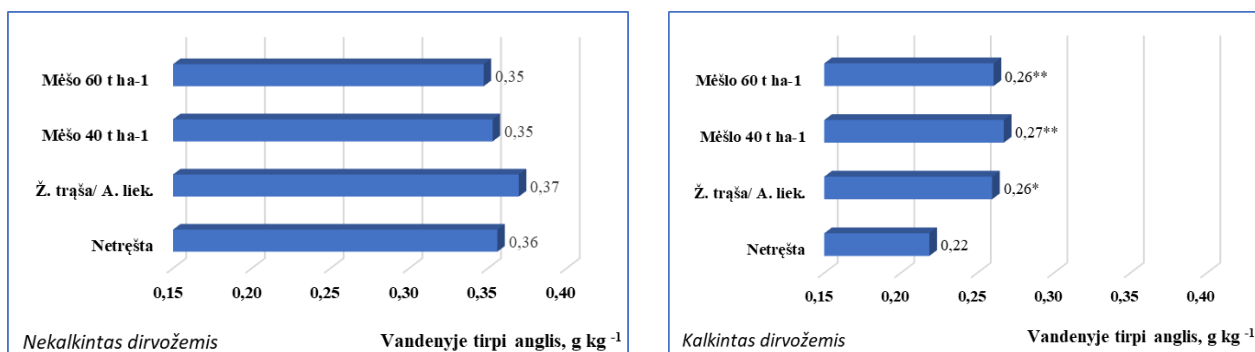
Organinių trąšų įterpimas į dirvožemį turėjo esminę įtaką dirvožemio organinės anglies kiekio susikaupimui ariamajame sluoksnyje (+0,11 – 0,33 proc. vnt.) palyginus su nekalkintu ir netręštu dirvožemiu (14 pav.). Tiek nekalkintame, tiek kalkintame dirvožemyje, įterpus 40 ir 60 t ha⁻¹ stebimas statistiškai reikšmingas organinės anglies kiekio padidėjimas. Tręšimas mėšlu yra tinkamesnė priemonė, siekiant padidinti organinės anglies atsargas dirvožemyje, lyginant su žaliaja trąša (augalinių liekanų), dėl joje esančių didelio kiekio azoto junginiai, kurie greitai mineralizuojasi.



Pastaba: * – esminis skirtumas esant 0,05 tikimybės lygiui; ** – esminis skirtumas esant 0,01 tikimybės lygiui

14 pav. Tręšimo organinėmis trąšomis įtaka organinės anglies kiekio (%) susikaupimui dirvožemio ariamajame sluoksnyje, vid. duomenys (Vėžaičiai, 2016 - 2020 m.)

Didelė santykinė vandenyje tirpios organinės anglies dalis suminės anglies atžvilgiu gali būti vertinama kaip neigiamas poveikis, ypač kada organinės anglies kiekis dirvožemyje yra nedidelis. Didelis labilių anglies junginių kiekis nulemia tokius humifikacijos procesus, kuomet dirvožemyje formuojasi mažai subrendusios huminės medžiagos. Kalkinant dirvožemį bei įterpiant organines trąšas, mažėjo santykinė vandenyje tirpios organinės anglies dalis organinės anglies atžvilgiu (svyravo nuo 1,36 iki 1,68 %). Remiantis gautais rezultatais, galime teigti, kad kalkinant ir tręšiant organinėmis trąšomis dirvožemį, jame vyko humuso persitvarkymas kokybės atžvilgiu, palyginus su nekalkintu. Dirvožemio organinė anglis susideda iš daugybės įvairios cheminės sudėties medžiagų, kurioms būdingas skirtingas virsmo laikas. Šios specifinės dalys yra tiesiogiai susijusios su dirvožemio struktūros stabilumu ir aprūpinimu maisto medžiagomis.



Pastaba: * – esminis skirtumas esant 0,05 tikimybės lygiui; ** – esminis skirtumas esant 0,01 tikimybės lygiui

15 pav. Labilios organinės anglies dalis dirvožemyje, % nuo organinės anglies kiekio, vid. duomenys (Vėžaičiai, 2016 - 2020 m.)

Agregatinės dirvožemio sudėties ir agregatų patvarumo vandenyje pokyčiai priklauso nuo kalkinimo ir tręšimo įvairiomis organinėmis medžiagomis intensyvumo (Nang Seng Age ir kt., 2016). Šių medžiagų įterpimas dirvožemyje pagerina jo agregatines savybes ir padidina agregatų patvarumą vandens bei mechaniniam poveikiui. Didžiausią teigiamą poveikį dirvožemio struktūrai turi tos organinės medžiagos, kurių C/N santykis yra 7-12 (Blanco-Cangui ir kt., 2013). Six ir kt. (2004) nustatė, kad įnešus mėšlo ar jo komposto dirvožemyje padidėjo makroagregatų ir sumažėjo mikroagregatų kiekis. Pagal Mikha ir kt., (2015) makroagregatų kiekis dirvožemyje ženkliai padidėja įnešus mėšlo ir jo derinį su mineralinių trąšų deriniu. Eghball (2002) tyrimai parodė, kad dirvožemio agregatų susidarymas vyksta praėjus 2 savaitėms po mėšlo įnešimo, nes jau mažiau išsiplauna fosforo, palyginus su jo išsiplovimu pirmosiomis dienomis. Tai rodo, kad fosforas yra sulaikomas agregatuose, kurių patvarumas mėšlo poveikyje didėja (Wortmann ir kt., 2008). Kokių mastu organinės medžiagos gali pagerinti dirvožemio agregatines savybes labai priklauso nuo dirvožemio granulimetrinės sudėties ir organinės medžiagos kiekio bei praėjusio laiko nuo medžiagos įterpimo (Hernandez ir kt., 2017; Blanco-Cangui ir kt., 2014).

Vandenyje patvarių agregatų $>0,25$ mm kiekis natūraliai rūgščiame ir kalkintame dirvožemyje iš esmės nesiskyrė ir sudarė 45-47%, o šio dirvožemio sistemingas tręšimas įvairiomis organinėmis trąšomis patvarių agregatų $>0,25$ mm kiekį nekalkintame dirvožemyje padidino 9%, o jų sudėtyje esančių makroagregatų $>1,0$ mm kiekis išaugo 35 ir 44%, palyginus su netręštu dirvožemiu (5 lentelė). Pakalkintame dirvožemyje organinės trąšos (abi mėšlo normos) patvarių agregatų susidarymui buvo efektyvesnės, nes patvarūs agregatai $>0,25$ mm sudarė 50-52% ir jų buvo 2-5% daugiau nei atitinkamuose variantuose nekalkinto dirvožemio. Kalkintame dirvožemyje drėgmės kiekis augalų augimui buvo optimalus – 19,1%, o nekalkintame dirvožemyje drėgmės nustatyta 5,5 proc. vnt. mažiau. Drėgmės skirtumas minėtuose dirvožemiuose išlieka ir juos tręšiant įvairiomis organinėmis trąšomis.

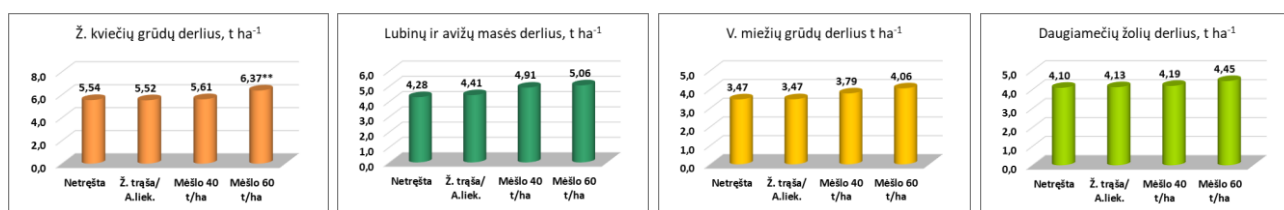
5 lentelė. Skirtingo dirvožemio rūgštumo ir organinio tręšimo poveikis dirvožemio patvarių agregatų kiekiui žieminių rapsų pasėlyje, Vėžaičiai, 2018 m.

Variantas	Kalkintas dirvožemis		Nekalkintas dirvožemis	
	Vandenyje patvarūs agregatai ir jų kiekis (%)			
	>1,0 mm	>0,25 mm	>1,0 mm	>0,25 mm
1. Be organinių trąšų	7,60	46,67	9,95	45,21
2. Žalioji trąša arba augalinės liekanos	8,69	45,33	9,11	44,68
3. Mėšlo 40 t ha ⁻¹	10,79	50,11	13,39*	49,17
4. Mėšlo 60 t ha ⁻¹	10,77	52,13	14,28*	49,53
R ₀₅	4,835	11,992	3,231	7,146

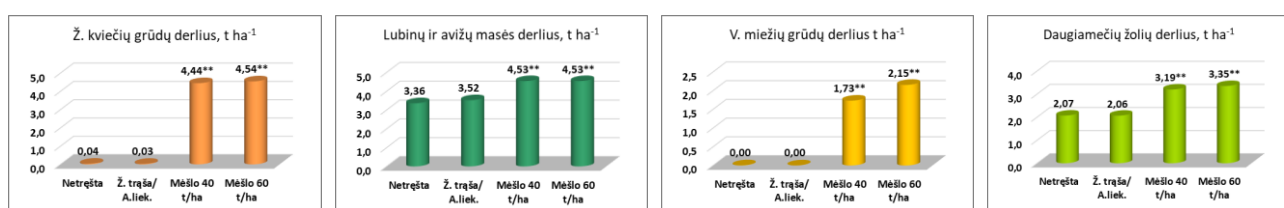
Pastaba. * – esminiai skirtumai esant 95 % tikimybės lygiui

Dirvožemio potenciniam našumui palaikyti ir gauti stabilius derlius, pastoviai reikia papildyti dirvožemio atsargas organinėmis medžiagomis bei reguliuoti jų sintezės ir destrukcijos procesų intensyvumą. Trąšų parinkimą lemia daug faktorių, tačiau visada naudingiau naudoti tokias trąšas, kurios ne tik aprūpina augalus mineraliniais mitybos elementais, bet ir pagerina dirvožemių savybes. Organinės trąšos ypač gyvūninės kilmės kaip galvijų mėšlas yra kol kas geriausia trąša, palaikanti dirvožemio potencinį derlingumą. Su mėšlu patenka įvairūs augalams reikalingi biogeniniai elementai, bet jo įtaka dirvožemio derlingumo atsistatymo procese išryškėja tik per ilgą laiką.

Rūgščiuose dirvožemiuose norint išauginti žemės ūkio paskirties augalų stabilius ir optimalius derlius reikia derinti kartu kalkinimą, mineralinį ir organinį tręšimą. Ilgalaikių tyrimų duomenimis nustatyta, kad ilgą laiką ir sistemingai naudojant tręšimą mėšlu kalkintame dirvožemyje ž. kviečių ir v. miežių grūdų, o lubinų – avižų ir daugiamečių žolių derliai gauti didesni atitinkamai 15 %, 17 %, 18 %, 9 %, palyginus su derliais gautais vien tik kalkintame dirvožemyje (16 pav.).

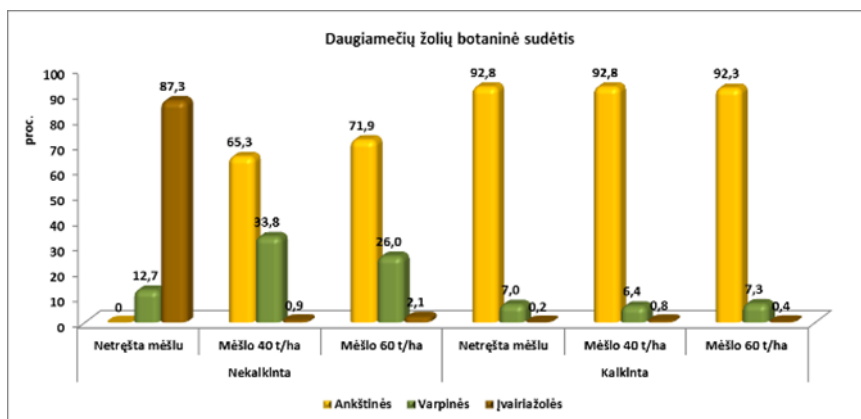


16 pav. Augalų derliai kalkintame ir galvijų kraikiniu mėšlu bei mineralinėmis trąšomis tręštame dirvožemyje



17 pav. Augalų derliai galvijų kraikiniu mėšlu bei mineralinėmis trąšomis tręštame rūgščiame (nekalkintame) dirvožemyje

Nekalkintame dirvožemyje auginant rūgštumui jautrius augalus (ž. kviečius, v. miežius) – derliaus visai negaunama (17 pav.), o naudojant mėšlavimą javų grūdų – ž. kviečių 1,2 karto, v. miežių apie 2 kartus, o daugiamečių žolių -1,2 karto mažesni, palyginus su derliais gautais vien tik kalkintame dirvožemyje. Rūgščiame dirvožemyje daugiamečių žolių (raudonųjų dobilų ir pašarinių motiejukų) I naudojimo metų žolynas išauga prastos pašarinės vertės – net iki 87 proc. vyrauja įvairiažolės, tik apie 13 proc. sudaro motiejukai. Kalkintame dirvožemyje dobilai sudaro apie 93 proc. (18 pav.)



18 pav. Daugiamečių žolių (raudonųjų dobilų ir pašarinių motiejukų) botaninė sudėtis nekalkintame ir kalkintame dirvožemyje.

Apibendrinus ilgalaikio kalkinimo derinyje su skirtingo intensyvumo organiniu tręšimu (kraikinis galvijų mėšlas 40 ir 60 t ha⁻¹) poveikį Vakarų Lietuvoje vyraujančios dirvožemio grupės – Nepasotintojo balkšvažemio savybėms ir sėjomainos augalų derliui nustatyta, kad per 5 metus kalkintame dirvožemyje pH_{KCl} rodiklis sumažėjo per 0,52-0,79 vnt. t.y. nuo 6,02 iki 5,37 vnt. Nekalkintame dirvožemyje pH_{KCl} rodiklis buvo ir liko labai žemas 3,99-4,02 vnt., tręštame mėšlu 60 t ha⁻¹, pH buvo ir liko šiek tiek didesnis 4,41-4,21. Vidutiniais duomenimis rotacijos pabaigoje kalkintame judrusis Al buvo perėjęs į netirpius junginius. Nekalkintame dirvožemyje judriojo Al buvo 72,6 mg kg⁻¹, o vien tik tręštame 60 t ha⁻¹ mėšlu, Al buvo apie 20 mg kg⁻¹. Ilgalaikis tręšimas mėšlu 60 t ha⁻¹ 4,5 % sumažino suminio nekristalinio Al, išlaikė pastovią suminio organinio Al koncentracijas. Tačiau taikant tręšimo mėšlu ir kalkinimo derinį dirvožemyje sumažėjo 11,0 % suminio nekristalinio Al ir 25,4 % organinio Al koncentracijos. Tręšimas mėšlu ar jo derinys su kalkinimu pagerino suminio organinio Al kokybinę sudėtį – padidėjo 8,5-12,5 % didelio patvarumo Al kompleksų su dirvožemio organine medžiaga (OM). Šių junginių pastovios koncentracijos su didesniu pH išlaikymas gali padėti išsaugant organinę medžiagą dirvožemyje, o Al ir humuso kompleksai yra patvarūs, jie sunkiai mineralizuojami mikroorganizmų. Kalcis svarbus ne tik kaip rūgštų dirvožemį neutralizuojantis, bet ir kaip biogeninis elementas reikalingas augalams nuo pat sudygimo. Kalcio kiekiui dirvožemyje didžiausią įtaką turi jo rūgštumas. Kalkintame dirvožemyje mainų Ca buvo 1213 mg kg⁻¹ arba 7 kartus daugiau palyginus su nekalkintu. Nekalkintame ir netręštame organinėmis trąšomis dirvožemyje mainų Ca buvo mažai 172 mg kg⁻¹, o tręštame mėšlu ir kitomis augalinėmis liekanomis mainų Ca

vidutiniškai daugiau buvo 3 kartus. Magnis yra būtinas augalų fotosintezės elementas, nes eina į chlorofilo sudėtį. Kalkintame dirvožemyje mainų Mg buvo 88 mg kg^{-1} , o tręštame mėšlu ($40\text{-}60 \text{ t ha}^{-1}$) $107\text{-}114 \text{ mg kg}^{-1}$ arba 1,3 karto daugiau. Nekalkintame dirvožemyje mainų Mg buvo apie 70 mg kg^{-1} tiek netręštame, tiek tręštame organinėmis trąšomis. Kalkintame ir kalkintame tręštame tik organinėmis liekanomis dirvožemyje judriojo P_2O_5 buvo vienodai apie 170 mg kg^{-1} arba 1,2 karto mažiau palyginus su nekalkintu dirvožemiu. Dirvožemyje tręštame mėšlu tiek kalkintame, tiek nekalkintame judriojo fosforo vidutiniškai buvo 230 mg kg^{-1} . Dirvožemyje nustatytos analogiškos kitimo tendencijos ir judriojo kalio. Organinių trąšų įterpimas į dirvožemį turėjo esminę įtaką dirvožemio organinės anglies kiekio susikaupimui ariamajame sluoksnyje ($+0,11 - 0,33 \text{ proc. vnt.}$) palyginus su nekalkintu ir netręštu dirvožemiu. Tiek nekalkintame, tiek kalkintame dirvožemyje, įterpus 40 ir 60 t ha^{-1} stebimas statistiškai reikšmingas organinės anglies kiekio padidėjimas. Tręšimas mėšlu yra tinkamesnė priemonė, siekiant padidinti organinės anglies atsargas dirvožemyje, lyginant su žaliaja trąša, dėl joje esančių didelio kiekio azoto junginiai, kurie greitai mineralizuojasi. Dirvožemiuose, kuriuose taikytas kalkinimo ir tręšimo organinėmis trąšomis derinys, nustatytas svarbus anglies junginių transformacijos dėsningumas – labiliųjų anglies junginių mažėjimas dirvožemyje. Kalkinant dirvožemį bei įterpant organines trąšas, mažėjo santykinė vandenyje tirpios organinės anglies dalis organinės anglies atžvilgiu, rodanti vykstančius humuso kokybinius persitvarkymus kokybės atžvilgiu. Ryškiausi pokyčiai nustatyti į dirvožemį įterpus 60 t ha^{-1} mėšlo. Kalkinimas teigiamai įtakoja dirvožemio biologinį aktyvumą, tyrimo metu nustatyta, kad dirvožemiuose, kuriuose buvo įterptos kalkinės medžiagos dirvožemio kvėpavimo intensyvumas padidėjo $5,8 \%$ lyginant su nekalkintu dirvožemiu.

Vandenyje patvarių agregatų $>0,25 \text{ mm}$ kiekis natūraliai rūgščiame ir kalkintame dirvožemyje iš esmės nesiskyrė ir sudarė $45\text{-}47\%$, o šio dirvožemio sistemingas tręšimas įvairiomis organinėmis trąšomis patvarių agregatų $> 0,25 \text{ mm}$ kiekį nekalkintame dirvožemyje padidino 9% , o jų sudėtyje esančių makroagregatų $>1,0 \text{ mm}$ kiekis išaugo 35 ir 44% , palyginus su netręštu dirvožemiu. Pakalkintame dirvožemyje organinės trąšos (abi mėšlo normos) patvarių agregatų susidarymui buvo efektyvesnės, nes patvarūs agregatai $>0,25 \text{ mm}$ sudarė $50\text{-}52 \%$ ir jų buvo $2\text{-}5 \%$ daugiau nei atitinkamuose variantuose nekalkinto dirvožemio. Kalkintame dirvožemyje drėgmės kiekis augalų augimui buvo optimalus – $19,1 \%$, o nekalkintame dirvožemyje drėgmės nustatyta $5,5 \text{ proc. vnt.}$ mažiau. Drėgmės skirtumas minėtuose dirvožemiuose išlieka ir juos tręšiant įvairiomis organinėmis trąšomis.

Penkialaukėje sėjomainoje auginti dirvožemio rūgštumui jautrūs ž.ū augalai (žieminiai kviečiai, žieminiai rapsai, vasariniai miežiai) ar mažai jautrūs (lubinų-avižių mišinys, daugiametės žolės) teigiamai reagavo į ilgalaikį sistemingą tręšimą kraikiniu mėšlu (40 ir 60 t ha^{-1}) nekalkintame dirvožemyje. Kalkintame dirvožemyje ilgą laiką ir sistemingai naudojant tręšimą mėšlu ž. kviečių ir v. miežių grūdų, o lubinų – avižių ir daugiamečių žolių derliai gauti didesni atitinkamai 15% , 17% , 18

% , 9 % , palyginus su derliais gautais vien tik kalkintame dirvožemyje. Nekalkintame (rūgščiame) dirvožemyje daugiamečių žolių (raudonųjų dobilų ir pašarinių motiejukų) I naudojimo metų žolynas išauga prastos pašarinės vertės – net iki 87 proc. vyrauja įvairiažolės, tik apie 13 proc. sudaro motiejukai. Kalkintame dirvožemyje dobilai sudaro apie 93 proc.

2.1.3. Naujos kalcingos medžiagos

Kalcis yra svarbiausias bazinis elementas reguliuojantis dirvožemio rūgštumą. Dirvožemio pH, Al, Ca ir Mg kiekiai paprastai reguliuojami naudojant karbonatines medžiagas – klintis (CaCO_3) ar dolomitą [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$] (Joris et al., 2016; Holland et al., 2018).

Taikant beariminę technologiją, kalkinimas dažniausiai atliekamas dirvožemio paviršiuje, t.y. kalkinių medžiagų beveik neįterpiant. Dėl mažo kalkių tirpumo ($\text{CaCO}_3 = 0,014 \text{ g L}^{-1}$ ir $\text{MgCO}_3 = 0,106 \text{ g L}^{-1}$), kalkinimo poveikis beariminiame dirbime ryškiausias pastebimas paviršiniuose sluoksniuose (Caires et al., 2011a). Gilesnio dirvožemio sluoksnio rūgštingumo neutralizavimo efektyvumas mažas. Kitaip tariant, gilesnių dirvožemio sluoksnių rūgštingumo neutralizavimas yra lėtas (Auler ir kt., 2019). Daugelio tyrėjų duomenys parodė, kad pH pokyčiai gilesniuose dirvožemio sluoksniuose priklauso nuo naudojimo būdo, kalkinių medžiagų dalelių dydžio, dirvožemio fizikinių ir cheminių savybių (Costa et al., 2016), dirvožemio drėgmės (Amaral et al., 2004), kalkių normos ir laiko, praėjusio nuo naudojimo (Caires et al., 2015; Santos et al., 2018; Joris et al., 2016; Fontoura et al., 2019).

Dėl mažo kalkių tirpumo ir prisiskverbimo gilyn į dirvožemį užsienio šalyse (Australija, Brazilija, Suomija) rekomenduojama kita kalcinga medžiaga – gipsas ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) kaip dirvožemio gerinimo priemonė, nes gipso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) tirpumas ($2,0\text{-}2,5 \text{ g L}^{-1}$) yra maždaug 170 kartų didesnis nei kalkių (Bennett et al., 2014; Crusciol et al., 2016).

Skirtingai nuo kalkių, žemės ūkyje naudojamas gipsas ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – kalcio didrosulfatas), kuris yra dirvožemio gerinimo priemonė, kuri gerina dirvožemio savybes ir cheminę aplinką, prisidedama prie augalų vystymosi. Daugeliu atvejų gipsas ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) taip pat naudojamas kartu su kalkėmis, siekiant padidinti podirvio derlingumą ir sumažinti Al^{3+} toksiškumą (Souza ir kt., 2023). Kadangi jis geriau tirpsta nei kalkės ir nesukuria elektrinių krūvių dirvožemyje (Zoca ir Penn, 2017), žemės ūkyje naudojamas gipsas skatina keičiamų bazių pasislinkimą į požeminius sluoksnius. Dėl to gipsas efektyviai padidina šarminių katijonų, tokių kaip Ca^{2+} , Mg^{2+} ir K^+ , prisijungusių prie anijonų, tokių kaip S-SO_4^{2-} , judrumą, kurie disocijuojasi ir gali jungtis prie mainų aliuminio Al^{3+} gilesniuose dirvožemio sluoksniuose, mažindami jo aktyvumą ir toksinį poveikį augalams kiekį sumažindamas (Pauletti ir kt., 2014; Crusciol et al., 2016; Dalla Nora ir kt., 2017, Zocca ir Penn, 2017). Nors gipsas neturi tiesioginės įtakos dirvožemio pH, jis gali turėti įtakos mikrobus bendruomenei viršutiniame dirvožemio sluoksnyje, aprūpindamas turimas maistines medžiagas ir sumažindamas Al^{3+} , biologinį prieinamumą, taip skatindamas mikrobus aktyvumą (Jones ir kt., 2019).

Užsienio šalyse be kondicionuojančio vaidmens žemės ūkyje gipsas yra naudojamas ne vien tik kaip Ca^{2+} ir S-SO_4^{2-} šaltinis (Bennett ir kt., 2014; Zocca ir Penn, 2017). Sieros trūkumas žemės ūkio paskirties dirvose buvo plačiai ištirtas daugelyje Europos (Ercoli ir kt., 2011), Afrikos (Kihara ir kt., 2017) ir Pietų Amerikos vietų (Tiecher ir kt., 2013; Salvagiotti ir kt., 2017; Pias ir kt., 2019). Gipse

esanti siera yra ypač svarbus elementas bastutinių šeimos augalams – rapsams. Be to siera reikalinga ir baltymų sintezei – ypač miglinių šeimos augalams – kviečiams.

Gipso panaudojimas žemės ūkio sunkesnės granuliometrinės dirvožemiuose sprendžia ir kitą problemą – jis padidina fosforo sulaikymą sudėties dirvožemio agregatuose ir sumažina jo išsiplovimą (Ekholm et al., 2024; Mao et al. 2023). Naudojant gipsą pagerėja dirvožemio struktūra, sumažėja ištirpusios anglies nuostoliai.

Lietuvoje gipso poveikis dirvožemiui nėra tirtas. Tai yra naujas ir detalių tyrimų reikalaujantis objektas.

Gipsas yra gamtinė uoliena – jis kasamas. Lietuvoje gipso klodai yra šiaurinėje šalies dalyje, bet jie nenaudojami. Eksploatuojami karjerai yra Latvijoje Salaspilyje. Kitas gipso šaltinis yra fosfogipsas – tai atliekinis produktas fosforo trąšų, fosforo rūgšties gamybos atlieka.

Remiantis užsienio šalių patirtimi rūgščių dirvožemių neutralizavimui naudoti ne tik tradicines kalkines medžiagas turinčias veiklią medžiagą kalcio karbonatą, bet ir kalcio sulfatą turinčią medžiagą – gipsą. LAMMC ŽI Vėžaičių filiale buvo įrengti du tikslieji lauko eksperimentai – vienas 2024 m. su gipsu, antras 2025 m. su fosfogipsu.

Pirmojo (2024 m.) lauko eksperimento ir laboratorinių tyrimų duomenys pateikti tarpinėje ataskaitoje.

LAUKO EKSPERIMENTO IR LABORATORINIŲ TYRIMŲ DUOMENYS (2025 II eksperimentas)

Tyrimų tikslas – įvertinti kalcingų medžiagų – klinčių (CaCO_3) ir fosfogipso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) poveikį dirvožemio cheminėms savybėms ir javų produktyvumui.

Uždaviniai:

1. Įvertinti kalcingų medžiagų – klinčių (CaCO_3) ir fosfogipso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) rūgštaus dirvožemio neutralizavimui naudojant šių medžiagų dulcias (miltines) frakcijas;
2. Nustatyti klinčių (CaCO_3) ir fosfogipso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) poveikį vasarinių javų produktyvumui;
3. Mokliškai pagrįsti kalcingų medžiagų klinčių (CaCO_3) ir fosfogipso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) veiksmingumą panaudojus vienkartinės normas.

Tyrimo vieta: Lietuvos agrarinių ir miškų centro žemdirbystės instituto (LAMMC ŽI) Vėžaičių filialo sėjomaininiame lauke (Vakarų Lietuva, Pajūrio žemumos rytinis pakraštys) 2025 m. pavasarį pagal numatytą schemą buvo įrengtas ir vykdomas tikslusis lauko eksperimentas – rūgštaus dirvožemio neutralizavimui panaudojant kalcingas medžiagas.

Tyrimo objektas: kalcingos medžiagos. Malta klintis (dulkūs klintmilčiai). Cheminė sudėtis – gamtinis kalcio karbonatas, bendra karbonatų suma $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3 \geq 94\%$. Klinčių gamtiniai ištekliai eksploatuojami Lietuvoje (Akmenė) *Naujasis Kalcitas*.

Kalcio sulfato dihidratas ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) – fosfogipas – fosforo rūgšties atliekinė žaliava pirкта iš *KNAUF* (Latvija). Cheminė sudėtis: $\text{CaO} - 30,1\%$, $\text{SiO}_2 - 0,002\%$, $\text{SO}_3 - 43,01\%$, $\text{Na} - 0,045\%$.

Dirvožemis. Nepasotintasis balkšvažemis (*Bathygleyic Dystric Glossic Retisol*). Granulimetrinė sudėtis – moreninis priemolis. Tyrimų dirvožemio cheminė charakteristika ariamajame sluoksnyje (0-20 cm) pateikta 6 lentelėje.

6 lentelė. Dirvožemio cheminė charakteristika prieš įrengiant bandymą. LAMMC ŽI Vėžaičiai, 2025 m.

Agrocheminis rodiklis	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	Variacijos koef. (V %)
pH _{KCl}	4,29 ± 0,04	3,61
Judrusis Al, mg kg ⁻¹	25,9 ± 2,98	39,84
Mainų Ca, mg kg ⁻¹	764 ± 29,1	2,85
Mainų Mg, mg kg ⁻¹	94,2 ± 3,56	10,00
Judrusis P ₂ O ₅ , mg kg ⁻¹	80,4 ± 8,01	39,32
Judrusis K ₂ O, mg kg ⁻¹	194 ± 12,43	25,68

Pastaba. \bar{x} – vidurkis; $\pm S\bar{x}$ – nukrypimas nuo vidurkio

Dirvožemis pagal agrocheminius rodiklius buvo labai rūgštus (pH_{KCl} 4,29 ± 0,04) bei turintis vidutinius kiekius judriojo Al (25,9 ± 2,98 mg kg⁻¹). O pagal bazinius elementus (judriojo Ca – 764 ± 29,1 mg kg⁻¹; judriojo Mg – 94,2 ± 3,56 mg kg⁻¹) – nedideli kiekiai. Pagal kalio kiekį – kalingas (judriojo K₂O – 194 ± 12,43 mg kg⁻¹), pagal fosforą – mažo fosforingumo (judriojo P₂O₅ – 80,4 ± 8,01 mg kg⁻¹) (1 lentelė).

Tyrimo schema ir detalės

Tikslusis lauko eksperimentas įrengtas ir vykdytas pagal žemiau pateiktą schemą. Kalcingų medžiagų – klinčių ir fosfogipso išbarstymas ir įterpimas atliktas 2025 m. pavasarį prieš vasarinių miežių sėją.

Tyrimų schema:

1. Kontrolinis (be kalcingų medžiagų);
2. Klinčių 4,0 t ha⁻¹;
3. Fosfogipso 4,0 t ha⁻¹;
4. Klinčių 2,0 t ha⁻¹ + fosfogipso 2,0 t ha⁻¹.

Fosfogipso įterpiamas kiekis/ norma (4 t ha⁻¹) pasirinktas remiantis švedų ir suomių patirtimi. Tyrimų schemos detalizavimas: **1 var.** kontrolinis – nenauda kalcingų medžiagų, **2 var.** į dirvožemį

įterpta klinčių (CaCO_3) – 4 t ha⁻¹; **3 var.** įterpta fosfogipso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) – 4 t ha⁻¹; **4 var.** klinčių ir fosfogipso įterpta po 50 % (2 +2 t ha⁻¹). Visos kalcingos medžiagos į dirvožemį įterptos 0-10 cm gyliu (2025.04.29). Praėjus 1 sav. po kalcingų medžiagų įterpimo, pagrindinis tręšimas ($\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$) prieš javų sėją, papildomas (N_{30}) – krūmijimosi tarpsniu. Buvo pasėti vasariniai miežiai *Laureate*. Miežiai buvo pasėti sėjama *Kuhn* su priešsėjiniu žemės dirbimu, sėklos įterptos – 3,5 cm gyliu (2025.05.05).

Augalų apsauga: naudota pagal poreikį miežių sėkla beicuota (*Kinto Plus* 1,5 l t⁻¹). Miežių pasėlis purkštas herbicidu (BBCH22) *Cleave* (1,8 L ha⁻¹) ir fungicidu *Soratel* (0,6 L ha⁻¹) (2025.06.12), (BBCH47-49) – fungicidu ir *Juventus* (0,4 l ha⁻¹) ir insekticidu *Mavrik* 200 g ha⁻¹ (2025.06.30). Miežiams esant kietosios brandos tarpsniu (BBCH89/90) derlius buvo nuimtas mažagabaritiniu kombainu *Samp 500* (2025.08.28).

Tiksliojo lauko eksperimento parametrai. Eksperimento laukeliai išdėstyti rendomizuotai, keturiais pakartojimais. Laukelio dydis – 39 m².

Tyrimo metodai ir kitos detalės

Eksperimentas „*Rūgštaus dirvožemio neutralizavimo kalcingomis medžiagomis – klintimis (CaCO_3) ir fosfogipsu ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) tyrimai*“ atliktas tikslųjų lauko bandymo ir laboratorinės analizės metodais. Tyrimai ir įvairūs darbai buvo atliekami atsižvelgiant į vasarinių miežių augimo ir vystymosi tarpsnius pagal BBCH skalę.

*BBCH (*Biologische Bunde-sanstalt, Bundessortenamt and Chemical industry*) išplėstinė skalė naudojama daugeliui augalų rūšių vienodais kodais apibūdinti panašius fenologinius vystymosi tarpsnius.

Dirvožemio mėginių paėmimo cheminėms analizėms metodiniai nurodymai. Pavasarį prieš panaudojimą kalcingų medžiagų lauko eksperimente buvo paimti iš 0-20 cm gylio dirvožemio ėminiai cheminėms analizėms t.y. eksperimento ploto charakteristikai: pH_{KCl}, judrieji Al, Ca ir Mg, bei judrieji P₂O₅ ir K₂O (2025.05.03.). Rudenį (2025.08.28.) kalcingų medžiagų poveikiui cheminiams rodikliams (pH, judrusis Al, mainų Ca ir Mg) įvertinti dirvožemio mėginiai paimti skirtingais gyliais: 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm.

Dirvožemio laboratorinių analizių metodai:

pH – LST EN ISO 10390:2022.

Judrusis aliuminis (Al) – ISO11260 ir ISO14254 pagal Sokolovą.

Judrusis kalcis (Ca) ir judrusis (Mg) – LVP D-13:2016.

Judrusis fosforas (P₂O₅) – LVP D-07:2021

Judrusis kalis (K₂O) – LVP D-07:2021.

Augalų (vasarinių miežių) biometrinių rodiklių analizės metodiniai nurodymai.

Miežių krūmijimosi pradžioje (BBCH21) tarpsniu kiekvieno laukelio (0,25 m² plote) dvejose vietose buvo skaičiuoti sudygę augalai (2025.06.04.). Prieš miežių (BBCH87) derliaus nuėmimą, kiekvieno laukelio tose pačiose vietose buvo išrauti javų pėdeliai biometrinių rodiklių nustatymui t.y. suskaičiuoti produktyvių, neproduktyvių stiebų kiekis (skaičius), grūdų kiekis varpose (2025.08.25.). Miežių (BBCH89-90) derliaus nuėmimo metu nustatytas kiekvieno laukelio kombaininis grūdų derlius ir grūdų drėgmė (2025.08.28.).

Augalų analizės ir metodai:

Vasarinių miežių produktyvių ir neproduktyvių augalų suskaičiuotas kiekis (vnt. 1 m²);

Grūdų derlius nustatomas t ha⁻¹ (14 % drėgmė, 100 % švarumas);

1000 grūdų masė pagal GOST 10842, atitinkantį ISO 580–77.

Varpų ilgis – išmatuotas (cm) bei suskaičiuotas grūdų kiekis (vnt.) varpoje.

Dirvožemio, augalų analizės atliktos standartizuotais metodais. Tyrimų duomenų statistikai įvertinti naudotas statistinis paketas ANOVA (Tarakanovas, Raudonius, 2003; Clewer, Scarisbrick, 2001).

Agroklimatinės sąlygos

Lauko eksperimento vykdymo ir vasarinių miežių augimo laikotarpiu meteorologiniai duomenys (vidutinė oro temperatūra ir kritulių kiekis) pateikti 7 lentelėje.

7 lentelė. Vėžaičių paprastosios klimato stoties meteorologiniai duomenys, 2025 m.

Mėnesiai	Vidutinė oro temperatūra °C					Krituliai, mm				
	Dešimtadieniais			Vidutinė mėn.	Klimato norma 1991-2020 m.	Dešimtadieniais			Suma per mėn.	Klimato norma 1991-2020 m.
	I	II	III			I	II	III		
Balandis	4,6	12,3	8,4	8,4	6,7	1,5	6,9	5,7	14,1	37,4
Gegužė	6,5	7,8	12,2	9,0	11,9	10,8	21,7	3,2	35,7	46,2
Birželis	14,7	14,6	14,8	14,7	15,2	39,2	9,4	21,6	70,2	66,1
Liepa	16,6	18,6	19,1	18,1	17,8	8,9	62,6	58,5	130,0	87,0
Rugpjūtis	17,2	17,0	14,0	16,0	17,2	25,4	0,6	39,0	65,0	92,0

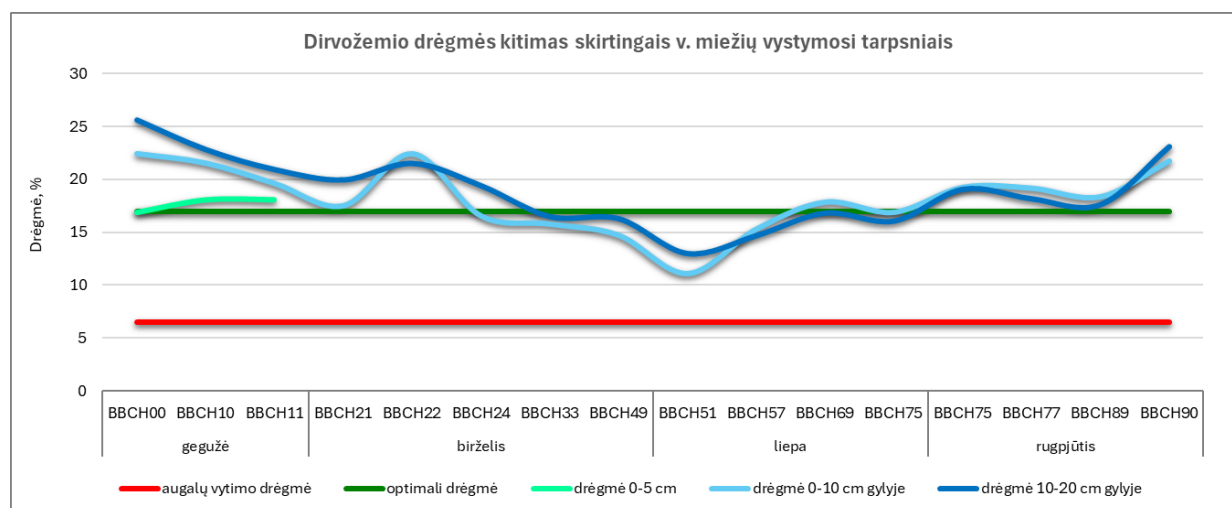
2025 m. balandis buvo šiltesnis ir drėgnesnis, palyginus su daugiamečiais vidurkiais t.y. klimato norma. Balandžio mėnesio vidutinė oro temperatūra buvo 1,7 °C aukštesnė už standartinę klimato normą (SKN) 1991-2020 m. Kritulių iškrito tik 14,1 mm arba tik 37,7 % skaičiuojant nuo SKN. Gegužės mėnesio vidutinė oro temperatūra buvo 9,0 °C, arba 2,9 °C žemesnė nei SKN. Šį mėnesį kritulių buvo 35,7 mm arba 77,3 % SKN. Gegužės mėnesį vasariniams miežiams augti ir vystytis, šilumos ir drėgmės atžvilgiu, sąlygos buvo nepalankios. Birželio mėnuo buvo vėsus ir

drėgnas. Vidutinė mėnesio temperatūra buvo 14,7 °C ir ji buvo 0,5 °C žemesnė už SKN. Kritulių iškrito 70,2 mm arba jų buvo 106,2 % SKN. Liepos mėnesio vidutinė oro temperatūra buvo 18,1 °C (0,3 °C aukštesnė už SKN). Kritulių per mėnesį iškrito 130 mm t.y. pusantros normos arba 149 % SKN. Ypač gausiai kritulių buvo liepos II ir III dešimtadieniais. Rugsjūčio mėnesio vidutinė oro temperatūra buvo 16,0 °C (1,2 °C žemesnė už SKN). Kritulių per mėnesį iškrito 65,0 mm, t.y. 70,6 % SKN (2 lentelė).

TYRIMO REZULTATAI

Lauko eksperimento dirvožemio drėgmė javų vegetacijos laikotarpiu

Dirvožemyje esant pakankamai drėgmės susidaro palankios sąlygos augalams augti bei maisto medžiagoms įsisavinti. Esant jos pertekliui ar trūkumui susidaro ekstremalios sąlygos augalams. Vasariniams ir žeminiams javams augti optimali (vidutinio sunkumo priemolio) dirvožemių armens drėgmė – 17 - 18 %, labai sausas < 7 %. Vasarinių miežių vegetacijos laikotarpiu dirvožemio armens drėgmė pateikta 1 paveiksle. Vasariniai miežiai pasėti gegužės pradžioje, palijus šio mėnesio pirmajame dešimtadienyje dirvožemio drėgmė visuose trijuose (0-5, 0-10 ir 10-20 cm) gyliuose buvo optimali ar didesnė už optimalią (2 lentelė, 1 pav.). Nuo krūmijimosi (BBCH24) tarpsnio vidurio iki plaukėjimo pradžios (BBCH51) dirvožemyje (0-10 ir 10-20 cm gyliuose) drėgmės buvo mažiau optimalaus kiekio, bet nepasiekė kritinio momento – augalų vytimo drėgmės kiekio. Vėlesniais miežių augimo ir vystymosi tarpsniais dirvožemio drėgmė atskiruose gyliuose buvo optimali. Paprastosios klimato stoties meteorologiniai duomenys – kritulių kiekis nesutapo su lauko eksperimento dirvožemio drėgmės duomenimis. Toks nesutapimas buvo dėl lokalių ir momentiška gausių kritulių, todėl dirvožemio drėgmės tyrimai buvo atliekami vykdomame eksperimente, kad nustatytume dirvožemio drėgmės poveikį panaudojus kalcingas medžiagas ir augalų vystymuisi.

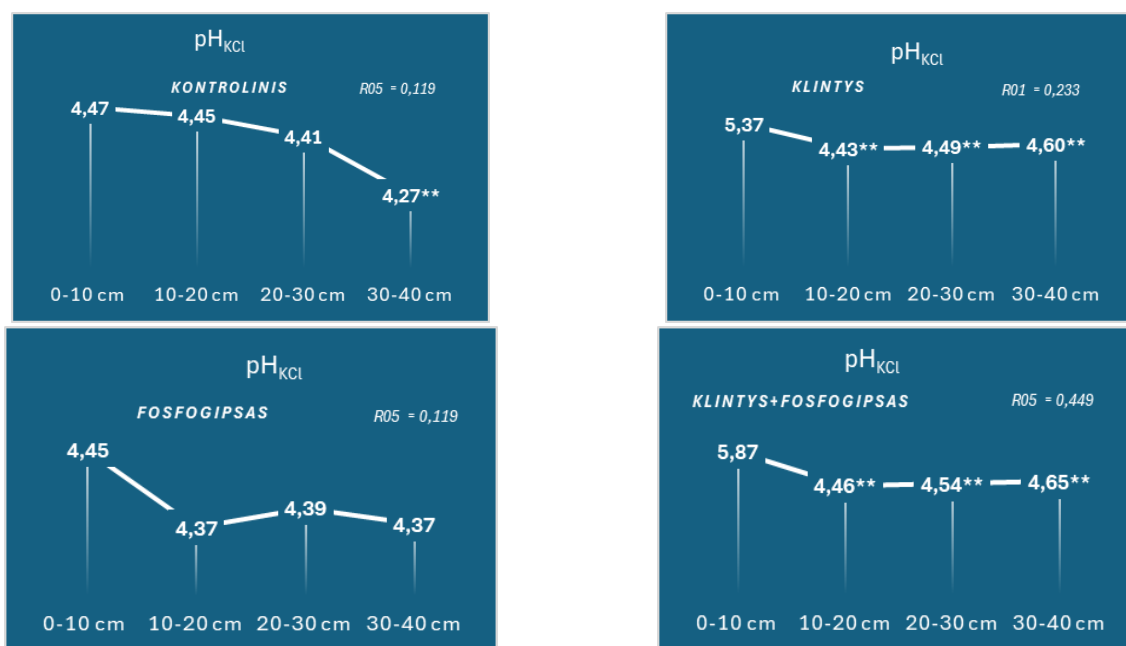


19 pav. Dirvožemio drėgmė vasarinių miežių vegetacijos laikotarpiu, vykdytame lauko eksperimente. Vėžaičiai, 2025 m.

Kalcingų medžiagų poveikis dirvožemio cheminėms savybėms

Rūgštaus dirvožemio neutralizavimui panaudojant (išbarstant ir įterpianč) kalcingas medžiagas – klintis ir fosfogipsą pagal numatytą schemą buvo atliktas 2025 m. balandžio pabaigoje. Tuo metu dirvožemio drėgmė 0-10 cm gylyje buvo 22 % ir tai rodo, kad sąlygos, kalcingoms medžiagoms pereit į dirvožemio sorbuojamą kompleksą, buvo palankios. Per visą 4 mėnesių eksperimento vykdymo laikotarpį dirvožemio drėgmė 0-10 cm ir 10-20 cm gylyje įvairavo, atitinkamai 11-22 % ir 13-26 % ribose (1 pav.). Po kalcingų medžiagų įterpimo praėjus beveik 4 mėnesiams buvo atliktos dirvožemio cheminės analizės.

Dirvožemio pH_{KCl} pokyčiai dirvožemio skirtinguose gyliuose (0-10, 10-20, 20-30 ir 30-40 cm) pateikti 20 paveiksle. Tyrimų duomenys rodo, kad naudotos kalcingos medžiagos – klintys, fosfogipsas ir jų derinys esminės įtakos turėjo tik viršutiniame (0-10 cm) dirvožemio gylyje. Esminiai pH_{KCl} rodiklio padidėjimai rodo teigiamą kalcingų medžiagų poveikį rūgštaus dirvožemio neutralizavimo linkme. Palyginus su kontrole pH_{KCl} rodiklis labiausiai padidėjo nuo klinčių per 0,9 pH vnt., nuo klinčių + fosfogipso per 1,4 pH vnt. arba padidėjimas buvo atitinkamai 20 ir 31 %. Klinčių ir fosfogipso derinys ($2 + 2 \text{ t ha}^{-1}$) buvo veiksmingesnis pH rodiklio pokyčiams dirvožemio neutralizavimo linkme, palyginus su klintimis. Gilesniuose (10-20, 20-30 ir 30-40 cm) dirvožemio sluoksniuose nuo panaudotų klinčių, fosfogipso bei jų derinio, palyginus su viršutiniu (0-10 cm) pH_{KCl} rodiklio pokyčių nenustatyta, t.y. buvo pH esminis sumažėjimas (20 pav.).

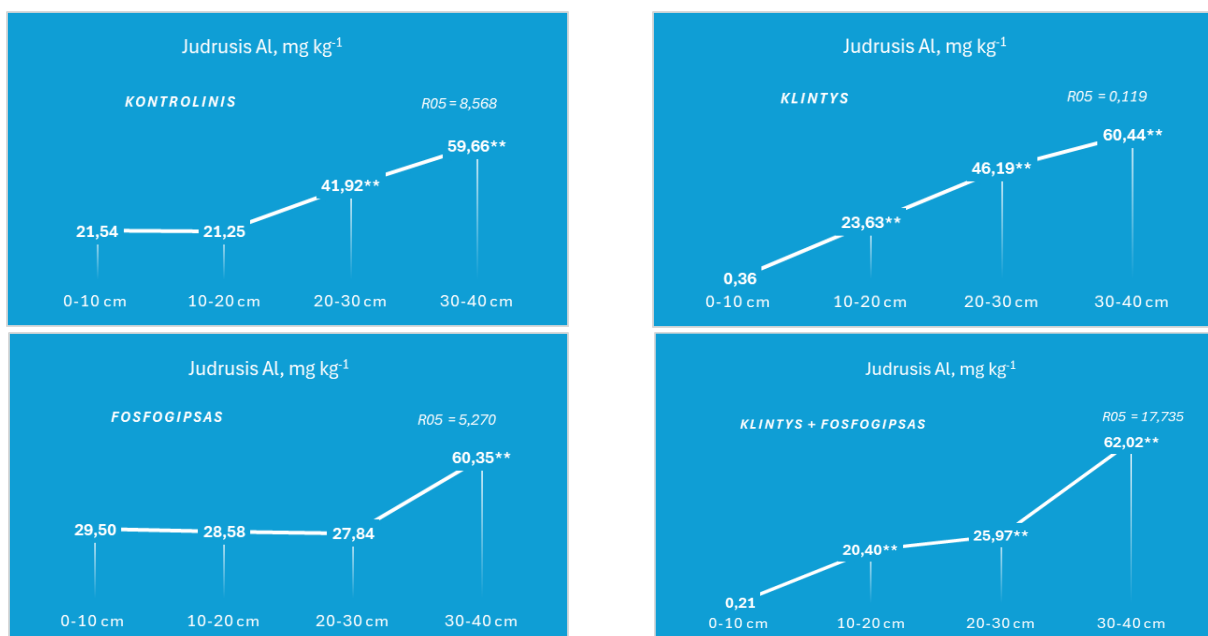


20 pav. Kalcingų medžiagų (klinčių ir fosfogipso) poveikis dirvožemio pH_{KCl} rodikliui skirtinguose dirvožemio gyliuose, Vėžaičiai, 2025 m.

Judriojo aliuminio (Al) kiekis dirvožemyje. Judriojo Al 0-10 cm gylyje buvo vidutinis kiekis (21,5 - 25,9 mg kg dirvožemio). Atlikus tyrimai gilesniuose dirvožemio sluoksniuose nustatyta, kad

judriojo Al dideli ir labai dideli kiekiai (21 pav.). Kalcingos medžiagos – klintys bei klinčių ir fosfogipso derinys turėjo teigiamą poveikį neutralizuojant toksišką judųjį Al viršutiniame (0-10 cm) dirvožemio sluoksnyje.

Panaudotos klintys (4 t ha^{-1}) judriojo Al sumažino iki $0,36 \text{ mg kg}^{-1}$, o klintys derinyje su fosfogipsu – iki $0,21 \text{ mg kg}^{-1}$, arba Al sumažėjimas buvo atitinkamai 98 ir 99 %, palyginus su kontrole. Klinčių ir fosfogipso derinys ($2 + 2 \text{ t ha}^{-1}$) buvo veiksmingesnis judriojo Al kiekio pokyčiams dirvožemio neutralizavimo linkme, palyginus su klintimis (4 t ha^{-1}). Gilesniuose (10-20, 20-30 ir 30-40 cm) dirvožemio sluoksniuose nuo panaudotų klinčių, klinčių derinio su fosfogipsu, palyginus su viršutiniu (0-10 cm) judriojo Al pokyčių nenustatyta, t.y. iš esmės buvo didesni kiekiai. Kalcingos medžiagos per sąlyginai trumpą laiką (4 mėn.) neparodė esminio poveikio judriojo Al kiekiui gilesniuose dirvožemio sluoksniuose.

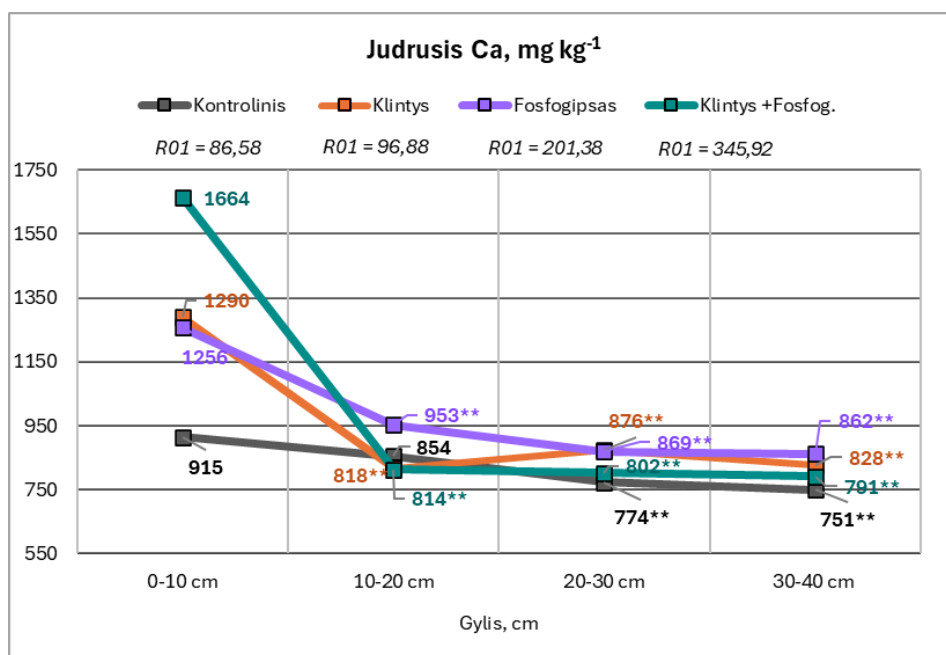


Pastaba. ** – esminiai skirtumai nuo viršutinio dirvožemio sluoksnio (0-10 cm), esant 99 % tikimybės lygiui

21 pav. Kalcingų medžiagų (klinčių ir fosfogipso) poveikis judriojo Al kiekiui dirvožemio skirtinguose gyliuose, Vėžaičiai, 2025 m.

Judriojo Ca (kalcio) ir Mg (magnio) kiekis dirvožemyje. Lietuvos dirvožemių bazingumą iš esmės sudaro Ca^{2+} ir Mg^{2+} katijonų bendras kiekis. Nuo katijonų kiekio ir sudėties priklauso dirvožemio cheminės ir fizikinės savybės. Ca ir Mg sužadindami koloidų koaguliaciją, padeda susidaryti patvariai dirvožemio struktūrai, neutralizuoja jo rūgščių terpę ir sudaro palankias sąlygas augalams augti (Mažvila ir kt. 2008). Dirvožemis tampa rūgštus, kai pagrindiniai elementai, tokie kaip kalcis, magnis, natris ir kalis, esantys dirvožemio koloiduose, pakeičiami vandenilio jonais. Kalcis reikalingas augalams nuo pat dygimo pradžios t.y. normaliam šaknų ir antžeminių organų augimui ir vystymuisi (Cermak et al., 2005).

Pagrindinių bazinių (Ca^{2+} ir Mg^{2+}) katijonų pokyčiai dirvožemio atskiruose gyliuose nuo panaudotų kalcinių medžiagų pateikti 22 paveiksle ir 8 lentelėje. Panaudotos klintys (4 t ha^{-1}) judriojo Ca padidino iki 1290 mg kg^{-1} , fosfogipsas – iki 1256 mg kg^{-1} , o klintys derinyje su fosfogipsu – iki 1664 mg kg^{-1} , arba Ca padidėjimas buvo atitinkamai 41, 37 ir 82 %, palyginus su kontrole. Viršutiniame dirvožemio (0-10 cm) sluoksnyje buvo nustatytas esminis judriojo Ca padidėjimas nuo įterptų klinčių (4 t ha^{-1}) bei klinčių derinio su fosfogipsu ($2 + 2 \text{ t ha}^{-1}$) normų, palyginus su gilesniais dirvožemio sluoksniais (22 pav.).



Pastaba. ** – esminiai skirtumai nuo viršutinio dirvožemio sluoksnio (0-10 cm), esant 99 % tikimybės lygiui

22 pav. Kalcinių medžiagų (klinčių ir fosfogipso) poveikis judriojo Ca kiekiui dirvožemio skirtinguose gyliuose, Vėžaičiai, 2025 m.

Dirvožemio viršutiniame (0-10 cm) sluoksnyje nustatytas esminis mainų Mg padidėjimas nuo įterptų klinčių ir klinčių kartu su fosfogipsu, palyginus su nekalkintu dirvožemiu (8 lentelė).

8 lentelė. Kalcinių medžiagų klinčių ir gipso poveikis judriojo Mg kiekio kitimui skirtinguose dirvožemio gyliuose. Vėžaičiai, 2025 m.

Variantai	Mainų Mg kiekis (mg kg^{-1}), atskiruose gyliuose			
	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	30-40 cm
1. Kontrolinis	108,0	98,7	97,3	95,0
2. Klintys 4 t ha^{-1}	118,3*	99,3	98,7	98,0
3. Fosfogipsas 4 t ha^{-1}	102,7	99,6	97,3	95,0
4. Klintys 2 t ha^{-1} + fosfogipsas 2 t ha^{-1}	119,0*	101,0	97,7	95,3
R ₀₅	7,748	13,17	11,66	12,32

Pastaba. * – esminiai skirtumai nuo kontrolinio varianto, esant 95 % tikimybės lygiui

Gilesniame (10-20 cm) dirvožemio sluoksnyje, esminis Mg padidėjimas buvo tik nuo klinčių kartu su fosfogipsu, palyginus su kontroliniu variantu. Kituose dirvožemio gyliuose (20-30, 30-40 cm) nuoseklių kitimo tendencijų nenustatyta mainų Mg kiekis buvo 98 – 95 mg kg⁻¹.

Kalcingų medžiagų poveikis javų produktyvumui

Lauko eksperimente buvo auginti vasariniai miežiai *Laureate*. Miežiai yra jautrūs dirvožemio rūgštumui ir labai neigiamai reaguoja į žemą pH bei didelį judriojo Al kiekį. Įrengiant lauko eksperimentą dirvožemis buvo labai rūgštus (pH_{KCl} – 4,29) ir turintis vidutinį kiekį judriojo Al (25,9 mg kg⁻¹) (1 lentelė). Visos kalcingos (klintys, fosfogipsas ir jų derinys) medžiagos turėjo esminės įtakos augalų sudygimui t.y. 15-17 proc. augalų sudygo daugiau, palyginus su kontroliniu variantu (9 lentelė). Taip pat visos tirtos kalcingos medžiagos turėjo esminę teigiamą įtaką miežių stiebų produktyvumui. Nuo visų įterptų medžiagų (2 – 4 var.) produktyvių stiebų buvo 42 – 53 % daugiau, palyginus su nekalkintu dirvožemiu (1 var.). Neproduktyvių stiebų eksperimento visuose variantuose buvo panašus kiekis (16 -18 vnt. m⁻²). Visuose kalkintuose kalcingomis medžiagomis variantuose nustatyti didžiausi (1,61 - 1,73) produktyvaus krūmijimosi koeficientai, arba jie buvo 1,2 - 1,3 karto didesni nei kontroliniame variante (9lentelė).

9 lentelė. Kalcingų medžiagų klinčių ir fosfogipso poveikis miežių biometriniais rodikliams

Variantai	Sudygusių augalų kiekis, vnt. m ⁻²	Produktyvių stiebų kiekis, vnt. m ⁻²	Neproduktyvių stiebų kiekis, vnt. m ⁻²	Krūmijimosi koeficientai	
				produktyvaus	bendro
1. Kontrolinis	219	285	15,5	1,30	1,37
2. Klintys 4 t ha ⁻¹	251*	405**	18,0	1,61	1,69
3. Fosfogipsas 4 t ha ⁻¹	257*	415**	16,0	1,61	1,68
4. Klintys 2 t ha ⁻¹ + fosfogipsas 2 t ha ⁻¹	253*	437**	18,0	1,73	1,80
R ₀₅	30,18	70,45	4,836	–	–

Pastaba. * – esminiai skirtumai nuo kontrolinio varianto, esant 95 % tikimybės lygiui

** – esminiai skirtumai nuo kontrolinio varianto, esant 99 % tikimybės lygiui

Grūdų derlių formuojantys rodikliai yra ne tik produktyvūs stiebai, bet ir grūdų kiekis varpose bei 1000 grūdų masė (10 lentelė).

Visos naudotos kalcingos medžiagos turėjo teigiamos įtakos grūdų kiekiui varpose, 1000 grūdų masei ir grūdų derliui t.y. visais atvejais gauti statistiškai patikimi skirtumai nuo kontrolinio varianto. Naudotos visos kalcingos medžiagos lėmė miežių grūdų priedus t.y. derliaus padidėjimai buvo 1,18 - 1,26 t ha⁻¹, arba derlius padidėjo 69 - 74 %, o 1000 grūdų masė padidėjo 4,4 – 5,9 %, palyginus

su kontroliniu variantu. Įvertinus visų kalcingų medžiagų įtaką miežių grūdų derliui nustatyta, kad naudotos klintys lėmė didžiausią miežių grūdų derlių (10 lentelė).

10 lentelė. Kalcingų medžiagų klinčių ir fosfogipso poveikis miežių varpoje grūdų kiekiui, 1000 grūdų masei ir grūdų derliui. Vėžaičiai, 2025 m.

Variantai	Grūdų kiekis varpoje, vnt.	1000 grūdų masė, g	Grūdų derlius, t ha ⁻¹	Grūdų derliaus, t ha ⁻¹ pokytis (±)
1. Kontrolinis	19,8	38,8	1,70	0
2. Klintys 4 t ha ⁻¹	21,5*	41,1**	2,96**	+1,26
3. Fosfogipsas 4 t ha ⁻¹	21,5*	40,5*	2,88**	+1,18
4. Klintys 2 t ha ⁻¹ + fosfogipsas 2 t ha ⁻¹	21,4*	40,4*	2,89**	+1,19
R ₀₅	1,289	1,338	0,236	–

Pastaba. * – esminiai skirtumai nuo kontrolinio varianto, esant 95 % tikimybės lygiui

** – esminiai skirtumai nuo kontrolinio varianto, esant 99 % tikimybės lygiui

Lauko eksperimento išvados

Vakarų Lietuvos agroklimatinėmis sąlygomis labai rūgščiame dirvožemyje, vidutinius kiekius turinčiame augalams toksiško judriojo aliuminio, mažai bazinių elementų – judriojo kalcio ir judriojo magnio, atlikus tikslųjį lauko eksperimentą pagal numatytą schemą t.y. įterpus skirtingas normas kalcingų medžiagų – klinčių (CaCO₃) ir fosfogipso (CaSO₄·2H₂O), daromos sekančios išvados:

1. Kalcingos medžiagos – klintys (CaCO₃) ir fosfogipsas (CaSO₄·2H₂O), palyginus su dirvožemiu be kalcingų medžiagų (kontrolė), turėjo teigiamą poveikį neutralizuojant rūgštų dirvožemį bei jį praturtinant bazėmis (Ca, Mg). Šių rodiklių statistiškai reikšmingi pokyčiai nustatyti tik viršutiniame (0-10 cm) dirvožemio sluoksnyje.

1.1. p_{H_{KCl}} rodiklis esminiai padidėjo nuo 4,47 iki 5,37 – 5,87 pH vnt. viršutiniame (0 - 10 cm) dirvožemio sluoksnyje, o gilesniuose sluoksniuose nuoseklių šio rodiklio pokyčių nenustatyta. p_{H_{KCl}} rodiklio pokyčio atžvilgiu pranašesnės buvo klinčių ir fosfogipso derinys.

1.2. Dirvožemyje judriojo Al esminiai kiekio sumažėjimo pokyčiai (nuo 21,54 mg kg⁻¹ iki 0,36 - 0,21 mg kg⁻¹) nustatyti 0 - 10 cm gylyje nuo įterptų klinčių bei klinčių ir fosfogipso derinio.

1.3. Judriojo Ca kiekis dirvožemyje iš esmės padidėjo nuo visų kalcingų medžiagų (klinčių, fosfogipso ir jų derinio) t.y. 1,4 - 1,8 karto, palyginus su kontrole. Judriojo Mg padidėjimas buvo nuo klinčių bei klinčių ir fosfogipso derinio, t.y. 1,1 karto daugiau nei nustatyti kontrolėje.

2. Tirtos visos kalcingos medžiagos turėjo esminę teigiamą įtaką vasarinių miežių produktyvumui – grūdų derlius gautas 69-74 % didesnis nei kontrolėje nes augalai suformavo didesnę produktyvių stiebų (42 - 53 %), grūdų varpose (8 %) skaičių ir 1000 grūdų masė buvo didesnė (4,4-5,9 %).

APIBENDRINIMAS

Vienerių metų tyrimų duomenys parodė ir patvirtino, kad kalcinga karbonatinė medžiaga – klintys (CaCO_3) yra efektyvi priemonė neutralizuojant rūgštų dirvožemį, o kalcingos sulfatinės medžiagos – gipso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ir jo tinkamo derinio su karbonatine medžiaga – klintimi agronominiams ir ekologiniams pagrindimui reikalingi tolimesni detalesni tyrimai.

3. Žemės ūkio augalai galintys augti žemesnio pH (rūgštesniame) dirvožemyje

Rūgštūs dirvožemiai užima maždaug 50 % potencialiai ariamos žemės. Todėl pasėlių produktyvumo didinimas rūgščiuose dirvožemiuose bus labai svarbus užtikrinant aprūpinimą maistu ir žemės ūkio tvarumą. Didelis dirvožemio rūgštingumas dažnai egzistuoja kartu su fosforo (P) trūkumu ir aliuminio (Al) toksiškumu – deriniu, kuris labai trukdo augalų augimui ir derliui dideliuose plotuose. Šaknys, ieškodamos dirvožemyje maistinių medžiagų ir vandens, reikalingų augalų augimui ir vystymuisi, taip pat jaučia ir reaguoja į šiuos stresorius. Sausumos kontekste, kuriame plačiai paplitęs fosforo trūkumas ir Al toksiškumas, augalai, ypač šaknys, išvystė įvairius mechanizmus, kaip prisitaikyti prie šių stresorių. Yra žinoma, kad ankštiniai augalai, gali gauti azoto (N) per simbiotinę azoto fiksaciją, kuri gali būti naudinga siekiant sumažinti per didelį azoto trąšų naudojimą, tiek tiesiogiai kaip ankštiniai augalai sėjomainoje ir tarpinių kultūrų sistemose, tiek antriniu būdu kaip žaliosios trąšos dengiamosios kultūros. Ankštinių augalų veislių, pasižyminčių geresniu maistinių medžiagų efektyvumu ir (arba) aliuminio tolerancija, kūrimas genetinės atrankos būdu gali tapti potencialiai veiksminga strategija, siekiant išvesti augalų veisles, galinčias išlaikyti arba pagerinti derlių stresinėse dirvožemio sąlygose, kurioms vis sudėtingesnės aplinkos

Augalų galimybė augti rūgščiuose dirvožemyje pirmiausia priklauso nuo jų genetinių savybių rūgščiuose dirvožemyje. Kai kurios augalų rūšys yra genetiškai prisitaikiusios/ atsparios specifinėms rūgščių dirvožemių sąlygoms t.y. didelei vandenilio jonų H^+ ir aliuminio jonų Al^{3+} koncentracijoms. Senai žinoma, kad šaknys paprastai yra jautriausi Al organai, nes Al greitai slopina pagrindinės šaknies viršūnės augimą, t.y. šaknų ląstelių dalijimosi slopinimas ir pačių ląstelių ilgėjimo slopinimas (Ma 2000; Matsumoto, 2000; Ma et al. 2001).

Pastarajame dešimtmetyje yra ištirtos ir nustatytos augalų dvi skirtingos Al tolerancijos mechanizmų klasės. Vieni mechanizmai yra tie, kurie veikia siekdami pašalinti Al iš šaknies viršūnės, ir kiti, kurie leidžia augalui toleruoti Al kaupimąsi šaknų ir ūglių simplazmoje (Ma et al., 2001; Kochian 2002; Kollmeier et al. 2000). Nepaisant nemažai prielaidų apie kai kuriuos skirtingus Al tolerancijos mechanizmus, keletas tyrimų rezultatų sutelkė dėmesį į šaknies Al išskyrimą, pagrįstą Al aktyvuotos organinės rūgšties išsiskyrimu iš šaknies viršūnės. Taip pat daugėja įrodymų apie antrąjį tolerancijos mechanizmą, pagrįstą vidine simplastinio Al detoksikacija per kompleksų sudarymą su organiniais ligandais, vėlgį daugiausia organinėmis rūgštimis (Clemens, 2001; Barcelo et al. 2000; Kidd et al. 2001).

Dabartinis mūsų supratimas apie fiziologinį, genetinį ir molekulinį augalų atsparumo Al pagrindą, taip pat apžvelgiama nauja fosforo efektyvumo sritis, apimanti kai kurių augalų genotipų genetiškai pagrįstą gebėjimą toleruoti fosforo trūkumo stresą rūgščiuose dirvožemyje. Tai įdomūs laikai šiai sričiai, nes tyrėjai jau ruošiasi nustatyti kai kuriuos genus, suteikiančius Al toleranciją augalams; šie atradimai atvers naujas molekulinį/ fiziologinių tyrimų galimybes, kurios turėtų

gerokai pagerinti mūsų supratimą apie šiuos tolerancijos mechanizmus. Be to, šie proveržiai suteiks naujų molekulinį išteklių augalų atsparumui Al gerinti, taikant tiek molekulinio būdu paremtą veislių išvedimą, tiek biotechnologijas (Liu et al., 2020; Raphael et al, 2023).

Šiandien turime augalus, kurie netoleruoja arba dalinai toleruoja dirvožemių rūgštumą. Galinčių augti rūgštesniame dirvožemyje žemės ūkio paskirties augalų turime nedaug, o dekoratyviųjų sodo ir daržo augalų yra daugiau. Pagrindiniai žemės ūkio augalai, kurie gali augti rūgštesniame dirvožemyje – tai avižos, rugiai, lubinai, kvietrugiai.

Pagal jautrumą t.y. rūgštumo netoleravimą pagrindinius ž.ū paskirties augalus galima sugrupuoti sekančiai:

- **Labai jautrūs dirvožemio rūgštumui augalai** (pH ne mažiau 6,0) – cukriniai runkeliai, miežiai, kviečiai, pupos, žirniai, dobilai, liucernos, rapsai, linai, daržovės (česnakai, pupelės ir kt.).
- **Vidutiniškai jautrūs dirvožemio rūgštumui augalai** (pH 5,6-6,0) – kukurūzai, vikiai, varpinės žolės (motiejukai linai, kanapės, daržovės (morkos, kopūstai, burokėliai, svogūnai, česnakai, petražolės).
- **Mažai jautrūs dirvožemio rūgštumui augalai** (pH < 5,0) – avižos, rugiai, kvietrugiai, lubinai, bulvės, gargždieniai, ropės.

Remiantis tyrimų duomenimis, pateiktuose ankstesniuose skyreliuose matome, kad pakalkintame dirvožemyje mažai jautrių rūgštumui augalų produktyvumas didesnis, nei nekalkintame (rūgščiam). Kalkintame dirvožemyje šiems augalams yra palankesnė aplinka augti, įsisavinti maistinius elementus.

4. Dirvožemio rūgštumo mažinimo priemonių (kalkinimo) ekonominis vertinimas

Kalkinimo efektyvumas ir ekonomiškumas priklauso ne tik nuo kalkinių medžiagų kokybės, bet ir nuo tinkamai valdomos kalkinimo technologijos (Quin, 2015). Kalkinimo svarbiausias ir pirmiausias tikslas – palaikyti dirvožemio optimalų pH lygį ($pH_{KCl} \sim 6,0$). Kalkinimo nauda yra ne tik ekonomiškai reikšminga per padidėjusį derlių, bet ir pagerėjusi dirvožemio kokybę. Dirvožemio kokybė, maistinių medžiagų prieinamumas ir ilgalaikis tvarumas yra svarbiausi aspektai sprendžiant dirvožemio rūgštingumo problemą. Kalkinimo periodiškumas (dažnumas) priklauso nuo dirvožemio grupės, dirvožemio granulimetrinės sudėties, karbonatų slūgsojimo gylio, nuo naudojamų kalkinių medžiagų ir valdymo būdo bei sėjomainoje auginamų augalų, ypač jų jautrumo rūgštumui (Quin, 2015; Tang et al. 2003). Metiniai kalkių nuostoliai (dėl išsiplovimo, paėmimo su derliumi ir kt.) įvairiuose dirvožemiuose labai skiriasi, todėl kalkinimo periodiškumo negalima nustatyti spėliojant, o reikia atlikti dirvožemio tyrimus maždaug kas 4-5 metai (Conyers et al., 2003; Staugaitis, Vaišvila, 2019).

Dirvožemių rūgštėjimas sukelia jų degradaciją (cheminę, fizinę, mikrobiologinę), įvertinant sumažėjusį pasėlių derlių, padidėjusias sąnaudas ir ekosistemų funkcijų praradimą, todėl ir reikalauja didelių ekonominių išlaidų. Tačiau dėmesys į kalkinimą nėra didelis, palyginus su tręšimu, dirvožemiai rūgštėja palaipsniui, todėl ir didžiausios išlaidos skiriamos trąšoms.

Atsižvelgiant Europos žaliojo kurso strategiją (Europos Komisijos Komunikatas, 2021) privalu įgyvendinti ilgalaikes tvarias technologijas išsaugančias sveiką dirvožemį ir saugų maistą. Todėl labai svarbu užtikrinti sąlygas, kad dirvožemis nepablogėtų iki tokio lygio, kad nebegalėtų augti ir būti produktyvūs. Todėl kalkinimas yra tinkamas šios problemos sprendimas, kuris sudaro dirvožemio palankią aplinką ne tik augalams, bet ir visai biotai.

Kalkinių medžiagų ekonominiam įvertinimui buvo naudoti ilgalaikių ir trumpesnės trukmės tikslųjų lauko eksperimentų duomenys. Kalkinės medžiagos (naudotos eksperimentuose) skaičiuotos 2025 m. kainomis. Augalų derliai skaičiuoti 2025 m. grūdų supirkimo kainomis.

Kalkinių medžiagų kainos:

AB Naujasis Kalcitas (gamina ir parduoda)

Klintis dulki (0-0,02 mm) – 72,14 Eur/t. Su atvežimu 1 tona – 92,0 Eur.

Klintis trupinta (0-3 mm) – 21,58 Eur/t. Su atvežimu 1 tona – 42,0 Eur.

UAB Mortar Akmenė (gamina), *UAB Baltic Agro* (parduoda)

Granuliuota KALK V (Kalktrąšė). Su atvežimu 1 tona – 135 Eur

Grūdų supirkimo kainos 2025 m. liepos mėn. (Šaltinis ŽŪDC (LŽŪMPRIŠ))

Kviečiai – 212 Eur/t; Miežiai – 157 Eur/t; Avižos – 163 Eur/t; Kvietrugiai – 178 Eur/t; Žirniai – 235 Eur/t; Rugiai – 134 Eur/t; Rapsai – 460 Eur/t.

Trumpalaikių lauko eksperimentų (2017-2020 m.) dulkių ir granuliuotų kalkinių medžiagų ekonominis efektyvumas pateiktas (11 lentelėje).

Dirvožemiui parūgštėjus iki pH 4,28 - 4,45 ir padidėjus judriojo Al – 20,1 - 37,1 mg kg⁻¹ buvo kalkinta nedidelėmis (2 t ha⁻¹) kalkinių medžiagų normomis. Buvo naudota: klintis dulki frakcija ir granuliuota KALK V (*kalktrąšė*). Kalkinimas buvo atliktas sėjomainoje 3 kartus per keturių metų laikotarpį, kol dirvožemis buvo neutralizuotas optimalaus lygio (pH padidėjo iki 5,0-5,2, ir judriojo Al – sumažėjo iki netoksiškų kiekių (0,43 - 0,99 mg kg⁻¹).

Išlaidos kalkinems medžiagoms buvo sekančios:

Klinitims (dulki frakcija) 1 ha per 3 kartus buvo išleista – 552 Eur. Granuliuotų 1 ha per 3 kartus – 810 Eur. Augalų derlių padidėjimai (priedai) nuo kalkinimo nepadengė išlaidų kalkėms. Tačiau nustatyti dirvožemio teigiami kokybiniai pokyčiai – sumažėjo rūgštumas, toksiškas Al perėjo į netirpius junginius, padidėjo augalams prieinamo Ca.

11 lentelė. Kalkinių medžiagų (dulkių ir granuliuotų) ekonominis efektyvumas (*Vėžaičiai, 2017-2020 m.*)

Variantai	pH	Judr. Al mg kg ⁻¹	Avižos 2017 m.		Ž. kvietrugiai 2018 m.		Žirniai 2019 m.		Ž kviečiai, 2020 m.		Pajamos nuo derliaus pokyčio, ± Eur	Išlaidos kalkėms, Eur	Ekon. kalk. priedas ± Eur
			derlius, t ha ⁻¹	derliaus pokytis ± t ha ⁻¹	derlius, t ha ⁻¹	derliaus pokytis ± t ha ⁻¹	derlius, t ha ⁻¹	derliaus pokytis ± t ha ⁻¹	derlius, t ha ⁻¹	derliaus pokytis ± t ha ⁻¹			
Nekalkinta	4,45	20,1	4,19	–	3,75	–	3,25	–	3,90	–	–	–	–
Klintis dulki po 2 t ha ⁻¹ 3 k.	5,16	0,43	4,41	+0,22	4,09	+0,34	3,96	+0,71	4,71	+0,81	500	552	-52
Nekalkinta	4,28	37,1	4,19	–	3,75	–	3,25	–	3,90	–	–	–	–
Granuluota <i>Kalktrąšė</i> po 2 t ha ⁻¹ 3 k.	5,02	0,99	4,33	+0,14	3,97	+0,22	3,68	+0,43	4,69	+0,79	331	810	-479

Kalkinių medžiagų – trupintų klinčių skirtingų (0,5 t ha⁻¹, 1 t ha⁻¹ ir 2 t ha⁻¹) normų ekonominis efektyvumas pateiktas (12, 13, 14 lentelėse). Trupintų klinčių 0,5 t ha⁻¹ normai išlaidos buvo 11 Eur, 1 t ha⁻¹ – 22 Eur, 2 t ha⁻¹ – 44 Eur. Įvertinus pajamas nuo v. kviečių derliaus padidėjimo – didžiausias pelnas (74,7 Eur) gautas nuo 2 t ha⁻¹ trupintų klinčių normos (12 lentelė). Pakartotiniai pakalkinimus pačiomis normomis trupintų klinčių, turėjo teigiamą poveikį ž. kvietrugių produktyvumui. Visais atvejais gauti didesni grūdų derliai, palyginus su nekalkintu dirvožemiu ir gauti teigiami ekonominiai priedai – pelnai (12 lentelė). Pakartotinis kalkinimas trečią kartą taip pat visais atvejais davė ž. kviečių derliaus padidėjimą, palyginus su nekalkintu ir gautas pelnas (13 lentelė). Per 3 metų laikotarpį nuo kalkinių medžiagų įterpimo vyko ir teigiami dirvožemio kokybiniai pokyčiai – judrusis Al sumažėjo iki augalams nekenksmingų (0,07-0,37 mg kg⁻¹) kiekių, pH_{KCl} 4,83-5,3. Nors pH nepasiekė 5,6, tačiau šiuo atveju kalkinti daugiau netikslinga, nes vandenilis nėra toks toksiškas kaip judrusis Al.

Įvertinus kasmetinį kalkinimą trupintomis klintimis galime konstatuoti, kai dirvožemis parūgštėjęs iki pH_{KCl} 4,57-4,63, o judriojo Al 6,7-7,7 mg kg⁻¹, t.y. nedaug tinkamiausia pakalkinti 3 t ha⁻¹ trupintų klinčių norma, gautas optimaliausias derliaus priedas ir dirvožemis neutralizuojamas panašiai kaip išbarsčius klinčių po 2 t ha⁻¹ sėjomainoje tris kartus arba po 2 t ha⁻¹ – du kartus.

12 lentelė. Vienkartinis kalkinimas trupinta klintimi auginti v. kviečiai 2020 m.

Variantai	pH _{KCl}	Judr. Al, mg kg ⁻¹	Grūdų derlius, t ha ⁻¹	Grūdų derliaus pokytis nuo nekalkinto dirvožemio		Pajamos nuo derliaus pokyčio Eur	Išlaidos kalkėms Eur	Ekonominis kalkinimo priedas ± Eur
				± t ha ⁻¹	±%			
Nekalkinta	4,57	7,17	1,88	–	–	–	–	–
Kalkinta 0,5 t ha	4,61	6,72	1,93	+0,05	+2,7	+10,6	11	-0,4
Kalkinta 1 t ha	4,72	5,87	2,10	+0,22	+11,7	+46,6	22	+24,6
Kalkinta 2 t ha	4,74	2,38	2,44	+0,56	+29,8	+118,7	44	+74,7

13 lentelė. Pakartotinis (antrą kartą) kalkinimas trupinta klintimi auginti ž. kvietrugiai 2021

Variantai	pH _{KCl}	Judr. Al, mg kg ⁻¹	Grūdų derlius, t ha ⁻¹	Grūdų derliaus pokytis nuo nekalkinto dirvož.		Pajamos nuo derliaus pokyčio Eur	Išlaidos kalkėms Eur	Ekonominis kalkinimo priedas ± Eur
				± t ha ⁻¹	±%			
Nekalkinta	4,63	6,70	5,93	–	–	–	–	–
Kalkinta 0,5 t ha	4,68	3,02	6,12	+0,19	+3,2	+33,8	11	+22,8
Kalkinta 1 t ha	4,78	1,92	6,14	+0,21	+3,5	+37,4	22	+15,4
Kalkinta 2 t ha	4,94	0,41	6,26	+0,33	+5,6	+58,7	44	+14,7

14 lentelė. Pakartotinis (trečią kartą) kalkinimas trupinta klintimi auginti v. kviečiai 2022

Variantai	pH _{KCl}	Judr. Al, mg kg ⁻¹	Grūdų derlius, t ha ⁻¹	Grūdų derliaus pokytis nuo nekalkinto dirvož.		Pajamos nuo derliaus pokyčio	Išlaidos kalkėms	Ekonominis kalkinimo priedas ±
				± t ha ⁻¹	±%			
Nekalkinta	4,63	6,70	3,53	–	–	–	–	–
Kalkinta 0,5 t ha	4,83	0,37	3,94	+0,41	+11,8	+86,9	11	+75,9
Kalkinta 1 t ha	4,90	0,20	3,97	+0,44	+12,5	+93,3	22	+71,3
Kalkinta 2 t ha	5,30	0,07	4,05	+0,52	+14,8	+110,2	44	+66,2

Dirvožemio kokybės gerinimui kalkinimas yra akivaizdi valdymo praktika, tačiau ne visada duodanti ekonominę naudą. Pasauliniu mastu atlikti kalkinimo tyrimai ne visada duoda ekonominę naudą, tai priklauso nuo konkrečių aplinkos sąlygų dirvožemio parūgštėjimo, drėgmės kiekio, auginamų augalų ir jų veislių, trąšų, naudojamų kalkinių medžiagų fizinių ir cheminių savybių. Taip pat nuo išauginto derliaus pardavimo kainų bei naudotų kalkinių medžiagų kainų (Kalkhoran et al., 2020; Li et al., 2010; Warner et al., 2023; Enesi et al., 2023).

LAMMC Vėžaičių filiale ilgalaikiai tyrimais įrodyta, kad kalkinių medžiagų nauda yra pelninga. Ilgą laiką – daugiau nei 60 metų, periodiškai (kas 5 m.) kalkinant, rūgštumas sumažėja ir podirvyje (iki 50 cm gylio). Rūgštus podirvis sumažina šaknų augimą ir ilgėjimo greitį, sumažina augalo gebėjimą gauti vandenį ir maistines medžiagas (Wong and Asseng, 2007). O visa tai tiesiogiai įtakoja augalų produktyvumą, todėl rūgščiuose dirvožemiuose turi būti taikomas periodinis kalkinimas. Kalkių ilgalaikis poveikis yra gyvybiškai svarbus augalų auginimo tęstinumui ir pelningumui, gal ir ne visada atsiperkantis derliumi.

Kalkinimo ekonominę naudą galima matyti naudojant LAMMC Vėžaičių filialo ilgalaikių eksperimentų duomenis. Sėjomainoje auginant jautresius dirvožemio rūgštumui augalus kviečius, miežius, rapsus, ekonominė nauda labai akivaizdi (15-17 lentelės). Panaši ekonominė nauda gauta ilgalaikių kalkinimo eksperimentų Rothamsted ir Woburn duomenis, tik po 20 m. laikotarpio išryškėjo aiškus skirtumas kalkinimo pelningumas (Holland and Behrendt, 2020).

Augalų sėjomainoje kalkinta 1 kartą dulkių klinčių 3,5 t ha⁻¹. Dirvožemis per rotaciją parūgštėjo tik 1,03 pH vnt., judrusis Al liko stabiluose kalcio-aliuminio junginiuose ir jo toksiskumas augalams nepasireiškė. Norint išlaikyti dirvožemio pH_{KCl} 5,8-6,0 kas 5 metai reikia kalkinti dulkių klinčių 3,5 t ha⁻¹. Išlaidos 1 ha kalkinimui 5 metų laikotarpiui – 272 Eur (2025 m. kainomis).

Norint išsaugoti dirvožemius nuo degradacijos būtina ne tik kalkinti, bet ir tręsti organinėmis trąšomis. Nekalkinami dirvožemiai pradeda sparčiai rūgštėti judrusis Al grįžta iki pradinio lygio t.y. pagrindiniai augalai – kviečiai rapsai nebeauga. Tik remiantis ilgamečių tyrimų duomenimis, atlikus skaičiavimus akivaizdžiai matyti kokį ekonominį priedą duoda kalkinimas (481-1099 Eur.) (14-16 lentelės). Vien kalkinimas labai ženkliai padidina auginamų augalų rentabilumą. Periodiškai naudojant organines trąšas (mėšlą) ir kalkinimą, auginamų augalų derlingumas (t ha⁻¹) būna didžiausias.

15. lentelė. Ilgalaikio kalkinimo ir mėšlavimo ekonominis priedas ž. kviečiams 2016 m.

Variantai	Nekalkinta			Kalkinta			Ekonominis kalkinimo priedas, Eur
	pH	Al	Derlius t ha	pH	Al	Derlius t ha	
Be organinių trąšų	4,01	72	0,04	6,02	0,00	5,53	+1099
Mėšlo 40 t ha ⁻¹	4,44	32	4,44	6,09	0,00	5,61	+184
Mėšlo 60	4,54	20	4,54	6,21	0,00	6,37	+324

16. lentelė. Ilgalaikio kalkinimo ir mėšlavimo ekonominis priedas ž. rapsams 2018 m.

Variantai	Nekalkinta			Kalkinta			Ekonominis kalkinimo priedas, Eur
	pH	Al	Derlius t ha	pH	Al	Derlius t ha	
Be organinių trąšų	4,00	72,6	0,00	5,24	0,00	1,50	+626
Mėšlo 40 t ha ⁻¹	4,15	32,1	1,05	5,51	0,00	1,73	+249
Mėšlo 60	4,27	19,9	1,29	5,69	0,00	1,75	+148

17. lentelė. Ilgalaikio kalkinimo ir mėšlavimo ekonominis priedas v. miežiams 2019 m.

Variantai	Nekalkinta			Kalkinta			Ekonominis kalkinimo priedas, Eur
	pH	Al	Derlius t ha ⁻¹	pH	Al	Derlius t ha ⁻¹	
Be organinių trąšų	3,98	74	0,00	4,99	0,00	3,47	+481
Mėšlo 40 t ha ⁻¹	4,15	33	1,73	5,58	0,00	3,79	+259
Mėšlo 60	4,27	21	2,15	5,66	0,00	4,05	+234

Kalkinimo pelningumas skyrėsi priklausomai nuo augalų rūšies ir kalkinimo normos, jų kainos, o pelningesnis buvo esant mažesnėms kalkinimo normoms. Kanados Albertos universiteto mokslininkų (Enesi et al., 2023) Pasauliniu mastu atlikta meta analizė rodo, kad kalkinimas sumažina dirvožemio rūgštingumą ir pagerina augalų derlių. Norint gauti maksimalią naudą kalkinant žemės ūkio pasėlius rūgščioje dirvoje, reikia parinkti tinkamas kalkinimo normas, reikalingas konkrečioms augalams ir dirvožemio tipams, siekiant užtikrinti bendrą pelningumą gamintojams ir tvarų dirvožemio sveikatos gerinimą. Apskritai, didesnis kalkių naudojimo kiekis lėmė didesnę dirvožemio pH padidėjimą. Tačiau tam tikrų augalų derliaus pokyčiai pasiekė stabilų lygį arba buvo nedideli, kai kalkinimo normos buvo didesnės, o tai lėmė neigiamas grynąsias pajamas. Tai reiškia, kad augalų augintojai turėtų teikti pirmenybę tinkamų augalų auginimui ir įvairinimui. Šiuos teiginius patvirtina mūsų LAMMC ŽI Vėžaičių filiale gauti duomenys trumpalaikių ir ilgalaikių tyrimų duomenys.

Kalkinimas turi būti laikomos kapitalo investicijomis į dirvožemio sveikatą ir stabilumą, o ekonominis vertinimas atliekamas per (už) ilgą laikotarpį.

IŠVADOS IR REKOMENDACIJA

dėl dirvožemio rūgštingumo mažinimo, prevencinių priemonių ir jų etapiškumo taikymo

Kalkinių medžiagų efektyvumas mažinant rūgščių dirvožemio reakciją priklauso nuo šių veiksnių – dirvožemio, kurį kalkiname cheminės būklės, kalkinės medžiagos įterpimo būdo ir laiko, pasirinktos kalkinės medžiagos cheminės sudėties ir fizinės formos (dalelių dydžio), kalkinių medžiagų normos ir įnešimo periodiškumo, kalkinių medžiagų derinio su organinėmis medžiagomis, kalcingų karbonatinių (kalkių) ir sulfatinių (fosfogipso) medžiagų derinio. Siekiant norimo kalkinimo efekto agroekosistemoje labai svarbu visus šiuos veiksnius tinkamai suderinti, įvertinant jų svarbą visoje kalkinimo sistemoje.

– Kalkinamo dirvožemio cheminės būklės (pH ir judriojo aliuminio (Al^{+})³ koncentracijos) ir siekiamo pH lygio įvertinimas yra pirminis svarbiausias etapas turint omenyje skirtingą šių rodiklių atsistatymo greitį po pirminio ir periodiško kalkinimų. Jeigu visos ankstesnės (1960– 2000 m.) rekomendacijos dėl kalkinių trąšų normų ir įterpimo periodiškumo maksimaliam augalų derliui gauti, buvo paremtos duomenimis gautais iš lauko bandymų įrengtų natūraliai rūgščiuose niekada nekalkintuose dirvožemiuose, tai pastaruoju laikotarpiu situacija gerokai pasikeitusi. Daugiau nei keturis dešimtmečius šalyje kas 5-6 metus buvo vykdomi kalkinimo darbai ir dirvožemio rūgštumas didesnėje dalyje žemės ūkio paskirties dirvožemių buvo sureguliuotas iki daugeliui kalciamėgių augalų augimui tinkamo lygio ($pH_{KCl} > 6.0$). Praėjus po pakalkinimo tam tikram laikotarpiui dirvožemiai vėl rūgštėja t.y. vyksta antrinis kalkintų dirvožemių rūgštėjimas, kurio valdymui, be neigiamo poveikio augalų derliui, galima naudoti mažesnius kalkinių medžiagų kiekius ir pH rodiklį užtenka palaikyti 5,5–5,8 lygiu, nes fitotoksiško judriojo aliuminio, kai $pH_{KCl} > 5,0$ dirvožemyje beveik nėra, tačiau išlaikoma pastovi Al junginių su organine medžiaga koncentracija ir didėja didelio patvarumo Al kompleksai su organine medžiaga. Minėtų organinių junginių susidarymas atlieką svarbų vaidmenį organinės medžiagos stabilizavimo mechanizmui t.y. susidarant dirvožemio agregatams, kuriuos sunkiai mineralizuoja mikroorganizmai. Todėl šių junginių susidarymas dirvožemyje, palaikant pH_{KCl} 5,5-5,8/6,0 yra svarus rodiklis informuojantis apie dirvožemio ekologinės būklės tvarumą ir kriterijus nustatant kalkinimo intensyvumo reikalingumą.

Esant judriojo aliuminio kiekiui iki 10 mg kg⁻¹, kalkinimo efektas augalų derlingumui nepasireiškia. Lietuvoje atliktų ilgalaikių kalkinimo tyrimų rezultatų ir užsienio šalių mokslinių publikacijų analizė leidžia rekomenduoti anksčiau kalkintuose dirvožemiuose, kuriuose judriojo aliuminio kiekis neviršija 10 mg kg⁻¹, taikyti palaikomąjį kalkinimą mažomis (2-3 t ha⁻¹ CaCO₃) kalkinių trąšų normomis išberiant jas penkialaukėje sėjomainoje ne dažniau kaip 2 metai rudenį po augalų derliaus nuėmimo, ar taikyti sistemingą kasmetinį kalkinimą – tręšimą (0,5–1,0 t ha⁻¹ CaCO₃) Minėto intensyvumo kalkinimas padengia kalcio nuostolius dėl jo susikaupimo augalų produkcijoje ir išsiplovimo į gilesnius dirvožemio sluoksnius ir neleidžia dirvožemiams rūgštėti.

Plotus su labai rūgščiais dirvožemiais (pH_{KCl} 3,6-4,5, judriojo Al >50 mg/kg) reikėtų kalkinti didesniu intensyvumu (didesnėmis normomis, didesniu dažnumu ir didesnio reaktingumo kalkinėmis medžiagomis) nei vidutinio rūgštumo dirvožemius.

– **Kalkinių medžiagų įterpimo būdas.** Kalkinimo efektyvumas dirvožemio savybėms ir augalų derliui skiriasi priklausomai nuo pasirinkto žemės dirbimo ir kalkių įterpimo būdo. **Tradiciskai įprastose verstuvinio ar seklaus neverstuvinio dirbimo sistemose kalkines medžiagas rekomenduojama įterpti į 7-10 cm viršutinį armens sluoksnį kultivatoriumi ar kitu padargu, kad būtų geresnis kalkinės medžiagos ir dirvožemio dalelių sąlytis neutralizacijos reakcijai vykti.** Tačiau populiarėjančiose tiesioginės sėjos (ang. no-till) technologijose kalkinės medžiagos gali būti beriamos tik dirvos paviršiuje. Tyrimų apie minėto paviršinio kalkinimo efektyvumą dirvožemio rūgštumo mažinimui Lietuvoje iki šiol nėra, todėl vietoj rekomendacijos pateikiami teiginiai iš mokslinės literatūros, kurioje nuomonės apie šį kalkinių medžiagų paskleidimo būdą yra įvairios ir netgi prieštaringos. Crusciol ir kt. (2022) tyrimo duomenys parodė, kad paviršinis kalkinimas dirvožemio rūgštingumui koreguoti nėra efektyvus, nes riboja pH rodiklio didėjimą giliau esančiuose dirvožemio sluoksniuose. Šiai problemai spręsti gali būti taikomas kalkinimo derinys su tręšimu karbamide (amoniakiniu azotu) nes NH⁴⁺ nitrifikacijos metu susidarantis NO₃⁻, gali sudaryti jonų poras su mainų Ca²⁺ ir Mg²⁺. Ir augalų derliaus atžvilgiu efektyvesnis išlieka tradicinis kalkinių medžiagų įterpimas dirvožemyje, nei išberiant jas ant dirvožemio paviršiaus (Enesi et al., 2023). O Holland et al., (2018) gauti tyrimo duomenys parodė, kad ilgalaikis (>10 metų) paviršinis kalkinimas tiesioginės sėjos sistemoje sumažina dirvožemio rūgštumą ne tik viršutiniame, bet ir gilesniuose dirvožemio sluoksniuose. Minėtu požiūriu pasiteisina paviršinis kalkinimas tik didesnėmis kalkinių trąšų normomis (Bossolani et al, 2022) Tokio intensyvumo kalkinimas padidina dirvožemio derlingumą, o Ca²⁺ ir Mg²⁺ koncentracijos padidėjimas gilesniame dirvožemio sluoksnyje tiesiogiai įtakoja augalų (kukurūzų) šaknų geresnį augimą Tiesioginės sėjos sistemoje, siekiant greitesnio rūgštaus dirvožemio neutralizavimo ne tik viršutiniame, bet ir gilesniuose sluoksniuose iki 25-30cm efektyvus yra smulkios frakcijos kalkinių medžiagų derinys su lignino turinčia celiuliozės pramonės atlieka (Tao et al., 2019). Rūgščios reakcijos neutralizavimui ištisiniam dirvožemio profilyje tiesioginės sėjos atveju efektyvus yra kalcingos medžiagos - gipso (CaSO₄)(3, 6 ir 9 t ha⁻¹) paskleidimas dirvos paviršiuje (Caires et al., 2010)

Išvada: tiesioginės sėjos atveju, kalkinių medžiagų paskleidimas dirvos paviršiuje gali tik palaikyti prieš minėtos technologijos taikymą jau pasiektą norimą pH lygį 0-10 cm dirvožemio sluoksnyje, o tik ilgalaikis (daugiau nei 10 metų) kalkinių medžiagų skleidimas dirvos paviršiuje gali sumažinti dirvožemio rūgštumą ir gilesniame sluoksnyje iki 30-40 cm. Minėtos išvados pagrindimui tikslinga atlikti tyrimus įvertinant tradicinių kalkinių medžiagų skleidžiamų dirvožemio paviršiuje derinyje su organinių medžiagų (komposto, bioanglies ir kt.) įnešimu ir atlikti tyrimus su nauja

kalcinga medžiaga – gipsu (fosfogipsu). Gauti duomenys leis patikslinti ir papildyti jau esamas rekomendacijas ūkininkaujant rūgštėjančiuose dirvožemiuose, siekiant palaikyti jų tvarumą.

Kalkinės medžiagos cheminės sudėties ir fizinės formos bei kalkinių medžiagų normos ir įnešimo periodiškumo pasirinkimas garantuoja rūgštaus dirvožemio neutralizacijos greitį priklausomai nuo kalkinamo dirvožemio genetinių ypatumų ir rūgštumo rodiklių. Vakarų Lietuvoje vyraujančius moreninio priemolio nepasotintuosius balkšvažemius, turinčius žemą pH 4,5 ir didelį augalams toksiško judriojo Al (>40 mg kg⁻¹) kiekį, rekomenduojama kalkinti kasmet nedidelėmis (iki 2,0 t ha⁻¹) karbonatinėmis ir hidroksidinėmis dulkiomis ar smulkios frakcijos granuliuotomis kalkinėmis medžiagomis. Smulkios frakcijos aplinkai draugiškos kalkinės medžiagos (karbonatinės, hidroksidinės) turi greitesnę, tačiau trumpesnę, neutralizuojantį poveikį. Dirvožemyje stabilios anglies junginių gausinimui bei patvaresnės struktūros susidarymui ypač rekomenduotina naudoti granuliuotas karbonatines (organinės - gyvūninės) bei hidroksidines su 0,4 % humuso priedu kalkines medžiagas, didinančias dirvožemio tvarumą bei gaunant stabilesnius augalų derlius.

Rytų Lietuvoje vyraujančius priemolio paprastuosius išplautžemius, turinčiame pH 5,1-5,5 bei labai nedidelius judriojo Al 0,5-2,6 mg kg⁻¹ kiekius rekomenduojamas vienkartinis (per 3-4 metus) kalkinimas nedidele (2,0 t ha⁻¹) kalkinių medžiagų norma. Dirvožemio neutralizavimui ir optimalių augalų derlių išauginimui labiausiai tinkamos draugiškos aplinkai karbonatinės dulkiomis, granuliuotos (organinės- gyvūninės), trupintos (Ca+Mg) kalkinės medžiagos.

– Kalkinių medžiagų derinio su organinėmis medžiagomis taikymas sudaro galimybę kaupti organinę medžiagą, palaikyti patvaresnę jų struktūrą palankią ekosistemos funkcionavimui ir augalų augimui. Siekiant tausoti pakartotinai po pakalkinimo rūgštėjančią dirvožemį, didinti jo tvarumą ir organinės medžiagos humifikaciją, rekomenduojama jį tręšti mėšlu (60 t ha⁻¹) ir palaikyti optimalų dirvožemio pH_{KCl} (5,5–6,0), taikant ilgalaikį palaikomąjį kalkinimą (3,5–4,0 t ha⁻¹ CaCO₃) kas 5 metus.

– Kalcingų karbonatinių (kalkių) ir sulfatinių (gipso) medžiagų derinio pasirinkimas gali užtikrinti ne tik viršutinio dirvožemio sluoksnio (0-20 cm), bet ir žemiau esančių (iki 60 cm gylio) sluoksnių rūgštumo ir toksiško aliuminio koncentracijos sumažėjimą iki biotai nekenksmingos koncentracijos, tačiau šių medžiagų agronominiams ir ekologiniams pagrindimui reikalingi tolimesni tyrimai.

REKOMENDACIJA

dėl augalų, galinčių produktyviai augti padidinto rūgštingumo dirvožemiuose

Pagrindiniai žemės ūkio augalai, kurie gali augti rūgštesniame dirvožemyje – tai avižos, rugiai, lubinai, kvietrugiai, bulvės. Šių augalų auginama sąlyginai mažai, dažniausiai apsiribojama vietine

rinka ir poreikis nėra didelis. Sėjomainose mažai jautrūs rūgštumui augalai sudaro nedidelę dalį, o didesnę dalis yra kalciamėgiai – tai kviečiai, rapsai, miežiai. Šalyje pagal deklaruotus (2025 m.) auginamų augalų plotus pirmoje vietoje yra kviečiai, antroje – rapsai. Sėjomainose, kuriose auginami augalai toleruojantys dirvožemio rūgštumą – avižos, rugiai kartu su rūgštumui labai jautriais – kviečiais, rapsais – būtina kalkinti. Parūgštėjus dirvožemiui iki pH 4,0 -4,6 geriausia kalkinimą atlikti rūgštumui nejautriems augalams (rugiams, avižoms ar kt.). Po tokių priešsėlių yra sudaromos sąlygos kalciamėgiams augalams išauginti optimalius derlius. Netgi kalkintame dirvožemyje, dėl susidariusios palankios mitybinės, avižų ir kvietrugių derliai gaunami 0,5-7,7 % didesni, palyginus su nekalkintu.

LITERATŪRA

1. Agegnehu G., Gashaw T. et al. 2023. Improving fertilizer response of crop yield through liming and targeting to landscape positions in tropical agricultural soils. *Heliyon*, Volume 9, Issue 6, e17421.
2. Areas-Navarro C., Bartz R., Jones A. 2024. The state of soils in Europe. European Environment Agency
3. Auler A.C., Caires E.F., Pires L.F., Galetto S.L., Romaniw J., Charnobay A.C. Lime effects in a no-tillage system on Inceptisols in Southern Brazil *Geoderma Reg.*, 16 (2019). 10.1016/j.geodrs.2019. 00206
4. Baldock J.A., Broos K. 2011. Soil Organic Matter. In: Huang, P.M., Sumner, M.E. (Eds.), *Handbook of Soil Sciences*. CRC Press: p. 1-52.
5. Banerjee S., van der Heyden M.G.A. 2023. Soil microbiomes and one health. *Nature Reviews Microbiology*, 21 (1): 6-20
6. Barceló J., Poschenrieder C. Fast root growth responses, root exudates, and internal detoxification as clues to the mechanisms of aluminium toxicity and resistance: a review. *Environmental and Experimental Botany*. Vol. 48, 2002, P. 75-92
7. Barceló, J., Poschenrieder, C., Kidd, P.S., Gunsé, B., Vázquez, M.D., Llugany, M., Creus, J.A., Corrales, I., Feixa, X., Garzón, T., 2000. Is there a threshold for the activation of aluminium tolerance mechanisms in maize? In: *Proceedings Int. Symposium on Impact of Potential Tolerance of Plants on the Increased Productivity under Aluminium Stress*. 15-16 september, 2000, Kurashiki, Japan. pp 51–54.
8. Barseló Ch., Pošenrieder Ch. Fast root growth responses, root exudates, and internal detoxification as clues to the mechanisms of aluminium toxicity and resistance: a review. *Environmental and Experimental Botany*. Vol. 48, 2002, P. 75-92.
9. Bertranda I., Delfosse O., Mary B. 2007. Carbon and nitrogen mineralization in acidic, limed and calcareous agricultural soils: Apparent and actual effects. *Soil Biology & Biochemistry* 39, 276–288
10. Bian M., Zhou M., Sun D., Li C. Molecular approaches unravel the mechanism of acid soil tolerance in plants. *Crop J.*, 1 (2013), pp. 91-104.
11. Blake, L., Goulding, K.W.T., 2002. Effects of atmospheric deposition, soil pH and acidification on heavy metal contents in soils and vegetation of semi-natural ecosystems at Rothamsted Experimental Station, UK. *Plant Soil* 240, 235–251.
12. Bossolani, J.W.; Crusciol, C.A.C.; Momesso, L.; Portugal, J.R.; Moretti, L.G.; Garcia, A.; de Cássia da Fonseca, M.; Rodrigues, V.A.; Calonego, J.C.; dos Reis, A.R. Surface liming triggers

- improvements in subsoil fertility and root distribution to boost maize crop physiology, yield and revenue. *Plant Soil* 2022, 477, 319–341.
13. Brady N.C. and Weil R.R. 2008. *The Nature and Properties of Soils*. Prentice-Hall Press, Beijing.
 14. Caires E. F., Garbuio F.J., Churka S., Joris H.A.W. Use of gypsum for crop grain production under a subtropical no-till cropping system *Agron. J.*, 103 (2011), pp. 1804-1814. 10.2134/agronj2011.0192
 15. Caires E.F., Haliski A., Bini A.R., Scharr D.A. Surface liming and nitrogen fertilization for crop grain production under no-till management in Brazil *Eur. J. Agron.*, 66 (2015), pp. 41-53. 10.1016/j.eja.2015.02.008
 16. Caires E.F., Joris H. a W., Churka S. Long-term effects of lime and gypsum additions on no-till corn and soybean yield and soil chemical properties in southern Brazil *Soil Use Manag.*, 27 (2011), pp. 45-53. 10.1111/j.1475-2743.2010.00310.x
 17. Chen Zhi-Ch, Huang Ch-F. 2024. Sustainable utilization of acid soils. *Plant Soil* (2024) 504, p.1-3.
 18. Chien S.W.C., Wang M.C., Hsu J.H., Seshaiyah K., 2006. Influence of fertilizers applied to a paddy – upland rotation on characteristics of soil organic carbon and humic acids. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, vol. 54, p. 6790 - 6799.
 19. Clemens S. 2001. Molecular mechanisms of plant metal tolerance and homeostasis. *Planta* 212 (4), p. 475-86
 20. Condon J., Burns H., Li G. 2020 The extent, significance and amelioration of subsurface acidity in southern New South Wales Australia. *Soil Research*, 59 (1), 1-11.
 21. Conyers K., Mullen C.L., Scott B.J., Poile G.J. and Braysher B.D. 2003. Long-term benefits of limestone applications to soil properties and to cereal crop yields in southern and central New South Wales. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 43, 71-78
 22. Conyers, M. K., Scott, B. J., Fisher, R., & Lill, W. (1995). Predicting the field performance of twelve commercial liming materials from southern Australia. *Fertilizer Research*, 44(2), 151-161.
 23. Crusciol, C.A.C.; Bossolani, J.W.; Portugal, J.R.; Moretti, L.G.; Momesso, L.; de Campos, M.; Costa, N.R.; Volf, M.R.; Calonego, J.C.; Rosolem, C.A. 2022. Exploring the synergism between surface liming and nitrogen fertilization in no-till system. *Agronomy Journal*, 114:1415–1430.
 24. Crusciol, C.A.C.; Bossolani, J.W.; Portugal, J.R.; Moretti, L.G.; Momesso, L.; de Campos, M.; Costa, N.R.; Volf, M.R.; Calonego, J.C.; Rosolem, C.A. 2022. Exploring the synergism between surface liming and nitrogen fertilization in no-till system. *Agronomy Journal*, 114:1415–1430.

25. Čiuberkienė D., Ežerinskas V. 2000. Agrocheminių rodiklių ir maisto medžiagų migracijos kitimai įvairiai kalkintame ir tręštame dirvožemyje. *Žemdirbystė. Mokslo darbai*, t. 71, 32-48.
26. Da Silva C.S., Pereira M.G., Delgado R.C., Assuncao S.A., 2017. Spatialization of fractions of organic matter in soil in an agroforestry system in the atlantic forest, Brazil. *CERNE*, vol. 23, p. 249–256.
27. Damon P, Rengel Z, Azam G, Gazey C, Scanlan C, Malinowski D (2018) Evaluating novel materials for ameliorating Al toxicity in acidic subsoils. In 2018 Grains Research Updates, Proceedings. GRDC Australia.
28. DiPietro J.A. (2018) Component: The Rock/Sediment Type. *Geology and Landscape Evolution* 23–40.
29. Dou S., Zhang J.J., Li K., 2008. Effect of organic matter applications ¹³C – NMR spectra of humic acids of soil. *European Journal of Soil Sciences*, vol. 59, p. 532-539.
30. Dugalic M., Životic L., Gajic B., Latkovic D. 2024. Small doses of lime with common fertilizer practices improve soil characteristics and foster the sustainability of maize production. *Agronomy*, 14(1), 46.
31. Enesi RO, Dyck M, Chang S, Thilakarathna MS, Fan X, Strelkov S and Gorim LY (2023) Liming remediates soil acidity and improves crop yield and profitability - a meta-analysis. *Front. Agron.* 5:1194896. doi: 10.3389/fagro.2023.1194896
32. Fabricius I.L. (2007) Chalk: Composition, diagenesis and physical properties. *Bulletin of the Geological Society of Denmark* 55, 97–128.
33. Falini G., Albeck S., Weiner S., Addadi L. (1996) Control of aragonite or calcite polymorphism by mollusk shell macromolecules. *Science* 271, 67–69. doi:10.1126/science.271.5245.67.
34. Farooqi Z.U.R., Qadir A.A., Riaz S., Mujdded Z., Ilić P., Pržulj N. 2025. Soil Acidification: Processes, Effects on Soil and Plants, and Remediation Strategies. Monograph. LXIII:171-206
35. Górnjak K. (2011) Origin of marls from the Polish Outer Carpathians: Lithological and sedimentological aspects. *Mineralogia* 42, 163–297. doi:10.2478/v10002-011-0012-9.
36. Hao T., Zhu Q., Zeng M., Shen J., Shi X., Liu X., Zhang F., W.de Vries. 2020. Impacts of nitrogen fertilizer type and application rate on soil acidification rate under a wheat-maize double cropping system. *Journal of Environment and Management*, 270,110888
37. Holland J.E., Bennett A.E., Newton A.C., White P.J., McKenzie B.M., George T.S., Pakeman R.J., Bailey J.S., Fornara D.A., Hayes R.C. Liming impacts on soils, crops and biodiversity in the UK: a review. *Sci. Total Environ.*, 610-611 (2018), pp. 316-332.
38. Holland, J. E., Bennett, A. E., Newton, A. C., White, P. J., McKenzie, B. M., George, T. Holland, J.E.; Behrendt, K. The economics of liming in arable crop rotations: Analysis of the 35-year Rothamsted and Woburn liming experiments. *Soil Use Manag.* 2021, 37, 342–352.
39. Holland, J. E., Bennett, A. E., Newton, A. C., White, P. J., McKenzie, B. M., George, T.

40. Huang K., Li M., Li R., Rasul F., Shahzad S., Wu C., Shao J., Huang G., Li R., Almari S., Hashem M., Aamer M. 2023. Soil acidification and salinity: the importance of biochar application to agricultural soils. *Frontiers in plant science*, 14:1206820
41. Inovatyvūs dirvotyros ir agrochemijos mokslo sprendimai. 2015. Monografija skirta Agrocheminių tyrimų laboratorijos 50 metų sukakčiai, sudarytojai Staugaitis G. ir Vaišvila Z., Kaunas
42. Islam M.R., Talukder M.M.H., Hoque M.A., Uddin S., Hoque T.S., Rea R.S., Alorabi M., Gaber A., Kasim S. 2021. Lime and Manure Amendment Improve Soil Fertility, Productivity and Nutrient Uptake of Rice-Mustard-Rice Cropping Pattern in an Acidic Terrace Soil. *Agriculture*, 11, 1070. <https://doi.org/10.3390/agriculture11111070>
43. Islam, M.R.; Rashid, M.B.; Siddique, A.B.; Afroz, H. 2014. Integrated effects of manures and fertilizers on the yield and nutrient uptake by BRRI dhan49. *J. Bangladesh Agric. Univ.* 12, 67-72.
44. Jocelina P.R. de Vargas, Danilo Rheinheimer dos Santos, Marília Camotti Bastos, Gilmar Schaefera, Pedro Bolzan Parisia 2019. Application forms and types of soil acidity corrective: Changes in depth chemical attributes in long term period experiment. *Soil & Tillage Research* 185, 47–60
45. Joris H.A.W., Caires E.F., Bini A.R., Scharr D.A., Haliski A. Effects of soil acidity and water stress on corn and soybean performance under a no-till system *Plant Soil*, 365(2013), pp. 409-424.
46. Kalkhoran, S. S., Pannell, D., Thamo, T., Polyakov, M., and White, B. 2020. Optimal lime rates for soil acidity mitigation: impacts of crop choice and nitrogen fertiliser in Western Australia. *Crop Pasture Sci.* 71 (1), 36–46.
47. Kibblewhite M.G., Ritz K., Swift M.J. 2008. Soil health in agriculture systems. *Philosophical transactions of the Royal society.* Vol. 36 (3), p. 685-701
48. Kidd P., Llugany M., Poschenerieder C., Gunse B. 2001. The role of root exudates in aluminium resistance and silicon-induced amelioration of aluminium toxicity in three varieties of maize (*Zea mays* L.) *Journal of Experimental Botany* 52(359):1339-1352
49. Kochian L.V. Aluminium and heavy metal toxicity and resistance -lessons to be learnt from similarities and differences. In book: *Plant Nutrition*. 2002, p. 442-443.
50. Kollmeier M., Felle H., W.J. Horst. 2000. Genotypical differences in aluminum resistance of maize are expressed in the distal part of the transition zone: is reduced basipetal auxin flow involved in inhibition of root elongation by aluminum? *Plant Physiology*, 122, pp. 945-956
51. Kundu S., Bhattacharyya R., Prakash V., Gupta H.S., Pathak H., Ladha J.K., 2007. Long-term yield trend and sustainability of rainfed soybean-wheat system through farmyard manure

- application in a sandy loam soil of the Indian Himalayas. *Biology of Fertilized Soils*, vol. 43, p. 271–280.
52. Kunhikrishnan, A.; Thangarajan, R.; Bolan, N.S.; Xu, Y.; Mandal, S.; Gleeson, D.B.; Seshadri, B.; Zaman, M.; Barton, L.; Tang, C.; et al. Functional relationships of soil acidification, liming, and greenhouse gas flux. *Adv. Agron.* 2016, 139, 1–71.
 53. Laana M., Bristowa K.L., Stirzakera R.J., Annandalea J.G. Towards ecologically sustainable crop production: A South African perspective. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 236 (2017) 108–119.
 54. Lalande R., Gagnon B., Royer I. 2009. Impact of natural and industrial liming materials on soil properties and microbial activity // *Canadian journal of soil science*. Vol. 89 (2), P. 209-222.
 55. Leon V. Kochian L.V., Owen A. Hoekenga O.A. and Miguel A. Piñeros M.A. 2004. How do crop plants tolerate acid soils? mechanisms of aluminum tolerance and phosphorous efficiency. *Annual Review of Plant Biology*. Vol. 55:459-493
 56. Li, G., Singh, R. P., Brennan, J. P., and Helyar, K. R. 2010. A financial analysis of lime application in a long-term agronomic experiment on the south-western slopes of new south Wales. *Crop Pasture Sci.* 61 (1), 12–23.
 57. Li, Y.; Cui, S.; Chang, S.X.; Zhang, Q. Liming effects on soil pH and crop yield depend on lime material type, application method and rate, and crop species: A global meta-analysis. *J. Soil Sedimen.* 2019, 19, 1393–1406
 58. Liu DL, Helyar KR, Conyers MK, Fisher R, Poile GJ. Kviečių, kvietrugių ir miežių reakcija į kalkių naudojimą pusiau sausringuose dirvožemiuose. „*Field Crop Res.*“ 2004;90(2–3):287–301.
 59. Liu H., Ding G., Li K, Ren O. 2020. Identification of candidate genes conferring tolerance to aluminum stress in *Pinus massoniana* inoculated with ectomycorrhizal fungus. *BMC Plant Biology* Vol. 20, Article number: 521 (2020)
 60. Liza M.M.J., Islam M.R., Jahiruddin M., Hasan M.M., Alam M.A., Shamsuzzaman S.M., Samsuri A.W. 2014. Residual Effects of Organic Manures with Different Levels of Chemical Fertilizers on Rice. *Life Sci. J.*, 11, 6-12.
 61. Lockwood, P.V., Wilson, B.R., Daniel, H., and Jones, M.J. (2003). Soil acidification and natural resource management: Directions for the future. *Soil acidification and the importance of liming agricultural soils with particular reference to the United Kingdom*
 62. Lockwood, P.V., Wilson, B.R., Daniel, H., and Jones, M.J. (2003). *Soil acidification and natural resource management: Directions for the future.*
 63. Lowrie A., Lowrie R., Li G. (2018) A multi- core sampler improves accuracy of soil test results. In ‘*Proceedings National Soils Conference 2018. Canberra, 18–23 November 2018. (Soil Science Australia)*. pp. 420-421.

64. Ma JF. 2000. Role of Organic Acids in Detoxification of Aluminum in Higher Plants Get access Arrow. *Plant and Cell Physiology*, Vol. 41, 4, P. 383–390.
65. Ma JF., Ryan PR., Delhaize E. Aluminium tolerance in plants and the complexing role of organic acids. *Rewiev. TRENDS in Plant Science* Vol.6, 6, 2001.
66. Matsumoto H. 2000. Cell Biology of Aluminum Toxicity and Tolerance in Higher Plants. *International Review of Cytology*, Vol. 200, P. 1–46.
67. Mažvila J., Adomaitis T., Eitminavičius L. 2004. Lietuvos dirvožemių rūgštumo kitimas jų nebekalkinant. *Žemdirbystė=Agriculture*, t.88, p.3-20.
68. Mažvila J., Vaičys M., Buivydaitė V. 2006. Lietuvos dirvožemių rūgštumas ir jo kaita. Lietuvos dirvožemių makromorfologinė diagnostika. Akademija, Kėdainių raj.: Lietuvos žemdirbystės institutas. 172–188.
69. Meng C, Tian D, Zeng H, Li Z, Yi C, Niu S. Effects of global soil acidification on underground processes. *Environ Res Lett.* 2019; 14(7):074003.
70. Ossom E.M., Rhykerd R.L. 2008. Effects of lime on soil and tuber chemical properties and yield of sweetpotato [*Ipomoea batatas* (L.) Lam] in Swaziland // *American – Eurasian Journal of Agronomy*. Vol. 1 (1), P. 1 - 5.
71. Pierce E., Warncke D. 2000. Soil and crop response to variable rate liming to Michigan fields. *Soil Science Society of America*, Vol. 64. P. 774-780
72. Pleševičienė A.K. 2000. Kalkinių trąšų veikimo trukmė ir įtaka dirvožemio agrocheminėms savybėms. 2000. *Žemdirbystė. Mokslo darbai*, t. 71, 49-61.
73. Pleševičienė A.K., Veitienė R., Lenkšaitė E. ir kt. 1997. Vidutiniai pajaurėjusių velėninių jaurinių nekalkintų ir pakalkintų dirvožemių agrocheminių, fizikinių bei biologinių rodiklių pokyčiai sistemingai tręšiant mėšlu. *Žemdirbystė: mokslo darbai / LŽI, LŽŪU*. t. 60, p. 35-56.
74. Pleševičius A. 1995. Velėninių jaurinių ir velėninių glėjiškų dirvožemių kalkinimo periodiškumas. *Žemdirbystė. Mokslo darbai*, t 48, p. 6-21.
75. Quin M. The Economic Benefits of Lime. *Soil Acidity & pH Management* lime.12/8/2015
76. Rahman S.U., Han J.C., Ahmad M., Ashraf M.N., Khaliq M.A., Yousaf M., Wang Y., Yasin G., Nawaz M.F., Khan K.A., Du Z. 2024. Aluminum phytotoxicity in acidic environments: A comprehensive review of plant tolerance and adaptation strategies. *Ecotoxicology and environmental safety*, vol. 269, 115791.
77. Raphael Ofoe R. Thomas RH., Asiedu SK., Wang-Pruski G., Fofana B. Abbey L. Aluminum in plant: Benefits, toxicity and tolerance mechanisms. *2023 Plant Abiotic Stress 2023* Vol. 13 - 2022
78. Raza S., Irshad A., Margenot A., Zamanian K., Ullah N. Li, S., Mehmood K., Khan M.A., Siddique N., Mooney S.J., Kurganova I., Zhao X., Kuzyakov Y. 2024. Inorganic carbon is overlooked in global soil carbon research: a bibliometric analysis. *Geoderma*, 443, 116831

79. Repšienė R., Karcauskiene D. Changes in the chemical properties of acid soil and aggregate stability in the whole profile under long-term management history. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science*. Volume 66, 2016, P. 671-676.
80. Repšienė R., Pleševičienė A.K., Čiuberkis S. 2005. Mėšlo normų įtaka dirvožemio savybėms ir agrocenozės produktyvumui. *Žemdirbystė. Mokslo darbai*, 2005, 89, 18-30
81. Rezaee F., Ghanati F., Behmanesh M. 2013. Antioxidant activity and expression of catalase gene of (*Eustoma grandiflorum* L.) in response to boron and aluminium. *South African Journal of Botany*, 84:13-18
82. S., et al. (2018). Liming impacts on soils, crops and biodiversity in the UK: a review. In *Science of the total environment*. Vol. 610–611, 316–332.
83. *Sci. Total Environ.* Vols. 610–611, 316–332).
84. Seibert J, Stendahl J, Sørensen R. 2007. The influence of topographic factors on soil properties in boreal forests. *Geoderma*, 141(1–2): 139–148.
85. Simanavičienė O., Mažvila J., Ryliškiene E., ir kt. Skirtingais būdais apskaičiuotų NPK trąšų normų, mėšlo ir šiaudų veiksmingumo palyginimas sėjomainoje. *Žemdirbystė: mokslo darbai / LŽI, LŽŪU. - Akademija*, 2001, t.75, p.14-28
86. Staugaitis G. 2023. Dirvožemių pH: ritamės į praeitį. *Mano ūkis*, Nr.1, p. 15
87. Staugaitis G., Vaišvila Z. 2015. Inovatyvūs dirvotyros ir agrochemijos mokslo sprendimai. *Kaunas* 320 p.
88. Staugaitis G., Vaišvila Z.J. 2019. Dirvožemio agrocheminiai tyrimai. -*Kaunas*, p.38-52
89. Tang, Z. Rengel, E. Diatoff, C. Gazey. 2003. Responses of wheat and barley to liming on a sandy soil with subsoil acidity. *Field Crops Research*, 80, 235-244
90. Tao H., Pan W.L., Carter P., Wang K., 2019. Addition of lignin to lime materials for expedited pH increase and improved vertical mobility of lime in no-till soils. *Soil use and management*, 35(2):314-322
91. Tomas Angel DelValls Casillas and Inmaculada Riba. Chapter Two - Sources of CO₂ acidification in aquatic ecosystems, natural versus anthropogenic. *CO₂ Acidification in Aquatic Ecosystems*. 2022. PP. 7-29.
92. Tripolskaja L. 2008. *Mano ūkis* 12:18-19
93. Tripolskaja L. 2008. *Mano ūkis* 12:18-19.
94. Tripolskaja L. Įvairaus mėšlo poveikis dirvožemio derlingumui ir sėjomainos produktyvumui *Žemdirbystė=Agriculture*. 2001, vol. 73, p. 14–26
95. Tripolskaja L. Organinės trąšos ir jų poveikis aplinkai. – *Akademija, Kėdainių r.*, 2005, p. 51–56.

96. Vaysse K., Lagacherie P. 2015. Evaluating digital soil mapping approaches for mapping Global Soil Map soil properties from legacy data in Languedoc-Roussillon (France) [J]. *Geoderma Regional*, 4: 2030.
97. Venkatesh M.S., Majumdar B., Kumar K., Patiram R.R.N. 2002. Effect of Phosphorus, FYM and lime on yield, P uptake by maize and forms of soil acidity in typical hapludalf of Meghalaya. *J. Indian Soc. Soil Sci.*, 50, 254-258.
98. Wang M., Zhang S., Guo X., Xiao L., Yang Y., Luo Y., Mishra U., Luo Z. 2023. Responses of soil organic matter to climate extremes under warming across global biomes. *Nature of climate change*, 14.
99. Warner, J. M., Mann, M. L., Chamberlin, J., and Tizale, C. Y. 2023. Estimating acid soil effects on selected cereal crop productivities in Ethiopia: comparing economic cost-effectiveness of lime and fertilizer applications. *PLOS One* 18 (1)
100. Whitten, M. 2001. Comparing size in lime. *Journal of the Department of Agriculture, Western Australia, Series 4*, 42(1), 10-14.
101. Wong T. F. and Asseng S. 2007. Yield and environmental benefits of ameliorating subsoil constraints under variable rainfall in a Mediterranean environment. *Plant Soil*, 297, 29-42
102. Wu Z., Sun X., Sun Y., Yan J., Zhao Y., Chen J.. 2022. Soil acidification and factors controlling topsoil pH shift of cropland in Central China from 2008 to 2018. *Geoderma*, 408, 115586
103. Zamanian K., Tao J., Fan L., Raza S., Guggenberger G., Kuzyakov Y. 2024. Acidification of European croplands by nitrogen fertilization: Consequences for carbonate losses, and soil health. *Science of the Total Environment*, vol. 924, 171631
104. Zamanian K., Zhou J., Kuzyakov Y. 2021. Soil carbonates: the unaccounted, irrecoverable carbon source. *Geoderma*, 384, 114817
105. Zhang Y-Y, Wu W, Liu H. 2019. Factors affecting variations of soil pH in different horizons in hilly regions. *PLoS ONE* 14(6): e0218563.
106. Zhang X., Davidson E.A., Mauzerall D.L., Searchinger T.D., Dumas P., Shen Y. 2015. Managing nitrogen for sustainable development. *Nature*, 528:51.
107. Zhang X., Razavi B.S., Liu J., G. Wang G., Xucheng Zhang, Z. Li, B. Zhai, Z. Wang, K. Zamanian 2021. Croplands conversion to cash crops in dry regions: consequences of nitrogen losses and decreasing nitrogen use efficiency for the food chain system. *Land Degradation and Development*, 32: 1103-1113.

**Ataskaitos “NAUJŲ AR TOBULINTINŲ KLIMATUI IR APLINKAI PALANKIŲ
PRIEMONIŲ, KURIOS PADĖTŲ SPRĘSTI DIRVOŽEMIO RŪGŠTĖJIMO PROBLEMAS,
IDENTIFIKAVIMAS IR EKONOMINĖS NAUDOS ĮVERTINIMAS”**

RECENZIJA

Dirvožemio rūgštėjimas yra natūralus procesas, kurį skatina intensyvi antropogeninė veikla ir kintantis klimatas. Pasauliniu mastu daugiau nei 50 % žemės ūkio paskirties dirvožemių yra paliesti šios cheminės erozijos. Lietuvoje rūgštūs dirvožemiai sudaro apie 21,8 %. Ypatingai dirvožemiai rūgštėja Vakarų Lietuvoje, tokie dirvožemiai sudaro apie 40 % nuo bendro žemės ūkio paskirties dirvožemių ploto. Rūgštėjimas yra viena iš dirvožemio degradacijos formų sukelti bazinių katijonų praradimą, padidinti aliuminio įsotinimą, molio mineralų dispersiją ir galiausiai sumažinti dirvožemio biologinį aktyvumą ir pasėlių derlių. Todėl dirvožemio rūgštėjimo kontrolė ir jos mažinimas yra labai svarbūs, siekiant išvengti žemės ūkio paskirties dirvožemių degradacijos, o tai galima padaryti taikant tinkamiausią dirvožemio valdymo strategiją t.y. derinant žemės ūkio praktiką su ekologiniais principais kas numatyta Europos Sąjungos 2030 m. dirvožemio Strategijoje paremtoje Europos žaliuoju kursu.

Visa tai atsispindi šioje ataskaitoje, kurios tikslas įvertinti dirvožemių rūgštėjimo valdymo galimybes, identifikuojant agronominiu, dirvosauginiu, aplinkosauginiu ir ekonominiu požiūriu svarbiausias priemones šių dirvožemių plotų mažinimui šalyje kintančio klimato sąlygomis. Ataskaitoje pateiktos tradicinės ir naujos priemonės, kurios padeda spręsti dirvožemio rūgštėjimo problemas, atliktas ekonominis dirvožemio rūgštimumo mažinimo priemonių vertinimas bei parengtos rekomendacijos dėl dirvožemio rūgštėjimo mažinimo bei augalų galinčių toleruoti rūgščią dirvožemio reakciją ir produktyviai augti. Visa ši informacija pateikta remiantis mokslinės literatūros, ilgalaikių ir trumpalaikių kalkinimo lauko eksperimentų analitinių duomenų analize ir duomenimis gautais iš projekto laikotarpiu Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centro Žemdirbystės Instituto Vėžaičių filiale vykdytų lauko eksperimentų.

Ataskaitoje nurodoma, kad svarbiausia priemonė dirvožemio rūgštumui sumažinti yra kalkinimas, kurio efektyvumas priklauso nuo kalkinių medžiagų cheminės sudėties, fizinės formos (dulki, trupinta ar granuliuota), kalkinės medžiagos normos ir jos įnešimo periodiškumo bei įterpimo būdo. Taip pat ataskaitoje akcentuojami svarbūs momentai dirvožemio rūgštumo valdyme. Pirma tai antrinis kalkintų dirvožemių rūgštėjimas, kurio valdymui, be neigiamo poveikio augalų derliui, galima naudoti mažesnius kalkinių medžiagų kiekius ir pH rodiklį užtenka palaikyti 5,5–5,8 lygiu, o antra kalkinių trąšų įterpimo būdo klausimas populiarėjančiose tiesioginės sėjos (no-till) technologijose. Ataskaitoje taip pat pateikiamas naujos kalcingos medžiagos fosfogipso ir tradicinės kalkinės medžiagos (klinčių) poveikio dirvožemio savybėms ir augalų produktyvumui palyginimas, nurodant, kad šios abi kalcingos medžiagos turėjo teigiamą poveikį neutralizuojant rūgštų dirvožemį bei jį praturtinant bazėmis (Ca, Mg). O ilgalaikis kalkinimas bei jo derinys su organiniu tręšimu (kraikinių galvijų mėšlu) yra svarbios priemonės rūgštaus dirvožemio tvarumui užtikrinti.

Šis mokslinis darbas yra originalus ir reikšmingas šalies bei tarptautiniu mastu, prisidedantis prie kalkinimo ir tręšimo sistemų kūrimo bei tobulinimo. Darbo apimtis didelė, literatūros analizė plati ir sisteminga. Išnagrinėta daug aktualių įvairių mokslinės literatūros šaltinių. Išvados ir rekomendacijos konkrečios, aiškios, siejasi su tikslu ir uždaviniais.

Ataskaitoje pastebėti netikslumai, trūkumai ir pasiūlymai

1. Metodinėje dalyje rašoma, kad kalcingų medžiagų – klinčių (CaCO_3) ir fosfogipso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) poveikio dirvožemio cheminėms savybėms ir javų

produktyvumui įvertinti buvo vykdomi pamečiui (2024 ir 2025 m.) du lauko eksperimentai. Vertėtų pateikti abiejų eksperimentų apibendrinimą.

2. Literatūros analizėje nurodoma, kad kalcingos medžiagos – fosfogipso poveikis dirvožemio rūgštumo rodikliams gilesniuose dirvožemio sluoksniuose išryškėja tik laike, todėl tikslinga šiuos tyrimus tęsti.

3. Jeigu tyrimas būtų tęsiamas ateityje, vertėtų analizuoti dirvožemių kalkinimo poveikį šiltnamio dujų emisijoms bei pateikti išsamesnes sąsajas su kintančiu klimatu.

Recenzentas:
Dr. Regina Skuodienė
LAMMC ŽI Vėžaičių filialo
vyriausioji mokslo darbuotoja



2025 11 07

DETALŪS METADUOMENYS

Dokumento sudarytojas (-ai)	Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centras 302471203, Instituto al. 1, Akademija, 58344 Kėdainių r. sav.
Dokumento pavadinimas (antraštė)	„NAUJŲ AR TOBULINTINŲ KLIMATUI IR APLINKAI PALANKIŲ PRIEMONIŲ, KURIOS PADĖTŲ SPREŠTI DIRVOŽEMIO RŪGŠTĖJIMO PROBLEMAS, IDENTIFIKAVIMAS IR EKONOMINĖS NAUDOS ĮVERTINIMAS“ 2025 M. GALUTINĖ ATASKAITA LAMMC R.REPŠIENĖ
Dokumento registracijos data ir numeris	2025-11-10 Nr. CD-4-1040
Dokumento gavimo data ir dokumento gavimo registracijos numeris	–
Dokumento specifikacijos identifikavimo žymuo	ADOC-V1.0
Parašo paskirtis	Pasirašymas
Parašą sukūrusio asmens vardas, pavardė ir pareigos	Regina Repšienė, Vyresnysis mokslo darbuotojas, skyriaus vedėjas, Vėžaičių filialas
Sertifikatas išduotas	REGINA REPŠIENĖ LT
Parašo sukūrimo data ir laikas	2025-11-10 16:31:28 (GMT+02:00)
Parašo formatas	XAdES-T
Laiko žymoje nurodytas laikas	2025-11-10 16:32:06 (GMT+02:00)
Informacija apie sertifikavimo paslaugų teikėją	EID-SK 2016, AS Sertifitseerimiskeskus EE
Sertifikato galiojimo laikas	2023-07-31 16:15:54 – 2028-07-29 23:59:59
Parašo paskirtis	Tvirtinimas
Parašą sukūrusio asmens vardas, pavardė ir pareigos	Gintaras Brazauskas, Direktorius
Sertifikatas išduotas	GINTARAS BRAZAUSKAS LT
Parašo sukūrimo data ir laikas	2025-11-10 16:56:52 (GMT+02:00)
Parašo formatas	XAdES-T
Laiko žymoje nurodytas laikas	2025-11-10 16:57:11 (GMT+02:00)
Informacija apie sertifikavimo paslaugų teikėją	SK ID Solutions EID-Q 2021E, SK ID Solutions AS EE
Sertifikato galiojimo laikas	2025-11-05 18:50:11 – 2030-11-05 23:59:59
Informacija apie būdus, naudotus metaduomenų vientisumui užtikrinti	"Registravimas" paskirties metaduomenų vientisumas užtikrintas naudojant "RCSC IssuingCA-2, VI Registru Centras - i.k. 124110246 LT" išduotą sertifikatą "DBSIS, Informatikos ir ryšių departamentas prie Lietuvos Respublikos vidaus reikalų ministerijos, į.k.188774822 LT", sertifikatas galioja nuo 2025-05-16 11:31:08 iki 2028-05-15 11:31:08
Pagrindinio dokumento priedų skaičius	1
Pagrindinio dokumento priedamų dokumentų skaičius	–
Priedamo dokumento sudarytojas (-ai)	–
Priedamo dokumento pavadinimas (antraštė)	–
Priedamo dokumento registracijos data ir numeris	–
Programinės įrangos, kuria naudojantis sudarytas elektroninis dokumentas, pavadinimas	DBSIS, versija 3.5.85.4
Informacija apie elektroninio dokumento ir elektroninio (-ių) parašo (-ų) tikrinimą (tikrinimo data)	Atitinka specifikacijos keliamus reikalavimus. Visi dokumente esantys elektroniniai parašai galioja (2025-11-10 17:05:15)
Paieškos nuoroda	–
Papildomi metaduomenys	Nuorašą suformavo 2025-11-10 17:05:16 DBSIS