

# **Dirvožemio rūgštingumo reguliavimas inovatyviais, aplinką tausojančiais produktais, siekiant aukštesnės produkcijos kokybės ir efektyvesnio tręšiamųjų produktų panaudojimo**

## **1. Parodomojo bandymo aktualumas**

Dirvožemio rūgštingumas yra svarbiausias veiksnys ribojantis augalų mitybą per šaknis, jų derlingumą bei dirvožemio degradaciją dėl toksinių aliuminio, mangano ir geležies junginių susidarymo, kurie pažeidžia augalo šaknų sistemą, apsunkina augalo maisto medžiagų prieinamumą, be to sutrikdoma mikroorganizmų veikla, dirvožemis tampa nestruktūringas ir pažeidžiamas, todėl intensyvėja dirvožemio vandens ir vėjo erozija. Pabrėžiama, kad dirvožemio rūgštėjimas smarkiai riboja mineralinio azoto, fosforo, kalcio ir magnio pasisavinimą, todėl pH reguliavimas tampa esminis veiksnys efektyviam maistinių medžiagų panaudojimui. Dirvožemio katijonų mainų geba (CEC) taip pat glaudžiai susijusi su rūgštingumo reguliavimu: rūgščiuose dirvožemiuose mainų paviršiai užpildyti  $H^+$  ir  $Al^{3+}$  jonais, o kalkinėse medžiagose esantys  $Ca^{2+}$  ir  $Mg^{2+}$  juos pakeičia, taip neutralizuodami rūgštingumą, didindami bazinę saturaciją pagerina maistinių medžiagų prieinamumą augalams (Weil ir kt., 2016; Guo ir kt., 2020; Mengel, 2020). Naujausi moksliniai tyrimai rodo, kad tinkamos rūgštingumo mažinimo priemonės užtikrina tinkamą augalų mitybą, gaunami geresnės kokybės derliai, ir taip pat prisideda prie šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) emisijų mažinimo. Kalkinimas yra labiausiai paplitusi praktika, o pasaulinės metaanalizės atskleidžia, kad ši priemonė gali padidinti augalų biologinį derlingumą vidutiniškai 19–36 %, kartu reikšmingai mažindama azoto suboksido ( $N_2O$ ) emisijas (Wang ir kt., 2021). Zhang ir kt. (2022) duomenimis, kalkinimas sumažino  $N_2O$  emisijas 38 %, o metano ( $CH_4$ ) srautus – apie 20 %, nors anglies dioksido ( $CO_2$ ) emisijos trumpuoju laikotarpiu padidėjo 41 % dėl aktyvesnio karbonatų skaidymosi ir dirvožemio respiracijos, tačiau ilgalaikėje perspektyvoje kalkinimas didina dirvožemio organinės anglies kaupimąsi ir kompensuoja trumpalaikius  $CO_2$  srautus (Wang ir kt. (2021)).

Kalkinių medžiagų poveikis priklauso ir nuo jų cheminės sudėties. Shaaban ir kt. (2023) nustatė, kad dolomito kalkės ( $CaMg(CO_3)_2$ ) kai kuriais atvejais veiksmingiau mažina  $N_2O$  emisijas nei kalcitas, ypač smėlinguose dirvožemiuose, kur dominuoja nitrifikacija. Dolomito poveikis pH paprastai pasireiškia lėčiau nei kalcito, tačiau yra ilgiau išliekantis, todėl palaikoma stabilesnė cheminė aplinka šaknų zonoje. Savo ruožtu Anderson ir kt. (2021) pabrėžia, kad kalkių derinimas su gipsu pagerina ne tik paviršinio, bet ir gilesnio profilio dirvožemio savybes, sumažina aliuminio toksiškumą ir leidžia pasiekti geresnį augalų derlių, nors pats gipsas pH reikšmingai nekeičia. Tai ypač svarbu, nes gilesnių horizontų neutralizavimas padidina fosforo ir magnio prieinamumą bei sumažina augalų šaknims žalingą aliuminio tirpumą.

Be tradicinių kalkinių medžiagų, tyrimuose vis dažniau analizuojamos alternatyvos. Javed ir kt. (2024) parodė, kad medienos pelenai ar popieriaus pramonės nuotekų dumblas podzoliniuose dirvožemiuose gali pakelti pH beveik tiek pat, kiek tradicinis kalkinimas. Vis dėlto Medaiyese ir kt.

(2023) pastebi, kad jų poveikis ŠESD emisijų balansui priklauso nuo mišinių sudėties: pelenų derinimas su biochar gali skatinti didesnes CO<sub>2</sub> emisijas, nors N<sub>2</sub>O srautai mažėja. Tai rodo, kad tokių priemonių taikymas turi būti vertinamas kompleksiskai, atsižvelgiant į dirvožemio savybes. Dar viena perspektyvi priemonė – organinė anglis (biochar), gaunama pirolizės būdu iš biomasės. Jis pasižymi gebėjimu kelti rūgščių dirvožemių pH ir kartu sorbuoti maisto medžiagas. Be to, biochar pasižymi ilgalaikiu poveikiu, nes dėl savo stabilios struktūros dirvožemyje išlieka dešimtmečius. Bekchanova ir kt. (2024) nustatė, kad biochar ilgai pagerina dirvožemio organinės anglies balansą, o Atilano-Camino ir kt. (2022) bei Fu ir kt. (2023) metaanalizės rodo, jog jis sumažina N<sub>2</sub>O emisijas apie 22 %, nors CO<sub>2</sub> srautai dažnai šiek tiek padidėja dėl vadinamojo primingo efekto – mikroorganizmų suaktyvėjimo, kai jie pradeda intensyviau skaidyti dirvožemio organinę anglį. Yang ir kt. (2024) pabrėžia, kad biochar poveikis priklauso nuo jo gamybos sąlygų – naudojamos žaliavos ir pirolizės proceso temperatūros. Aukštesnėje temperatūroje (500–700 °C) pagamintas biochar turi daugiau mineralinių pelenų ir yra šarmingesnis, todėl dirvožemyje stipriau kelia pH. Derinant biochar su organinėmis trąšomis, dažniausiai pasiekiamas didesnis derliaus prieaugis ir mažesnės N<sub>2</sub>O emisijos nei naudojant vien organiką (Fu ir kt., 2023).

Naujesniuose tyrimuose daug dėmesio skiriama ir „Enhanced Rock Weathering“ (ERW) technologijai – silikatinių uolienu (pvz., bazalto) miltų įterpimui rūgščiuose dirvožemiuose. Holden ir kt. (2024) atliko lauko bandymus cukranendrių plantacijose ir nustatė, kad bazalto dulkių naudojimas ne tik pakelia pH ir pagerina derlių, bet ir prisideda prie CO<sub>2</sub> surišimo karbonatų pavidalu. Beerling ir kt. (2025) modeliuodami JAV žemės ūkio sistemas parodė, kad ši technologija turi reikšmingą potencialą tiek maisto gamybos stabilizavimui, tiek ilgalaikiam klimato kaitos švelninimui. Tuo pat metu Dupla ir kt. (2024) pažymi, kad būtinas nuolatinis biologinių sąveikų stebėjimas, nes ERW poveikis mikrobiologinėms bendrijoms dar nėra iki galo suprastas. Šveicarijoje atlikti lauko bandymai taip pat parodė daugiausia teigiamą arba neutralų bazalto miltų poveikį: padidėjo sliekų gausumas (+71 %) ir dirvožemio kvėpavimas (+50 %), nors kartu kilo klausimų dėl galimų CO<sub>2</sub> nuostolių ir padidėjusios natrio koncentracijos, galinčios neigiamai paveikti derlingumą (Dupla ir kt., 2024).

Apibendrinant galima teigti, kad kalkinimas išlieka patikimiausia priemone greitai pakelti dirvožemio pH ir pagerinti derlių, nors jo poveikis CO<sub>2</sub> emisijoms vertinamas prieštaringai. Organinė anglis (Biochar) dažniausiai didina derlingumą ir mažina N<sub>2</sub>O emisijas, bet gali skatinti respiracinius CO<sub>2</sub> srautus. Medienos pelenai ir pramoninės liekanos gali būti tinkami vietiniai kalkių pakaitalai, o jų poveikis šiltnamio dujų balansui priklauso nuo cheminės sudėties. Silikatinių uolienu miltų (pvz., bazalto dulkės) naudojimas kalkinimui dar vienas būdas, kuris leidžia daryti prielaidą, kad tvariai derinti dirvožemio derlingumo atkūrimą ir anglies kaupimą ekosistemoje, tačiau reikalauja detalių lauko bandymų ir nuolatinio monitoringo.

Ilgalaikiai tyrimai (Wang ir kt., 2021; Zhang ir kt., 2022) patvirtina, kad tinkamas dirvožemio pH reguliavimas padeda išlaikyti organinės anglies balansą, gerina maistinių medžiagų panaudojimo efektyvumą ir produkcinės kokybės rodiklius. Tai tiesiogiai atitinka šio projekto tikslus – kurti

inovatyvias, moksliskai pagrįstas ir klimatui draugiškas technologijas, skirtas dirvožemio sveikatos gerinimui ir tvariai žemdirbystei.

## 2. Parodomojo bandymo tikslai

Bandymų tikslas – skatinti ūkininkus palaikyti ir reguliuoti dirvožemio pH naudojant inovatyvius, aplinką tausojančius produktus, siekiant sumažinti azoto nuostolius dėl dujinio azoto išgaravimo, pagerinti augalų mitybą, padidinti dirvožemio mainų katijonų sorbcijos gebą bei užtikrinti aukštesnę žemės ūkio produkcijos derlingumą. Padidinus dirvožemio mainų katijonų sorbcijos gebą, tikimasi padidėjusio  $\text{Ca}^{2+}$  ir  $\text{Mg}^{2+}$  kiekio bei sumažėjusio žalingo  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{H}^+$  ir  $\text{Fe}^{3+}$  jonų poveikio, dėl ko pagerėtų augalų mityba, jų atsparumas biotiniams ir abiotiniams veiksniams bei pagerėtų produktyvumo rodikliai.

## 3. Parodomojo bandymo uždaviniai

- Įrengti parodomuosius bandymus skirtingo pH dirvožemiuose, siekiant iširti inovatyvių kalkinių produktų skirtingų normų poveikį dirvožemiui ir augalams;
- Panaudoti inovatyvių kalkinių produktų skirtingas normas dirvožemio pH reguliavimui;
- Stebėti ir įvertinti dirvožemio rodiklius, įskaitant: pH pokyčius; judriuosius maistinius elementus ( $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ , Ca, Mg); dirvožemio mainų katijonų gebą (CEC);
- Įvertinti augalų derlingumo pokyčius, vertinat derlių, matuojant biomasės kiekį, augalų morfologinius ir išorinius rodiklius (dydis, svoris, išvaizda);
- Atlikti duomenų analizę, įvertinti kalkinimo priemonių efektyvumą, sąsajas tarp dirvožemio pH ir augalų derlingumo bei maisto medžiagų pasisavinimo;
- Atlikti projekto sklaidą, pristatyti gautus duomenis lauko dienose ir seminaruose bei per informacinius leidinius ar elektroninius šaltinius.

## 4. Inovatyvus sprendinys

Derlingas dirvožemis yra pagrindinė sąlyga maisto saugumui užtikrinti, tačiau rūgštėjimas tampa vis opesne problema, todėl jo reguliavimas išlieka aktualus ūkininkavimo praktikoje.

Kalkinimas – seniai žinomas būdas rūgšties dirvožemiams neutralizuoti. Ši praktika lemia daugybę biologinių ir cheminių pokyčių dirvožemyje. Trumpalaikiai efektai pasireiškia dirvožemio biotos aktyvumo padidėjimu ir azoto apytakos suaktyvėjimu, kas didina maisto medžiagų prieinamumą augalams. Vis dėlto kalkinimo poveikis anglies kaupimui yra įvairus ir priklauso nuo dirvožemio tipo, klimato, žemės naudojimo ir kitų valdymo veiksnių. Kalkinimas veikia visus dirvožemio elementus, todėl keičiasi augalų mitybos procesai, dėl kurių padidėja fosforo prieinamumas ir pasisavinamumas bei sumažėja toksinių sunkiųjų metalų įsisavinimas. Dirvožemio fizinės savybės dažniausiai išlieka stabilios arba pagerėja, nors pokyčiai pasireiškia nevienodai. Ekologiniai tyrimai rodo kalkinimo naudą biologinei įvairovei, pavyzdžiui, sliėkų gausėjimą, kuris teigiamai veikia kitų rūšių buveines (Horn et al., 2021; Dupla, 2024).

Kalkinimas yra daugialypį poveikį turinti tvari dirvožemio valdymo priemonė. Holistinis požiūris, vertinantis kalkinimo poveikį ekosistemų funkcijoms laikui bėgant, padeda geriau suprasti jo reikšmę anglies apytakai, maisto gamybai ir ekosisteminių paslaugų teikimui.

Šio tyrimo inovatyvumas grindžiamas kompleksiniu požiūriu į dirvožemio rūgštėjimo mažinimą, dirvožemio degradacijos prevenciją ir augalų mitybos optimizavimą, taikant kalkinimo inovatyvias alternatyvias priemones bei skirtingas jų normas, atsižvelgiant į maksimalias azoto normas medžiagoje, kurias reglamentuoja LR ŽŪM įsakymas „Tręšiamųjų produktų naudojimo reikalavimų aprašas“. Šis sprendinys siekia ne tik pagerinti dirvožemio chemines savybes ir augalų produktyvumą, bet ir skatinti žiedinės bioekonomikos principus, mažinant priklausomybę nuo pirminių žaliavų. Inovatyvumas pasireiškia šiais aspektais: tvarus antrinių medžiagų panaudojimas vertinami kaip alternatyvios kalkinimo ir dirvožemio gerinimo priemonės, leidžiančios sumažinti mineralinių medžiagų naudojimą ir užtikrinti maisto medžiagų ciklo uždaramą ūkyje. Integruotas poveikio vertinimas leidžia stebėti ne tik dirvožemio pH ir maistinių elementų pokyčius, bet ir augalų kokybinius bei kiekybinius rodiklius. Parodomieji bandymai, lauko dienos bei seminarai užtikrina inovatyvių technologijos pritaikomumą praktikoje ir žinių perdavimą ūkininkams bei konsultavimams.

## **5. Parodomąjo bandymo įrengimo sąlygos**

### **5.1 Reikalavimai parodomąjo bandymo vietai**

Parodomajam bandymui įrengti skirtas laukas turi turėti laidų vandeniui armenį ir podirvį, gerą aeraciją, dirvožemio pH svyruoti ne didesnis kaip 6,5, o dirvožemio granulimetrinė sudėtis – nuo lengvo priemolio iki molio. Dirvožemio analizei papildomai bus taikomi nuotoliniai kartografavimo metodai, panaudojant DirvAgroch\_DR10LT duomenų rinkinį, Lietuvoje kaupiamą nuo 1999 metų. Laukas turi būti sukultūrintas, viršutiniame ariamajame sluoksnyje turėti humuso, armenyje turi būti nedaug daugiamečių piktžolių vegetatyvinių dauginimosi organų – šaknų, šakniastiebių ir pan. Laukas turi būti panašios granulimetrinės sudėties ir dirvožemio grupės. Pageidautina, kad laukas būtų lygus arba su nežymiu nuolydžiu, melioruotas, be lomų ir užmirkusių įdubimų. Bandymui skirtame lauke nėra svarbus priešėlis, tačiau pageidautina kad, būtų taikytas vienodas žemės dirbimas ir tręšimas (pvz., ne po parodomųjų bandymų).

Parodomąjo bandymo įrengimui skirtame lauke prieš bandymo įrengimą bus paimti dirvožemio ėminiai dirvožemio agrocheminėms savybėms nustatyti. Kalkinės medžiagos bus išberiamos ir įterpiamos sekliai 5-8 cm gyliu. Augalų pasirinkimas priklausys nuo ūkyje auginamų žemės ūkio augalų – tai gali būti žolynai, grūdiniai, kaupiamieji augalai, vaisiai ar daržovės, kurie yra jautrūs dirvožemio pH pokyčiams.

### **5.2 Parodomąjo bandymo variantai**

Parodomąjo bandymo metu bus naudojamos cukraus gamybos metu susidaranti fabrikos kalkės (defekatas) – šalutinis produktas, susidarantis valant cukrinių runkelių sultis nuo priemaišų. Defekato

sudėtyje yra kalcio karbonato, organinių medžiagų, azoto ir fosforo junginių. Šių kalkinių medžiagų norma paskaičiuojama pagal sudėtyje esančio azoto kiekį sausoje medžiagoje (SM).

Ūkiuose parodomieji bandymai įrengiami pagal šią schemą:

Eil. Nr.	Variantas	Žymėjimas	Kalkinės medžiagos norma pagal azoto kiekį SM	Pastaba
1.	Kontrolė	K	Be kalkinių medžiagų	Duomenų palyginimui
2.	Kalkinės medžiagos maža norma	TR1	80 kg N/ha	Paskaičiuosime kalkinės medžiagos normą pagal N kiekį SM*
3.	Kalkinės medžiagos vidutinė norma	TR2	120 kg N/ha	Paskaičiuosime kalkinės medžiagos normą pagal N kiekį SM*
4.	Kalkinės medžiagos didžiausia leistina norma	TR3	170 kg N/ha	Paskaičiuosime kalkinės medžiagos normą pagal N kiekį SM*

\* SM sausoje medžiagoje

Vienas bandymas bus sudarytas iš keturių laukelių, kur visi laukeliai bus vienodo dydžio, ir ne mažesni kaip 0,003 ha. Bandymų laukelių dydis ir jų išdėstymas parenkamas atsižvelgiant į ūkio sąlygas, laukų konfiguraciją bei auginamus augalus. Laukeliai išdėstyti atsitiktine tvarka. Bandymo įrengimo pradžia iškart po priešsėlio derliaus nuėmimo.

Prieš bandymo įrengimą ir kalkinimą iš kiekvieno laukelio imami dirvožemio mėginiai iš 0–20 cm gylio, ir nustatytos šios dirvožemio agrocheminės savybės: pH, humuso kiekis judriųjų elementų ( $K_2O$ ,  $P_2O_5$ ), tirpiojo Ca ir Mg kiekiai, mineralinio azoto kiekis, dirvožemio struktūra pagal katijonų gebą, bei pagal poreikį judriojo Al kiekis.

### 5.3. Žemės dirbimas ir agrotechniniai darbai

*Agrotechninės sąlygos.* Auginamų žemės ūkio augalų žemės dirbimas, tręšimas ir pasėlių priežiūra bus atliekami pagal mokslininkų parengtas rekomendacijas, atitinkančias tiriamos kultūros reikalavimus.

Parodomajam bandymui skirtame plote po derliaus nuėmimo rudenį žemė sekliai suskutama ir suariama. Po dirvožemio ėminių paėmimo kalkinės medžiagos paskleidžiamos ir įterpiamos sekliai skutikliu ar kitu padargu į dirvožemį. Pavasarį prieš sėją imami dirvožemio ėminiai mineralinio azoto nustatymui. Tada bandymo laukeliai paruošiami augalų sėjai/sodinimui: supurenami, išlyginami. Tręšimo ir augalų sėjos /sodinimo darbus ūkininkas atlieka pagal ūkyje taikomą technologiją. Parodomą bandymo įrengimo metu įterpiama skirtingos kalkinių medžiagų normos (žiūrėti lentelė nr.1).

### 5.4. Parodomą bandymo priežiūra

*Pasėlio priežiūra.* Šie darbai bus vykdomi pagal mokslininkų rekomendacijas ir ūkyje taikomas technologijas. Bandymų laukeliuose piktžolės bus naikintinos prieš sėją žemės dirbimu ir herbicidais. Augalų vegetacijos metu bus naudojami rankiniai žemės ūkio padargai mechaniniam piktžolių ravėjimui, herbicidų naudojimui. Bandymo vykdymo laikotarpiu reguliariai bus atliekama ligų ir

kenkėjų kontrolė ir apskaita. Pagal integruotos kenksmingų organizmų kontrolės (IKOK) gaires augalui pasiekus augalo žalingumo ribą bus naudojamos augalų apsaugos priemonės (AAP), kurios bus purškiamos žemės ūkio purkštuvais.

*Dirvožemio ėminių ėmimas ir analizė.* Dirvožemio ėminiai agrocheminėms savybėms nustatyti bus imami iš kiekvieno bandymo laukelio, 0–20 cm gylyje, sudarant jungtinius mėginius. Surinkti ėminiai bus ištirti laboratorijoje.

- prieš įrengiant bandymą,
- augalų vegetacijos metu,
- pasibaigus bandymui.

Tiriamasis agrocheminis rodiklis	Prieš bandymo įrengimą	I metai			II metai
		Sėja	Prieš žydėjimą	Po derliaus nuėmimo	Pasibaigus bandymui
Humusas	Taip			Taip	Taip
pH	Taip	Taip	Taip	Taip	Taip
Mineralinis azotas sausuose mėginiuose		Taip			Taip
P2O5 ir K2O	Taip		Taip		Taip
Ca, Mg tirpus vandenyje	Taip			Taip	Taip
Dirvožemio struktūra pagal katijonų mainų gebą	Taip	Taip		Taip	
Judrusis Al	Taip				Taip

*Augalų stebėjimas ir vertinimas.* Sudygusių/prigijusių augalų apskaita bus atliekama praėjus 10 dienų po sudygimo/prigijimo. Pasėlių priežiūra ir augalų antžeminės dalies vertinimas bus vykdomas tris kartus per vegetacijos laikotarpį:

- Po sudygimo,
- Augalų aktyvios vegetacijos metu,
- Prieš derliaus nuėmimą.

Augalų stebėjimo metu bus atliekami biometriniai matavimai:

- augalų skaičius 1 m<sup>2</sup> plote,
- augalų aukštis – matavimo metodu,
- vystymosi fazė - pagal BBCH skalę.
- Chlorofilo kiekio augaluose nustatymas
- viso augalo masė, augalo šaknų ir viršutinės dalies masė prieš derliaus nuėmimą – svėrimo metodu. Sumedėjusių augalų masės nevertinsime.
- derliaus kokybiniai rodikliai: svoris, dydis, sausųjų medžiagų kiekis, 1000 grūdų masė.

Dirvožemio būklės vertinimas:

- pH rodiklio dinamika
- Drėgmės režimas

## 5.5. Derliaus nuėmimas

Prieš nuimant derlių paruošiamas apskaitinis bandymų laukelis. Iš bandymo šonų ir skersai laukelių galų nupjaunamos apsauginės juostos. Kiekviename bandymo laukelyje nuimamas derlius iš apskaitinio laukelio. Derlius perskaičiuojamas  $\text{kg ha}^{-1}$ .

## 5.6. Rezultatų sklaida

Lauko dienų ir seminarų metu ūkininkams bus demonstruojami gauti rezultatai, pateikiami pavyzdžiai ir aiškinama technologijų taikymo nauda dirvožemio gerinimui bei augalų derliaus ir kokybės didinimui.

## 6. Parodomojo bandymo numatomas rezultatas

Tikimasi, kad parodomasis bandymas leis praktiškai įvertinti inovatyvaus kalkinimui skirto produkto skirtingų normų poveikį dirvožemio pH, maistinių medžiagų prieinamumui ir augalų produktyvumui. Atliekant bandymus įvairaus pH ir granuliometrinės sudėties dirvožemiuose bus nustatyta:

- kalkinimo produktų skirtingų normų poveikis dirvožemio pH dinamikai;
- pagrindinių maistinių elementų judrumas ir prieinamumas augalams;
- augalų biomasės ir derliaus pokyčiai (biomasės derlius, organoleptinės savybės);
- kaip pH reguliavimas veikia augalų mitybos balansą, atsparumą stresiniams veiksniams ir produkcijos kokybę.

Be to, tikimasi, kad bus įrodyta alternatyvių kalkinimo produktų taikymo nauda ne tik agronominiu, bet ir aplinkosauginiu aspektu – mažinant šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) emisijas, didinant dirvožemio biologinį aktyvumą ir pagerinant jo struktūrą.

Parodomasis bandymas suteiks praktinių duomenų, kuriais galės remtis ūkininkai ir konsultavimo tarnybos, diegdamos tvarius dirvožemio rūgštingumo reguliavimo sprendimus. Gauti rezultatai bus pristatyti lauko dienose, seminaruose ir publikacijose, siekiant skatinti inovatyvių, mokslo pagrįstų technologijų taikymą Lietuvos ūkiuose.

## 7. Parodomojo bandymo atitiktis vertinimo kriterijams

**Parodomasis bandymas tiesiogiai susijęs su teigiamu poveikiu aplinkai ir klimatui.** Projektas pasižymi teigiamu poveikiu aplinkai ir klimatui. Parodomojo bandymo esmė – tvarus dirvožemio pH reguliavimas, naudojant alternatyvias antrines žaliavas bei jų skirtingas normas, kurios parinktos atsižvelgiant į maksimalias azoto normas medžiagoje, kurias reglamentuoja LR ŽŪM įsakymas. Šių priemonių taikymas prisideda prie kelių svarbių aplinkosauginių ir klimato tikslų įgyvendinimo:

- Aplinkos taršos mažinimas: tinkamai sureguliuotas dirvožemio pH mažina sunkiųjų metalų judrumą ir pagerina mineralinio azoto įsisavinimą augalams, taip sumažindamas paviršinių ir gruntinių

vandenų taršos riziką. Antrinis vietinių arba pramonės šalutinių produktų perdirbimas į alternatyvius kalkinius produktus skatina žiedinės ekonomikos principų įgyvendinimą.

- Dirvožemio sveikatos gerinimas: kalkinimas didina dirvožemio mikrobiologinį aktyvumą, pagerina struktūrą ir katijonų mainų gebą, todėl ilgai stiprinamas dirvožemio atsparumas degradacijai. Didėjantis  $\text{Ca}^{2+}$  ir  $\text{Mg}^{2+}$  kiekis stabilizuoja dirvožemio struktūrą, pagerina maistinių medžiagų prieinamumą augalams ir skatina ilgalaikį dirvožemio produktyvumo išlaikymą.

- Tvarus ūkininkavimas: projektas remiasi mokslo žiniomis ir siekia parodyti ūkininkams, kaip taikant inovatyvius, biologiškai ir aplinkai draugiškus metodus galima išlaikyti ar net didinti derlingumą, mažinant priklausomybę nuo sintetinių trąšų.

- Portatyviniai skaitmeniniai įrankiai ar sensoriai leis fiksuoti ir analizuoti ekspres metodu augalo augimo sąlygas konkrečiu laiku ir sudarys sąlygas kurti duomenimis grįstus sprendimus dėl tręšimo, augalų apsaugos ar kalkinimo normų optimizavimo. Skaitmeninė rezultatų sklaida leis gautus rezultatus sisteminti ir pristatyti naudojant grafikų vizualizacijas. Tokiu būdu ūkininkai ir konsultantai galės tiesiogiai naudotis surinkta informacija bei taikyti sprendimus kituose ūkiuose.

- Šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) mažinimas: optimalus dirvožemio pH mažina azoto nuostolius per dujinį išgaravimą ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ), todėl gerėja azoto panaudojimo efektyvumas ir mažėja emisijos į atmosferą. Alternatyvių kalkinių medžiagų panaudojimas padeda surišti anglies dioksidą karbonatų pavidalu bei prisideda prie ilgalaikio  $\text{CO}_2$  sekvestravimo dirvožemyje.

Ši integracija užtikrina, kad parodomasis bandymas ne tik prisidės prie tvaraus žemės ūkio vystymo, bet ir taps praktiniu pavyzdžiu, skatinančiu duomenimis pagrįstus sprendimus ūkinėje veikloje.

Bendras projekto poveikis – tvarus gamybos intensyvumo didinimas, kartu gerinant dirvožemio kokybę, prisidedant prie klimato kaitos švelninimo ir žiedinės ekonomikos principų įgyvendinimo žemės ūkyje.

## 8. Vieno parodomojo bandymo rodikliai

Reikalingos prekės ir paslaugos	Aprašymas	Mato vnt.	Kiekis
<b>1. Techninių galimybių įrengti parodomąjį bandymą ūkininko ūkyje įvertinimas ir priemonių plano parengimas</b>			
1.1. Galimybių įvertinimas	Parinkti bandymui tinkamą vietą, ją apžiūrint ir įvertinant iš anksto, prieš ruošiant dirvą sodinimui. Bandymui skirta vieta turi būti lygi, neužmirkus.	vnt.	1
1.2. Priemonių plano parengimas	Numatyti kiekvieno bandymo įrengimo planą	vnt.	1
<b>2. Ploto paruošimas</b>			
2.1. Bandymo laukelių įrengimas	Laukelių išskyrimas, laukelių ribų žymėjimas	vnt.	1
2.2. Žemės paruošimo darbai parodomuosiuose laukeliuose	Piktžolių naikinimas herbicidais ir mechaniniu būdu (pagal poreikį)	vnt.	1
2.3. Žemės dirbimo darbai parodomuosiuose laukeliuose	Seklus dirvos skutimas ir arimas	vnt.	1
2.4. Įrangos nuoma	Žemės dirbimo padargų ir mini traktoriaus nuoma	kompl.	1
<b>3. Parodomojo bandymo įrengimas</b>			
3.1. Kultivatoriaus ar kt. įrangos nuoma	Žemės dirbimo padargų ir mini traktoriaus nuoma	vnt.	1
3.2. Kalkės	Organinės medžiagos, skirtos dirvožemio kalkinimui	kg	150
3.3. Kalkinimas	Kalkių išbarstymas ir įterpimas į dirvožemį skutikliu ar kt. padargu	vnt.	1
3.4. Transportavimas	Kalkių atvežimas į ūkį	vnt.	1
<b>4. Dirvožemio tyrimai</b>			
4.1. Dirvožemio ėminių paėmimo paslauga	Ėminiai bus imami prieš įrengimą, vegetacijos metu ir nuėmus derlių ir pasibaigus bandymo vykdymui	vnt.	5
4.2. Dirvožemio ėminių ištyrimo paslauga (humusas)	Dirvožemio agrocheminių rodiklių tyrimai	vnt.	12
4.3. Dirvožemio ėminių ištyrimo paslauga (pH)	Dirvožemio agrocheminių rodiklių tyrimai	vnt.	20
4.4. Dirvožemio ėminių ištyrimo paslauga (mineralinis azotas sausuose mėginiuose)	Dirvožemio agrocheminių rodiklių tyrimai	vnt.	8
4.5. Dirvožemio ėminių ištyrimo paslauga (P2O5 ir K2O)	Dirvožemio agrocheminių rodiklių tyrimai	vnt.	12
4.6. Dirvožemio ėminių ištyrimo paslauga (Ca, Mg tirpus vandenyje)	Dirvožemio agrocheminių rodiklių tyrimai	vnt.	12
4.7. Dirvožemio ėminių ištyrimo paslauga (Dirvožemio struktūra pagal katijonų mainų gebą)	Dirvožemio agrocheminių rodiklių tyrimai	vnt.	12
4.8. Dirvožemio ėminių ištyrimo paslauga (Judrusis Al)	Dirvožemio agrocheminių rodiklių tyrimai	vnt.	8
<b>5. Parodomojo bandymo priežiūra</b>			
5.1. Ravėjimas	Mechaninis ravėjimas 4 kartus per vegetacijos laikotarpį	vnt.	4
5.2. Ligų ir kenkėjų profilaktikos darbai	Ligų ir kenkėjų naikinimas pesticidais	vnt.	3
<b>6. Augalų stebėjimas ir vertinimas</b>			
6.1. Augalų apskaita (augalų skaičius 1 m <sup>2</sup> plote)	Augalų antžeminės dalies vertinimas 3 kartus - per vegetacijos laikotarpį po sudygimo, augalų aktyvios vegetacijos metu ir prieš derliaus nuėmimą	vnt.	12
6.2. Augalų apskaita (augalų aukštis – matavimo metodu)	Augalų antžeminės dalies vertinimas 3 kartus - per vegetacijos laikotarpį po sudygimo, augalų aktyvios vegetacijos metu ir prieš derliaus nuėmimą	vnt.	12
6.3. Augalų apskaita (vystymosi fazė - pagal BBCH skalę)	Augalų antžeminės dalies vertinimas 3 kartus - per vegetacijos laikotarpį po sudygimo, augalų	vnt.	12

<b>Reikalingos prekės ir paslaugos</b>	<b>Aprašymas</b>	<b>Mato vnt.</b>	<b>Kiekis</b>
	aktyvios vegetacijos metu ir prieš derliaus nuėmimą		
6.4. Augalų apskaita (chlorofilo kiekio augaluose nustatymas)	Augalų antžeminės dalies vertinimas 3 kartus - per vegetacijos laikotarpį po sudygimo, augalų aktyvios vegetacijos metu ir prieš derliaus nuėmimą	vnt.	12
6.5. Augalų apskaita (viso augalo masė, augalo šaknų ir viršutinės dalies masė prieš derliaus nuėmimą – svėrimo metodu)	Augalų antžeminės dalies vertinimas 3 kartus - per vegetacijos laikotarpį po sudygimo, augalų aktyvios vegetacijos metu ir prieš derliaus nuėmimą	vnt.	12
6.6. Derliaus nuėmimas rankiniu būdu	Derliaus nuėmimas	vnt.	1
6.7. Svartyklių nuoma	Svarstyklės skirtos profesionaliam naudojimui. Tikslumas 0,01 g. Svėrimo riba iki 20 kg. Jų nuoma ir pristatymas iš/į vietą	vnt.	1
6.8. Derliaus tyrimai (svoris)	Derliaus kokybės tyrimai	vnt.	4
6.9. Derliaus tyrimai (dydis)	Derliaus kokybės tyrimai	vnt.	4
6.10. Derliaus tyrimai (sausųjų medžiagų kiekis)	Derliaus kokybės tyrimai	vnt.	4
6.11. Derliaus tyrimai (1000 grūdų masė)	Derliaus kokybės tyrimai	vnt.	4
<b>7. Parodomąjo lauko sutvarkymas</b>			
7.1. Bandymo teritorijos sutvarkymas	Bandymo teritorijos sutvarkymas	vnt.	1

## LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Anderson, G., Pathan, S., Easton, J., Hall, D., Sharma, R. 2020. Short- and Long-Term Effects of Lime and Gypsum Applications on Acid Soils in a Water-Limited Environment: 2. Soil Chemical Properties. *Agronomy*. 10. 1987. <https://doi.org/10.3390/agronomy10121987>
2. Atilano-Camino, M. M., Canizales Laborin, A. P., Ortega Juarez, A. M., Valenzuela Cantú, A. K., & Pat-Espadas, A. M. (2022). Impact of Soil Amendment with Biochar on Greenhouse Gases Emissions, Metals Availability and Microbial Activity: A Meta-Analysis. *Sustainability*, 14(23), 15648. <https://doi.org/10.3390/su142315648>
3. Beerling, D. J., Kantzas, E.P., Lomas, M.R., Taylor, L.L., Zhang, S., Kanzaki, Y., Eufrazio, R.M., Renforth, P., Mercure, J.F., Pollitt, H., Holden, P.B., Edwards, N.R., Koh, L., Epihov, D.Z., Wolf, A., Hansen, J.E., Banwart, S.A., Pidgeon, N.F., Reinhard C.T., Planavsky N.J., Van Martin, M. 2025. Transforming US agriculture for carbon removal with enhanced weathering. *Nature*, 638, 425-434. <https://doi.org/10.1038/s41586-024-08429-2>
4. Bekchanova, M., Kuppens, T., Cuypers, A., Jozefczak, M., Malina, R. 2024. Biochar's effect on the soil carbon cycle: a rapid review and meta-analysis. *Biochar* 6, 88. <https://doi.org/10.1007/s42773-024-00381-8>
5. Dupla X., Claustre R., Bonvin E., Graf I., Bayon R.C., Grand S. 2024. Let the dust settle: Impact of enhanced rock weathering on soil biological, physical, and geochemical fertility. *Science of The Total Environment*, Volume 954, 176297. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176297>
6. Fu, J., Zhou X., He Y., Liu R., Yao Y., Zhou G., Chen H., Zhou L., Fu Y., Bai S.H. 2023. Co-application of biochar and organic amendments on soil GHG: A meta-analysis. *Science of the Total Environment*, 897, 166171. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166171>
7. Guo, J., Liu, X., Zhang, Y., Shen, J., Han, W., & Zhang, F. (2020). Significant acidification in major Chinese croplands. *Science*, 327(5968), 1008–1010. <https://doi.org/10.1126/science.1182570>
8. Holden, F. J., Davies, K., Bird M.I., Hume R., Green H., (2024). In-field CO<sub>2</sub> removal via weathering of basalt in sugarcane. *Science of the Total Environment*, 955, 176568. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176568>
9. Javed, B., Katanda Y., Nadeem M., Wickremasinghe T., Farhain M.M., Thomas R., Galagedara L., Guo X., Cheema M. 2024. Effectiveness of wood ash and paper sludge as liming and nutrient sources. *Soil Science Society of America Journal*, 88(3), 792–802. <https://doi.org/10.1002/saj2.20648>
10. Yang Z, Yao B, Li R, Yang W, Dong D, Ye Z, Wang Y, Ma J. 2024. Systematic review assessing the effects of amendments on acidic soils pH in tea plantations *PeerJ* 12:e17653. <https://doi.org/10.7717/peerj.17653>
11. Medaiyese, A. O., Wu, J., Unc, A. 2023. Utility of wood ash, paper sludge and biochar for improving acidic soils. *Journal of Environmental Management*, 330, 117202. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.117202>
12. Mengel, D. B. (2020). *Soil acidity and liming for agricultural soils*. Purdue Extension, Purdue University. <https://www.extension.purdue.edu/extmedia/ay/ay-238.html>
13. Shaaban, M., Hu, R., Wu, Y., Song, L., Xu, P. 2023. Soil pH management for mitigating N<sub>2</sub>O emissions through nosZ (Clade I and II) gene abundance in rice paddy system. *Environmental Research*, 225, 1158542 <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115542>
14. Wang, Y., Yao, Z., Zhan, Y., Zheng, X., Zhou, M., Yan, G., Wang, L., Werner, C. and Butterbach-Bahl, K. 2021. Potential benefits of liming to acid soils on climate change mitigation and food security. *Glob Change Biol*, 27: 2807-2821. <https://doi.org/10.1111/gcb.15607>
15. Weil, N.C., Brady, R.R., Weil, R.R. (2016) *The Nature and Properties of Soils*. Fifteenth Edition, Pearson, Columbus.
16. Zhang, H.-M., Liang, Z., Li, Y., Chen, Z-X., Zhang J-B., Cai, Z-C., Elsgaard, L., Cheng, Y., Groenigen, K.J., Abalos, D. 2022. Liming modifies GHG fluxes from soils: A meta-analysis of biological drivers. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 340, 108182. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108182>
17. Emilia L. Horn, Emily C. Cooleedge, Frances C. Hoyle, Francesca L. Brailsford, Daniel V. Murphy. 2021. Addition of base cations increases microbial carbon use efficiency and biomass in acidic soils. *Soil Biology and Biochemistry*, V. 161. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2021.108392>