

LIETUVOS INŽINERIJOS KOLEGIJA

Vilda Grybauskienė, Gitana Vyčienė

Purškiamo silikono, pagaminto silicio pagrindu, taikymas dirvožemio drėgmės valdymui ir CO₂ pėdsakų mažinimui žemės ūkyje

PARODOMOJO BANDYMO METODIKA

Girionys, 2024

I SKYRIUS

Įvadas

Sausra tapo labiausiai niokojančiu abiotiniu stresu, ribojančiu pasėlių augimą visame pasaulyje, ypač sausringuose ir pusiau sausringuose regionuose. Tai gali sukelti didžiulius derliaus nuostolius, kai pradiniam vegetacijos laikotarpyje prasideda sausras.

Antitranspirantai yra vandens emulsiniai polimerai, kurie sudaro plėvelę, užblokuojančią augalo stomatus, o tai leidžia sušvelninti sausras daromą žalą augalams ir pagerinti žemės ūkio kultūrų derlių.

Moksliniai tyrimai pabrėžia teigiamą silicio rūgšties poveikį augalams. Silicis, nors ir nėra esminė maistinė medžiaga, gali padidinti augalų atsparumą stresui, pagerinti struktūros vientisumą ir padidinti atsparumą ligoms. Pavyzdžiui, jis padeda augalams susidoroti su sausromis ir druskingumu, nes pagerina maistinių medžiagų pasisavinimą. Be to, silicis prisideda prie augalų augimo, mažindamas aplinkos stresą ir reguliuodamas maistinių medžiagų įsisavinimą. Tačiau šios naudos laipsnis gali skirtis priklausomai nuo aplinkos sąlygų ir augalų rūšių.

Augalų purškimas biopriedu (antitranspirantu) silicio pagrindu, gali padėti sušvelninti klimato kaitą, pasitelkus tikslingai taikomus mechanizmus ir metodikas, kurie paremti moksliniais tyrimais. Silicis padidina augalų toleranciją aplinkos poveikiui, pavyzdžiui, sausras ir karščiui, pagerindamas jų vandens naudojimo efektyvumą ir fotosintezės pajėgumus. Dėl šių savybių sumažėja drėkinimo ir daug energijos sunaudojančių žemės ūkio technikos poreikis, taip sumažinant anglies dvideginio išmetimą.

Dauguma mokslininkų savo publikacijose pabrėžia, kad silicio pagrindu pagaminti produktai gali padėti sumažinti CO₂ emisiją žemės ūkyje, didindami augalų atsparumą ligoms, sausras.

Kitose šalyse atlikti bandymai parodė, kad silicio panaudojimas turėtų būti kruopščiai optimizuotas tikslinėms augalų rūšims, kad būtų išvengta neigiamo poveikio, pvz., iškreipto augimo. Moksliniuose straipsniuose rekomenduojama prieš pradėdant platesnį silikonų taikymą, atlikti bandymus nedideliu mastu.

Tyrimo tikslas: įvertinti biopriedų/silikonų pagamintų silicio pagrindu galimybes mažinti CO₂ pėdsakus ir sumažinti augalų patiriamą stresą dėl sausrų dėl sumažėjusios evapotranspiracijos.

Tyrimo uždaviniai:

- Paskleisti biopriedus silicio pagrindu trimis skirtingomis normomis 100, 200 ir 400 mg/l, ant žemės ūkio kultūrų;
- Stebėti CO₂ pėdsako pokytį bandymo laukeliuose;
- Stebėti dirvožemio drėgmės dinamiką biopriedu apdorotuose laukeliuose;
- Stebėti gruntinio vandens lygio dinamiką ir jo įtaką CO₂ pokyčiui bandymo laukeliuose;
- Susieti biopriedo silicio pagrindu įtaką CO₂ dinamikai, dirvos drėgmės dinamikai, augalų organolepinėms savybėms ir produkcijai.

II SKYRIUS

PARODOMOJO BANDYMO AKTUALUMAS

Šiuo metu žemės ūkio sektoriuje yra ieškoma alternatyvų, kaip būtų galima efektyviau valdyti vandens išteklius, kaip paspartinti augalų augimą, kaip padidinti produkcijos kiekius iš ploto vieneto, bet kartu kaip sumažinti CO₂ emisijas iš žemės ūkio veiklos. Iki šiol Lietuvoje, kaip pagrindinė priemonė drėgmei sulaikyti dirvožemyje buvo įvardijamos įvairios plėvelės/dangos, biologiniai priedai ir organiniai mulčiai.

Bendrose ES žemės ūkio politikos strategijose dažnai kalbama apie mokslo tyrimų ir inovacijų integravimą. Daugelis šiuolaikinių žemės ūkio politikos dokumentų pabrėžia mokslinių tyrimų svarbą siekiant užtikrinti tvarų žemės ūkį, efektyvų išteklių naudojimą ir atsparumą klimato kaitai. *Šio tyrimo metu bus bandoma ir diegiama inovacija: Silicio pagrindu pagaminto silikono purškimas ant skirtingų žemės ūkio kultūrų lygiagrečiai stebint dirvožemio drėgmės dinamiką ir gruntinio vandens lygio svyravimą. Parodomąjį bandymą bus siekiama supažindinti ūkininkus su priemone, kuri yra ekologiška ir sąlygoja produktyvių sprendimų diegimą ūkyje. Purškiamas silikono biopriedas atliepia ir aktualią žemės ūkiui tvarumo dedamąją, nes ši medžiaga leidžia valdyti vandens išteklius ir mažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų išsiskyrimą.*

Atliekamas parodomasis bandymas atliepia ES „Žaliojo kurso“ ir bendrosios žemės ūkio politikos (BŽŪP) dėmesį tyrimams bei inovacijų diegimui. Lietuvos ūkiuose vandens išteklių valdymas ir CO₂ mažinimas nelaikomi prioritetu, siekiama tik išauginti kuo daugiau produkcijos. *Projekte numatyti dirvožemio drėgmės tyrimai leis įvertinti, kaip bus tausojami vandens ištekliai taikant silicio pagrindu pagamintus silikonus (biopriedus), ir kaip šis silikonas mažina CO₂ išsiskyrimą į atmosferą bei kaip šis junginys veikia agroekosistemas ir dirvožemio drėgmės dinamiką.*

Štai keli naujausi tyrimai, kurie pabrėžia jog silicio junginių naudojimas aktuali problema.

Moksliniuose literatūros šaltiniuose silikonai pagaminti silicio pagrindu vadinami antitranspirantais (AT), o kai kurie gamintojai juos tiesiog vadina biopriedais [1, 2]. Visumoje antitranspirantai – tai produktai, mažinantys transpiraciją iš antžeminių augalų dalių. Šiai grupei daugiausia priklauso vandens emulsiniai organiniai polimerai, lateksas, plastikai arba vaško emulsijos [3]. Išpurškus juos ant augalo, susidaro fizinis barjeras (plėvelė), taip sumažinama transpiracija. Antitranspirantų apžvalgoje Mphande ir kt. [3] teigia, kad silikonai pasižymi sausrą mažinančiu poveikiu. Irfan ir kt. [4] pastebėjo, kad kukurūzų laukuose, kurie buvo purškiami silikonais sukurtais silicio pagrindu, žymiai sumažėjo transpiracijos greitis ir laidumas per lapų paviršių [5]. Taip pat pastebėta, kad sausros sąlygomis silikonu apdoroti kviečių lapai buvo storesni, todėl sumažėjo transpiracinis vandens praradimas [6].

Antroji grupė – metaboliniai antitranspirantai, kitaip vadinami žiotelės augalo lapo epidermyje uždarančiais preparatais, jie taip pat sumažina transpiraciją. Šiai grupei priskiriamos medžiagos, turinčios hormoninį ir į hormonus panašų poveikį. Dažniausios metabolinės AT yra chitozanas, fulvo rūgštis ir abscizo rūgštis.

Paskutinė antitranspirantų grupė yra atspindintys temperatūrą, ir taip sumažinantys augalų lapų temperatūrą bei transpiracijos greitį [7-8]. Vienas iš populiariausių šios grupės antitranspirantų yra aliuminio filosilikatas Al₂Si₂O₅(OH)₄, taip pat žinomas kaip kaolinas [9]. Remiantis literatūros apžvalga, kurią pateikė Mphande ir kt. [10], kaolinas buvo labiausiai ištirtas atspindintis

antitranspirantas ant lauko kultūrų 2009–2018 m. Kiti į šią grupę įtraukti preparatai yra kalcio karbonatas (CaCO_3) ir kalcio oksidas (CaO), kurie turi panašių savybių.

Silikonų taikymas žemės ūkyje yra nauja, tad plačiai analizuojama ir aktuali mokslinė tematiką šių dienų klimato kaitos kontekste. Silikonų naudojimas populiarėja siekiant pagerinti pasėlių atsparumą sausroms ir kitoms kritinėms aplinkos sąlygoms. Dalis autorių pabrėžia įvairių biopriedų silicio pagrindu (silikono) efektyvumą mažinant augalų patiriamą stresą dėl sausrų poveikio, išskiria pasėlių produktyvumo didėjimo ir CO_2 sulaikymo kontekstą.

Šis biopriedas svarbus žemės ūkyje, Thimerly ir kt., (2020) [11], savo publikacijoje pabrėžia jų gebėjimą sudaryti sąlygas augalams lėčiau reaguoti į drėgmės trūkumą, kartu leidžiant optimizuoti vandens sulaikymą dirvožemyje ir skatinti šaknų augimą. Mokslininkai savo tyrimuose atkreipia dėmesį, jog galima naudoti šiuos biopriedus kaip priemonę efektyviai mažinant augalų stresą, pavyzdžiui, sumažinant transpiraciją, kas ypač svarbu sausros laikotarpiu [12]. Silikonai silicio pagrindu stiprina augalų atsparumą ligoms, kenkėjams, gerindami maistinių medžiagų prieinamumą dirvožemyje [10]. Atlikti tyrimai rodo, jog silikonų, silicio pagrindu naudojimas ant komercinės žolės suteikė teigiamų rezultatų, sumažinant transpiraciją, nors ir turint neigiamą įtaką CO_2 įsisavinimui [12]. Pastebėta, kad naudojamas silikonas padidina kukurūzų sausųjų medžiagų kiekį, bet tik esant vandens trūkumui. Gerai laistytų augalų atveju reikšmingų skirtumų nepastebėta [13].

Pastebėta, kad naudojant silikonus kukurūzų laukuose santykinis vandens kiekis (RWC), vandens potencialas ir lapų plotas buvo didesnis nei neapdorotų kukurūzų [13]. Kita vertus, Kaya ir kt. [12] pažymėjo, kad RWC padidėjo naudojant silikoną, bet tik esant vandens trūkumui. Drėkintuose kukurūzų laukuose, reikšmingų skirtumų nenustatyta.

Eksperimentas atliktas su ryžiais parodė, kad silikonas reikšmingai paveikė augalų aukštį, įsišaknijimą ir derlių, kai buvo fiksuota sumažėjusi dirvožemio drėgmė. Buvo nustatyta, kad silikonai gali sumažinti ryžiams tiekiamo vandens kiekį 30% ir išlaikyti derlių tokiu pat lygiu, kaip ir pilnai drėkinant [14].

Aurių kolektyvo Likiang ir kt., [14] atlikti tyrimai parodė, jog panaudojus biopriedų su siliciu nustatomas apčiuopiamas poveikis derliui iš ploto vieneto ir dirvožemio derlingumui, o produktas tampa ypač efektyvus maistinių medžiagų trūkumo atveju. Be to, Gong ir Chen [15] tyrimais įrodė, kad silikonas gali pagerinti fotosintezę ir padidinti fotosintezės greitį kviečiuose sausros sąlygomis.

Taikomos silicio pagrindu pagamintų produktų, ypač silicio rūgšties mišinių, purškimo ant augalų normos skiriasi priklausomai nuo pasėlių, aplinkos sąlygų ir produkto tipo. Atlikti tyrimai pasaulyje rodo, kad normos gali svyruoti nuo 50 iki 500 mg/l, priklausomai nuo konkrečių taikymo tikslų, tokių kaip augimo skatinimas, streso mažinimas arba maistinių medžiagų įsisavinimo gerinimas. Dažniausiai moksliniuose tyrimuose silicio purškalai ant lapų buvo purškiami koncentracijoms kaip 50, 100, 200 ir 400 mg/l, o esant 200 ir 400 mg/l, buvo pastebėtas ženklus poveikis, didinant augalų atsparumą vytimui. Tyrimai su tokiomis drėgmei imliomis kultūromis kaip agurkai ir pomidorai parodė, kad silicio naudojimas pagerino maistinių medžiagų įsisavinimą ir augalų kokybę, todėl reikia kruopščiai kalibruoti dozes, kad būtų išvengta fitotoksiškumo ar augimo sutrikimų [19, 20].

Naudojimo normos gali skirtis priklausomai nuo silicio prieinamumo dirvoje [16], derliaus stadijos ir aplinkos sąlygų [17]. Kai kuriuose bandymuose kritiniais augimo tarpsniais silicio

purškalai ant žemės ūkio kultūrų lapų buvo naudojami du ar tris kartus per vegetacijos laikotarpį, kas didino produkto išeigą, bet įgalino oprimaliai reaguoti į aplinkos poveikį [18].

Pasėliuose, tokiuose kaip kviečiai ir ryžiai, purškiant biopriedu su silicio pagrindu, ir purškiant būtent lapus, pagerėjo augimas ir derlius, todėl pesticidų naudojimas sumažėjo iki 50%. Šiems pasėliams oligomerinė silicio rūgštis veiksmingai padidino atsparumą biotiniam ir abiotiniam stresui, o koncentracija buvo pritaikyta pasėliams ir augimo sąlygoms.

Kaip teigiama moksliniuose straipsniuose tinkamas žemės ūkio kultūrų drėkinimas yra tinkama priemonė, turinti didžiausią potencialą sumažinti CO₂ išmetimą iš dirvožemio [10]. Deja, tai tampa vis sunkiau įgyvendinama užduotis dėl ribotų vandens išteklių daugelyje pasaulio regionų, dėl vykstančių klimato kaitos procesų ir vis dažnėjančių sausrų [17,20,21]. Kaip vienas iš galimų sprendimų CO₂ emisijoms sumažinti ir žemės ūkio kultūrų patiriamam stresui dėl vandens išteklių trūkumo mažinti gali būti naudojami antitranspirantai.

Tačiau daugumoje mokslinių straipsnių pabrėžiama, kad vis dar reikia atlikti tolesnius tyrimus norint tinkamai įvertinti šio biopriedo potencialą žemės ūkiui, sausros poveikiui mažinti, derlingumui didinti ir tik tuomet bus galima susidaryti išsamų vaizdą apie šių biopriedų poveikį.

Biopriedų silicio pagrindu taikymas gali būti strategiškai naudingas tvarios žemės ūkio praktikos kontekste, kadangi jie padeda ne tik didinti pasėlių atsparumą ekstremalioms klimato sąlygoms, bet ir prisideda prie šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimo mažinimo.

III SKYRIUS

PARODOMOJO BANDYMO TIKSLAI

Skatinti ūkininkus naudoti biopriedus/silikonus bei skleisti tvaraus ūkininkavimo idėjas. Parodomojo bandymo metu ūkininkai sužinos, kaip biopriedai/silikonai, pagaminti silicio pagrindu, kas yra svarbi trąša visoms kultūroms, gali sumažinti augalų patiriamą stresą dėl sausrų, padėti stiprinti augalus, didinti augalų produktyvumą, prisidėti prie klimato atšilimo ir CO₂ emisijų mažinimo konkrečiame ūkyje. Tyrimas leis ūkininkams įvertinti silikonų naudojimo paprastumą ir efektyvumą, bei apčiuopiamą aplinkosauginę naudą. Ekonominis efektyvumas bus vertinamas kiekvienam ūkiui atskirai.

Parodomojo bandymo tikslas:

įvertinti biopriedų/silikonų pagamintų silicio pagrindu galimybes mažinti CO₂ pėdsakus ir sumažinti augalų patiriamą stresą dėl sausrų ir dėl valdomos evapotranspiracijos.

Tyrimo uždaviniai:

- Paskleisti biopriedus silicio pagrindu trimis skirtingomis normomis 100, 200 ir 400 mg/l, ant žemės ūkio kultūrų;
- Stebėti CO₂ pėdsako pokytį bandymo laukeliuose;
- Stebėti dirvožemio drėgmės dinamiką biopriedu apdorotuose laukeliuose;
- Stebėti gruntinio vandens lygio dinamiką ir jo įtaką CO₂ pokyčiui bandymo laukeliuose;
- Susieti biopriedo silicio pagrindu įtaką CO₂ dinamikai, dirvos drėgmės dinamikai, augalų organoleprinėms savybėms ir produkcijai.

IV SKYRIUS

PARODOMOJO BANDYMO UŽDAVINIAI

1. Išpurkšti/paskleisti silikoną silicio pagrindu ant žemės ūkio kultūrų (3 koncentracijos nuo 8 ml/l; 16 ml/l; 32 ml/l).
2. Įdiegti meteorologines stoteles ūkiuose.
3. Reguliariai (kas 15 dienų), stebėti ir fiksuoti CO₂ emisijas ūkiuose.
4. Kas mėnesį įvertinti lauko drėgmės imlumą svoriniu termostatinu būdu.
5. Reguliariai (kas 15 dienų), stebėti ir fiksuoti dirvožemio drėgmę TDR drėgnomačiu.
6. Reguliariai (kas 15 dienų), stebėti ir fiksuoti gruntinio vandens lygį dirvožemyje.
7. Atlikti dirvožemio ir jame esančių mikroorganizmų tyrimą vegetacijos sezono pradžioje ir pabaigoje.
8. Susieti CO₂ emisijas su paskleisto biopriedo koncentracijomis, meteorologiniais parametrais, dirvožemio drėgmės parametrais, žemės našumo balu, auginamomis kultūromis, naudojamomis trąšomis ir derliaus pokyčiu iš ploto vieneto.

V SKYRIUS

INOVATYVUS SPRENDINYS

Lietuvoje ūkių laukai labai skiriasi dirvožemio struktūra ir vandens sulaikymo gebėjimu, todėl efektyviam pasėlių valdymui svarbi informacija apie dirvos drėgmę, ir priemonių visuma, kuri leistų pasirinkti tinkamus sprendimus šio išteklių valdymui. Valdydami dirvožemio drėgmę su purškiamu/skleidžiamu biopriedu, pagamintu silicio pagrindu, galime didinti augalų atsparumą sausroms ir mažinti CO₂ emisijas. Šios priemonės naudojimas gali paskatinti kiekvieną ūkį, nepriklausomai nuo jų auginamos kultūros tipo, ar taikomos sėjomainos, prisidėti prie žemės ūkio procesų modernizavimo per naujausių mokslinių tyrimų integravimą į kasdieninę veiklą, inovacijų sklaidą. Biopriedo, kaip novatoriško antitranspiranto naudojimas, ženkliai prisidėtų prie teigiamo poveikio aplinkai ir klimatui, taip pat kiekvienas ūkis galėtų prisidėti prie ES žaliojo kurso žemės ūkyje įgyvendinimo ūkio, kaimo, bendruomenės, regiono, šalies mastu.

Atlikus parodomuosius bandymus ūkiuose, bus pasiūlytas optimalus variantas ir pateikti rekomendaciniai pasiūlymai, kokiomis proporcijomis purkšti biopriedus (silikonus silicio pagrindu), kad būtų sumažintos CO₂ emisijos bei pasiektas didesnis žemės ūkio kultūrų produktyvumas iš ploto vieneto.

VI SKYRIUS

PARODOMOJO BANDYMO ATITIKTIS VERTINIMO KRITERIJAMS

Projektas leis įvertinti ar purškiamas biopriedas, silikono pagrindu, įtakoja vandens atsargų dirvožemyje sukaukimą. Yra teigiama, jog šis biopriedas įgalina sumažinti transpiraciją, o tai leidžia valdyti drėgmės atsargas dirvoje. Proceso vertinimas bus atliekamas stebint laukų su biopriedu ir be jo, gruntinio vandens dinamiką bei dirvožemio drėgmės dinamiką visą vegetacijos laikotarpį, taip pat augalų augimo dinamiką per visą vegetacijos laikotarpį, kai buvo naudotos skirtingos silikono normos.

Purškiamas biopriedas prisideda prie klimato kaitos švelninimo per ŠESD emisijų mažinimą mažinant organinių ir sintetinių trąšų naudojimą, kaupiant anglies dioksidą dirvožemyje. Purškiamųjų/skleidžiamųjų silikonų naudojimas žemės ūkyje tai proceso, kuomet gali būti mažinamos CO₂ emisijos iš kiekvieno ūkio, nepriklausomai nuo ūkio veiklos įveiklinimas.

VII SKYRIUS

PARODOMASIS BANDYMAS

Parodomojo bandymo metu bus išpurkštas/paskleistas silikono tirpalas ant skirtingų žemės ūkio kultūrų. Visuose ūkiuose bus stebima gruntinio vandens dinamika, dirvos drėgmės režimas, meteorologinių parametrų dinamika, vertinami drėgmės trūkumo periodai, bei kitos hidrologinės ir hidrogeologinės sąlygos, kurios kiekviename ūkyje skirtingos. Ūkiuose su kilnojama CO₂ matavimo įranga ir drėgnomačiu TDR kas 15 dienų bus matuojami CO₂ ir dirvos drėgmės parametrai, tuo pačiu intervalu įrengtose stacionariose gruntinio vandens lygio matavimo taškuose bus stebimas ir gruntinio vandens lygio svyravimas.

Tyrimų objektas. CO₂ išsiskyrimo sumažėjimas, dėl naudojamo purškiamo silikono silicio pagrindu, taip pat augalų patiriamo streso dėl sausros mažėjimas.

Tyrimų vieta ir įrangos įdiegimas. Vis ūkiai augina žemės ūkio kultūras/daugiametes pievas pagal savo tradicinį ūkininkavimo modelį.

Kiekviename ūkyje bus įdiegta po:

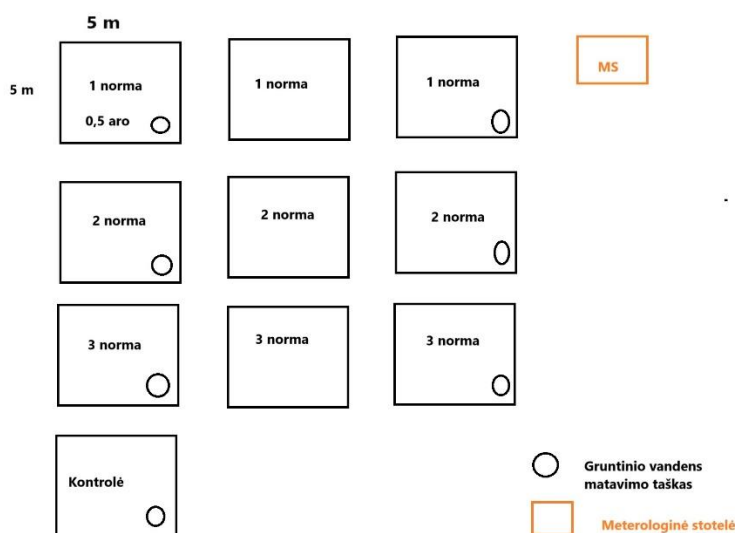
- Stacionarią meteorologinę stotelę (1 vnt.), kuri leis, bet kada patikrinti aplinkos parametrus realiu laiku ir sieti su auginamos kultūros parametrais ir reakcija į purškiamą silikoną.
- Gruntinio vandens stebėjimo taškai bus įrengiami kiekviename lauke po 2 vnt., kiekvienai skleidžiamo biopriedo koncentracijai bei kontroliniam laukui. Viename ūkyje bus įrengiamos 7 vnt. gruntinio vandens stebėjimo taškų. Kadangi biopriedas bus purškiamas kas metai kitame lauke tokių taškų per projekto laikotarpį bus įrengiama 14 vienetai vienam ūkiui.
- Dirvožemio tipo nustatymas kiekviename ūkyje, atsikasant ir užfiksuojant dirvožemio profilio pjūvį. Viso bus padaryti 8 pjūviai.

- Kiekviename lauke, (po vieną komplektą ūkiui) matavimo vietoje, įrengiamas stacionarus dirvožemio drėgmės ir temperatūros matuoklis matuojantis nuo 2 cm iki 1 m, kas 10 cm gyliuose.
- Kilnojamu CO₂ analizatoriumi, atsivežamu kiekvieną kartą atvykstant į ūkį kas 15 d., bus fiksuojamas CO₂ išsiskyrimas bei dirvos temperatūra matavimo metu.
- TDR dirvožemio drėgmės matuoklis bus atsivežamas į ūkį kas 15 dienų ir kiekviename laukelyje matuojama dirvožemio drėgmė.
- Biopriedas silikono pagrindu purškiamas 3 skirtingomis koncentracijomis (nuo 8 ml/l; 16 ml/l; 32 ml/l), viena norma purškiama ant trijų laukelių kiekviename ūkyje.
- Kiekviename ūkyje bus atlikti grunto granulimetriniai, sceminiai tyrimai vegetacijos pradžioje ir vegetacijos pabaigoje, imant 3 mėginius iš nupurškėtų skirtingomis normomis laukelių su silikonu ir kontrolės.
- Dirvožemio fizikinės ir hidrologinės savybės bus nustatomos tokiais metodais:
 1. Dirvožemio tankis – cilindrų metodu atliekamas testuotoje laboratorijoje;
 2. Dirvožemio kietosios fazės tankis – piktonometriu būdu atliekamas atestuotoje laboratorijoje;
 3. Poringumas – pagal A. Rode formulę atliekamas atestuotoje laboratorijoje;
 4. Granulimetrinė sudėtis – pipetiniu metodu atliekamas atestuotoje laboratorijoje;
 5. Lauko drėgmės imlumas – užliejamų aikštelių metodu atliekamas ūkininko lauke prieš prasidedant stebėjimui;
 6. Vytimo drėgmė – vegetacinių miniatiūrų metodu atliekamas ūkininko lauke prieš prasidedant stebėjimui;
 7. Pilnutinė ir kapiliarinė drėgmė atliekama ūkininko lauke prieš prasidedant stebėjimui.
- Visos agrotechninės priemonės – sodinimo schemas, tręšimo normos parenkamos atsižvelgiant į taisykles, taikomas ūkio lauke auginamų kultūrų technologiją (atsakingi ūkininkai).

VIII SKYRIUS

TYRIMO METODIKA

Kiekvienam bandymui išskiriamas 0,5 arų ploto laukelis, kuriame purškiamos skirtingos koncentracijos biopriedas. Viso ūkyje stebėjimai bus vykdomi 4,5 arų plote ir 0,5 aro kontrolinis laukelis (žr. 1 pav.).



1 pav. Parodomąjį bandymo lauko chema viename ūkyje

Meteorologinės sąlygos objektuose. Meteorologiniai duomenys bus imami iš LHMT tarnybos ir sulyginami su ūkyje esančia meteorologine stotele. Norint nustatyti augalų aprūpinimą drėgme didelėje teritorijoje ir per ilgesnį laikotarpį galima naudotis G. Seleninovo hidroterminiu koeficientu. Koeficientas nustatomas pagal formulę:

$$HTK = \frac{H}{0,1 \sum T_{10}} \quad (1)$$

čia H – skaičiuojamo laikotarpio kritulių suma mm; T_{10} – paros vidutinės oro temperatūros, didesnės nei $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, suma per tą patį laikotarpį.

Taikant šį koeficientą vegetacijos laikotarpis skirstomas taip: $HTK < 0,3$ – labai sausi; $0,4 - 0,5$ – sausi; $0,6 - 0,7$ – sausringi; $0,8 - 1,0$ – nepakankamai drėgni; $1,0 - 1,5$ – pakankamo drėgnumo; daugiau kaip $1,5$ – šlapi.

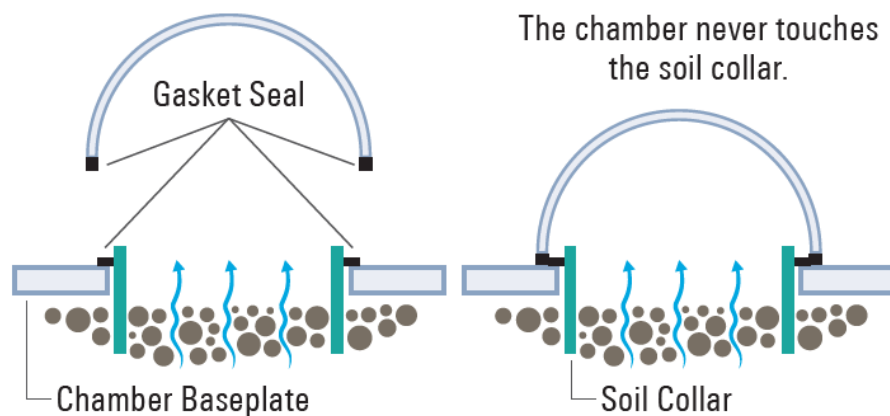
Šie duomenys bus lyginami su ūkiuose įrengtomis stacionariomis meteorologinėmis stotimis. Iš šių stočių bus imami duomenys matavimų metu, kas 15 d. Ir sulygtinti su duomenimis iš LHMT artimiausios stoties, stengiantis išvengti galimų duomenų trūkių.

Temperatūra ir dirvožemio drėgmė. Kiekviename bandymo lauke papildomai rengiami dirvožeminiai temperatūros ir drėgmės matuokliai matuojantys 2 cm, 5 cm, ir 10 cm iki 1 m gyliuose.

Gruntinio vandens stebėjimas atliekamas matuoklės pagalba, kas 15 d. Matavimo taškai įrengiami kiekvienos normos bandymo laukeliuose po 2 vnt ir vienas kontrolės laukelyje, prie išorinėse kraštinėse bandymo laukelio. Keičiantis tyrimo laukams, taškai (šulinėliai) įrengiami iš naujo.

Grunto profilis. Kiekvieno ūkininko lauke nustatomas dirvožemio tipas iki 100 cm gylio atkastame profilyje pagal FAO rekomendacijas.

CO₂ srautų matavimams. Kiekvieno ūkininko lauke bus išskirti 4 bandomieji laukai, 3 skirtingos biopriedo koncentracijos + kontrolė. Laukai sunumeruojami, ūkio akronimas žymimas raide ir matavimo numeris (S1 - S4). CO₂ srautų matavimams bus atliekamas kas 15 dienų laukeliuose su įvairiomis žemės ūkio kultūromis. Kiekviename bandymo laukelyje fiksuojama vieta kurioje nuolatos bus statoma CO₂ matavimo įranga. Jei įrangos gamintojas reikalaus įrengti atitinkamų parametrų žiedą, ant kurio statoma matavimo įranga, tai bus atlikta. Bet koks mechaninis dirvožemio trikdymas per matavimus gali dirbtinai paveikti dujų srautus. CO₂ kameros dedamos ant grunto žiedo kuris įdedamas prieš matuojant (2 pav). Automatizuotas mechanizmas sandarina kamerą aplink žiedą. Kadangi kamera niekada neliečia žiedo tiesiogiai, bet koks dirvožemio trikdymas yra nereikšmingas, o srautai yra paveikiami minimaliai.



2 pav. CO₂ srauto matavimo įrangos matavimo schema bandymų lauke

CO₂ srauto matavimai bus atlikti naudojant uždara dinaminį žiedą. Duomenys gaunami automatiškai infraraudonųjų spindulių dujų analizatoriumis pagalba. Dujų analizatorius matuoja CO₂ koncentraciją 2 % tikslumu 2000 ppm diapazone. Taip pat kameroje instaliuoti termometrai išmatuoti oro temperatūrą kameros viduje. Kuomet temperatūra kameros viduje nesikeičia daugiau nei 1,5 °C, tuomet laikoma, kad duomenys užfiksuoti tinkamai.

Surinkus vegetacijos laikotarpio duomenis atliekami CO₂ srauto greičio matavimai (FCO₂) pagal lygtį:

$$F_{CO_2} = k_{CO_2} \cdot (273 \cdot T_{air}^{-1}) \cdot (V \cdot A^{-1}) \cdot (dc \cdot dt^{-1}) \quad (2)$$

kur:

F_{CO_2} – CO₂ srauto tankis (mg CO₂-C m⁻² h⁻¹);

k_{CO_2} – dujų konstanta esant 273,15 K = 0,536 (μg C μl⁻¹);

T_{air} – oro temperatūra kameroje (K);

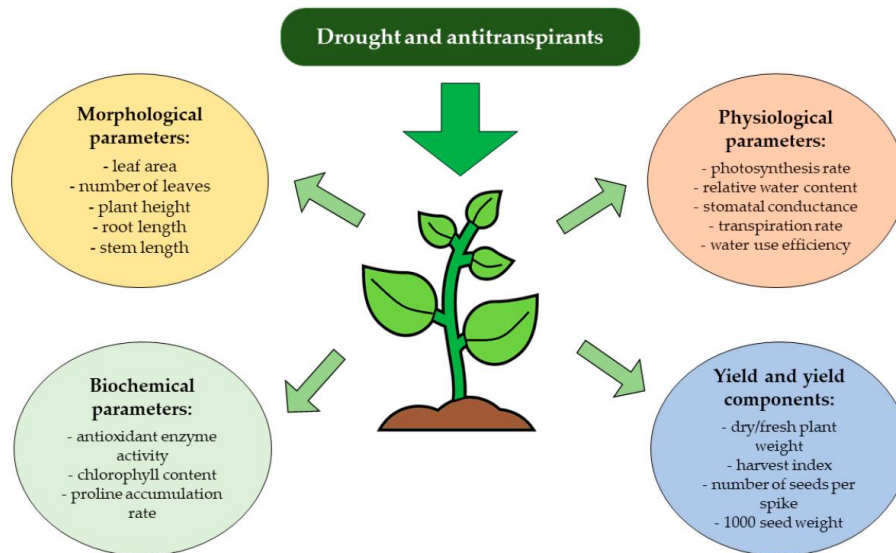
V – kameros tūris (l);

A – žiedo plotis plotas (m²);

$dc \cdot dt^{-1}$ – CO₂ koncentracijos pokytis kameroje (CO₂: ml l⁻¹ h⁻¹).

Matavimų eigoje bus nagrinėjamas siliconų silicio pagrindu biologinis prieinamumas įvairių tipų dirvožemyje ir jo pasisavinimas įvairiuose augaluose. Tyrimo patikimumui užtikrinti svarbu dirvožemio pH, granulometrinės sudėties ir organinių medžiagų kiekis. Dirvožemio mėginiai bus imami kiekvienos normos laukeliuose vegetacijos pradžioje ir pabaigoje ir vežami tyrimams į sertifikuotą laboratoriją.

Vegetacijos sezono eigoje bus matuojamas augalų fenoleptiniai rodikliai, pagal FAO rekomendacijas (<https://www.fao.org/4/x8234e/x8234e06.htm>), taip pat moksliniuose straipsniuose nuorodytus galimus vertinimo kriterijus (3 pav).



3 pav. Sausros ir antitranspirantų poveikio augalų parametrams pavyzdžiai [12]

Jei lauke bus auginami šakniagumbiai, bus stebimas žydėjimo laikotarpis ir matuojamas derliaus dydis bei svoris.

Jei laukeliuose bus auginami rapsai ar grūdinės kultūros bus vertinamas derliaus padidėjimas iš ploto vieneto, kuris paprastai matuojamas pagal faktinį grūdų svorį, gautą iš tam tikro ploto. Vertinant derlių, atsižvelgiama į šiuos pagrindinius rodiklius: produktyvumas (t/ha), grūdų drėgnį (%) (prieš svėrimą ir skaičiavimus atsižvelgiama į drėgmės lygį, nes grūdų svoris priklauso nuo drėgmės). Standartinis drėgnumas, pagal kurį koreguojamas svoris, dažnai yra apie 9%. Rapsų aliejingumą (%), kadangi rapsai auginami daugiausia dėl aliejaus, aliejingumo procentas yra svarbus rodiklis. Jis matuojamas laboratorijoje ir įtraukiamas į ekonominę analizę bei derliaus pokytį (%).

Jei bus auginamos daugiametės pievos derliaus padidėjimas iš ploto vieneto bus matuojamas vertinant produkcijos kiekį ir kokybę, gautą iš tam tikro ploto (paprastai hektaro). Tokiuose ūkiuose bus vertinama nupjautos biomasės kiekis (kg arba t/ha), žaliosios masės derlius: Svėrimas atliekamas nušienavus žolę, dažniausiai žaliosios masės derlius išreiškiamas kilogramais arba tonomis vienam hektarui. Visi biomasės mėginiai bus išmatuoti, pasverti (priklausomai nuo žemės ūkio kultūros) ir išdžiovinti 105 C temperatūroje, kad būtų gautas sausosios medžiagos tūris. Tada rezultatai buvo konvertuojami į kg/ha, siekiant įvertinti derlių.

Gali būti taikomas ir derliaus padidėjimo (%) metodas, kuomet lyginami skirtingi pjovimo laikai, tręšimo ar laistymo režimai, derliaus pokytis apskaičiuojamas procentais pagal formulę:

$$\text{Derliaus padidėjimas (\%)} = (\text{Eksperimentinis derlius} - \text{Kontrolinis derlius}) \div \text{Kontrolinis derlius} \times 100$$

Jeigu pievos bus šienaujamos, bus vertinamas ir pjūčių skaičius.

VIII SKYRIUS

PARODOMOJO BANDYMO REZULTATAS

Tikimasi, jog biopriedo išpurškimas 3 skirtingomis koncentracijomis, sudarys puikias sąlygas ūkiams dalyvauti stebint procesą, kaip nauji inovatyvūs produktai gali būti naudojami kiekviename ūkyje, nepriklausomai nuo jo dydžio ir veiklos. Išskirtume kelis svarbius aspektus, kurie gali būti naudingi, kaip projekto rezultatas:

Išpurškus biopriedą laukuose bus galima realiomis sąlygomis stebėti, kaip biopriedas gali būti taikomas kaip apsauga nuo kritinių oro sąlygų, nes silikono purškalai gali padėti apsaugoti augalus nuo nepalankių oro sąlygų, pvz., stipraus lietaus, saulės spindulių ar šalnų. Vegetacijos metu galima bus stebėti, kas vyksta su dirvožemio vandeniu, nes silikono purškalu padengti augalai transpiruoja mažesnius vandens kiekius, tad tokiu būdu galima pasiekti mažesnę laistymo poreikį, arba išvengti sausros padarinių poveikio. Be to ūkiuose įdiegtos gruntinio vandens stebėjimo sistemos leis gruntinių vandenų dinamiką stebėti realiu laiku ir nustatyti ar vyraujantys aukšti gruntiniai vandenys kartu su silikonais, gali reikšmingai veikti CO₂ sulaikymą. Svarbu akcentuoti, kad taikant biopriedus bus galima užfiksuoti jog naudojant pesticidus padidės jų efektyvumas, nes silikoniniai purškalai gali pagerinti pesticidų, herbicidų ir kitų cheminių medžiagų efektyvumą, užtikrindami geresnę jų prilipimą prie augalų paviršių. Labiausiai laukiamas rezultatas aukštesnė derliaus kokybė, nes naudojant silikonus ūkininkai gali pagerinti augalų derlių, o tai galėtų padidinti gamybos efektyvumą. Svarbu pažymėti jog silikonai gali sumažinti poreikį naudoti daugiau cheminių medžiagų, taip prisidedant prie ekologiškesnio ūkininkavimo.

IX SKYRIUS

LITERATŪRA

1. Guleria, V.; Shweta. Antitranspirants: An Effective Approach to Mitigate the Stress in Field Crops. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.* 2020, 9, 1671–1678. [CrossRef] <https://www.ijemas.com/abstractview.php?ID=17279&vol=9-5-2020&SNo=188>
2. Sow, S.; Ranjan, S. Antitranspirants: A novel tool for combating water stress under climate change scenario. *Food Sci. Rep.* 2021, 2, 29–31. <https://foodandscientificreports.com/details/antitranspirants-a-novel-tool-for-combating-water-stress-under-climate-change-scenario.html>
3. Mphande, W.; Kettlewell, P.S.; Grove, I.G.; Farrell, A.D. The potential of antitranspirants in drought management of arable crops: A review. *Agric. Water Manag.* 2020, 236, 106143. [CrossRef] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377419316282>
4. Irfan, M.; Maqsood, M.A.; Rehman, H.u.; Mahboob, W.; Sarwar, N.; Hafeez, O.B.A.; Hussain, S.; Ercisli, S.; Akhtar, M.; Aziz, T. Silicon Nutrition in Plants under Water-Deficit Conditions: Overview and Prospects. *Water* 2023, 15, 739. <https://doi.org/10.3390/w15040739>
5. Parveen, A.; Liu, W.; Hussain, S.; Asghar, J.; Perveen, S.; Xiong, Y. Silicon Priming Regulates Morpho-Physiological Growth and Oxidative Metabolism in Maize under Drought Stress. *Plants* 2019, 8, 431. [CrossRef] <https://www.mdpi.com/2223-7747/8/10/431>
6. Abd El-Mageed, T.A.; Shaaban, A.; Abd El-Mageed, S.A.; Semida, W.M.; Rady, M.O.A. Silicon Defensive Role in Maize (*Zea mays* L.) against Drought Stress and Metals-Contaminated Irrigation Water. *Silicon* 2021, 13, 2165–2176. [CrossRef] <https://link.springer.com/article/10.1007/s12633-020-00690-0>
7. Malik, M.A.; Wani, A.H.; Mir, S.H.; Rehman, I.U.; Tahir, I.; Ahmad, P.; Rashid, I. Elucidating the role of silicon in drought stress tolerance in plants. *Plant Physiol. Biochem.* 2021, 165, 187–195. [CrossRef] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0981942821002199>
8. Wang, M.; Wang, R.; Mur, L.A.J.; Ruan, J.; Shen, Q.; Guo, S. Functions of silicon in plant drought stress responses. *Hortic. Res.* 2021, 8, 254. [CrossRef] [PubMed]
9. Bhardwaj, S.; Kapoor, D. Fascinating regulatory mechanism of silicon for alleviating drought stress in plants. *Plant Physiol. Biochem.* 2021, 166, 1044–1053. [CrossRef] <https://academic.oup.com/hr/article/doi/10.1038/s41438-021-00681-1/6491157?login=false>
10. Mphande, W.; Kettlewell, P.S.; Grove, I.G.; Farrell, A.D. The potential of antitranspirants in drought management of arable crops: A review. *Agric. Water Manag.* 2020, 236, 106143. [CrossRef] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377419316282>
11. Tiemeyer, B.; Freibauer, A.; Borraz, E.A.; Augustin, J.; Bechtold, M.; Beetz, S.; Beyer, C.; Ebli, M.; Eickenscheidt, T.; Fiedler, S.; et al. A new methodology for organic soils in national greenhouse gas inventories: Data synthesis, derivation and application. *Ecol. Indic.* 2020, 109, 105838. [CrossRef] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X19308325>
12. Kociecka, J.; Liberacki, D.; Stróżecki, M. The Role of Antitranspirants in Mitigating Drought Stress in Plants of the Grass Family (Poaceae)—A Review. *Sustainability* 2023, 15, 9165. [CrossRef] <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/12/9165>
13. Abdalla, M.; Feigenwinter, I.; Richards, M.; Vetter, S.H.; Wohlfahrt, G.; Skiba, U.; Pintér, K.; Nagy, Z.; Hejduk, S.; Buchmann, N.; et al. Evaluation of the ECOSSE Model for Estimating Soil Respiration from Eight European Permanent Grassland Sites. *Agronomy* 2023, 13, 1734. [CrossRef] <https://www.mdpi.com/2073-4395/13/7/1734>

14. Dong, L., Yang, T., Ma, L., Li, R., Feng, Y., & Li, Y. (2024). Silicon Fertilizer Addition Can Improve Rice Yield and Lodging Traits under Reduced Nitrogen and Increased Density Conditions. *Agronomy*, 14(3), 464. <https://www.mdpi.com/2073-4395/14/3/464>
15. Peng Chen, Xiao-Liang Yuan, Lin-Yang Li, Jun-Ya Li, Run-Qin Zhang, Zhi-Guo Li, Yi Liu, Aggregational differentiation of soil-respired CO₂ and its $\delta^{13}\text{C}$ variation across land-use types, *Geoderma*, Volume 432, 2023, 116384, ISSN 0016-7061, <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116384>.
16. Tebow, J. B., Houston, L. L., & Dickson, R. W. (2021). Silicon foliar spray and substrate drench effects on plant growth, morphology, and resistance to wilting with container-grown edible species. *Horticulturae*, 7(9), 263. <https://www.mdpi.com/2311-7524/7/9/263>
17. Tayade, R., Ghimire, A., Khan, W., Lay, L., Attipoe, J. Q., & Kim, Y. (2022). Silicon as a smart fertilizer for sustainability and crop improvement. *Biomolecules*, 12(8), 1027. <https://www.mdpi.com/2218-273X/12/8/1027>
18. Ahire ML, Mundada PS, Nikam TD, Bapat VA, Penna S. Multifaceted roles of silicon in mitigating environmental stresses in plants. *Plant Physiol Biochem*. 2021 Dec;169:291-310. doi: 10.1016/j.plaphy.2021.11.010. Epub 2021 Nov 13. PMID: 34826705.
19. Gong, H., Zhu, X., Chen, K., Wang, S., & Zhang, C. (2005). Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. *Plant science*, 169(2), 313-321. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10535-008-0118-0>
20. Song XP, Verma KK, Tian DD, Zhang XQ, Liang YJ, Huang X, Li CN, Li YR. Exploration of silicon functions to integrate with biotic stress tolerance and crop improvement. *Biol Res*. 2021 Jul 8;54(1):19. doi: 10.1186/s40659-021-00344-4. PMID: 34238380; PMCID: PMC8265040.
21. Xiaomin Yang, Yilun Ni, Zimin Li, Kai Yue, Jingxu Wang, Zhijie Li, Xing Yang, Zhaoliang Song, Silicon in paddy fields: Benefits for rice production and the potential of rice phytoliths for biogeochemical carbon sequestration, *Science of The Total Environment*, Volume 929, 2024, 172497, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172497>.
22. Emmanuel Sunday Okeke, Ekene John Nweze, Tobechukwu Christian Ezike, Charles Ogugua Nwuche, Timothy Prince Chidike Ezeorba, Chidiebele Emmanuel Ikechukwu Nwankwo, Silicon-based nanoparticles for mitigating the effect of potentially toxic elements and plant stress in agroecosystems: A sustainable pathway towards food security, *Science of The Total Environment*, Volume 898, 2023, 165446, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165446>