

VYTAUTO DIDŽIOJO UNIVERSITETAS
Vytautas Magnus University

ŽMOGAUS IR GAMTOS SAUGA 2025

Mokslo straipsnių rinkinys

HUMAN AND NATURE SAFETY 2025

Selected papers



Kaunas, 2025

Apie leidinį

ŽMOGAUS IR GAMTOS SAUGA

ISSN 1822-1823 (spausdintas)

ISSN 2538-9122 (internetinis)

<https://doi.org/10.7220/2538-9122.2025>

VYTAUTO DIDŽIOJO UNIVERSITETAS

Mokslo straipsnių rinkinys.

Išėina 1 kartą per metus.

Spausdinta versija leidžiama nuo 2000 m., internetinė versija – nuo 2016 m.

Straipsniai yra recenzuojami.

Rinkinyje publikuojamų straipsnių kalba neredaguota. Už straipsnių kalbą atsakingi autoriai.

Rinkinyje spausdinami originalūs straipsniai, kuriuose pateikiami tarpusavyje susijusių žmogaus saugos ir sveikatos bei gamtos apsaugos tyrimų rezultatai ir / ar jų problemų sprendiniai.

Pagrindinės leidinio tematikos yra šios:

- Tausojančios gamybos ir perdirbimo technologijos.
- Aplinkosaugos inžinerija, ergonomika, profesinė sauga.
- Aplinkos įtakos žmonių sveikatai tyrimai.
- Ekologija ir bioįvairovės išsaugojimas, darnioji miškininkystė.

Straipsnių rinkinio leidimą kuruoja VDU Žemės ūkio akademijos Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedra.

Straipsniai referuojami *Central & Eastern European Academic Source* (EBSCO) duomenų bazėje, o leidinio bibliografinė informacija pateikiama Lietuvos integralios bibliotekų informacinės sistemos (LIBIS) portale *ibiblioteka.lt*

About Journal

HUMAN AND NATURE SAFETY

ISSN 1822-1823 (Print)

ISSN 2538-9122 (Online)

<https://doi.org/10.7220/2538-9122.2025>

VYTAUTAS MAGNUS UNIVERSITY

Selected papers.

Published annually.

Printed version available since 2000, online – 2016.

Articles are peer reviewed.

Language of the manuscripts is not edited. Authors are responsible for the language quality.

The collection contains original articles that present the results of research and/or solutions for human safety and health and environmental protection.

Topics of the publication are as follows:

- *Sustainable production and processing technologies.*
- *Environmental engineering, ergonomics, occupational safety.*
- *Research of environmental impact on human health.*
- *Ecology and biodiversity conservation, sustainable forestry.*

Publication of the articles is supervised by the Department of Agricultural Engineering and Safety of VMU Agriculture Academy.

Publications are abstracted in EBSCO Central & Eastern European Academic Source (full text). The bibliographic information about the publication is available in the Lithuanian Integral Information System of Libraries (LIBIS) ibiblioteka.lt

Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademija,
Gamtos mokslų fakultetas, Botanikos sodas
Tel. +370 37 75 23 57, El. p. zmogaus.sauga@vdu.lt
Interneto svetainė: <https://zgs.vdu.lt>

*Vytautas Magnus University Agriculture Academy,
Faculty of Natural Sciences, Botanical Garden
Tel. +370 37 75 23 57, E-mail: zmogaus.sauga@vdu.lt
Website: <https://zgs.vdu.lt>*

„Žmogaus ir gamtos sauga 2025“

mokslo straipsnių rinkinio

REDAKCINĖ KOLEGIJA

EDITORIAL BOARD

of the Selected Papers

"Human and Nature Safety 2025"

Vyr. redaktorius akad. prof. dr. Egidijus Šarauskis (Lithuania)

Editor-in-chief

Redaktoriaus pavaduotojas dr. Gediminas Vasiliauskas (Lithuania)

Vice editor-in-chief

Nariai *Members*

Akad. prof. habil. dr. **Juozas Augutis** (Lithuania)

Prof. dr. **Vitas Marozas** (Lithuania)

Dr. **Aivars Aboltins** (Latvia)

Akad. prof. habil. dr. **Audrius Sigitas Maruška**
(Lithuania)

Prof. dr. **Laima Česonienė** (Lithuania)

Prof. habil. dr. **Witold Pazdrowski** (Poland)

Assoc. prof. dr. **Rolandas Domeika** (Lithuania)

Dr. **Juozas Pekarskas** (Lithuania)

Prof. habil. dr. **Regina Gražulevičienė** (Lithuania)

Prof. dr. habil. **Ona Ragažinskienė** (Lithuania)

Prof. dr. **Julija Kiršienė** (Lithuania)

Prof. dr. habil. **Nijolė Savickienė** (Lithuania)

Prof. dr. **Savelii Kukharets** (Ukraine)

Akad. prof. dr. **Dainius Steponavičius** (Lithuania)

Straipsnių rinkinio „ŽMOGAUS IR GAMTOS
SAUGA 2025“ išleidimą rėmė:

*The release of the Selected papers “HUMAN AND
NATURE SAFETY 2025” supported by:*

VDU Žemės ūkio akademijos Inžinerijos
fakultetas

*Faculty of Engineering of VMU Agriculture
Academy*

VDU Žemės ūkio akademijos Miškų ir
ekologijos fakultetas

*Faculty of Forest Sciences and Ecology of VMU
Agriculture Academy*

Atmintinė autoriams, kaip pateikti straipsnį, yra čia: <https://zgs.vdu.lt/https-zgs-vdu-lt-reikalavimai-straipsniams/>

Submission Preparation Checklist: <https://zgs.vdu.lt/en/requirements/>

Mokslinių straipsnių recenzantai / *Reviewers of the articles*

Doc. dr. I. Adamonytė	Vytauto Didžiojo universitetas	<i>Vytautas Magnus University</i>
Prof. dr. R. Bleizgys	Vytauto Didžiojo universitetas	<i>Vytautas Magnus University</i>
Doc. dr. S. Buragienė	Vytauto Didžiojo universitetas	<i>Vytautas Magnus University</i>
Dr. I. Bručienė	Vytauto Didžiojo universitetas	<i>Vytautas Magnus University</i>
Dr. R. Čepulienė	Vytauto Didžiojo universitetas	<i>Vytautas Magnus University</i>
Prof. dr. L. Česonienė	Vytauto Didžiojo universitetas	<i>Vytautas Magnus University</i>
Doc. dr. J. Čėsna	Vytauto Didžiojo universitetas	<i>Vytautas Magnus University</i>
Doc. dr. A. Gavenauskas	Vytauto Didžiojo universitetas	<i>Vytautas Magnus University</i>
Prof. habil. dr. R. Gražulevičienė	Vytauto Didžiojo universitetas	<i>Vytautas Magnus University</i>
Prof. dr. E. Jarienė	Vytauto Didžiojo universitetas	<i>Vytautas Magnus University</i>
Prof. dr. E. Jotautienė	Vytauto Didžiojo universitetas	<i>Vytautas Magnus University</i>
Doc. dr. V. Kaškonienė	Vytauto Didžiojo universitetas	<i>Vytautas Magnus University</i>
Prof. dr. Z. Kriaučiūnienė	Vytauto Didžiojo universitetas	<i>Vytautas Magnus University</i>
Prof. dr. V. Marozas	Vytauto Didžiojo universitetas	<i>Vytautas Magnus University</i>
Prof. dr. S. Mickevičius	Vytauto Didžiojo universitetas	<i>Vytautas Magnus University</i>
Doc. dr. R. Mioldažys	Vytauto Didžiojo universitetas	<i>Vytautas Magnus University</i>
Dr. J. Pekarskas	Vytauto Didžiojo universitetas	<i>Vytautas Magnus University</i>
Prof. dr. A. Radzevičius	Vytauto Didžiojo universitetas	<i>Vytautas Magnus University</i>
Prof. dr. habil. O. Ragažinskienė	Vytauto Didžiojo universitetas	<i>Vytautas Magnus University</i>
Prof. dr. K. Romaneckas	Vytauto Didžiojo universitetas	<i>Vytautas Magnus University</i>
Dr. D. Savickas	Vytauto Didžiojo universitetas	<i>Vytautas Magnus University</i>
Prof. dr. habil. N. Savickienė	Lietuvos sveikatos mokslų universitetas	<i>Lithuanian University of Health Sciences</i>
Dr. M. Sidorenko	Vytauto Didžiojo universitetas	<i>Vytautas Magnus University</i>
Doc. dr. R. Skominas	Vytauto Didžiojo universitetas	<i>Vytautas Magnus University</i>
Dr. J. Stankevičiūtė	Vytauto Didžiojo universitetas	<i>Vytautas Magnus University</i>
Akad. prof. dr. E. Šarauskis	Vytauto Didžiojo universitetas	<i>Vytautas Magnus University</i>
Dr. D. Urbonavičienė	Vytauto Didžiojo universitetas	<i>Vytautas Magnus University</i>
Doc. dr. E. Vaiciukevičius	Vytauto Didžiojo universitetas	<i>Vytautas Magnus University</i>
Doc. dr. R. Vaisvalavičius	Vytauto Didžiojo universitetas	<i>Vytautas Magnus University</i>
Dr. G. Vasiliauskas	Vytauto Didžiojo universitetas	<i>Vytautas Magnus University</i>

TURINYS**CONTENT**

BIOSISTEMŲ INŽINERIJA <i>BIOSYSTEM ENGINEERING</i>	9
Mėsos ir kaulų miltų bei biologinių priedų poveikis aerobiniam kopūstų atliekų kompostavimui Brigita Senkienė, Zita Kriaučiūnienė, Sidona Buragienė, Vilma Naujokienė, Ernestas Zaleckas, Rita Čepulienė, Jovita Balandaitė, Indrė Bručienė, Egidijus Šarauskis	10
Dirvožemio anglies sekvestracijos potencialo ir ateities vertinimo priemonės Lietuvoje Žygimantas Kidikas, Rytis Skominas, Vilma Naujokienė	16
Anglies dinamikos koeficientų vertinimas Lietuvos dirvožemiuose Gediminas Zdanavičius, Žygimantas Kidikas, Rytis Skominas, Vilma Naujokienė, Egidijus Šarauskis	22
Palyginamasis dobilų sėklų išbarstymo į žieminių kviečių pasėlį, naudojant droną ir traktorinį trąšų barstytuvą, tyrimas Aurimas Vitkus, Dainius Steponavičius, Jonas Balčiūnas	28
Žemės dirbimo kintamu gyliu įtaka dirvožemio drėgnei ir kietumui Armandas Andriuška, Simas Sokas, Sidona Buragienė, Marius Kazlauskas, Indrė Bručienė, Egidijus Šarauskis	34
Dirvožemio tankio ir degalų sąnaudų įvertinimas taikant kintamo gylio žemės dirbimo būdą Simas Sokas, Sidona Buragienė, Marius Kazlauskas, Armandas Andriuška, Indrė Bručienė, Vilma Naujokienė, Abdul Mounem Mouazen, Egidijus Šarauskis	40
Intercropping Seeding Systems for Sustainable Agriculture Davut Karayel, Eglė Jotautienė, Dainius Steponavičius, Hasan Yilmaz	46
Dvisraučių pesticidų purkštukų darbo kokybės tyrimai Juozas Samuolis, Remigijus Zinkevičius	51
Psichologinis pasirengimas ekstremalioms situacijoms: išvykimo krepšio elementai ir streso įveika Gabrielius Edvinas Klimenka	57
Radono koncentraciją požeminėse aikštelėse lemiančių veiksnių tyrimas Dainius Jasaitis, Milda Pečiulienė	63
Antropogeninės veiklos įtakos gamtinės jonizuojančiosios spinduliuotės pokyčiams aplinkoje analizė Milda Pečiulienė	69
Transporto keliama oro tarša anglies monoksidu Vaida Vasiliauskienė	74
Bepiločių orlaivių sistemų, skirtų nuotolinei radiacinei stebėsenai, apžvalga ir palyginimas Jonas Misiūnas, Dainius Jasaitis	80
Ūkių darbuotojus veikiančio triukšmo ir vibracijos ekspozicijos tyrimas Gabrielė Gedminaitė, Gediminas Vasiliauskas	87
Saugos kultūros ir profesinės rizikos valdymo smulkiuose ūkiuose tyrimas Gražina Kasputienė, Gediminas Vasiliauskas	93
Žvyro dangos kelių būklės įtakos autotransporto sukeliama triukšmui tyrimas Dovydas Kriščiūnas, Gediminas Vasiliauskas	99
Automobilių plovyklų sukeltas aplinkos triukšmas Marius Godvanas, Ramūnas Mioldažys, Kęstutis Čekavičius	105

Transporto priemonės vairuotojo sėdėjimo pozicijos įtakos matomumui tyrimas Dovydas Kurlinkus, Tomas Mickevičius	111
Patobulinto frontalinio krautuvo virpesių įtakos traktoriaus rėmui tyrimas Jonas Braška, Eglė Jotautienė, Shankar Bhandari	117
Aukštesnių gyvūnų gerovės reikalavimų taikymas galvijų laikymo sistemose Vilma Naujokienė, Rolandas Bleizgys, Dainius Savickas	123
Nuotekų valdymas pieno perdirbimo įmonėje Mindaugas Stoka, Rasa Čingienė	129
Valgomųjų ledų pagaliukų gamyba iš pluoštinių kanapių ir mišinių su rišančiomis medžiagomis Miglė Ambrasaitė, Algirdas Jasinskas, Ramūnas Mieldažys, Ernestas Zaleckas	134
Aukštesnės pridėtinės vertės sukūrimas naudojant skaitmeninius įrankius žieminių kviečių tręšimo technologijoje Romutė Mikučionienė	141
Aplinkos veiksnių įtakos hidrotechnikos statinių atraminių sienų patikimumui tyrimai Raimondas Šadzevičius, Dainius Ramukevičius, Nerijus Varnas	147
Perteklinio dumblo tvarkymo optimizavimas mažo ir vidutinio našumo nuotekų valyklose Tadas Drabavičius, Algirdas Radzevičius	154
Biologinių plėvelinių reaktorių taikymo tretiniam nuotekų valymui analizė Laurynas Eigelis, Algirdas Radzevičius	160
APLINKA IR SVEIKATA <i>ENVIRONMENT AND HEALTH</i>	165
Urbanistinės aplinkos veiksnių įtakos metaboliniam sindromui tyrimas Aušra Kapustinskaitė	166
Šių dienų poreikiams pritaikytų sodybų Lietuvos kaimo vietovėse interjerų estetika, funkcionalumas ir poveikis gyvenimo gerovei Indraja Raudonikytė	172
Nordplus Project “Healing Greenery” – Green Care Education for a Changing Environment Kadri Maikov	177
Perspektyvių vaistinių (aromatinių) augalų tarpdisciplininių mokslinių tyrimų raida VDU Botanikos sodo vaistinių ir prieskoninių augalų mokslo sektoriuje Ona Ragažinskienė, Erika Šeinauskienė, Karolina Jackevičienė	184
Vaistinių aromatinių augalų alelopatinis poveikis baltosios balandos sėklų dygimui Karolina Jackevičienė, Aušra Sinkevičienė, Rasa Kimbirauskienė, Kęstutis Romanekas, Ona Ragažinskienė, Giulnara Salimpur	189
Vaistinių aromatinių augalų alelopatinis poveikis paprastojo kukurūzo (<i>Zea mays</i> L.) sėklų dygimui Giulnara Salimpur, Aušra Sinkevičienė, Rasa Kimbirauskienė, Kęstutis Romanekas, Ona Ragažinskienė, Karolina Jackevičienė	196
Crop Wild Relatives and Wild Harvested Plants in Lithuania: New Insights into their Diversity and Conservation Mantas Lisajevičius, Juozas Labokas	202
Carbon Allocation Patterns in <i>Botrychium simplex</i> (<i>Ophioglossaceae</i>), a Rare and Protected Species Darija Lebedžinskaitė, Anita Elizabeth Clarke, Andrius Garbaras, Radvilė Rimgailė-Voicik	208
Hidrogelių ir oleogelių su <i>p</i> -kumaro rūgštimi modeliavimas ir biofarmacinis vertinimas Justė Mickevičiūtė, Kristina Ramanauskienė	214

Emulgelių su paprastųjų šermukšnių vaisių (<i>Sorbus aucuparia</i> L.) ekstraktais stabilumas ir fizikinių savybių įvertinimas	219
Augustė Morta Vaitkutė, Agnė Mazurkevičiūtė, Kristina Zymonė	
Bruknių uogų pigmentai: spalvos, pH ir antocianinų vertinimas	225
Gerda Klapatauskaitė, Aušra Adomėnienė	
Gelių su kanabidioliu antioksidacinis poveikis	230
Lija Juozelytė, Asta Marija Inkėnienė, Mindaugas Marksa	
Alergenų valdymo programos taikymas varškės sūrelių gamybos įmonėje	235
Jurgita Polonskė, Aušra Steponavičienė	
EKOLOGIJA, DARNI MIŠKININKYSTĖ <i>ECOLOGY, SUSTAINABLE FORESTRY</i>	241
Towards a Sustainable Future: Nature-Based Solutions and our Role	242
Anželika Dautartė	
Co-designing Nature-based Solutions: A Participatory Approach Promoting Empathy for Non-humans in Urban Environments	248
Indrė Gražulevičiūtė-Vileniškė, Laura Jankauskaitė-Jurevičienė, Jurga Vitkuvienė, Jūratė Kamičaitytė, Diana Žmėjauskaitė	
Molėtų rajono maudyklų vandens kokybės rodiklių verčių dinamika 2021–2024 m.	254
Arnoldas Sadkevičius, Laima Česonienė, Viktorija Ivickytė	
Taršos naftos produktais stabdymo techninių priemonių efektyvumo vertinimas	261
Jurgita Sadauskaitė, Laima Česonienė, Midona Dapkienė	
Nevėžio upės būklė Kėdainių rajone	268
Akvilė Gustė, Anželika Dautartė	
Krūminių tvenkinio ekologinės būklės vertinimas	274
Dovilė Petraškaitė, Anželika Dautartė	
Utenos rajono paviršinio vandens būklės dinamika 2010–2024 metais	280
Simona Navikaitė, Laima Česonienė	
Vaitiekūnų tvenkinio vandens būklės dinamika 2021–2024 m.	285
Ligita Junel, Laima Česonienė	
Substrato rūgštingumo įtaka mikroskopinių grybų fermentiniam aktyvumui	289
Rūta Bugytė, Vita Raudonienė, Danguolė Bridžiuvienė	
Gegužraibinių (<i>Orchidaceae</i>) šeimos augalų rūšių buveinėms svarbių parametrų nustatymas	294
Aistina Kriščiūnaitė, Žydrūnas Preikša	
Piktžolių rūšinės sudėties ir gausos skirtingo ūkininkavimo intensyvumo žemės ūkio plotuose įvertinimas	299
Laura Vingevičiūtė, Žydrūnas Preikša	
Assessing Nitrogen Acquisition of <i>Vaccinium myrtillus</i> L. (European Blueberry): A Pilot Experiment	305
Aistė Tuzinaitė, Anita Elizabeth Clarke, Andrius Garbaras, Radvilė Rimgailė-Voicik	
Agurkų (<i>Cucumis sativus</i> L.) produktyvumo ir skoninių savybių vertinimas	311
Regina Vasiliauskienė, Daiva Šileikienė, Marija Jankauskaitė	

Biopreparato GTC/GVT 2021 ir organinių priedų poveikis naftos produktais užteršto dirvožemio valymui	317
Jurgita Švedienė, Algimantas Paškevičius, Jonas Žvirgždas, Ieva Paunksnytė-Markevičienė, Irma Galginienė, Konstantinas Iljasevičius	
Ar daugiafunkciniai rudeniniai ir pavasariniai įsėliai įtakoja žieminių kviečių produktyvumo ir kokybės rodiklius?	321
Kęstutis Stravinskas, Rokas Jonaitis, Jovita Balandaitė, Austėja Švereikaitė, Rasa Kimbirauskienė, Aušra Sinkevičienė, Lina Juodytė, Kęstutis Romaneckas	
Tarpinių pasėlių mišinių poveikis sėjamosios avižos (<i>Avena sativa</i> L.) pasėlio piktžolėtumui ir produktyvumui	327
Aušra Marcinkevičienė, Lina Marija Butkevičienė, Lina Skinulienė, Aušra Rudinskienė, Donatas Samaitis	
Aktinobakterijų gebėjimas produkuoti pektinazes ir celiulazes	333
Eglė Nenartovičiūtė, Jurgita Švedienė	
Įvairių rūšių avižų biologiniai ypatumai ir produktyvumas Lietuvos klimato sąlygomis	337
Danuta Romanovskaja, Almantas Ražukas	
Skirtingų žemės dirbimo ir sėjos technologijų poveikis žieminių rapsų pasėliui	343
Darija Jodaugienė, Justas Blockis, Edita Mažuolytė-Miškinė, Gabrielė Antanavičienė, Aida Adamavičienė	
Kukurūzų ir įsėlinių tarpinių augalų daigianarių pasėlių poveikis dirvožemio savybėms	349
Ugnius Ginelevičius, Austėja Švereikaitė, Rasa Kimbirauskienė, Jovita Balandaitė, Aušra Sinkevičienė, Kęstutis Romaneckas	
Mikroelementinių trąšų ir sėjos laiko įtaka žieminių kviečių derlingumui	355
Ilona Vagusevičienė, Gintarė Sujetovienė, Arvydas Kanapickas, Darija Jodaugienė	
Mikromicetų, išskirtų nuo sėmenų aliejaus polimerų kompozitų su organiniais gamybos atliekų užpildais, fiziologinės savybės	361
Vaineta Vainalavičiūtė, Eglė Malachovskienė, Danguolė Bridžiuvienė, Jolita Ostrauskaitė	
Herbicidų panaudojimo laiko ir akėjimo poveikis žieminių kviečių pasėliui	366
Lukas Aukselis, Darija Jodaugienė	
<i>Fusarium</i> genties grybai, išskirti iš Lietuvos vandens telkiniuose gyvenančių vėžių	372
Simas Kasputis, Jurgita Švedienė, Vita Raudonienė, Algimantas Paškevičius, Gintautas Vaitonis	
Skirtingo žemės dirbimo poveikis žieminių kviečių pasėliui	378
Ieva Banytė, Darija Jodaugienė, Vaclovas Bogužas	

BIOSISTEMŲ INŽINERIJA

BIOSYSTEM ENGINEERING

MĖSOS IR KAULŲ MILTŲ BEI BIOLOGINIŲ PRIEDŲ POVEIKIS AEROBINIAM KOPŪSTŲ ATLIEKŲ KOMPOSTAVIMUI

Brigita Senkienė, Zita Kriaučiūnienė, Sidona Buragienė, Vilma Naujokienė, Ernestas Zaleckas, Rita Čepulienė, Jovita Balandaitė, Indrė Bručienė, Egidijus Šarauskis

Vytauto Didžiojo universitetas

Žemės ūkio atliekų kompostavimas yra ilgas technologinis procesas. Vienas iš būdų siekiant suaktyvinti ir pagreitinoti šį procesą yra atliekų maišymas su mėsos ir kaulų miltais. Šio darbo tikslas buvo nustatyti mėsos ir kaulų miltų (MKM) bei biologinių priedų (BIO) poveikį kopūstų atliekų kompostavimui technologinio proceso mezofilinėje fazėje, įvertinant kompostuojamos medžiagos temperatūrą, druskingumą ir pH. Tyrimai buvo vykdyti 5 variantais: 1) kontrolinis (kopūstų atliekos, be MKM ir be BIO), 2) kopūstų atliekos + 5 % MKM, 3) kopūstų atliekos + 15 % MKM, 4) kopūstų atliekos + 5 % MKM+BIO; 5) kopūstų atliekos + 15 % MKM + BIO. Tyrimų rezultatai parodė, kad MKM ir MKM + BIO naudojimas kopūstų atliekų kompostavimui daro poveikį atskiriems kompostavimo parametrams – druskingumui, pH ir temperatūrai.

Raktiniai žodžiai: komposto mišinys, druskingumas, pH, temperatūra, daržovių atliekos.

Įvadas

Daržininkystės sektoriuje pirminio perdirbimo metu neišvengiama gausaus atliekų susidarymo, sąlygoto įvairių veiksnių, tokių kaip kenkėjų, ligų, netinkamai sureguliuotų derliaus nuėmimo mašinų bei perdirbimo įrenginių darbo, klimato ir sandėliavimo sąlygų, logistikos grandinės.

Daržovių atliekos sudaro iki 60 % žemės ūkio ir maisto perdirbimo metu atsirandančių atliekų kiekio. Pastebima akivaizdi priklausomybė nuo prekybos standartų, didesnio išauginto nei gebama realizuoti derliaus kiekio, nevienodo daržovių brendimo, dydžių ir išvaizdos trūkumų. Ne išimtis ir maisto pramonė su dideliu perdirbimo operacijų kiekiu, kuriose taip pat generuojamos įvairios skystos ar kietos fazės augalinės atliekos (Ray, 2022). Maisto atliekos, ypač augalinės kilmės, dėl cheminės sudėties ir didelio biologinio skaidumo gali būti veiksmingai panaudotos fermentacijos (El Sheikha, Ray, 2023), hidroterminės karbonizacijos (Niksar, Nasernejad, 2017), pirolizės (Wang et al., 2018), pašarų, biodujų gamybos ar kompostavimo srityse.

Kompostavimas – tai nevienalyčių organinių medžiagų skaidymo procesas, kurį atlieka aerobiniai mikroorganizmai (m/o) deguoninėje aplinkoje, vykstantis nuosekliai vienas po kito einančiais etapais. Išskiriamos keturios fazės: mezofilinė I (30–45 °C), termofilinė (iki 65 °C), mezofilinė II (45–20 °C), brendimo (artima aplinkos temperatūrai) (Meena et al., 2021). Lekasi et al. (2003) įvardijo kompostavimo tikslą, nurodymai vertingų produktų, tokių kaip organinės trąšos, sukūrimą. Pradinių žaliavų charakteristika, veikimo sąlygos ir brandinimo laikas yra svarbūs aspektai, tiesiogiai koreliuojantys su proceso efektyvumu ir kokybe (Soto-Paz et al., 2019). Esminiai proceso parametrai apima mišinį sudarančių žaliavų C:N santykį, optimalaus temperatūros režimo palaikymą, drėgmės kiekį, aeraciją.

Azim et al. (2018) pateikė tris kategorijas apimančią kompostavimo parametrų skirstymą į pirminius, stebimuosius ir kokybinius. Pirminiai kompostavimo parametrai nurodo C:N santykio subalansavimo svarbą, lemiančią tolesnio proceso vyksmą. Veikdama kaip statybinis blokas anglis dalyvauja m/o augimo procese, taip pat energijos apykaitoje. Azotas būtinas baltymų, nukleino ir aminorūgščių sintezei, fermentų veiklai. Siekiant užtikrinti optimalų C:N santykį, rekomenduojama laikytis nuo 25 iki 35 anglies dalių, tenkančių vienai azoto daliai (Shimizu, 2017). Palaikomas 40–60 % drėgmės kiekis užtikrina palankią terpę m/o veiklai (Peña et al., 2020), dėl padidėjusio m/o aktyvumo vyksta efektyvesnis deguonies suvartojimas (Kim et al., 2015). Temperatūros proceso pokyčiai vyksta plačiame temperatūros diapazone ir tiesiogiai priklauso nuo kompostavimo fazės.

Kompostavimo eigos stebėsena ir kontrolė vykdoma užtikrinant pagrindinius parametrus: ŠESD emisijas, fermentinį aktyvumą, O₂ suvartojimą, organinės anglies kiekį, terpės pH, druskingumą bei temperatūrą. Išlaikant aukštesnę temperatūrą vyksta greitesnis organinių medžiagų skaidymas, perteklinės drėgmės išgarinimas, užtikrinama žaliavos higiena (Azim et al., 2018). Komposto pH pokyčiai leidžia nustatyti proceso eigos sklandumą. Pastebima besikartojanti tendencija, susijusi su pH rūgštėjimu dėl organinių rūgščių skaidymo pirminiame etape, vėlesniame etape pH kyla iki silpnai šarminio, taip užtikrinamas lengvesnis maistinių medžiagų mineralizacijos procesas (Jamroz et al., 2020). Druskingumas siejamas su m/o veiklos aktyvumu, maistinių medžiagų prieinamumu bei galutinio produkto pritaikomumu dirvožemiui bei augalams.

Šių dienų kontekste pastebimai išaugo kompostavimo mišinio praturtinimo poreikis specialiaisiais priedais, dažniausiai apimantis proceso aktyvavimą ir pagreitinimą (Sagdeeva et al., 2018), kvapų neutralizaciją (Barthod et al., 2018), N sulaikančių priedų naudojimą (Shan, 2021), papildomų mikrobinių elementų įvedimą (Sánchez et al., 2017). Šio darbo tikslas buvo nustatyti mėsos ir kaulų miltų bei biologinių

priedų poveikį kopūstų atliekų kompostavimui technologinio proceso mezofilinėje fazėje, įvertinant kompostuojamos medžiagos temperatūrą, druskingumą ir pH.

Tyrimų metodika

Eksperimentinis tyrimas atliktas 2025 m. Klimatui palankaus atsistatančio ir tiksliojo žemės ūkio mokslinių tyrimų infrastruktūros (CLIMAGRO LT) Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Agronomijos fakulteto laboratorijoje. Kompostavimo procesui naudoti 14 vnt. 100 l talpos komposterių, turinčių vartymo funkciją, su oro padavimo ir drenažinėmis filtrato nubėgimo angomis, skysčių surinkimo talpykla (1 pav.). Komposto mišinio tiriamųjų parametru matavimo taškai parodyti 2 pav.



1 pav. Kompostavimo įranga
Fig. 1. Composting equipment



2 pav. Temperatūros, pH, druskingumo matavimo taškai
Fig. 2. Measuring points for temperature, pH, salinity

Eksperimentinio tyrimo pasirengimo modeliavimas apėmė moksliškai pagrįstos mėsos ir kaulų miltų (MKM) su ir be biologinio priedo (BIO) normos nustatymą, naudojamų matavimo priemonių parinkimą, laboratorinės įrangos instaliavimą, kompostavimo įrangos svėrimą, mišinio sudarymą, proceso eigos stebėseną, gautų rodmenų fiksavimą ir analizę. Suformuoti 5 bandymų variantai: 1) kontrolinis (kopūstų atliekos, be MKM ir be BIO), 2) kopūstų atliekos + 5 % MKM, 3) kopūstų atliekos + 15 % MKM, 4) kopūstų atliekos + 5 % MKM + BIO; 5) kopūstų atliekos + 15 % MKM + BIO. Tyrimams kiekvienam komposterui naudota po 10 kg kopūstų atliekų, kurios pagal eksperimento schemą atitinkamai sumaišytos su 0,5 kg MKM arba 1,5 kg MKM + BIO. Eksperimentas atliktas 3 pakartojimais. MKM + BIO reiškė, kad mėsos ir kaulų miltų granulės pagamintos naudojant biologinį preparatą, pagamintą melasos pagrindu. Tyrime naudotos gūžinių kopūstų (*Brasica oleracea L.*) atliekos iš Kėdainių rajone veikiančio daržininkystės ūkio. Šias atliekas sudarė viršutiniai kopūstų lapai ir kotai, kurie derliaus nuėmimo, o vėliau pirminio perdirbimo metu atsiskyrė ir / ar buvo atskirti.

Komposteriai laboratorijoje buvo išdėstyti randomizuotai, siekiant eliminuoti išorės veiksnius ir palaikyti vienodas aplinkos sąlygas. Viso proceso metu fiksuota patalpos temperatūra svyravo apie 21,6 °C. Eksperimento metu komposto maišymas ir aeracija vykdyta kiekvieną dieną, lėtai prasukant komposterį 5 kartus tolygiam mišinio išmaišymui.

Eksperimentinio laboratorinio tyrimo metu buvo matuota komposto mišinio temperatūra, druskingumas ir pH. Temperatūrai matuoti naudotas HH2 matuoklis (3 pav.), turintis drėgnumo, elektrinio laidumo ir temperatūros jutiklius. Matavimui atlikti buvo įterpiamas šakutės formos jutiklis į numatytą komposto mišinio tašką, laukiama rodmenų stabilizacijos, užfiksuojami gauti duomenys. Matavimai ir gautų duomenų fiksavimas buvo vykdomi kasdien ryte 5 dienas su 2 dienų pertraukų intervalu.



3 pav. HH2 temperatūros matuoklis
Fig. 3. HH2 temperature meter



4 pav. PNT 3000 druskingumo matuoklis
Fig. 4. PNT 3000 salinity meter



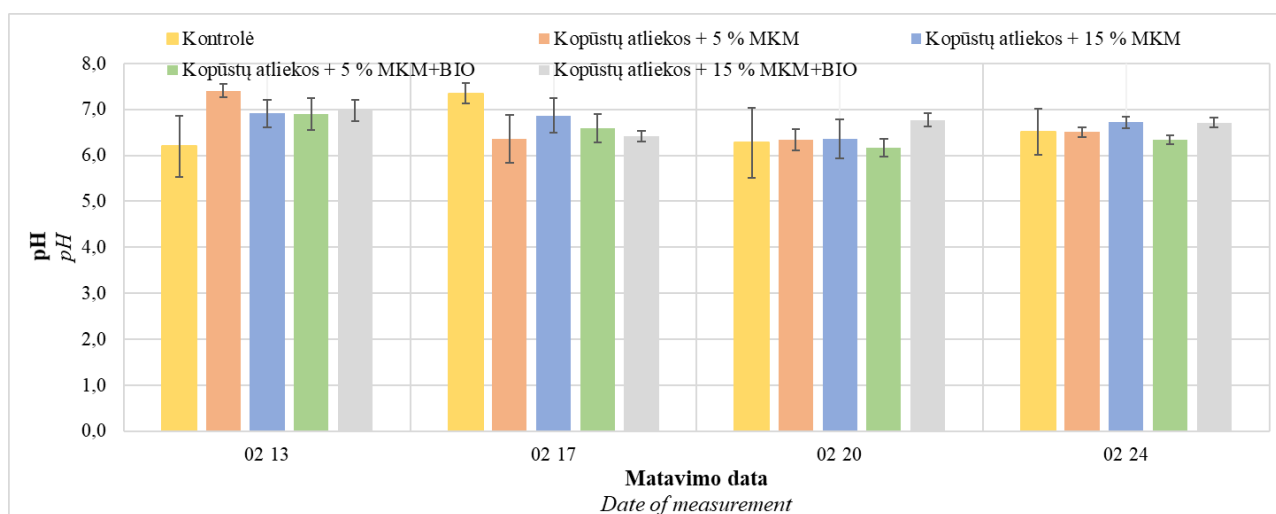
5 pav. „GroLine Soil“ pH matuoklis
Fig. 5. GroLine Soil pH meter

Druskingumui matuoti naudotas PNT 3000 matuoklis (4 pav.) su matavimo zonu. Komposto mišinio pH vertei nustatyti naudotas „Groline“ pH matuoklis (5 pav.), kuris prieš naudojimą buvo kalibruojamas, naudojant buferinius tirpalus, siekiant užtikrinti tikslius matavimo rezultatus. Visiems išvardytiems parametrams nustatyti buvo parinkti 5 matavimo taškai: 1 taškas viduryje ir po 2 taškus šonuose (2 pav.).

Išmatuotų parametru duomenys buvo užfiksuoti ir surašyti naudojant „MS Excel“ programą, atliktas statistinis duomenų apdorojimas, įvertinant vidurkio paklaidą.

Rezultatai ir aptarimas

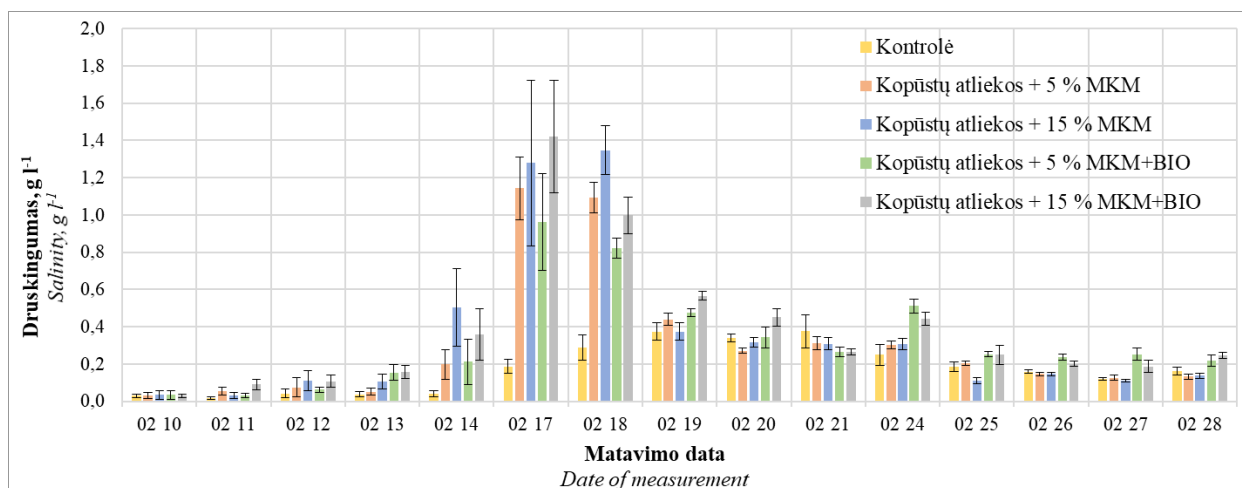
Komposto mišinio pH matavimų rezultatai (6 pav.) parodė didesnius pH svyravimus tyrimo pradžioje (nuo 6,2 iki 7,4), vėliau nežymiai stabilizavosi (6,3–6,7). Nustatyta, kad pradėjus tyrimą kontrolėje pH buvo mažesnis nei variantuose su MKM, vėliau pH kontrolėje buvo didesnis, tolesniuose etapuose pH tarp variantų skyrėsi nežymiai, tačiau buvo šiek tiek didesnis variantuose su didesniu MKM kiekiu, nepriklausomai nuo BIO. Liu et al. (2022) atliktame šparagų stiebų kompostavimo tyrime nustatyta, kad naudojant MKM nesukelia staigių pH svyravimų, išlieka stabilus 7,0–7,5 ribose.



6 pav. Komposto mišinio pH pokyčiai kompostavimo proceso pradžioje

Fig. 6. Changes in compost mixture pH at the beginning of the composting process

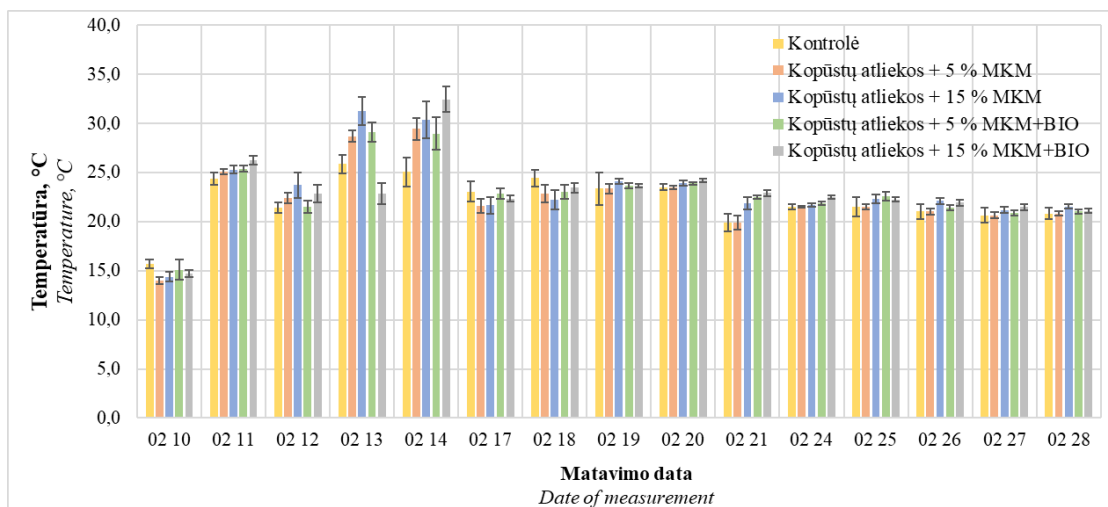
Tyrimo metu analizuotas komposto mišinių druskingumas parodė nedidelį druskingumą visuose tiriamuose variantuose, rodmenys svyravo nuo 0,029 iki 0,035 g l⁻¹ (7 pav.). Tačiau po 7 dienų druskingumas padidėjo ir išryškėjo skirtumai tarp variantų. Komposto mišiniuose, kuriuose buvo įmaišyta MKM, druskingumas padidėjo net keletą kartų, lyginant su kontrole. Didžiausias druskingumas siekė 1,421 g l⁻¹. Tai sąlygojo padidėjęs m/o aktyvumas ir su juo siejamas organinių medžiagų skaidymas. MKM dėl cheminės sudėties kompozicijos taip pat turėjo įtakos druskingumo vertės pokyčiams. Vėlesniuose matavimuose druskingumas mažėjo, tačiau didesnės druskingumo vertės išliko variantuose, kuriuose buvo naudota MKM + BIO.



7 pav. Komposto mišinio druskingumo pokyčiai kompostavimo proceso metu

Fig. 7. Changes in salinity of compost mixture during the composting process

Temperatūros stebėjimo rezultatai (8 pav.) parodė ženklų temperatūros kilimą, nuo $\square$ 14 °C iki 32,5 °C pirmosiomis tyrimų dienomis. Po to temperatūra stabilizavosi ir buvo artima aplinkos temperatūrai. Buvo pastebėta tendencija, kad, naudojant 15 % MKM priedus, temperatūros vertės buvo aukštesnės negu kituose variantuose.



8 pav. Komposto mišinio temperatūros pokyčiai kompostavimo proceso metu

Fig. 8. Changes in temperature of the compost mixture during the composting process

Analizuojant kitų autorių kompostavimo tyrimų rezultatus pastebėtos panašios temperatūros pokyčių tendencijos. Liu et al. (2022) atliko šparagų atliekų kompostavimo tyrimą ir nustatė, kad kompostai, apdoroti 2,5 % MKM norma, viso proceso metu nepasiekė termofilinio aktyvumo. Juson et al. (2013) išskyrė netinkamą C:N santykį kaip esminį veiksnį, įtakojantį m/o aktyvumą ir su juo siejamą temperatūros kitimą.

Išvados

1. Tyrimai parodė, kad mėsos ir kaulų miltų MKM naudojimas kompostuojant kopūstų atliekas daro poveikį atskiriems kompostavimo parametrams. Tyrimo pradžioje didesnis pH buvo nustatytas visuose variantuose, kuriuose buvo naudoti MKM priedai.
2. Kompostavimo technologinio proceso mezofilinėje fazėje didesnis druskingumas nustatytas komposto variantuose, kuriuose naudota 5 ir 15 % MKM ir MKM + BIO, lyginant su kontroliniu variantu. Ypač ženklus druskingumo padidėjimas nustatytas po 7 ir 8 dienų. Vėlesniuose etapuose didesnis druskingumas nustatytas MKM + BIO variantuose.
3. Ženklesnis temperatūros padidėjimas, lyginant su kontroliniu variantu, nustatytas tyrimo pradžioje, po to temperatūra visuose variantuose buvo artima patalpos temperatūrai. Tyrimų rezultatai parodė, kad didesnis biopriedų kiekis (15 % MKM ir MKM + BIO) sąlygoja aukštesnę komposto mišinio temperatūrą.

Padėka

Tyrimas vykdomas pagal Inovacijų agentūros finansuojamą projektą „Cignera, UAB inovatyvių aplinkai draugiškų technologijų sukūrimas, demonstravimas“. Autoriai dėkingi Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijai ir Klimatui palankaus atsistatymo ir tiksliojo žemės ūkio mokslinių tyrimų infrastruktūrai (CLIMAGRO LT) už sudarytas sąlygas vykdyti eksperimentus. Šis tyrimas ir straipsnis yra vienas iš projekto „Bioekonomikos tyrimų ekselencijos centro vystymas (BioTEC)“ veiklos rezultatų. Projektą finansuoja Lietuvos Respublikos švietimo, mokslo ir sporto ministerija ir Lietuvos mokslo taryba (LMTLT), sutarties Nr. S-A-UEI-23-14. Finansavimo programa – „Universitetų ekselencijos iniciatyva“ (Nr. V-940).

Literatūra

1. Azim, K., Soudi, B., Boukhari, S., Perissol, C., Roussos, S., Thami Alami, I. (2018). Composting parameters and compost quality: a literature review. *Organic agriculture*, 8, 141–158.
2. Barthod, J., Rumpel, C., Dignac, M. F. (2018). Composting with additives to improve organic amendments. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 38(2), 17.

3. El Sheikha, A. F., Ray, R. C. (2023). Bioprocessing of horticultural wastes by solid-state fermentation into value-added/innovative bioproducts: a review. *Food Reviews International*, 39(6), 3009–3065.
4. Jamroz, E., Bekier, J., Medynska-Juraszek, A., Kaluza-Haladyn, A., Cwiela-Piasecka, I., Bednik, M. (2020). The contribution of water extractable forms of plant nutrients to evaluate MSW compost maturity: A case study. *Scientific Reports*, 10(1), 12842.
5. Jusoh, M. L. C., Manaf, L. A., Latiff, P. A. (2013). Composting of rice straw with effective microorganisms (EM) and its influence on compost quality. *Iranian journal of environmental health science & engineering*, 10, 1–9.
6. Kim, E., Lee, D. H., Won, S., Ahn, H. (2016). Evaluation of optimum moisture content for composting of beef manure and bedding material mixtures using oxygen uptake measurement. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 29(5), 753.
7. Lekasi, J. K., Ndung'u, K. W., Kifuko, M. N. (2003). A scientific perspective on composting. *Organic resource management in Kenya: perspectives and guidelines, FORMAT, Nairobi*, 65.
8. Liu, X., Li, X., Hua, Y., Sinkkonen, A., Romantschuk, M., Lv, Y., Hui, N. (2022). Meat and bone meal stimulates microbial diversity and suppresses plant pathogens in asparagus straw composting. *Frontiers in Microbiology*, 13, 953783.
9. Meena, A. L., Karwal, M., KJ, R., & Narwal, E. (2021). Aerobic composting versus Anaerobic composting: Comparison and differences. *Food Sci. Rep*, 2, 23–26.
10. Niksiar, A., Nasernejad, B. (2017). Activated carbon preparation from pistachio shell pyrolysis and gasification in a spouted bed reactor. *Biomass and Bioenergy*, 106, 43–50.
11. Peña, H., Mendoza, H., Diáñez, F., Santos, M. (2020). Parameter selection for the evaluation of compost quality. *Agronomy*, 10(10), 1567.
12. Ray, R. C. (2022). *Fruits and vegetable wastes*. Vol. 4, Springer Nature Singapore. Acedido em.
13. Sagdeeva, O., Krusir, G., Tsykalo, A., Shpyrko, T., Leuenberger, H. (2018). *Composting of organic waste with the use of mineral additives*.
14. Sánchez, Ó. J., Ospina, D. A., Montoya, S. (2017). Compost supplementation with nutrients and microorganisms in composting process. *Waste Management*, 69, 136–153.
15. Shan, G., Li, W., Gao, Y., Tan, W., Xi, B. (2021). Additives for reducing nitrogen loss during composting: A review. *Journal of Cleaner Production*, 307, 127308.
16. Shimizu, N. (2017). Process optimization of composting systems. In *Robotics and Mechatronics for Agriculture*, 1–22. CRC Press.
17. Soto-Paz, J., Oviedo-Ocaña, E. R., Manyoma, P. C., Gaviria-Cuevas, J. F., Marmolejo-Rebellón, L. F., Torres-Lozada, P., Komilis, D. (2019). A multi-criteria decision analysis of co-substrate selection to improve biowaste composting: A mathematical model applied to Colombia. *Environmental Processes*, 6, 673–694.
18. Wang, Y., Jiang, L., Dai, L., Yu, Z., Liu, Y., Ruan, R., ... Zhao, Y. (2018). Microwave-assisted catalytic co-pyrolysis of soybean straw and soap stock for bio-oil production using SiC ceramic foam catalyst. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 133, 76–81.
19. Youssef, M. M. A., Lashein, A. M. S. (2013). Effect of cabbage (*Brassica oleracea*) leaf residue as a biofumigant, on root knot nematode, *Meloidogyne incognita* infecting tomato. *Journal of Plant Protection Research*.

Brigita Senkienė, Zita Kriaučiūnienė, Sidona Buragienė, Vilma Naujokienė, Ernestas Zaleckas, Rita Čepulienė, Jovita Balandaitė, Indrė Bručienė, Egidijus Šarauskis

Effect of Meat and Bone Meal and Biological Additives on Aerobic Composting of Cabbage Waste

Composting of agricultural waste is a long technological process. In order to activate and accelerate this process, the waste can be mixed with meat and bone meal (MBM). The aim of this work was to determine the effect of MBM and biological additives (BIO) on the composting of cabbage waste in the mesophilic phase of the technological process, assessing the temperature, salinity and pH of the composted material. The studies were carried out in 5 treatments: 1) – control (cabbage waste, without MBM and without BIO), 2 – cabbage waste + 5% MBM, 3) – cabbage waste + 15% MBM, 4) – cabbage waste + 5% MBM+BIO; 5) – cabbage waste + 15% MBM+BIO. The results of the studies showed that the use of MBM and MBM+BIO for composting cabbage influenced individual composting parameters – salinity, pH and temperature.

Keywords: Compost mixture, salinity, pH, temperature, waste.

Gauta 2025 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2025 m. balandžio mėn.

Brigita SENKIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto (VDU) Žemės ūkio akademijos (ŽŪA) Inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedros magistrantė. Adresas: Studentų g. 15A, LT-53362, Akademija, Kauno r., tel.: +370 37 752357, +370 653 32212, el. p. brigita.senkiene@vdu.lt

Brigita SENKIENĖ. Vytautas Magnus University (VMU) Agriculture Academy (AA), Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, master student. Address: Studentų str. 15a, LT-53362, Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 37 752357, +370 653 32212, e-mail: brigita.senkiene@vdu.lt

Zita KRIAUCIŪNIENĖ. VDU ŽŪA Agronomijos fakulteto Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedros profesorė. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r., tel. +370 680 81811, el. p. zita.kriauciuniene@vdu.lt

Zita KRIAUCIŪNIENĖ. VMU AA, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Sciences, Professor. Address: Studentu str. 11, LT-53361 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 680 81811, e-mail: zita.kriauciuniene@vdu.lt

Sidona BURAGIENĖ. VDU ŽŪA Inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedros docentė. Adresas: Studentų g. 15A, LT-53362 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52357, el. p. sidona.buragiene@vdu.lt

Sidona BURAGIENĖ. VMU AA, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, assoc. prof. Address: Studentų str. 15A, LT-53362 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 377 52357, e-mail: sidona.buragiene@vdu.lt

Vilma NAUJOKIENĖ. VDU ŽŪA Inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedros docentė. Adresas: Studentų g. 15A, LT-53362 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52357, el. p. vilma.naujokiene@vdu.lt

Vilma NAUJOKIENĖ. VMU AA, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, Assoc. Prof. Address: Studentu str. 15A, LT-53362 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 377 52357, e-mail: vilma.naujokiene@vdu.lt

Ernestas ZALECKAS. VDU ŽŪA Bioekonomikos tyrimų instituto vyresnysis mokslo darbuotojas. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r., tel. +370 683 05769, el. p. ernestas.zaleckas@vdu.lt

Ernestas ZALECKAS. VMU AA, Bioeconomy Research Institute, Senior researcher. Address: Studentų str. 11, LT-53361 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 683 05769, e-mail: ernestas.zaleckas@vdu.lt

Rita ČEPULIENĖ. VDU ŽŪA Agronomijos fakulteto Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedros lektorė. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52465, el. p. rita.cepulienė@vdu.lt

Rita ČEPULIENĖ. VMU AA, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Sciences, Lector. Address: Studentu str. 11, LT-53361 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 377 52465, e-mail: rita.cepulienė@vdu.lt

Jovita BALANDAITĖ. VDU ŽŪA Bioekonomikos tyrimų instituto jaunesnioji mokslo darbuotoja. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r., tel. +370 643 24077, el. p. jovita.balandaite@vdu.lt

Jovita BALANDAITĖ. VMU AA, Bioeconomy Research Institute, Junior researcher. Address: Studentų str. 11, LT-53361 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 643 24077, e-mail: jovita.balandaite@vdu.lt

Indrė BRUČIENĖ. VDU ŽŪA Bioekonomikos tyrimų instituto mokslo darbuotoja. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52357, el. p. indre.bruciene@vdu.lt

Indrė BRUČIENĖ. VMU AA, Bioeconomy Research Institute, Researcher. Address: Studentų str. 11, LT-53361 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 377 52357, e-mail: indre.bruciene@vdu.lt

Egidijus ŠARAUSKIS. VDU ŽŪA Inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedros profesorius. Adresas: Studentų g. 15A, LT-53362 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52357, el. paštas: egidijus.sarauskis@vdu.lt

Egidijus ŠARAUSKIS. VMU AA, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, professor. Address: Studentu str. 15A, LT-53362 Akademija, Kaunas r., tel. +37037752357, e-mail: egidijus.sarauskis@vdu.lt

DIRVOŽEMIO ANGLIES SEKVESTRACIJOS POTENCIALO IR ATEITIES VERTINIMO PRIEMONĖS LIETUVOJE

Žygimantas Kidikas, Rytis Skominas, Vilma Naujokienė

Vytauto Didžiojo universitetas

Lietuvos žemių potencialas kaupti anglį priklauso nuo žemės ūkio praktikų, dirvožemio tipo ir klimato sąlygų. Ateityje svarbu plėtoti tikslius dirvožemio vertinimo įrankius, pagrįstus dirbtiniu intelektu, nuotoliniais stebėjimais ir modeliavimo metodais, siekiant tiksliai prognozuoti anglies kaupimąsi dirvožemyje bei optimizuoti tvarias ūkininkavimo strategijas. Šiame tyrime analizuojama dirvožemio organinės anglies (SOC) dinamika Lietuvos žemės ūkio naudmenose bei galimybės didinti anglies sankaupas. Vidutinis SOC kiekis dirvožemiuose siekė 2,47 %, atitinkantis 65,02 t C ha⁻¹. Tai rodo, kad žemės ūkio paskirties dirvožemiai turi papildomą anglies kaupimo potencialą, siekiantį 0,265 % SOC padidėjimą, kas prilygsta 7–11 t C ha⁻¹ anglies sankaupų prieaugiui. Taigi, taikant tinkamas ūkininkavimo praktikas galima efektyviai padidinti dirvožemio anglies atsargas. Tyrimų išvados prisidės prie individualaus ūkio lygmens analizės tikslumo didinimo, leisdamas ūkininkams priimti teisingai pagrįstus sprendimus dėl anglies kaupimo strategijų.

Raktiniai žodžiai: dirvožemio dinamika, organinė anglis, anglies kaupimas.

Įvadas

Anglis yra pagrindinis dirvožemio sveikatos rodiklis. Anglies atsargos dirvožemyje yra apie 2 500 gigatonų (Ren, 2023). Dirvožemio organinės medžiagos susidaro iš organinių junginių, kuriuos gamina augalų fotosintezė ir autotrofinės dirvožemio bakterijos, taip pat iš gyvulinės kilmės organinių liekanų ir trąšų. Vienintelis anglies šaltinis augalams yra CO₂, kuris susidaro irstant dirvožemio organinėms medžiagoms, kaupiasi dirvos porose ir dirvos paviršiuje, ištirpsta vandenyje ir vėl panaudojamas fotosintezėi. Dirvožemio anglies nustatymas leidžia geriau pažinti ir suprasti dirvožemio procesus (Liaudanskienė ir kt., 2011). Dirvožemio organinė anglis yra pagrindinis veiksnys, įtakojantis – reguliuojantis ir pagerinantis – daugelį fizinių, cheminių ir biologinių dirvožemio savybių. Taip pat bendro organinės anglies kiekio dirvožemyje kitimas leidžia įvertinti agrotechninių priemonių efektyvumą (Jankauskas ir kt., 2006).

Ekstremalūs klimato reiškiniai gali lemti anglies apykaitos pokyčius dirvožemyje, todėl pašarinių augalų derlingumo išsaugojimui būtina laikytis tinkamų šienavimo praktikų (Conant et al., 2017). Rekomenduojama šienauti ne anksčiau kaip po savaitės nuo ekstremalių sąlygų (sausrų, karščio bangų) pabaigos, kad būtų užtikrintas anglies kaupimosi procesų stabilumas augaluose ir dirvožemyje (Fornara & Tilman, 2008). Karščio bangų metu šienavimas nerekomenduojamas dėl padidėjusios polifenolinių junginių koncentracijos, kuri gali daryti įtaką tiek pašarų kokybei, tiek anglies stabilumui organinėje medžiagoje (Jing et al., 2019).

Norint išlaikyti subalansuotą anglies apykaitą dirvožemyje, būtina koreguoti pašarinių augalų tręšimo normas (Liebig et al., 2005). Tręšimas turėtų būti pritaikytas atsižvelgiant į augalų gebėjimą kaupti anglį bei jautrumą ekstremaliems klimato reiškiniams. Sausros sąlygomis liucernų pasėlių papildomas tręšimas azotu nėra būtinas, o eraičinsvidrių pasėliuose jis gali padidinti augalų biomasės formavimąsi (Morris et al., 2020). Svarbu laikytis vidutinių tręšimo normų, kad būtų išvengta perteklinio azoto išsiplovimo į gruntinius bei paviršinius vandenis, kas gali lemti anglies ciklo disbalansą (Powlson et al., 2011).

Anglies dinamikai palaikyti svarbu ir tinkamas pašarinių augalų mišinių sudarymas. Rekomenduojama didinti pupinių žolių, ypač liucernų, dalį iki 60 %, o miglinių žolių (ypač motiejukų) sumažinti iki 40 % (Klein & Eckard, 2008). Tai padės išlaikyti didesnę anglies sekvestracijos potencialą bei ilgaamžiškesnius ir atsparesnius ekstremaliems klimato reiškiniams žolynus.

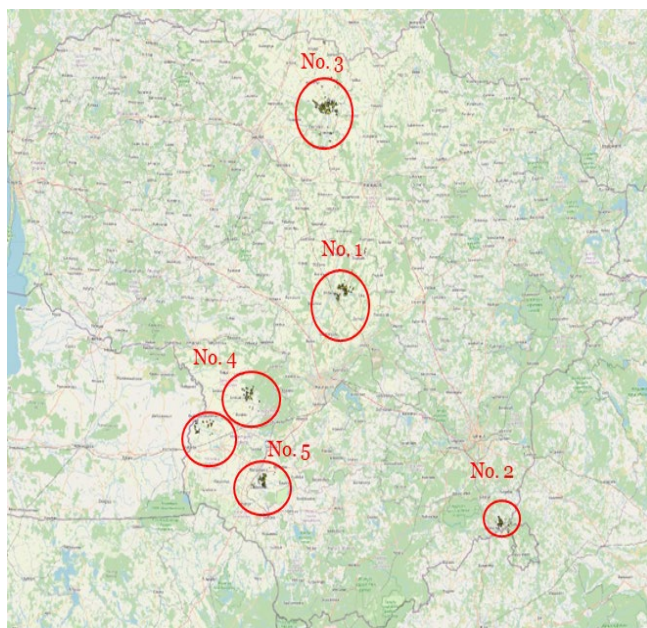
Žolynų sėjos laiko optimizavimas taip pat gali turėti įtakos anglies balansui. Rekomenduojama atsisakyti ankstesnės praktikos sėti nuo ankstyvo pavasario iki rugpjūčio vidurio ir pasirinkti optimalų sėjos laikotarpį – nuo ankstyvo pavasario iki birželio pradžios bei nuo liepos trečiojo dešimtadienio iki rugpjūčio vidurio (Whitehead et al., 2012). Šiuo laikotarpiu pasėti augalai užtikrina tolygesnį anglies kaupimąsi ir mažesnius nuostolius (Janssens et al., 2003).

Siekiant pagerinti dirvožemio chemines savybes, didinti organinės anglies kaupimąsi bei išlaikyti mikrobiologinį aktyvumą, rekomenduojama taikyti organines dirvožemio gerinimo priemones, tokias kaip digestatai iš galvijų, kiaulių ir vištų mėšlo (Rees et al., 2005). Prieš įterpiant šiuos produktus, būtina atlikti jų cheminės sudėties analizę, kad būtų užtikrintas tinkamas maisto medžiagų ir anglies santykis, taip išvengiant neigiamo poveikio aplinkai bei perteklinės šiltnamio efekto sukeliančių dujų emisijos (Groenigen et al., 2017).

Taikant minėtas praktikas galima efektyviai reguliuoti anglies dinamikos koeficientus Lietuvos dirvožemiuose, išlaikant tvarų agroekosistemų funkcionavimą bei mažinant žemės ūkio veiklos poveikį klimato kaitai (Gattinger et al., 2012).

Tyrimų metodika

Eksperimentinių tyrimų zoną sudarė 5 mišrios veiklos (augalininkystė + gyvulininkystė) žemės ūkio bendrovės, pasiskirsčiusios įvairiuose Lietuvos regionuose. Mišraus tipo ūkiuose dirbamos žemės dydis svyravo nuo 740 ha iki 2 460 ha. Bendras tiriamasis plotas – 7 336 ha pasėlių ir įvairių tipų dirvožemiai (1 pav.).



Nr.	Eksperimentiniai ūkiai	Plotas, ha	Ėminiai, vnt.
1	UAB „Aristavos ūkis“, Kėdainių rajonas	1695,6	434
2	UAB „Baušų ūkis“, Šalčininkų rajonas	740	175
3	UAB „Kalpokų ūkis“, Joniškio, Pakruojo ir Panevėžio rajonai	2459,7	631
4	UAB „Noragra“, Šakių rajonas	1547,7	392
5	UAB Šešupės ūkis, Marijampolės rajonas	896,2	224
	Iš viso:	7 339,2	1 856

1 pav. Eksperimentinių tyrimų vietos skirtinguose Lietuvos regionuose

Fig. 1. Experimental research locations in different regions of Lithuania

Dirvožemio skenavimas buvo atliktas naudojant elektros laidumo skaitytuvą EM-38 MK-2 („Geonics Ltd.“, Kanada). Jis buvo naudojamas dirvožemio skirtumams lauke nustatyti ir tiksliai dirvožemio mėginių ėmimo planui sudaryti. Elektros laidumo (mS/m) matavimai atlikti važiuojant visureigiu 10–15 km h⁻¹ greičiu, tempiant EM38-MK2 plastikines roges, technologiniais takeliais 30 m intervalais, nuo 0 iki 150 cm gylyje. Atlikus grunto elektrinio laidumo matavimus laukuose, fiksuojama informacija apie lauko elektrinį laidumą ir parengiamas grunto mėginių ėmimo planas. Remiantis panašiomis dirvožemio savybėmis, sudaromi skirtingų savybių (1 ha, 2 ha arba 3 ha) zonų sklypai.

Mėginių ėmimas buvo vykdomas nuo liepos iki lapkričio pabaigos. Iš skirtingų lauko vietų ir granulimetrinių zonų reguliariai buvo imami dirvožemio mėginiai augalininkystės plotuose. Mėginiams imti naudotas specialus dirvožemio mėginių paėmimo grąžtas „Wintex 1000“, tvirtinamas prie visureigio automobilio (2 pav.). Operatoriai, naudodamiesi kompiuterine įranga, realiuoju laiku stebėjo tiriamų laukų ribas, planuojamas mėginių ėmimo zonas ir lauko granulimetrinę dirvožemio sudėtį (programinė įranga „Next Farming“). Tai užtikrina tikslesnį mėginių paėmimą iš numatytų vietų.



2 pav. Dirvožemio ėminių paėmimo įranga

Fig. 2. Soil sampling equipment

Vieną jungtinį dirvožemio mėginį sudarė 15–20 ėminių iš vienos granulimetrinės sudėties zonos. Ėminiai paimti važiuojant W formos trajektorija, kad būtų tolygiai aprėpiamas tiriamas plotas. Mėginiai nebuvo imami arčiau kaip 10 metrų nuo lauko ribų, kelių, melioracijos griovių bei nebūdingų lauko reljefo vietų (įdubų, pakilimų), kurie galėtų iškreipti tyrimo rezultatus.

Surinkti dirvožemio ėminiai buvo tiriami Vokietijos laboratorijoje „AGROLAB Agrarzentrum GmbH“. Tyrimai atlikti pagal CAL (Ca-Acetate-Lactate) metodą (CAL metodika leidžia įvertinti augalams prieinamų maistinių medžiagų kiekį dirvožemyje (ISO, 2018)), nustatant:

- dirvožemio organinę medžiagą (DOM) pagal DIN EN 15936:2012;
- judriojo fosforo kiekį (P_2O_5 mg/100 g);
- kalio oksido kiekį (K_2O mg/100 g);
- elementinio magnio (Mg mg/100 g) kiekį;
- pH reikšmę;
- granulimetrinę dirvožemio sudėtį.

Rezultatai ir aptarimas

Atlikus eksperimentinius tyrimus skirtinguose Lietuvos regionuose iš įvairaus tipo 7 336 ha dirvožemių paimtų 1 856 ėminių, C_{org} varijavo nuo 1,2 % iki 25,76 %, o vidurkis buvo apie 2,47 % (1 lentelė).

Dirvožemio rūgštingumas varijavo nuo 4,4 iki 7,8, o vidutinė pH vertė – 6,9, kas rodo, kad dauguma mėginių yra silpnai rūgštinio arba neutralaus pobūdžio. Tai gali turėti įtakos maistinių medžiagų tirpumui ir prieinamumui augalams (1 lentelė).

1 lentelė. Dirvožemio parametrų tyrimų rezultatai, 2023 metai, $n = 1856$

Table 1. Results of soil parameter studies 2023, $n = 1856$

Parametras	Minimali reikšmė	Maksimali reikšmė	Vidurkis
Plotas, ha	$0,1324 \pm 0,05$	$13,00 \pm 0,05$	$3,955 \pm 0,05$
pHKCl	$4,4 \pm 0,01$	$7,8 \pm 0,01$	$6,9 \pm 0,01$
P_2O_5 (mg/kg)	$5,60 \pm 2,01$	$1\,470,18 \pm 2,01$	$127,88 \pm 2,01$
K_2O (mg/kg)	$20,40 \pm 2,22$	$734,40 \pm 2,22$	$189,96 \pm 2,22$
Mg^{2+} (mg/kg)	$17 \pm 2,18$	$678,00 \pm 2,18$	$213,07 \pm 2,18$
Corg. (%)	$1,2 \pm 0,04$	$25,76 \pm 0,04$	$2,47 \pm 0,04$
DOM (%)	$2,06 \pm 0,08$	$44,5 \pm 0,08$	$4,26 \pm 0,08$

P_2O_5 koncentracija svyravo nuo 5,60 mg/kg iki 1 470,18 mg/kg, o vidurkis – 127,88 mg/kg. Didelis maksimalios ir minimalios reikšmės skirtumas rodo reikšmingą fosforo pasiskirstymo netolygumą, kuris gali būti susijęs su tręšimo intensyvumu ar dirvožemio savybėmis.

K_2O koncentracija buvo plačiai pasiskirsčiusi nuo 20,40 mg/kg iki 734,40 mg/kg, kai vidutinė vertė – 189,96 mg/kg. Kalio kiekio variacija gali lemti augalų mitybos skirtumus skirtingose teritorijose, o dideli skirtumai gali būti susiję su natūraliomis dirvožemio savybėmis ar tręšimo poveikiu (1 lentelė).

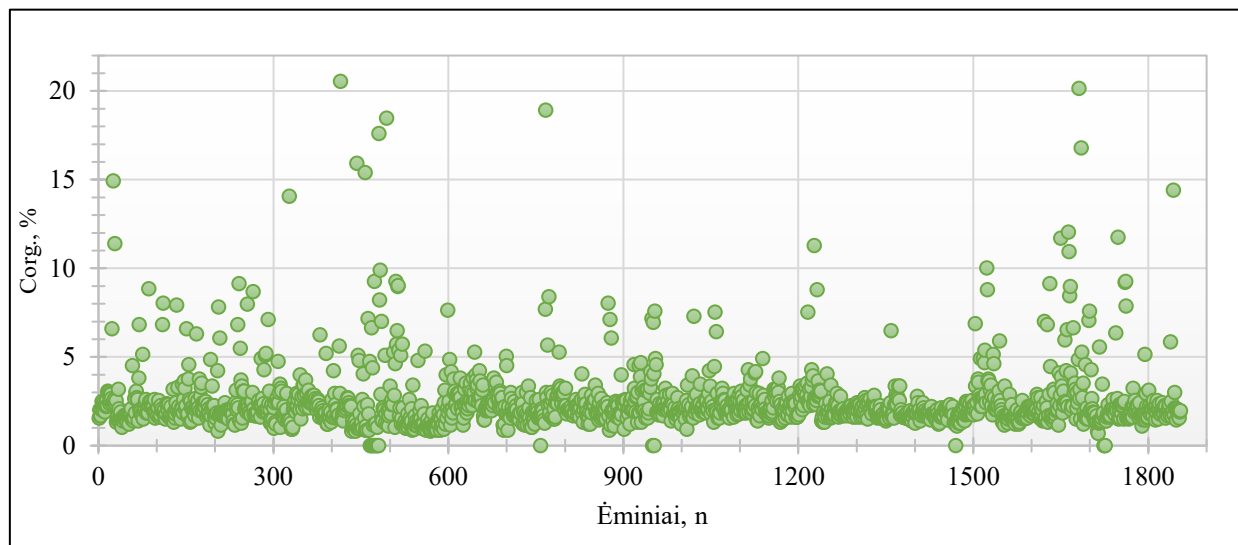
Mg^{2+} kiekis dirvožemyje taip pat pasižymėjo didele variacija – nuo 17 mg/kg iki 213,07 mg/kg, o vidurkis siekė 678 mg/kg. Tokio plataus intervalo reikšmės gali būti siejamos su dirvožemio mineraline sudėtimi bei kalcio–magnio balansu (1 lentelė).

C_{org} koncentracijos dinamika buvo nuo 1,2 % iki 25,76 %, o vidutinė reikšmė – 2,47 %. Tai rodo, kad dirvožemiuose yra didelė organinės anglies pasiskirstymo įvairovė, galimai dėl skirtingų dirvožemio tipų, augmenijos ar organinės medžiagos skaidymosi procesų (1 lentelė).

DOM reikšmės kito nuo 2,06 % iki 44,5 %, o vidutinė reikšmė siekė 4,26 %. Didelis DOM kiekio svyravimas gali atspindėti skirtingą dirvožemio organinių junginių mobilumą ir skaidymosi intensyvumą (1 lentelė).

Gauti rezultatai atskleidžia didelį tyrimų duomenų variavimą, ypač fosforo, kalio, magnio bei organinės anglies pasiskirstyme. Dideli šių elementų kiekio svyravimai rodo galimą antropogeninę įtaką (tręšimas, žemės naudojimo būdai) arba natūralius dirvožemio cheminės sudėties skirtumus. Dirvožemio pH, C_{org} ir DOM kiekiai taip pat patvirtina skirtingą organinės medžiagos kaupimosi laipsnį bei mineralizacijos procesus.

Atlikus išsamų anglies sankaupos įvertinimą nustatyta, kad anglies telkinio duomenys yra gana koncentruoti, mažai išsibarstę (3 pav.).



3 pav. Anglies sankaupos pasiskirstymas priklausomai nuo ėminių skaičiaus

Fig. 3. Distribution of carbon accumulation depending on the number of samples

3 pav. identifikuota reikšminga organinės anglies koncentracijos dispersija. Tam tikrose mėginių grupėse pastebimi ryškūs nukrypimai, siekiantys daugiau nei 20 %. Tai gali rodyti tiek natūralius variacijos veiksnius, tiek galimas išorines aplinkos sąlygas (organinės anglies sankaupas), turinčias įtakos organinės anglies koncentracijai. Didžioji dalis mėginių rodo mažą organinės anglies kiekį – pagrindinė duomenų masė susitelkusi 0–5 % intervale, kas rodo, kad organinės anglies lygis didžiojoje dalyje tirtų mėginių yra santykinai žemas.

Atlikus tyrimų skirtinguose Lietuvos regionuose palyginimą pastebėta, kad analizuojamuose ūkiuose yra pakankamai galimybių panaudoti papildomus anglies kiekius. Analizuojami ūkiai skatinami naudoti geriausias ūkininkavimo praktikas.

Atlikus tarpusavio priklausomybių vertinimą tarp tirtų parametrų užfiksuota, kad fosforas (P_2O_5) ir kalis (K_2O) dažnai koreliuoja kaip svarbūs augalų mitybos elementai, o jų prieinamumas priklauso nuo tręšimo ir dirvožemio sudėties. Mg^{2+} gali konkuruoti su kaliu ir kitais katijonais, o jo perteklius gali mažinti fosforo pasisavinimą.

Organinė anglis (Corg) ir dirvožemio organinė medžiaga (DOM) skatina maistinių medžiagų mobilumą, nes DOM padidina fosforo ir kalio tirpumą, o didesnis Corg lygis gali pagerinti biologinį aktyvumą ir mineralizacijos procesus. Magnis gali sudaryti kompleksus su DOM, todėl jo tirpumas gali padidėti organiškai turtinguose dirvožemiuose. Šių parametrų tarpusavio priklausomybės gali nulemti dirvožemio derlingumą ir maistinių medžiagų pasiskirstymą, todėl jų analizė būtina siekiant optimizuoti tręšimą ir išlaikyti tvarią dirvožemio kokybę.

Išvados

1. Atlikus eksperimentinius tyrimus skirtinguose Lietuvos regionuose užfiksuota, kad analizuojamuose pasėliuose yra pakankamai vietos papildomam anglies kiekiui panaudoti, nes vidutinis esamas dirvožemio anglies kiekis yra $65,02 \text{ t ha}^{-1}$.
2. Analizuojant Corg (%) pasiskirstymą identifikuota, kad organinės anglies koncentracija daugumoje mėginių išlieka žemame intervale (0–5 %), tačiau fiksuojami ir pavieniai reikšmingi rezultatai, viršijantys 20 %.
3. Lietuvos ūkiuose yra pakankamai galimybių efektyviai panaudoti papildomus organinės anglies kiekius, o geriausių ūkininkavimo praktikų taikymas gali pagerinti dirvožemio biologinį aktyvumą ir skatinti maistinių medžiagų mineralizacijos procesus.
4. Tarp fosforo, kalio ir magnio nustatyta tarpusavio priklausomybė rodo, kad jų prieinamumą stipriai veikia dirvožemio sudėtis ir tręšimo strategijos, todėl būtina išsamiai analizuoti šiuos parametrus siekiant optimizuoti tręšimą ir išlaikyti tvarią dirvožemio kokybę ateityje.

Padėka

Šis darbas buvo atliktas kaip „LIFE22-GIC-LT-GFarm for LIFE“ projekto dalis. Projektas finansuotas Europos Sąjungos LIFE programos lėšomis pagal Dotacijos sutartį Nr.101112894.

Literatūra

1. Conant, R. T., Cerri, C. E., Osborne, B. B., & Paustian, K. (2017). Grassland management impacts on soil carbon stocks: a new synthesis. *Ecological Applications*, 27(2), 662–668.
2. Fornara, D. A., & Tilman, D. (2008). Plant functional composition influences rates of soil carbon and nitrogen accumulation. *Journal of Ecology*, 96(2), 314–322.
3. Jing, X., Sanders, N. J., Shi, Y., Chu, H., Classen, A. T., Zhao, K., ... & He, J. S. (2019). Direct and indirect effects of altered precipitation on soil microbes and their functions: A meta-analysis. *Global Change Biology*, 25(8), 2569–2580.
4. Liebig, M. A., Varvel, G. E., & Wienhold, B. J. (2005). Crop sequence and nitrogen fertilization effects on soil properties in the Great Plains. *Agronomy Journal*, 97(6), 1254–1261.
5. Morris, S. J., Bohm, S., Haile-Mariam, S., & Paul, E. A. (2020). Evaluation of soil organic matter dynamics using size fractionation and tracers: a review. *Soil Biology and Biochemistry*, 42(4), 405–419.
6. Powlson, D. S., Gregory, P. J., Whalley, W. R., Quinton, J. N., Hopkins, D. W., Whitmore, A. P., & Hirsch, P. R. (2011). Soil management in relation to sustainable agriculture and ecosystem services. *Food Policy*, 36, S72–S87.
7. Klein, C. A. M., & Eckard, R. J. (2008). Targeted technologies for nitrous oxide abatement from animal agriculture. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 48(1-2), 14–20.
8. Whitehead, D. C., Bristow, A. W., & Lockyer, D. R. (2012). Volatilization of ammonia from urea applied to soil: Influence of urease inhibitors and absorbing materials. *Plant and Soil*, 107(1), 271–277.
9. Janssens, I. A., Luyssaert, S., Sulkava, M., & Papale, D. (2003). Reduction of forest soil respiration in response to nitrogen deposition. *Nature Geoscience*, 3(5), 315–322.
10. Rees, R. M., Bingham, I. J., Baddeley, J. A., & Watson, C. A. (2005). The role of plants and land management in reducing greenhouse gas emissions. *Advances in Agronomy*, 98, 117–150.
11. Groenigen, J. W., Osenberg, C. W., & Hungate, B. A. (2017). Increased soil emissions of potent greenhouse gases under increased atmospheric CO₂. *Nature*, 475(7355), 214–216.
12. Gattinger, A., Muller, A., Haeni, M., Skinner, C., Fliessbach, A., Buchmann, N., & Niggli, U. (2012). Enhanced top soil carbon stocks under organic farming. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(44), 18226–18231.
13. Ren, T., Tang, S., Han, T., Wang, B., Zhou, Z., Liang, G., Li, Y., Cai, A. (2023). Positive rhizospheric effects on soil carbon are primarily controlled by abiotic rather than biotic factors across global agroecosystems. *Geoderma*, 430, 116337. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116337>
14. Jankauskas, B., Slepetiene, A., Jankauskiene, G., Fullen, M. A., Booth, C. A. (2006). A comparative study of analytical methodologies to determine the soil organic matter content of Lithuanian Eutric Albeluvisols. *Geoderma*, 136(3-4), 763–773.
15. Liaudanskienė, I., Šlepetienė, A., Velykis, A. (2011). Changes in soil humified carbon content as influenced by tillage and crop rotation. *Zemdirbyste-Agriculture*, 98 (3): 227–234.

Žygimantas Kidikas, Rytis Skominas, Vilma Naujokienė

Soil Carbon Sequestration Potential and Future Assessment Tools for Lithuanian Crops

The carbon storage potential of Lithuanian soils depends on agricultural practices, soil type and climatic conditions. In the future, it is important to develop targeted assessment tools based on artificial intelligence, remote sensing and modelling methods to accurately predict soil carbon storage and optimise sustainable farming strategies. The research analyses the dynamics of soil organic carbon (SOC) in Lithuanian agricultural land and the possibilities for increasing carbon storage. The average SOC content in soils reached 2.47%, corresponding to 65.02 t C ha⁻¹. This indicates that agricultural soils have an additional carbon storage potential of 0.265% SOC increase, which is equivalent to an increase in carbon storage of 7–11 t C ha⁻¹. Thus, by applying appropriate farming practices, soil carbon stocks can be effectively increased. The research findings will contribute to increasing the accuracy of individual farm-level analysis, allowing farmers to make well-founded decisions regarding carbon storage strategies.

Keywords: Soil dynamics, organic carbon, carbon storage.

Gauta 2025 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2025 m. balandžio mėn.

Žygimantas KIDIKAS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedros doktorantas. Adresas: Studentų g. 15a, LT-53362 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52357, el. paštas: zygimantas.kidikas@vdu.lt

Žygimantas KIDIKAS. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, PhD. Address: Studentų g. 15a, LT-53362 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 377 52357, e-mail: zygimantas.kidikas@vdu.lt

Rytis SKOMINAS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Inžinerijos fakulteto Vandens inžinerijos katedros docentas. Adresas: Studentų g. 15a, LT-53362 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52357, el. paštas: rytis.skominas@vdu.lt

Rytis SKOMINAS. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Water Engineering, assoc. prof. Address: Studentų str. 15a, LT-53362 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 377 52357, e-mail: rytis.skominas@vdu.lt

Vilma NAUJOKIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedros docentas. Adresas: Studentų g. 15a, LT-53362 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52357, el. paštas: vilma.naujokiene@vdu.lt

Vilma NAUJOKIENĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, assoc. prof. Address: Studentų str. 15a, LT-53362 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 377 52357, e-mail: vilma.naujokiene@vdu.lt

ANGLIES DINAMIKOS KOEFICIENTŲ VERTINIMAS LIETUVOS DIRVOŽEMIUOSE

Gediminas Zdanavičius, Žygimantas Kidikas, Rytis Skominas, Vilma Naujokienė, Egidijus Šarauskis

Vytauto Didžiojo universitetas

Norint tiksliai nustatyti šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) šaltinius ir švelninti klimato kaitą, labai svarbu suprasti mineralinių dirvožemių anglies dinamiką auginamuose pasėliuose. Tarpvyriausybės klimato kaitos komisijos (IPCC) metodikoje, žemės naudojimo koeficientas (FLU) parodo galutinę kiekybinę anglies emisijų ir absorbcijų sumą, kuri priklauso nuo ilgalaikių ūkyje taikomų praktikų. Šiuo tyrimu buvo siekiama palyginti 1-osios pakopos, kurioje naudojamos IPCC metodikoje numatytosios vertės, prognozuojamą tikslumą su IPCC metodikos 2-ąja pakopa, kurioje naudojami specifiniai regiono duomenys, siekiant tiksliau įvertinti FLU koeficientus. Atlikdami vieno regiono ūkio laukų dirvožemio stebėjimus ir esamų duomenų analizę, nustatėme, kad 2-osios pakopos sukurti FLU įverčiai dažnai skiriasi nuo 1-osios pakopos numatytųjų verčių, o tai atskleidžia galimą dirvožemio anglies atsargų nuvertinimą arba pervertinimą, kai remiamasi tik apibendrintomis ar rekomendacinėmis vertėmis. Žemės ūkio pasėlių, klimato, dirvožemio tipo ir valdymo praktikos skirtumai lemia dirvožemio anglies srautus, todėl reikalingi konkretaus regiono arba idealiu atveju – individualizuoti vertinimo metodai. Nors įgyvendinant 2-ąją pakopą reikalingi papildomi išteklių ir duomenys, tai leidžia tiksliau įvertinti ŠESD emisijas. Tyrimo rezultatai rodo, kad, įvertinus 2-osios pakopos duomenis, galima patikimiau vykdyti anglies srautų apskaitą ūkio atžvilgiu. Pateikiamos rekomendacijos, kaip turėtų būti pritaikyti IPCC metodikos 3-iosios pakopos duomenų rinkiniai, siekiant maksimaliai patikslinti FLU įverčius, taip pereinant prie tiksliausios anglies srautų apskaitos.

Raktiniai žodžiai: žemės naudojimo faktoriai, ŠESD emisijos, FLU koeficientai.

Įvadas

Mineraliniai dirvožemiai vaidina svarbų vaidmenį pasaulinėje anglies apykaitoje, nes kaupia didelę dalį organinės anglies, turinčios įtakos dirvožemio derlingumui ir klimato kaitai (Bogužas et al., 2017). Auginamuose pasėliuose anglies dinamika priklauso nuo įvairių veiksnių, tokių kaip žemės dirbimo būdai, augalų rotacija, organinių ir mineralinių trąšų naudojimas bei klimato sąlygos (Žukaitis, 2021). Intensyvi žemdirbystė dažnai sukelia organinės anglies nuostolius dėl oksidacijos ir erozijos, tuo tarpu konservacinės žemdirbystės metodai, pavyzdžiui, neariminė žemdirbystė ir augalinių liekanų įterpimas, gali padėti išsaugoti anglies atsargas dirvožemyje (Feizienė et al., 2012).

Dirvožemio mikroorganizmų veikla yra esminis veiksnys organinės medžiagos mineralizacijos ir anglies stabilizacijos procesuose, turintis tiesioginį poveikį dirvožemio sveikatai ir produktyvumui (Tripolskaja, 2010). Siekiant užtikrinti tvarią anglies sekvestraciją mineraliniuose dirvožemiuose, būtina taikyti kompleksinius dirvožemio valdymo sprendimus, optimizuojančius anglies kaupimą ir mažinančius emisijas į atmosferą (Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centras, 2017).

Anglies dinamikos koeficientai yra svarbūs rodikliai, leidžiantys įvertinti organinės ir neorganinės anglies kaupimosi, mineralizacijos bei emisijos procesus įvairiose ekosistemose. Šie koeficientai padeda nustatyti anglies balansą dirvožemyje, atmosferoje ir augalinėje biomasėje, o jų reikšmės priklauso nuo tokių veiksnių kaip klimatas, dirvožemio tipas, žemės naudojimo būdai bei organinės medžiagos įterpimas (Lal, 2004).

F_{LU} (*Factor for Land Use*) koeficientas naudojamas Tarpvyriausybės klimato kaitos komisijos (IPCC) gairėse, siekiant įvertinti dirvožemio organinės anglies sancaupų pokyčius dėl žemės naudojimo (IPCC, 2006). Šis koeficientas atspindi, kaip skirtingos žemės naudojimo praktikos, tokios kaip ariamoji žemdirbystė, pievos ar miškai, veikia organinės anglies kiekį dirvožemyje (Smith et al., 2008).

Pagal 2006 m. IPCC gaires, F_{LU} koeficientas naudojamas kartu su kitais, tokiais kaip F_{MG} (*management factor*) ir F_I (*input factor*), siekiant apskaičiuoti bendrą organinės anglies sancaupų pokytį dirvožemyje (Lugato et al., 2018). Ariamoje žemėje, priklausomai nuo tvarkymo praktikos ir organinių medžiagų įterpimo, F_{LU} koeficientas gali skirtis, atspindėdamas specifinį žemės naudojimo poveikį anglies kiekio dinamikai (Paustian et al., 2016).

Lietuvos kaimo plėtros 2014–2020 metų programos vertinimo ataskaitoje nurodoma, kad F_{LU} koeficientas ariamai žemei, išskyrus sodus ir uogynus, yra 0,69 (Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centras, 2019). Ši reikšmė rodo, kad tokio tipo žemės naudojimas lemia organinės anglies sancaupų mažėjimą dirvožemyje. Tuo tarpu pievų ir ganyklų F_{LU} koeficientas yra 1, kas reiškia, kad toks žemės naudojimas padeda išlaikyti arba net padidinti organinės anglies kiekį dirvožemyje (Smith et al., 2019).

Teisingas F_{LU} koeficientų taikymas leidžia tiksliai vertinti žemės naudojimo poveikį anglies balansui ir planuoti tvarias žemės ūkio bei miškų valdymo strategijas, siekiant mažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas ir stabdyti klimato kaitą (Poeplau & Don, 2013).

Tyrimų metodika

IPCC 1-os ir 2-os pakopų skaičiavimų metodika. Vadovaujantis IPCC metodika (IPCC, 2006a), CO_2 emisijų iš mineralinių dirvožemių vertinimas grindžiamas dviem esminėmis prielaidomis. Pirmoji prielaida teigia, kad metinis organinės anglies atsargų (ΔSOC) pokytis per inventorizacijos laikotarpį lygus skirtumui tarp organinės anglies atsargų (SOC) pradžioje ($0-t$) ir pabaigoje (0), padalytam iš D , t. y. atsargų pokyčio koeficientų laiko priklausomybės faktoriaus (1 lygtis). Antroji prielaida numato, jog organinės anglies atsargų pokyčiai atsiranda dėl žemės naudojimo ir valdymo pokyčių konkrečiose klimato bei dirvožemio sąlygose. Apibrėžtai valdymo sistemai organinės anglies atsargų kiekis laiko momentu t lygus atskaitinių anglies atsargų (SOC_R), atsargų pokyčio koeficientų (F) ir tos pačios klimato, dirvožemio bei valdymo sąlygas atitinkančio ploto (A) sandaugai (2 lygtis). Atsargų pokyčio koeficientas apibrėžiamas kaip santykinis dirvožemio organinės anglies pokytis, lyginant su pradiniu SOC lygiu per fiksuotą laiko tarpą D , apibrėžiantį laiką tarp dviejų pusiausvyros būsenų – iki ir po valdymo sistemos pokyčio. Šis koeficientas yra žemės naudojimo, žemės dirbimo ir anglies įnašo (C įnešimo) įtakų sandauga, t. y. $F = F_{LU} \times F_{MG} \times F_I$.

$$\Delta SOC = \frac{SOC_{(0)} - SOC_{(0-t)}}{D}, \quad (1)$$

čia ΔSOC – organinės anglies atsargos, tonos C metai⁻¹;

SOC_0 – dirvožemio organinės anglies atsargos paskutiniaisiais inventorizacijos metais, tonos C metai⁻¹;

$SOC_{(0-t)}$ – dirvožemio organinės anglies atsargos inventorizacijos pradžioje, tonos C metai⁻¹;

D – atsargų kitimo faktorių priklausomybė nuo laiko, kuris yra numatytasis laikotarpis perėjimui tarp pusiausvyros SOC verčių, m. Laikotarpis – 20 metų, bet priklauso nuo prielaidų, padarytų skaičiuojant koeficientus F_{LU} , F_{MG} ir F_I . Jei T viršija D , naudojama T reikšmė, kad būtų gaunamas metinis pokyčio rodiklis per inventorizacijos laikotarpį ($0-t$ metai).

$$SOC_{(t)} = SOC_R \times F \times A_{(t)}, \quad (2)$$

čia $SOC_{(t)}$ – organinės anglies atsargos, tonos C ;

SOC_R – referencinės organinės anglies atsargos, tonos C ha⁻¹;

F – dirvožemio atsargų pokyčio koeficientas, lygus $F_{LU} \times F_{MG} \times F_I$. F_{LU} žemės naudojimo sistemų arba tam tikros paskirties žemės posistemų atsargų kitimo koeficientas, be matmenų. F_{MG} atsargų kitimo koeficientas valdymo režimui, be matmenų. F_I atsargų kitimo koeficientas, įvestas organinės medžiagos, be matmenų.

$A_{(t)}$ – vertinamo sluoksnio žemės plotas, ha. Visa sluoksnio žemė turi turėti bendras biofizines sąlygas (t. y. klimatą ir dirvožemio tipą) ir tvarkymo istoriją inventorizacijos laikotarpiu, kad būtų galima analizuoti kartu.

Tiek (1), tiek (2) lygtis gali būti taikomos abiem – tiek 1-oios (Tier 1), tiek 2-osios (Tier 2) – pakopų lygiams, tačiau gali skirtis atskaitinių anglies atsargų reikšmės, atsargų pokyčio koeficientai, šių koeficientų laiko priklausomybės rodiklis (D) bei tai, kaip apibrėžiamos valdymo sistemos, klimato regionai ir dirvožemio tipai. 1-ojo lygio (Tier 1) metodikoje IPCC gairėse pateikiami pasaulio klimato regionai, dirvožemio tipai ir žemės naudojimo bei valdymo veiksniai, o standartinė D reikšmė yra 20 metų (IPCC, 2006a; 2006b). 2-ojo lygio (Tier 2) metodikoje, norint nustatyti konkrečios šalies ar regiono valdymo sąlygoms būdingas C atsargas ir atsargų pokyčio koeficientus, vadovaujamasi detalesniais vietiniais duomenimis.

Dirvožemio tyrimų metodika. Tiriamieji darbai vyko Lietuvos pietrytinėje dalyje, Šalčininkų rajono savivaldybėje, Didžiųjų Baušių kaime, UAB Baušų ūkyje (koordinatės pagal LKS-94: X: 6022360, Y: 593987). Ūkio bendras dirbamos žemės plotas siekia 740 ha, kurį sudaro 32 atskiri laukai. Mišrus ūkis.

Šio ūkio dirbamos žemės, kaip ir visa Lietuvos teritorija, priskiriama vidutinių platumų šaltai drėgnajai klimato juostai. Regionui būdingos vėsios ir drėgnos vidutinio klimato sąlygos, pasižyminčios aiškiais temperatūros svyravimais tarp metų laikų: žiemos – šaltos, o vasaros – šiltos (IPCC, 2019). Vidutinis metinis kritulių kiekis siekia 600–700 mm. Žiemą oro temperatūra dažniausiai svyruoja nuo -5 iki -10 °C, vasarą – apie +17–19 °C.

Remiantis Valstybės žemės fondo dirvožemių žemėlapiu duomenimis, Šalčininkų rajone vyrauja palvažemiai ir balkšvažemiai dirvožemiai, priskiriami mažai derlingųjų kategorijai (Valstybės žemės fondas, 2023). Pagal Tarpvyriausybines klimato kaitos komisijos (IPCC, 2019) metodiką, šio regiono dirvožemiai laikomi priemėliais, pasižyminčiais nedideliu organinės medžiagos kiekiu ir ribotomis derlingumo galimybėmis (IPCC, 2019).

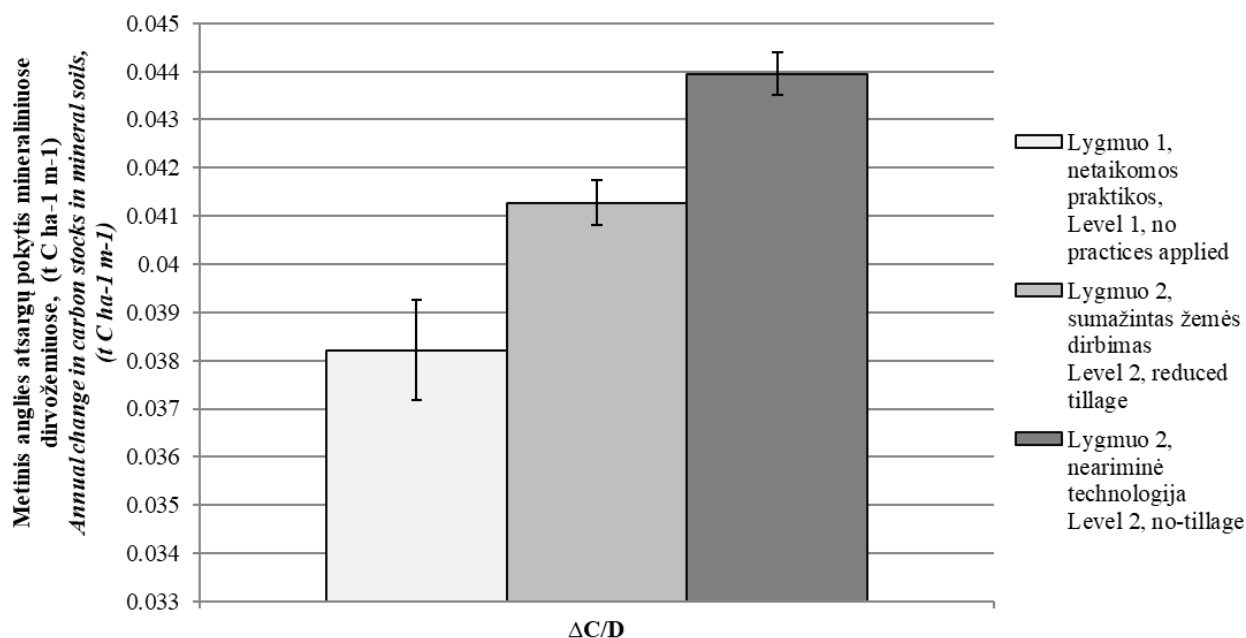
Mėginių ėmimas tęsiasi nuo liepos iki lapkričio pabaigos. Per šį laikotarpį iš skirtingų lauko vietų ir granuliometrinių zonų reguliariai buvo renkami dirvožemio mėginiai augalininkystės plotuose. Mėginiams imti naudotas specialus dirvožemio mėginių paėmimo grąžtas „Wintex 1000“, tvirtinamas prie visureigio automobilio. Operatoriai, naudodamiesi kompiuterine įranga, realiuoju laiku stebėjo tiriamų laukų ribas, planuojamas mėginių ėmimo zonas ir lauko granuliometrinę dirvožemio sudėtį (programinė įranga „Next Farming“). Tai užtikrina tikslesnį mėginių paėmimą iš numatytų vietų. Vieną jungtinį dirvožemio mėginį sudarė 15–20 ėminių iš vienos granuliometrinės sudėties zonos. Ėminiai paimti važiuojant W formos trajektorija, kad būtų tolygiai aprėpiamas tiriamas plotas. Dirvožemio mėginiai ištirti Vokietijos laboratorijoje „AGROLAB Agrarzentrum GmbH“. Tyrimai atlikti pagal CAL (*Ca-Acetate-Lactate*) metodą, nustatant: i) dirvožemio organinės anglies (DOA) pagal DIN EN 15936:2012; ii) granuliometrinę dirvožemio sudėtį.

Rezultatai ir aptarimas

Šiame tyrime buvo analizuojami mineraliniai dirvožemiai, kurie istoriškai ($D > 20$ metų) visada priklausė ariamajai žemės ūkio žemei.

Tyrimų apimtis – 740,02 ha plotas, suskirstytas į 32 laukus. Iš viso paimti 175 dirvožemio mėginiai. Pagal gautus rezultatus, DOM (dirvožemių organinės medžiagos) vidurkis yra $4,58 \pm 0,45$ %, o DOA kiekis – $2,65 \pm 0,26$ %. Šie rodikliai rodo dirvožemio organinių medžiagų ir organinės anglies kiekį, o tinkamas jų lygis gali pagerinti struktūrą, drėgmės sulaikymą bei augalų mitybą (Gerke, 2022). Nepaisant to, smėlio dirvožemiai paprastai turi mažą organinės anglies kiekį, nes geba minimaliai išlaikyti organines medžiagas. Mokslininko Xu (Xu ir kt., 2019) tirtu regiono smėlio dirvožemiuose buvo mažiau nei 4 % DOA, o tai riboja jų derlingumą ir bendrą sveikatą.

Standartinis $DOA_{ref}(0)$ dydis pasirinktas pagal IPCC rekomendaciją priesmėlio dirvožemiams – 71 t C ha^{-1} . Atlikta rezultatų prognozė rodo (2 lentelė), kad taikant neariminę technologiją, pagal IPCC duomenų bazę pirmam ir antram lygmeniui, gali būti papildomas anglies kaupimas dirvožemyje, palyginti su tradiciniu ar supaprastintu žemės dirbimu. Dirvožemio atsargų pokyčio koeficientas organinės medžiagos įnešimui vidutinis $F_1 = 1$, kai nuėmus derlių augalinės liekanos paliekamos dirbamuose laukuose. Nustatyta, kad, pakeitus tradicinio dirbimo praktiką į sumažinto dirbimo (angl. *Reduced tillage*) ir neariminį dirbimą (angl. *No-tillage*) visame ūkyje, atitinkamai būtų sekvestruojama papildomai 2,26 ir 4,24 t anglies. Per metus netaikant žemės dirbimo praktikų sukaupiama $\sim 0,0382 \text{ t C ha}^{-1}$, taikant sumažintą žemės dirbimo praktiką – $\sim 0,0413 \text{ t C ha}^{-1}$, taikant neariminės technologijos dirbimo praktiką – $\sim 0,0440 \text{ t C ha}^{-1}$ (1 pav.).



1 pav. Metinė dirvožemio organinės (DOA) anglies atsargų kitimo prognozė

Fig. 1. Annual forecast of soil organic carbon (SOC) stock changes

Įvertinimas rodo 7,41 % ir atitinkamai 13,04 % metinį organinės anglies prieaugį laukuose, lyginant su ariminiu žemės dirbimu. Žemės dirbimo metodai, sėjomaina ir ekologinių pakeitimų taikymas daro didelę įtaką DOA atsargoms. Naudojant įprastines žemės dirbimo sistemas, DOA lygis paprastai būna mažesnis, palyginti su beariminio arba sumažinto dirbimo praktika (1 lentelė).

1 lentelė. Metinio anglies atsargų pokyčio prognozės mineraliniuose dirvožemiuose (apskaitos plotas 740 ha, žemės naudojimo kategorija -CL, 20 m. apskaitos laikotarpis)

Table 1. Annual carbon stock change forecast in mineral soils (accounting area 740 ha, land use category -CL, 20 year accounting period)

Ataskaitinių metų subkategorijos <i>Reporting year subcategories</i>	Anglies atsargos paskutiniiais apskaitos laikotarpio metais <i>Carbon stocks in the final year of the accounting period</i>	Anglies atsargos apskaitos laikotarpio pradžioje <i>Carbon stocks at the beginning of the accounting period</i>	Anglies atsargų pokyčio koeficientas žemės naudojimo sistemai arba posistemai <i>Carbon stock change factor for the land use system or subsystem</i>	Atsargų pokyčio koeficientas valdymo režimui <i>Carbon stock change factor for the management regime</i>	Anglies atsargų pokyčio koeficientas organinės medžiagos įnešimui <i>Carbon stock change factor for organic matter input</i>	Metinis anglies atsargų pokytis mineraliniuose dirvožemiuose, bendras plotas <i>Annual carbon stock change in mineral soils, total area</i>	Metinis anglies atsargų pokytis mineraliniuose dirvožemiuose <i>Annual carbon stock change in mineral soils</i>
	(t C ha ⁻¹)	(t C ha ⁻¹)	(-)	(-)	(-)	(t C m ⁻¹) (t C y ⁻¹)	(t C ha ⁻¹ m ⁻¹) (t C ha ⁻¹ y ⁻¹)
	DOA _{ref(0)}	DOA _{ref(0-T)}	F _{LU}	F _{MG}	F _I	ΔC	ΔC _{/metai} ΔC _{/year}
Lygmuo 1, netaikomos praktikos <i>Level 1, practices not applied</i>	71	69.892	0.69	1	1	28.281	0.0382
Lygmuo 2, sumažintas žemės dirbimas <i>Level 2, reduced tillage</i>	71	69.892	0.69	1.08	1	30.543	0.0413
Lygmuo 2, neariminė technologija <i>Level 2, no-till</i>	71	69.892	0.69	1.15	1	32.523	0.0440

Žemės dirbimas gali sumažinti DOA maždaug 2–15 %, palyginti su tausojančiais žemės dirbimo metodais (Morais ir kt., 2019; Ogle ir kt., 2005). Wiesmeier ir kt. parodo, kaip derinant 1 ir 2 pakopų metodus galima tiksliau įvertinti DOA sekvestracijos potencialą įvairiose ekosistemose, kai kurie žemės ūkio dirvožemiai gali turėti daug nepanaudotų anglies saugojimo pajėgumų, o tai rodo politinių intervencijų, skirtų dirvožemiui tvarkyti, potencialą (Wiesmeier ir kt., 2014). Alcántara ir kt. nustatė, kad gilaus arimo praktika gali pagerinti dirvožemio organinių medžiagų kaupimąsi, o tai rodo galimas DOA valdymo naujoves konkrečiai smėlinguose dirvožemiuose (Alcántara ir kt., 2016). Tai pabrėžia lokalizuoto (2-osios pakopos) duomenų rinkimo būtinybę, siekiant pagerinti valdymo strategijų veiksmingumą.

Išvados

1. Tirtų dirvožemių organinės medžiagos (DOM) ir organinės anglies (DOA) kiekiai rodo, kad dabartinės dirvožemio savybės yra pakankamos, tačiau būtina atkreipti dėmesį į tolesnį anglies kaupimo skatinimą.
2. Palyginus 1-ojo lygmens metodiką netaikant jokių praktikų su 2-ojo lygmens įdiegtomis supaprastinto žemės dirbimo ir tiesioginės sėjos praktikomis, gauti papildomi dirvožemio anglies kiekiai visame ūkyje.
3. IPCC 1 pakopos metodika suteikia pagrindinį DOA kaupimo įvertinimą, kuris yra paprastas ir taikomas įvairiuose kontekstuose, tačiau trūksta specifiškumo, reikalingo tikslams regioniniams ir konkrečioms vietovėms skirtiems vertinimams. 2 pakopos metodika sumažina neapibrėžtumą ir apima vietos dirvožemio valdymo praktiką, aplinkos veiksnius, todėl pateikiamos tikslios prognozės, kurios pagerina sprendimų priėmimą dėl dirvožemio anglies valdymo. Taikant abiejų metodų derinį, ypač kai duomenų nedaug, mokslininkai ir politikos formuotojai gali suderinti bendras prognozes ir lokalizuotų duomenų naudą, siekiant nacionaliniu ar globaliu mastu pritaikyti kokybišką ir atskaitingą anglies kreditų apskaitą.

Padėka

Šis darbas buvo atliktas kaip „LIFE22-GIC-LT-GFarm for LIFE“ projekto dalis. Projektas finansuotas Europos Sąjungos LIFE programos lėšomis pagal Dotacijos sutartį Nr. 101112894.

Literatūra

1. Alcántara, V., Don, A., Well, R., & Nieder, R. (2016). Deep ploughing increases agricultural soil organic matter stocks. *Global Change Biology*, 22(8), 2939–2956. <https://doi.org/10.1111/GCB.13289>
2. Bogužas, V., Kairytė, A., & Marcinkevičienė, A. (2017). Ilgalaikės augalų kaitos derinių, monokultūrų ir pūdymų poveikis augalų ir dirvožemio derlingumui bei CO₂ emisijai. Aleksandro Stulginskio universitetas.
3. Feizienė, D., Feiza, V., & Slepčienė, A. (2012). Skirtingos žemėnaudos dirvožemių bendrosios anglies ir CO₂ emisijos tyrimai. Vilniaus Gedimino technikos universitetas.
4. Gerke, J. (2022). The Central Role of Soil Organic Matter in Soil Fertility and Carbon Storage. *Soil Systems*, 6(2), 33. <https://doi.org/10.3390/SOILSYSTEMS6020033>
5. IPCC. (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol. 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Intergovernmental Panel on Climate Change.
6. Lal, R. (2004). Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. *Science*, 304(5677), 1623–1627.
7. Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centras. (2017). Augalų produktyvumo ir maisto medžiagų išteklių potencialo efektyvus realizavimas siekiant tvaraus gamybos intensyvinimo ir optimalaus maisto medžiagų cirkuliavimo pakitusio klimato sąlygomis.
8. Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centras. (2019). Lietuvos kaimo plėtros 2014–2020 metų programos įtakos klimato kaitai vertinimas.
9. Lugato, E., Panagos, P., Bampa, F., Jones, A., & Montanarella, L. (2018). A new baseline of organic carbon stock in European agricultural soils using a modelling approach. *Global Change Biology*, 24(2), 614–626.
10. Morais, T. G., Teixeira, R. F. M., & Domingos, T. (2019). Detailed global modelling of soil organic carbon in cropland, grassland and forest soils. *PLOS ONE*, 14(9), e0222604. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0222604>
11. Ogle, S. M., Breidt, F. J., & Paustian, K. (2005). Agricultural management impacts on soil organic carbon storage under moist and dry climatic conditions of temperate and tropical regions. *Biogeochemistry*, 72(1), 87–121. <https://doi.org/10.1007/S10533-004-0360-2/METRICS>
12. Paustian, K., Lehmann, J., Ogle, S., Reay, D., Robertson, G. P., & Smith, P. (2016). Climate-smart soils. *Nature*, 532(7597), 49–57.
13. Poeplau, C., & Don, A. (2013). Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops – A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 200, 33–41.
14. Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H. H., Kumar, P., Smith, J. (2008). Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1492), 789–813.
15. Smith, P., Soussana, J. F., Angers, D., Schipper, L., Ogle, S., & Lal, R. (2019). How to measure, report and verify soil carbon change to realize the potential of soil carbon sequestration for atmospheric greenhouse gas removal. *Global Change Biology*, 26(1), 219–241.
16. Tripolskaja, L. (2010). Organinių ir mineralinių junginių migracija ir transformacija dirvožemyje. Vytauto Didžiojo universitetas.
17. Wiesmeier, M., Hübner, R., Spörlein, P., Geuß, U., Hangen, E., Reischl, A., Schilling, B., von Lützow, M., & Kögel-Knabner, I. (2014). Carbon sequestration potential of soils in southeast Germany derived from stable soil organic carbon saturation. *Global Change Biology*, 20(2), 653–665. <https://doi.org/10.1111/GCB.12384>
18. Xu, N., Bhadha, J. H., Rabbany, A., & Swanson, S. (2019). Soil Health Assessment of Two Regenerative Farming Practices on Sandy Soils. *Sustainable Agriculture Research*, 8(4), 61. <https://doi.org/10.5539/SAR.V8N4P61>
19. Žukaitis, T. (2021). Skirtingų žemės dirbimo sistemų įtaka dirvožemio organinei angliai ir azotui. Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centras.

Gediminas Zdanavičius, Žygimantas Kidikas, Rytis Skominas, Vilma Naujokienė, Egidijus Šarauskis**Assessment of Carbon Dynamics Coefficients in Lithuanian Soils**

Understanding the dynamics of mineral soil carbon in cultivated crops is essential for accurately identifying greenhouse gas (GHG) sources and mitigating climate change. In the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) methodology, the land use factor (FLU) represents the final quantitative sum of carbon emissions and removals that depends on long-term agricultural practices. This study aimed to compare the predictive accuracy of Tier 1, which uses default IPCC values, with IPCC Tier 2, which uses region-specific data to more accurately estimate FLU factors. Through soil observations of farm fields in one region and analysis of existing data, we found that Tier 2 FLU estimates often differ from Tier 1 default values, revealing potential underestimation or overestimation of soil carbon stocks when only generalized or guideline values are used. In the case of agricultural crops, differences in climate, soil type and management practices determine soil carbon flows, and therefore require region-specific or ideally individualized assessment methods. Although implementing Tier 2 requires additional resources and data, it allows for more accurate estimates of GHG emissions. The results of the study show that by evaluating Tier 2 data, it is possible to more reliably account for carbon flows in relation to the farm.

Keywords: Land use factors, GHG emissions, FLU coefficients.

Gauta 2025 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2025 m. balandžio mėn.

Gediminas ZDANAVIČIUS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedros magistrantas. Adresas: Studentų g. 15a, LT-53362 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52357, el. paštas: gediminas.zdanavičius@stud.vdu.lt

Gediminas ZDANAVIČIUS. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, master student. Address: Studentų str. 15a, LT-53362 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 377 52357, e-mail: gediminas.zdanavičius@stud.vdu.lt

Žygimantas KIDIKAS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedros doktorantas. Adresas: Studentų g. 15a, LT-53362 Akademija, Kauno r., tel. +370 37 752357, el. paštas: zygimantas.kidikas@vdu.lt

Žygimantas KIDIKAS. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, PhD. Address: Studentų str. 15a, LT-53362 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 377 52357, e-mail: zygimantas.kidikas@vdu.lt

Rytis SKOMINAS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Inžinerijos fakulteto Vandens inžinerijos katedros docentas. Adresas: Studentų g. 15a, LT-53362 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52357, el. paštas: rytis.skominas@vdu.lt

Rytis SKOMINAS. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Water Engineering, assoc. prof. Address: Studentų str. 15a, LT-53362 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 377 52357, e-mail: rytis.skominas@vdu.lt

Vilma NAUJOKIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedros docentas. Adresas: Studentų g. 15a, LT-53362 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52357, el. paštas: vilma.naujokiene@vdu.lt

Vilma NAUJOKIENĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, assoc. prof. Address: Studentų str. 15a, LT-53362 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 377 52357, e-mail: vilma.naujokiene@vdu.lt

Egidijus ŠARAUSKIS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedros profesorius. Adresas: Studentų g. 15a, LT-53362 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52357, el. paštas: egidijus.sarauskis@vdu.lt

Egidijus ŠARAUSKIS. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, prof. Address: Studentų str. 15a, LT-53362 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 377 52357, e-mail: egidijus.sarauskis@vdu.lt

PALYGINAMASIS DOBILŲ SĖKLŲ IŠBARSTYMO Į ŽIEMINIŲ KVIEČIŲ PASĖLĮ, NAUDOJANT DRONĄ IR TRAKTORINĮ TRĄŠŲ BARSTYTUVĄ, TYRIMAS

Aurimas Vitkus, Dainius Steponavičius, Jonas Balčiūnas

Vytauto Didžiojo universitetas

Šio tyrimo tikslas – atlikti palyginamąjį dobilų sėklų išbarstymo dronu ir traktoriniu mineralinių trąšų barstytuvu į žieminių kviečių pasėlį tyrimą. Dobilų *Arimaičiai* sėja į žieminius kviečius *Bright* buvo atlikta 2024 m. liepos 3 d. Dobilų sėklų norma – 25 kg ha⁻¹. Dobilai įsėti dviem skirtingais būdais: dronu XAG P100 su „RevoCast 2“ išsėjimo sistema ir pakabinamu dvidiskiu mineralinių trąšų barstytuvu „Rauch Axis 30.1 W“. Tyrimų metu dronas skrido 36 km h⁻¹ greičiu 2,5 m aukštyje ir sėklas barstė 4 metrų darbiniam plotyje. Mineralinių trąšų barstytuvu 12 m pločio ruožas buvo užsėtas vienu pravažiuoju, 14 km h⁻¹ greičiu. Barstant trąšų barstytuvu, dobilų sėklos buvo sumaišytos su smėliu santykiu 1:3. Tyrimais nustatyta, kad sėjant dobilų sėklas dronu galima gauti 5,95 ± 0,23 t ha⁻¹, o sėjant barstytuvu – apie 19 % didesnę (4,84 ± 0,48 t ha⁻¹) sausųjų medžiagų kiekį. Taikant šį sėjos būdą, lauko dalių sėtų dronu sausųjų medžiagų variacijos koeficientas siekė 7 %, o sėjant barstytuvu – 18 %. Dronu sėtuose lauko ruožuose dobilų šaknų biomasė siekė 477 ± 18 g m⁻², o sėtuose barstytuvu – apie 20 % mažesnė – 380 ± 44 g m⁻². Atsižvelgiant į gautą didesnę dobilų biomasės derlių ir tolygesnį pasėlį, galima teigti, kad dobilų įsėjimui į žieminius kviečius (apie mėnesį prieš jų derliaus nuėmimą) tikslinga naudoti sėjos dronus.

Raktiniai žodžiai: žieminiai kviečiai, tarpiniai augalai, pasėlio tolygumas, derlius.

Įvadas

Šiuo metu žemės ūkyje vis plačiau taikomas tarpinių pasėlių auginimas nuėmus derlių. Tarpinių augalų potencialas gerinti dirvožemio kokybę buvo stebėtas atskirose šalyse įvairių augalų auginimo technologijose. Teigiama, kad minėti tarpiniai pasėliai gerina dirvožemio organinių medžiagų, fizikinių, cheminių ir biologinių savybių rodiklius (Adetunji et al., 2020). Sainju ir kt. (2006) teigė, kad jie sėjami ne tik siekiant palaikyti dirvožemio sveikatą, bet ir ekosistemų stabilumą. Be kita ko, šie augalai padeda sumažinti vandens ir vėjo erozijos įtaką, sulaiko vandenį dirvožemyje ir slopina piktžolių augimą (Sharma et al., 2018). Tarpinių augalų sėklos dažnai sėjamos sėjamosiomis arba įterpiamos žemę įdirbant diskiniiais ar noraginiais skutikais (Brennan, Leap, 2014). Tarpinių augalų sėklos gali būti išbarstomos ir trąšų barstytuvais iš karto po derliaus nuėmimo ar net įrenginiais, primontuotais prie javų kombaino derliaus dorojimo metu. Siekiant taupyti resursus, rekomenduojama tarpinius pasėlius įsėti į augančius augalus prieš jų derliaus dorojimą (New Machines..., 2014). Šiai sėjai pastaruoju metu vis plačiau naudojami bepiločiai orlaiviai (dronai). Ši technologija turi daug privalumų (Kientzy et al., 2023), tačiau sėjos dronų taikymo potencialas žemės ūkyje dar nėra iki galo ištirtas. Kadangi sėjos dronais technologija dar gana nauja, ir mokslinių tyrimų dar nėra daug. Pagrindiniai tyrimų tikslai būtų pagrįsti optimalius technologinius parametrus, tokius kaip drono skridimo aukštis, greitis ir vėjo įtaka, siekiant užtikrinti tikslų sėklų barstymą bei ekonominę grąžą. Anksčiau pasėti ir greičiau sudygę tarpiniai pasėliai, tikėtina, labiau praturtintų dirvožemį maisto medžiagomis.

Tyrimo tikslas – atlikti palyginamąjį dobilų sėklų (įsėlio) išbarstymo dronu ir traktoriniu mineralinių trąšų barstytuvu į žieminių kviečių pasėlį tyrimą.

Tyrimų metodika

Sėjos tyrimai buvo atlikti 2024 m. liepos 3 d. 21.00–23.00 val. V. Vitkaus ūkyje Jonaičių kaime, Telšių rajone. Vėjo greitis svyravo apie 1,5 m s⁻¹, temperatūra – apie 20 °C. Tyrimų lauko dirvožemis – smėlingas priemolis, koordinatės: 55°59'40.7"N, 22°23'57.0"E. Jame augo *Bright* („Sejet“, Danija) veislės vidutinio ankstyvumo žieminiai kviečiai. Į šį žieminių kviečių lauką buvo įsėtos vėlyvos diploidinės raudonųjų dobilų veislės, sukurtos Lietuvos žemdirbystės institute, dobilų *Arimaičiai* sėklos. Tyrimams buvo parinkta 25 kg ha⁻¹ dobilų sėklų norma. Dobilai į žieminius kviečius įsėti dviem skirtingais būdais: dronu XAG P100 su „RevoCast 2“ išsėjimo sistema (1 pav.) ir pakabinamu dvidiskiu mineralinių trąšų barstytuvu „Rauch Axis 30.1 W“, kuris buvo prijungtas prie traktoriaus „Claas Ares 657 ATZ“ (2 pav.). Prieš atliekant tyrimą, abiejų įrenginių sėklų išsėjimo norma buvo tikrinama ant ištiestos polietilininės plėvelės.



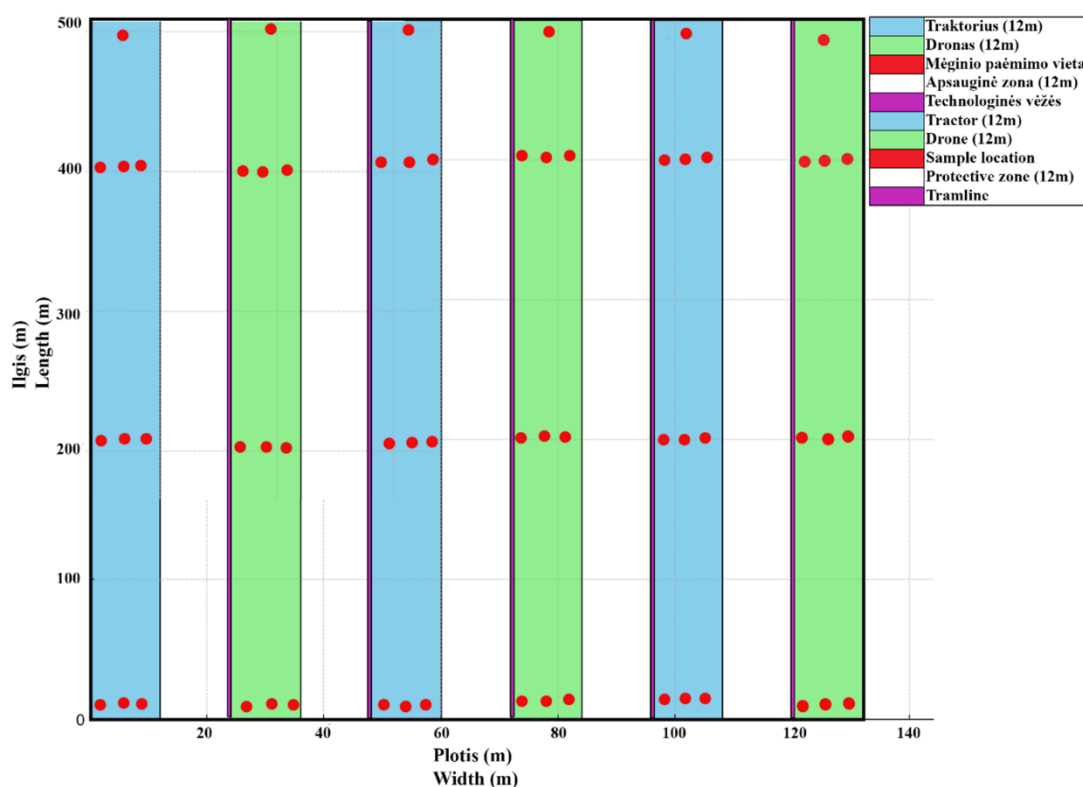
1 pav. Dronas XAG P100

Fig. 1. Drone XAG P100

2 pav. Traktorius „Claas Ares 657 ATZ“ ir „Rauch Axis 30.1 W“

Fig. 2. Tractor Claas Ares 657 ATZ and Rauch Axis 30.1 W

Tyrimų laukas (140×500 m) buvo suskirstytas į vienuolika 12 m pločio ir 500 m ilgio ruožų (3 pav.). Dobilų sėklos buvo įsėjamos dronu arba trąšų barstytuvu kas ketvirtame ruože, nes tarp tyrimo ruožų buvo paliekami 12 m pločio apsauginiai ruožai. Tyrimų metu dronas skrido 36 km h^{-1} greičiu 2,5 m aukštyje ir sėklas barstė 4 m darbiniam plotyje. Taigi vienam 12 m pločio ruožui apsėti dronas turėjo atlikti tris gretimus skrydžius. Mineralinių trąšų barstytuvu 12 m pločio ruožas buvo užsėtas vienu pravažiuoimu. Traktoriaumi buvo važiuojama 14 km h^{-1} greičiu technologinėmis vėžėmis (lauke esančiomis kas 24 m), uždarius sėklų tiekimą ant vieno iš diskų. Kadangi dabilų sėklos yra labai smulkios, siekiant užtikrinti tikslesnę sėklų pasiskirstymą, barstant trąšų barstytuvu, jos buvo sumaišytos su smėliu santykiu 1:3. Kviečių grūdų derlius buvo nuimtas javų kombainu „Claas Lexion 6800“ su pjaunamąja „Vario 930“ 2024 m. rugpjūčio 4 d., paliekant 15 cm aukščio ražieną.

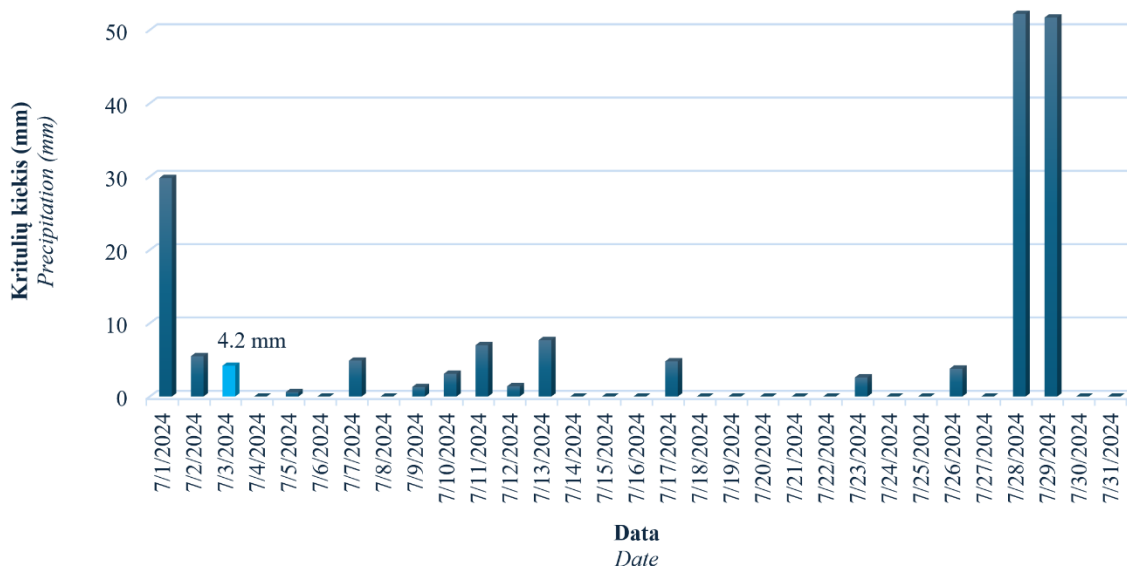


3 pav. Tyrimų lauko schema

Fig. 3. Schematic of the conducted experiment

Tyrimo pabaigoje 2024 m. lapkričio 19 d. buvo paimti dabilų mėginiai. Iš kiekvieno ruožo buvo paimta po 10 ėminių. Jie imti iš $0,25 \text{ m}^2$ plotelių, naudojant 50×50 cm rėmelį. Kiekviename 12 m ruože rėmelis buvo dedamas jo viduryje ir kairėje bei dešinėje pusėje (po 5 m nuo vidurio). Atskirai buvo nustatomas dabilų skaičius ploto vienetu, antžeminės ir požeminės (šaknų) augalų dalies drėgnis, sausųjų medžiagų ir bendra masė. Dobilų drėgnis ir sausųjų medžiagų dalis nustatyti dabilus džiovinant 24 val. specialioje džiovykloje, 105°C temperatūroje. Bandymai buvo kartojami tris kartus. Apskaičiuoti aritmetiniai vidurkiai ir jų pasikliauties intervalai (taikant 95 % tikimybę) bei variacijos koeficientai.

Įsėlio sudygimui ypač svarbus kritulių kiekis, kuris sąlygoja dirvožemio drėgmę ir vandens prieinamumą augalams. Per visą 2024 m. liepos mėnesį iškrito 180,8 mm kritulių (4 pav.). Palankias sąlygas įsėlio sudygimui užtikrino tai, kad prieš sėją (07.03) lijo (per tris paras iškrito apie 40 mm kritulių).

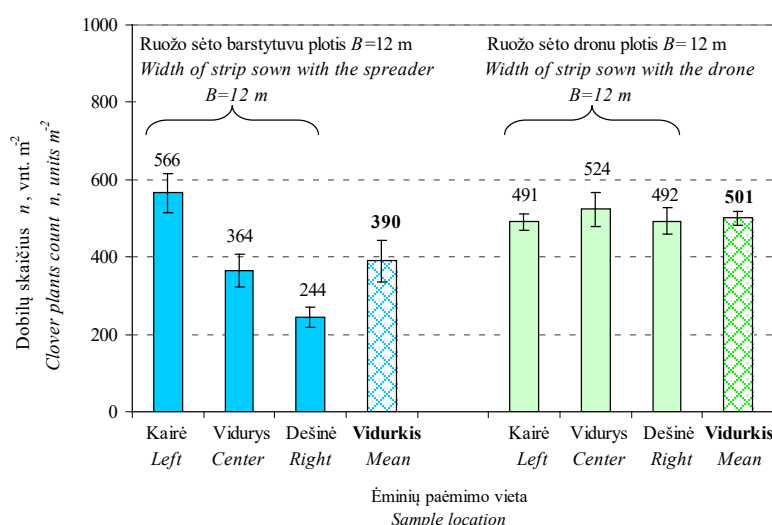


4 pav. Krituliai 2024 m. liepos mėn. (šaltinis: Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba. Laukuva, 2024)

Fig 4. Precipitation in July 2024 (Source: Lithuanian Hydrometeorological Service. Laukuva, 2024)

Rezultatai ir aptarimas

Praėjus trims su puse mėnesio po dobilų įsėlio sėjos, tyrimo ėminių paėmimo vietose (3 pav.) buvo nustatytas dobilų augalų skaičius (vnt. m^{-2}). Pastebėta, kad 12 m pločio ruožuose jis nebuvo vienodas (5 pav.). Rezultatai parodė, kad barstytuvu sėtuose ruožuose dobilų pasiskirstymas buvo ženkliai netolygesnis (variacijos koeficientas $V = 37\%$) nei sėtuose dronu ($V = 10\%$). Dronu sėtuose ruožuose daugiausia dobilų augo kairėje 566 ± 51 vnt. m^{-2} , o mažiausiai – dešinėje – 244 ± 27 vnt. m^{-2} pusėje (vidutiniškai 390 ± 54 vnt. m^{-2}). Tuo tarpu dronu sėtuose ruožuose dobilų skaičius visose vietose kito nuo 491 ± 22 iki 524 ± 44 vnt. m^{-2} . Tai rodo, kad drono sėjos metodas užtikrino vienodesnę dobilų sėklų pasiskirstymą sėjos plotyje nei naudojant barstytuvą. Smulkios dobilų sėklos, nors ir sumaišytos su smėliu, nebuvo pakankamai gerai numetamos virš 10 m nuo barstytuvo. Apskaičiavus dobilų kiekį, augantį viename hektare, nustatyta, kad barstytuvu sėtuose ruožuose dobilų augo $3,90 \pm 0,54$ mln. vnt. m^{-2} , o dronu sėtuose – apie 22 % daugiau, t. y. $5,01 \pm 0,18$ mln. vnt. m^{-2} .

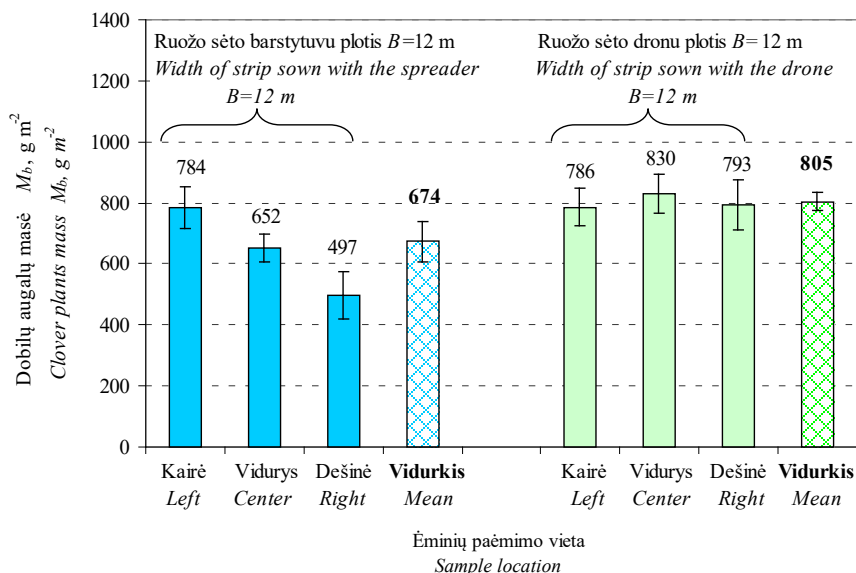


5 pav. Dobilų sėklų sėjos būdo įtaka dobilų augalų skaičiui n , vnt. m^{-2}

Fig. 5. Influence of clover sowing method on the density of clover plants n , units m^{-2}

Grafikas (6 pav.) iliustruoja dobilų augalų masės pasiskirstymą ($g\ m^{-2}$) skirtingose vietose, kur buvo sėta barstytuvu ir dronu. Rezultatai rodo, kad barstytuvu sėtuose ruožuose augalų masė (antžeminės dalies kartu su

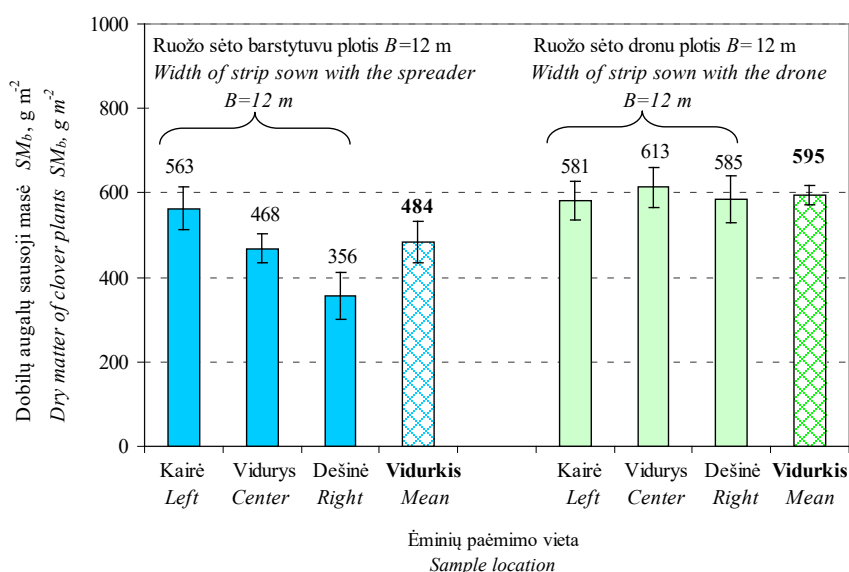
šaknimis) buvo mažesnė ir pasiskirstė netolygiai: kairėje ji siekė $784 \pm 69 \text{ g m}^{-2}$, viduryje – $652 \pm 46 \text{ g m}^{-2}$, o dešinėje mažiausiai – $497 \pm 78 \text{ g m}^{-2}$, vidutiniškai sudarydama $674 \pm 67 \text{ g m}^{-2}$ (iš jų antžeminė dalis $275 \pm 19 \text{ g m}^{-2}$, šaknų – $380 \pm 44 \text{ g m}^{-2}$). Tuo tarpu dronu sėtuose ruožuose augalų masė buvo ne tik apie 16 % didesnė, bet ir tolygesnė. Šiuose sėjos ruožuose skaitinės reikšmės svyravo nuo 786 iki 830 g m^{-2} , o vidurkis siekė $805 \pm 31 \text{ g m}^{-2}$ (iš jų antžeminė dalis $324 \pm 16 \text{ g m}^{-2}$, šaknų – $477 \pm 18 \text{ g m}^{-2}$). Šie duomenys patvirtina teiginį, kad sėjant dronu buvo pasiekta vienodesnė ir didesnė dobilų biomasė, kas gali prisidėti prie efektyvesnio augalų augimo ir produktyvesnių pasėlių.



6 pav. Dobilų sėklų sėjos būdo įtaka dobilų augalų bendrai augalų masei M_b , g m^{-2}

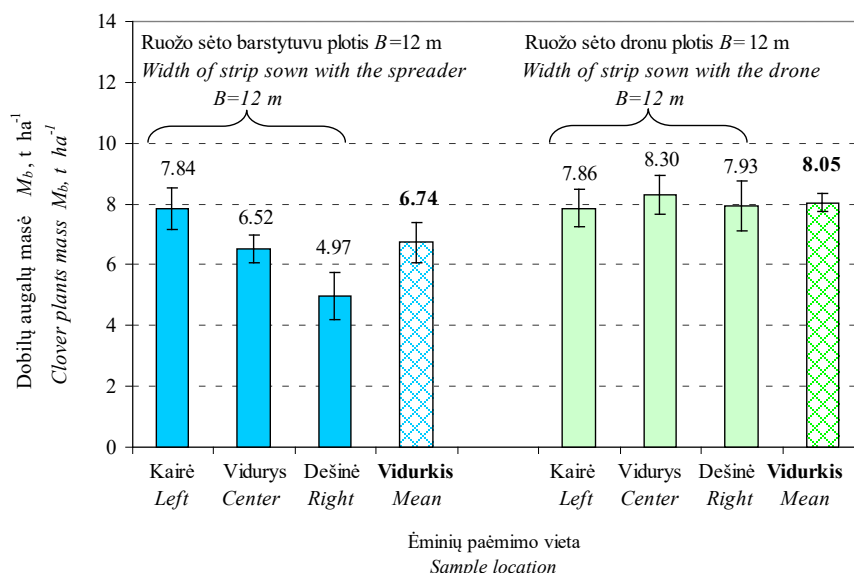
Fig. 6. Influence of sowing method of clover seeds on the clover plants mass M_b , g m^{-2}

Prieš apskaičiuojant dobilų sausųjų medžiagų dalį buvo nustatytas atskirų augalo dalių (antžeminės dalies ir šaknų) drėgnis. Dronu sėtų dobilų šaknų drėgnis siekė $27,3 \pm 5,1 \%$, o antžeminės dalies – $29,5 \pm 5,0 \%$, sėtų barstytuvu atitinkamai $24,0 \pm 5,1 \%$ ir $30,0 \pm 5,5 \%$. Tyrimų duomenys rodo (7 pav.), kad barstytuvu sėtuose ruožuose sausosios masės kiekis buvo apie 19 % mažesnis, sudarė vidutiniškai $484 \pm 48 \text{ g m}^{-2}$ (iš jų antžeminė dalis $194 \pm 14 \text{ g m}^{-2}$, šaknų – $276 \pm 32 \text{ g m}^{-2}$), nei sėtuose dronu – $595 \pm 23 \text{ g m}^{-2}$ (iš jų antžeminė dalis $227 \pm 12 \text{ g m}^{-2}$, šaknų – $365 \pm 14 \text{ g m}^{-2}$). Taigi, sėjant dobilų sėklas dronu, galima gauti $5,95 \pm 0,23 \text{ t ha}^{-1}$, o sėjant barstytuvu – $4,84 \pm 0,48 \text{ t ha}^{-1}$ sausųjų medžiagų. Be to, sėjant dronu užtikrinamas tolygesnis pasėlis. Taikant šį sėjos būdą, sausųjų medžiagų variacijos koeficientas siekė 7 %, o sėjant barstytuvu – 18 %.



7 pav. Dobilų sėklų sėjos būdo įtaka dobilų augalų bendrai sausųjų medžiagų masei SM_b , g m^{-2}

Fig. 7. Influence of sowing method of clover seeds on the dry matter of clover plants SM_b , g m^{-2}



8 pav. Dobilų sėklų sėjos būdo įtaka dobilų augalų bendrai augalų masei M_b , $t\ ha^{-1}$

Fig. 8. Influence of sowing method of clover seeds on the clover plants mass M_b , $t\ ha^{-1}$

Tyrimų rezultatai apibendrinti 8 pav., kuris iliustruoja dobilų derliaus ($t\ ha^{-1}$), t. y. augalų masės, pasiskirstymą skirtingose tyrimų lauko vietose, kur dobilai buvo įšėti barstytuvu ir dronu. Rezultatai parodė, kad barstytuvu sėtuose ruožuose dobilų derlius buvo mažesnis ir pasiskirstė ne visai tolygiai: kairėje jis siekė $7,84 \pm 0,69\ t\ ha^{-1}$, viduryje – $6,52 \pm 0,46\ t\ ha^{-1}$, o dešinėje mažiausiai – $4,97 \pm 0,78\ t\ ha^{-1}$. Vidutinis derlius siekė $6,74 \pm 0,67\ t\ ha^{-1}$. Tuo tarpu dronu sėtuose ruožuose augalų derlius buvo ne tik 16 % didesnis, bet ir pasėlis tolygesnis. Derliaus reikšmės svyravo nuo $7,86 \pm 0,60$ iki $8,30 \pm 0,65\ t\ ha^{-1}$, o vidurkis siekė $8,05 \pm 0,31\ t\ ha^{-1}$. Šie duomenys patvirtina, kad sėjimo dronu būdas sąlygojo ne tik tolygesnį tarpinių augalų pasėlį, bet ir didesnį jų biomasės derlių.

Išvados

1. Tyrimais nustatyta, kad, sėjant dobilų sėklas dronu, galima gauti $5,95 \pm 0,23\ t\ ha^{-1}$, o sėjant barstytuvu – apie 19 % mažesnę ($4,84 \pm 0,48\ t\ ha^{-1}$) sausųjų medžiagų kiekį. Be to, sėjant dronu užtikrinamas tolygesnis pasėlis, kas gali lemti efektyvesnį išteklių, tokių kaip vandens, šviesos ir maistinių medžiagų, panaudojimą. Taikant šį sėjos būdą, lauko dalių, sėtų dronu, sausųjų medžiagų variacijos koeficientas siekė 7 %, o sėjant barstytuvu – 18 %.
2. Dronu sėtuose lauko ruožuose dobilų šaknų biomasė siekė $477 \pm 18\ g\ m^{-2}$, o sėtuose barstytuvu buvo apie 20 % mažesnė – $380 \pm 44\ g\ m^{-2}$. Didesnė šaknų masė gerina dirvožemio aeraciją bei prisideda prie organinių medžiagų kaupimosi.
3. Atsižvelgus į gautą didesnį tarpinių augalų (dobilų) biomasės derlių ir tolygesnį pasėlį, galima teigti, kad dobilų įšėti į žieminius kviečius (apie mėnesį prieš jų derliaus nuėmimą) tikslinga naudoti sėjos dronus.

Literatūra

1. Adetunji, A. T., Ncube, B., Mulidzi, R., Lewu, F. B. (2020). Management impact and benefit of cover crops on soil quality: A review. *Soil and Tillage Research*, 204, 104717, 1–11.
2. Brennan, E. B., Leap, J. E. (2014). A comparison of drill and broadcast methods for establishing cover crops on beds. *HortScience*, 49(4), 441–447.
3. Kientzy, D., Milhollin, R., Ellis, C., Massey, R. (2023). Understanding equipment management for planting cover crops. *Journal of Soil and Water Conservation*, 78(6), 113A–117A.
4. Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba. (2024). *Laukuvos AMS meteorologiniai duomenys 2024 m. liepos mėn.* https://archyvas.meteo.lt/?station=laukuvos-ams&start_date=2024-07-03&end_date=2024-07-31&meteo-form= (žiūrėta 2025-03-05).
5. New machines do your no-till, cover crop bidding. (2014). <https://www.covercropstrategies.com/articles/29-new-machines-do-your-no-till-cover-crop-bidding> (žiūrėta 2025-03-05).

6. Sainju, U. M., Lenssen, A. W., Caesar-TonThat, T., Evans, R. G. (2006). Tillage and Cropping Sequence Effects on Dryland Soil and Residue Carbon and Nitrogen. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 37(11–12), 1505–1521. <https://doi.org/10.1081/css-100104110>
7. Sharma, P., Singh, A., Kahlon, C. S., Brar, A. S., Grover, K. K., Dia, M., Steiner, R. L. (2018). The role of cover crops towards sustainable soil health and agriculture—A review paper. *American Journal of Plant Sciences*, 9(9), p. 1935–1951.

Aurimas Vitkus, prof. dr. Dainius Steponavičius, Jonas Balčiūnas

A Comparative Study on the Spreading of Clover Seed in A Winter Wheat Crop by Drone and Tractor Fertiliser Spreader

The aim of this research was to conduct a comparative study on the application of clover seed by drone and tractor mineral fertiliser spreader to a winter wheat crop. Clover Arimaičiai sowing into winter wheat Bright was carried out on 3 July 2024 at a clover seed rate of 25 kg ha⁻¹. The clover was sown by two different methods: a XAG P100 drone with RevoCast 2 system and a Rauch Axis 30.1 W twin disc mineral fertiliser spreader. The drone flew at a speed of 36 km h⁻¹ at an altitude of 2.5 m and spread the seed over a working width of 4 m. The mineral fertiliser spreader was used to cover a 12 m wide strip in one pass at a speed of 14 km h⁻¹. The clover seeds were mixed with sand in a 1:3 ratio when spreading with the fertiliser spreader. The results showed that sowing clover seeds by drone yielded 5.95±0.23 t ha⁻¹, while sowing with a spreader yielded about 19% lower dry matter (4.84±0.48 t ha⁻¹). The coefficient of variation of the dry matter of the field parts sown by drone was 7% and 18% for the spreader sown by this sowing method. The clover root biomass was 477±18 g m⁻² in the field sections sown by drone and about 20% lower in the field sections sown by spreader – 380±44 g m⁻². In view of the higher clover biomass yield and the more uniform crop, it can be concluded that the use of drones for clover incorporation into winter wheat (about one month before harvesting) is recommended.

Keywords: Winter wheat, cover crops, crop uniformity, yield.

Gauta 2025 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2025 m. balandžio mėn.

Aurimas VITKUS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedros magistrantas. Adresas: Studentų g. 15a, LT-53362 Akademija, Kauno r., tel. +370 628 10310, el. paštas: aurimas.vitkus@stud.vdu.lt

Aurimas VITKUS. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, master student. Address: Studentų str. 15a, LT-53362 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 628 10310, e-mail: aurimas.vitkus@stud.vdu.lt

Dainius STEPONAVIČIUS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedros profesorius. Adresas: Studentų g. 15a, LT-53362 Akademija, Kauno r., tel. +370 674 27721, el. paštas: Dainius.Steponavicius@vdu.lt

Dainius STEPONAVIČIUS. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, professor. Address: Studentų str. 15a, LT-53362 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 674 27721 e-mail: Dainius.Steponavicius@vdu.lt

Jonas BALČIŪNAS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedros doktorantas. Adresas: Studentų g. 15a, LT-53362 Akademija, Kauno r., +370 630 86542, el. paštas: jonas.balciunas2@vdu.lt

Jonas BALČIŪNAS. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, PhD student. Address: Studentų str. 15a, LT-53362 Akademija, Kaunas r., tel. +370 630 86542, jonas.balciunas2@vdu.lt

ŽEMĖS DIRBIMO KINTAMU GYLIU ĮTAKA DIRVOŽEMIO DRĖGNIUI IR KIETUMUI

Armandas Andriuška, Simas Sokas, Sidona Buragienė, Marius Kazlauskas, Indrė Bručienė, Egidijus Šarauskis

Vytauto Didžiojo universitetas

Naujos išmaniosios technologijos vis sparčiau žengia į žemės ūkio sektorių. Kuriamos ir tobulinamos žemės dirbimo technologijos, kurios leidžia mažinti energijos išteklių naudojimą, gamybos savikainą ir neigiamą poveikį aplinkai. Žemės dirbimas kintamu gyliu yra inovatyvus metodas, kuris dar mažai tirtas. Šio darbo tikslas buvo ištirti žemės dirbimo kintamu gyliu technologinės operacijos įtaką dirvožemio drėgniui ir kietumui ir palyginti su pastovaus gylio žemės dirbimu. Eksperimentiniai žemės dirbimo tyrimai, naudojant kombinuotą daugiafunkcį skutiklį, atlikti pagal lauko dirvožemio tariamojo elektrinio laidumo žemėlapi, taikant 4 skirtingus žemės dirbimo gylius (10, 14, 18 ir 25 cm) bei kontrolę (15 cm). Nustatyta, kad žemės dirbimo gylis turi įtakos dirvožemio drėgniui ir kietumui. Viršutiniame dirvožemio sluoksnyje (0–10 cm) 3 iš 5 zonų drėgnis didėjo, o giliausiame (20–30 cm) 4 iš 5 zonų – mažėjo. Dirvožemio kietumas, esant visiems kintamo gylio žemės dirbimams, išskyrus 25 cm, viršutiniame sluoksnyje padidėjo. Tam įtakos turėjo kombinuoto skutiklio gale esančio volo darbo proceso ypatumai dirbant kintamu gyliu.

Raktiniai žodžiai: žemės dirbimas, gylis, dirvožemio fizikinės savybės, lauko zona, skutiklis.

Įvadas

Kintamo gylio žemės dirbimas (VDT) gali būti pripažįstamas kaip labai svarbi žemės ūkio praktika, turinti įtakos dirvožemio sveikatai, pasėlių derliui ir išteklių valdymui. VDT svarba pirmiausia kyla dėl jos gebėjimo pritaikyti žemės dirbimo gylį prie specifinių dirvožemio sąlygų, kurios gali labai skirtis tame pačiame lauke.

Pagrindinis VDT aspektas yra jo gebėjimas sušvelninti žalingą sutankėjusių sluoksnių poveikį dirvožemyje, kurie riboja šaknų išsiskverbimą ir vandens judėjimą, taip sumažindami pasėlių augimo potencialą, ypač sausringu laikotarpiu (Fox, 2018). Tyrimai rodo, kad taikydami tokius žemės dirbimo gylius, kurie veiksmingai suardo šias sutankėjusias dalis, ūkininkai gali žymiai pagerinti augalų šaknų skverbimąsi į gilesnius, daugiau išteklių turinčius dirvožemio sluoksnius ir taip pagerinti bendrą pasėlių būklę (Wang ir kt., 2023; Marshall ir kt., 2016). Kiti autoriai (Lamidi ir kt., 2021) pažymėjo, kad žemės dirbimo gylis tiesiogiai įtakoja vandens išsiskverbimo greitį, tai yra gilesnis žemės dirbimas lemia didesnę vandens prasiskverbimą ir geresnę drėgmės prieinamumą pasėliams.

Kitas ne mažiau svarbus VDT aspektas yra jo vaidmuo energijos sunaudojimo efektyvumui ir tvarumui. Meselhy (2021) pabrėžė, kad vienodo gylio žemės dirbimas gali būti neefektyvus suardant sutankėjusius sluoksnius (jeigu per sekliai) arba sunaudojant daug degalų (jeigu per giliai). Kadangi žemės ūkio veikla vis labiau vertinama dėl jų poveikio aplinkai, VDT yra tvaresnis pasirinkimas, nes gali sumažinti energijos sąnaudas ir pagerinti degalų efektyvumą dirbant su traktoriais (Šarauskis ir kt., 2024). Tai ypač svarbu atsižvelgiant į didėjančias žemės ūkio gamybos sąnaudas ir poveikį aplinkai.

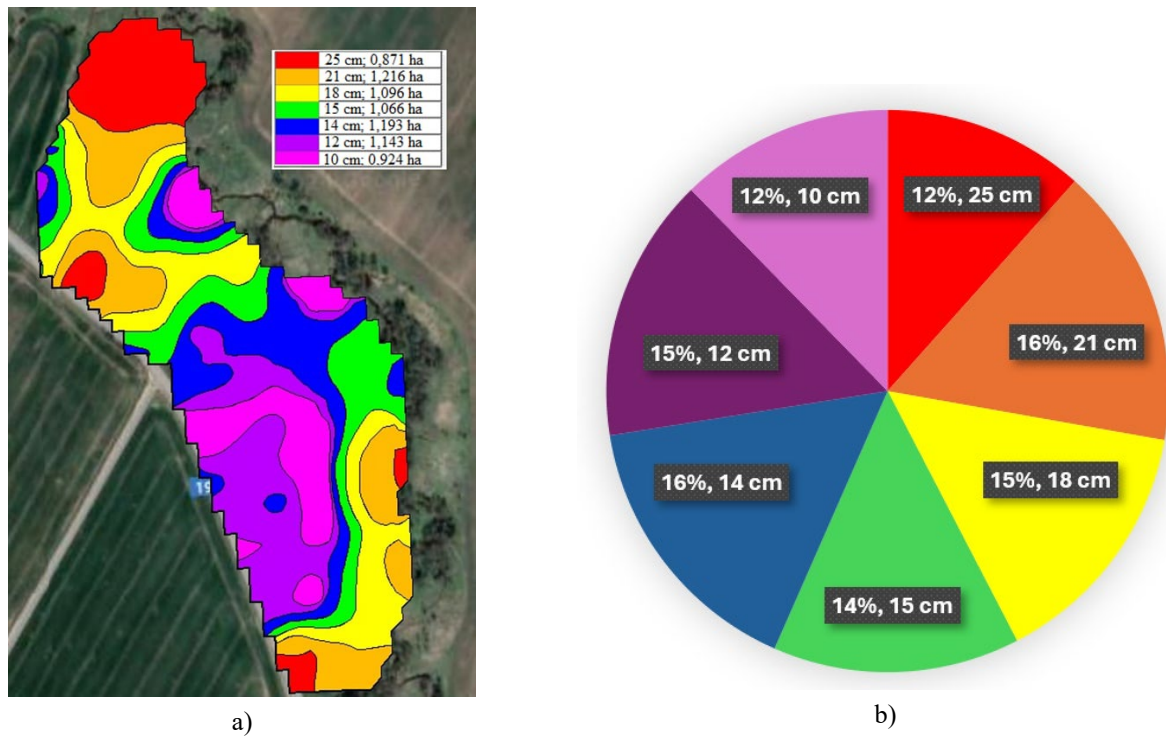
VDT yra gana naujas technologinis procesas, atliktas mažai tyrimų, parodančių VDT įtaką dirvožemio fizikinėms savybėms, todėl šio mokslinio tyrimo tikslas buvo ištirti kintamo gylio žemės dirbimo metodo įtaką dirvožemio kietumui ir drėgniui.

Tyrimų metodika

Eksperimentiniai lauko tyrimai buvo atlikti 2024 m. rugsėjo mėnesį Kauno rajono Kačergių kaime, lauko koordinatės – 55°09'20.0"N 23°53'32.4"E. Tyrimai pradėti po pupų derliaus nuėmimo.

Naudojant bekontaktį elektrinio laidumo matavimo prietaisą *EM38-MK2*, kurio veikimas pagrįstas elektromagnetinės indukcijos principu, buvo atliktas viso lauko skenavimas (Petsetidi ir Kargas, 2023). Tariamojo elektrinio laidumo (ECa) duomenys buvo apdoroti kompiuterine programa *SMS v21_5* ir sugeneruotas viso lauko skirtingo žemės dirbimo gylio 7 zonų žemėlapis (1 pav. a). Visų žemės dirbimo zonų plotai pasiskirstė labai panašiai (1 pav., b), kas rodo, kad pasirinkto lauko dirvožemis pasižymi įvairiomis fizikinėmis savybėmis ir puikiai tinka žemės dirbimo kintamu gyliu tyrimams.

Siekiant labiau atspindėti dirvožemio skirtumus, kintamam žemės dirbimui buvo pasirinkti 4 gyliai. Kontrolei buvo naudojamas pastovaus gylio žemės dirbimas – 15 cm gylis. Naudojant elektroninį *Eijkelkamp* kietmatį (PENETROLOGGER) (Nyderlandai) (2 pav. a), prieš žemės dirbimą kiekvienoje zonoje buvo atlikti dirvožemio kietumo matavimai 5 pakartojimais. Išmatuoti duomenys buvo įrašomi į matuoklio duomenų kaupiklį bei juos perkėlus į kompiuterį, statistškai apdoroti.



1 pav. a) Lauko kintamo žemės dirbimo gylio zonų žemėlapis, b) kintamo gylio žemės dirbimo zonų plotų pasiskirstymas lauke procentais

Fig. 1. a) Map of variable-depth tillage zones in the study field b) Percentage distribution of variable-depth tillage zone areas in the field

Dirvožemio mėginiai paimti Nekrasovo grąžtu iš 3-jų skirtingų gylių: 0–10 cm; 10–20 cm ir 20–30 cm (2 pav. b). Dirvožemio drėgnis nustatytas taikant svėrimo metodą (Maikštenienė et al., 2007).



2 pav. Dirvožemio tyrimams atlikti naudota įranga: a) kietmatis Eijkelkamp; b) dirvožemio mėginių ėmimo grąžtas

Fig. 2. Equipment used for the tests: a) Eijkelkamp (PENETROLOGGER) penetrometer and b) Nekrasov sampling drill

Važiavimo trajektorijos buvo sudaromos technologinių vėžių kryptimi, pradedant nuo ilgiausiojo lauko krašto (3 pav. a). Kintamo ir pastovaus gylio žemės dirbimo technologinės operacijos atliktos naudojant traktorių „Fendt 1050 Vario“ ir kombinuotą skutiklį „Väderstad TopDown 500“, kurio darbinis plotis 4,8 m (3 pav. b). Kiekvieną žemės dirbimo zoną sudarė 3 važiavimai, todėl kontrolės ir kintamo žemės dirbimo juostos plotis buvo 15 m.



a)



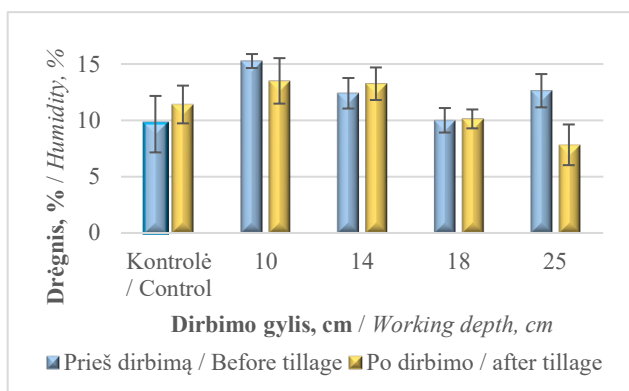
b)

3 pav. a) Kontrolės ir kintamo žemės dirbimo gylio metodai, b) žemės dirbimui atlikti naudota technika: 1 – traktorius „Fendt 1050 Vario“, 2 – kombinuotas daugiafunkcis skutiklis „Väderstad TopDown 500“

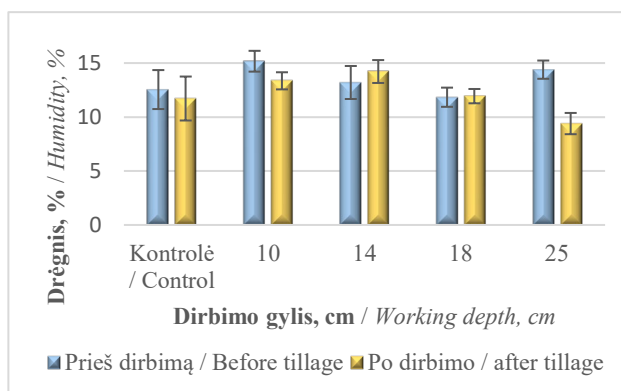
Fig. 3. a) Control and variable-depth tillage methods b) Machinery used for tillage: 1 – Fendt 1050 Vario tractor, 2 – Väderstad TopDown 500 multifunction cultivator

Rezultatai ir aptarimas

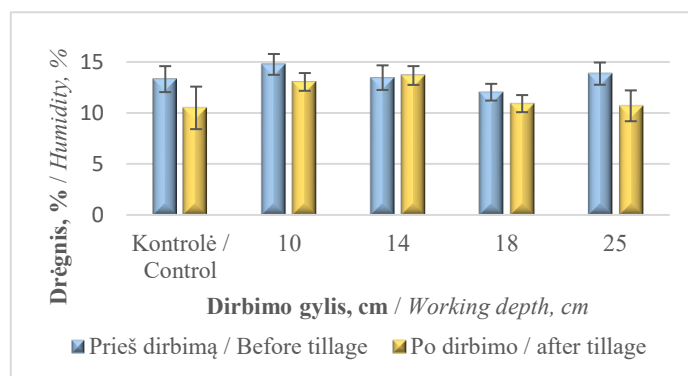
Atlikus kintamo gylio žemės dirbimo technologines operacijas ir įvertinus dirvožemio drėgnio rezultatus sekliusiame sluoksnyje 0–10 cm (4 pav., a), nustatyta, kad zonose, kuriuose buvo dirbta 14 cm, 18 cm ir kontrolėje (15 cm), drėgmės kiekis atitinkamai padidėjo 1 %, 7 % ir 18 %.



a)



b)



c)

4 pav. Dirvožemio drėgmės pokytis procentais prieš ir po skirtingų žemės dirbimo technologinių operacijų taikymo trijuose skirtinguose gyliuose: a) 0–10 cm, b) 10–20 cm, c) 20–30 cm

Fig. 4. Percentage change in soil moisture before and after application of different tillage operations at three different depths: a) 0–10 cm, b) 10–20 cm, c) 20–30 cm

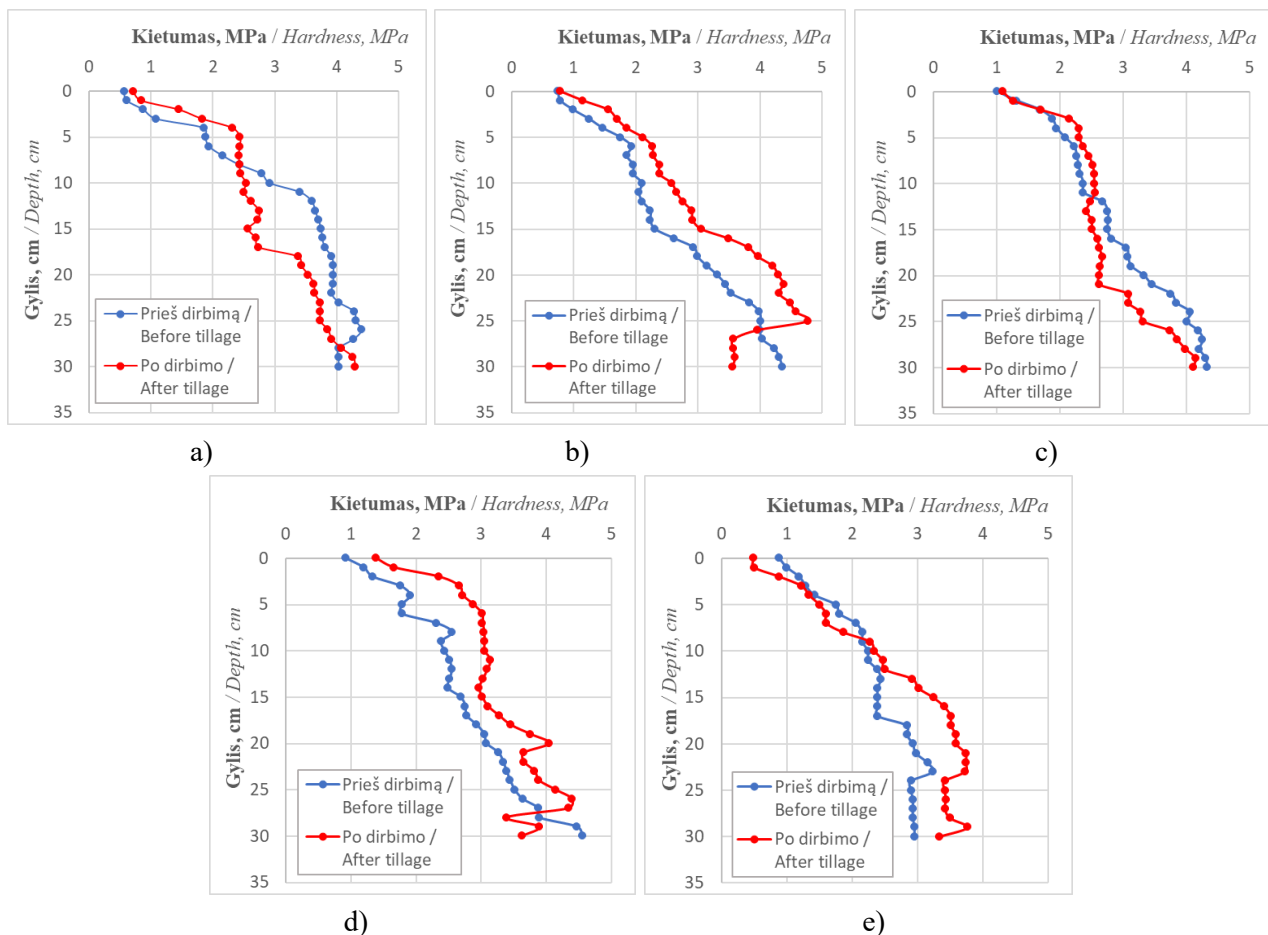
Viduriniame dirvožemio sluoksnyje 10–20 cm (4b pav.) tyrimai parodė, kad kontrolėje drėgmės kiekis po žemės dirbimo sumažėjo nuo 12,55 % iki 11,72 %, 10 cm zonoje – nuo 15,17 % iki 13,36 %, kitose 14 ir 18 cm

zonose drėgnis nežymiai padidėjo, panašiai kaip ir 0–10 cm gylio sluoksnyje. Esminis drėgnio sumažėjimas buvo gautas 25 cm sluoksnyje.

Išanalizavus 20–30 cm dirvožemio sluoksnio rezultatus, nustatyta, kad po žemės dirbimo drėgnis sumažėjo 4 zonose: 10 cm – apie 12 %, 18 cm – apie 9 %, 25 cm – apie 23 %, o kontrolėje – apie 21 % (4 pav. c). Tik zonoje, kurioje buvo dirbama 14 cm gyliu, drėgmės kiekis neesmingai padidėjo. Sumažėjusį drėgmės kiekį gilesniuose dirvožemio sluoksniuose galėjo lemti pagerėjusi vandens infiltraciją, kuomet po atlikto žemės dirbimo drėgmė pasislinko į dar gilesnius dirvožemio sluoksnius. Matoma, kad visose lauko zonose, kuriuose buvo dirbama 25 cm gyliu, po žemės dirbimo visuose sluoksniuose drėgnis esmingai sumažėjo.

Drėgnio padidėjimui įtakos gali turėti augalinės liekanos, humuso kiekis. Didėjant augalinių liekanų kiekiui, kurios sumaišomos su dirva, gali padidinti drėgnį viršutiniame dirvožemio sluoksnyje, ypač drėgnais metais (Feizienė ir Feiza, 2019).

Išanalizavus dirvožemio kietumo duomenis buvo sudaryti dirvožemio kietumo grafikai (5 pav.) Daugelyje žemės dirbimo zonų (5 pav. a, b, c, d), sekliajame dirvožemio sluoksnyje iki 10 cm, dirvožemio kietumas padidėjo. Tai lėmė tyrimų metu naudoto kombinuoto skutiklio (3 pav. b) konstrukcijoje esantis masyvus, dvigubas „U“ profilio volas, kuriam teko didžioji dalis viso padargo masės. Dirvožemyje, kuriame buvo dirbta 25 cm gyliu (5 pav. e), kietumas po dirbimo sumažėjo. Kuomet skutiklio darbinės dalys yra įgilintos labiau, gale esančiam volui tenka mažiau apkrovos, dėl to dirvos paviršius nėra slegiamas.



5 pav. Dirvožemio kietumo matavimo grafikai prieš ir po dirbimo skirtingo gylio zonose: a) kontrolė – 15 cm, b) 10 cm, c) 14 cm, d) 18 cm, e) 25 cm

Fig. 5. Soil hardness measurement graphs before and after tillage in different depth zones: a) control – 15 cm, b) 10 cm, c) 14 cm, d) 18 cm, e) 25 cm

Taikant pastovaus gylio žemės dirbimą, dirvožemio kietumas, sekliajame 0–10 cm sluoksnyje, padidėjo apie 37 %, tačiau toliau 10–30 cm gyliuose sumažėjo apie 14 %. Taikant kintamo gylio žemės dirbimo metodą, dirvožemio kietumas padidėjo vidutiniškai apie 9 %. Kuomet dirbant 14 cm ir 25 cm gyliu, tendencija buvo panaši kaip kontrolėje – 0–10 cm sluoksnyje kietumas sumažėja, o 10–30 cm – padidėja.

Padėka

Šį projektą finansavo Lietuvos mokslo taryba (LMTLT), sutarties Nr. S-MIP-24-120. Autoriai dėkingi UAB „Väderstad“ už sudarytas sąlygas vykdyti eksperimentinius tyrimus.

Išvados

1. Žemės dirbimo gylio įtakos dirvožemio drėgniui rezultatai parodė, kad viršutiniame dirvožemio sluoksnyje (0–10 cm) 3 iš 5 zonų (įskaitant ir kontrolę) drėgnis didėjo, giliausiam (20–30 cm) 4 iš 5 zonų, įsikaitant ir kontrolę, – mažėjo.
2. Zonose, kuriose buvo taikomas 25 cm gylio žemės dirbimas, po žemės dirbimo visuose tirtuose dirvožemio sluoksniuose drėgnis sumažėjo. Sumažėjusį drėgmės kiekį lėmė pagerėjusi vandens infiltracija.
3. Žemės dirbimą atlikus kintamu 25 cm gyliu, viršutiniame 10 cm gylio sluoksnyje, dirvožemio kietumas sumažėjo, o visose kitose tirtose zonose (įskaitant ir kontrolę), šiame gylyje kietumas po žemės dirbimo padidėjo. Tam įtakos turėjo žemės dirbimo metu naudoto kombinuoto skutiklio gale esantis volas, kuris dirbant sekiau suspaudė dirvos paviršių, o dirbant giliai, dėl mažesnės apkrovos, dirvos paviršių spaudė mažiau.

Literatūra

1. Feizienė, D., Feiza, V. (2019). Kiek dirvožemio savybes lemia žemės dirbimo būdas. *Mano ūkis*, 12. <https://manoukis.lt/mano-ukis-zurnalas/2019/12/kiek-dirvozemio-savybes-lemia-zemes-dirbimo-budas/>
2. Fox, J. (2018). *Real-time, variable-depth tillage for managing soil compaction in cotton production Master's thesis*. Clemson University, p. 57.
3. Lamidi, W. A., Olawumi, A. E., & Oyeranmi, T. A. (2021). Depth of tillage and its effect on field watershed size in Ejigbo zone, Osun State, Nigeria. *Rwanda Journal of Engineering, Science, Technology and Environment*, 4(1), 1–15.
4. Maikštenienė, S., Šlepetienė, A., & Masionytė, L. (2007). The effect of mouldboard nouldbo and ploughless primary soil tillage on the properties of Endocalcari-Endohypogleyic Cambisoland on energetic efficiency of agrosystems. *Žemdirbystė-Agriculture*, 94(1), 3–23.
5. Marshall, M. W., Williams, P., Nafchi, A. M., Maja, J. M., Payero, J., Mueller, J., & Khalilian, A. (2016). Influence of tillage and deep rooted cool season cover crops on soil properties, pests, and yield responses in cotton. *Open Journal of Soil Science*, 6(10), 149–158.
6. Meselhy, A. A. E. (2021). Effect of variable-depth tillage system on energy requirements for tillage operation and productivity of desert soil. *International Journal of Applied Agricultural Sciences*, 7(1), 38–49.
7. Petsetidi, P. A., Kargas, G. (2023). Assessment and mapping of soil salinity using the EM38 and EM38MK2 sensors: A focus on the modelling approaches. *Land*, 12(10), 1932. <https://doi.org/10.3390/land12101932>.
8. Šarauskis, E., Sokas, S., Rukaitė, J. (2024). Variable depth tillage: Importance, applicability, and impact – An overview. *AgriEngineering*, 6(2), 1870–1885.
9. Wang, A., Ji, X., Zhu, Y., Wang, Q., Wei, X., & Zhang, S. (2024). Tillage depth regulation system via depth measurement feedback and composite sliding mode control: A field comparison validation study. *Measurement and Control*, 57(6), 685–702.

Armandas Andriuška, Simas Sokas, Sidona Buragienė, Marius Kazlauskas, Indrė Bručienė, Egidijus Šarauskis

Influence of Variable Depth Tillage On Soil Moisture and Hardness

New smart technologies are increasingly entering the agricultural sector. Tillage technologies are being developed and improved to reduce the use of energy resources, production costs and negative environmental impacts. Variable depth tillage is an innovative method that has not been studied much. The aim of this work was to investigate the influence of variable depth tillage on soil moisture and soil hardness and to compare it with constant depth tillage. Experimental tillage studies were carried out with a combined multifunction cultivator according to the field soil apparent electrical conductivity map, using 4 different tillage depths (10, 14, 18 and 25 cm) and a control (15 cm). Tillage depth was found to affect soil moisture and soil hardness. In the upper soil layer (0–10 cm) moisture increased in 3 out of 5 zones and in the deepest layer (20–30 cm) it decreased in 4 out of 5 zones. Soil hardness increased in the upper layer for all tillage depths except 25 cm. This was influenced by the peculiarities of the operation of the roller at the rear of the combined cultivator when working at variable depth.

Keywords: Tillage, depth, soil physical properties, field zones, cultivator.

Gauta 2025 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2025 m. balandžio mėn.

Armandas ANDRIUŠKA. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedros magistrantas. Adresas: Studentų g. 15A, LT-53362 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52357, el. paštas: armandas.andriuska@vdu.lt

Armandas ANDRIUŠKA. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, master student. Address: Studentų str. 15A, LT-53362 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 37 752357, e-mail: armandas.andriuska@vdu.lt

Simas SOKAS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedros doktorantas. Adresas: Studentų g. 15A, LT-53362 Akademija, Kauno r., tel. +370 629 43574, el. paštas: simas.sokas@vdu.lt

Simas SOKAS. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety doctoral student. Address: Studentų g. 15A, LT-53362 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 629 43574, e-mail: simas.sokas@vdu.lt

Sidona BURAGIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedros vyresnioji mokslo darbuotoja. Adresas: Studentų g. 15A, LT-53362 Akademija, Kauno r. Tel. +370 37 752357, el. paštas: sidona.buragiene@gmail.com

Sidona BURAGIENĖ. Vytautas Magnus University, Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, senior research fellow. Address: Studentų g. 15A, LT-53362 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 37 752357, e-mail: sidona.buragiene@gmail.com

Marius KAZLAUSKAS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedros jaunesnysis mokslo darbuotojas. Adresas: Studentų g. 15A, LT-53362 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52357, el. paštas: marius.kazlauskas@vdu.lt

Marius KAZLAUSKAS. Vytautas Magnus University, Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, Junior Research Fellow. Address: Studentų str. 15A, LT-53362 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 377 52357, e-mail: marius.kazlauskas@vdu.lt

Indrė BRUČIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Bioekonomikos tyrimų instituto mokslo darbuotoja. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r., tel. +370 37 752357, el. paštas: indre.bruciene@vdu.lt

Indrė BRUČIENĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Bioeconomy Research Institute, Researcher. Address: Studentų str. 11, LT-53361 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 377 52357, e-mail: indre.bruciene@vdu.lt

Egidijus ŠARAUSKIS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedros profesorius. Adresas: Studentų g. 15A, LT-53362 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52357, el. paštas: egidijus.sarauskis@vdu.lt

Egidijus ŠARAUSKIS. Vytautas Magnus University, Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, professor. Address: Studentų str. 15A, LT-53362 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 377 52357, e-mail: egidijus.sarauskis@vdu.lt

DIRVOŽEMIO TANKIO IR DEGALŲ SĄNAUDŲ ĮVERTINIMAS TAIKANT KINTAMO GYLIO ŽEMĖS DIRBIMO BŪDĄ

Simas Sokas¹, Sidona Buragienė¹, Marius Kazlauskas¹, Armandas Andriuška¹,
Indrė Bručienė¹, Vilma Naujokienė¹, Abdul Mounem Mouazen^{1,2}, Egidijus Šarauskis¹

¹Vytauto Didžiojo universitetas, ²Gento universitetas

Dirvos paruošimas sėjai yra brangus, daug laiko ir degalų reikalaujantis procesas bei dėl skirtingos dirvožemio struktūros ir suslėgimo skirtumų, net ir tame pačiame lauke, šis metodas nėra visada tinkamas. Siekiant sumažinti žemės dirbimo neigiamą poveikį dirvožemiui bei aplinkai vis labiau populiarėja žemės dirbimas kintamu gyliu (VDT). Palyginamieji eksperimentiniai skirtingo žemės dirbimo gylio tyrimai buvo atlikti naudojant daugiafunkcį skutiklį, pasaulinės padėties nustatymo sistemą (GPS) ir lauko VDT žemėlapi, sudarytą pagal tariamąjį dirvožemio elektrinį laidumą (ECa). Taikant VDT metodą, gylis buvo keičiamas nuo 10 iki 25 cm bei lyginamas su pastovaus gylio žemės dirbimo metodu (UDT) – 15 cm gyliu. Mokslinio eksperimentinio tyrimo metu buvo analizuojamas dirvožemio tankis prieš ir po skirtingų žemės dirbimo metodų bei vertinamos degalų sąnaudos. Rezultatai parodė, kad taikant tinkamai parinktus VDT žemės dirbimo gylius, galima sumažinti degalų sąnaudas. VDT žemės dirbimo poveikis dirvožemio tankiui buvo teigiamas, apie 5 % mažesnis negu UDT, o tai leido išlaikyti gerą žemės dirbimo proceso kokybę.

Raktiniai žodžiai: kintamas žemės dirbimo gylis, dyzeliniai degalai, skutiklis, dirvožemio tankis.

Įvadas

Tiksloji žemdirbystė, dar vadinama tiksliuoju ūkininkavimu, yra ūkio valdymo metodas, kuomet ūkininkavimo sprendimai priimami atsižvelgiant į pagrindinius veiksnius – dirvožemio būklę, augalų poreikius, aplinkosaugą ir ekonominį efektyvumą. Tikslusis ūkininkavimas grindžiamas pažangių technologijų naudojimu. Duomenys renkami naudojant pažangiausius prietaisus bei jutiklius, duomenys apdorojami bei pritaikomi realiuoju laiku ar sudarius žemės dirbimo žemėlapius. Atliekant tikslų ūkininkavimą galima pagerinti žemės ūkio veiklos efektyvumą, našumą ir kartu mažinti neigiamą poveikį aplinkai, padėti gaminti gausesnę produkciją vis augančiam pasaulio gyventojų skaičiui ir tuo pat metu prisidėti mažinant poveikį aplinkai (Nowak 2021; Karunathilake et al., 2023).

Sprendžiant tradicinio žemės dirbimo neigiamus aspektus, kaip dideles degalų sąnaudas, intensyvių poveikį dirvožemiui bei aplinkai, o taip pat dėl kitų probleminių veiksnių, pastaraisiais metais vis dažniau pradedamas naudoti žemės dirbimas kintamu gyliu (VDT) (Wang et al., 2024; Tahmasebi et al., 2023). Šis metodas padeda spręsti dirvožemio suslėgimo problemas, kas įtakoja pasėlių augimą ir produktyvumą. Tinkamai pritaikius žemės dirbimo metodą, galima pagerinti ne tik dirvožemio struktūrą, tačiau ir sumažinti energijos sąnaudas, neigiamą ŠESD emisijų įtaką aplinkai, nesumažinant pasėlių produktyvumo. Taikant precizinį žemės dirbimą galima sulaikyti drėgmę, pagerinti dirvožemio poringumą, aeraciją bei dirvožemio mikrobiologinius pokyčius (Dong et al., 2022; Wells et al., 2005; Mathew et al., 2012).

Taikant VDT gylis tiksliai valdomas priklausomai nuo įvairių lauko zonų dirvožemio pokyčių, tokių kaip tankis, kietumas, elektrinis laidumas ir t. t. (Šarauskis, 2023; Šarauskis ir kt., 2024). Naudojant VDT ir keičiant dirvožemio fizikines savybes tik tose vietose, kur augalams augti būtinas žemės dirbimas, galima sumažinti darbo jėgos, degalų ir kitų sąnaudų poreikį (Tahmasebi et al., 2023). Kintamo gylio žemės dirbimas efektyviausiai įgyvendinamas naudojant pasaulinę padėties nustatymo sistemą (GPS) ir kintamo gylio žemėlapius, sudarytus nustačius problemines dirvožemio vietas (Khalilian et al., 2002).

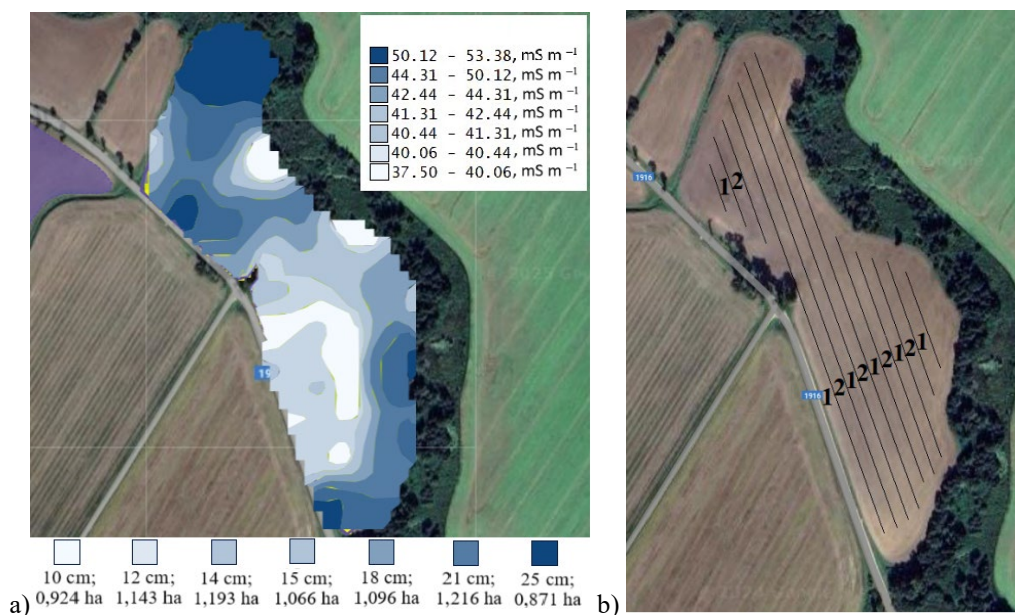
Šio darbo tikslas buvo ištirti dirvožemio tankio ir degalų sąnaudų pokyčius taikant kintamo gylio (VDT) ir pastovaus gylio (UDT) žemės dirbimo metodus.

Tyrimų metodika

Eksperimentiniai tyrimai atlikti Kauno rajone, 7 ha ploto ūkininko lauke, 55°09'20.0"N 23°53'32.4"E. Nuėmus pupų derlių buvo nustatytos pradinės dirvožemio tankio (g cm^{-3}) savybės. Žemės dirbimas buvo atliktas dviem skirtingais metodais: taikomas kintamo gylio metodas (VDT) bei tradicinis vienodo gylio žemės dirbimo metodas (UDT) kaip kontrolinis.

Po derliaus nuėmimo viso lauko tariamasis elektrinis laidumas (ECa) buvo nustatytas elektromagnetinės indukcijos dirvožemio skeneriu EM38-MK2 („Geonics Ltd.“, Mississauga, ON, Kanada). Tikslios duomenų koordinatės nustatytos naudojant „Trimble EZ-Guide 250“ („Trimble Navigation Ltd.“, Alpharetta, JAV). Gauti duomenys buvo apdoroti naudojant SMS_v21_5 („Soil Management System“) įrangą, skirta dirvožemio ir žemės ūkio duomenims tvarkyti ir analizuoti.

Apdorojus duomenis, eksperimentinis tyrimų laukas buvo suskirstytas į zonas (1 pav. a). Siekiant įvertinti dirvožemio kintamumą bei geriau parodyti skirtumus tarp zonų, taikant VDT metodą, buvo pasirinkti 4 skirtingi žemės dirbimo gyliai – 10, 14, 18 ir 25 cm. Palyginimui buvo naudojamas kontrolinis metodas, kuriame gylis – 15 cm. Dirvožemio mėginiai buvo imami Nekrasovo grąžtu prieš ir po žemės dirbimo 3 skirtinguose gyliuose – 0–10 cm, 10–20 cm bei 20–30 cm. Mėginiai imti iš 4 skirtingų zonų ir kontrolinio varianto po 3 pakartojimus. Įdirbant VDT ir UDT metodai buvo atliekami pakaitomis kas 15 m (1 pav. b).



1 pav. Lauko žemėlapiai: a) kintamo gylio žemės dirbimo žemėlapis (M 1:10 000); b) lauko metodų žemėlapis: 1 – žemės dirbimas vienodu gyliu (UDT), 2 – žemės dirbimas kintamu gyliu (VDT) (M 1:10 000)

Fig. 1. Field maps: a) Variable depth tillage map (M 1:10,000); b) Field methods map: 1 – Uniform Depth Tillage (UDT), 2 – Variable Depth Tillage (VDT) (M 1:10,000)

Žemės dirbimo tyrimams atlikti buvo naudojamas traktorius „Fendt 1050 vario“ 380 kW bei daugiafunkcis noraginis skutiklis „Väderstad TopDown 500“, kurį sudarė 12,5 cm darbinio pločio diskai ir 27 cm darbinio pločio noragai, po to lyginimo diskai ir U formos dvigubi tankinimo volai. Padargo efektyvus darbinis plotis 4,8 m, masė – 7 000 kg, palaikomas darbinis greitis 12 km h⁻¹ (2 pav.).



2 pav. Kintamo gylio žemės dirbimo daugiafunkcis skutiklis „Väderstad TopDown 500“: 1 – dirbimo diskai, 2 – noragai, 3 – lyginimo diskai, 4 – U formos dvigubi tankinimo volai

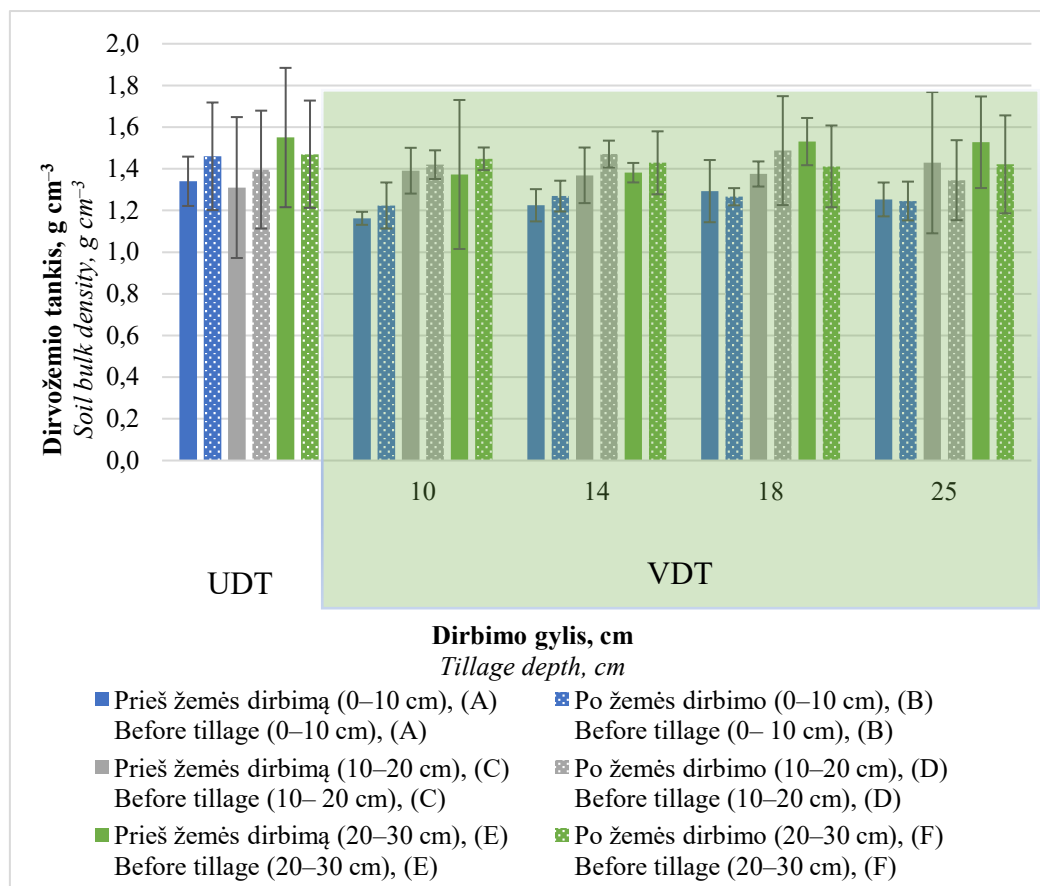
Fig. 2. Variable Depth Multifunction cultivator „Väderstad TopDown 500“: 1 – Working discs, 2 – tines, 3 – levelling discs, 4 – U-shaped double packers

Darbinis gylis buvo keičiamas naudojant „Väderstad E-Services“ sistemą. Ši sistema naudojo „Väderstad E-Control“ ir leido pagal skaitmeninį žemėlapi per ISOBUS sistemą įdirbti dirvą, o važiuojant pagal sudarytą lauko kintamumo žemėlapi – automatiškai valdyti mašinos nustatymus. „E-Control“ belaidžiu ryšiu buvo sujungta su padargu, užtikrinant visišką prieigą prie jo duomenų srauto ir funkcijų valdymo. Traktoriaus kompiuterio monitoriuje realiuoju laiku buvo rodomos ir registruojamos degalų sąnaudos vienam hektarui. Naudojant GPS ir VDT žemėlapi, monitoriuje buvo matoma žemės dirbimo vieta, gylis bei degalų sąnaudos hektarui.

Eksperimentų duomenys buvo analizuojami statistiniais metodais, įvertinant mažiausią reikšmingą skirtumą $LSD_{0,05}$ 95 % tikimybės lygmeniu.

Rezultatai ir aptarimas

Atlikus dirvožemio tankio tyrimus, nustatyta, kad sekiausiame 0–10 cm gylyje, taikant UDT kontrolės metodą, dirvožemio tankis po žemės dirbimo padidėjo apie 9 % (3 pav.), viduriniame gylyje 10–20 cm – apie 7 %, o giliausiame 20–30 cm gylyje tankis sumažėjo apie 5 %, lyginant su buvusiu prieš dirbimą. Dirbant dirvožemį VDT metodu, nustatyta, kad 0–10 cm dirvožemio sluoksnyje, didėjant žemės dirbimo gyliui, dirvožemio tankis pradėjo mažėti nuo 18 cm ir sumažėjo apie 2 %, o dirbant 25 cm gylyje – apie 1 %. Kituose dirvožemio sluoksniuose taikant VDT metodą dirvožemio tankio tendencija išliko panaši – 10–20 cm sluoksnyje tankis pradėjo mažėti dirbant 25 cm gylyje ir sumažėjo apie 6 %, o giliausiame 20–30 cm sluoksnyje dirbant 18 ir 25 cm gylyje tankis pradėjo mažėti ir sumažėjo atitinkamai apie 8 %. Lyginant abu metodus nustatyta, kad taikant VDT metodą gaunamas apie 5 % mažesnis dirvožemio tankis nei taikant UDT.



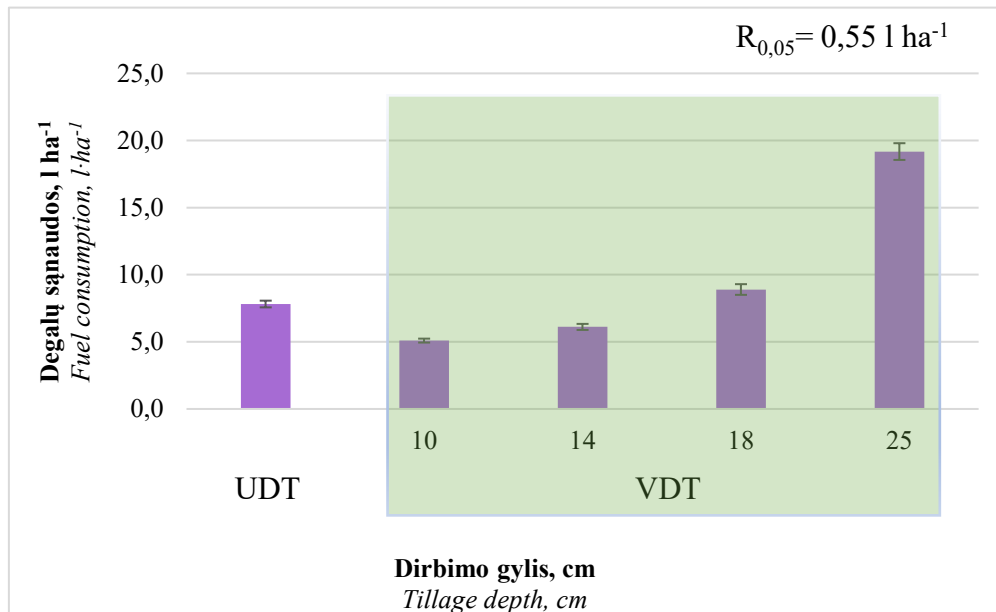
3 pav. Dirvožemio tankio pokytis prieš ir po UDT ir VDT metodų taikymo 0–10; 10–20 ir 20–30 cm gyliuose (0–10 cm – $LSD_{0,05} = 0,07 \text{ g cm}^{-3}$ (A); $LSD_{0,05} = 0,10 \text{ g cm}^{-3}$ (B); $LSD_{0,05} = 0,08 \text{ g cm}^{-3}$ (AB); 10–20 cm – $LSD_{0,05} = 0,17 \text{ g cm}^{-3}$ (C); $LSD_{0,05} = 0,14 \text{ g cm}^{-3}$ (D); $LSD_{0,05} = 0,15 \text{ g cm}^{-3}$ (CD); 20–30 cm – $LSD_{0,05} = 0,18 \text{ g cm}^{-3}$ (E); $LSD_{0,05} = 0,14 \text{ g cm}^{-3}$ (F); $LSD_{0,05} = 0,15 \text{ g cm}^{-3}$ (EF))

Fig. 3. Change in soil density before and after application of UDT and VDT methods at depths of 0–10; 10–20 and 20–30 cm (0–10 cm – $LSD_{0,05} = 0.07 \text{ g cm}^{-3}$ (A); $LSD_{0,05} = 0.10 \text{ g cm}^{-3}$ (B); $LSD_{0,05} = 0.08 \text{ g cm}^{-3}$ (AB); 10–20 cm – $LSD_{0,05} = 0.17 \text{ g cm}^{-3}$ (C); $LSD_{0,05} = 0.14 \text{ g cm}^{-3}$ (D); $LSD_{0,05} = 0.15 \text{ g cm}^{-3}$ (CD); 20–30 cm – $LSD_{0,05} = 0.18 \text{ g cm}^{-3}$ (E); $LSD_{0,05} = 0.14 \text{ g cm}^{-3}$ (F); $LSD_{0,05} = 0.15 \text{ g cm}^{-3}$ (EF))

Dirvožemio tankio rezultatai parodė, kad naudojant daugiafunkčią noraginę skutiklį, kurio konstrukcijoje keičiant padargą gale sumontuoto volo padėtį ir didinant darbinį gyliį volas mažiau spaudžia dirvą. Dirvožemio tankio kitimo tendencija visuose dirvožemio sluoksniuose buvo panaši, dirbant mažesniu 10 arba 14 cm gyliu, tankis po žemės dirbimo didėjo, o dirbant giliausiais 18 ir 25 cm gyliais – mažėjo.

Išmatavus ir įvertinus degalų sąnaudas hektarui, buvo sudaryta degalų sąnaudų stulpelinė diagrama (4 pav.). Taikant UDT metodą, vidutinės degalų sąnaudos buvo $7,32 \text{ l ha}^{-1}$. Taikant VDT metodą, degalų sąnaudos 10, 14, 18 ir 25 cm gyliuose buvo atitinkamai 5,27, 6,14, 8,98 ir $19,18 \text{ l ha}^{-1}$, vidurkis siekė $9,89 \text{ l ha}^{-1}$. Šie rezultatai parodė, kad taikant VDT metodą degalų sąnaudos buvo gautos didesnės negu UDT. Tačiau atliekant gilesnę lauko žemėlapių ir gautų tyrimų rezultatų analizę, pastebėta, kad degalų sąnaudoms stipriai

įtaką darė lauko aukščio skirtumai. Giliausios VDT zonos (25 cm) didelė ploto dalis buvo šlaite ir tai iš karto atspindėjo degalų sąnaudose, kurios buvo geroai didesnės nei VDT (18 cm) ir UDT (15 cm). 25 cm darbinis gylis skutikliui yra labai didelis gylis, kuris praktiškai nenaudojamas, todėl atmetus šį ekstremalų gylį variantą buvo gauta, kad vidutinės VDT esant 10, 14 ir 18 cm degalų sąnaudos buvo apie 6,80 l ha⁻¹ ir tai sudarė apie 7,6 % mažesnes sąnaudas negu UDT. Tyrimai rodo, kad labai svarbu pasirinkti tinkamus žemės dirbimo gylis kiekvienai lauko zonai.



4 pav. Degalų sąnaudos taikant UDT ir VDT metodus

Fig. 4. Fuel consumption using UDT and VDT methods

Meselhy (2021) tyrimuose VDT metodas buvo taikomas siekiant suardyti armens padą, kuomet dirvožemio pasipriešinimas skverbimuisi siekė 2 MPa. Nustatyta, kad lyginant su vienodo gylio žemės dirbimu 35 cm gyliu, degalų sąnaudas galima sumažinti apie 47 % (Meselhy, 2021). Kim et al. (2006) taikė VDT, atsižvelgdami dirvožemio kietumą, t. y. į kūgio indeksą (CI). Dirvožemio sluoksniai, kurių CI > 1,0 MPa, buvo laikomi ribojančiais augalų šaknų augimą, todėl pagal CI vertes buvo nustatytas 10 cm, 20 cm arba 40 cm žemės dirbimo gylis ir lyginama su pastoviu 20 cm gyliu. Rezultatai parodė, kad degalų sąnaudos sumažėjo 28,4 %, o dirvožemio sluoksniai, kurių CI buvo didesnis nei 1,0 MPa, po atlikto VDT pasiekė mažesnę nei 1,0 MPa kietumą, kuris nebevaržė šaknų augimo (Kim et al., 2006).

Analizuojant panašaus pobūdžio mokslinius darbus pastebima, jog labai svarbu tinkamai parinkti kintamo gylio žemės dirbimo metodologiją, nes nuo jos stipriai priklauso degalų sąnaudų, dirvožemio savybių rezultatų pokyčiai.

Išvados

1. Taikant VDT metodą ir optimizuojant žemės dirbimo gylį galima sumažinti poveikį dirvožemiui, jo sutankinimą, sumažinti traktorių degalų ir energijos sąnaudas, tausoti išteklius ir didinti žemės ūkio produkcijos gamybos tvarumą.
2. Atlikus dirvožemio elektrinio laidumo tyrimus ir sudarius kintamo žemės dirbimo gylio žemėlapius, didžiausią dalį sudarė zonos, kuriose ECa buvo 44,31–50,12 mS m⁻¹, mažiausią – 40,44–41,31 mS m⁻¹.
3. Dirvožemio tankis, taikant kintamo gylio žemės dirbimą, visuose gyliuose kito nuo 1,22 iki 1,49 g cm⁻³, o dirbant pastoviam gylyje – nuo 1,40 iki 1,47 g cm⁻³. Degalų sąnaudos, taikant UDT, siekė 7,32 l ha⁻¹, o VDT – kito nuo 5,27 iki 19,18 l ha⁻¹.

Padėka

Šį projektą finansavo Lietuvos mokslo taryba (LMTLT), sutarties Nr. S-MIP-24-120. Autoriai dėkingi UAB „Väderstad“ už sudarytas sąlygas vykdyti eksperimentinius tyrimus. Šis tyrimas ir straipsnis taip pat yra vienas iš projekto „Bioekonomikos tyrimų ekselencijos centro vystymas (BioTEC)“, sutarties Nr. S-A-UEI-23-14, kurį finansuoja Lietuvos Respublikos švietimo, mokslo ir sporto ministerija ir Lietuvos mokslo taryba (LMTLT) pagal programą „Universitetų ekselencijos iniciatyva“ (Nr. V-940), veiklos rezultatų.

Literatūra

1. Dong, L., Han, X., Zheng, J., Liu, X., Liu, Z., Luo, Y., ... & Wang, L. (2022). Long-term no-tillage enhanced maize yield and potassium use efficiency under spring drought year. *Chilean journal of agricultural research*, 82(4), 564–574.
2. Karunathilake, E. M. B. M., Le, A. T., Heo, S., Chung, Y. S., & Mansoor, S. (2023). The path to smart farming: Innovations and opportunities in precision agriculture. *Agriculture*, 13(8), 1593.
3. Khalilian, A., Han, Y. J., Dodd, R. B., Sullivan, M. J., & Gorucu, S. (2002, January). Technology for variable depth tillage in Coastal Plain soils. In *Proc. 7th Conf. Beltwide Cotton, National Cotton Council, Memphis, TN*.
4. Kim, L. Y., Cho, H. J., Chung, S. O., Park, W. Y., & Lee, K. S. (2006). Determination of tillage depth based on physical properties of soil for rice production in Korea. *Key Engineering Materials*, 321, 1229–1232.
5. Mathew, R. P., Feng, Y., Githinji, L., Ankumah, R., & Balkcom, K. S. (2012). Impact of no-tillage and conventional tillage systems on soil microbial communities. *Applied and Environmental Soil Science*, 2012(1), 548620.
6. Meselhy, A. A. E. (2021). Effect of variable-depth tillage system on energy requirements for tillage operation and productivity of desert soil. *International Journal of Applied Agricultural Sciences*, 7(1), 38.
7. Nowak, B. (2021). Precision agriculture: Where do we stand? A review of the adoption of precision agriculture technologies on field crops farms in developed countries. *Agricultural Research*, 10(4), 515–522.
8. Šarauskis, E. (2023). Kintamo žemės dirbimo gylio svarba ir naudojamų technologijų. *Mano ūkis*, 3, 64–68.
9. Šarauskis, E., Sokas, S., Rukaitė, J. (2024). Variable Depth Tillage: Importance, Applicability, and Impact – An Overview. *AgriEngineering*, 6(2), 1870–1885.
10. Tahmasebi, M., Gohari, M., Sharifi Malvajardi, A., & Hedayatipour, A. (2023). Development and field evaluation of a variable-depth tillage tool based on a horizontal pneumatic sensor measurement. *J. Agric. Mach*, 13, 85–99.
11. Wang, A., Ji, X., Zhu, Y., Wang, Q., Wei, X., & Zhang, S. (2024). Tillage depth regulation system via depth measurement feedback and composite sliding mode control: A field comparison validation study. *Measurement and Control*, 57(6), 685–702.
12. Wells, L. G., Stombaugh, T. S., & Shearer, S. A. (2005). Crop yield response to precision deep tillage. *Transactions of the ASAE*, 48(3), 895–901.

Simas Sokas, Sidona Buragienė, Marius Kazlauskas, Armandas Andriuška, Indrė Bručienė, Vilma Naujokienė, Abdul Mounem Mouazen, Egidijus Šarauskis

Assessment of soil bulk density and fuel consumption using variable depth tillage

Soil preparation is a costly, time-consuming and fuel-intensive process, and differences in soil structure and compaction, even within the same field, make it an imperfect method. Variable depth tillage (VDT) is becoming increasingly popular to reduce the negative effects of tillage on the soil and the environment. Experimental studies were carried out using a multi-purpose cultivator, a global positioning system (GPS) and a variable depth tillage map based on the apparent electrical conductivity of the soil (ECa). The VDT method varied the depth from 10 to 25 cm and was compared with the UDT method of 15 cm. The scientific experimental study analysed soil density before and after the different tillage methods and evaluated fuel consumption. The results showed that fuel consumption can be reduced by using properly selected UDT tillage depths. VDT tillage had a positive effect on soil density, about 5% less than UDT, which allowed a good quality of tillage to be maintained.

Keywords: Variable depth tillage, diesel fuel, cultivator, soil density.

Gauta 2025 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2025 m. balandžio mėn.

Simas SOKAS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedros doktorantas. Adresas: Studentų g. 15A, LT-53362 Akademija, Kauno r., tel. +370 629 43574, el. paštas: simas.sokas@vdu.lt

Simas SOKAS. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety doctoral student. Address: Studentų str. 15A, LT-53362 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 629 43574, e-mail: simas.sokas@vdu.lt

Sidona BURAGIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedros vyresnioji mokslo darbuotoja. Adresas: Studentų g. 15A, LT-53362 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52357, el. paštas: sidona.buragiene@gmail.com

Sidona BURAGIENĖ. Vytautas Magnus University, Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, senior research fellow. Address: Studentų str. 15A, LT-53362 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 377 52357, e-mail: sidona.buragiene@gmail.com

Marius KAZLAUSKAS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedros jaunesnysis mokslo darbuotojas. Adresas: Studentų g. 15A, LT-53362 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52357, el. paštas: marius.kazlauskas@vdu.lt

Marius KAZLAUSKAS. Vytautas Magnus University, Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, Junior Research Fellow. Address: Studentų str. 15A, LT-53362 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 37 752357, e-mail: marius.kazlauskas@vdu.lt

Armandas ANDRIUŠKA. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedros magistrantas. Adresas: Studentų g. 15A, LT-53362 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52357, el. paštas: armandas.andriuska@vdu.lt

Armandas ANDRIUŠKA. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, master student. Address: Studentų g. 15A, LT-53362 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 377 52357, e-mail: armandas.andriuska@vdu.lt

Indrė BRUČIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Bioekonomikos tyrimų instituto mokslo darbuotoja. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52357, el. paštas: indre.bruciene@vdu.lt

Indrė BRUČIENĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Bioeconomy Research Institute, Researcher. Address: Studentų str. 11, LT-53361 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 377 52357, e-mail: indre.bruciene@vdu.lt

Vilma NAUJOKIENĖ. VDU ŽŪA Inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedros docentė. Adresas: Studentų g. 15A, LT-53362 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52357, el. paštas: vilma.naujokiene@vdu.lt.

Vilma NAUJOKIENĖ. VMU AA, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, Assoc. Prof. Address: Studentu str. 15A, LT-53362 Akademija, Kaunas r. Phone: +370 377 52357, e-mail: vilma.naujokiene@vdu.lt

Abdul M. MOUAZEN. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos, Bioekonomikos tyrimų instituto vyriausiasis mokslo darbuotojas. Gento universiteto Aplinkos katedros profesorius. Adresas: Coupure Links 653, 9000 Gent, Belgija, el. paštas: abdul.mouazen@vdu.lt

Abdul M. MOUAZEN. Vytautas Magnus University, Agriculture Academy, Bioeconomy Research Institute, Chief Researcher. Ghent University, Department of Environment, Professor. Address: Coupure Links 653, 9000 Gent, Belgium, e-mail: abdul.mouazen@UGent.be

Egidijus ŠARAUSKIS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedros profesorius. Adresas: Studentų g. 15A, LT-53362 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52357, el. paštas: egidijus.sarauskis@vdu.lt

Egidijus ŠARAUSKIS. Vytautas Magnus University, Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, professor. Address: Studentų str. 15A, LT-53362 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 37 752357, e-mail: egidijus.sarauskis@vdu.lt

INTERCROPPING SEEDING SYSTEMS FOR SUSTAINABLE AGRICULTURE

Davut Karayel^{1,2}, Eglė Jotautienė¹, Dainius Steponavičius¹, Hasan Yilmaz^{1,2}

¹Vytautas Magnus University, ²Akdeniz University

Successful adaptation to climate change in agriculture requires the use of techniques that ensure the long-term sustainable use of resources and eco-efficiency. Intercropping is an example of a sustainable agricultural system that seeks to achieve ecological balance, better use of resources, and increase the quantity and quality of yields. Innovative precision farming seed machines are used that can adjust seeding rates, reducing the amount of driving in the fields, thus saving working time and fuel consumption. Intercropping faces to several problems: applying different seed sizes at the same time, maintaining different seed rates, etc.

The aim of this research work would be to investigate seeding systems for intercropping using engineering modelling. The design of the metering systems completed, and preliminary simulation trials have demonstrated that seed metering systems using mechanical disc plates achieve more than 80% success in singulating seeds within intercropping systems; however, further research is necessary to enhance these results. The results of the analysis showed that innovative designs of seeding systems for intercrops could have a positive impact on sustainable agricultural development. This would lead to maximum machine productivity, higher quality and quantity of agricultural products and more sustainable farming.

Keywords: Cover crops, sustainable farming, seeders, seed metering.

Introduction

To successfully adapt to and mitigate climate change through agricultural management, it's essential to develop straightforward, cost-effective, and widely applicable strategies. These methods must ensure the long-term, sustainable use of resources alongside ecological efficiency (Naulleau et al., 2021; Rudinskienė, 2022). The cultivation of cover crops represents one such approach, used to enhance the diversity within agricultural ecosystems. This practice exemplifies a sustainable agricultural system, aiming to achieve ecological balance, improve resource utilization, increase both the yield and quality of harvests, and reduce crop damage caused by pests, diseases, and weeds (Mousavi, 2011).

Intercropping can lead to higher biodiversity within agroecosystems, which is beneficial for pest control and soil health (Głowacka & Flis-Olszewska, 2022; Wolińska et al., 2022; Santangelo et al., 2023). For instance, Głowacka and Flis-Olszewska reported that intercropping baby corn with legumes resulted in increased weed diversity and evenness compared to monoculture systems, suggesting a synergistic relationship among the crops that enhances overall biodiversity (Głowacka & Flis-Olszewska, 2022). Research indicates that intercropping can facilitate better nutrient uptake and utilization through complementary interactions between different plant species. Zhang et al. highlighted that in maize/legume intercropping systems, the dynamics of nutrient uptake shifted from complementarity effects to selection effects, which maintained high productivity levels (Zhang et al., 2021). This is supported by findings from Li et al. (metai), who emphasized that interspecific interactions in intercropping can enhance resource sharing, thus improving nutrient availability and overall crop performance (Zhang et al., 2017).

Given a growing global population alongside dwindling resources, the implementation of sustainable and efficient agricultural methods is of utmost importance. Cover cropping systems, which involve cultivating multiple crops sequentially or concurrently on the same land, present a promising solution to this challenge. They facilitate the maximization of land use, the optimization of resource allocation, and the promotion of a healthier environment (Mao et al., 2015; Rudinskienė, 2022). By addressing current obstacles and fostering knowledge sharing and collaboration, cover cropping has the potential to revolutionize agricultural practices, thereby securing a brighter future for food production worldwide.

Seeders for intercropping systems

The development and utilization of seeders specifically designed for intercropping systems have become increasingly important in modern agriculture. These machines enhance the efficiency of seeding multiple crops simultaneously, thereby optimizing land use and improving overall productivity. The existing literature on seeding technologies presents limited innovations and their implications for intercropping systems, highlighting the need for further research in this area. One notable advancement is a hand tool named Slide Hammer Seeder, which has been designed for the precise seeding of small seeds. This jab-type seeder allows for accurate seed placement, which is crucial in intercropping systems where the spatial arrangement of different crops can significantly affect their growth and yield (Brennan, 2018). The ability to adjust the seeding rate and depth for various seed sizes enhances the adaptability of this tool in diverse intercropping scenarios,

thus promoting better competition among crops and reducing the risk of yield loss due to improper seeding (Brennan, 2018).

Seeders that can sow multiple crops or multiple species at variable seed rates have many advantages. These include:

- Efficient seeding of multiple crops and species.
- Development of an innovative precision agriculture seed drill that can adjust seed rates.
- Reduced field travel intensity, as multiple crops can be sown in one pass, saving time, fuel and protecting the environment.

- Potential contribution to the agricultural machinery sector by creating a new type of seed drill with export potential. This innovation could expand and diversify the country's agricultural machinery and equipment fleet.

Furthermore, the integration of precision agriculture techniques into seeding practices has shown promise in improving the efficiency of intercropping systems. Technologies such as Decision Support Systems (DSS) and remote sensing can optimize seeding schedules and densities, ensuring that crops are sown at the most favorable times and conditions (Tataridas et al., 2022; Nursa'adah et al., 2024). This is particularly important in intercropping, where the timing and density of seeding can influence the competitive dynamics between different species, ultimately affecting yield outcomes (Tataridas et al., 2022).

The agricultural machinery industry has not yet provided enough solutions for intercropping, multi-hybrid, multi-variety, or variable seed treatment technologies. Less than 10% of American Midwest farmers used multi-hybrid seeding in 2017, while the percentage is even lower in Europe (Erickson, Lowenberg-DeBoer, 2021). Gravity-fed seed meters, mostly based on horizontal disks, are more common and affordable in emerging markets (Van Loon et al., 2020; Dambroz et al., 2023; Murray et al., 2006). For this type of seed meter, multi-hybrid technology is not available, especially for machines used by smallholder farmers. In terms of space and suitability for narrow-row seeding, seeders with vertical disc metering units have many advantages over horizontal disc ones, especially for intercropping systems (Soya et al., 2022).

Given appropriate conditions of field variability, intercropping or multi-variety systems can be economically feasible and beneficial within the scope of precision agriculture. However, there is a lack of engineering solutions to enable this practice with current seeders in the markets. Within the framework of the project “Design, Development, and Evaluation of a Seeder Prototype for Intercropping and Multi-variety Seeding Systems at Variable Seeding Rates” an effective seeder suitable for intercropping systems at variable rates with an electric-powered seed metering system will be designed and evaluated.

Two separate seed hoppers and metering units will be used to simultaneously sow two different seeds (Figure 1). While both metering units operate together, they function independently, allowing both seeds to be sown in a single pass. The seeder's electronic system will individually control the seeding rate of each metering unit.

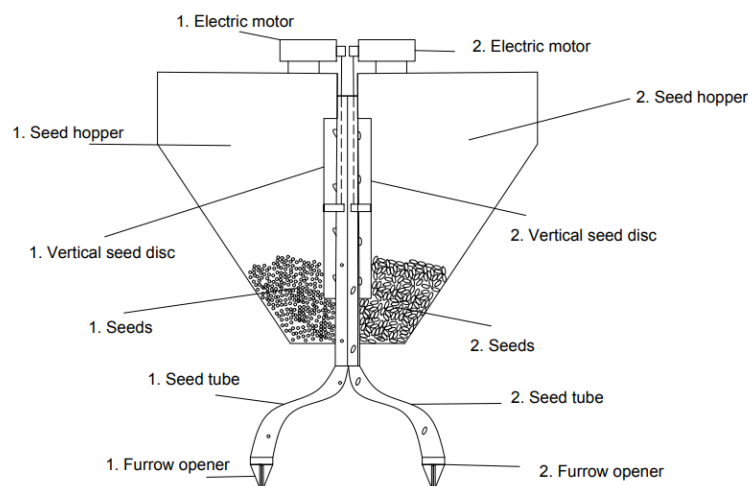


Fig. 1. The left-hand metering unit is designed for one type of seed, the right-hand for another

1 pav. Kairysis dozatorius skirtas vienos rūšies sėkloms, dešinysis – kitoms

The design of the seed metering system of the seeder used for intercropping was completed. Preliminary simulation trials have shown that seed metering systems with mechanical disc plates are more than 80% successful to singulate seeds in intercropping systems, but further research is needed to improve these results (Fig. 2).

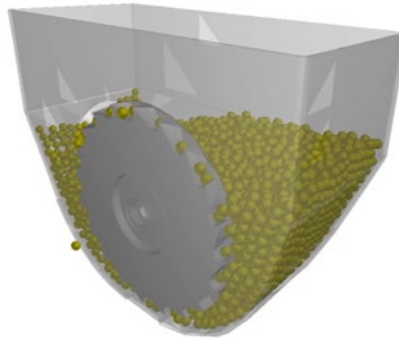


Fig. 2. An image from simulation trials
2 pav. Imitacinių bandymų vaizdas

This project proposal addresses the critical need for innovative solutions in sustainable agriculture by developing an advanced seeder capable of intercropping.

Conclusions

1. Intercropping systems, defined as the simultaneous cultivation of two or more crop species in the same field, have gained significant attention in agricultural research due to their potential to enhance productivity, biodiversity, and sustainability.
2. The agricultural machinery industry has not yet provided enough solutions for intercropping seed treatment technologies. One promising solution could be to offer a prototype intercrop drill with two separate seed hoppers and electronically controlled metering, that two different seeds can be sown simultaneously.
3. Preliminary simulation trials have shown that seed metering systems with mechanical disc plates are more than 80% successful to singulate seeds in intercropping systems
4. The development of intercropping systems can have a positive impact on the development of agricultural production and research, promoting more effective and efficient seeding technology practices and more sustainable farming.

Acknowledgments

The authors are grateful to the Lithuanian Research Council project MIP No. MIP-24-130 "Design, Development, and Evaluation of a Seeder Prototype for Intercropping and Multi-variety Sowing Systems at Variable Sowing Rates".

References

1. Akasah, W., Totti, D. P., Putra, A., & Mulya, M. O. (2024, February). Comparison of several weed control and tillage techniques in suppressing weeds and increasing maize production for integrated weed control. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 1302, No. 1, 012035. IOP Publishing.
2. Brennan, E. B. (2018). The slide hammer seeder: A novel tool for planting small seeds. *Horttechnology*, 28(6), 764–775.
3. Dambroz, P. B. G., de Carvalho Pinto, F. D. A., de Freitas Coelho, A. L., de Queiroz, D. M., Terra Santos, N., & Alves Ruas, R. A. (2023). Development of a Low-Cost Multi-Hybrid Variable Rate System for Horizontal Disk Planter. *Available at SSRN 4492956*.
4. Erickson, B., Lowenberg-Deboer, J. (2021). *Precision Agriculture Dealership Survey*. Departments of Agricultural Economics and Agronomy, Purdue University, West Lafayette, IN: 2020.
5. Głowacka, A., & Flis-Olszewska, E. (2022). The biodiversity of weed communities of dent maize, narrow-leaved lupin and oat in relation to cropping system and weed control. *Agronomy Science*, 77(3), 123–137.
6. Mousavi, S. R., & Eskandari, H. (2011). A general overview on intercropping and its advantages in sustainable agriculture. *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences*, 1(11), 482–486.
7. Murray, J. R., Tullberg, J. N., Basnet, B. B. (2006). Planters and their components: types, attributes, functional requirements, classification and description. *ACIAR Monograph No. 121*, Canberra, Australia.

8. Naulleau, A., Gary, C., Prévot, L., Hossard, L. (2021). Evaluating strategies for adaptation to climate change in grapevine production—A systematic review. *Frontiers in Plant Science*, Vol. 11, 607859. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.607859>
9. Rudinskienė, A. (2022). Caraway (*Carum Carvi* L.) *In Multifunctional Crops Cultivations and Their Impact on the Agroecosystem*. Doctoral Dissertation, Agricultural Sciences, Agronomy, Vytautas Magnus University, Kaunas, Lithuania, 201 p.
10. Santangelo, E., Bergonzoli, S., Papetti, P., Mazzucato, A., Del Giudice, A., Scarfone, A., & Beni, C. (2023). The profile of bioactive compounds in two tomato lines (hp-2 and Atv_aft) when grown under low-input farming conditions with or without mulching and intercropping. *Agriculture*, 13(2), 280.
11. Soya, V., Karayel, D., Šarauskis, E. (2022). *Bir Mekanik Ekici Düzenin Ekim Kalitesinin EDEM ile Simülasyonu (Simulation of a Mechanic Seed Metering Unit using EDEM)*. 34. Tarımsal Mekanizasyon ve Enerji Kongresi, Bilecik, 7- Eylül 2022, 74.
12. Tataridas, A., Kanatas, P., Chatzigeorgiou, A., Zannopoulos, S., & Travlos, I. (2022). Sustainable crop and weed management in the era of the EU Green Deal: A survival guide. *Agronomy*, 12(3), 589.
13. Van Loon, J., Krupnik, T. J., López-Gómez, J. A., Timsina, J., Govaerts, B. (2020). A standard methodology for evaluation of mechanical maize seed meters for smallholder farmers comparing devices from Latin America, Sub-Saharan Africa, and Asia. *Agronomy*, Vol. 10, n. 8. <https://doi.org/10.3390/agronomy10081091>
14. Wolińska, A., Kruczyńska, A., Podlewski, J., Słomczewski, A., Grządziel, J., Gałązka, A., & Kuźniar, A. (2022). Does the use of an intercropping mixture really improve the biology of monocultural soils? A search for bacterial indicators of sensitivity and resistance to long-term maize monoculture. *Agronomy*, 12(3), 613.
15. Zhang WeiPing, Z. W., Liu GuangCai, L. G., Sun JianHao, S. J., Fornara, D., Zhang LiZhen, Z. L., Zhang FangFang, Z. F., & Li Long, L. L. (2017). *Temporal dynamics of nutrient uptake by neighbouring plant species: evidence from intercropping*.
16. Zhang, W. P., Gao, S. N., Li, Z. X., Xu, H. S., Yang, H., Yang, X., ... & Li, L. (2021). Shifts from complementarity to selection effects maintain high productivity in maize/legume intercropping systems. *Journal of Applied Ecology*, 58(11), 2603–2613.

Davut Karayel, Eglė Jotautienė, Dainius Steponavičius, Hasan Yilmaz

Tarpinių pasėlių sėjos sistemos tvariam žemės ūkiui

Norint sėkmingai prisitaikyti prie klimato kaitos, žemės ūkyje reikia naudoti techniką, kuri užtikrintų ilgalaikį tvarų išteklių naudojimą ir ekologinį efektyvumą. Tarpinių pasėlių auginimas – tai tvarios žemės ūkio sistemos pavyzdys, kuriuo siekiama ekologinės pusiausvyros, geresnio išteklių panaudojimo, derliaus kiekio ir kokybės didinimo. Taikomos inovatyvios tiksliosios žemdirbystės sėjamosios, galinčios reguliuoti sėjos normas, mažinant važiavimų intensyvumą laukuose, taip taupant darbo sąnaudas bei degalus. Sėjant tarpinius pasėlius susiduriama su daugeliu problemų: vienu metu berti skirtingo dydžio sėklas, palaikyti skirtingas sėklų normas ir panašiai.

Darbo tikslas būtų ištirti sėjos sistemas, skirtas sėti tarpinius pasėlius, taikant inžinerinį modeliavimą. Dozavimo sistemų projektas ir preliminarūs modeliavimo bandymai parodė, kad sėklų dozavimo sistemos, kuriose naudojamos mechaninės diskinės plokštelės, pasiekia daugiau nei 80 % sėklų išbėrimo tarpinių pasėlių sėjos sistemose; tačiau norint gauti geresnius rezultatus, būtina atlikti tolesnius tyrimus. Gauti analizės rezultatai parodė, kad tarpinių pasėlių inovatyvios konstrukcijos sėjos sistemos galėtų daryti teigiamą poveikį tvariam žemės ūkio plėtrai. Tai leistų pasiekti didžiausią mašinų našumą, aukštesnę žemės ūkio produktų kokybę ir kiekybinius rezultatus bei tvaresnį ūkininkavimą.

Raktiniai žodžiai: tarpiniai pasėliai, tausojanči žemdirbystė, sėjamoji, sėjamasis aparatas.

Gauta 2025 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2025 m. balandžio mėn.

Davut KARAYEL. VDU ŽŪA Inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedros vyriausiasis mokslo darbuotojas. Adresas: Studentų g. 15a, LT-53362 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52204, el. paštas: davut.karayel@vdu.lt; Akdeniz universiteto Žemės ūkio fakulteto Žemės ūkio mašinų ir technologijų inžinerijos katedros profesorius, Antalija, Turkija, el. paštas: dkarayel@akdeniz.edu.tr

Davut KARAYEL. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, Chief Researcher. Address: Studentų g. 15a, LT-53362, Akademija, Kaunas r.

Phone: +370 377 52204, e-mail: davut.karayel@vdu.lt; Akdeniz University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Machinery and Technologies Engineering, Antalya, Turkey, e-mail: dkarayel@akdeniz.edu.tr

Eglė JOTAUTIENĖ. VDU ŽŪA Inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedros profesorė. Adresas: Studentų g. 15a, LT-53362 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52204, el. paštas: Egle.Jotautiene@vdu.lt

Eglė JOTAUTIENĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, professor. Address: Studentų str. 15a, LT-53362 Akademija, Kaunas r. Phone: +370 377 52204, e-mail: Egle.Jotautiene@vdu.lt

Dainius STEPONAVIČIUS. VDU ŽŪA Inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedros profesorius. Adresas: Studentų g. 15a, LT-53362 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52202, el. paštas: dainius.steponavicius@vdu.lt

Dainius STEPONAVIČIUS. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, professor. Address: Studentų str. 15a, LT-53362 Akademija, Kaunas r. Phone: +370 37 752202, e-mail: dainius.steponavicius@vdu.lt

Hasan YILMAZ. VDU ŽŪA Inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedros jaunesnysis mokslo darbuotojas. Adresas: Studentų g. 15a, LT-53362 Akademija, Kauno r., tel. +370 37 752204, el. paštas: hasanyilmaz@akdeniz.edu.tr; Akdeniz universiteto Žemės ūkio fakulteto Žemės ūkio mašinų ir technologijų inžinerijos katedra, Antalija, Turkija, el. paštas: hasanyilmaz@akdeniz.edu.tr

Hasan YILMAZ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, Junior researcher. Address: Studentų str. 15a, LT-53362 Akademija, Kaunas r. Phone: +370 377 52204, e-mail: hasanyilmaz@akdeniz.edu.tr; Akdeniz University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Machinery and Technologies Engineering, Antalya, Turkey, e-mail: hasanyilmaz@akdeniz.edu.tr

DVISRAUČIŲ PESTICIDŲ PURKŠTUKŲ DARBO KOKYBĖS TYRIMAI

Juozas Samuolis, Remigijus Zinkevičius

Vytauto Didžiojo universitetas

Kokybiškam purškimui užtikrinti svarbu tinkamai pasirinkti purkštukus. Šiuo metu nemažą rinkos pasiūlos dalį sudaro dvisraučiai inžektoriniai pneumohidrauliniai purkštukai, kurie užtikrina geresnį vertikalių paviršių padengimą. Apipurškiamų paviršių padengimo skirtumus, purškiant įprastais, viensraučiais, simetriško ir asimetriško srauto dvisraučiais purkštukais, pastebėjo įvairių šalių mokslininkai. Straipsnyje pateikiami hidraulinių ir pneumohidraulinių dvisraučių purkštukų darbo kokybės tyrimų rezultatai. Nustatyta, kad dvisraučiai pneumohidrauliniai purkštukai skystį išpurškia tolygiau negu dvisraučiai hidrauliniai. Dvisraučiais pneumohidrauliniais purkštukais purškiant 2 bar darbinio slėgiu iš 0,5 m aukščio, skysčio lygio variacijos koeficientas stendo indeliuose buvo tik 8,59 %, o naudojant dvisraučius hidraulinius purkštukus – net 29,6 %. Sumažinus purškimo aukštį iki 0,4 m, darbo kokybės skirtumai tarp dvisraučių pneumohidraulinių ir hidraulinių purkštukų didėja. Skysčio lygio variacijos koeficientas stendo indeliuose atitinkamai padidėja nuo 7,36 % iki net 38,3 %.

Raktiniai žodžiai: dvisraučiai pesticidų purkštukai, darbo kokybė, išpurškiamo skysčio skersinis pasiskirstymas.

Įvadas

Dvisraučiai plyšiniai purkštukai skirti smulkialašiam purškimui. Jie naudojami ištisiniam ir juostiniam purškimui. Ištisiniam purškimui skirti purkštukai skirstomi į hidraulinius ir pneumohidraulinius. Pneumohidrauliniai dvisraučiai purkštukai yra inžektoriniai, pagal skysčio srautų išsidėstymą – simetriški arba asimetriški.

Apipurškiamų paviršių padengimo skirtumus, purškiant įprastais, viensraučiais, simetriško ir asimetriško srauto dvisraučiais purkštukais pastebėjo įvairių šalių mokslininkai. Vokiečių mokslininkai H. Knewitzas ir O. Strubas nustatė, kad, naudojant inžektorinius dvisraučius purkštukus, apipurškiamų paviršių padengimas buvo toks pat arba šiek tiek geresnis, negu naudojant įprastus universaliuosius plyšinius plokščiasraučius purkštukus. Gautus piktžolių padengimo tyrimų rezultatus patvirtino herbicidų biologinio veiksmingumo tyrimai.

J. Garreltso (Vokietija) tyrimai rodo, kad javų pasėliuose dvisraučiai purkštukai pesticidais geriau padengia vidurines ir viršutines augalų dalis net ir purškimo agregatui važiuojant didesniu kaip 8,0 km/val. greičiu. Akivaizdūs dvisraučių purkštukų pranašumai ir išpurškiant mažesnę nei 180–200 l/ha skysčio kiekį.

Austrijos žemės ūkio rūmų specialistas Romanas Haueris teigia, kad, purškiant pneumohidrauliniais inžektoriniais dvisraučiais purkštukais, geriau padengiami sunkiai prieinami apipurškiami paviršiai.

A. Aliverdi ir M. Borghesi (Iranas) nustatė, kad apatinę tyrinėtų piktžolių (tuščiųjų avių) dalis blogiausiai buvo padengta herbicidus purškiant įprastais viensraučiais purkštukais. Geriausiai apipurškiami paviršiai buvo padengti naudojant simetriško srauto dvisraučius purkštukus. Pastebėta, kad, purškiant asimetriško srauto dvisraučiais purkštukais, blogiau buvo padengiama priekinė piktžolių dalis.

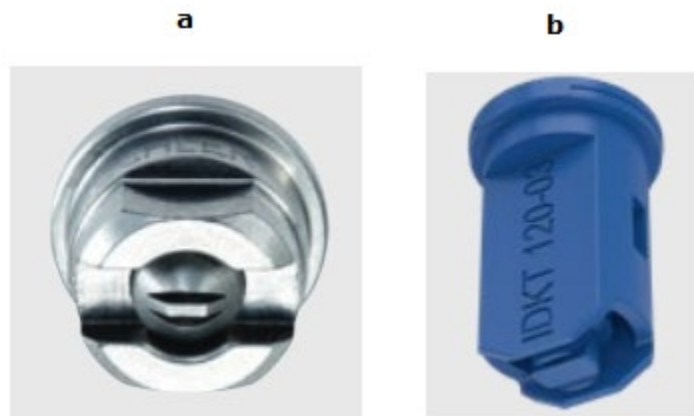
Turkų mokslininkai B. Sayinci, B. Demir ir E. Cetin nustatė, kad vertikalūs paviršiai buvo padengiami geriau, kai skysčio srautas nuo vertikalės pirmyn nukreiptas 15°. Taigi, apibendrinant galima teigti, kad, pesticidams išpurkšti naudojant dvisraučius purkštukus, galima geriau padengti sunkiai prieinamus apipurškiamus paviršius ir sumažinti išpurškto skysčio lašelių dreifą.

Tyrimų tikslas – ištirti LECHLER DF 120-02 ir LECHLER IDKT 120-02 dvisraučių pesticidų purkštukų darbo kokybę.

Tyrimų metodika

Laboratoriniuose tyimuose siekėme nustatyti dvisraučiais hidrauliniais LECHLER DF 120-02 ir pneumohidrauliniais LECHLER IDKT 120-02 purkštukais (1 pav.) išpurškiamo skysčio skersinį pasiskirstymą.

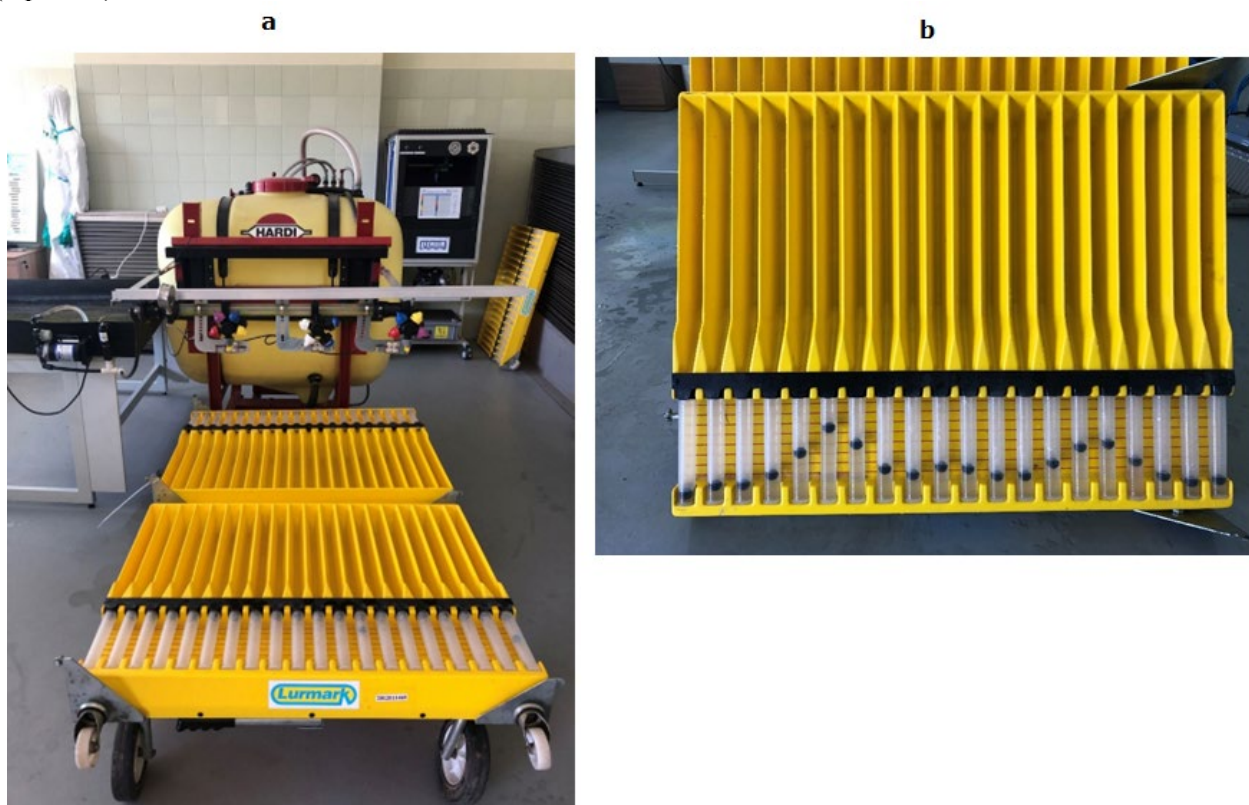
Nustatant skersinį pasiskirstymą vanduo dviem tiriamais purkštukais buvo purškiamas ant rankinio paternatoriaus „Lurmark“, kurio lovelių plotis 50 mm, aukštis – 60 mm, o ilgis – 0,5 m (2 pav., a). Bendras stendo plotis – 1,0 metras. Loveliais skystis tekėjo į 100 ml talpos surinkimo indelius, kurie sugraduoti kas 1,0 ml. Skysčio tūrio matavimo paklaida $\pm 1,0$ ml. Purškiant buvo nustatomas gamintojo nurodytas optimalus darbinis slėgis (2 ir 3 bar). Purškimo aukštis buvo 0,40 ir 0,50 m. Tyrimai buvo atliekami keturiais pakartojimais.



1 pav. Laboratorinių tyrimų objektai: a – dvisraučiai hidrauliniai LECHLER DF 120-02 purkštukai; b – dvisraučiai pneumohidrauliniai LECHLER IDKT 120-02 purkštukai

Fig. 1. Laboratory test objects: a - twin-jet hydraulic nozzles LECHLER DF 120-02; b - twin-jet pneumohydraulic nozzles LECHLER IDKT 120-02

Dviem tiriamais dvisraučiais purkštukais išpurškiamo skysčio skersinis pasiskirstymas buvo įvertintas apskaičiuojant skysčio lygio variacijos koeficientą vienuolikoje stendo indelių, esančių tarp tiriamų purkštukų (2 pav., b).



2 pav. Laboratorinių tyrimų stendas: a – bendras vaizdas; b – skysčio pasiskirstymo stendo indeliuose vaizdas

Fig. 2. Laboratory test bench: a - general view; b - view of the distribution of the liquid in the jars of the bench

Skysčio tūrio stendo indeliuose variacijos koeficientas buvo skaičiuojamas pagal formulę:

$$C = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}{\bar{x}} \cdot 100 \text{ proc}, \quad (1)$$

čia: C – skersinio lašelių pasiskirstymo variacijos koeficientas, proc.;

n – stendo indelių, į kuriuos surenkamas išpurškstas skystis, skaičius, vnt.;

x_i – skysčio tūris i -tajame stendo indelyje, ml;

$\bar{x}$ – skysčio tūrio visuose stendo indeliuose vidutinė reikšmė, ml.

Variacijos koeficiento vertinimas: $V < 5\%$ – labai geras, $5\% < V < 10\%$ – geras, $V > 10\% < 15\%$ – priimtinas.

Rezultatai ir aptarimas

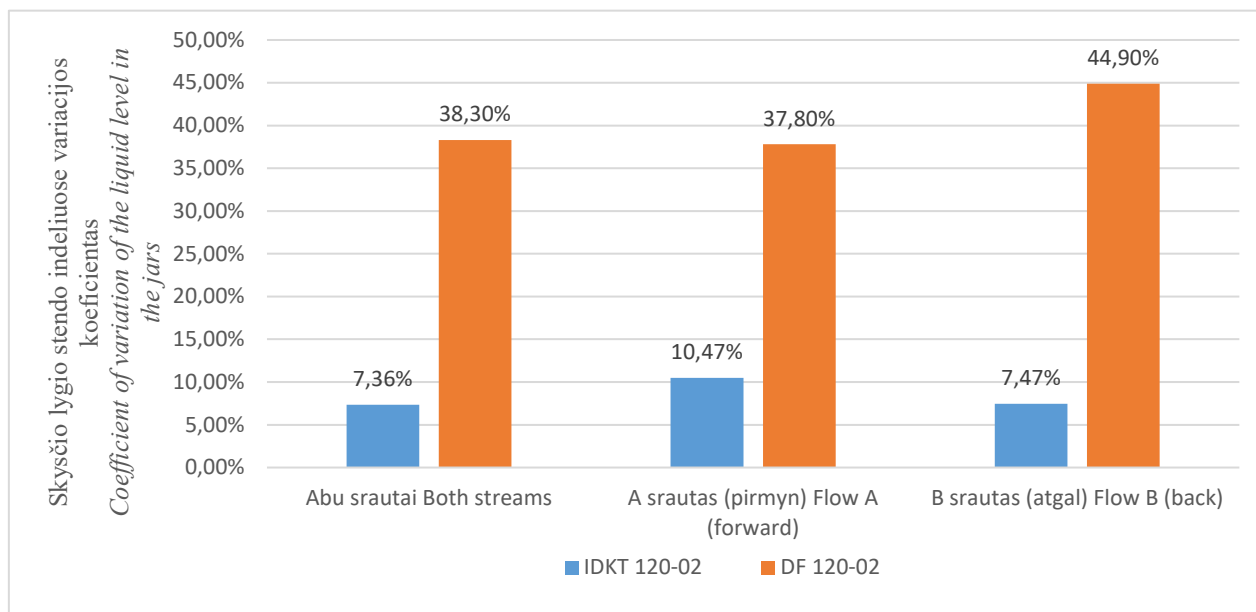
Laboratorijoje rankiniu patenatoriumi tiriant dvisraučių hidraulinių LECHLER DF 120-02 ir pneumohidraulinių LECHLER IDKT 120-02 purkštukų darbo kokybę nustatyta, kad išpurškiamo skysčio skersinį pasiskirstymą įtakoja ir purkštukų tipas, ir purškimo aukštis, ir darbinis slėgis. Taip pat pastebėjome, kad skiriasi per atskirus srautus (pirmyn ir atgal purškimo agregato važiavimo kryptčiai) išpurškiamo skysčio skersinis pasiskirstymas.

Laboratoriniais tyrimais nustatyta, kad purškiant 2 bar dabiniu slėgiu iš 0,5 m aukščio, dvisraučių pneumohidraulinių LECHLER IDKT 120-02 purkštukų darbo kokybė daug geresnė, nes skysčio lygio variacijos koeficientas stendo indeliuose buvo tik 8,59 % (1 lentelė). Tokiomis pačiomis sąlygomis purškiant dvisraučiais hidraulinius LECHLER DF 120-02 purkštukais, skysčio lygio variacijos koeficientas stendo indeliuose buvo net 29,6 %. Sumažinus purškimo aukštį iki 0,4 m, darbo kokybės skirtumai tarp tirtų purkštukų buvo dar didesni. Purškiant dvisraučiais hidraulinius LECHLER DF 120-02 purkštukais, skysčio lygio variacijos koeficientas stendo indeliuose buvo net 38,3 %, o naudojant dvisraučius pneumohidraulinius LECHLER IDKT 120-02 purkštukus – tik 7,36 %. Tiesa, esant 3 bar darbiniam slėgiui ir 0,5 m purškimo aukščiui, abiejų tipų purkštukų darbo kokybė buvo panaši. Skysčio lygio variacijos koeficientas stendo indeliuose purškiant dvisraučiais pneumohidraulinius LECHLER IDKT 120-02 purkštukais buvo 11,8 %, o dvisraučiais hidraulinius LECHLER DF 120-02 – 9,0 %.

1 lentelė. LECHLER DF 120-02 ir LECHLER IDKT 120-02 dvisraučiais purkštukais išpurškiamo skysčio skersinis pasiskirstymas (skysčio lygio stendo indeliuose variacijos koeficientas)

Table 1. Transverse distribution of liquid sprayed by LECHLER DF 120-02 ir LECHLER IDKT 120-02 twin nozzles (coefficient of variation of the liquid level in the jars)

Purkštukų tipas <i>Type of nozzle</i>	Purškimo aukštis <i>Spray height</i>			
	0,5 m		0,4 m	
	Darbinis slėgis <i>Working pressure</i>			
	2 bar	3 bar	2 bar	3 bar
Pneumohidrauliniai IDKT 120-02 <i>Pneumohydraulic IDKT 120-02</i>	8,59 %	11,88 %	7,36 %	-
Hidrauliniai DF 120-02 <i>Hydraulic DF 120-02</i>	29,6 %	9,0 %	38,3 %	-



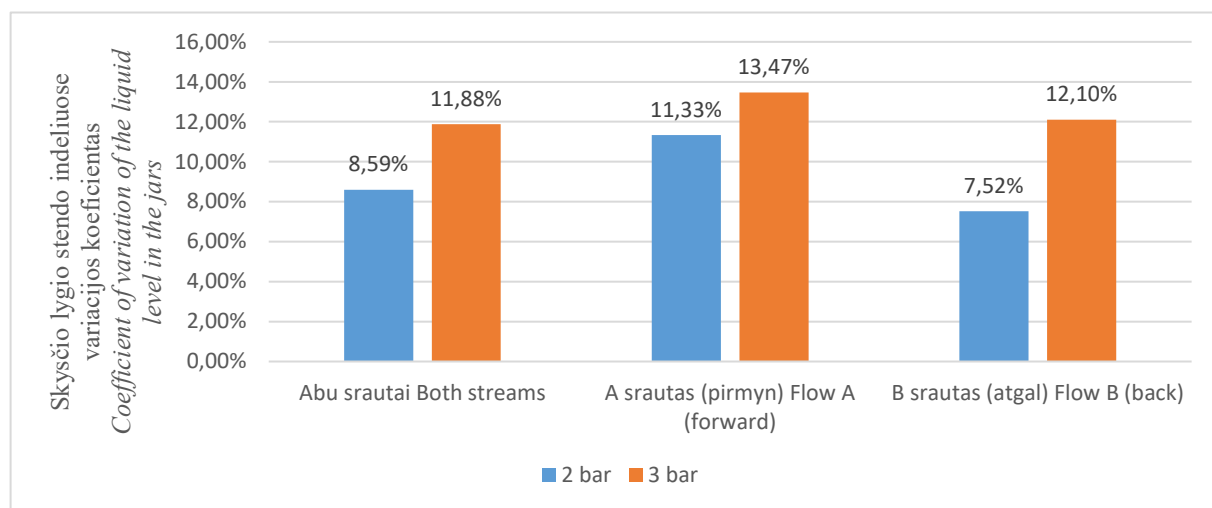
3 pav. Skysčio lygio stendo indeliuose variacijos koeficientas purškiant LECHLER DF 120-02 ir LECHLER IDKT 120-02 dvisraučiais purkštukais (purškimo aukštis 0,4 m, darbinis slėgis 2 bar)

Fig. 3. Coefficient of variation of the liquid level in the bench cups when spraying with LECHLER DF 120-02 and LECHLER IDKT 120-02 twin nozzles (spray height 0.4 m, working pressure 2 bar)

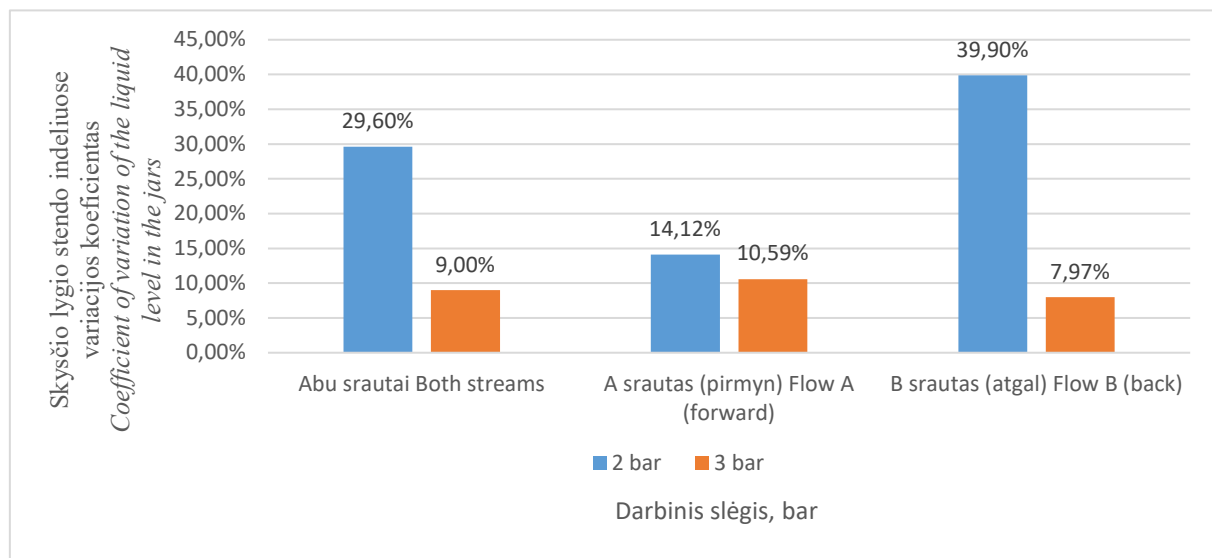
Pastebėjome, kad dvisraučių hidraulinių LECHLER DF 120-02 purkštukų pirmyn arba purškimo agregato judėjimo kryptimi nukreiptas srautas skystį išpurškia tolygiau, nes skysčio lygio stendo indeliuose variacijos koeficientas buvo 37,8 %. Tuo tarpu atgal nukreipto srauto skysčio lygio stendo indeliuose variacijos koeficientas siekė 44,9 % (3 pav.). Purškiant dvisraučiais pneumohidrauliniiais LECHLER IDKT 120-02 purkštukais skysčio skersinis pasiskirstymas buvo daug tolygesnis, tik šiuo atveju skystį tolygiau skleidė atgal nukreiptas srautas. Pirmyn nukreipto srauto skysčio lygio stendo indeliuose variacijos koeficientas buvo 10,47 %, o atgal nukreipto – tik 7,47 %.

Laboratoriniais tyrimais nustatyta, kad, didėjant darbiniam slėgiui, dvisraučiais pneumohidrauliniiais LECHLER IDKT 120-02 purkštukais išpurškiamo skysčio skersinio pasiskirstymo tolygumas siek tiek mažėja (bendras abiejų srautų skysčio lygio stendo indeliuose variacijos koeficientas padidėjo nuo 8,59 % iki 11,88 %), o naudojant hidraulinius LECHLER DF 120-02 purkštukus – ženkliai gerėja, t. y. bendras abiejų srautų skysčio lygio stendo indeliuose variacijos koeficientas sumažėjo nuo 29,6 % iki 9,0 % (4 pav.).

Laboratoriniai tyrimai rodo gana didelius darbo kokybės skirtumus tarp skirtingo tipo dvisraučių purkštukų (4 pav.).



a



b

4 pav. Darbinio slėgio įtaka skysčio lygio stendo indeliuose variacijos koeficientui, purškiant įvairiais dvisraučiais purkštukais iš 0,5 m aukščio: a – pneumohidrauliniai LECHLER IDKT 120-02 purkštukai; b – hidrauliniai LECHLER DF 120-02 purkštukai

Fig. 4. Effect of operating pressure on the coefficient of variation of the liquid level in the bench cups when spraying with different nozzles from a height of 0.5 m: a – pneumatic nozzles LECHLER IDKT 120-02; b – hydraulic nozzles LECHLER DF 120-02

Labai išsiskiria dvisraučių hidraulinių LECHLER DF 120-02 purkštukų darbo kokybės rezultatai esant 2 bar darbiniam slėgiui ir 0,5 m purškimo aukščiui. Šiais purkštukais purškiant 2 bar darbinio slėgio iš 0,5 m aukščio bendras abiejų srautų skysčio lygio stendo indeliuose variacijos koeficientas buvo net 29,6 %. Nustatyta, kad pirmyn arba purškimo agregato judėjimo kryptimi nukreiptas srautas skystį išpurškia tolygiau, nes skysčio lygio stendo indeliuose variacijos koeficientas buvo 14,12 %. Tuo tarpu atgal nukreipto srauto

skysčio lygio stendo indeliuose variacijos koeficientas siekė net 39,9 %. Esant 3 bar darbiniam slėgiui, dvisraučiai hidrauliniai LECHLER DF 120-02 purkštukai skystį išpurškia daug tolygiau. Šiais purkštukais purškiant 3 bar darbinio slėgiu iš 0,5 m aukščio bendras abiejų srautų skysčio lygio stendo indeliuose variacijos koeficientas buvo tik 9,0 %, o atskirais srautais išpurškiamo skysčio skersinio pasiskirstymo tolygumas buvo panašus. Atgal nukreipto srauto skysčio lygio stendo indeliuose variacijos koeficientas siekė tik 7,97 %, o pirmyn – 10,59 %.

Laboratoriniai tyrimai rodo, kad, purškiant 2 bar darbinio slėgiu iš 0,5 m aukščio, dvisraučiais pneumohidrauliniiais LECHLER IDKT 120-02 purkštukais išpurkšto skysčio skersinis pasiskirstymas buvo daug tolygesnis, nes bendras abiejų srautų skysčio lygio stendo indeliuose variacijos koeficientas buvo tik 8,59 %. Pirmyn nukreipto srauto skysčio lygio stendo indeliuose variacijos koeficientas buvo 11,33 %, o atgal nukreipto – tik 7,52 %. Tiesa, esant 3 bar darbiniam slėgiui, dvisraučiais pneumohidrauliniiais LECHLER IDKT 120-02 purkštukais išpurkšto skysčio skersinis pasiskirstymas buvo šiek tiek prastesnis. Šiais purkštukais purškiant 3 bar darbinio slėgiu iš 0,5 m aukščio bendras abiejų srautų skysčio lygio stendo indeliuose variacijos koeficientas buvo 11,88 %, o atskirais srautais išpurškiamo skysčio skersinio pasiskirstymo tolygumas buvo panašus. Atgal nukreipto srauto skysčio lygio stendo indeliuose variacijos koeficientas siekė 12,10 %, o pirmyn – 13,47 %.

Išvados

1. Nustatyta, kad dvisraučiai pneumohidrauliniai purkštukai skystį išpurškia tolygiau negu dvisraučiai hidrauliniai, nes purškiamo skysčio skersinio pasiskirstymo variacijos koeficientas yra nuo trijų iki penkių kartų mažesnis.
2. Dvisraučiais pneumohidrauliniiais purkštukais purškiant 2 bar darbinio slėgiu iš 0,5 m aukščio, skysčio lygio variacijos koeficientas stendo indeliuose buvo tik 8,59 %, naudojant dvisraučius hidraulinius purkštukus – net 29,6 %.
3. Sumažinus purškimo aukštį iki 0,4 m, darbo kokybės skirtumai tarp dvisraučių pneumohidraulinių ir hidraulinių purkštukų didėja. Skysčio lygio variacijos koeficientas stendo indeliuose, atitinkamai, padidėja nuo 7,36 % iki net 38,3 %.

Literatūra

1. Aliverdi, A., Borghei, M. (2021). Spray coverage and biological efficacy of single, twin symmetrical and twin asymmetrical flat fan nozzles. *Acta Technologica Agriculturae* 2, Nitra, Slovaca Universitas Agriculturae Nitriae, 92–96.
2. Garrelts, J. (2017). Die richtige Düse störungsfrei einsetzen! *Pflanzenschutzamt Landwirtschaftskammer Niedersachsen*, 6.
3. Hauer, R. (2014). Welche Düse(n) für den Pflanzenschutz? *Landwirtschaftskammer Österreich*, 5 S.
4. Knewitz, H., Strub, O. (2013). Grobe Tropfen erfordern eine Doppelflachstrahldüse. *Landwirtschaft*, Nr. 15, 14–17.
5. Sayinci, B., Demir, B., Cetin, E. (2021). Effects of position angles in twin-jet spray applications on droplet penetration of hydraulic nozzles. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, Vol. 45, No. 2, Article 8. <https://doi.org/10.3906/tar-2006-126> Available at: <https://journals.tubitak.gov.tr/agriculture/vol45/iss2/8>
6. Zinkevičius, R. (2011). *Purškimo teorija ir praktika*. Aleksandro Stulginskio universitetas, Akademija, 152.

Juozas Samuolis, Remigijus Zinkevičius

Performance Testing of Twin-Furrow Pesticide Nozzles

Choosing the right nozzles is important for quality spraying. Currently, a significant part of the market offer is made up of twin-injector pneumatic hydraulic nozzles, which provide better coverage of vertical surfaces. Differences in the coverage of sprayed surfaces between conventional, single stream, symmetrical and asymmetrical flow twin stream nozzles have been observed by researchers in various countries. The paper presents the results of a study on the performance of hydraulic and pneumohydraulic twin-stream nozzles. It was found that twin-flow pneumohydraulic nozzles sprayed the liquid more evenly than twin-flow hydraulic nozzles. The coefficient of variation of the liquid level in the bench cups was only 8,59% with the twin-screw pneumohydraulic nozzles at a natural pressure of 2 bar from a height of 0,5 m, while it was as high as 29,6% with the twin-screw hydraulic nozzle. When the spray height is reduced to 0,4 m, the difference in performance between the twin-screw pneumohydraulic and hydraulic nozzles increases. The coefficient of variation of the liquid level in the booth vessels increases from 7,36% to as much as 38,3%, respectively.

Keywords: Twin nozzles for pesticides, quality of work, lateral distribution of spray liquid.

Gauta 2025 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2025 m. balandžio mėn.

Juozas SAMUOLIS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedros magistrantas. Adresas: Studentų g. 15a, LT-53362 Akademija, Kauno r., tel.: +370 377 52357, +370 644 69578, el. paštas: juozas.samuolis9@gmail.com

Juozas SAMUOLIS. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, postgraduate student. Address: Studentų str. 15a, LT-53362 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 377 52357, +370 644 69578, e-mail: juozas.samuolis9@gmail.com

Remigijus ZINKEVIČIUS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedros docentas. Adresas: Studentų g. 15a, LT-53362 Akademija, Kauno r., tel.: +370 377 52357, +370 698 18126, el. paštas: remigijus.zinkevicius@vdu.lt

Remigijus ZINKEVIČIUS. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, assoc. prof. Address: Studentų str. 15a, LT-53362 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 377 52357, +370 698 18126, e-mail: remigijus.zinkevicius@vdu.lt

PSICHOLOGINIS PASIRENGIMAS EKSTREMALIOMS SITUACIJOMS: IŠVYKIMO KREPŠIO ELEMENTAI IR STRESO ĮVEIKA

Gabrielius Edvinas Klimenka

Vytauto Didžiojo universitetas

Straipsnyje nagrinėjama išvykimo krepšio reikšmė psichologinei gerovei ekstremalių situacijų metu, akcentuojant jo elementų poveikį streso mažinimui. Problema: nors krizinių situacijų kontekste jo turinys gali turėti reikšmingą poveikį emociniam atsparumui, Lietuvoje ir užsienyje išvykimo krepšio psichologiniai aspektai nebuvo detalios analizuoti. Tyrimas paremtas mokslinės literatūros analize, nagrinėjant streso mechanizmus, jo įveikos strategijas bei psichologinius veiksnius, darančius įtaką žmogaus savijautai ekstremaliomis sąlygomis. Nustatyta: išvykimo krepšio turinys gali prisidėti prie psichologinio stabilumo per keturias kategorijas: komfortą užtikrinančios priemonės, rutiną palaikantys objektai, socialinę sąsają stiprinantys ir laisvalaikio daiktai. Tyrimo rezultatai rodo, kad tinkamai parengtas išvykimo krepšys ne tik padeda patenkinti fizinius poreikius, bet ir mažina nerimą, palaiko emocinę pusiausvyrą bei gerina prisitaikymą prie stresinių situacijų.

Raktiniai žodžiai: išvykimo krepšys, psichologinis atsparumas, streso įveika, pasirengimas ekstremalioms situacijoms, emocinė gerovė.

Įvadas

Ekstremalios situacijos į jas patekusiems asmenims kelia stresą, baimę ir nerimą, todėl psichologinis pasirengimas galimiems iššūkiams yra itin svarbus. Tinkamai parengtas išvykimo krepšys, kurio paskirtis – padėti žmogui autonomiškai išgyventi 72 val., ne tik užtikrina fizinį saugumą, bet ir padeda sumažinti psichologinę įtampą. Asmeninė autoriaus patirtis vedant mokymus liudija, kad vien jau sukomplektuoto išvykimo krepšio turėjimas sumažina psichologinę įtampą kasdienybėje. Tai ypač svarbu nūdienos postpandeminiame bei karo Ukrainoje kontekste. Straipsnyje analizuojama, kokiais būdais tam tikri išvykimo krepšio elementai gali prisidėti prie streso valdymo ekstremalių situacijų metu. Tokio pobūdžio išvykimo krepšio elementai gali būti suskirstyti į kelias grupes, ekstremalios situacijos metu galinčias sumažinti stresą: komfortą kuriantys daiktai (tokie kaip miegmaišis ar skanus maistas); rutiną palaikančios priemonės (higienos reikmenys, kavos puodelis ir pan.); Ddaiktai, mažinantys vienatvės jausmą (artimųjų nuotraukos, telefonas, maldos reikmenys); laisvalaikio daiktai (knygos žaidimai ir t. t.). Šie išvykimo krepšio elementai gali žymiai pagerinti žmogaus gebėjimą susidoroti su krizinėmis situacijomis, įveikti stresą ir nerimą bei saugoti emocinę ir psichologinę nukentėjusiojo sveikatą. Psichologinis pasirengimas ir tinkamai pasirinkti išvykimo krepšio elementai yra neatsiejamos dalys, užtikrinančios ne tik fizinį, bet ir emocinį saugumą ekstremaliomis sąlygomis.

Lietuvoje išvykimo krepšio klausimas nėra tyrinėtas. Buvo tirtas tik Lietuvoje parduodamų išvykimo krepšių atitikimas oficialioms Civilinės saugos rekomendacijoms (Klimenka, 2024a) bei Lietuvoje naudojamų išvykimo krepšio pavadinimų semantikos ir sinonimiškumo klausimas (Klimenka, 2024b). Apžvalginį skirtingų šalių išvykimo krepšio turinio palyginimo tyrimą atliko Ugniagesių gelbėtojų mokykla, tačiau jis nebuvo skelbtas recenzuojamame mokslo žurnale ir pateikiami tik pačios mokyklos internetiniame puslapyje (Ugniagesių..., 2024). Turinio klausimas taip pat aptartas kitų temų kontekste, civilinei saugai skirtose literatūroje (pvz., Baniulienė ir kt., 2014, p. 133). Užsienyje išvykimo krepšio klausimas nagrinėtas įvairiais aspektais, tačiau tyrimo, nagrinėjančio psichologinio pasirengimo ir turinio elementų, skirtų mažinti stresą, aptikti nepavyko. Akademiškai buvo svarstyti: įrodymai apie išvykimo krepšio turinio efektyvumą ir panaudojimo galimybes prasidėjus ekstremaliai situacijai (Heagele, 2016); išvykimo krepšių įsigijimo didėjimo ir mažėjimo pokyčiai prieš ir po katastrofos (Beatty et al., 2019); tirta kai kurių išvykimo krepšio turinio elementų būtinybė ekstremalioje situacijoje (Sopha et al., 2019); sukomplektuoto išvykimo krepšio svarba pasirengimo ekstremalioms situacijoms planavime (Wukich, 2019), įvairiuose planavimo lygmenyse (Vaillancourt, 2016) bei sveikatos apsaugos sistemos srityje (Sohn, Jae et al., 2016); išvykimo krepšio turinio klausimas COVID-19 pandemijos metu (Schnall et al., 2023). Nepaisant užsienyje esamų tyrimų ir gausos sąrašų, trūksta išsamių paaiškinimų, kam išvykimo krepšio elementai bus naudojami, tad neįsigilinusiam asmeniui gali būti neaišku, kam toks kiekis daiktų reikalingas ir kaip jie gali pagelbėti patekus į ekstremalią situaciją. Tyrimu siekiama suteikti šiek tiek aiškumo šioje srityje.

Tyrimų metodika

Šiame straipsnyje taikoma metodologija, pagrįsta literatūros analize ir psichologinių teorijų interpretacija. Naudotas kokybinis teorinių šaltinių analizės metodas, kuris leidžia išsamiai nagrinėti esamus tyrimus ir jų

rezultatus. Kadangi empiriniai duomenys, tokie kaip apklausos, nebuvo rinkti, tyrimas remiasi tik teorinės analizės metodu, suteikiančiu galimybę giliau suprasti nagrinėjamą temą.

Ekstremalių situacijų poveikis psichologinei būklei: streso mechanizmai

Pavojų gyvybei, sveikatai ir (arba) turtui sukeliantys įvykiai turi didelę psichologinę ir socialinę įtaką nukentėjusiai populiacijai, o po kiekvieno ekstremalaus įvykio atsiranda emocinę traumą patyrusių aukų (Pitrėnaitė-Žilėnienė ir kt., 2015, p. 70), tad svarbu, kad pačio įvykio metu žmogus galėtų patirti kuo mažiau streso, susikurti komfortą, kiek įmanoma išlaikyti ramybę ir taip apsaugoti save nuo psichologinių traumų arba vėliau numanomai būsiančio potrauminio streso sindromo. Šis sutrikimas dažniausiai prasideda po konkretaus trauminio įvykio ir pasireiškia nerimu, panika, grįžtančiais prisiminimais ar sapnais, priverčiančiais išgyventi traumą iš naujo. Nors potrauminis streso sindromas pasireiškia tik 8,7 % populiacijos, jis stipriai veikia psichologinį ir socialinį asmens funkcionavimą (Žukaitė, 2023, p. 181), todėl svarbu padaryti viską, kad jis nekiltų. Potrauminio streso sutrikimo priežastys susijusios su įvairiais veiksniais, įskaitant demografinius rodiklius (tokius kaip lytis, etninė priklausomybė, amžius), suvokta grėsmė gyvybei, baimė, stresas, faktinė grėsmė gyvybei ir po ekstremalios situacijos atsiradę funkciniai sutrikimai (Danzi et al., 2025, p. 2–3).

Stresas sukelia emocinį ir fizinį spaudimą, į kurį žmonės reaguoja taikydami įveikimo strategijas. Šios strategijos apima veiksmus, kuriais siekiama kontroliuoti, toleruoti ar sumažinti stresą. Jos padeda sušvelninti stresą keliančius įvykius ir jų poveikį sveikatai. Tai gali sumažinti neigiamą poveikį fiziologinėms funkcijoms, todėl žmonės, turintys geresnius streso įveikimo įgūdžius, dažnai patiria mažiau neigiamus simptomus (El-Shafei et al. 2018, p. 9040). Evakuacija, laikinų gyvenamųjų vietų praradimas ar įprastos socialinės aplinkos pasikeitimas sukelia papildomą stresą. Toks diskomfortas dažnai apsunkina nukentėjusiųjų prisitaikymą ir padidina socialinę įtampą, ypač tarp pažeidžiamų grupių, pavyzdžiui, vyresnio amžiaus žmonių. Streso lygis ekstremalioje situacijoje gali skirtis priklausomai nuo žmogaus socialinės padėties, pagalbos šaltinių ir turimų socialinių ryšių. Žemesnio statuso šeimos dažnai gauna mažiau pagalbos, todėl jų psichologinė būklė gali būti labiau pažeidžiama. Visoms grupėms svarbi ne tik materialinė, bet ir emocinė bei psichologinė parama, kuri dažnai suvokiama kaip žmogiškumo ir dėmesio ženklas. Kaimynų, draugų ir artimųjų pagalbą nukentėjusieji laiko labai reikšminga (Pitrėnaitė, 2007, p. 21–23).

Dažniausiai stresinės situacijos ekstremalių situacijų metu kyla dėl baimės, nerimo, patirtų fizinių traumų, alkio, troškulio, nuovargio, ilgesio, nuobodulio ir vienišumo (Уайзман, 2019, p. 38). Nepaisant to, kad pagrindinis žmogaus poreikis ekstremalios situacijos metu yra saugumas, „kiekvieno žmogaus atsakas į patirtą stresą priklauso nuo asmeninių (psichologinių, pažintinių, elgesio, emocinių, egzistencinių, dvasinių) savybių“ (Pitrėnaitė-Žilėnienė ir kt., 2015, p. 71).

Laisvalaikio veiklos praradimas, taip pat gebėjimų ir santykių netekimas gali sukelti dar didesnę stresą ir diskomfortą. Tokiu atveju laisvalaikis, užuot buvęs atsipalaidavimo šaltinis, pradeda tapti priežastimi, kuri prisideda prie „ligos patirties“, tai yra žmonės gali patirti psichologinių ir fizinių sunkumų, susijusių su negebėjimu tinkamai išnaudoti laisvalaikį (Kleiber et al., 2022, p. 221). Todėl rekomenduojama išvykimo krepšyje turėti „priemonių, padedančių sutrumpinti laukimą (knygų, žaidimų)“ (Baniulienė ir kt., 2014, p. 194). Patariama palaikyti socialinius ryšius, kiek įmanoma, laikytis įprastos rutinos, įpročių ir asmeninės higienos, rūpintis fizine sveikata, tinkamai maitintis, laikytis miego režimo, fizinio aktyvumo ir naudoti įprastus atsipalaidavimo būdus, pvz., meditacija, relaksacija ar kvėpavimo pratimai (Jei krizė..., 2024, 19), nes „nerimastingą emocionalumą atsveria gilaus kvėpavimo pratimai, raumenų atpalaidavimo technikos, jogos pratimai, meditacija – visa tai padeda atsipalaiduoti“ (Miglinė, 2016, p. 142).

Išvykimo krepšio komponentų reikšmė psichologinei ir emocinei gerovei

Visos šeimos ir žmonės yra skirtingi, todėl individualus išvykimo krepšys turėtų būti skirtingas. Kai kurie į savo išvykimo krepšį nedės visko, kas nurodyta oficialiame sąraše, kiti susigalvoja savo koncepciją, svarbiausia, kad komplektuojant išvykimo krepšį būtų pasirinkti svarbiausi daiktai, kurių gali prireikti ekstremalios situacijos metu. Viskas, ką asmuo turės išvykimo krepšyje, bus vienintelis jo išteklius (Nazlie et al., 2013, p. 578). Kaip bebūtų komplektuojamas individualus išvykimo krepšys, jame turėtų atsirasti priemonės psichologinei gerovei užtikrinti. Toliau aptariamos priemonės, kurių turėjimas užtikrina vieną ar kitą psichologinį veiksnių. Žmogaus psichologinė savijauta priklauso nuo to, kiek patenkinti jo poreikiai. Vadovaujantis Abraham Maslow žmogaus poreikių piramide, visi individai turi penkių tipų poreikius, kuriuos svarbu patenkinti: fiziologiniai (troškulys, alkis, miegas, šiluma ir pan.), saugumas (tvarka, emocinės, fizinės ir psichinės grėsmės, baimė ir kitų), socialiniai (emocinis ryšys, bendrystė, priklausymas grupei ir pan.). Kuo ilgiau šie poreikiai nepatenkinami, tuo labiau didėja būtinybė juos patenkinti (Maamari, 2025, p. 2), tad ekstremaliose situacijose jų patenkinimas gali turėti lemiamą pasekmę. Toliau aptariamų elementų sąrašai pateikiami remiantis Priešgaisrinės apsaugos ir gelbėjimo departamento puslapiu LT72.LT. Taip pat svarbi

pastaba, kad dalis aptarimų elementų aptariamose temose kontekste yra daugiavienio pobūdžio, tad priskyrimas kuriai nors kategorijai yra sąlyginis.

Saugumas ir komfortas. Vienas iš pagrindinių pirmosios psichologinės (savi)pagalbos elementų yra saugumas. Turint tinkamas priemones galima sau arba kitam suteikti emocinį saugumą ir komfortą (Miglinė, 2016, p. 139). Išvykimo krepšyje „būtinai ir mažinantys stresą produktai, ir suteikiantys jaukumo jausmą – sausainiai, ledinukai, šokoladas, kava, arbata“ (Baniulienė ir kt., 2014, p. 195). Galima išskirti kai kurias priemones, pateikiamas rekomendaciniame išvykimo krepšio sąraše: atsarginis rūbų komplektas, šlepetės, valgymo įrankiai (šakutė, peilis, šaukštas, metalinis puodelis, metalinis dubenėlis), maisto gaminių prietaisai (viryklėlė, dujų balionas), miego reikmenys (miego rūbai, miegmaišis, pripučiamas pagalvėlė, miego kilimėlis, palapinė), daugiavienis įrankis, maistas (saldumynai, kava, druska, prieskoniai), žibintuvėlis, ausų kištukai, radijo imtuvas. Visi šie išvykimo krepšio elementai padeda susikurti saugumą ir sąlyginį komfortą, tačiau trumpai bus aptarti tik keli.

Ausų kištukai atrodo mažiausiai svarbus elementas, tačiau jie padeda susidoroti su triukšmo keliamais nepatogumais. Triukšmas daro neigiamą poveikį ne tik klausai, bet ir visam organizmui. Triukšminga aplinka, ypač naktį, erzina, sukelia nuovargį, silpnina dėmesį, lėtina psichines reakcijas, vargina nervų sistemą ir gali tapti ligų ar nelaimingų atsitikimų priežastimi. Triukšmas apsunkina bendravimą, signalų girdėjimą, informacijos įsiminimą bei susikaupimą, taip pat didina agresyvumo tikimybę ir mažina norą padėti kitiems. Triukšmo poveikį dar labiau sustiprina kiti kenksmingi veiksniai, tokie kaip netinkamas mikroklimatas, kenksmingos medžiagos ar vibracijos (Čyras ir kt., 2005, p. 50). Tad elementarūs ausų kištukai, miegant kolektyvinės apsaugos statinyje su dar trisdešimčia knarkiančių asmenų, leis pailsėti ir netrukdomai išsimiegoti, nes „komfortabilus miegas kelia motyvaciją ir tausoja jėgas“ (Klimenka ir kt., 2023, p. 95).

Kitas išvykimo krepšio elementas yra žibintuvėlis arba bet koks kitas šviesos šaltinis. Jie svarbūs, nes, esant ekstremaliai situacijai, nakties metas gali būti psichologiškai ypač sudėtingas. Nesant apšvietimo nukentėjusiajam gali būti sunku judėti, tad beliktų sėdėti vienoje vietoje, o judėti juk gali prisireikti, pvz., būtinybė evakuotis naktį, nueiti iki sanitarinio mazgo. Taip pat šviesos šaltinis padeda nugalėti tamsos baimę, praleisti laisvalaikį skaitant bei kitose situacijose. Šviesa be galo svarbi norint įveikti baimes ir stresą (Nikunen, 2013). Taigi tokiems atvejams svarbu pasiruošti žvakių, žibintuvėlių, žibintuvėlių ir kt.

Saugumo jausmą ir komfortą didina patikimos informacijos apie situaciją turėjimas, o dezinformacija, klaidinanti ar netiksli informacija kelia papildomą įtampą (Jasiukevičiūtė-Zelenko ir kt., 2022). Tikslios informacijos šaltinių gali būti baterijomis maitinamas radijo imtuvas, nes jo pagalba nugenėjusieji gali gauti naujausią informaciją bei naujienas (Said et al., 2019, p. 93). Be to, per radijo imtuvą galima klausytis muzikos. Dalis ekstremalioms situacijoms skirtų portatyvinių radijo imtuvų turi integruotus žibintuvėlius, tad asmuo gali pasišviesti aukščiau aptartose situacijose. Tai ženkliai gerina komfortą, kartu mažina stresą.

Rutiną palaikančios priemonės ir individualūs įpročiai. Nelaimių aukos gali būti nevilties ir šoko būsenos. Ši traumuojanči patirtis sutrikdo visavertį aukų gyvenimą ir atneša nuostolių asmenims, šeimoms ir bendruomenėms. Kasdienės rutinos praradimas greta kitų faktorių gali turėti rimtų padarinių psichinei sveikatai (Makwana, 2019, p. 3091–3092). Taigi rekomendaciniame sąraše galima išskirti kelias priemones, kurios gali būti naudingos palaikant kasdienę rutiną ir individualius įpročius: higienos priemonės, kava, saldumynai, cigaretės, miego reikmenys. Tai svarbu, nes dalis žmonių rytą įpratę turėti ritualus, tad „keletas kavos ar arbatos bei cukraus pakelių pridės nedaug svorio, tačiau suteiks daug komforto“ (Jones, 2024, p. 159); asmens higiena svarbi ne tik fizine, bet ir moraline prasme, nes padeda nepamiršti normalaus gyvenimo, kai yra galimybė kasdien nusiprausti, lengviau pastebima, kai kas nors sunegaluoja (Wesley, 2015, p. 176). Rutiną taip pat padeda palaikyti skanus ir įprastas maistas.

Miego režimas taip pat yra svarbus rutinos kūrimo elementas. Optimalus poilsis – 8 valandų miegas. Neturint galimybės pamiegoti siūloma tiesiog pagulėti arba pasėdėti užsimerkus. Nereikia persistengti, nes pernelyg daug laiko skyrus pasyviui poilsiui gali pasireikšti priešingas efektas – nuovargio jausmas (Baniulienė ir kt., 2014, p. 216–217). Tad miego reikmenys, tokie kaip turistinis paklotėlis, miegmaišis, pagalvėlė ir miego rūbai, gali ženkliai pagerinti miego kokybę. Jų neturint, miegas bus nekokybiškas, žmogus negalės tinkamai pailsėti, tad jo darbingumas ir efektyvus mąstymo kokybė suprastės. Ilgalais nuovargis vers priimti neadekvačius sprendimus bei kenks bendrai psichinei ir fizinei būklei, taigi miego rutiną užtikrinantys elementai yra vieni svarbiausių šioje kategorijoje.

Taip pat svarbu įprasti palaikyti tvarką, nes „tvarka mažina stresą, atpalaiduoja protą“ (Wesley, 2015, p. 176). Įprotis ir gebėjimas tvarkingai dėti inventorių ir neteršti aplinkos aplink save sukuria tam tikrą stabilumo jausmą ir žmogaus psichiką gali ilgiau išlikti nepalūžusi.

Išvykimo krepšio elementai, mažinantys vienišumo jausmą. Ekstremalių situacijų metu vertingi daiktai, tokie kaip šeimos relikvijos, nuotraukos ir kt., tampa dar brangesni, nes leidžia išlaikyti bent minimalų ryšį su praeitimi. JAV Federalinė ekstremalių situacijų valdymo agentūra (*The Federal Emergency Management Agency*), atsižvelgdama į šios srities elementų svarbą, dalinasi patarimais, kaip šiuos brangius daiktus išsaugoti

(FEMA, 2024). Tad LT72.LT rekomendaciniame sąrašė artimųjų nuotraukos, radijo imtuvai, telefonai, žibintuvėlis, maldos reikmenys leidžia sumažinti vienišumo jausmą. Žinoma, daiktai yra tik viena vienišumo mažinimo pusė, labiau svarbi, kai asmuo išgyvena ekstremalią situaciją atskirtas nuo bendruomenės. Tačiau jei asmuo yra grupėje, rekomenduojama siekti bendravimo su kitais asmenimis. Tokiu atveju reikėtų komunikuoti su adekvačiau į situaciją reaguojančiais žmonėmis, nes tokie gali padėti kitiems susidoroti su esamos situacijos iššūkiais (Baniulienė ir kt., 2014, p. 220). Laisvalaikis, draugija ir socialinė veikla gali suteikti socialinę paramą, padedančią kovoti su vienišumo ir izoliacijos jausmu. Net ir minimalūs socialiniai ryšiai, kuriuos žmonės palaiko laisvalaikio metu, gali sušvelninti neigiamą poveikį. Socialiniai ryšiai ir bendravimas suteikia emocinę atramą, padeda atsistatyti ir mažina streso ar depresijos riziką, užtikrina, kad žmonės jaustųsi palaikomi ir nesuklydę (Kleiber et al., 2022, p. 222). Socialinė parama yra itin svarbus psichosocialinis veiksnys, padedantis įveikti stresą ekstremaliose situacijose, padeda išgyventi nežinią ir nuovargį. Komunikacija skatina bendruomeniškumą, sutelktumą ir vieningumo stiprinimą. Emocinis palaikymas, rūpesčių išklausymas, pagalba atliekant užduotis ar dalijantis informacija yra esminiai socialinės paramos elementai (Jasiukevičiūtė-Zelenko ir kt., 2023, p. 59–60). Neturint galimybės komunikuoti su kitais, pravers laisvalaikio priemonės.

Laisvalaikio priemonės. Asmenys, pakliuvę į ekstremalią situaciją, dažnai turi ilgesnį ar trumpesnį laiką likti vienoje vietoje, t. y. iš esmės pasyviai laukti (Daugirdas, 2020, p. 62); evakuaciniame punkte gali tekti ilgai būti nieko neveikiant, tad išvykimo krepšyje turėtų būti įdėtos „priemonės praleisti laiką laukiant (knygos, žaidimai, žaislai vaikams)“ (Aleksa, 2014, p. 81). Greta priemonių vaikams turėtų būti ir priemonės laisvalaikiui suaugusiems. Jei kurį laiką asmeniui teks praleisti tarpiniame evakuacijos punkte arba pabėgėlių centre, šios priemonės padės išlaikyti gerą nuotaiką ir sumažinti stresą. Vaikams žaidimai apskritai yra gyvybiškai svarbūs, nes galimybė atsitraukti nuo aplink vykstančio chaoso padeda išvengti emocinių traumų. Pabėgėlių ar evakuacijos centruose paprastai dėl nuovargio, negatyvių emocijų, nežinios ir baimės kyla trintis tarp žmonių, nes žmonės, paveikti streso, pasidaro piktai ir agresyvūs, tad žaidimai ir kitos priemonės padeda nukreipti mintis kita linkme, o tai gali padėti sumažinti įtampą (Klimenka ir kt., 2023, p. 95). Skaitymas ekstremalios situacijos metu padeda atsitraukti nuo esamo momento įtampos, sumažinti nerimą ir patirti emocinę ramybę, nukreipti dėmesį nuo asmeninių problemų (Janavičienė, 2021, p. 2–4). Tokiu būdu skaitymas tampa rimta psichologinės paramos priemone. Labai veiksmingas aktyvus poilsis – poilsis, suderintas su įdomia veikla: sportiniai žaidimai, vaikščiojimas gamtoje, skaitymas, laiškų rašymas, televizoriaus žiūrėjimas, muzikos klausymas, pokalbiai telefonu, susitikimai ir pan. Taip pat gali padėti meditacija ar fizinė veikla. Fizinė, kaip ir bet kokia kita intensyvi veikla, padeda nukreipti dėmesį nuo skausmingų išgyvenimų (Baniulienė ir kt., 2014, p. 216–217), tad tokių priemonių būtinybė ir svarba neabejotina.

Rezultatai ir aptarimas

Psichologinis pasirengimas ekstremalioms situacijoms yra esminis veiksnys, padedantis sumažinti stresą ir išlaikyti emocinį atsparumą. Tinkamai sukomplektuotas išvykimo krepšys gali tarnauti kaip priemonė, palaikanti psichologinę gerovę ir prisidedanti prie asmens gebėjimo efektyviai reaguoti į stresines situacijas.

Išvykimo krepšio elementai turi reikšmingą poveikį emocinei būklei. Daiktai, kurie užtikrina komfortą, rutinos išlaikymo priemonės, socialinę sąsają stiprinantys objektai bei laisvalaikio priemonės prisideda prie nerimo mažinimo, saugumo jausmo didinimo ir adaptacijos prie ekstremalių situacijų palengvinimo.

Lietuvoje trūksta mokslinių tyrimų, nagrinėjančių išvykimo krepšio psichologinius aspektus. Nors civilinės saugos tarnybos formuluoja rekomendacijas dėl išvykimo krepšio turinio, jos dažnai neakcentuoja psichologinės gerovės svarbos. Dėl to būtina atlikti išsamesnius šios srities tyrimus, siekiant geriau suprasti psichologinius aspektus, veikiančius asmenis, patiriančius ekstremalių situacijų poveikį. Tolesni tyrimai turėtų būti orientuoti į empirinius duomenis, siekiant nustatyti, kurie konkrečiai išvykimo krepšio elementai lemia efektyvumą skirtingose ekstremaliose situacijose. Tai padėtų geriau suprasti, kaip tinkamai paruoštas išvykimo krepšys gali prisidėti prie asmens psichologinės gerovės ir streso valdymo.

Išvados

1. Tinkamai sukomplektuotas išvykimo krepšys padeda sumažinti stresą, palaikyti emocinę pusiausvyrą ir pagerina prisitaikymą prie ekstremalių situacijų.
2. Psichologinę gerovę ekstremaliois sąlygomis stiprina komfortą kuriantys, rutiną palaikantys, socialinę sąsają stiprinantys ir laisvalaikiui skirti išvykimo krepšio elementai.
3. Išvykimo krepšys nėra vien tik fizinių išteklių rinkinys – jo turinys gali turėti reikšmingą poveikį žmogaus psichologinei būsenai, todėl svarbu į jį įtraukti ne tik būtiniausius daiktus, bet ir priemones, padedančias palaikyti emocinę pusiausvyrą bei sumažinti stresą.

Literatūra

1. Aleksa, K. (red.). (2014). *Ką turime žinoti apie pasirengimą ekstremalioms situacijoms ir karo metui*. Vilnius: Krašto apsaugos ministerija.
2. Baniulienė, R., Monkeliūnienė, J., Paškevičiūtė, A., Jakavonis, D., Misiūnas, A., Dumčienė, M., Vilkelienė, D. (2014). Civilinė sauga. Mokymo priemonė profesinio mokymo įstaigoms. Kaunas: Kopa.
3. Beatty, T., Shimshack, J. P., Volpe, R. J. (2019). Disaster preparedness and disaster response: Evidence from sales of emergency supplies before and after hurricanes. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, 6(4), 633–668.
4. Čyras, P., Šukys, R., Girnius, V. ir Nainys, V. (2005). *Žmonių sauga*. Paskaitų konspektas. Vilnius: Vilniaus Gedimino technikos universitetas.
5. Danzi, B. A., Knowles, E. A. ir Bock, R. C. (2025). Posttraumatic stress disorder in disaster-exposed youth: examining diagnostic concordance and model fit using ICD-11 and DSM-5 criteria. *BMC pediatrics*, 25(1), 1–15. <https://doi.org/10.1186/s12887-024-05317-6>
6. Daugirdas, A. (2020). Išgyvenimo atmintinė. Vilnius: Lietuvos Respublikos krašto apsaugos ministerija.
7. El-Shafei, D. A., Abdelsalam, A. E., Hammam, R. A., Elgohary, H. (2018). Professional quality of life, wellness education, and coping strategies among emergency physicians. *Environmental Science and Pollution Research*, (25), 9040–9050. doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1240-y>
8. FEMA. (2024). *Save Your Family Treasures*. <https://www.fema.gov/disaster/recover/save-family-treasures>
9. Heagele, T. N. (2016). Lack of evidence supporting the effectiveness of disaster supply kits. *American journal of public health* 106(6), 979–982.
10. Janavičienė, D. (2021). Biblioterapija: skaitymo rekomendacijos išgyvenantiems atskirtį COVID-19 pandemijos metu. *Slauga. Mokslas ir praktika*, 2(7), 1–14. doi: <https://doi.org/10.47458/Slauga.2021.2.14>
11. Jasiukevičiūtė-Zelenko, T., Bagdonaitė, N. (2023). Tarpusavio santykiai kolektyve kaip kertinis išteklis bandant įveikti COVID-19 pandemijos krizę Lietuvos ligoninėse: komandos branduolio telkimas ir socialinės paramos reikšmė. *Visuomenės sveikata*, 3(102), 50–61.
12. Jasiukevičiūtė-Zelenko, T., Kolesnik, J. (2022). Profesinės sveikatos bei darbuotojų saugos ir sveikatos specialistų vaidmuo ligoninės darbo aplinkoje valdant ekstremalią situaciją COVID-19 pandemijos metu: iššūkiai ir jų įveika. *Visuomenės sveikata*, 4(99), 44–54.
13. *Jei krizė arba karas: kaip elgtis?* (2024). Vilnius: Krašto apsaugos ministerija.
14. Jones, J. C. (2024). *Ekstremalaus išgyvenimo vadovas: kaip planuoti gyvenimą, paruošti namus, transportą ir šeimą stichinėms nelaimėms, pilietiniams neramumams, ekonomikos žlugimui, epidemijoms ir politiniams kataklizmams*. Vilnius: Liūtai ne avys.
15. Klimenka, G. E. (2024a). Lietuvos rinkoje parduodamų išvykimo krepšių atitikimas oficialioms civilinės saugos rekomendacijoms: turinio ir kainos tyrimas. *Public Security and Public Order*, (36), 75–93. doi: 10.13165/PSPO-24-36-06
16. Klimenka, G. E. (2024b). Terminų išvykimo krepšys, evakuacinė kuprinė ir išgyvenimo krepšys sinonimiškumo klausimu. *Gimtoji kalba: bendrinės kalbos žurnalas*, (7), 16–19.
17. Klimenka, G. E., Klimenka, E. (2023). *Išmoktos pamokos: ne tik šauliams*. Kaunas: Lietuvos šaulių sąjunga.
18. Kleiber, D. A., Hutchinson, S. L., Williams, R. (2002). Leisure as a resource in transcending negative life events: Self-protection, self-restoration, and personal transformation. *Leisure sciences*, 24(2), 219–235. doi: 10.1080/01490400252900167
19. LT72.LT. (n. d.). Išvykimo krepšys. <https://lt72.lt/isvykimo-krepšys/>
20. Maamari, R. H. H. A. (2025). Maslow's hierarchy of needs: a critical examination in disaster situations. *Journal of Religion & Spirituality in Social Work: Social Thought*, 1-21. doi: <https://doi.org/10.1080/15426432.2025.2459827>
21. Makwana, N. (2019). Disaster and its impact on mental health: A narrative review. *Journal of family medicine and primary care*, 8(10), 3090–3095. doi: 10.4103/jfmpe.jfmpe_893_19
22. Miglinė, V. (2016). Socialinio atsparumo po ekstremaliųjų įvykių stiprinimas: pirmosios psichologinės pagalbos teikimo principai. *Sveikatos politika ir valdymas*, 1(9), 132–151. doi:10.13165/SPV-16-1-9-07
23. Nazli, N. N. N. N., Sipon, S., Radzi, H. M. (2014). Analysis of training needs in disaster preparedness. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, (140), 576–580.
24. Nikunen, H. (2013). *Lighting, perceived restorativeness, fear, preference and pleasantness in nightscapes*. Doctoral dissertation, Aalto University. Aalto University Publication Series.
25. Pitrenaitė-Žilėnienė, B., Miglinė, V. (2015). Psichikos sveikatos pagalbos po ekstremaliųjų įvykių svarba. *Health Policy and Management*, 1(8), 68–90. doi: 10.13165/SPV-15-1-8-04

26. Pitrėnaitė, B. (2007). Ekstremalių situacijų valdymo sistemos projektavimo principai ir jų vertinimas. *Viešoji politika ir administravimas*, 1(22), 17–28.
27. Said, N., Khin, T. A., Nurizzati, A. (2019). Development of A Disaster Kit Based on A Cultural Context for Flood Disaster Relief and Preparedness. *IIUM Medical Journal Malaysia*, 18(1), 89–96.
28. Schnall, A. H., Kieszak, S., Hanchey, A., Heiman, H., Bayleyegn, T., Daniel, J., Stauber, C. (2023). Characterizing Emergency Supply Kit Possession in the United States During the COVID-19 Pandemic: 2020–2021. *Disaster medicine and public health preparedness*, (17), 1–15. doi:10.1017/dmp.2022.234
29. Sohn, C. H., Jae, Ch. Y., Bum, J. O, Won, K., Kyoung, S. L. (2008). Hospital disaster preparedness in Korea: aspect of basic supplies during a disaster. *Journal of the Korean Society of Emergency Medicine*, 19(1), 22–30.
30. Sopha, B. M., Asih, A. M. S. (2019). Identifying aid items of survival kit for natural disasters. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, (1), 1–7. doi: 10.1088/1757-899X/673/1/012073
31. Ugniagesių gelbėtojų mokykla. (2024). *Lietuvos Respublikos ir kitų šalių rekomendacijos išvykimo krepšio turiniui*. <https://ugm.lrv.lt/media/viesa/saugykla/2023/10/jjeKiacr9S0.docx>
32. Vaillancourt, A. (2016). Kit management in humanitarian supply chains. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, (18), 64–71.
33. Weley, J. R. (2015). *Kaip išgyventi šiuolaikinio pasaulio pabaigą: taktika, būdai ir priemonės neramiems laikams*. Kaunas: Obuolys.
34. Wukich, C. (2019). Preparing for disaster: Social media use for household, organizational, and community preparedness. *Risk, Hazards & Crisis in Public Policy*, 10(2), 233–260.
35. Žukaitė, B. (2023). Potrauminio streso sindromo diagnostikos ir gydymo strategijos. *Sveikatos mokslai/Health Sciences in Eastern Europe*, 33, 181–184. doi: <https://doi.org/10.35988/sm-hs.2023.114>
36. Уайзмэн, Д. (2019). *Выживание везде и всегда*. Москва: Издательство АСТ.

Gabrielius Edvinas Klimenka

Psychological Disaster Preparedness: Elements of an Exit Bag and Stress Management

This article explores the role of the emergency supply kit in psychological well-being during emergencies, focusing on the impact of its elements on stress reduction. Problem: Although its contents may have a significant impact on emotional resilience in the context of crisis situations, the psychological aspects of the emergency supply kit have not been analyzed in detail in Lithuania and abroad. The study is based on an analysis of scientific literature, examining the mechanisms of stress, coping strategies, and psychological factors that influence well-being in extreme conditions. It was found that the contents of an emergency supply kit can contribute to psychological stability through four main categories: comfort items, routine support items, social bonding items and leisure items. The results of the study show that a well-designed emergency supply kit not only helps to meet physical needs, but also reduces anxiety, maintains emotional balance and improves adaptation to stressful situations.

Keywords: Emergency supply kit, psychological resilience, stress management, disaster preparedness, emotional well-being.

Gauta 2025 m. vasario mėn., atiduota spaudai 2025 m. balandžio mėn.

Gabrielius Edvinas KLIMENKA. Vytauto Didžiojo universitetas, Katalikų teologijos fakultetas, asistentas, mokslo daktaras. Adresas: Gimnazijos g. 7, LT-44264 Kaunas, tel. +370 640 20113, el. paštas: gabrielius.klimenka@vdu.lt
 Gabrielius Edvinas KLIMENKA. Vytautas Magnus University, Faculty of Catholic Theology, Asst., PhD. Address: Gimnazijos str. 7, LT-44264 Kaunas. Phone: +370 64 020113, e-mail: gabrielius.klimenka@vdu.lt

RADONO KONCENTRACIJĄ POŽEMINĖSE AIKŠTELĖSE LEMIANČIŲ VEIKSNIŲ TYRIMAS

Dainius Jasaitis, Milda Pečiulienė

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Atlikta gamtinės jonizuojančiosios spinduliuotės kaitos ir radono ekshaliacijos iš tipinių statybinių medžiagų požeminėse aikštelėse analizė. Nustatyta, kokią visos ekvivalentinės dozės galios dalį sudaro ore esantis radonas ir jo skilimo produktai. Tyrimo metu išmatuota radono koncentracija ore, taip pat įvertintas aktyvumo koncentracijos rodiklis, leidžiantis nustatyti statybinių medžiagų tinkamumą požeminiams statiniams radiacinės saugos požiūriu. Didžiausias radono ekshaliacijos greitis nustatytas betono ir gelžbetonio bandiniuose, o mažiausias – molinėse plytose. Nustatyta stipri koreliacija tarp radžio koncentracijos statybinėse medžiagose ir radono koncentracijos patalpų ore. Požeminių aikštelių dozimetrinė analizė parodė, kad požeminėse aikštelėse radono ir jo skilimo produktų gama spinduliuotė sudaro 16–31 % bendros lygiavertės dozės galios, o bendras radiacinis fonas jose yra didesnis nei antžeminėse aikštelėse.

Raktiniai žodžiai: jonizuojančioji spinduliuotė, radonas, koncentracija, apšvita.

Įvadas

Žmogus nuolat patiria jonizuojančiosios spinduliuotės poveikį, kurį sukelia gamtiniai ir dirbtiniai jonizuojančiosios spinduliuotės šaltiniai. Skaičiuojama, kad daugiau nei 50 % visos apšvitos žmogus gauna iš natūralių šaltinių, o vienas svarbiausių yra radono (^{222}Rn) dujos (United, 2011; Baeza et al., 2018). Radonas – gamtinės radioaktyviosios dujos, susidaranti natūraliai skylant grunte, vandenyje ir uolienose esančiam radžio (^{226}Ra) izotopui. Dėl santykinai ilgos (3,82 dienos) pusėjimo trukmės radonas patenka į atmosferą iš žemės plutos bei statybinių medžiagų. Kadangi radonas yra alfa spinduliuotės šaltinis ir jo spinduliuotė didžiąja dalimi sugeriama odos paviršiuje, didžiausią pavojų kelia radono skilimo produktai (^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi), kurie prisijungia prie ore esančių aerozolių, nusėda kvėpavimo takuose ir didina plaučių vėžio riziką (Morkūnas ir kt., 2009).

Lietuvoje galiojantys teisės aktai numato, kad gyventojai negali gauti didesnės nei 1 mSv per metus apšvitos (HN 73:2018). Pasaulinė vidutinė metinė efektinė dozė iš natūralių šaltinių siekia 2,4 mSv, iš jų 1,1 mSv sudaro foninė spinduliuotė, o 1,3 mSv – radono dujų skleidžiama spinduliuotė (Al-Jundi et al., 2006). Lietuvos gyventojų vidutinė metinė efektinė dozė siekia 3,36 mSv, iš jų apie 1 mSv per metus lemia radonas patalpose (Radiacinės..., 2025).

Vertinant jonizuojančiosios spinduliuotės poveikį, būtina įvertinti tiek vidinę apšvitą, kurią sąlygoja įkvėpamų radono dujų koncentracija, tiek išorinę apšvitą, kurią lemia gamtinės jonizuojančiosios spinduliuotės intensyvumas aplinkoje. Dauguma statybinių medžiagų sudarytos iš uolienų ir dirvožemio, kuriuose natūraliai aptinkami radioaktyvieji torio (^{232}Th) ir urano (^{238}U) skilimo serijos radionuklidai bei kalis (^{40}K) (Trevisi et al., 2018). Šių radionuklidų skleidžiama gama spinduliuotė lemia išorinės apšvitos lygį. Siekiant apriboti papildomą apšvitą dėl radionuklidų statybinėse medžiagose, nustatyti aktyvumo koncentracijos rodikliai, reglamentuojantys gyvenamųjų pastatų statybai naudojamų medžiagų tinkamumą (HN 73:2018).

Statybinės medžiagos gali reikšmingai padidinti radono kiekį patalpų ore, jų įtaka gali siekti iki 30 % bendros radono koncentracijos (Trevisi et al., 2013). Didelė gamtinės kilmės radionuklidų koncentracija statybinėse medžiagose gali lemti padidėjusius apšvitos lygius pastatuose (Nuccetelli et al., 2015). Tyrimai rodo, kad radono skilimo produktų sukeltos ekvivalentinės dozės galia (EDG) gali sudaryti nuo 2 % iki 20 % bendrosios EDG vertės (Chibowski et al., 2001).

Radono skilimo produktų koncentracija uždaroje patalpoje priklauso nuo radono ekshaliacijos iš grunto, statybinių medžiagų bei ventiliacijos efektyvumo. Siekiant sumažinti radono kiekį patalpoje, pirmiausia reikia riboti radono emisiją iš statybinių medžiagų ir kontroliuoti radžio (^{226}Ra) aktyvumo koncentraciją grunte ir statybinių medžiagų sudėtyje, nes būtent šis radionuklidas yra pagrindinis radono šaltinis (Awhida et al., 2016). Atliekant gamtinių radionuklidų aktyvumo koncentracijos tyrimus, galima tiksliai įvertinti esamą situaciją ir pasiūlyti sprendimus, kaip sumažinti jonizuojančiosios spinduliuotės sukeltą apšvitą. Tyrimai rodo, kad apšvitos lygis priklauso nuo naudojamų statybinių medžiagų kiekio ir jų pasiskirstymo pastate (Trevisi et al., 2013).

Šio tyrimo tikslas – įvertinti gamtinių radionuklidų sukeltą apšvitą požeminėse automobilių stovėjimo aikštelėse ir nustatyti, kokią dalį bendrosios ekvivalentinės dozės galios sudaro ore esantys ^{222}Rn skilimo produktai.

Tyrimų metodika

Tyrimai buvo atlikti Vilniaus miesto požeminėse aikštelėse 2024 m. kovą – 2024 m. birželį.

Radono koncentracijos aktyvumui patalpose matuoti buvo naudojamas radono monitorius SARAD RTM–2200, kuris veikia alfa spektrometrijos principu. Prietaisas registruoja radono skilimo produktus (^{218}Po ir ^{214}Po), nusėdusius ant puslaidininkinio detektoriaus paviršiaus, kameros viduje, kur detektorius fiksuoja radono skilimo produktų alfa spinduliuotę.

SARAD RTM–2200 matavimo ribos siekia nuo 0 iki 10 MBq/m³, o jautris – $3,2/7 \text{ imp min}^{-1} \div 1000 \text{ Bq/m}^3$ (su/be ^{214}Po). Prietaisas leidžia registruoti radono aktyvumo koncentraciją pasirinktais laiko intervalais.

Radono ekshaliacija buvo įvertinta naudojant LR-115 tipo plastikinius treko detektorius. Mėginiai buvo hermetiškai uždaryti 400 ml talpos cilindrinuose induose, o radono aktyvumo augimas stebėtas kaip laiko funkcija (Stoulos et al., 2003; Sonkawadea et al., 2008; Moura et al., 2011). Detektorius registravo alfa daleles, nusėdusias ant vidinių indo sienelių, bei likusiame indo tūryje dėl radono skilimo produktų ^{218}Po ir ^{214}Po poveikio. Pasibaigus ekspozicijos laikui, detektoriaus juosta buvo išimta ir skenuota takelio tankiui išmatuoti. Siekiant išryškinti plėvelėse užfiksuotus pėdsakus, ji buvo chemiškai išdėdama, tuomet nustatytos radono ir jo skilimo produktų koncentracijos.

Ekshaliacijos greitis buvo apskaičiuotas įvertinus radono aktyvumo kitimą laikui bėgant, atsižvelgiant į indo tūrį, ekspozicijos laiką ir detektoriaus jautrumą. Šis rodiklis yra svarbus vertinant radono ekshaliacijos intensyvumą iš tiriamų medžiagų bei potencialų poveikį aplinkai. Radono paviršiaus ekshaliacijos greitis (*Radon surface exhalation rate*) – tai rodiklis, nusakantis radono dujų ekshaliacijos intensyvumą iš medžiagos paviršiaus ploto vieneto į aplinką, per laiko vienetą. Rodiklis, nusakantis, radono dujų ekshaliaciją iš tam tikros medžiagos masės vieneto per tam tikrą laiką, – radono masės ekshaliacijos greitis (*Radon mass exhalation rate*). Radono paviršiaus ekshaliacijos greitis ir radono masės ekshaliacijos greitis apskaičiuoti remiantis (1) ir (2) formulėmis (Perna et al., 2018).

Radono paviršiaus ekshaliacijos greitis:

$$E_S = \frac{CV\lambda/A}{T+(1/\lambda)(e^{-\lambda T}-1)} \quad (1)$$

Radono masės ekshaliacijos greitis :

$$E_M = \frac{CV\lambda/M}{T+(1/\lambda)(e^{-\lambda T}-1)} \quad (2)$$

čia E_S – radono paviršiaus ekshaliacijos greitis (Bq m⁻² h⁻¹), E_M – radono masės ekshaliacijos greitis (Bq kg⁻¹ h⁻¹), C – suminė radono apšvita (Bq m⁻³ h⁻¹), V – oro tūris (m³), λ – radono skilimo konstanta (h⁻¹), T – matavimo laikas (h), A – bandinio paviršiaus plotas (m²), M – bandinio masė (kg).

Alfa indeksas (I_a) yra dar vienas svarbus rodiklis, naudojamas radono ir jo skilimo produktų koncentracijai ore bei jų potencialiam poveikiui organizmui įvertinti. Jis taikomas nustatant galimą riziką, susijusią su radono išsiskyrimu iš statybinių medžiagų ir jo skilimo produktų sukeliamą ilgalaikę vidinę apšvitą (Righi et al., 2006).

Alfa indeksas apskaičiuotas pagal formulę (3):

$$I_A = \frac{C_{Ra}}{200} \quad (3)$$

čia C_{Ra} – radžio savitasis aktyvumas medžiagoje, Bq kg⁻¹.

Gamtinės kilmės radionuklidų sukeltos jonizuojančiosios spinduliuotės lygio įvertinimui buvo atlikti dozimetriniai požeminių ir antžeminių aikštelių tyrimai matuojant lygiavertę dozės galią (LDG). Eksperimentai atlikti mobiliu gama jonizuojančiosios spinduliuotės matavimo ir registravimo įrenginiu „InSpector 1000“ su Na I detektoriumi IPROS-3: stabilizuotas 3” x 3”; 32 000 cps/mrem/h $\pm$ 3,5 %. Dozimetro parodymai atnaujinti kas 3 s.

Rezultatai

1 lentelėje pateikti dažniausiai naudojamų statybinių medžiagų radono paviršiaus ir masės ekshaliacijos greičiai, emanacijos faktoriai bei poringumas.

Radono paviršiaus ekshaliacijos greitis svyravo nuo $11,9 \pm 1,6$ iki $32,2 \pm 1,8 \text{ mBq} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$, masės ekshaliacijos greitis – nuo $1,12 \pm 0,2$ iki $3,19 \pm 0,3 \text{ mBq} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$. Didžiausias radono ekshaliacijos greitis buvo nustatytas betono ir gelžbetonio mėginiuose, mažiausias – molinėse plytose. Panašūs tyrimai rodo, kad betono, gelžbetonio, molinių plytų ir granito plytelių radono ekshaliacijos greičiai gali skirtis priklausomai nuo žaliavų sudėties, poringumo ir gamybos technologijų (Trevisi et al., 2013). Pavyzdžiui, betono radono masės ekshaliacijos greitis dažniausiai svyruoja nuo 1 iki 3 mBq·kg⁻¹·h⁻¹, priklausomai nuo užpildo mineralinės kilmės bei cemento sudėties. Radono ekshaliacija iš molinių plytų paprastai yra mažesnė nei betono ar

gelžbetonio dėl aukštos temperatūros gamybos procese, kuris mažina radono išsiskyrimą. Granitas gali pasižymėti didesniu radono ekshalacijos greičiu, kadangi natūralus akmuo dažnai turi didesnę urano koncentraciją.

Svarbu pažymėti, kad radono ekshalacijos greitis kinta priklausomai nuo betono amžiaus. Įvairūs tyrėjai nustatė, jog, praėjus vieneriems metams po betono išliejimo, radono ekshalacijos greitis mažėja senstant betonui (Stoulos et al., 2003; Awhida et al., 2016; Baeza et al., 2018). Taip pat buvo nustatyta, kad, esant mažai drėgmei, betono radono ekshalacijos greitis mažėja. Todėl tyrimų rezultatai rodo, kad radono ekshalacijos matavimai betono mėginiuose turi būti standartizuoti atsižvelgiant į tam tikrą drėgmės lygį ir mėginio amžių.

1 lentelė. Radono ekshalacijos greičiai, emanacijos faktorius ir statybinių medžiagų poringumas

Table 1. Radon exhalation rates, emanation factors, and porosity of building materials)

Statybinė medžiaga <i>Building material</i>	Radono paviršiaus ekshalacijos greitis ($\text{mBq} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$) <i>Radon surface exhalation rate</i> ($\text{mBq} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$)	Radono masės ekshalacijos greitis ($\text{mBq} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) <i>Radon mass exhalation rate</i> ($\text{mBq} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)	Emanacijos faktorius (%) <i>Emanation factor (%)</i>	Poringumas (%) <i>Porosity (%)</i>
Betonas <i>Concrete</i>	$28,4 \pm 1,6$	$2,37 \pm 0,5$	10 ± 3	16 ± 3
Gelžbetonis <i>Ferroconcrete</i>	$32,2 \pm 1,8$	$2,45 \pm 0,6$	16 ± 4	18 ± 3
Molinės plytos <i>Clay bricks</i>	$18,3 \pm 1,4$	$1,12 \pm 0,2$	5 ± 2	23 ± 4
Granito plytelės <i>Granite tiles</i>	$11,9 \pm 1,6$	$3,19 \pm 0,3$	6 ± 3	7 ± 2

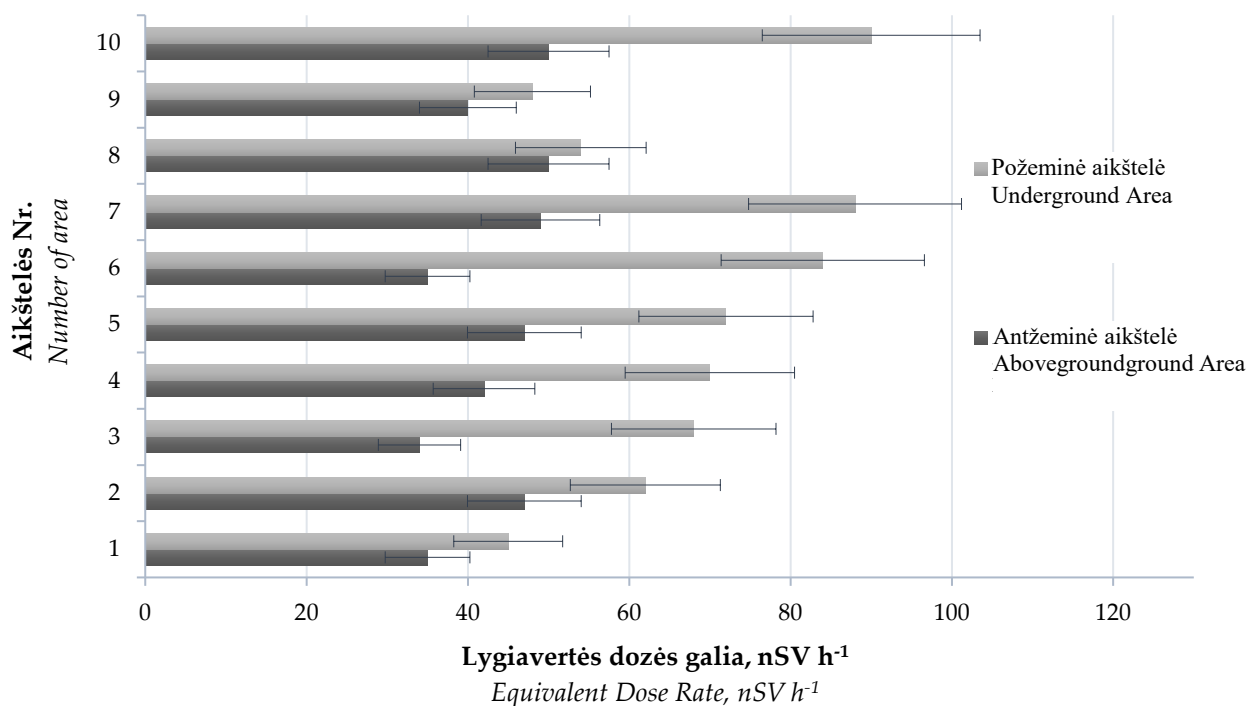
Patalpose radonas kaupiasi patekęs ir iš grunto, ir iš statybinių medžiagų. Jei statybinėse medžiagose radžio aktyvumo koncentracija viršija $200 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$, padidėja tikimybė, kad radono ekshalacija iš šios medžiagos gali lemti didesnę radono koncentraciją patalpų ore ($\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$).

Nustatyta stipri teigiama koreliacija (0,88) tarp radžio aktyvumo koncentracijos ir radono koncentracijos, kuri gali būti siejama su radžio kiekiu bei mėginių poringumu. Apskaičiuotas alfa indeksas (I_α) statybinėse medžiagose svyravo nuo 0,06 iki 0,44, o didžiausia reikšmė (0,44) buvo nustatyta betono ir gelžbetonio mėginiuose. Pagal rekomendacijas I_α vertė turėtų būti mažesnė nei 0,5 (European, 1999).

Sugertosios dozės galia nėra tiesiogiai susijusi su statybinių medžiagų radionuklidų koncentracija, o tai rodo, kad patalpose dozės galią lemia ir kiti veiksniai. Šiame tyrime buvo išmatuota požeminių aikštelių lygiavertės dozės galia (LDG).

Išorinės lygiavertės dozės galios vertės, kurias sukelia natūralūs radionuklidai – ^{40}K , ^{226}Ra ir ^{232}Th , pateiktos 1 pav. Siekiant įvertinti išmatuotą lygiavertės dozės galią požeminėse aikštelėse, gauti rezultatai buvo palyginti su matavimų duomenimis, užfiksuotais antžeminėse aikštelėse. 1 pav. pateikiami lygiavertės dozės galios matavimų duomenys požeminėse aikštelėse su dirbtine ventiliacija ir antžeminėse aikštelėse su natūralia ventiliacija. Išmatuoti dydžiai kito plačiame verčių diapazone – požeminėse aikštelėse nuo 43 nSv h^{-1} iki 88 nSv h^{-1} , o antžeminėse – nuo 34 nSv h^{-1} iki 48 nSv h^{-1} .

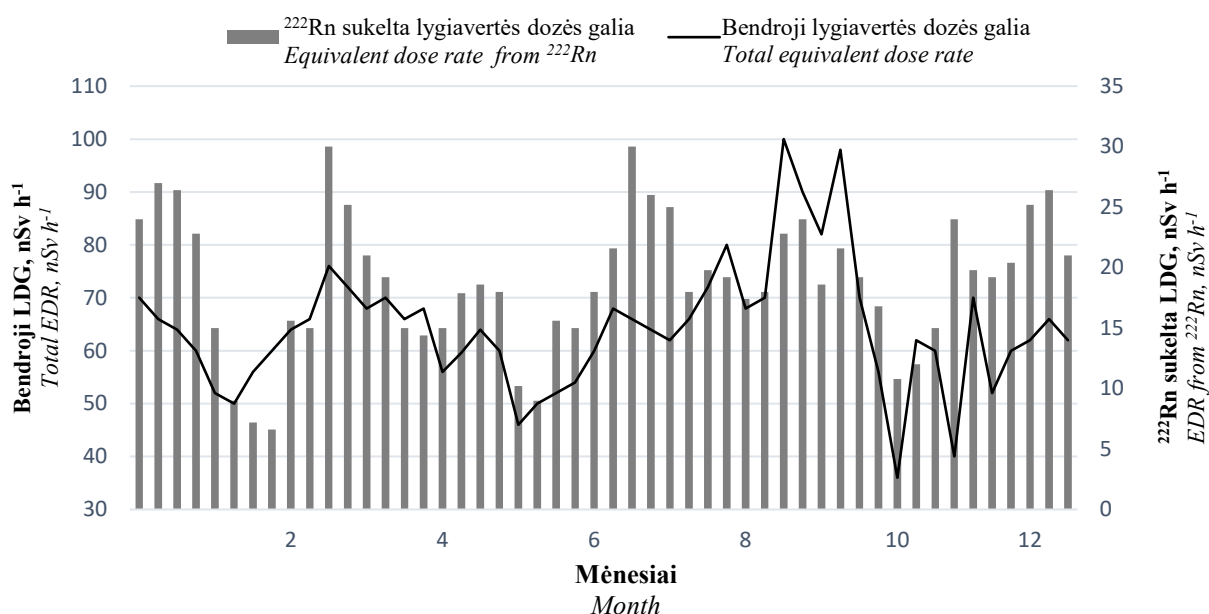
Didžiausia lygiavertės dozės galia išmatuota požeminėse aikštelėse. Tai gali būti siejama su radono ir jo skilimo produktų kaupimusi šiose erdvėse, kadangi didžiausi radono kiekiai randami grunte, iš kur jis migruoja į požemines patalpas (Ptíček et al., 2020). Šiame tyrime nustatyta, kad požeminėse aikštelėse apie 2–20 % visos spinduliuotės sudaro radonas ir jo skilimo produktai. Pagrindiniai lygiavertę dozės galią lemiantys veiksniai yra ore bei grunto paviršiuje esantys radionuklidai ir kosminė spinduliuotė (Morkūnas ir kt., 2009).



1 pav. Lygiavertės dozės galia (LDG) antžeminėse ir požeminėse aikštelėse

Fig. 1. Equivalent Dose Rate (EDR) in Aboveground and Underground Lots

Siekiant įvertinti, kokią dalį bendros lygiavertės dozės galios sudaro radono skilimo produktai, vienu metu ir toje pačioje vietoje buvo atliekami du matavimai: lygiavertės dozės galios ore ir radono aktyvumo koncentracijos ore. Tyrimo rezultatai parodė, kad požeminėse aikštelėse radono skilimo produktų sukelta išorinė lygiavertės dozės galia sudaro 16–31 % bendros lygiavertės dozės galios (2 pav.).



2 pav. Bendrosios LDG ir radono skilimo produktų sukeltos LDG pokyčiai požeminėse aikštelėse

Fig. 2. Variations in total EDR and EDR from radon progeny in underground lots

Apibendrinus tyrimus įvertinta, kad norint mažinti radono koncentraciją požeminėse aikštelėse reikia taikyti kompleksines priemones, kurios ribotų radono ekshaliaciją iš grunto ir jo patekimą į uždaras erdves. Viena tokių – statinių sandarinimas, užpildant plyšius ar įtrūkimus. Taip pat naudoti statybines medžiagas su mažesne radono emanacija. Tai galima pasiekti užpildant porėtus paviršius, juos dengiant dažais ar kitomis apsauginėmis dangomis. Itin svarbu užtikrinti efektyvų patalpų vėdinimą, kuris padeda mažinti radono

koncentraciją ore. Tinkamai parinktos statybinės medžiagos, turinčios minimalų ^{226}Ra kiekį, taip pat gali padėti sumažinti radono koncentraciją stovėjimo aikštelėse.

Išvados

1. Didžiausias radono ekshalacijos greitis nustatytas betono ir gelžbetonio bandiniuose, mažiausias – molinėse plytose. Radono ekshalacijos greitį labiausiai įtakoja radžio koncentracija statybinėje medžiagoje ir jos poringumas. Nustatyta statistiškai reikšminga koreliacija tarp radono ekshalacijos greičio ir radžio koncentracijos statybinėse medžiagose.
2. Gauta stipri teigiama koreliacija tarp radžio koncentracijos statybinėse medžiagose ir radono koncentracijos patalpų ore. Įvertinta, kad didesnis radono ekshalacijos greitis iš statybinių medžiagų gali lemti didesnę radono koncentraciją uždaroje erdvėje.
3. Apskaičiuotos alfa indekso (I_a) reikšmės neviršija higienos normose reglamentuojamų verčių, todėl tirtų statybinių medžiagų naudojimas nekelia radiologinės rizikos žmonių sveikatai.
4. Išmatuota lygiavertės dozės galia požeminėse ir antžeminėse aikštelėse. Nustatyta, kad požeminėse aikštelėse lygiavertės dozės galia yra didesnė – tai siejama su radono ir jo skilimo produktų kaupimusi uždaroje, mažiau ventiliuojamose patalpose. Radono ir jo skilimo produktų gama spinduliuotės sukelta išorinė lygiavertės dozės galia požeminėse aikštelėse sudaro nuo 16 % iki 31 % bendros lygiavertės dozės galios.
5. Nors tirtos požeminės aikštelės laikomos radiologiškai saugiomis, siekiant sumažinti radono koncentraciją, būtina taikyti kompleksines priemones, tokias kaip statinių sandarinimas ir patalpų vėdinimo sistemos optimizavimas. Šios priemonės gali reikšmingai sumažinti radono patekimą į uždaras erdves ir mažinti papildomos apšvitos riziką.

Literatūra

1. Al-Jundi, J., Salah, W., Bawa'aneh, M. S., Afaneh, F. (2006). Exposure to radiation from the natural radioactivity in Jordanian building materials. *Radiat. Prot. Dosim.*, 118, 93–96. doi:10.1093/rpd/nci332
2. Awhida, A., Ujić, P., Vukanac, I., Đurašević, M., Kandić, A., Čeliković, I., Lončar, B., Kolarž, P. (2016). Novel method of measurement of radon exhalation from building materials. *Journal of Environmental Radioactivity*, 164, 337–343. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2016.08.009>
3. Baeza, A., García-Paniagua, J., Guillén, J., Montalbán, B. (2018). Influence of architectural style on indoor radon concentration in a radon prone area: A case study. *Science of The Total Environment*, 610, 258–266. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.056>
4. Chibowski, St., Komosa, A. (2001). Radon concentration in basements of old town buildings in the Lublin region, Poland. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 247, 53–56, doi:10.1023/A:1006750628129
5. European Commission. *Radiological protection principles concerning the natural radioactivity of building materials. Radiation protection 112*. Directorate General Environment, Nuclear Safety and Civil Protection Geneva: EC, 1999.
6. Lietuvos higienos norma. (2018). *Pagrindinės radiacinės saugos normos (HN 73:2018)*. <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.159355/asr>
7. Morkūnas, G., Ladygienė, R., Pilkytė, L., Gricienė, B. (2009). *Radonas ir gamtinė apšvita*. Vilnius, 119.
8. Moura, C. L., Artur, A. C., Bonotto, D. M., Guedes, S., Martinelli, C. D. (2011). Natural radioactivity and radon exhalation rate in Brazilian igneous rocks. *Appl. Rad. Isot.* 69, 1094–1099, doi:10.1016/j.apradiso.2011.03.004
9. Nuccetelli, C., Pontikes, Y., Leonardi, F., Trevisi, R. (2015). New perspectives and issues arising from introducing (NORM) residues in building materials: A critical assessment on the radiological behavior. *Construction and Building Materials*, 82, 323–331. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.01.069>
10. Perna, A. F. N., Paschuk, S. A., Corrêa, J. N., Narloch, D. C., Barreto R. C., Del Claro, F., Denyak, V. (2018). Exhalation rate of radon-222 from concrete and cement mortar. *Nukleonika*, 63, 65–72, doi:10.2478/nuka-2018-0008
11. Ptiček Siroci, A., Stanko, D., Sakač, N., Dogančić, D., Trojko, T. (2020). Short-Term Measurement of Indoor Radon Concentration in Northern Croatia. *Appl. Sci.* 10, 2341, doi:10.3390/app10072341
12. Radiacinės saugos centras. (2025). *Kas yra jonizuojančioji spinduliuotė ir kaip apsisaugoti nuo žalingo jos poveikio?* <https://rsc.lrv.lt/lt/informacija-gyventojams/gyventoju-apsvita-ir-radiacine-sauga/>
13. Righi, S., Bruzzi, L. (2006). Natural radioactivity and radon exhalation in building materials used in Italian dwellings. *J. Environ. Radioact.* 88, 158–170, doi:10.1016/j.jenvrad.2006.01.009

14. Sonkawadea, R. G., Kantb, K., Muralithara, S., Kumara, R., Ramola, R. C. (2008). Natural radioactivity in common building construction and radiation shielding materials. *Atmos. Environ.* 42, 2254–2259. doi:10.1016/j.atmosenv.2007.11.037
15. Stoulos, S., Manolopoulo, M., Papastefanou, C. (2003). Assessment of natural radiation exposure and radon exhalation from building materials in Greece. *J. Environ. Radioact.* 69, 225–240. doi:10.1016/S0265-931X(03)00081-X
16. Trevisi, R., Leonardi, F., Risica, S., Nuccetelli, C. (2018). Updated database on natural radioactivity in building materials in Europe. *Journal of Environmental Radioactivity*, 187, 90–105. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2018.01.024>
17. Trevisi, R., Nuccetelli, C., Risica, S. (2013). Screening tools to limit the use of building materials with enhanced/elevated levels of natural radioactivity: Analysis and application of index criteria. *Constr. Build. Mater.*, 49, 448–454. doi:10.1016/j.conbuildmat.2013.08.059
18. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. (2011). *Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 2010*. United Nations: New York, NY, USA.

Dainius Jasaitis, Milda Pečiulienė

Research on Factors Determining Radon Concentration in Underground Lots

An analysis of the variation in natural ionizing radiation and radon exhalation rate from typical building materials in underground areas was conducted. The exposure caused by naturally occurring radionuclides was assessed, and the contribution of airborne radon and its decay products to the total equivalent dose rate was determined. Radon concentration in the air was measured, and the activity concentration index was evaluated to determine the suitability of building materials for underground structures from a radiation safety perspective. The highest radon exhalation rate was determined in concrete and reinforced concrete samples, and the lowest was in clay bricks. A strong correlation was established between the radium concentration in building materials and the radon concentration in indoor air. Dosimetric analysis of underground sites showed that in underground sites, gamma radiation from radon and its decay products accounts for 16–31% of the total equivalent dose rate, and the total radiation background in them is higher than in above-ground sites.

Keywords: Ionizing radiation, radon, concentration, exposure.

Gauta 2025 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2025 m. balandžio mėn.

Dainius JASAITIS. Vilniaus Gedimino technikos universiteto profesorius. Adresas: Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, tel. +370 274 4814, el. paštas: dainius.jasaitis@vilniustech.lt

Dainius JASAITIS. Professor at Vilnius Gediminas Technical University. Address: Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius. Phone: +370 274 4814, e-mail: dainius.jasaitis@vilniustech.lt

Milda PEČIULIENĖ. Vilniaus Gedimino technikos universiteto Fundamentinių mokslų fakulteto Fizikos katedros docentė. Adresas: Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius. tel. +370 614 75709, el. paštas: milda.peciulienė@vilniustech.lt

Milda PEČIULIENĖ. Vilnius Gediminas Technical University, Faculty of Fundamental Sciences, Department of Physics, doctor of technology sciences, assoc. prof. Address: Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius. Phone: +370 614 75709, e-mail: milda.peciulienė@vilniustech.lt

ANTROPOGENINĖS VEIKLOS ĮTAKOS GAMTINĖS JONIZUOJANČIOSIOS SPINDULIUOTĖS POKYČIAMS APLINKOJE ANALIZĖ

Milda Pečiulienė

Vilniaus kolegija

Intensyvi antropogeninė veikla keičia gamtinės kilmės radionuklidų pasiskirstymą aplinkoje, prisidedama prie jonizuojančiosios spinduliuotės fono pokyčių ir galimo poveikio žmonių sveikatai. Tyrimo metu atlikti dažniausiai naudojamų statybinių medžiagų (betono, plytų, smėlio, asfalto ir kt.) spektrometriniai matavimai bei įvairių aplinkų dozimetriniai tyrimai. Nustatyta, kad nors radionuklidų aktyvumo koncentracijos neviršija reglamentuojamų normų, ilgalaikis jų poveikis gali kelti tam tikrą riziką. Kadangi bet koks foninės spinduliuotės padidėjimas gali turėti įtakos žmonių sveikatai, šio tyrimo rezultatai, gauti urbanizuotoje ir neurbanizuotoje aplinkoje, gali būti reikšmingi vertinant papildomą žmogaus apšvitą.

Raktiniai žodžiai: antropogeninė veikla, jonizuojančioji spinduliuotė, savitasis aktyvumas, lygiavertė dozės galia.

Įvadas

Jonizuojančiosios spinduliuotės šaltiniais yra radionuklidai, esantys grunte, maiste, geriamajame vandenyje ir statybinėse medžiagose. Gamtinės spinduliuotės intensyvumas priklauso nuo geografinės padėties, geologinių darinių ir tam tikros žmogaus veiklos (Al-Khawlan et al., 2018). Nors mažos dozės paprastai nesukelia tiesioginio biologinio poveikio, ilgalaikis padidėjęs apšvitos lygis gali sukelti DNR pažeidimus, skatinančius mutacijas, kurios gali padidinti vėžio bei kitų ligų riziką.

Lietuvos gyventojų vidutinė metinė efektyvioji dozė, gaunama iš gamtinių jonizuojančiosios spinduliuotės šaltinių, siekia 2,2 mSv. Didžiausią šios apšvitos dalį – apie 1 mSv – sudaro patalpų ore esantis radonas. Kosminė spinduliuotė lemia maždaug 0,35 mSv, radionuklidai, esantys grunte, – 0,06 mSv, statybinės medžiagos patalpose sukelia apie 0,45 mSv apšvitą, o žmogaus organizme esantys gamtiniai radionuklidai – 0,34 mSv. Remiantis Valstybinės atominės energetikos saugos inspekcijos pateikta informacija, pasaulio gyventojų metinės apšvitos dozės, gaunamos iš gamtinių šaltinių, vidurkis yra 2,4 mSv (Valstybinė..., 2025).

Radiacinio fono intensyvumas priklauso nuo gamtinės ir dirbtinės kilmės jonizuojančiosios spinduliuotės šaltinių (Al-Khawlan et al., 2018). Antropogeninė veikla taip pat gali lemti radiacinio fono pokyčius, pavyzdžiui, kalio trąšų, turinčių radioaktyviojo kalio izotopo ^{40}K , gamyba ir naudojimas gali padidinti aplinkos radioaktyvumą (Ugolini et al., 2020). Be to, branduolinės energetikos objektų avarijos į aplinką išskiria radionuklidus, kurie ilgą laiką gali kelti pavojų žmonių sveikatai.

Tarp gamtinės kilmės radionuklidų ypač svarbus yra ^{40}K , nes jis nepriklauso jokioms radioaktyviosioms skilimo grandinėms, tačiau jo pusėjimo trukmė siekia milijonus metų, todėl jo pasiskirstymas aplinkoje yra ilgalaikis (Bangotra et al., 2016). Kitas svarbus spinduliuotės šaltinis – radioaktyvusis radonas, kuris išsiskiria iš žemės gelmių ir gali kauptis uždaroje patalpose, sukeldamas padidėjusią plaučių vėžio riziką (Tchorz-Trzeciakiewicz et al., 2017). Nors atmosferoje šios dujos paprastai išsisklaido, uždaroje erdvėje jos gali kauptis, pasiekdamos pavojingą koncentraciją (Sahu et al., 2016).

Dėl intensyvios antropogeninės veiklos, susijusios su urbanizacijos plėtra, kai kurių gamtinės kilmės radionuklidų savitasis aktyvumas kinta, keisdamas natūralų foną. Dėl to šie radionuklidai gali tapti reikšmingais papildomos apšvitos šaltiniais. Dėl šios priežasties svarbu kiekybiškai įvertinti, kaip antropogeninė veikla keičia gamtinės jonizuojančiosios spinduliuotės intensyvumą.

Darbo tikslas – kiekybiškai įvertinti antropogeninės veiklos įtaką gamtinės jonizuojančiosios spinduliuotės pokyčiams aplinkoje, analizuojant įvairių teritorijų dozimetrinius duomenis, statybinių medžiagų radioizotopinę sudėtį ir nustatant galimą papildomos apšvitos poveikį gyventojams.

Tyrimų metodika

Pastatų statymas, kelių tiesimas, laukų tręšimas ir arimas natūraliai keičia radiacinį foną. Įvertinant antropogeninės veiklos įtaką gama spinduliuotės kaitai, atlikti dozimetriniai tyrimai virš įvairių paklotinių paviršių. Matavimams parinktos labiausiai su žmogaus veikla susijusios vietos – asfaltuoti keliai, šaligatvių plytelės ir skirtingo tipo pastatai. Palyginimui detalios tirtos ir mažiau urbanizuotos teritorijos – miškai ir nedirbamos pievos.

Dozimetriniais aplinkos tyrimams naudotas mobilus gama jonizuojančiosios spinduliuotės matavimo ir registravimo įrenginys „InSpector 1000“ su Na I detektoriumi IPROS-3: stabilizuotas 3" x 3"; 32 000 cps/mrem/h $\pm$ 3,5 %. Dozimetro rodmenys atnaujinti kas 3 s. Matavimai atlikti 1 m žingsniu pagal

tinkelio metodiką. Kiekviename matavimo taške išmatuota lygiavertės dozės galia (LDG, nSv h⁻¹) po tris kartus iš eilės 1 m aukštyje nuo tiriamojo paviršiaus. Kiekvienos bandymų serijos atveju apskaičiuota LDG vidutinė vertė pažemio ore ir atlikta skirtingų dangų palyginamoji analizė.

LDG svyravimus daugiausia lemia radionuklidų kiekiai tiriamuose paviršiuose ir medžiagose. Todėl, vertinant galimus radiacinės foninės spinduliuotės šaltinius, spektrometriniai tyrimai papildė dozimetrinius. Spektrometriškai tirtos dažniausiai keliams tiesti ir pastatams statyti naudojamos statybinės medžiagos. Išmatuoti statybinių medžiagų sudėtyje esančių gamtinės kilmės radionuklidų ⁴⁰K, ²²⁶Ra ir ²³²Th savitieji aktyvumai (Bq kg⁻¹). Tyrimai atlikti gama spektrometrine sistema („Canberra Industries“, JAV) su puslaidininkiniu grynojo germanio (HpGe) jutikliu (modelis GC2520, efektyvumas 26,2 %, skiriama geba 1,76 keV/1,33 MeV).

⁴⁰K, ²²⁶Ra ir ²³²Th savitieji aktyvumai tiriamose medžiagose apskaičiuoti:

$$C = \frac{S}{\varepsilon_E \gamma m t}, \quad (1)$$

čia C – ⁴⁰K, ²²⁶Ra ir ²³²Th savitieji aktyvumai tiriamuose bandiniuose, Bq kg⁻¹;

S – spektro smailės plotas, atėmus foną, imp;

ε_E – gama spektrometro efektyvumas;

η_γ – radionuklido atitinkamos energijos skilimo kvantinė išeiga;

m – bandinio masė, kg;

t – matavimo laikas, s.

Pastatų statymui statybinių medžiagų tinkamumas radiacinės saugos požiūriu įvertintas nustatant medžiagų aktyvumo koncentracijos rodiklį I (Righi et al., 2006), (Lietuvos, 2018):

$$I = \frac{C_{Ra}}{300} + \frac{C_{Th}}{200} + \frac{C_K}{3000}, \quad (2)$$

čia I – aktyvumo koncentracijos rodiklis;

C_{Ra} , C_{Th} , C_K – ²²⁶Ra, ²³²Th ir ⁴⁰K savitieji aktyvumai, Bq kg⁻¹.

Gatvių, kelių ir aikštelių statybai naudojamų medžiagų aktyvumo koncentracijos rodiklis I , apskaičiuotas:

$$I = \frac{C_{Ra}}{700} + \frac{C_{Th}}{500} + \frac{C_K}{8000} + \frac{C_{Cs}}{2000}, \quad (3)$$

čia I – aktyvumo koncentracijos rodiklis;

C_{Ra} , C_{Th} , C_K , C_{Cs} – ²²⁶Ra, ²³²Th, ⁴⁰K ir ¹³⁷Cs savitieji aktyvumai, Bq kg⁻¹.

Lietuvos higienos normose nurodyta, kad statybines medžiagas galima naudoti be apribojimų ir bet kokiais kiekiais, jeigu aktyvumo koncentracijos rodiklis neviršija 1 (Lietuvos, 2018).

Rezultatai ir aptarimas

Matuoti parinktos labiausiai su žmogaus veikla susijusios geofizinės vietos – silikatinių plytų, blokiniai ir mediniai pastatai, asfaltuoti keliai, šaligatviai bei teritorijos, kuriose antropogeninė veikla nevykdoma – nedirbamos pievos ir miškai. Dozimetrinių matavimų metu nustatyta, kad lygiavertės dozės galios (LDG) reikšmės tiesiogiai priklauso nuo radionuklidų, esančių tiriamuose paviršiuose, sukeliama jonizuojančiosios spinduliuotės lygio.

Atlikus dozimetrinius matavimus nustatyta, kad didžiausios LDG reikšmės yra virš dirbtinių dangų, o mažiausios – virš natūralios paklotės (1 lentelė). Urbanizuotose vietose LDG svyravo plačiame verčių diapazone nuo 34 iki 194 nSv h⁻¹. Virš asfaltuotų kelių užfiksuoti dozės galios pokyčiai siekė nuo 77 iki 194 nSv h⁻¹, o virš šaligatvių plytelių – nuo 37 iki 169 nSv h⁻¹. Šių dangų radioizotopinės sudėties įvertinimas paaiškina atskiruose ruožuose stebimos dozės galios reikšmių svyravimus (2 lentelė). Asfalto ir šaligatvio plytelių bandiniuose išmatuoti gamtinės kilmės radionuklidų savitieji aktyvumai gerokai didesni nei natūralios paklotės mėginiuose.

Mažiausios gama spinduliuotės vertės nustatytos virš natūralių paviršių: nedirbamose pievose ir miškuose LDG reikšmės svyravo nuo 28 iki 94 nSv h⁻¹. Tyrimų teritorijoje vyraujantis grunto tipas – priemolis.

Atlikta palyginamoji analizė parodė, kad asfaltuotų kelių ir šaligatvių dangos sukelta gama spinduliuotė yra apie 1,5 karto intensyvesnė nei natūralioje, neurbanizuotoje aplinkoje. Šie rezultatai aiškiai patvirtina, kad antropogeninė veikla turi reikšmingą įtaką gamtinės jonizuojančiosios spinduliuotės fono kitimui.

Kadangi žmogus didžiąją savo gyvenimo dalį praleidžia patalpose, buvo įvertinta LDG kaita skirtingų tipų pastatuose (mediniuose, silikatinių plytų ir blokiniuose) bei išmatuoti pagrindinių gama spindulių savitieji aktyvumai dažniausiai naudojamose statybinėse medžiagose. LDG buvo matuota skirtinguose

aukštuose, vėdinamose ir nevėdinamose patalpose. Rezultatai parodė, kad skirtingose patalpose dozės galia svyravo nuo 34 iki 126 nSv h⁻¹ (1 lentelė). Didžiausios reikšmės nustatytos blokiniuose ir silikatinų plytų pastatuose, o mažiausios – mediniuose namuose. Akivaizdu, kad verčių nevienodumą daugiausia lemia skirtinga statybinių medžiagų radioizotopinė sudėtis (2 lentelė).

1 lentelė. Lygiavertės dozės galia (nSv h⁻¹) virš skirtingų paklotinių paviršių

Table 1. Equivalent dose rate (nSv h⁻¹) over different surfaces

Paviršius <i>Surface</i>	Lygiavertės dozės galia, nSv h ⁻¹ <i>Equivalent dose rate, nSv h⁻¹</i>			
	Minimali reikšmė <i>Minimum value</i>	Maksimali reikšmė <i>Maximum value</i>	Vidutinė vertė <i>Average value</i>	Standartinis nuokrypis <i>Standard deviation</i>
Asfaltas <i>Asphalt</i>	77	194	92	±12
Šaligatvių plytelės <i>Sidewalk tiles</i>	37	169	85	±10
Blokinis namas <i>Block house</i>	49	103	78	±16
Plytinis namas (silikatinų plytų) <i>Brick house (silicate bricks)</i>	48	126	74	±13
Medinis namas <i>Wooden house</i>	34	107	67	±5
Miško paklotė <i>Forest floor</i>	31	94	53	±4
Pieva <i>Meadow</i>	28	79	46	±3

2 lentelė. Gamtinės kilmės radionuklidų savitieji aktyvumai (Bq kg⁻¹) skirtingose medžiagose

Table 2. Specific activities (Bq kg⁻¹) of natural radionuclides in the different materials

Medžiaga <i>Material</i>	Savitasis aktyvumas, Bq kg ⁻¹ (vidutinė vertė) <i>Specific activity, Bq kg⁻¹</i> (mean value)			Aktyvumo koncentracijos rodiklis <i>Activity index</i>
	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K	
Asfaltas <i>Asphalt</i>	38,9 ± 0,5	21,8 ± 0,6	682,6 ± 42,4	0,19
Šaligatvių plytelės <i>Sidewalk tiles</i>	37,3 ± 0,5	18,8 ± 0,4	590,9 ± 31,2	0,17
Akytojo betono blokėliai <i>Autoclaved aerated concrete blocks</i>	16,5 ± 1,4	8,1 ± 1,3	137,2 ± 11,1	0,14
Keraminės plytos ir blokėliai <i>Ceramic bricks and blocks</i>	65,1 ± 1,8	33,4 ± 0,9	947,2 ± 25,2	0,7
Silikatinės plytos ir blokėliai <i>Silicate bricks and blocks</i>	24,8 ± 1,3	14,9 ± 2,2	661,3 ± 27,3	0,38
Betonas <i>Concrete</i>	49,2 ± 1,4	43,1 ± 2,2	601,3 ± 24,6	0,58
Gelžbetonis <i>Ferroconcrete</i>	89,7 ± 5,1	37,0 ± 3,1	734,5 ± 46,2	0,73
Mediena <i>Wood</i>	–	–	31,4 ± 0,8	0,01
Stiklas <i>Glass</i>	2,5 ± 0,1	0,12 ± 0,1	7,6 ± 0,5	0,01
Dirvožemis <i>Soil</i>	13,7 ± 2,6	4,8 ± 1,2	278,1 ± 53,8	0,2
Smėlis <i>Sand</i>	14,9 ± 1,2	6,6 ± 0,2	218,1 ± 8,9	0,16

Pastebėta, kad toje pačioje patalpoje LDG reikšmės nevienodos – mažesnės dozės galios vertės išmatuotos arčiau langų ir durų. LDG padidėjimas buvo stebimas ir nevėdinamose patalpose. Eksperimentiškai nustatyta reikšminga ventiliacijos įtaka LDG kaitai. Vėdinamose patalpose LDG kito nuo 34 iki 78 nSv/h, o nevėdinamose jos išmatuotos ženkliai didesnės – nuo 76 iki 126 nSv/h. Nustatyta, kad gama spinduliuotės dozė ventiliuojamose ir neventiliuojamose patalpose skiriasi apie 1,6 karto. Akivaizdu, kad žmogui, ilgą laiką būnant tokiuose kambariuose, papildomos apšvitos dozės vidutiniškai gali skirtis tiek pat kartų.

Skirtinguose aukštuose ryškių LDG pokyčių nebuvo pastebėta, išskyrus rūsiuose ir pusrūsiuose. Juose gama spinduliuotė apie 1,3 karto buvo intensyvesnė. Ši padidėjimą daugiausia lėmė į patalpas iš grunto patenkančios ir besikaupiančios gamtinės inertinės dujos – radonas bei jo skilimo produktai, kurie labiausiai įtakoja papildomą apšvitą. Nors radono koncentracija ore paprastai būna nedidelė, tačiau uždaroje patalpoje jis gali kauptis, didindamas jonizuojančiosios spinduliuotės intensyvumą (Baeza et al., 2018). Dėl šios priežasties ventiliacija yra ypač svarbi, siekiant sumažinti apšvitą, ypač rūsiuose ir apatiniuose pastatų aukštuose.

Lyginamoji analizė parodė, kad gamtinės kilmės radionuklidų sukeltos LDG santykis patalpų ore, virš dirbtinės dangos ir natūralios paklotės, vidutiniškai svyruoja nuo 1,2 iki 1,7. Nustatytų santykių nesutapimą daugiausia lemia tirtų medžiagų gamtinės kilmės radionuklidų savitojo aktyvumo skirtumai bei nevienoda grunto sudėtis.

Siekiant tiksliau įvertinti gama spinduliuotės pokyčius, susijusius su antropogenine veikla, buvo išmatuotas pagrindinių gama spindulių – ^{40}K , ^{226}Ra ir ^{232}Th savitasis aktyvumas statybinėse medžiagose, asfalto bandiniuose ir skirtingo tipo grunte (2 lentelė). Gauti rezultatai parodė, kad ^{226}Ra savitasis aktyvumas asfalto bandiniuose yra beveik tris kartus didesnis nei dirvožemyje, o ^{40}K savitasis aktyvumas asfalto bandiniuose maždaug 60 % viršija dirvožemyje nustatytas vertes.

Spektrometriškai įvertinus gamtinės kilmės radionuklidų kiekius skirtingose medžiagose, buvo įvertintas šių medžiagų tinkamumas radiacinės saugos požiūriu, apskaičiuojant aktyvumo koncentracijos rodiklį I (2 lentelė). Iš 2 lentelėje pateiktų duomenų matyti, kad tirtų medžiagų aktyvumo rodikliai kito nuo 0,01 (medienoje ir stikle) iki 0,73 (gelžbetonyje). Pagal Lietuvos higienos normą (2018), be apribojimų ir bet kokiais kiekiais galima naudoti statybines medžiagas, jeigu aktyvumo koncentracijos rodiklis neviršija 1 (Lietuvos higienos, 2018). Ši norma tinka renkantis medžiagas pastatų, gatvių, kelių ir aikštelių statybai. Vadovaujantis pateiktomis rekomendacijomis, akivaizdu, kad tirtas medžiagas galima naudoti be apribojimų. Jei aktyvumo rodiklis viršytų 1, reikėtų ieškoti alternatyvių medžiagų, turinčių mažesnius radionuklidų kiekius, tiek pastatų statybai, tiek kelių tiesimui.

Išvados

1. Atlikti tyrimai parodė, kad urbanizuotose teritorijose gama spinduliuotės intensyvumas yra reikšmingai didesnis nei natūralioje aplinkoje. Nustatyta, kad radionuklidų, esančių dirbtinėse dangose, sukeliamą spinduliuotę yra vidutiniškai 1,5 karto intensyvesnė nei natūraliose neurbanizuotose vietose. Tyrimo rezultatai patvirtina antropogeninės veiklos įtaką gamtinės jonizuojančiosios spinduliuotės pokyčiams.
2. Patalpose LDG reikšmės priklauso nuo statybinių medžiagų sudėties, aukšto bei ventiliacijos efektyvumo. Didžiausios LDG vertės nustatytos blokiniuose ir silikatinių plytų pastatuose, o mažiausios – mediniuose. Tinkama patalpų ventiliacija yra būtina siekiant sumažinti žmogaus papildomą apšvitą.
3. Išmatuotas gamtinės kilmės radionuklidų ^{40}K , ^{226}Ra ir ^{232}Th savitasis aktyvumas skirtingose medžiagose. Didžiausios ^{40}K vertės nustatytos keraminėse plytose ir blokeliuose, o mažiausios – stikle. ^{226}Ra ir ^{232}Th savitojo aktyvumo didžiausios vertės išmatuotos gelžbetonio bandiniuose. Mažiausi šių radionuklidų kiekiai išmatuoti medienoje. Asfaltuotose dangose ir šaligatvių plytelėse radionuklidų savitasis aktyvumas išmatuotas didesnis nei dirvožemyje, o tai lemia didesnę gama spinduliuotės foninę vertę urbanizuotose teritorijose.
4. Apskaičiuotas aktyvumo koncentracijos rodiklis I visose tirtose medžiagose neviršija nustatytų ribinių verčių, todėl jos atitinka radiacinės saugos reikalavimus ir gali būti naudojamos be apribojimų statybos ir infrastruktūros objektams įrengti. Tais atvejais, kai nustatomi didesni aktyvumo rodikliai, būtina pasirinkti alternatyvias medžiagas su mažesnėmis gamtinės kilmės radionuklidų koncentracijomis.

Literatūra

1. Al-Khawlan, A. H., Khan, A. R., Pathan, J. M. (2018). Review on studies in natural background radiation. *Radiation Protection and Environment*, 41(4), 215–222. doi: 10.4103/rpe.RPE_55_18
2. Baeza, A., García-Paniagua, J., Guillén, J., Montalbán, B. (2018). Influence of architectural style on indoor radon concentration in a radon prone area: A case study. *Science of The Total Environment*, 610, 258–266. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.056>

3. Bangotra, P., Mehra, R., Kaur, K., Jakhu, R. (2016). Study of natural radioactivity (^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K) in soil samples for the assessment of average effective dose and radiation hazards. *Radiation Protection Dosimetry*, 171(2), 277–281. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncw074>
4. Lietuvos higienos norma. (2018). *Pagrindinės radiacinės saugos normos (HN 73:2018)*. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.159355/asr>
5. *Ankstyvojo radiacinio pavojaus perspėjimo tinklas (RADIS)*. (2025). <https://experience.arcgis.com/experience/26a0b27d50824532ac2ca22aa7024c6a/page/Dash>
6. Righi, S., Bruzzi, L. (2006). Natural radioactivity and radon exhalation in building materials used in Italian dwellings. *J. Environ. Radioact.*, 88, 158–170.
7. Sahu, P., Panigrahi, D. Ch., Mishra, D. P. (2016). A comprehensive review on sources of radon and factors affecting radon concentration in underground uranium mines. *Environ. Earth. Sci.*, 75, 617. doi: 10.1007/s12665-016-5433-8
8. Tchorz-Trzeciakiewicz, D. E., Kłos, M. (2017). Factors affecting atmospheric radon concentration, human health. *Science of The Total Environment*, 584–585, 911–920. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.137>
9. Ugolini, R., Caldognetto, E., Trotti, F. (2020). Use of Fertilizers in Agriculture: Individual Effective Dose Estimate. *Environments*, 7(1), 7. <https://doi.org/10.3390/environments7010007>
10. Valstybinė atominės energetikos saugos inspekcija. (2025). *Radiacinis fonas*. <https://vatesi.lrv.lt/lt/branduolines-energetikos-objektai/radiacinis-fonas/>

Milda Pečiulienė

Analysis of the Influence of Anthropogenic Activities on Changes in Natural Ionizing Radiation in the Environment

Intensive anthropogenic activities change the distribution of naturally occurring radionuclides in the environment, contributing to changes in the background of ionizing radiation and potential impacts on human health. The study includes spectrometric measurements of commonly used building materials (concrete, bricks, sand, asphalt, etc.) and dosimetry studies of different environments. It has been determined that although the activity concentrations of radionuclides do not exceed the regulated limits, their long-term exposure may pose certain risks. Since any increase in background radiation can affect human health, the results of this study, obtained in urbanized and non-urbanized environments, may be significant in assessing additional human exposure.

Keywords: Anthropogenic activity, ionizing radiation, specific activity, equivalent dose rate.

Gauta 2025 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2025 m. balandžio mėn.

Milda PEČIULIENĖ. Vilniaus kolegijos Statybos fakulteto Statybos inžinerijos katedros docentė. Adresas: Antakalnio g. 54, LT–10303 Vilnius, tel. +370 614 75709, el. paštas: m.peciuliene@stf.viko.lt

Milda PEČIULIENĖ. Vilnius College, Faculty of Civil Engineering, Department of Civil Engineering, assoc. prof. Address: Antakalnio str. 54, LT–10303 Vilnius. Phone: +370 614 75709, e-mail: m.peciuliene@stf.viko.lt

TRANSPORTO KELIAMA ORO TARŠA ANGLIES MONOKSIDU

Vaida Vasiliauskienė^{1,2}

¹Vilniaus Gedimino technikos universitetas, ²Generolo Jono Žemaičio Lietuvos karo akademija

Transportas laikomas vienu didžiausių oro taršos šaltinių Lietuvoje, kuris prisideda ir prie atmosferos pažemio sluoksnio užterštumo anglies monoksidu lygio padidėjimo. Ši problema ypač išryškėja didžiuosiuose šalies miestuose. Tyrimas atliktas Vilniuje, prie Antakalnio gatvės, vasaros sezono metu. Eksperimento laikotarpiu nenutrūkstamai registruota anglies monoksido koncentracija ir meteorologiniai veiksniai: aplinkos temperatūra, santykinė oro drėgmė, slėgis, vėjo greitis ir kryptis. Skirtingų eksperimento dienų didžiausios anglies monoksido koncentracijos skyrėsi iki 3,4 karto. Nustatyta, kad anglies monoksido koncentracija Vilniuje, prie Antakalnio gatvės, labai dinamiška ir priklauso nuo daugelio išorinių veiksnių: paros laiko, eismo intensyvumo ir meteorologinių sąlygų.

Raktiniai žodžiai: anglies monoksidas, transporto srutai, oro tarša, meteorologiniai veiksniai.

Įvadas

Anglies monoksidas (CO) laikomas tyliuoju žudiku, nes yra bekvapis ir bespalvis, todėl jo beveik neįmanoma aptikti. Šis teršalas laikomas netiesioginėmis šiltnamio efektą sukeliančiomis dujomis, nes padidina kitų šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį ir galiausiai oksiduoja į pagrindines šiltnamio efektą sukeliančias dujas – anglies dioksidą (CO₂) (Ukpebor, et al., 2010; Yang et al., 2020). Pramonės įrenginių išmetamosios dujos, nevisiškas kuro, kurio sudėtyje yra anglies, sudegimas, cigarečių rūkymas, deginamos atliekos, sugedę šildytuvai, blogai funkcionuojančios viryklės ar orkaitės ir ypač automobilių išmetamosios dujos yra pagrindiniai antropogeniniai anglies monoksido šaltiniai (Henry et al., 2006; Xia et al., 2020).

Kasmet sparčiai augantis transporto priemonių skaičius ne tik palengvino žmonių keliones ir kasdienį gyvenimą, bet ir sukėlė didelių iššūkių, tokių kaip eismo spūstys, didelė oro tarša ir neigiamas poveikis sveikatai (Shi et al., 2023). Aplinkos apsaugos specialistų duomenimis, transportas yra vienas iš pagrindinių veiksnių, lemiančių aplinkos oro kokybę ne tik Lietuvoje, bet ir visoje Europoje. Kelių transporto priemonės priklauso mobiliesiems taršos šaltiniams ir pasižymi mažu emisijos aukščiu, didesnėmis taršos zonomis didmiesčių teritorijose ir laiko bei erdvės nevienalytiškumu (Dung et al., 2023). Didmiesčių sankryžos piko metu – visuomenės susirūpinimą keliantis oro taršos židiny, nes aplinkos oras daugiausia teršiamas automobiliams įsibėgėjant, juos stabdant arba lėtai važiuojant (Campagnolo et al., 2023). Pagrindinės nuodingosios medžiagos, susidarančios automobiliuose degant kurui, yra anglies monoksidas (CO), nesudegę angliavandeniliai (CH), azoto oksidai (NO_x) ir kietosios dalelės (KD) (Wen et al., 2023; Zhu et al., 2023). Nustatyta, kad lengvieji benzininiai automobiliai yra pagrindiniai anglies monoksido (CO) ir angliavandenilių (CH) išmetimo piko valandomis šaltiniai, o dyzeliniai sunkvežimiai – pagrindiniai azoto oksidų (NO_x) ir smulkiųjų kietųjų dalelių (KD_{2,5}) šaltiniai naktį (Ruslan, 2024; Flores et al., 2020).

Pagrindinis atmosferos taršos šaltinis Lietuvoje yra kelių transportas, kuris sudaro ~ 65 % viso oro užterštumo. Lietuvoje automobilių skaičiui per pastarąjį dešimtmetį išaugus 2,5 karto, tiek pat kartų išaugo ir į aplinką išmetamų kenksmingų teršalų kiekiai, kurie labiausiai jaučiami didžiuosiuose šalies miestuose. Aplinkos apsaugos agentūros duomenimis, iš kelių transporto sektoriaus Lietuvoje išmetama 62 % viso per metus išmetamo azoto oksidų, 23 % kietųjų dalelių (KD_{2,5}) ir 13 % anglies monoksido kiekio. Remiantis VĮ „Regitra“ duomenimis, iki 2025 m. sausio 1 d. Lietuvoje įregistruota 1,74 mln. lengvųjų automobilių, iš jų 1,15 mln. varomi dyzelinu, 399 tūkst. – benzinu, 97,8 tūkst. – benzinu ir dujomis, 84 tūkst. – benzinu ir elektra, 16 tūkst. – elektra. Dauguma Lietuvoje eksploatuojamų automobilių yra senesni nei 10 metų.

Anglies monoksidas pavojingas žmonių sveikatai, nes kenkia širdies veiklai ir kraujagyslių sistemai, didina kraujo krešulių susidarymo tikimybę, gali sukelti centrinės nervų sistemos funkcinius sutrikimus (Kho et al., 2007). Be to, anglies monoksidas jungiasi su hemoglobinu ir slopina deguonies pasisavinimą. Dėl anglies monoksido poveikio žmogus gali dusti, atsirasti dezorientacija ir sutrikti įvairių organų funkcijos, lėtėti refleksai, prarandamas gebėjimas susikaupti ir sutrinka mąstymas (Walsh, 2011; Sartori et al., 2024). Didelės anglies monoksido koncentracijos kelia pavojų nėščių moterų vaisiaus vystymuisi ir gali lemti gimiančio kūdikio per mažą svorį (Henry et al., 2006). Kadangi didelis atmosferos užterštumas anglies monoksidu pavojingas žmonių sveikatai, todėl šio teršalo koncentracijai nustatyta leistina ribinė vertė. Didžiausia 8 valandų paros vidutinė anglies monoksido koncentracija ore turi neviršyti 10 mg·m⁻³.

Darbo tikslas – ištirti transporto keliamos oro taršos anglies monoksidu koncentracijos kitimo dėsningumus ir nustatyti pagrindinius veiksniai, lemiančius šio teršalo koncentracijos pokyčius.

Tyrimų metodika

Eksperimentas atliktas Vilniuje, prie Antakalnio mikrorajone esančios Antakalnio gatvės, palei kurią išsidėstę gyvenamieji namai. Tai didžiausia (mikrorajono plotas sudaro 19,3 % visos Vilniaus miesto teritorijos) ir miškingiausia (miškai ir parkai sudaro ~ 70 % teritorijos) Vilniaus dalis. Antakalnio mikrorajonas pasižymi kone didžiausiu gyventojų tankumu (~ 50 000 žmonių), tačiau mažiausiu įmonių tankumu (3,9 % visų Vilniaus įmonių). Kadangi šioje Vilniaus dalyje įmonių mažai, Antakalnis laikomas vienu švariausių Vilniaus miesto mikrorajonų. Kelių transportas priskiriamas prie pagrindinių oro taršos šio mikrorajone šaltinių.

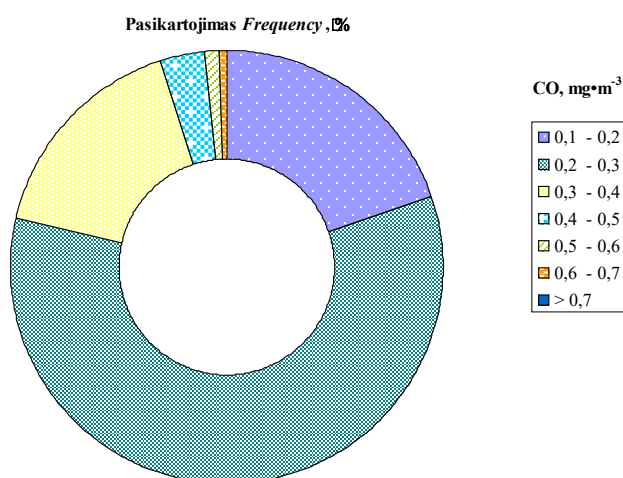
Tyrimas vykdytas mėnesį, registruojant anglies monoksido koncentraciją ir meteorologinius aplinkos parametrus: oro temperatūrą, santykinę drėgmę, vėjo greitį ir kryptį bei slėgį. Tirta teršalo koncentracija ir meteorologiniai aplinkos veiksniai matuoti nenutrūkstamai, kaupiant kompiuteryje 1 valandos šių parametrų vidutines vertes. Matavimai atlikti vasarą 20 m atstumu nuo Antakalnio gatvės (54° 71' Š ir 25° 32' R). Šalia tyrimo vietos – parduotuvė su automobilių stovėjimo aikšte, kurios darbo valandomis (nuo 8 iki 22 val.) stebėtas intensyvus automobilių judėjimas.

Anglies monoksido koncentracijos matavimai atlikti naudojant CO11M analizatorių. Prietaisas veikia infraraudonųjų spindulių absorbcijos principu. Naudotas prietaisas gali veikti plačiame temperatūrų (nuo 15 iki 35 °C) intervale. Šis analizatorius gali matuoti iki 57 mg·m⁻³ anglies monoksido koncentraciją. Oras į anglies monoksido analizatorių pateko per tefloninį vamzdelį.

Meteorologiniai parametrai nenutrūkstamai registruoti mobilia meteorologine stotele WS 1080, kuri radijo bangomis priėmė signalus iš meteorologinės stotelės jutiklių, pritvirtintų toje pačioje vietoje, kur buvo išvestas oro paėmimui tefloninis vamzdelis. Meteorologinės stotelės jutikliai gali matuoti iki 150 m atstumu nuo stotelės. Ši meteorologinė stotelė gali veikti plačiuose temperatūros (nuo -40 iki +65°C), santykinės drėgmės (nuo 10 iki 100 %), vėjo greičio (nuo 0 iki 50 m·s⁻¹) bei slėgio (nuo 300 iki 1100 hPa) intervaluose. Siekiant atlikti tikslesnę duomenų analizę, vėjo kryptis buvo suskirstyta į 8 dalis po 45 laipsnius.

Rezultatai ir aptarimas

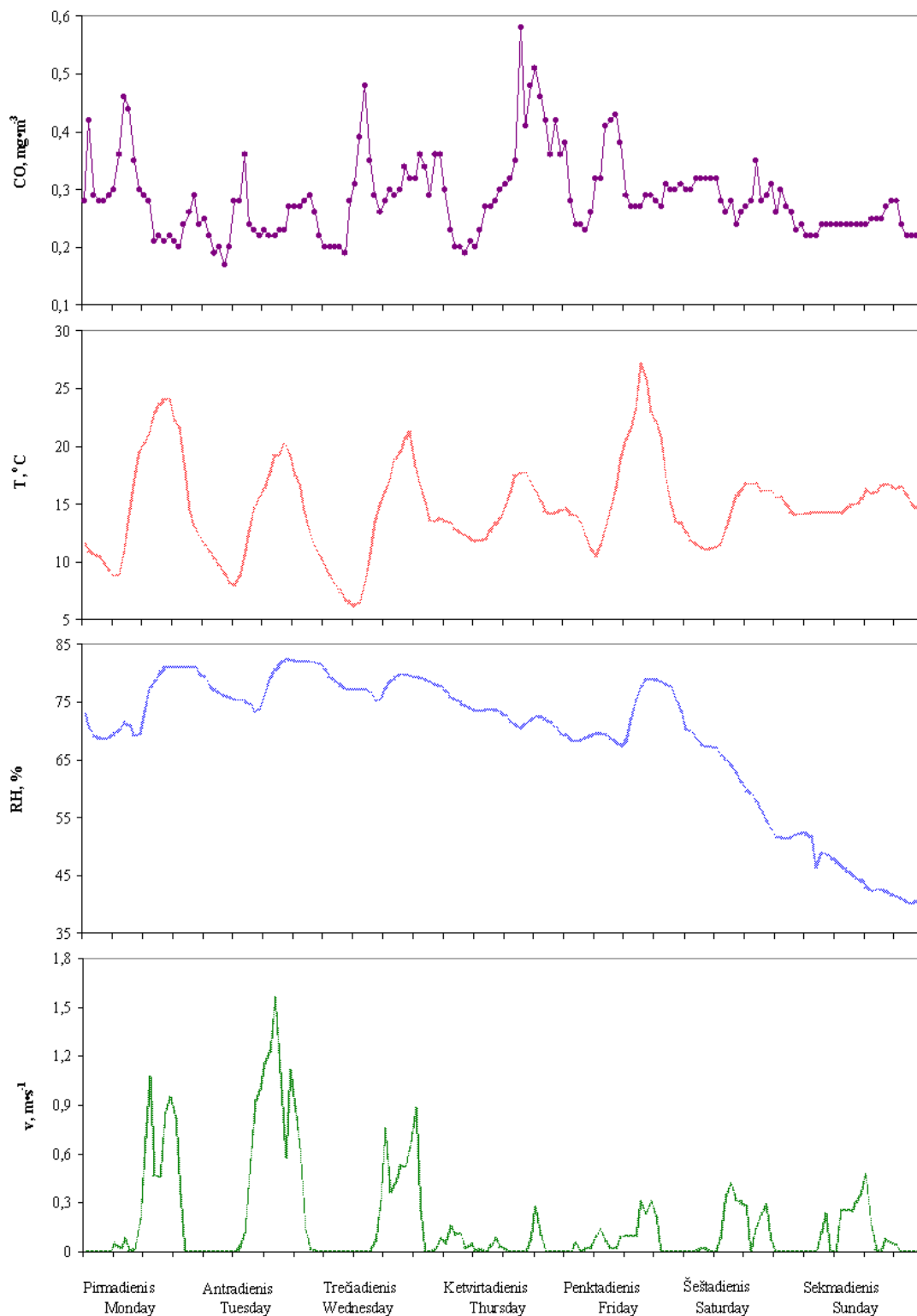
Lietuvos klimatas priklauso vidutinio klimato juostos šiaurinei daliai, kuriai būdingos vidutinio šilumos vasaros (17,6 °C). Tačiau, kaip ir dauguma pasaulio regionų, Lietuva patiria klimato kaitos poveikį, todėl vidutinė temperatūra pastaraisiais dešimtmečiais kyla. Vilniuje, prie Antakalnio gatvės, vidutinė paros oro temperatūra tirtą mėnesį kito nuo 13 iki 24 °C. Lietuvoje būna palyginti karštų vasarų, kai aukščiausia dienos oro temperatūra viršija 30 °C. Eksperimento laikotarpiu aukštesnė kaip 30 °C temperatūra pasitaikė, bet retai (< 2 % tyrimo trukmės). Vasarą iškrenta daugiausia kritulių – vidutiniškai ~ 77 mm per mėnesį. Tyrimo laikotarpiu vyravo saulėti, sausi, mažai permainingi orai, kuriuos dažniausiai lėmė anticiklonai. Vidutinis slėgis skirtingomis eksperimento dienomis kito nuo 989 iki 1007 hPa, o vidutinė oro drėgmė – nuo 36 iki 79 %. Silpniausi vėjai Lietuvoje registruojami vasarą (1,5–2,5 m·s⁻¹). Tyrimo metu pūtė silpnas (< 2 m·s⁻¹) ir pastovios krypties vėjas iš pietų (53 %) arba iš šiaurės (38 %). Eksperimento metu dominavusios meteorologinės sąlygos charakteringos vasaros sezono pastarųjų penkerių metų daugiametėms vertėms. Tyrimo laikotarpiu Vilniuje Antakalnio gatve vidutiniškai važiuojo 10 330 automobilių per parą.



1 pav. Anglies monoksido koncentracijos pasikartojimas

Fig. 1. Repetition of carbon monoxide concentration

Tyrimo laikotarpiu anglies monoksido koncentracija prie Antakalnio gatvės kito $0,12\text{--}0,67\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ intervale. Išmatuotos anglies monoksido koncentracijos buvo suskirstytos į skirtingus intervalus tam, kad būtų nustatytas šio teršalo koncentracijų intervalų dažninis pasikartojimas (1 pav.). Anglies monoksido koncentracija iki $0,2\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ registruota 20 % eksperimento laiko, o didesnė kaip $0,5\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ šio teršalo koncentracijos vertė stebėta < 2 % tyrimo laiko. Dažniausiai (~ 60 % matavimo laiko) fiksuotas anglies monoksido koncentracijos pasikartojimas nuo $0,2$ iki $0,3\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ intervale. Maksimali anglies monoksido 8 val. slankiojo vidurkio koncentracija siekė $0,4\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ir sudarė 4 % ribinės vertės.



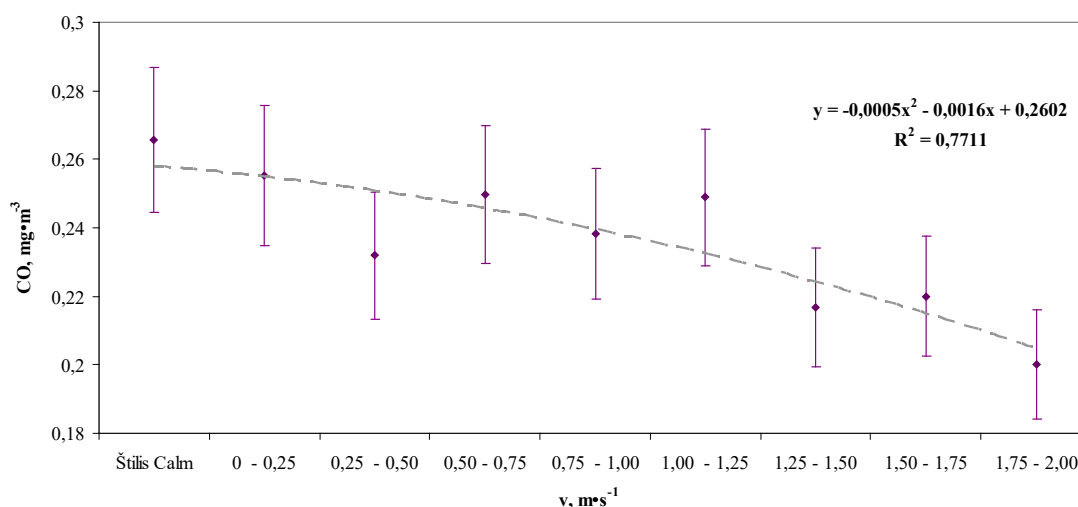
2 pav. Charakteringas vienos savaitės anglies monoksido koncentracijos ir meteorologinių parametų pasiskirstymas
Fig. 2. Typical distribution of carbon monoxide concentration and meteorological parameters over a one-week period

Charakteringos savaitės anglies monoksido koncentracijos ir meteorologinių parametru: temperatūros (T) ir santykinės oro drėgmės (RH), vėjo greičio (v) Vilniuje, prie Antakalnio gatvės, pasiskirstymas pateiktas 2 paveiksle. Fiksuotas dinamiškas anglies monoksido koncentracijos per savaitę Vilniuje, prie Antakalnio gatvės, pasiskirstymas. Nuo pirmadienio iki šeštadienio stebima chaotiška anglies monoksido koncentracijos ($0,17\text{--}0,58\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) kaita, o šeštadienį ir sekmadienį šio teršalo koncentracija stabilizuojasi ir svyruoja $\sim 0,27\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$. Skirtingomis savaitės darbo dienomis didžiausios ir mažiausios anglies monoksido koncentracijos skyrėsi iki 3,1 karto, o savaitgaliais – iki 1,5 karto. Didžiausia anglies monoksido koncentracija registruota ketvirtadienį, o mažiausia – savaitgalį ir antradienį. Antradienį ir sekmadienį vidutinė anglies monoksido koncentracija nustatyta tokia pati – $0,24\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$, stebint ženklėsius paros koncentracijų antradienį (iki 53 %) nei sekmadienį (iki 21 %) skirtumus. Vienoda šio teršalo vidutinė koncentracija nustatyta ir pirmadienį bei šeštadienį ($0,29\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$), pirmadienį fiksuojant ženkliai didesnius koncentracijų skirtumus (iki 57 %) negu šeštadienį (iki 34 %).

Pateiktą savaitę vyraavo silpnas ir pastovios krypties vėjas, fiksuojant iki $1,6\text{ m/s}$ vėjo greitį. Savaitės pradžioje pūtė stipresnis vėjas, o nuo ketvirtadienio jis rimo ir buvo pastovus ($\sim 0,1\text{ m/s}$). Stipriausias vėjas užfiksuotas antradienį. Temperatūra pateiktą savaitę kito nuo 6 iki $27\text{ }^{\circ}\text{C}$. Aukščiausia temperatūra nustatyta penktadienį. Darbo dienomis stebimi dideli temperatūrų skirtumai (iki 71 %) nei savaitgalį (iki 35 %). Pateiktą savaitę santykinė oro drėgmė kito $40\text{--}82\%$ intervale. Iki savaitgalio santykinė drėgmė mažai kito, tarp vidutinių drėgmės verčių skirtingomis darbo dienomis stebimas iki 1,1 karto skirtumas. Nuo šeštadienio santykinė drėgmė pradėjo mažėti. Prie Antakalnio gatvės pateiktos charakteringos savaitės savaitgalį santykinė oro drėgmė nustatyta 30 % mažesnė nei darbo dienomis.

Atliktas koreliacinio ryšio tarp meteorologinių parametru ir anglies monoksido koncentracijos analizavimas ir koreliacijos koeficientų tarp šių kintamųjų nustatymas. Eksperimento laikotarpiu tarp anglies monoksido koncentracijos ir santykinės oro drėgmės bei slėgio nustatytas silpnas teigiamas koreliacinis ryšys, todėl akivaizdu, kad santykinė oro drėgmė ir slėgis nevidina lemiamo vaidmens šio teršalo koncentracijos Vilniuje, prie Antakalnio gatvės, pokyčiams. Kadangi tirtą vasaros mėnesį vėjas pūtė palei Antakalnio gatvę (iš šiaurės ir iš pietų), vėjo krypties įtaka pasireiškė tik anglies monoksido koncentracijos palei gatvę svyravimams, o į atmosferą iš kelių transporto priemonių išmetamas teršalas link palei tirtą gatvę išsidėsčiusių gyvenamųjų namų vėjo nebuvo nupučiamas. Stiprus neigiamas koreliacinis ryšys pastebėtas tarp anglies monoksido koncentracijos ir temperatūros bei vėjo greičio, todėl galima teigti, kad oro temperatūra ir vėjo greitis tyrimo laikotarpiu lėmė oro taršos anglies monoksidu lygio kitimą. Ghosh su kolegomis (2024) taip pat pastebėjo reikšmingą vidutinio stiprumo anglies monoksido koreliaciją su temperatūra ($r = -0,54$). Temperatūros ir vėjo greičio svarbą anglies monoksido koncentracijai pastebėjo ir Chen su kolegomis (2020), nustatę stiprų neigiamą ryšį anglies monoksido su temperatūra ir vėjo greičiu.

Pastebėjus, kad iš visų meteorologinių parametru didžiausią įtaką anglies monoksido koncentracijos tirtoje vietoje pokyčiams daro vėjo greitis, atliktas šio teršalo koncentracijos pagal vėjo greičius grupavimas ir vertinimas (3 pav.).



3 pav. Anglies monoksido koncentracijos priklausomybė nuo vėjo greičio

Fig.3. Correlation between carbon monoxide concentration and wind speed

Vilniuje, prie Antakalnio gatvės, pasiskirstymą tarp anglies monoksido koncentracijos ir vėjo greičio aprašo polinominė lygtis. Eksperimento metu pūtęs silpnas vėjas ($< 2,0\text{ m/s}$) lėmė anglies monoksido koncentracijos tirtoje vietoje svyravimus. Pučiant stipresniam kaip $1,5\text{ m/s}$ vėjui registruota

$0,21 \pm 0,02 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ anglies monoksido koncentracija, o esant štiliui – $0,27 \pm 0,04 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$. Analizė parodė, kad anglies monoksido koncentracija vyraujant stipresniam ($> 1,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) vėjui 21 % mažesnė nei vėjui nesant. Tarp vėjo greičio ir anglies monoksido koncentracijos tyrimo laikotarpiu nustatytas stiprus neigiamas koreliacinis ryšys, koreliacijos koeficientas – 0,88. Tai rodo, kad didesni vėjo greičiai susiję su mažesniais anglies monoksido koncentracijomis dėl šio teršalo išsklaidymo.

Išvados

1. Anglies monoksido koncentracijos Vilniuje, prie Antakalnio gatvės, kintamumas rodo sudėtingą sąveiką tarp transporto eismo srautų, paros laiko, savaitės dienos ir meteorologinių sąlygų.
2. Vilniuje, prie Antakalnio gatvės, anglies monoksido koncentracijai būdinga ryški savaitės eiga: didžiausia koncentracija stebėta savaitės viduryje (dažniausiai ketvirtadieniais), o mažiausia – savaitgaliais. Anglies monoksido koncentracija savaitės viduryje nustatyta 38 % didesnė nei savaitgaliais. Anglies monoksido koncentracija pasižymėjo aiškiu paros profiliu, pasiekdama aukščiausius lygius rytinio ir vakarinio piko valandomis, kas atspindi eismo aktyvumo įtaką.
3. Skirtingų mėnesio dienų vidutinės anglies monoksido koncentracijos vertės skyrėsi iki 48 %. Didžiausia 8 valandų anglies monoksido koncentracijos vidurkio vertė svyravo nuo $0,2$ iki $0,4 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ir neviršijo ribinės šio teršalo vertės ($10 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$). Žemas šio teršalo koncentracijos Vilniuje prie tirtos gatvės lygis vasarą susijęs su sumažėjusiu eismo aktyvumu mieste, daugeliui žmonių atostogaujant.
4. Aptiktas stipresnis neigiamas ryšys tarp anglies monoksido ir meteorologinių parametrų, ypač vėjo greičio ($-0,88$) ir oro temperatūros ($-0,76$). Šie rezultatai atskleidžia atvirkštinį ryšį, kai didesnis vėjo greitis ir aukštesnė aplinkos temperatūra susiję su mažesniu oro taršos anglies monoksidu lygiu.

Literatūra

1. Chen, Y., Ma, Q., Lin, W., Xu, X., Yao, J., Gao, W. (2020). Measurement report: Long-term variations in carbon monoxide at a background station in China's Yangtze River Delta region. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 20(24), 15969–15982.
2. Campagnolo, D., Borghi, F., Fanti, G., Keller, M., Rovelli, S., Spinazz, A., Cattaneo, A., Cavallo, D. M. (2023). Factors affecting in-vehicle exposure to traffic-related air pollutants: A review. *Atmospheric Environment*, 295, 119560.
3. Ding, H., Zhao, Y., Miao, S., Chen, T., Liu, Y. (2023). Temporal-spatial dynamic characteristics of vehicle emissions on intercity roads in Guangdong Province based on vehicle identity detection data. *Journal of Environmental Sciences*, 130, 126–138.
4. Flores, R. M., Mertoglu, E., Ozdemir, H., Akkounlu, B. O., Demir, G., Unal, A., Tayanc, M. (2020). A high-time resolution study of $\text{PM}_{2.5}$, organic carbon, and elemental carbon at an urban traffic site in Istanbul. *Atmospheric Environment*, 223, 117241.
5. Ghosh, B., Mondal, A., De, M., Rout, T. K., Padhy, P. K. (2024). Spatiotemporal distribution of carbon monoxide dynamics and probabilistic health risk assessment: A comprehensive sensitivity analysis across India's state capitals. *Environmental Challenges*, 15(3), 100891.
6. Henry, C. R., Satran, D., Lindgren, B., Adkinson, C., Nicholson, C. I., Henry, T. D. (2006). Myocardial injury and long-term mortality following moderate to severe CO poisoning. *JAMA*, 295(4), 398–402.
7. Kho, F. W. L., Law, P. L., Ibrahim, S. H., Sentian, J. (2007). Carbon monoxide levels along roadway. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 4(1), 27–34.
8. Ruslan, H. (2024). Carbon monoxide emission and eco-driving for freight Sustainability. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 1347, 012050.
9. Sartori, A., Tiberio, M., Gottardo, R., Balzo, G. Del, Vermiglio, E., Raniero, D., Leo, D. De (2024). Carbon monoxide related deaths: A Verona case series. When cooperation becomes compulsory. *Legal Medicine*, 67(3), 102375.
10. Shi, X., Lei, Y., Xue, W., Liu, X., Li, S., Xu, Y., Lv, C., Wang, S., Wang, J., Yan, G. (2023). Drivers in carbon dioxide, air pollutants emissions and health benefits of China's clean vehicle fleet 2019–2035. *Journal of Cleaner Production*, 391(4), 136167.
11. Ukpebor, E. E., Ukpebor, J. E., Eromomene, F., Odias, J. I., Okoro, D. (2010). Spatial and Diurnal Variations of Carbon Monoxide (CO) Pollution from Motor Vehicles in an Urban Centre. *Polish Journal of Environmental Studies*, 19(4), 817–823.
12. Walsh, M. P. (2011). Mobile source related to pollution: Effects on health and the environment. *Encyclopedia of Environ Health*, 3, 803–809.

13. Wen, Y., Liu, M., Zhang, S., Wu, X., Wu, Y., Hao, J. (2023). Updating on-road vehicle emissions for China: Spatial patterns, temporal trends, and mitigation drivers. *Environmental Science and Technology*, 57(38), 14299–14309.
14. Xia, L., Zhang, G., Liu, L., Li, B., Zhan, M., Kong, P., Wang, H. (2020). Atmospheric CO₂ and CO at Jingdezhen station in central China: understanding the regional transport and combustion efficiency. *Atmospheric Environment*, 222(12), 117104.
15. Yang, Q., Shen, H., Liang, Z. (2020). Analysis of particulate matter and carbon monoxide emission rates from vehicles in a Shanghai tunnel. *Sustainable Cities and Society*, 56(2999), 102104.
16. Zhu, C., Qu, X., Qiu, M., Zhu, C., Wang, C., Wang, B., Sun, L., Yang, N., Yan, G., Xu, C., Li, L. (2023). High spatiotemporal resolution vehicular emission inventory in Beijing-Tianjin-Hebei and its surrounding areas (BTHSA) during 2000–2020. China. *Science of the Total Environment*, 873, 162389.

Vaida Vasiliauskienė

Air Pollution with Carbon Monoxide Caused by Road Transport

Transport is considered as one of the largest sources of air pollution in Lithuania. It also contributes to the increase in the levels of carbon monoxide pollution in the ground layer of the atmosphere. This issue is particularly prominent in the country's largest cities. The study was conducted in Vilnius, near Antakalnio Street, during the summer season. Throughout the experiment, carbon monoxide concentrations were continuously monitored alongside meteorological factors, including ambient temperature, relative air humidity, pressure, wind speed and direction. The maximum carbon monoxide concentrations varied by as much as 3.4 times on different days of the study. It was found during the study that the carbon monoxide levels near Antakalnio Street in Vilnius are highly dynamic and influenced by several external factors, such as time of day, traffic intensity, and meteorological conditions.

Keywords: Carbon monoxide, transport flows, air pollution, meteorological factors.

Gauta 2025 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2025 m. balandžio mėn.

Vaida VASILIAUSKIENĖ. Vilniaus Gedimino technikos universiteto Fundamentinių mokslų fakulteto Fizikos katedros docentas. Adresas: Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, tel. +370 525 12177, el. paštas: Vaida.Vasiliauskiene@vilniustech.lt; Generolo Jono Žemaičio Lietuvos karo akademija, Gynybos ir technologijos vadybos mokslų grupė. Adresas: Šilo g. 5A, LT-10322, Vilnius, tel. +370 521 26313, el. paštas: vaida.vasiliauskiene@lka.lt

Vaida VASILIAUSKIENĖ. Vilnius Gediminas Technical University, Faculty of Fundamental Sciences, Department of Physics, assoc. prof. Address: Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius. Phone: +370 525 12177, e-mail: Vaida.Vasiliauskiene@vilniustech.lt; General Jonas Žemaitis Military Academy of Lithuania, Research Group on Logistics and Defense Technology Management. Address: Silo str. 5A, LT-10322 Vilnius. Phone: +370 521 26313, e-mail: vaida.vasiliauskiene@lka.lt

BEPILOČIŲ ORLAIVIŲ SISTEMŲ, SKIRTŲ NUOTOLINEI RADIACINEI STEBĖSENAI, APŽVALGA IR PALYGINIMAS

Jonas Misiūnas, Dainius Jasaitis

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Bepiločių orlaivių (dronų) naudojimas įvairiose srityse, įskaitant karinę, žvalgybinę ir pramoginę veiklą, visame pasaulyje sparčiai auga. Ne išimtis ir aplinkos apsaugos stebėsenos sritys, tokios kaip teritorijų užterštų radioaktyviomis medžiagomis stebėseną integruojant jonizuojančiosios spinduliuotės jutiklius (detektorius) su bepiločiais orlaiviais, taip išvengiant žmogaus (operatoriaus) tiesioginio kontakto su radioaktyviąja medžiaga, taupant operatoriaus darbo valandas ir galimybę realiuoju laiku rinkti duomenis. Šiame straipsnyje apžvelgiamos bepiločių orlaivių sistemų, integruotų su jonizuojančiosios spinduliuotės aptikimo detektoriais, technologijos, daugiausia dėmesio skiriant skirtingų bepiločių orlaivių, gama spinduliuotės jutiklių technologijų palyginamajai analizei. Lyginamos įvairios bepiločių orlaivių platformos: fiksuoto sparno (angl. *Fixed – wing*), vienasraigtės (angl. *Single – rotor*) ir daugiasraigtės sistemos (angl. *Multi-rotor systems*), vertinant jų tinkamumą skirtingoms jonizuojančiosios spinduliuotės stebėsenos užduotims. Aptariamas gama spinduliuotės detektorių pasirinkimas, įskaitant scintiliacinius detektorius (NaI, CsI, LaBr₃, CeBr₃), puslaidininkinius detektorius (HPGe, CZT) ir Geigerio–Miulerio skaitiklius.

Raktiniai žodžiai: jonizuojančioji spinduliuotė, bepilotės orlaivių sistemos, aplinkos radiacinė stebėseną, nuotoliniai metodai.

Įvadas

Radioaktyviosios taršos stebėseną yra esminis radiacinės saugos aspektas. Tradiciniai radioaktyviosios taršos matavimo metodai dažnai yra ribojami dėl sudėtingos prieigos prie tiriamų teritorijų, pavojingų sąlygų ir laiko sąnaudų. Pastaraisiais metais sparčiai plėtojantis bepiločių orlaivių (BO) technologijoms, atsirado naujos galimybės vykdyti nuotolinę radiologinę stebėseną naudojant autonomines arba nuotoliniu būdu valdomas bepiločių orlaivių sistemas (BOS). Tai perspektyvi priemonė, skirta užtikrinti didesnę visuomenės saugumą bei sveiką gyvenimo aplinką ateityje. Vieni pirmųjų bandymų panaudoti BO radiacijos lygiui matuoti buvo po Fukušimos AE katastrofos Japonijoje. BO buvo naudojami gama spinduliuotės lygiui matuoti ir kartografuoti užterštas zonas, taip pat rutininėms patikroms, siekiant aptikti galimus radiacijos nuotėkius ir patikrinti saugumo būklę. Nepaisant technologinių galimybių, lieka iššūkių, susijusių su aukštą gama spinduliuotės erdvinį detalumą užtikrinančiais matavimais ir BO navigacija sudėtingomis sąlygomis.

Šiame darbe apžvelgiamos ir palyginamos BOS, integruotų su jonizuojančiosios spinduliuotės aptikimo detektoriais technologijos.

Tyrimų metodika

Atlikta palyginamoji analizė, pagrįsta literatūros šaltinių ir anksčiau atliktų tyrimų duomenimis.

Rezultatai

Bepiločių orlaivių su gama spinduliuotės detektoriais klasifikacija. Šiame darbe aptarinėjamos fiksuoto sparno (angl. *Fixed – wing*), vienasraigtės (angl. *Single – rotor*) ir daugiasraigtės (angl. *Multi – rotor*) sistemos (1 lentelė).

Fiksuoto sparno bepilotės orlaivių sistemos (FSBOS) – tai tokios sistemos, kurios išvaizda ir skrydžio principu primena tradicinius lėktuvus, kuriuose besisukantys propeleriai sukuria trauką, stumiančią orlaivį į priekį, o keliamoji jėga atsiranda dėl oro srauto judėjimo virš ir po sparnu (IAEA, 2022). Apžvelgus labiausiai mokslinėje literatūroje cituojamus literatūros šaltinius, kuriuose nagrinėjamas šių BO pritaikymas radiacinei stebėsenai, galima išskirti tokius pagrindinius šių sistemų privalumus kaip gebėjimas greitai aprėpti dideles radiacijos paveiktas teritorijas ir sąlyginai ilga veikimo trukmė. Trūkumai – tinka tik stipriai radiologiškai paveiktoms teritorijoms, kur įvyko globalaus masto radiologiniai incidentai (pvz.: Černobylyje ir Fukušimoje) dėl mažo orlaivio manevringumo ir reguliacinių apribojimų, susijusių su leidimais skristi už matomumo ribų (Connor et al., 2020). Pavyzdžiui, „Penguin C“ BOS buvo sukurta taip, kad galėtų vykdyti ilgalaikę branduolinių incidentų stebėseną ir realiu laiku perduoti duomenis. Ji buvo varoma benzininiu varikliu su elektronine kuro įpurškimo sistema, kas leido orlaiviui skristi ilgesnį laiką, tačiau stipriai apribojo maksimalią gama spinduliuotės detektoriaus apkrovą (iki 2 kg), dėl to sumažėjo matavimo efektyvumas, nes detektorių dydis tiesiogiai koreliuoja su matavimų efektyvumu (Geelen et al., 2022). Galimas sprendimas – naudoti baterijas, o ne vidaus degimo variklį, tačiau baterijomis varomos FSBOS turi ribotą veikimo laiką, kaip buvo pastebėta atliktame tyrime Černobylio riboto patekimo teritorijoje (*Chernobyl exclusion zone*), kur BO galėjo

veikti tik apie 50–70 minučių (Connor et al., 2020). Kiti svarbūs niuansai – pakilimo ir nusileidimo mechanizmas bei skrydžio aukštis. Daugeliui FSBOS reikia specialių paleidimo sistemų, tokių kaip katapultos, o nusileidimui dažnai naudojami parašiutai, kurie ne visada leidžia tiksliai pasiekti reikiamą nusileidimo vietą. „Penguin C“ sistema naudojo suslėgto oro katapultą ir parašutinį nusileidimą, o tai apsunkino jos lankstumą lauko sąlygomis. Dronas galėjo skristi net 5000 m aukštyje, tačiau žvelgiant iš radiacinės stebėsenos pusės tai nėra privalumas, nes žemesniame aukštyje galima užfiksuoti didesnio tikslumo radiacijos duomenis, tačiau FSBOS dažnai negali skristi labai arti žemės, nes pagal konstrukciją reikia minimalaus saugaus aukščio (150 m) (Geelen et al., 2022).

FSBOS trūkumai kol kas atsveria privalumus. Priežastys aiškios – šių sistemų pritaikomumas radiologinei stebėsenai dėl veikimo ir konstrukcinių ypatybių yra labai ribotas. Jas galima taikyti iš esmės tik tose vietose, kur įvyko reikšmingos radiologinės katastrofos. Nors jonizuojančioji spinduliuotė – itin pavojingas reiškinys žmogui, tokių vietovių pasaulyje nėra daug. Labiau platesnė, ne mažiau reikšminga problema, susijusi radiacijos žala žmogui, – radioaktyvūs šaltiniai apleistose ligoninėse ir savartynuose, kai jie paliekami neteisėtai. Tokių šaltinių aptikimui ir lokalizavimui būtina, kad dronas turėtų galimybę kyboti vietoje ir manevruoti sąlyginai nedidelėje teritorijoje, o FSBOS to atlikti negali (Kurvinen et al., 2005).

Vienasraigtės bepiločių orlaivių sistemos (VBOS) veikia kaip sraigtasparniai, naudodami vieną sukamąjį sparną (rotorių), kad sukurtų keliamąją jėgą bepiločiam orlaiviui. Šios sistemos taip pat turi mažesnę rotorių ant uodegos, kuris naudojamas orlaivio stabilizavimui ir skrydžio krypties valdymui (IAEA, 2022). Tyrimų, nagrinėjančių VBOS integravimą su radiacinės stebėsenos technologijomis, yra gana nemažai. Šias sistemas galima laikyti „pereinamąja slenkstine“ technologija, jungiančia tradicinius pilotuojamus orlaivius (sraigtasparnius) su bepiločiais dronais. Tai perspektyvi ir efektyvi priemonė nuotoliniu būdu rinkti duomenis apie radioaktyvųjų užterštumą įvairiose teritorijose (IAEA, 2022). Atlikus daugiausia cituojamų mokslinių studijų literatūros apžvalgą, kuriose nagrinėjamas šių bepiločių orlaivių sistemų pritaikymas radiologinei aplinkos stebėsenai vykdyti, galima išskirti šių sistemų pagrindinius privalumus ir trūkumus. Privalumai – didelis atliekamų matavimų tikslumas sudėtingose teritorijose esant reljefo netolygumams ir kitoms gamtinėms (pvz., miškingos teritorijos) ir antropogeninės kilmės (pvz., miestų infrastruktūra, pastatai) kliūtims (Towler et al., 2012), dėl manevringumo, gebėjimo kyboti vienoje vietoje ir skristi mažesniame aukštyje, taip pat dėl didesnės keliamosios galios gabenti didesnę detektoriaus apkrovą. Trūkumai – itin sudėtinga konstrukcija, reikalaujanti kruopščios ir pastovios kvalifikuoto personalo techninės priežiūros, ribotas, dažnai nepakankamas veikimo laikas, kai stebėsenos misijos sudėtingos, ribotas veikimo atstumas (tik tiesioginio matavimo ribose) ir pilotavimo sudėtingumas (reikalinga aukšta pilotojančio personalo kvalifikacija) (Towler et al., 2012). „Yamaha RMAX G1“ BOS, kuri buvo naudojama surinkti detalius duomenis apie radioaktyvaus ^{134}Cs ir ^{137}Cs pasiskirstymą aplink Fukušimos atominę elektrinę, skirtingai nei pilotuojami sraigtasparniai, kuriems taikomi griežti oro erdvės apribojimai ir kurie dažniausiai negali leisti žemiau nei 150 m, galėjo tai atlikti 50–100 m aukštyje. Tai leido tiksliau nustatyti radiacijos intensyvumo lygį, kadangi spinduliuotė silpnėja proporcingai atstumui pagal atvirkštinio kvadrato dėsnį (Sanada et al., 2016). Tie patys autoriai taip pat naudojo autonominius skrydžio algoritmus, kurie leido atlikti rutinines anksčiau tirtų užterštų teritorijų inspekcijas ir stebėti užterštumo lygius laikui bėgant, atliekant teritorijų kartografavimą. Autonominis skrydžio režimas leido jiems sumažinti operatorių darbo krūvį vykdant sistemingą radioaktyvaus užterštumo stebėseną be didesnio žmogaus įsikišimo. Tačiau autoriai taip pat pabrėžė, kad BO sugebėdavo skristi tik apie 60–90 minučių ir jų valdomas BO galėjo veikti tik 3 km atstumu nuo valdymo stoties, o tai riboja atliekamos stebėsenos misijos efektyvumą (Sanada et al., 2016). Kaip jau minėta, VBOS gali gabenti gana didelę radiacinės stebėsenos įrangą (sudėtingesnę ir tikslesnę radiacijos matavimo prietaisų apkrovą). Geriausias pavyzdys (Jiang et al., 2016) – tyrimas, kuriame buvo naudojama scintiliatoriaus Komptono kamera, ji leido ne tik nustatyti radiacijos šaltinius, bet ir atlikti vaizdinį jų kartografavimą. Tokia įranga yra per sunki tradiciniams daugiasraigčiams dronams, tačiau VBOS gali ją transportuoti išlaikydamos stabilų skrydį. Nepaisant stabilaus skrydžio galimybių esant dideliai apkrovai, tų pačių autorių pateiktose tyrimo išvadose įvardijamas reikšmingas šios sistemos trūkumas – kruopšti, daug laiko užimanti ir dažna techninė priežiūra, nes aerodinaminis stabilumas priklauso nuo vieno pagrindinio rotoriaus ir uodegos rotoriaus (jei sugenda uodegos rotorius, orlaivis gali netekti stabilumo ir nukristi) (Jiang et al., 2016).

Daugiasraigtės bepiločių orlaivių sistemos (DBOS) paprastai turi tris ar daugiau (dažniausiai keturis) priešingomis kryptimis besisukančius, į viršų nukreiptus propelerius, kurie sukuria keliamąją jėgą sukimosi metu. Keičiant šių propelerių santykinius sukimosi greičius, orlaivis gali tiksliai manevruoti bet kuria pageidaujama kryptimi (IAEA, 2022). DBOS yra dažniausiai naudojamas orlaivių tipas radiologinei stebėsenai. Atlikus literatūros analizę, galima išskirti pagrindinius šių BOS privalumus ir trūkumus bei identifikuoti labiausiai tinkamas radiologinės stebėsenos užduotis šioms sistemoms. DBOS išsiskiria tuo, kad gali kyboti vietoje ir judėti itin mažais žingsniais, taip sudarydamos itin detalius radioaktyvaus užterštumo pasiskirstymo žemėlapius. Pavyzdžiui, tyrimuose, atliktuose Fukušimos zonoje, buvo įrodyta, kad DBOS gali

generuoti aukštos raiškos 3D radioaktyvaus užterštumo pasiskirstymo žemėlapius, kas ypač naudinga vertinant teršalų paplitimą po branduolinių avarijų (Martin et al., 2016). Vienas didžiausių DBOS privalumų yra galimybė veikti pavojingose ar sudėtingose vietovėse. Jie gali patekti į zonas, kurios būtų per daug pavojingos žmonėms, pavyzdžiui, į apleistas kasyklas ar avarijų vietas su aukštu radiacijos lygiu. Tyrimai parodė, kad naudojant DBOS galima greitai lokalizuoti radioaktyvius šaltinius, net kai jie paslėpti po nuolaužomis ar natūraliais objektų dariniais, kaip medžiai ar pastatai (Gong et al., 2019).

Kitas reikšmingas privalumas yra lengvas dislokavimas bei autonominis veikimas. DBOS nereikia kilimo takų ar papildomos infrastruktūros, todėl gali būti greitai dislokuoti beveik bet kurioje vietovėje. Tyrimai parodė, kad autonominiai BO su iš anksto suplanuotais skrydžio maršrutais gali atlikti radiacinį monitoringą itin tiksliai, net ir sudėtingomis sąlygomis. Tai leidžia atlikti sisteminius ir nuoseklius matavimus, užtikrinant tikslus duomenis, kurie būtini vertinant ilgalaikį radioaktyviosios taršos poveikį (Martin et al., 2016). Tačiau, nepaisant minėtų reikšmingų privalumų, DBOS turi ir tam tikrų apribojimų. Vienas iš pagrindinių trūkumų yra ribota skrydžio trukmė. Kadangi šie orlaiviai dažniausiai varomi baterijomis, jų tipinis veikimo laikas svyruoja nuo 20 iki 45 minučių, o tai riboja jų gebėjimą atlikti didelio masto radiacinį monitoringą per vieną skrydį (Martin et al., 2016).

1 lentelė. BO, skirtų radiacinei stebėsenai, tipų palyginimas

Table 1. Comparison of UAV types for radiation monitoring

BO tipas <i>UAV type</i>	Privalumai <i>Advantages</i>	Trūkumai <i>Disadvantages</i>
FSBOS <i>Fixed – Wing UAV</i>	- Greitai aprėpia dideles teritorijas. - Ilga veikimo trukmė (ypač su vidaus degimo varikliais). - Galimybė skristi dideliame aukštyje.	- Mažas manevringumas, negali kyboti vietoje. - Reikalingos specialios paleidimo ir nusileidimo sistemos (katapultos, parašiutai). - Negali skristi arti žemės (minimalus 150 m aukštis), mažinant matavimo tikslumą. - Tinka tik stipriai radiologiškai paveiktoms teritorijoms.
VBOS <i>Single – Rotor UAV</i>	- Gali kyboti ir atlikti tikslus matavimus vietoje. - Geba veikti žemame aukštyje (50–100 m). - Didelė naudingoji apkrova, galima naudoti sudėtingesnius detektorius. - Autonominio skrydžio galimybės leidžia atlikti sistemingą monitoringą.	- Sudėtinga konstrukcija, reikia dažno ir kruopštaus techninio aptarnavimo. - Ribotas veikimo laikas. - Ribotas veikimo atstumas.
DBOS <i>Multi – Rotos UAV</i>	- Itin didelis matavimo tikslumas, gali kyboti vietoje. - Gali atlikti išsamius radioaktyvaus užterštumo žemėlapius 3D formatu. - Lengvas dislokavimas, nereikia papildomos infrastruktūros. - Autonominiai skrydžiai leidžia tiksliai vykdyti sisteminius matavimus.	- Ribota skrydžio trukmė. - Maža naudingoji apkrova, ribojanti jautrių detektorių naudojimą. - Jautrumas oro sąlygoms. - Norint apimti didesnes teritorijas, reikalingi keli skrydžiai, didinantys operacijų kaštus.

Tyrimai parodė, kad, norint išmatuoti didesnes teritorijas, būtina organizuoti kelis iš eilės vykdomus skrydžius, o tai gali padidinti operacijų kaštus bei reikalauti daugiau žmogiškųjų išteklių (Gong et al., 2019). Dar viena problema – mažesnė naudingoji apkrova, palyginti su kitais BO tipais, tokiais kaip vieno rotoriaus ar fiksuoto sparno sistemomis. DBOS paprastai gali nešti tik 2–5 kg sveriančius jutiklius, o tai gali apriboti galimybę naudoti didesnius ir jautresnius detektorius (Martin et al., 2020). Kai kuriuose tyrimuose buvo pažymėta, kad dėl svorio apribojimų negalima naudoti aukštos skiriamosios gebos gama spektrometrų, todėl reikia ieškoti lengvesnių, tačiau mažesnio jautrumo alternatyvų (MacFarlane et al., 2014). Be to, DBOS yra jautrios vėjo ir oro sąlygoms. Kadangi jos yra palyginti nedidelės ir turi atvirą propelerių konstrukciją, stiprūs vėjo gūsiai gali sumažinti jų stabilumą skrydžio metu, o tai gali neigiamai paveikti surinktų duomenų tikslumą (Vetter et al., 2018). Apibendrinant, DBOS yra itin naudingos radiologiniam monitoringui mažose ar pavojingose teritorijose, kur reikalingas didelis tikslumas ir lankstumas. Jos suteikia galimybę greitai dislokuoti radiacijos matavimo įrangą ir atlikti detalų užterštų teritorijų kartografavimą. Tačiau jų ribota skrydžio trukmė, jautrumas oro sąlygoms ir mažesnė naudingoji apkrova reiškia, kad nėra idealus pasirinkimas didelio masto monitoringui, kur reikalingas ilgas skrydžio laikas ir didesnis detektorių apkrova. Nepaisant to, jų pritaikymas radiaciniam monitoringui ir avarinių situacijų stebėjimui tebėra itin svarbus ir plačiai naudojamas.

BOS naudojami jonizuojančiosios spinduliuotės detektoriai. Pagrindiniai detektorių tipai, kurie naudojami BO yra Geigerio–Miulerio skaitikliai, scintiliaciniai detektoriai ir puslaidininkių detektoriai (2 lentelė).

Geigerio–Miulerio (GM) detektoriai plačiai naudojami radiacijai aptikti dėl paprastumo, mažos kainos ir gebėjimo aptikti alfa, beta ir gama spinduliuotę. Jų sąlyginai paprasta konstrukcija ir atsparumas vibracijoms daro juos tinkamus naudoti kartu su BO radiologiniuose tyrimuose, kur jie buvo pritaikyti kaip ekonomišką sprendimą (IAEA, 2022). Pagrindiniai GM detektorių privalumai BO pagrindu atliekamuose radiologiniuose matavimuose yra jų mažos sąnaudos ir paprasta elektronika, todėl juos lengva integruoti į BOS. Jie taip pat yra kompaktiški ir atsparūs vibracijoms, todėl užtikrina stabilų veikimą skrydžio metu. GM vamzdeliai gali matuoti plačią dozės spinduliuotės diapazoną, net ir esant stipriai spinduliuotei, todėl jie yra vertingi ekstremalių situacijų atvejais (IAEA, 2022). Be to, jie leidžia realiu laiku aptikti radioaktyvią taršą ir iš karto įvertinti radiologinę situaciją (Ardiny et al., 2024). Dideliuose BO GM detektoriai dažnai naudojami kaip atsarginė sistema kartu su pažangesniais detektoriais, siekiant užtikrinti matavimo patikimumą (IAEA, 2022). GM detektoriai taip pat turi keletą trūkumų, ribojančių jų efektyvumą radiologiniuose tyrimuose su BO. Vienas iš pagrindinių apribojimų yra tai, kad jie neatlieka spektrometrinės analizės, todėl negali atskirti skirtingų radionuklidų. Jų atsakas labai priklauso nuo energijos, todėl kalibravimas turi būti koreguojamas atsižvelgiant į skirtingus izotopus ir tyrimo sąlygas, o tai apsunkina jų naudojimą kartu su BO. BO aukščio korekcijos GM detektoriams yra ypač nepalankios dėl energijos atsako svyravimų ir išsklaidytos spinduliuotės poveikio, todėl reikia sudėtingų kalibravimo metodų, tokių kaip Monte Karlo modeliavimas, kuris yra mažiau praktiškas GM detektoriams nei scintiliaciniams detektoriams (IAEA, 2022).

2 lentelė. Jonizuojančiosios spinduliuotės detektoriai bepiločių orlaivių sistemose

Table 2. Ionizing Radiation Detectors in Unmanned Aerial Vehicle Systems

Detektoriaus tipas	Privalumai <i>Advantages</i>	Trūkumai <i>Disadvantages</i>	Tinkamumas naudoti su BO <i>Suitability for use with UAV</i>
Geigerio–Miulerio (GM) skaitikliai <i>Geiger–Müller (GM) counters</i>	- Maža kaina ir paprasta konstrukcija. - Kompaktiški, atsparūs vibracijoms ir lengvai integruojami. - Platus dozės galios matavimo diapazonas. - Užtikrina realaus laiko radiacijos aptikimą.	- Neturi spektrometrinių galimybių, todėl negali identifikuoti radionuklidų. - Energijos atsakas priklauso nuo spinduliuotės tipo, reikia sudėtingo kalibravimo. - Aukščio korekcija apsunkina tikslų matavimą.	Gera tinka bendram radiacijos aptikimui ir avariniam monitoringui, tačiau ribotas radionuklidų identifikavimas.
Scintiliaciniai detektoriai <i>Scintillation detectors</i>	- Didelis jautrumas gama spinduliuotei. - Spektrometrinė informacija. - Tinka užterštoms teritorijoms kartografuoti.	- Didesnis svoris ir jautrumas aplinkos veiksniams. - Didesnė kaina nei GM detektorių. - Reikalinga papildoma elektronika duomenims apdoroti.	Tinka plataus masto radiaciniam stebėjimui ir radionuklidams identifikuoti.
Puslaidininkiniai detektoriai (HPGe, CZT) <i>Semiconductor detectors (HPGe, CZT)</i>	- Didelė energijos raiška, leidžianti tiksliai identifikuoti radionuklidus. - CZT nereikia aušinimo ir yra kompaktiškesnis. - HPGe užtikrina itin tikslus matavimus, tinkamus moksliniams tyrimams.	- HPGe detektoriai sunkūs, reikia kriogeninio arba elektrinio aušinimo. - Didesnis energijos suvartojimas. - Didelė kaina.	CZT detektoriai tinka bepiločiams orlaiviams dėl mažesnio svorio, HPGe naudojami tik su didelės keliamosios galios platformomis.

Plačiausiai paplitę ir dažniausiai naudojami radiacijos detektoriai, kurie naudojami kartu su BOS, yra *scintiliaciniai detektoriai*. Scintiliaciniai detektoriai yra labai jautrūs, geba aptikti gama spinduliuotę ir suteikia informaciją apie aptiktos spinduliuotės energiją (Ardiny et al., 2024). Dažniausiai naudojamas scintiliacinis detektorius yra NaI, kuris laikomas standartu. Antroje vietoje yra CsI, kuris yra tvirtesnis, atsparesnis vibracijoms ir smūgiams, todėl labiau tinka naudoti sudėtingomis sąlygomis. Tačiau jis turi mažesnę skiriamąją gebą ir mažesnę skaičiavimo greitį, palyginti su įprastu NaI. CeBr₃ ir LaBr₃ scintiliatoriai naudojami tais atvejais, kai reikalinga didesnė spektrometrinė raiška, tačiau jų trūkumas yra didesnė kaina. Plastikiniai scintiliatoriai yra lengvi, pigūs ir jautrūs, tačiau jų galimybės identifikuoti radionuklidus yra ribotos. Tradiciškai scintiliatoriai jungiami prie fotodaugintuvų, dėl ko jie tampa jautrūs temperatūros pokyčiams ir magnetiniam laukui. Šią problemą galima išspręsti pakeitus juos modernesniais silicio fotodaugintuvais

(SiPM) (IAEA, 2022). Apibendrinant, scintiliaciniai detektoriai yra, ko gero, geriausias įrankis BO pagrindu vykdomam radiologiniam stebėjimui dėl didelio efektyvumo, spektroskopinių galimybių ir gebėjimo tiksliau atlikti užterštų vietų kartografavimą. Tačiau jų didesnė kaina, svoris ir jautrumas aplinkos veiksniams kelia iššūkių integruojant į BOS. Jie labiausiai tinka tyrimams, kuriems reikalingas radionuklidų identifikavimas ir didelio ploto taršos įvertinimas.

Puslaidininkiniai detektoriai naudojami kartu su BO radiologiniam stebėjimui dėl didelio jautrumo ir gebėjimo pateikti išsamią spektroskopinę informaciją. Du pagrindiniai tipai, naudojami bepiločiuose orlaiviuose, yra aukšto grynumo germanio (HPGe) detektoriai ir kadmio-cinko-telūro (CZT) detektoriai (IAEA, 2022). Šie detektoriai pasižymi aukštos raiškos radiologiniais matavimais, todėl naudingi radionuklidams identifikuoti ir aplinkos taršai vertinti. Tačiau puslaidininkiniai spektrometrai reikalauja pažangios elektronikos ir kai kuriais atvejais aušinimo sistemų, kad būtų sumažintas elektromagnetinis triukšmas, o tai padidina integracijos sudėtingumą kartu su BO (Ardiny et al., 2024).

Vienas pagrindinių puslaidininkinių detektorių privalumų yra aukšta energijos raiška, leidžianti tiksliai identifikuoti radionuklidus (IAEA, 2022). CZT detektoriai tiesiogiai konvertuoja jonizuojančiąją spinduliuotę į elektros signalus, todėl nereikia tarpinės šviesos konversijos kaip scintiliatorių detektorių atveju, kas juos daro kur kas efektyvesnius (Ardiny et al., 2024). Puslaidininkiniai detektoriai turi keletą trūkumų, kurie riboja jų naudojimą kartu su BO. HPGe detektoriai yra sunkūs, todėl jiems reikalingi BO su ne mažesne kaip 20 kg naudinga apkrova, kas riboja jų naudojimą tik dideliuose BO modeliuose. HPGe detektoriams reikia aušinimo elektromagnetiniam triukšmui mažinti, tam naudojamos kriogeninės arba elektrinio aušinimo sistemos, kurios dar labiau padidina energijos suvartojimą ir BO naudingosios apkrovos sumažinimą (IAEA, 2022). Apibendrinant galima teigti, kad puslaidininkiniai detektoriai, tokie kaip HPGe ir CZT, suteikia aukštos raiškos radiacijos spektrometriją, todėl jie idealiai tinka tiksliai radionuklidų identifikacijai ir aplinkos radiacijos stebėjimui. Tačiau jų didelė kaina, svorio apribojimai ir aušinimo reikalavimai apsunkina integravimą į BOS. CZT detektoriai dėl kompaktiško dizaino ir galimybės veikti kambario temperatūroje labiau tinka radiologiniams matavimams naudojant BO, o HPGe detektoriai geriausiai pritaikomi didelio masto, itin tiksliose radiacijos stebėjimo misijose, naudojant sunkiuosius dronus, tokius kaip vienasraigtės sistemos (Ardiny et al., 2024).

Išvados

1. Bepiločių orlaivių technologijos vis plačiau taikomos nuotolinei radiacinei stebėsenai, tačiau skirtingos sistemos turi savų privalumų ir trūkumų, todėl jų parinkimas priklauso nuo konkrečių stebėsenos tikslų ir aplinkos sąlygų.
2. Fiksuoto sparno bepilotės sistemos tinka radiacinei stebėsenai didelėse teritorijose po didelio masto branduolinių incidentų, tačiau jų ribotas manevringumas, aukšti skrydžio reikalavimai ir teisiniai apribojimai mažina jų praktinį pritaikomumą mažesnėse ar kompleksinėse vietovėse.
3. Vienasraigtės bepilotės sistemos išsiskiria didesne keliamąja galia ir galimybe skristi mažame aukštyje, kas leidžia tiksliau fiksuoti radiacijos duomenis net ir sudėtingose vietovėse. Tačiau jų konstrukcija yra sudėtinga, reikia nuolatinės techninės priežiūros, o veikimo laikas bei atstumas dažnai būna riboti.
4. Daugiasraigtės bepilotės sistemos yra dažniausiai naudojamos radiacinei stebėsenai dėl manevringumo, gebėjimo kyboti vietoje ir rinkti detalius duomenis mažose teritorijose. Vis dėlto jų ribota baterijos talpa, mažesnė naudingoji apkrova ir jautrumas oro sąlygoms apsunkina jų naudojimą didelio masto monitoringui.
5. Bepiločiuose orlaiviuose montuojamų jonizuojančiosios spinduliuotės detektorių pasirinkimą lemia radiacijos lygis, stebimos teritorijos dydis ir paties orlaivio apkrovos galimybės.

Literatūra

1. Ardiny, H., Beigzadeh, A., & Mahani, H. (2024). Applications of unmanned aerial vehicles in radiological monitoring: A review. *Nuclear Engineering and Design*, T. 422. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2024.113110>
2. Connor, D. T., Wood, K., Martin, P. G., Goren, S., Megson-Smith, D., Verbelen, Y., Chyzhevskiy, I., Kirieiev, S., Smith, N. T., Richardson, T., & Scott, T. B. (2020). Radiological Mapping of Post-Disaster Nuclear Environments Using Fixed-Wing Unmanned Aerial Systems: A Study From Chornobyl. *Frontiers in Robotics and AI*, 6. <https://doi.org/10.3389/frobt.2019.00149>
3. Geelen, S., Camps, J., Olyslaegers, G., Ilegems, G., & Schroeyers, W. (2022). Radiological Surveillance Using a Fixed-Wing UAV Platform. *Remote Sensing*, 14(16). <https://doi.org/10.3390/rs14163908>

4. Gong, P., Tang, X. Bin, Huang, X., Wang, P., Wen, L. S., Zhu, X. X., & Zhou, C. (2019). Locating lost radioactive sources using a UAV radiation monitoring system. *Applied Radiation and Isotopes*, 150, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2019.04.037>
5. IAEA. (2022). *Technical Output from the Technical Meeting Use Of Uncrewed Aerial Systems (UAS) For Radiation Detection and Surveillance*. <https://inis.iaea.org/records/xpyjv-zkb05>
6. Jiang, J., Shimazoe, K., Nakamura, Y., Takahashi, H., Shikaze, Y., Nishizawa, Y., Yoshida, M., Sanada, Y., Torii, T., Yoshino, M., Ito, S., Endo, T., Tsutsumi, K., Kato, S., Sato, H., Usuki, Y., Kurosawa, S., Kamada, K., & Yoshikawa, A. (2016). A prototype of aerial radiation monitoring system using an unmanned helicopter mounting a GAGG scintillator Compton camera. *Journal of Nuclear Science and Technology*, 53(7), 1067–1075. <https://doi.org/10.1080/00223131.2015.1089796>
7. Kurvinen, K., Smolander, P., Pöllänen, R., Kuukankorpi, S., Kettunen, M., & Lyytinen, J. (2005). Design of a radiation surveillance unit for an unmanned aerial vehicle. *Journal of Environmental Radioactivity*, 81(1), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2004.10.009>
8. MacFarlane, J. W., Payton, O. D., Keatley, A. C., Scott, G. P. T., Pullin, H., Crane, R. A., Smilion, M., Popescu, I., Curlea, V., & Scott, T. B. (2014). Lightweight aerial vehicles for monitoring, assessment and mapping of radiation anomalies. *Journal of Environmental Radioactivity*, 136, 127–130. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2014.05.008>
9. Martin, P. G., Connor, D. T., Estrada, N., El-turke, A., Megson-smith, D., Jones, C. P., Kreamer, D. K., & Scott, T. B. (2020). Radiological identification of near-surface mineralogical deposits using low-altitude unmanned aerial vehicle. *Remote Sensing*, 12(21), 1–16. <https://doi.org/10.3390/rs12213562>
10. Martin, P. G., Kwong, S., Smith, N. T., Yamashiki, Y., Payton, O. D., Russell-Pavier, F. S., Fardoulis, J. S., Richards, D. A., & Scott, T. B. (2016). 3D unmanned aerial vehicle radiation mapping for assessing contaminant distribution and mobility. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 52, 12–19. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2016.05.007>
11. Sanada, Y., Orita, T., & Torii, T. (2016). Temporal variation of dose rate distribution around the Fukushima Daiichi nuclear power station using unmanned helicopter. *Applied Radiation and Isotopes*, 118, 308–316. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2016.09.008>
12. Towler, J., Krawiec, B., & Kochersberger, K. (2012). Terrain and Radiation Mapping in Post-Disaster Environments Using an Autonomous Helicopter. *Remote Sensing*, 4(7), 1995–2015. <https://doi.org/10.3390/rs4071995>
13. Vetter, K., Barnowski, R., Haefner, A., Joshi, T. H. Y., Pavlovsky, R., & Quiter, B. J. (2018). Gamma-Ray imaging for nuclear security and safety: Towards 3-D gamma-ray vision. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, T. 878, 159–168. Elsevier B. V. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2017.08.040>

Jonas Misiūnas, Dainius Jasaitis

Review and Comparison of Unmanned Aerial Systems for Remote Radiation Monitoring

The use of unmanned aerial vehicles (UAVs, drones) in various fields, including military, reconnaissance, and recreational activities, is rapidly growing worldwide. Environmental monitoring fields are no exception, particularly in areas such as monitoring territories contaminated with radioactive materials by integrating ionizing radiation sensors (detectors) with UAVs. This approach eliminates the need for direct human (operator) contact with radioactive substances, saves operator working hours, and enables real-time data collection. This article reviews UAV systems integrated with ionizing radiation detection technologies, focusing on a comparative analysis of different UAV types and gamma radiation sensor technologies. Various UAV platforms are compared, including fixed-wing, single-rotor, and multi-rotor systems, assessing their suitability for different ionizing radiation monitoring tasks. The selection of gamma radiation detectors is also discussed, covering scintillation detectors (NaI, CsI, LaBr₃, CeBr₃), semiconductor detectors (HPGe, CZT), and Geiger-Müller counters.

Keywords: Ionizing radiation, unmanned aerial vehicle systems, environmental radiation monitoring, remote methods.

Gauta 2025 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2025 m. balandžio mėn.

Jonas MISIŪNAS. Vilniaus Gedimino technikos universiteto Antano Gustaičio aviacijos instituto Aviacijos technologijų katedros doktorantas. Adresas: Linkmenų g. 28, LT-08217 Vilnius, tel. +370 610 06366, el. paštas: jonas.misiunas@vilniustech.lt

Jonas MISIŪNAS. Vilnius Gediminas Technical University, Antanas Gustaitis Aviation Institute, Department of Aviation Technologies, doctoral candidate. Address: Linkmenų str. 28, LT-08217 Vilnius. Phone: +370 610 06366, e-mail: jonas.misiunas@vilniustech.lt

Dainius JASAITIS. Vilniaus Gedimino technikos universiteto Antano Gustaičio aviacijos instituto Aviacijos technologijų katedros docentas. Adresas: Linkmenų g. 28, LT-08217 Vilnius, tel. +370 686 93866, el. paštas: dainius.jasaitis@vilniustech.lt

Dainius JASAITIS. Vilnius Gediminas Technical University, Antanas Gustaitis Aviation Institute, Department of Aviation Technologies, associate professor. Address: Linkmenų str. 28, LT-08217 Vilnius. Phone: +370 686 93866, e-mail: dainius.jasaitis@vilniustech.lt

ŪKIŲ DARBUOTOJUS VEIKIANČIO TRIUKŠMO IR VIBRACIJOS EKSPOZICIJOS TYRIMAS

Gabrielė Gedminaitė, Gediminas Vasiliauskas

Vytauto Didžiojo universitetas

Žemės ūkis yra viena iš pavojingiausių pramonės šakų. Šis sektorius kaip profesinė sritis nuolat vertinamas kaip trečias arba ketvirtas pagal pavojingumą Europos Sąjungoje. Daugybė tyrimų visame pasaulyje patvirtina didelę profesinių traumų ir ligų riziką žemės ūkio sektoriuje. 2022 m. oficialus statistikos portalas pateikė 2020 m. žemės ūkio surašymo rezultatus, kurių duomenimis nustatyta, kad daugiausia naudojamų ir apdirbamų žemių ūkių pagal grupes yra privačios ir nuomojamos ūkininkų ir šeimos ūkių žemės (53 ir 30 %). Daug metų Lietuvoje daugiausia profesinių ligų sukelia fizikiniai ir ergonominiai veiksniai, kurie sudaro net 97,9 % visų nustatytų profesinių ligų. Smulkiuosiuose ūkiuose tai išlieka pagrindinės profesinės ligos dėl senos technikos ir prietaisų naudojimo, apsaugos priemonių nebuvimo, darbų saugos nesilaikymo, ilgo ir nepertraukiamo darbo laiko. Tyrimo metu smulkiuosiuose ūkiuose buvo atliekamas darbuotojus veikiančio triukšmo ir vibracijos ekspozicijos vertinimas. Nustatyta, jog vasaros sezono metu kasdienio triukšmo ekspozicijos lygis gali siekti 99,7 dB(A), o žiemos sezono metu – 101,3 dB(A). Rankas veikianti vibracija vasaros sezono metu gali siekti iki 3,70 m/s², o žiemos sezono metu – 4,05 m/s². Gauti rezultatai rodo, jog tiek triukšmo, tiek vibracijos ribinės vertės yra viršijamos, kas rodo, kad darbuotoją veikiančių ekspozicijų lygiai priklauso nuo sezoniskumo, atliekamų darbų bei naudojamų mašinų, rankinių įrankių ar įrenginių.

Raktiniai žodžiai: triukšmo ekspozicija, vibracijos poveikio vertė, smulkus ūkis, darbuotojų sauga.

Išvadas

Žemės ūkis yra viena iš pavojingiausių pramonės šakų. Šis sektorius kaip profesinė sritis nuolat vertinamas kaip trečias arba ketvirtas pagal pavojingumą Europos Sąjungoje (Europos Komisija, 2015). Daugybė tyrimų visame pasaulyje patvirtina didelę profesinių traumų ir ligų riziką žemės ūkio sektoriuje. „Eurostat“ duomenimis, 2013 m. ES žemės ūkyje 100 darbuotojų teko 1,5 nemirtino sužalojimo ir 4,1 mirtino sužalojimo 100 000 darbuotojų. Tačiau šie rodikliai yra mažesni už tikrus rodiklius, nes pranešimai apie savarankiškai dirbančių darbuotojų sužalojimus darbe yra savanoriški ir 75 % darbų atlieka šeimos darbas (Jakob et al., 2021). Nagrinėjant šią pramonės šaką, svarbu išsiaiškinti, kokios didžiausios ūkių grupės vyrauja Lietuvoje. 2020 m. atliktas naudojamų žemės ūkio naudmenų skirstymas pagal nuosavybės formas ir pateikti rezultatai oficialiame statistikos portale 2022 m. Pagal pateiktus duomenis nustatyta, kad daugiausia naudojamų ir apdirbamų žemių ūkių pagal grupes yra privačios ir nuomojamos ūkininkų ir šeimos ūkių žemės (atitinkamai 53 ir 30 %) (Žemės ūkio surašymo rezultatai, 2022).

Ūkininkai, ypač dirbantys savarankiškai, dažnai neatlieka privalomų sveikatos patikrinimų (išskyrus ūkininkus, kurių veikla yra pienininkystė) ir dėl to kartais negali įvertinti savo sveikatos būklės. Pavyzdžiui 2021 m. dėl privalomų sveikatos patikrinimų Lietuvoje buvo užfiksuotas 101 pažeidimas, iš jų 12,9 % užfiksuota žemės ūkio, miškininkystės ir žuvininkystės ekonominėse veiklose (LRVDI prie Socialinės apsaugos ir darbo ministerijos, 2022). Pavyzdžiui, Danija ir Švedija turi teisės aktus, kurie tik iš dalies taikomi savarankiškai dirbantiems ūkininkams. Šiose šalyse savarankiškai dirbantys ūkininkai privalo laikytis įstatymų, susijusių su mašinomis ir pavojingomis medžiagomis. Kita vertus, sveikatos ir saugos teisės aktai daugelyje Europos Sąjungos šalių taikomi tik dirbantiems ūkio darbuotojams, o ne savarankiškai dirbantiems ūkininkams (Jakob et al., 2021).

Triukšmo poveikis žmogų daro labiau pažeidžiamą, nes sukelia stresą, susierzinimą, sutrikimą ir nuovargį ir gali sukelti laikiną ir (ar) ilgalaikį klausos praradimą (Kumar et al., 2022). Taip pat nustatyta, kad ūkiuose dirbantys traktorių operatoriai veikiami didelės viso kūno vibracijos (Servadio et al., 2007). Didelis vibracijos lygis gali sukelti diskomfortą ir padidinti sveikatos problemų, ypač nugaros skausmų, riziką, o tai ypač aktualu, kai dirbama senesne technika ar įranga (Singh et al., 2023).

Žemės ūkio darbas yra sunkus, o Suomijoje ūkininkai, ypač ūkininkės, pranešė apie mažėjančią darbingumą nuo 40 metų. Suomijoje raumenų ir kaulų sistemos ligos (44,6 % visų lygų) yra dažniausia savarankiškai dirbančių ūkininkų neįgalumo priežastis. Maždaug 80 % žemės ūkio darbuotojų tam tikru metu serga kaulų ir raumenų sistemos ligomis. Kvėpavimo takų ligos tarp žemės ūkio darbuotojų taip pat yra dvigubai dažnesnės, palyginti su kitais sektoriais. Kiti pavojai profesinei sveikatai yra triukšmo poveikis ir darbo įtampa (Jakob et al., 2021).

Ūkių savininkus, ūkio darbuotojus ir šeimos narius dažnai veikia įvairūs triukšmo šaltiniai, galintys sukelti neigiamą poveikį. Svarbu paminėti, jog ūkiuose triukšmas, kaip ir kiti rizikos veiksniai, dažnai veikia gerokai ilgesnį nei standartinį 8 valandų pamainos laiką, dėl ko galimas neigiamas poveikis tik didėja. Cecchini et al. (2024) tyrime nustatė, jog triukšmo poveikis viršijo 85 dB(A) ekspozicijos vertę 82 % tirtų atvejų. Tokie

rezultatai siejasi ir su poveikį klausai patiriančiais ūkininkais, kurių minėtame tyrime nustatyta net 20 %. Panašūs rezultatai, nustatyti Jungtinėse Amerikos Valstijose, taip pat rodo akivaizdų profesinio triukšmo poveikį žemės ūkyje. Tyrimai parodė, kad ūkininkai dažnai dirba su iki 18 skirtingų įrangos tipų, kurių kasdienis triukšmo poveikis viršija 85 dB(A), o kai kuriais atvejais – beveik 100 dB(A) (Cecchini et al., 2024).

Nustatyta, kad žemės ūkio traktoriai yra pavojingos mašinos viso kūno vibracijos požiūriu. Rizika kyla net ir tiems vairuotojams, kurie vibraciją patiria tik vieną valandą per dieną. Esama tyrimų, kuriais nustatyta, kad dėl ilgų ūkininkų darbo valandų gali būti patiriamas itin aukštas paros vibracijos ekspozicijos lygis ($7,25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$), o praktinių galimybių mažinti poveikį darbuotojams beveik nėra arba jos sunkiai realizuotinos (pavyzdžiui, darbo laiko trumpinimas). Įtakos darbuotojų patiriamai vibracijai turi ir transporto priemonių ar įrankių būklė. Pavyzdžiui, vidutinis visų transporto priemonių tarnavimo laikas yra ilgesnis nei 15 metų, o šiuo laikotarpiu ypač svarbi tinkama techninė priežiūra. Senos sėdynės taip pat yra svarbus operatorių saugą ir sveikatą įtakojantis veiksnys, dažnai neatitinkantis ergonominių reikalavimų (Cvetanovic et al., 2013). Jeigu dėl darbo pobūdžio kyla stiprus triukšmas ir labai didelė vibracija, juos būtina kuo labiau sumažinti, stebėti ir specialisto nustatytu dažnumu vertinti galimą poveikį sveikatai (Europos komisija, 2015). Dėl minėtų priežasčių šio tyrimo tikslas yra nustatyti ir išanalizuoti smulkiajame ūkyje esančius pagrindinius triukšmo ir vibracijos šaltinius bei nustatyti darbuotojus veikiančias triukšmo ekspozicijos ir vibracijos poveikio vertes.

Tyrimų metodika

Atliekamo tyrimo objektas – Tauragės apskr. Šilalės r. sav. Laukuvos sen. Dargių kaimas, smulkusis ūkis. Ūkio vykdoma veikla – gyvulininkystė (~ 40 vnt. mėšinių galvijų auginimas), dirbamas žemės plotas – 38 ha. Pasirinktas tirti smulkusis ūkis, nes tokiuose ūkiuose dažnai naudojama senesnė technika ir įrenginiai. Tyrimas buvo atliekamas 2024 m., išmatuotas skirtingų operacijų metu įrenginių skleidžiamas triukšmo lygis, taip pat vibracijos pagreičiai bei apskaičiuota triukšmo 8 valandų triukšmo ekspozicija ir vibracijos veikimo vertės.

Tyrimo metu, naudojant „Bruel&Kjaer 2270“ garso slėgio matuoklį, išmatuota darbuotoją veikiantis triukšmo lygis: ekvivalentinis nuolatinis A svertinis garso slėgio lygis operacijos metu $L_{A,eq}$, didžiausias akimirkinis garso slėgio lygis operacijoje $L_{c,peak}$, kaip numato ES direktyva 2003/10/EC. Iš gautų duomenų apskaičiuota kasdienio veikiančio triukšmo (ekspozicijos) lygio vertė operacijose $L_{ex,8h}$. Kasdienis triukšmo ekspozicijos lygis apskaičiuotas pagal 1 formulę:

$$L_{EX,8h} = 10 \lg \left[\frac{1}{T_n} \sum_{i=1}^n t_i \cdot 10^{0,1L_{Aeq,i}} \right], \quad (1)$$

čia T_n – tipinė 8 valandų darbo pamainos trukmė;

L_{Aeq,t_i} – ekvivalentinio nuolatinio A svertinio garso slėgio lygio vertė per laikotarpį t_i , kurio metu matuotas (nustatytas) veikiantis žmogų triukšmas;

i – laikotarpių kiekis. Laikotarpių t_i bendroji trukmė lygi T_e , tačiau neviršija T_0 .

Tyrimo metu buvo atlikti įvairių įrenginių skleidžiami triukšmo lygiai. Šie įrenginiai (įrankiai, darbai) buvo suskirstyti į 3 kategorijas: 1) prietaisai (kampinis šlifluoklis, darbai kūju, skersavimo staklės ir perforatorius), 2) technika (traktoriai ir mini krautuvas) ir 3) kiti prietaisai (grūdų traiškytuvas ir melžimo aparatas). Triukšmo matavimai buvo atliekami pagal LST ISO 1999, ekspozicijos nustatymas pagal LST ISO 9612 standartų, o ribinės vertės pagal direktyvos 2003/10/EC reikalavimus.

Atliekant rankas ir visą kūną veikiančios vibracijos pagreičius buvo naudojamas žmogaus kūno vibracijos analizatorius „Bruel&Kjaer 4447“. Matuojant rankas veikiančią vibraciją buvo matuojamos vibracijos pagreičio vertės atitinkamai x , y , z vibracijos veikimo ašyse, o iš šių duomenų nustatyta suminė vibracijos pagreičio vertė a_{hv} , apskaičiuota pagal 2 formulę:

$$a_{hv} = \sqrt{a_{hwx}^2 + a_{hwy}^2 + a_{hwz}^2}, \quad (2)$$

čia a_{hv} – bendra vibracijos vertė, sudaryta iš trijų a_{hw} verčių x , y ir z ašyse, $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Kiekvienas atliekamas darbas, kurio metu darbuotojas patiria dalinį vibracijos poveikį $A(8)$, apskaičiuojamas pagal 3 formulę:

$$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}}, \quad (3)$$

čia a_{hv} – išmatuotas vibracijos pagreitis, $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$;

T – vibracijos dydžio a_{hv} kasdienio poveikio trukmė, val.;

T_0 – standartinė 8 darbo valandų trukmė, val.

Kadangi dieną dažnai veikia daugiau kaip vienas vibracijos šaltinis, bendra kasdienio vibracijos poveikio vertė apskaičiuojama pagal 4 formulę:

$$A(8) = \sqrt{A_1(8)^2 + A_2(8)^2 + \dots + A_n(8)^2}, \quad (4)$$

čia $A_1(8)$, $A_2(8)$, $A_n(8)$ ir kt. – dalinio vibracijos poveikio vertės skirtingiems vibracijos šaltiniams, $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Rankas veikianti vibracija išmatuoti šaltiniai: kampinis šlifuoklis, traktorius, skersavimo staklės ir perforatorius. Vibracijos matavimai buvo atliekami pagal ISO 2631-1 standarto reikalavimus. Visą kūną veikianti vibracija buvo matuojama traktoriaus ir grūdų traiškytuvo darbo operacijos metu. Pagal vibracijos analizatoriaus išmatuotus duomenis apskaičiuotos dalinio, kasdienio veikimo $A(8)$ ir vibracijos dozės vertės VDV .

Iš visų gautų dalinių vibracijos poveikių trimis x, y ir z kryptimis sudaroma bendra kasdienės vibracijos vertė skirtingoje ašyje. Bendrai vertei kiekvienoje ašyje apskaičiuoti naudojama 4 formulė. Vibracijos matavimai buvo atliekami pagal LST EN ISO 5349-1:2002 standarto, o ribinės vertės pagal ES direktyvos 2002/44/EB reikalavimus.

Rezultatai ir aptarimas

Atlikus triukšmo lygio matavimus, pagal gautus duomenis apskaičiuotas vasaros ir žiemos sezono metu darbuotojo patiriamas kasdienio triukšmo (ekspozicijos) lygis per pamainos trukmę. Gauti rezultatai pateikiami 1 lentelėje.

1 lentelė. Vasaros ir žiemos sezono metu darbuotoją veikiantis garso slėgio lygis

Table 1. The sound pressure level to which a worker is exposed during summer and winter seasons

Operacija / įrenginys / mašina <i>Operation/equipment/machinery</i>	$L_{A,eq}$, dBA	$L_{c,peak}$, dBC	$L_{ex*,8h}$ vasaros sezono metu <i>In the summer season</i>	$L_{ex*,8h}$ žiemos sezono metu <i>In the winter season</i>
Kampinis šlifuoklis <i>Angle grinder</i>	99,3	114,6	87,3 (30 min.)	88,5 (40 min.)
Kalvio / remonto darbai <i>Smithery/repair works</i>	108,2	134,6	96,2 (30 min.)	99,2 (60 min.)
Skersavimo staklės <i>Cross-cutting machines</i>	91,3	107,9	79,2 (30 min.)	79,2 (30 min.)
Perforatorius <i>Perforator</i>	95,8	113,5	83,8 (30 min.)	83,8 (30 min.)
Mini krautuvai, kabina <i>Mini loader, environment</i>	80,7	107,9	69,9 (40 min.)	68,6 (30 min.)
Traktorius, kabina <i>Tractor, cab</i>	85,9	105,7	82,9 (240 min.)	78,6 (90 min.)
Traktorius, aplinka <i>Tractor, environment</i>	78,2	112,9	64,4 (20 min.)	–
Mini krautuvai, aplinka <i>Mini loader</i>	80,1	102,2	63,3 (10 min.)	–
Grūdų traiškytuvas <i>Grain crusher</i>	100,2	117,8	95,9 (180 min.)	95,9 (180 min.)
Melžimo aparatas <i>The milking machine</i>	86,8	107,1	79,6 (90 min.)	79,6 (90 min.)
Bendroji ekspozicijos vertė: <i>Total exposure value $L_{EX,8h}$:</i>			99,7	101,3

Pagal 1 lentelėje pateiktus duomenis matyti, jog didžiausias nustatytas triukšmo šaltinis smulkiame ūkyje yra kalvio / remonto darbų metu, taip pat nuo triukšmingo grūdų traiškytuvo, kai nustatyti ekvivalentiniai triukšmo lygiai atitinkamai siekė 108,2 dB(A) ir 100,2 dB(A). Šių darbų metu nustatytas ir didžiausias akimirkinis garso slėgio lygis dėl impulsinės šių darbų ir procesų prigimtės (atitinkamai 134,6 dB(A) ir 117,8 dB(C)). Kadangi skirtingi 1 lentelėje pateikti darbai / įrenginiai naudojami skirtingą laiką, bendroji ekspozicijos vertė, nustatyta vasaros laikotarpiu, gali siekti 99,7 dB(A), kuris ženkliai viršija nustatytą ribinę 87 dB(A) triukšmo ekspozicijos vertę. Pažymėtina tai, jog vasaros laikotarpiu ekspozicija yra mažesnė, nes darbo pamainos metu atliekami mažiau triukšmingi darbai. Žiemos laikotarpiu pamainos trukmė paprastai trumpesnė, t. y. 8 val., tačiau ekspozicijos vertė gauta didesnė, bet nežymiai (101,3 dB(A)). Kadangi didžiausios įtakos darbuotojų patiriamai triukšmo dozei turi triukšmingiausi darbai, dirbant bent jau triukšmingiausius darbus būtų rekomenduojama dėvėti ausines. Pavyzdžiui, darbuotojui naudojant ausines remonto darbų metu ir dirbant prie grūdų traiškytuvo, triukšmo ekspozicijos vertę galima būtų lengvai sumažinti iki 85 ir 87 dB(A), naudojant net paprasčiausias ausines, kurių SNR rodiklis yra 27 dB(A). Rezultatai

panašūs į Butkaus et al. (2015) gautus rezultatus, kur taip pat buvo nustatyta, kad net 46 % žemės ūkio ir miškininkystės sektoriuje traktorių ir žemės ūkio mašinų operatoriai patiria viršnorminį triukšmo lygį, kuri viršija 87 dB(A) ekspozicijos ribinę vertę. Tai rodo, kad klausos praradimas žemės ūkyje yra tikėtinas ir gali būti vertinamas kaip „labai rizikingas“ arba „potencialiai rizikingas“ (Butkus et al., 2015).

Tyrimo metu taip pat buvo matuojamos ir skaičiuojamos darbuotojo rankas veikiančios vibracijos veikimo vertės aštuonių valandų darbo laiko trukmei A(8). Pagal 2 lentelėje pateikiamus matavimų duomenis matyti, kad didžiausia rankas veikianti vibracija patiriama atliekant darbo operacijas su kampiniu šlifuoekliu ir perforatoriumi. Pagal gautas vertes apskaičiuojama vasaros ir žiemos (žr. 2 lentelę) sezono metu darbuotoją veikianti bendroji vibracijos vertė, dalinis ir kasdienis vibracijos poveikis.

2 lentelė. Vasaros ir žiemos sezono metu darbuotojo rankas veikiančių vibracijų vertės

Table 2. Values of vibrations to workers' hands during the summer and winter seasons

Operacija Operation	Bendra vibracijos vertė a_{hv} , $m s^{-2}$ Total vibration value a_{hv} , $m s^{-2}$	Dalinis vibracijos poveikis, atliekant darbus A(8), $m s^{-2}$ Partial vibration exposure during work A(8), $m s^{-2}$		Kasdienis vibracijos poveikis A(8), $m s^{-2}$ Daily vibration exposure A(8), $m s^{-2}$	
		Vasara Summer	Žiema Winter	Vasara Summer	Žiema Winter
Kampinis šlifuoeklis Angle grinder	12,24	3,06	3,54	3,70	4,05
Traktorius Tractor	1,22	0,86	0,53		
Skersavimo staklės Cross-cutting machines	1,01	0,25	0,25		
Perforatorius Perforator	7,52	1,88	1,88		

Pagal gautus duomenis matyti, kad didžioji bendrosios vibracijos vertė gaunama dirbant su rankiniais įrankiais (atitinkamai 12,24 $m s^{-2}$ šlifuoeklis ir 7,52 $m s^{-2}$ perforatorius). Kasdienio veikimo vasaros sezono darbo procese aštuonių valandų darbo trukmei nustatyta 3,70 $m s^{-2}$, o žiemos sezono metu 4,05 $m s^{-2}$, kurios viršija vibracijos veikimo ribinę vertę (t. y. 2,5 $m s^{-2}$), tačiau neviršija 5 $m s^{-2}$ poveikio ribinės vertės.

Visą kūną veikianti vibracija buvo matuojama eksploatuojant traktorių ir dirbant prie grūdų traiškytuvo. Pagal vibracijos analizatoriaus išmatuotus duomenis apskaičiuotos dalinės, kasdienio veikimo ir vibracijos dozės vertės (VDV) vasaros ir žiemos darbo sezono metu (žr. 3 lentelę).

3 lentelė. Vasaros ir žiemos sezono metu darbuotojo visą kūną veikiančių vibracijų vertės

Table 3. Values of the vibrations that affect the worker's whole body during the summer and winter seasons

Operacija Operation	Operacijos dalinis kasdienis poveikis A(8), m·s ⁻² <i>Operation partial daily exposure A(8), m·s⁻²</i>			Kasdienis vibracijos poveikis kiekvienai ašiai A(8), m·s ⁻² <i>The daily exposure to vibration for every axis A(8), m·s⁻²</i>			Kasdienis vibracijos poveikis A(8), m·s ⁻² <i>Daily vibration exposure A(8), m·s⁻²</i>	Veikiančios vibracijos dozė VDV, m·s ^{-1,75} <i>Vibration dose rate VDV, m·s^{-1,75}</i>
	A _x (8)	A _y (8)	A _z (8)	A _x (8)	A _y (8)	A _z (8)	A (8)	VDV
	Vasara Summer							
Traktorius Tractor	0,51	0,38	0,50	0,55	0,39	0,50	0,84	3,23
Grūdų traiškytuvas Grain crusher	0,21	0,06	0,04					
	Žiema Winter							
Traktorius Tractor	0,31	0,23	0,31	0,38	0,24	0,31	0,54	2,14
Grūdų traiškytuvas Grain crusher	0,21	0,06	0,04					

Pagal gautus duomenis matyti, kad kasdienio veikimo vertė darbo procese paskaičiuota aštuonių valandų darbo laiko trukmei vasarą sudaro $0,84 \text{ m/s}^2$, o žiemą $0,54 \text{ m/s}^2$. Nustatytos veikimo vertės viršija leistiną poveikio vertę (t. y. $0,5 \text{ m/s}^2$) ir vasaros laikotarpiu yra ženkliai didesnės nei vasaros laikotarpiu. Kadangi analizuotos operacijos nepasižymi smūgine prigimtimi, veikiančios vibracijos dozės vertės neviršija nustatytos leistinos vertės (t. y. $9,1 \text{ m/s}^{1,75}$).

Panašius viso kūno ir rankas veikiančios vibracijos lygius ir ekspozicijos vertes nustatė ir Thaper et al. (2023), kur rankas veikianti vibracijos vertė pneumatinių smūginių veržliarakčių buvo didžiausia – $8,9 \text{ m/s}^2$, grandinių pjūklų ir šlifuoklių $> 5 \text{ m/s}^2$, o kalvio darbo metu $> 8 \text{ m/s}^2$. Nustatytos 8 valandų poveikio vertės veikiant viso kūno vibracijai siekė atitinkamai $0,21\text{--}0,97 \text{ m/s}^2$, o rankas veikiančios vibracijos – $1,19\text{--}4,4 \text{ m/s}^2$ (Thaper et al., 2023).

Išvados

1. Nustatyta, kad ūkių darbuotoją veikianti 8 valandų triukšmo ekspozicija vasaros sezono metu gali siekti $99,7 \text{ dB(A)}$, o žiemos sezono metu – $101,3 \text{ dB(A)}$. Siekiant mažinti triukšmo poveikį bent jau triukšmingiausiems darbams rekomenduojama naudoti ausines, kurių dėvėjimas triukšmo ekspozicijos vertę padėtų sumažinti iki žemesnės nei viršutinės ar ribinės poveikio verčių.
2. Gauti rezultatai rodo, kad tiek vasaros, tiek žiemos sezonų metu žemės ūkio darbuotojų rankas veikianti vibracija viršija nustatytą 8 valandų vibracijos veikimo vertę, o pagreičio vertės per 8 valandų pamainos trukmę gali siekti $3,70\text{--}4,05 \text{ m/s}^2$.
3. Gauti kasdienio visą kūną veikiančios vibracijos vertinimo rezultatai rodo, jog visą kūną veikiančios vibracijos ribinė $1,15 \text{ m/s}^2$ ribinė vertė nėra viršijama nei žiemos, nei vasaros laikotarpiais, tačiau, kaip ir rankas veikiančios vibracijos atveju, viršija 8 valandų vibracijos veikimo vertę $0,5 \text{ m/s}^2$ ir gali siekti $0,54 \text{ m/s}^2$ žiemos ir $0,84 \text{ m/s}^2$ vertę vasaros laikotarpiu.

Literatūra

1. Butkus, R., Šarlauskas, A., & Vasiliauskas, G. (2015). Prognostication of noise exposure risk on workers' safety and health in Lithuania. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 23(2), 155–162.
2. Cecchini, M., Assettati, L., Rossi, P., Monarca, D., & Riccioni, S. (2024). Noise exposure, prevention, and control in Agriculture and forestry: A scoping review. *Safety*, 10(1), 15.
3. Cvetanovic, B., & Zlatkovic, D. (2013). Evaluation of whole-body vibration risk in agricultural tractor drivers. *Bulgarian journal of agricultural science*, 19(5), 1155–1160.
4. Europos komisija. (2015). *Darbuotojų sveikatos apsaugos ir saugos užtikrinimas žemės ūkio, gyvulininkystės, sodininkystės, daržininkystės ir miškininkystės srityse*. Liuksemburgas: Europos Sąjungos leidinių biuras. <https://www.vdi.lt/AtmUploads/ukis.pdf>
5. Jakob, M. C., Santa, D., Holte, K. A., Sikkeland, I. J., Hilt, B., & Lundqvist, P. (2021). *Occupational health and safety in agriculture—a brief report on organization, legislation and support in selected European countries*.
6. Kumar, N., & Tewari, V. K. (2022). Development of combined resistance muffler for reduced noise of farm tractor. *Materials Today: Proceedings*, 66, 3756–3761.
7. *LRVDI prie socialinės apsaugos ir darbo ministerijos*. (2022). https://www.vdi.lt/PdfUploads/DSS_tendencijos_2018_2022.pdf
8. *LRVDI prie socialinės apsaugos ir darbo ministerijos*. (2023). https://vdi.lrv.lt/public/canonical/1721981530/1555/DSS_Bukle_2023.pdf
9. Servadio, P., Marsili, A., & Belfiore, N. P. (2007). Analysis of driving seat vibrations in high forward speed tractors. *Biosystems engineering*, 97(2), 171–180.
10. Singh, A., Samuel, S., Dhahi, Y. K., & Singh, H. (2023). Whole-body vibration: Characterization of seat-to-head transmissibility for agricultural tractor drivers during loader operation. *Smart Agricultural Technology*, 4, 100164.
11. Thaper, R., Sesek, R., Garnett, R., Acosta-Sojo, Y., & Purdy, G. T. (2023). The combined impact of hand-arm vibration and noise exposure on hearing sensitivity of agricultural/forestry workers – a systematic literature review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(5), 4276.
12. Žemės ūkio surašymo rezultatai 2020 m. (2022). *Oficialus statistikos portalas*, 2022 m. leidimas. <https://osp.stat.gov.lt/zus2020-rezultatai/zemes-ukio-surasymo-pagrindiniai-rezultatai-estijoje-latvijoje-ir-lietuvoje>; <https://osp.stat.gov.lt/zus2020-rezultatai/darbas-zemes-ukyje>

Gabrielė Gedminaitė, Gediminas Vasiliauskas

Study on Noise and Vibration Exposure of Farm Workers

Agriculture is one of the most dangerous industries. As an occupational field, it is consistently ranked as the third or fourth most dangerous sector in the European Union. Numerous studies around the world confirm the high risk of occupational injuries and diseases in the agricultural sector. In 2022, the official statistics portal provided the results of the 2020 agricultural census, which showed that the largest share of land holdings in use and cultivation, by group, is private and rented land owned by farmers and family farms (53% and 30% respectively). For several years, physical and ergonomic factors have been the main causes of occupational diseases in Lithuania, accounting for 97.9% of all occupational diseases diagnosed. In small farms, these remain as the main occupational diseases due to the use of old machinery and appliances, the absence of protective equipment, non-observance of occupational safety, and long and uninterrupted working hours. It has been estimated that daily noise exposure levels can reach 99.7 dB(A) in the summer season and 101.3 dB(A) in the winter season. Hand vibration can reach up to 3.70 m/s² in the summer season and 4.05 m/s² in the winter season. Obtained results show that both the noise and vibration limit values are exceeded, which indicates that the levels of exposure to the worker depend on the seasonality of the work performed and, on the machinery, hand tools or equipment operated.

Keywords: Exposure to noise and vibration, small farming, occupational safety.

Gauta 2025 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2025 m. balandžio mėn.

Gabrielė GEDMINAITĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedros docentė. Adresas: Studentų g. 15a, LT-53362 Akademija, Kauno r., tel. +370 650 89528, el. paštas: gabriele.gedminaite@vdu.lt

Gabrielė GEDMINAITĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, assoc. prof. Address: Studentų str. 15a, LT-53362 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 650 89528, el. paštas: gabriele.gedminaite@vdu.lt

Gediminas VASILIAUSKAS. Vytauto Didžiojo universiteto, Žemės ūkio akademijos, Inžinerijos fakulteto, Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedros lektorius. Adresas: Studentų g. 15a, LT-53362 Akademija, Kauno r., tel. +370 689 77015, el. paštas: gediminas.vasiliauskas@vdu.lt

Gediminas VASILIAUSKAS. Vytautas Magnus University, Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, lecturer. Address: Studentu str. 15a, LT-53362 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 689 77015, e-mail: gediminas.vasiliauskas@vdu.lt

SAUGOS KULTŪROS IR PROFESINĖS RIZIKOS VALDYMO SMULKIUOSE ŪKIUOSE TYRIMAS

Gražina Kasputienė, Gediminas Vasiliauskas

Vytauto Didžiojo universitetas

„Eurostat“ duomenimis, Europos Sąjungoje (ES) žemės ūkis yra viena iš kenksmingiausių ir pavojingiausių ekonominės veiklos rūšių, o statistiniai duomenys rodo, jog žemės ūkyje iš viso fiksuojama net 11,6 % mirtinų nelaimingų atsitikimų, nors žemės ūkio šakoje dirba tik ~ 4,2 proc. visų dirbančiųjų. Tai rodo, jog šių atsitikimų dažnumas yra beveik 2,5 karto didesnis nei vidutiniškai kitose ekonominės veiklos rūšyse (EVR). Šios darbuotojų saugos problemos ypač aktualios mažuose ūkiuose, kur rizikos vertinimas, darbuotojų saugos ir sveikatos (DSS) kontrolė ypač komplikuoja. Lietuvoje 2024 m. sausio 1 d. duomenimis, vidutinis ūkio dydis buvo 15,45 ha, o tai reiškia, jog vyrauja labai maži arba maži šeimos ūkiai, kuriuose nėra samdomų darbuotojų, dirba tik patys ūkininkai arba jų šeimos nariai. Tokiu būdu ūkininkaujantiems nėra privalomų darbuotojų saugos ir sveikatos (DSS) reikalavimų, taip pat labai trūksta informacijos apie tokiuose ūkiuose esančias darbo sąlygas, rizikos veiksnius, ūkininkaujančiųjų požiūrį į sveikatą ir saugą. Tai ne tik Lietuvos, bet ir visos ES problema, kai neturima duomenų apie ūkių saugą ir sveikatą bei saugos kultūrą, o šiuo požiūriu žemės ūkis smarkiai išsiskiria iš kitų ekonominės veiklos rūšių. Šiame tyrime buvo renkama informacija apie ūkių saugos ir sveikatos kultūrą remiantis klausimynais, sudarytais sujungiant Šiaurės šalių darbuotojų saugos ir sveikatos klimato įvertinimo (NOSACQ) bei OiRa klausimynus. Tyrime savo nuomonę pareiškė 60 respondentų, daugiausia atstovaujančius smulkiesiems ir šeimos ūkiams. Duomenų analizei taikytas NOSACQ-50 metodas, pagal kurį apskaičiuotas saugos kultūros ūkiuose balas. Gauti rezultatai rodo, saugos kultūros lygis tiriamoje imtyje Lietuvoje nustatytas 2,5 balo, o lyginant su NOSACQ-50 rekomendacijomis, yra mažesnis nei 2,7 balo, kas rodo žemą saugos sveikatos kultūros lygį ir didelį poreikį tobulėti.

Raktiniai žodžiai: darbuotojų saugos ir sveikatos kultūra, profesinės rizikos vertinimas ūkiuose, smulkus ūkis, šeimos ūkis, NOSACQ-50 metodas.

Įvadas

Remiantis tyrimų duomenimis (Rautiainen et al., 2008), beveik pusė pasaulio darbo jėgos dirba žemės ūkyje, o ES šis skaičius ženkliai mažesnis. Iš viso ES žemės ūkio sektoriuje dirba ~ 8,8 mln. darbuotojų arba ~ 4,2 % visų ES dirbančiųjų (Eurostat..., 2025). Valstybės duomenų agentūros duomenimis, 2023 m. Lietuvos Respublikoje veiklą vykdė ~ 372 000 ūkio subjektų, iš jų ~ 88 000 – ūkininkų ūkių, užregistruotų Ūkininkų ūkių registre, ir individualiai (savarankiškai) dirbančių (~162 000 fizinių asmenų) (VDI..., 2023). Kadangi žemės ūkio EVR yra daug savarankiškai dirbančių, darbai atliekami privačiuose ūkiuose dirbant tik pačiam ūkininkui ar jų šeimos nariams, tokių ūkių DSS kontrolė yra komplikuoja. Kadangi tokiu būdu ūkininkaujantiems nėra privalomų DSS reikalavimų, sunku analizuoti objektyvią informaciją apie nelaimingus atsitikimus, profesines ligas ir pan., nes labai trūksta informacijos apie tokiuose ūkiuose esančias darbo sąlygas, rizikos veiksnius, ūkininkaujančiųjų požiūrį į saugą ir sveikatą ir pan. (VĮ Žemės ūkio..., 2023).

2021 m. ES iš viso fiksuoti 3 347 mirtini nelaimingi atsitikimai darbe (Eurostat..., 2025). Nelaimingų atsitikimų skaičiumi ES pagal ekonomines veiklas žemės ūkio, miškininkystės ir žuvininkystės EVR užima ketvirtą vietą tarp visų EVR. Šioje EVR fiksuota 11,6 proc. mirtinų ir 4,3 proc. nemirtinų nelaimingų atsitikimų.

Mirtinų ir sunkių NA darbe pasiskirstymas pagal EVR 2023 m. žemės ūkyje buvo toks, jog 31,4 proc. visų nelaimingų atsitikimų buvo mirtini, 47,1 proc. – sunkūs, o likusi dalis – lengvi (VDI..., 2024). Analizuojant atskirų ES šalių statistinius duomenis taip pat paminėtina, jog įvairiose šalyse skiriasi terminų apibrėžtys, nelaimingų atsitikimų klasifikavimo, pranešimo apie nelaimingus atsitikimus tvarka, todėl sudėtinga lyginti statistinius duomenis. Tą atskleidžia ir tyrimas, kuriame analizuojamos nelaimingų atsitikimų tendencijos ES šalyse (SafeHabitat..., 2024). Dėl šios priežasties ypač svarbios įvairios politikos formavimo iniciatyvos ES mastu, kad formuojantys sprendimus ir teisę suprastų ūkių DSS ir saugos kultūros problematiką.

Pagrindinis iššūkis skaičiuojant ir fiksuojant tikslus nelaimingus atvejus žemės ūkio sektoriuje yra patikimų duomenų apie sezoninius darbuotojus, šeimos narius, laisvai samdomus ar nelegalius darbuotojus neturėjimas. Dėl šių priežasčių įvairios iniciatyvos, skirtos gerinti ūkių darbuotojų sveikatą ir saugą, supratimą apie kylančias rizikas, yra labai svarbios ir apima kelis pagrindinius aspektus: 1) švietimą, 2) inžinerines priemones ir 3) šių priemonių įgyvendinimą (Murphy, 1992). Visi šie aspektai dažnai analizuojami įvairiuose tyrimuose, kuriuose dažnai analizuojamas atskirų darbų pavojingumas (Kazlauskienė ir Mioldažys, 2024), specifiniai sužeidimai ar sveikatos pakenkimai (Hong et al., 2020), taip pat ūkininkų požiūris į saugą ir sveikatą, esančias rizikas (Irwin, Poots, 2015).

Panašiai, siekiant nustatyti DSS būklę ūkiuose, įvertinti esamas priemones ir jų efektyvumą bei palyginti DSS valdymo klausimus (saugos kultūros lygį) su kitų šalių duomenimis, naudojamas Šiaurės šalių saugos

klimato klausimynas (NOSACQ-50). Jis naudojamas įvairiems veiklos sektoriams, tarp jų ir žemės ūkio. Šio klausimyno esmė ta, jog jis paremtas organizacine ir saugos klimato teorija, psichologine teorija, ankstesniais empiriniais tyrimais, empiriniais rezultatais, gautais atliekant tarptautinius tyrimus, ir nuolatinio tobulėjimo procesu. (Nacionalinis..., 2025). Žemės ūkio EVR šios priemonės taikymo atvejų nėra daug, išskyrus Fagnoli ir Lombardi (2020) Italijos žemės ūkyje atliktą tyrimą, kurio metu nustatyta, jog siekiant gerinti suvokimą apie darbuotojų saugą ir sveikatą žemės ūkyje būtinos tiek priemonės ūkių lygmenyje (mokymai, kampanijos ir pan.), tiek norminių teisės aktų lygmenyje (minimalūs saugos ir sveikatos reikalavimai, įpareigojimai ar pan.).

Šio tyrimo tikslas yra surinkti informaciją apie Lietuvos žemės ūkyje dirbančių asmenų saugos ir sveikatos situaciją bei saugos ir sveikatos kultūros lygį remiantis NOSACQ-50 metodu ir palyginti gautus duomenis su kitų šalių duomenimis, įvertinti Lietuvos ūkiuose esantį saugos kultūros lygį.

Tyrimų metodika

Tyrimų duomenims surinkti buvo sudarytas klausimynas, remiantis Šiaurės šalių saugos klimato klausimynu NOSACQ-50 ir interaktyvia profesinės rizikos vertinimo priemone OiRA. Kadangi vien NOSACQ-50 priemonė nėra pakankama siekiant įvertinti darbuotojus veikiančias rizikas, o labiau koncentruota į saugos kultūrą, sujungiant šiose priemonėse esančius klausimus buvo surinkta dominanti informacija apie ūkiuose esančius rizikos veiksnus bei dirbančiųjų žemės ūkyje saugos ir sveikatos kultūrą.

NOSACQ-50 patikimumas ir pagrįstumas buvo išbandyti įvairiuose tyrimuose įvairiuose kontekstuose, patvirtinantis jo, kaip diagnostinės priemonės, veiksmingumą tiriant saugos klimatą organizacijose (Lagerstrom et al., 2019). Anketą sudaro 50 teiginių, kurie padeda įvertinti septynias dimensijas. Jos gali būti naudojamos visos ar atskirai. Šiame tyrime NOSACQ-50 klausimyno bei OiRA priemonių klausimai buvo atrinkti ir adaptuoti taip, jog apimtų aktualiausius klausimus saugos srityje labiausiai koncentruojantis į smulkius šeimos ūkius. Sudarytos apklauso anketos (iš viso 27 klausimai) buvo suskirstyti pagal keturias NOSACQ-50 dimensijas. Išsamiau kiekvieno dimensijos teiginių apibendrinimas pateikiamas taip: **dim4** – darbuotojų saugos įsipareigojimas: teiginiai, nurodantys, kaip darbuotojai suvokia savo įsipareigojimus saugos aspektu; **dim5** – darbuotojų saugos prioritetai ir rizikos suvokimas: teiginiai, nurodantys darbuotojų požiūrį į riziką ir saugos prioritetus atliekant darbo užduotis; **dim6** – saugaus bendravimo, mokymosi ir pasitikėjimo bendradarbiais saugos kompetencijos: teiginiai, tiriantys, kaip darbuotojai suvokia tarpusavio keitimąsi žiniomis ir patirtimi, susijusia su DSS; **dim7** – pasitikėjimas saugą užtikrinančių sistemų veiksmingumu: teiginiai, skirti analizuoti, kaip darbuotojai suvokia naudą, gaunamą iš saugos planavimo, mokymo, stebėjimo ir kt.

Tyrimo rezultatai skaičiuojami vadovaujantis tipinėmis NOSACQ-50 procedūromis, taip pat į visus klausimyno punktus atsakoma vienodai (Licherto skalė ribose nuo 1 iki 4), tačiau jie turi būti vertinami priklausomai nuo klausimo formuluočių. Gauti anketose įvairių rodiklių įverčiai pasinaudojant Šiaurės šalių saugos klimato priemone (NOSACQ-50) buvo įvesti į skaičiuoklę, apskaičiuoti rizikos suvokimo balai. Šių balų skaičiavimas buvo skaičiuojamas kaip atskirų klausimų, priskiriamų atskiroms anksčiau minėtoms dimensijoms, vidurkių vidurkiai. Vertinant saugos kultūros lygį rezultatai buvo interpretuojami taip: daugiau nei 3,30 balo (iš 4 galimų) rodo gerą saugos kultūros lygį, leidžiantį toliau tobulėti. Nuo 3,00 iki 3,30 balo rodo gana gerą lygį, kurį reikia šiek tiek pagerinti. Nuo 2,70 iki 2,99 balo rodo gana žemą lygį, kurį reikia tobulinti. Mažesnis nei 2,70 balo rodo žemą lygį ir didelį poreikį tobulėti.

Anketinės apklausos rezultatuose pateikiami iš viso 60 surinktų anketų rezultatai. Prašymai užpildyti anketas buvo platinami 2024 m. spalio–lapkričio mėnesiais socialiniuose tinkluose, uždaroje su žemės ūkiu susijusiose teminėse grupėse bei kitais interneto kanalais. Anketų duomenims surinkti buvo naudojamas elektroninis klausimynas („Microsoft Forms“). Anketinę apklausą sudarė iš viso 27 klausimai, kurie buvo suskirstyti į keletą grupių, kaip nurodyta 1 lentelėje.

Tyrime dalyvavusių respondentų pasiskirstymas buvo toks: 7 proc. 18–25 metų kategorijoje, 22 proc. 26–35 metų kategorijoje, 33 proc. – 36–45 metų kategorijoje, 24 proc. 46–55 metų kategorijoje ir 13 proc. > 55 metų kategorijoje. 80 proc. dalyvių buvo vyrai, likusi dalis moterys. 63 proc. apklaustųjų buvo dirbantieji savo ūkyje kartu su šeimos nariais, 19 proc. dirbo patys ir samdė darbuotojus, 11 proc. – dirbo tik patys, 6 proc. – dirbo patys, taip pat šeimos nariai ir samdomi darbuotojai, 2 proc. – dirbo tik samdomi darbuotojai. Apklausoje dalyvavo 47 proc. augalininkystės ūkių, 29 proc. mišrūs ūkių, 19 proc. gyvulininkystės ūkių, 5 proc. ekologinių ūkių.

1 lentelė. Apibendrinti anketinėje apklausoje respondentams pateikti klausimai ir klausimų kategorijos**Table 1.** Question categories and generalized questions and for respondents used in the survey

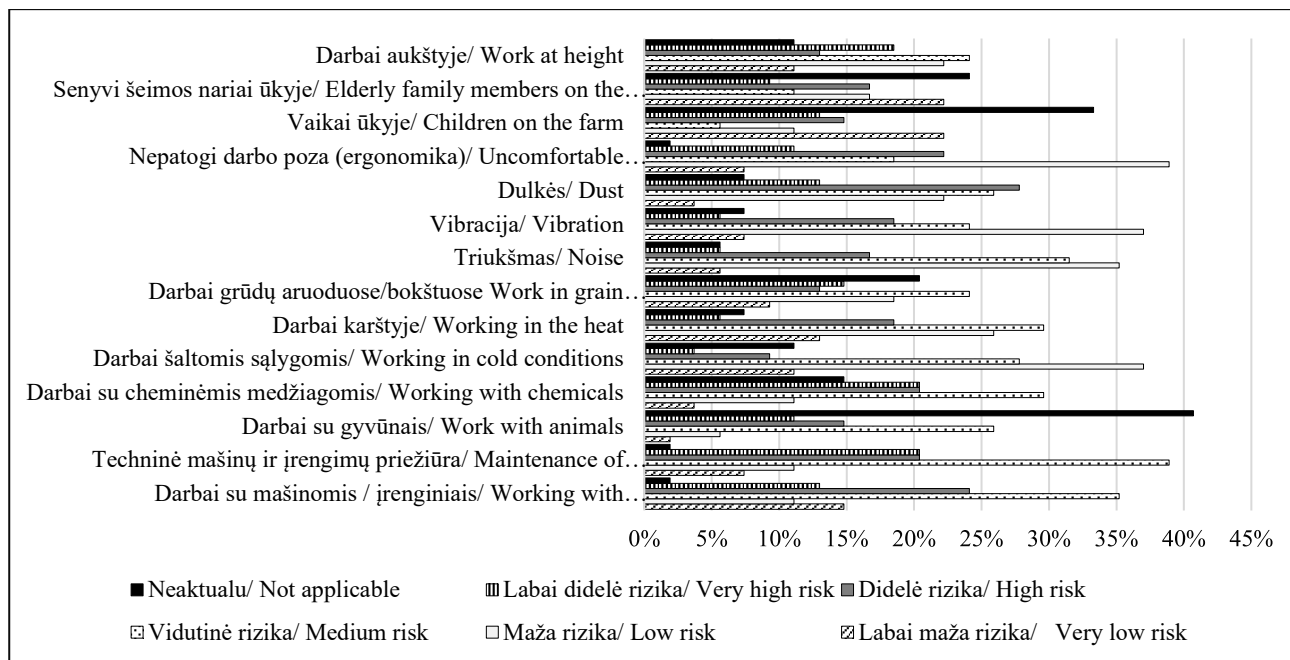
Klausimų kategorija <i>Question category</i>	Apibendrinti klausimai <i>Generalized questions</i>
Bendroji dalis <i>General questions</i>	Respondentų lytis; amžius; ūkio tipas; darbo statusas (įdarbintas, dirbantis sau, dirbantis kartu su šeimos nariais, dirbantis su samdomais darbuotojais) <i>Respondent gender; age; farm type; work status (employed, self-employed, working with family members, working with employees)</i>
Klausimai apie saugos valdymą ir rizikos vertinimą <i>Safety management and risk assesment issues</i>	Kaip dažnai patyrėte nors ir lengvų sužalojimų / traumų dirbdami žemės ūkio darbus; kokie sužalojimų sunkumai; kaip reaguoja į sužalojimus, kokių veiksmų imasi <i>How often have you suffered even minor injuries in agricultural work; what is the severity of the injuries; how do you react to injuries; what action do you take</i>
Darbo aplinka, įranga ir priemonės <i>Work environment, tools and equipment</i>	Ar susipažįsta su įrangos / įrenginių naudojimo instrukcijoms, ar perskaito saugos naudojimo instrukcijas prieš darbą su augalų apsaugos priemonėmis ir / ar cheminėmis medžiagomis, kuriuos rizikos veiksnius ūkyje įvertina kaip pavojingiausius; kurias AAP priemones naudoja <i>If familiarizes themselves with the instructions for the safe use of the equipment or pesticides and/or other chemical substances, which risk factors on the farm are assessed to be the most dangerous/hazardous; which PPE is used.</i>
Įsipareigojimas užtikrinti saugą, pasitikėjimas saugos sistemų veikimu <i>Commitment to safety, confidence in safety systems</i>	Ar prisiima atsakomybę už saugą savo ūkyje; ar mokosi iš ankstesnių patirčių; žino įrankius ir atnauja žinias apie saugų darbą <i>Takes responsibility for safety on his/her farm; learns from previous experiences; knows the tools and updates his/her knowledge on safe working</i>

Rezultatai ir aptarimas

Apklausoje rezultatai rodo, kad beveik pusė, 41 proc., ūkininkų, šeimos narių ar darbininkų per pastaruosius penkerius metus nuolat patyrė įvairių smulkių traumų ar sužalojimų dirbant ūkio darbus. 13 proc. respondentų patirtus susižalojimus ir traumas įvardijo kaip sunkias, reikalaujančias gydymo ar reabilitacijos, o 87 proc. sužalojimus, traumas įvardijo kaip lengvas, nereikalaujančias ilgo gydymo ar reabilitacijos. Taip pat dauguma respondentų į klausimą, „ar buvo imtasi veiksmų, kad šios pavojingos situacijos sukėlę sveikatos sutrikdymų nepasikartotų“, teigiamai atsakė 58 proc., o likusi dalis jokių veiksmų nesiėmė arba ėmėsi tik iš dalies. Tai rodo, jog netgi sveikatos sutrikdymas (paties ūkininko, jo šeimos nario) nebuvo pakankamas įvykis imtis prevencinių veiksmų.

Į klausimus, susijusius su įsipareigojimais užtikrinti saugą, pasitikėjimą saugos sistemų veikimu, 74 proc. respondentų sutinka arba visiškai sutinka su tuo, jog ūkyje atsakomybė už savo saugą yra kiekvieno dirbančiojo reikalas. Didžioji dauguma (91 proc.) respondentų mano, kad lengvos traumos ir sužalojimai yra neatsiejami nuo žemės ūkyje atliekamų įvairių veiklų ir darbų. 3 iš 4 respondentų pažymėjo, kad kartais tenka nepaisyti elementarių darbuotojų saugos ir sveikatos reikalavimų, kad galėtų darbus atlikti laiku ir greitai. Į klausimus, susijusius su profesinės rizikos vertinimu bei įvairių klausimynų, skirtų savikontrolėi, naudojimui, 64 proc. apklausoje dalyvių atsakė žinantys specializuotus klausimynus (pvz., saugus cheminių medžiagų naudojimas, saugus darbas su gyvūnais, saugi techninė priežiūra), 23 proc. respondentų žino VDI klausimynus, skirtus žemės ūkiui, ir vos 3 proc. apklausoje dalyvių žino apie OiRa priemonę. Į klausimus, susijusius su profesine rizika, t. y. kaip atliekamas profesinės rizikos vertinimas, 41 proc. respondentų pažymėjo, jog yra tekę apie tokį girdėti, bet nežino, kaip jis atliekamas, o kas penktas apklausoje dalyvis apskritai nežino, kas tai yra. Šie rezultatai gerai koreliuoja ir su ūkininkų / ūkių darbuotojų dalyvavimu mokymuose saugos klausimais, nes 3 iš 4 apklausoje dalyvių teigė, jog tokiuose mokymuose / seminaruose dalyvauja retai ar visai nedalyvauja.

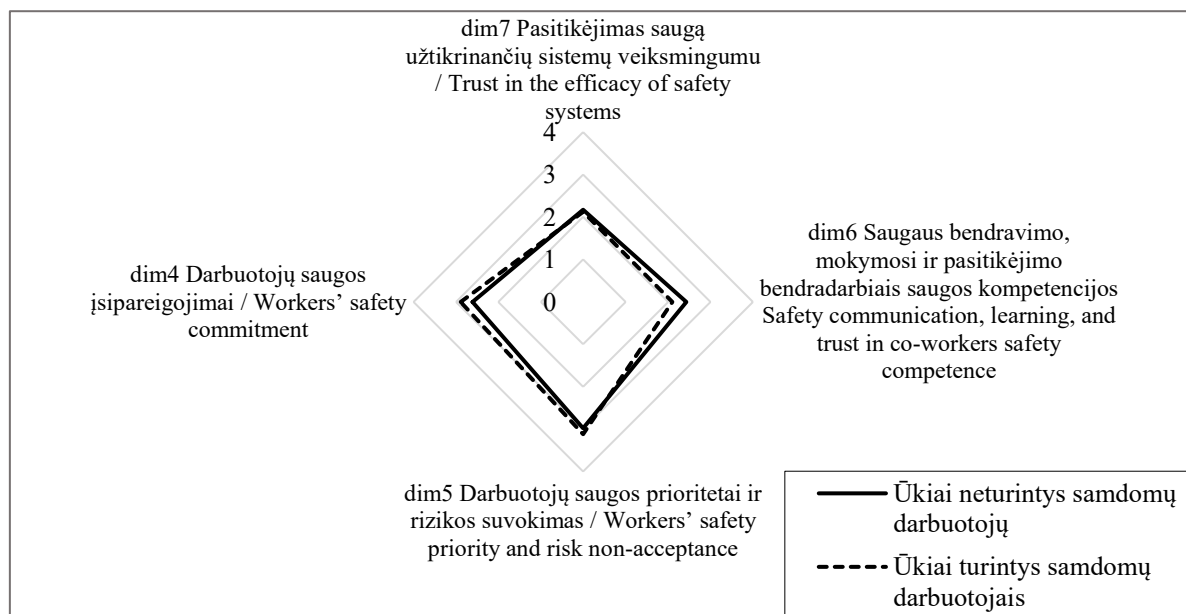
Vertinant rizikos veiksnius dirbant ūkio darbus, į anketoje formuluojamą klausimą, kurie iš išvardytų veiksnių jūsų ūkyje yra aktualūs ir kokio dydžio riziką, jūsų subjektyviu vertinimu, sudaro, 24,4 proc. respondentų įvertino techninę mašinų ir įrenginių priežiūrą (jos nebuvimą) kaip keliančią labai didelę riziką. Tokia pati respondentų dalis darbus su cheminėmis medžiagomis įvertino kaip keliančią labai didelę riziką. Įdomu tai, jog net ~ 56 proc. respondentų pažymėjo, jog vaikai ūkyje yra neaktualus arba labai mažas riziką keliantis aspektas, tačiau kitur pasaulyje, pavyzdžiui, JAV tai vertinama kaip labai didelė rizika (Marshfield..., 2022).



1 pav. Rizikos veiksniai, ūkininkų subjektyviu vertinimu (tiek trumpalaikėje, tiek ilgalaikėje perspektyvoje saugos ir sveikatos požiūriu), pagal suvokiamą rizikos dydį

Fig. 1. Risk factors as subjectively assessed by farmers (both in the short and long term in terms on safety and health) according to the perceived magnitude of the risk

Tyrime gauti rezultatai taip pat susiję su tuo, kaip asmenys, užsiimantys žemės ūkio veikla, deklaruoja patirtus sužalojimus atliekant žemės ūkio darbus (jeigu kreipiasi į gydymo įstaigą). Net 56 proc. respondentų pažymėjo, kad, nutikus nelaimingam atsitikimui, medicinos įstaigoje jį įvardytų / įvardijo kaip buitinę traumą, o ~ 35 proc. – kaip traumą darbe. Šie rezultatai gerai siejasi su įvadinėje dalyje pateikta informacija apie tai, jog daug nelaimingų atsitikimų žemės ūkio srities darbuotojams lieka neapskaityti, o tikrasis mastas dažnai yra nežinomas. Toliau 2 paveiksle pateikiami apibendrinti saugos klimato įverčiai nustatyti įvairiose kategorijose.



2 pav. NOSACQ-50 saugos klimato dimensijų įverčiai ūkiuose, turinčiuose / neturinčiuose samdomų darbuotojų

Fig. 2. NOSACQ-50 safety climate dimensions in farms with (dashed line) and without (continuous) employees

Lyginant gautus rezultatus su NOSACQ-50 standartiniais įverčiais ir slenksstinėmis vertėmis, bet kurios dimensijos įverčiui esant mažesniai nei 2,99 balo, darytina išvada apie žemą saugos klimato (kultūros) lygį ir tobulėjimo poreikį. Apibendrinus rezultatus nustatyta, jog pagal NOSACQ-50 kategorijas yra tokie saugos klimato balai atskiroms dimensijoms: dim4 – 2,53 balo; dim5 – 2,85 balo; dim6 – 2,16 balo; dim7 – 2,25 balo. Pagal 2 paveiksle pateikiamus duomenis taip pat matyti, jog saugos klimato dimensijų suvokimas tarp ūkių,

kuriuose yra samdomų darbuotojų ir tokių darbuotojų, nėra yra nežymus. Jokių arba labai maži skirtumai nustatyti 5 ir 7 dimensijose, kas reiškia, jog tiek ūkininkaujantys savarankiškai, tiek ūkininkai, samdantys darbuotojus, labai panašiai vertina darbuotojų saugos ir sveikatos prioritetus, taip pat pasitikėjimą formaliu saugos ir sveikatos būklės ūkiuose užtikrinimu. Šie rezultatai taip pat signalizuoja, jog, pavyzdžiui, kalbant apie rizikos suvokimą, veikiausiai ūkiuose rizikos vertinimo procesas yra daugiau formalus, nes nors ir ūkiuose, turinčiuose samdomų darbuotojų, galioja teisinis reglamentavimas, suvokimas apie saugos prioritetus, rizikos vertinimą yra panašaus lygio, kaip ir savarankiškai dirbantiems, kuriems tokio reglamentavimo nėra.

Lyginant gautus rezultatus su 2025-03-06 NOSASQ-50 duomenų bazės valdytojo Danijos darbo aplinkos tyrimų centro (DATC) teikiamais duomenimis ($n=81288$) matyti, jog visose analizuotose dimensijose gauti įverčiai yra žemesni. Didžiausias skirtumas nustatytas lyginant dim6 ir dim7 rezultatus, kai gautų šiame tyrime įverčių vidurkiai siekė atitinkamai 2,16 ir 2,25 balo, kai vidutiniai įverčiai pagal DATC siekė atitinkamai 3,29 ir 3,37 balo. Likusiose dim4 ir dim5 skirtumai mažesni ir siekė atitinkamai 0,76 ir 0,31 balo.

Apibendrinant gautus rezultatus matyti, jog objektyviais matais išmatuojami saugos kultūros aspektai gerai koreliuoja ir su įvairioje literatūroje pateikiamomis rekomendacijomis apie galimybes gerinti dirbančiųjų žemės ūkyje saugą ir sveikatą. Nustatyti žemi saugos kultūros balų įverčiai tiek tarp dirbančių savarankiškai, tiek samdančių darbuotojų rodo, jog vien teisiniu reguliavimu išspręsti saugos problemas žemės ūkyje ir toliau bus sudėtinga, todėl didelis dėmesys turėtų būti skiriamas ūkininkų saugos suvokimui gerinti.

Išvados

1. Nustatyta, jog 9 iš 10 tyrime dalyvavusių respondentų mano, kad lengvos traumos ir sužalojimai yra neatsiejami nuo žemės veiklų, o 75 proc. respondentų pažymėjo, kad kartais tenka nepaisyti elementarių darbuotojų saugos ir sveikatos reikalavimų, kad galėtų darbus atlikti laiku ir greitai.
2. Apibendrinti tyrimo rezultatai rodo, jog gauti žemės ūkio veikla užsiimančių saugos klimato vertinimo įverčiai, nustatyti pagal NOSACQ-50 metodiką, buvo žemesni nei slenkstinė 2,7 balo riba ir siekė 2,5 balo, kas rodo žemą saugos kultūros lygį ir didelį poreikį tobulėti. Didžiausi skirtumai tarp NOSACQ-50 duomenų bazėje nustatytų atskirų kategorijų įverčių ir įverčių nustatytų šiame tyrime buvo dim6 ir dim7 srityse, kuriose vertinami tokie aspektai, kaip švietimas saugos ir sveikatos klausimais, darbuotojų instruktavimas bei darbuotojų suvokimas apie esamas rizikas.

Literatūra

1. *Eurostat duomenų bazė, duomenų rinkiniai hsw_n2_01 and hsw_n2_02*. Produktas – Duomenų rinkiniai – Eurostatas. doi:10.2908/HSW_N2_02.
2. Fagnoli, M., & Lombardi, M. (2020). NOSACQ-50 for Safety Climate Assessment in Agricultural Activities: A Case Study in Central Italy. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(24), 9177. <https://doi.org/10.3390/ijerph17249177>
3. Gallier, U., & Duarte, F. (2025). Safety culture improvement proposals in high-risk industries: A semi-systematic literature review. *Safety Science*, 181, 106670.
4. Hong, C. Y., Lee, C. G., Kim, D. H., Cho, Y. S., Kim, K. Y., & Ryu, S. Y. (2020). Work-Related Risk Factors of Knee Meniscal Tears in Korean Farmers: A Cross-Sectional Study. *Saf Health Work*, 485–490. https://vdi.lrv.lt/public/canonical/1721981530/1555/DSS_Bukle_2023.pdf
5. Irwin, A., & Poots, J. (2015). The human factor in agriculture: An interview study to identify farmers' non-technical skills. *Safety science*, 74, 114–121.
6. *JAV vaikų žemės ūkio traumų faktų lapas*. (2022). <https://marshfieldresearch.org/nccrahs-news/2022-u-s-childhood-agricultural-injuries-fact-sheet-released>
7. Kazlauskienė, V., Mioldažys, R. (2024). Dulkėtumo grūdų sandėliavimo įmonėje tyrimas. *Žmogaus ir gamtos sauga* 2024, 57.
8. Lagerstrom, E., Magzamen, S., Kines, P., Brazile, W., Rosecrance, J. (2019). Determinants of safety climate in the professional logging industry. *Safety*, 5(2), 35.
9. Murphy, D. J. (1992). *Safety and health for production agriculture*. No. Ed. 1, 253.
10. *Nacionalinis darbo aplinkos tyrimų centras (NFA)*. <https://nfa.dk/vaerktoejer/spoergeskemaer/safety-climate-questionnaire-nosacq-50/>
11. *Oficiali Europos Sąjungos interneto svetainė*. <https://oira.osha.europa.eu/lt/about-oira>
12. Rautiainen, R., Lehtola, M. M., Day, L. M., Schonstein, E., Suutarinen, J., Salminen, S., & Verbeek, J. H. (2008). Interventions for preventing injuries in the agricultural industry. *Cochrane database of systematic reviews*, (1).
13. *SafeHabitus*. (2024). https://www.safehabitus.eu/wp-content/uploads/2024/08/SafeHabitus_D3.1_Farm-safety-in-the-EU.pdf

14. *Valstybinės darbo inspekcija, DSS būklės ataskaitos.* (2023).
15. *VĮ Žemės ūkio informacijos ir kaimo verslo centras.* (2023). Ūkininkų ūkių duomenys 2023 (xls) - VĮ Žemės ūkio duomenų centras
16. *VĮ Žemės ūkio informacijos ir kaimo verslo centras.* Ūkininkų ūkių duomenys 2023 (xls) - VĮ Žemės ūkio duomenų centras.

Gražina Kasputienė, Gediminas Vasiliauskas

Investigation of Safety Culture and Professional Risk Management in Small Farms

According to Eurostat, agriculture is one of the most harmful and dangerous economic activities in the European Union (EU), with statistics showing that agriculture accounts for 11.6 % fatal accidents in total, even though it employs only ~4.2% of the total workforce. This shows that the frequency of these accidents is almost 2.5 times higher than the average for other economic activities (EVR). These occupational safety problems are particularly acute in small farms, where risk assessment and occupational safety and health (OSH) control are particularly complicated. In Lithuania, the average farm size as of 1 January 2024 was 15.45 ha, which means that very small or small family farms, with no employees and only the farmers themselves or their family members, predominate. Thus, there are no mandatory occupational health and safety (OSH) requirements for farmers, and there is also a serious lack of information on the working conditions on such farms, the risk factors, and the farmers' attitudes towards health and safety. This is a problem not only in Lithuania, but also in the EU, where there is a lack of data on the health and safety of farms and on the safety culture of farms, and in this respect, agriculture is very different from other economic activities. In this study, information on the safety and health culture of farms was collected using questionnaires based on a combination of the Nordic Occupational Safety and Health Climate Assessment (NOSACQ) and the OiRa questionnaires. 60 respondents, mainly representing small and family farms, expressed their views in the survey. The NOSACQ-50 method was used to analyse the data and to calculate a score for the safety culture on the farms. The results show that the level of safety culture in the sample in Lithuania was 2,5, which is lower than the NOSACQ-50 recommendation of 2,7, indicating a low level of safety culture and a great need for improvement.

Keywords: Safety and health culture, occupational risk assessment, safety and health in small and family farms, NOSACQ method.

Gauta 2025 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2025 m. balandžio mėn.

Gražina KASPUTIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedros magistrantė. Adresas: Studentų g. 15a, LT-53362 Akademija, Kauno r., tel. +370 606 98688, el. paštas: grazina.kasputiene@vdu.lt

Gražina KASPUTIENĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, master's student. Address: Studentų str. 15A, LT-53362 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 606 98688, e-mail: gediminas.vasiliauskas@vdu.lt

Gediminas VASILIAUSKAS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedros daktaras. Adresas: Studentų g. 15A, LT-53362 Akademija, Kauno r., tel.: +370 689 77015, el. paštas: gediminas.vasiliauskas@vdu.lt

Gediminas VASILIAUSKAS. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, doctor. Address: Studentų str. 15A, LT-53362 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 689 77015, e-mail: gediminas.vasiliauskas@vdu.lt

ŽVYRO DANGOS KELIŲ BŪKLĖS ĮTAKOS AUTOTRANSPORTO SUKELIAMAM TRIUKŠMUI TYRIMAS

Dovydas Kriščiūnas, Gediminas Vasiliauskas

Vytauto Didžiojo universitetas

Nuolat didėjant autotransporto srautams neišvengiamai didėja ir šio transporto sukeliama ekologinių problemų, iš kurių viena svarbiausių yra aplinkos triukšmo tarša. Bene didžiausią įtaką triukšmo lygiui nuo kelių turi automobilio padangų ir kelio kontakte kylantis triukšmas, kuris labai priklauso nuo kelio dangos, kelio dangos būklės. Keliuose su žvyro danga jų būklė ypač aktuali, nes ji labai greitai kinta (nuo kokybiškos iki prastos būklės), kas įtakoja triukšmo lygį. Mokslinėje literatūroje šis klausimas mažai tyrinėtas, todėl šiame straipsnyje jis analizuojamas detaliau. Tyrimai buvo atliekami rajoninės ir valstybinės reikšmės keliuose su žvyro danga. Buvo vertinama kelio būklė bei atliekami aplinkos triukšmo lygio matavimai šių kelių aplinkoje. Gauti rezultatai rodo, jog prastėjant kelio būklei pravažiuojančių automobilio sukeliama triukšmo emisija didėja. Nustatyta, jog kelio nelygumams padidėjus 1 mm, triukšmo lygis gali padidėti iki 0,5 dB(A), o kelyje esant laisvo žvyro (nesurištų stambesnės frakcijos žvyro dalelių) triukšmo lygio padidėjimas yra dar didesnis ir gali siekti iki 1,8 dB(A).

Raktiniai žodžiai: autotransporto triukšmas, triukšmo tarša, žvyrkelis.

Įvadas

Augant transporto priemonių skaičiui didėja ir aplinkos tarša. Eksploatuojant automobilius aplinka teršiama ne vien vidaus degimo variklio išmetamosiomis dujomis, bet ir kyla triukšmas dėl padangos ir kelio kontakto, jėgos agregatų, aerodinaminių kūbulo savybių ar kitų priežasčių. Žinoma, jog didelės įtakos triukšmo lygiui nuo kelių turi transporto priemonių srautas, šių autotransporto srautų sudėtis (lengvųjų ir sunkiasvorių transporto priemonių dalis sraute), transporto priemonių važiavimo greitis, taip pat triukšmas, kylantis dėl padangų ir kelio dangos sąveikos. Šis triukšmas aktualus tuomet, kai važiavimo greitis yra pastovus, o padangų ir kelio triukšmas gali būti dominuojantis transporto priemonių greičiui esant nuo jau 15 iki 35 km·h⁻¹, automobiliui judant standartiniu 50 km·h⁻¹ greičiu šis triukšmas gali būti iki 4 dB(A) didesnis nei kitų automobilio triukšmo šaltinių sukeltas triukšmas (LR..., 2025).

Kelio dangos nelygumai, tokie kaip eksploatacijos eigoje atsirandančios provėžos, skersiniai ir išilginiai įtrūkimai, turi didelės įtakos sąveikos triukšmui. Tyrimais nustatyta, jog netgi standartinės asfaltbetonio dangos triukšmingumas laikui bėgant keičiasi, o šių dangų triukšmingumas per 7 metų eksploataavimo laikotarpį gali padidėti iki 3 dB(A), o vėlesniais eksploataavimo laikotarpiais ir dar daugiau, iki 4 dB(A) (LR..., 2025). Turint omenyje, kad toks triukšmo lygio padidėjimas atitinka tokį triukšmo lygio padidėjimą, kurį sukelia du kartus didesnis transporto priemonių srautas, akivaizdu, jog kelių dangos kokybei būtina skirti didelį dėmesį. Svarbu ir tai, jog siekiant mažinti triukšmo taršą būtina vengti važiuojamojoje kelio dalyje iškilų ar įgilintų šulinių, vengti naujai tiesiamose gatvėse ar keliuose įvairių darbų, dėl kurių kyla poreikis išardyti esamą kelio dangą ir ją vėl iš naujo tam tikruose plotuose išlieti. Kelio nelygumai gali turėti dar didesnės įtakos triukšmo lygiui ir gali lemti net iki 6 dB(A) triukšmo lygio padidėjimą. Kelių su žvyro danga triukšmingumas gali būti iki 6 dB(A) didesnis, lyginant su standartine ir Lietuvoje naudojama AC11 asfalto danga, arba iki 8 dB(A) didesnis, lyginant su skaldos ir mastikos asfalto dangomis (SMA), kurios pasižymi ir mažesne dangos senėjimo įtaka triukšmo lygiui (LR..., 2025).

Mokslinėje literatūroje gausu tyrimų, kuriuose tiriamos asfaltbetonio dangos ir jų įtaka triukšmo lygiui, tačiau tyrimų, kuriuose būtų analizuojama triukšmo tarša keliuose su žvyro danga pasigendama. Švedijoje buvo atliktas tyrimas, kuriame naudojant akustinius metodus buvo siekiama vertinti kelių su žvyro danga būklę. Esant skirtingiems laisvo žvyro kiekiams dangoje arba kai šių nesurištų stambesnės frakcijos žvyro dalelių visai nėra, akustiniai duomenys yra skirtingi, todėl pagal tai galima nustatyti kelio būklę (Saeed, 2024). Važiavimo metu laisvas žvyras pakeliamas nuo kelio dangos, jis atsitrenkia į automobilio komponentus tada vėl nukrenta žemyn ir tokiu būdu padidina triukšmingumą.

Lietuvoje keliai su žvyro danga vis dar sudaro reikšmingą dalį visų kelių, bet ši dalis nuolat mažėja, nes kasmet rengiama kelių su žvyro danga asfaltavimo eilė bei rengiama valstybinės reikšmės kelių su žvyro danga asfaltavimo programa, kurios tikslas yra sumažinti tokių kelių dalį. Žvyro danga nepageidaujama ne vien dėl triukšmo taršos, bet ir dėl to, jog tokie keliai dažnai kelia kitas aplinkosaugines ir eismo saugumo problemas. Tokiems keliams reikia dažnai atlikti kelių priežiūros darbus, o jų neatlikus visuomenėje dažnai kyla nepasitenkinimas dėl tokiuose keliuose apgadintų automobilių, gerokai dažnesnių techninės priežiūros intervalų.

Remiantis „Via Lietuva“ teikiamais duomenimis (2024), Lietuvoje yra virš 5 tūkst. km kelių su tokia kelio danga. Pagal naująją žvyrkelių programą siekiama, kad iki 2035 m. valstybinės reikšmės kelių su žvyro danga

dalį sudarytų ne daugiau kaip ~ 18 proc. bendro valstybinės reikšmės kelių ilgio. Turint omenyje, jog 2018–2024 m. Lietuvoje buvo išasfaltuota ~ 1 400 km žvyrkelių, akivaizdu, jog žvyrkelių keliamos problemos dar kurį laiką išliks aktualios.

Dėl augančio transporto priemonių skaičiaus, didėjanti ekologinė grėsmė vis ryškina problemą, aktualią neasfaltuotuose užmiesčio keliuose, kurie neretai būna prastos būklės. Pagal galiojančią tvarką, valstybinės reikšmės kelių žvyro dangos turi būti profiliuojamos (greideriuojamos), jei matuojant po 3 m skersine ir išilgine kryptimi yra atsiradusių pasikartojančių iškilimų ar įdubų (bangu), kurių aukštis ar gylis didesnis kaip 4 cm. Siekiant suprasti, kaip tokie nelygumai įtakoja autotransporto priemonių triukšmo lygį tokiuose keliuose, šiame tyrime buvo siekiama išsiaiškinti, kiek kelių su žvyro danga būklė įtakoja pravažiuojančių transporto priemonių sukiamą triukšmą. Šio tyrimo tikslas – ištirti kelių su žvyro danga būklės įtaką autotransporto sukiamam triukšmui.

Tyrimų metodika

Tyrimai atlikti trijose kelių atkarpose, esančiose Vilkaviškio rajono keliuose, iš kurių 2 yra valstybinės reikšmės keliai ir 1 rajoninės reikšmės kelias. Pirmoji atkarpa yra Kybartų seniūnijoje, Prūseikos gatvėje (nevalstybinės reikšmės kelias, todėl numerio nėra, matavimo taško koordinatės LKS sistemoje – X: 6055276, Y: 420766). Antroji – Virbalio miesto laukuose, kelyje Nr. 5113 (Virbalis–Kumečiai, koordinatės – X: 6054280, Y: 425023). Trečioji – Bijotų kaime, kelyje Nr. 5112 (Virbalis–Žalioji, koordinatės – X: 6058787, Y: 426407). Šiose atkarpose tiek kelio dangos būklės, tiek triukšmo tyrimai buvo atliekami vasaros ir rudens laikotarpiais.

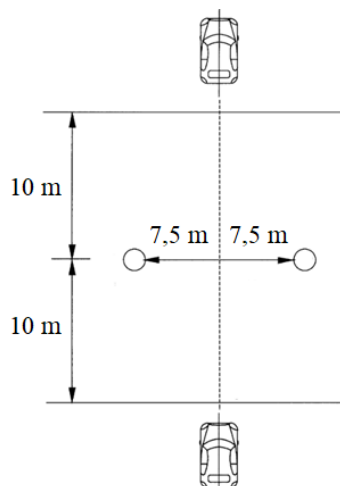
Visų pirma buvo įvertinama analizuojamų ruožų kelio dangos būklė. Tai buvo daroma kiekviename ruože, vos tik atvykus į vietą, prieš tai atliekant triukšmo matavimus. Kelio būklės vertinimas buvo atliekamas naudojant 3 m ilgio liniuotę, kuria buvo išmatuojami kelio dangos nelygumai (įdubimai). Liniuotė padedama ant kelio paviršiaus išilgine kryptimi tose vietose, kuriomis juda transporto priemonė, t. y. vyksta padangų ir kelio paviršiaus sąveika. Liniuote išmatuojamas atstumas nuo horizontalios liniuotės apatinės briaunos iki įdubimo dugno statmenai. Iš viso kiekvienoje kelio atkarpoje buvo atliekami 6 tokie matavimai, o matavimo rezultatai fiksuojami matavimo protokole. Matavimo būdo bendras vaizdas pateikiamas 1 paveiksle. Taip pat vizualiai buvo vertinama, ar analizuojamoje atkarpoje esama laisvo žvyro, kuris daro įtaką akustinėms dangos savybėms, tarp jų ir triukšmingumui (Saeed, 2024). Jo buvo aptikta tik vasaros laikotarpiu, kai kelio danga sausa.



1 pav. Kelio nelygumų matavimo bendras vaizdas

Fig. 1. General view of the measurement of road bumps

Įvertinus kelio būklę buvo atliekami triukšmo lygio matavimai. Matavimai buvo vykdomi pakelės triukšmo matavimo principu ir esant tik tokioms meteorologinėms sąlygoms, kai nebuvo kritulių, netvyrojo rūkas, o vėjo greitis neviršijo $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Triukšmo emisijos matavimai buvo atliekami vadovaujantis kontroliuojamo triukšmo matavimo metodu CPB (angl. *controlled pass by*), kurio metodika aprašyta ISO 11819:2023 standarte. Šis standartas aprašo triukšmo matavimo procedūras, skirtas vertinti kelio dangų įtaką skleidžiamam triukšmui. Atliekant matavimus, triukšmo lygio analizatorius pozicionuojamas pagal standarte nurodytus reikalavimus – 7,5 m nuo važiuojamos trajektorijos, 1,2 m aukštyje nuo žemės paviršiaus pasirinktame taške. Matavimo zona – 20 m. Triukšmo matavimo principinė schema pateikta 2 pav.



2 pav. Principinė triukšmo matavimo schema pagal ISO 11819:2023

Fig. 2. Noise measurement scheme according to ISO 11819:2023

Triukšmomatis atliekant matavimus pastatomas ant trikojo 7,5 m atstumu nuo transporto priemonės judėjimo trajektorijos. Triukšmo matavimai buvo atliekami 1 tikslumo klasės nešiojamu triukšmo lygio analizatoriumi „Bruel&Kjaer 2270“, kuriuo fiksuojami ekvivalentiniai triukšmo lygiai bei atliekamas laikinis triukšmo lygių kaupimas 1 sekundės intervalais. Triukšmomatis prieš triukšmo lygio matavimus buvo kalibruojamas 1 tikslumo klasės kalibravimo prietaisu „Bruel&Kjaer 4231“.

Visi, tiek kelio nelygumų, tiek triukšmo lygio matavimai, atliekami visuose kelių ruožuose vienodai tuo pačiu lengvuju automobiliu. Triukšmo lygis buvo matuojamas ne mažiau kaip 3 kartus, išlaikant 30 km·h⁻¹ ir 50 km·h⁻¹ važiavimo greitį.

Rezultatai ir aptarimas

Tyrimų rezultatuose pirmiausia pateikiami kelio dangų įvertinimo rezultatai tirtuose kelių ruožuose. Duomenys pateikiami 1 lentelėje.

1 lentelė. Dangos būklės vertinimo duomenys

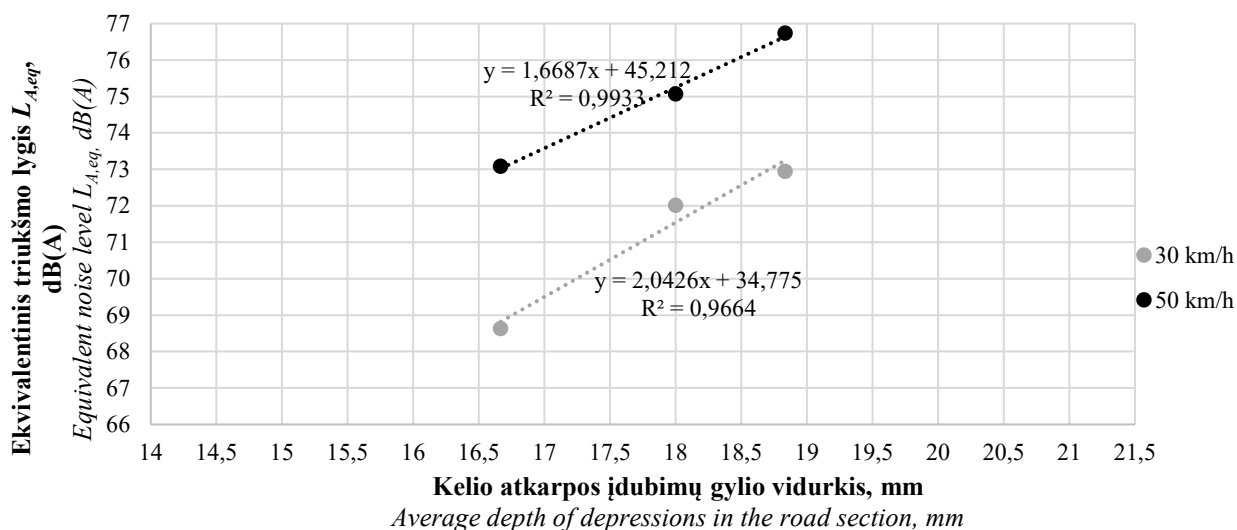
Table 1. Pavement condition evaluation data

Matavimo vertė <i>Measured value</i>	Prūseikos g. <i>Prūseikos str.</i>	Kelias 5113 <i>Road No. 5113</i>	Kelias 5112 <i>Road No. 5112</i>
Vasaros laikotarpis <i>Summer period</i>			
Didžiausia įdubimo vertė, mm <i>Maximum bump depth value, mm</i>	22	22	20
Mažiausia įdubimo vertė, mm <i>Minimum bump depth value, mm</i>	15	15	12
Standartinis nuokrypis, mm <i>Standart deviation, mm</i>	3,10	2,64	3,21
Vidutinė įdubimų vertė, mm <i>Average bump depth value, mm</i>	18	18,83	16,67
Rudens laikotarpis <i>Autumn period</i>			
Didžiausia įdubimo vertė, mm <i>Maximum bump depth value, mm</i>	30	27	22
Mažiausia įdubimo vertė, mm <i>Minimum bump depth value, mm</i>	15	10	10
Standartinis nuokrypis, mm <i>Standart deviation, mm</i>	5,51	6,53	4,41
Vidutinė įdubimų vertė, mm <i>Average bump depth value, mm</i>	21	19,67	14,67

Atliekant tyrimus geriausia kelio būklė su mažiausiais nelygumais buvo užfiksuota rudens laikotarpiu 5112 kelyje. Čia įdubimų vidurkis siekė tik 14,67 mm. Prasčiausia kelio dangos būklė užfiksuota tuo pačiu laikotarpiu Prūseikos gatvėje – 21 mm. Rajoninės reikšmės kelyje (Kybartų seniūnija, Prūseikos gatvė) ir 5113

kelyje (Virbalio miesto laukai) rudens laikotarpiu abiejų ruožų dangos būklė buvo prastesnė negu vasaros laikotarpiu. 5112 kelyje (Bijotų kaimas) situacija priešinga.

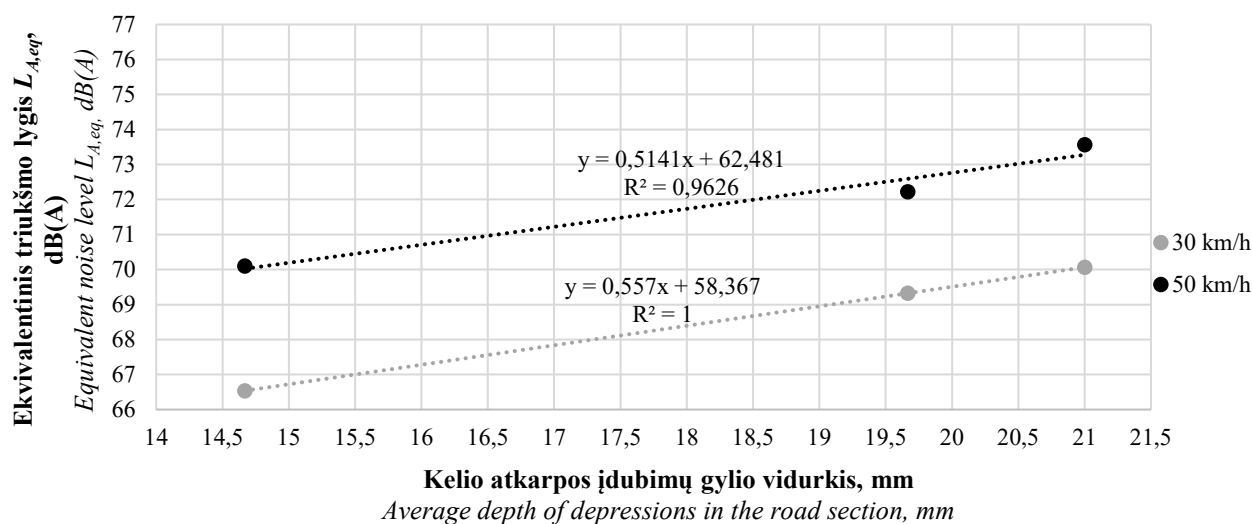
Triukšmo lygio matavimų rezultatai, priklausomai nuo kelio dangos būklės (įdubimų gylio), pateikiami 3 ir 4 paveiksluose. Juose pateikiama informacija, kokios triukšmo emisijos buvo vasaros ir rudens laikotarpiu esant konkrečiam įdubimų gylio vidurkiui.



3 pav. Triukšmo emisijos vasaros laikotarpiu

Fig. 3. Noise emissions in summer

Gauti rezultatai rodo, kad kuo didesnis įdubimų gylio vidurkis, tuo triukšmo emisija didėja, o didėjimas yra tiesinis. Panaši tendencija pastebima tiek esant $30 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ greičiui, tiek ir $50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ greičiui. Kadangi matavimų metu visais tirtais atvejais buvo išlaikomos vienodos tyrimo sąlygos, galima teigti, jog įdubimų gylio vidurkiui tirmoje atkarpoje padidėjus 1 mm, ekvivalentinis triukšmo lygis pakyla gana ženkliai – $\sim 1,7 \text{ dB(A)}$. Automobilio greičiui esant $30 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, triukšmo lygis, lyginant su $50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ greičiu, sumažėja vidutiniškai 3–4 dB(A). Toliau 4 paveiksle pateikiami matavimo rezultatai rudens laikotarpiu.



4 pav. Išmatuoti triukšmo lygiai rudens laikotarpiu

Fig. 4. Noise emissions in autumn

4 paveiksle pateikiamuose rezultatuose taip pat matoma, jog pravažiuojančio automobilio sukeltas triukšmas priklauso nuo kelio nelygumų, t. y. kuo vidutinis įdubimų gylis yra didesnis, tuo triukšmo lygis irgi didesnis. Gauti rezultatai rodo, jog kelio nelygumams padidėjus 1 mm, ekvivalentinis triukšmo lygis padidėja $\sim 0,55 \text{ dB(A)}$. Tikėtina, jog mažesnis triukšmo lygis nustatytas dėl to, jog rudens laikotarpiu kelių dangos buvo drėgnos ir ant jų nebuvo laisvo žvyro. Pagal pateiktus rezultatus matyti, jog greitį sumažinus nuo 50 iki $30 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ekvivalentinis triukšmo lygis gali sumažėti 2,8–3,5 dB(A).

Triukšmo tarša visais atvejais buvo didesnė vasaros laikotarpiu. Kodėl vasarą triukšmo emisijos buvo didesnės, nors įdubimų vidurkis mažesnis, galima paaiškinti tuo, kad vasaros laikotarpiu visose trijose

atkarpose kelio dangos buvo su laisvo žvyro sluoksniu, kuris triukšmo emisijas padidina. Tai, kad laisvas žvyras įtakoja skleidžiamą triukšmą, patvirtina anksčiau atliktas tyrimas (Saeed, 2024). Dabartinis tyrimas, palyginus du grafikus (žr. 3 pav. ir 4 pav.), leidžia aiškiai matyti, kad laisvas žvyras kelio įdubimų gylio įtaką triukšmo emisijai padaro dar reikšmingesnę.

Nors analizuotuose kelio ruožuose visais atvejais kelio nelygumai ribinės 40 mm vertės, kad šiems keliams būtų privalomas kelių profiliavimas (greideriavimas), neviršijo, tačiau akivaizdu, jog nelygumų įtaka triukšmo lygiui buvo nustatyta žymi. Turint omenyje tai, kad žvyro dangos kelių būklė kinta ženkliai greičiau nei kitokių kelio dangų, ypač tuomet, kai labai sausa arba labai drėgna, viena iš priemonių triukšmui tokiuose kelio ruožuose mažinti galėtų būti važiavimo greičio ribojimas, kadangi tokiuose keliuose sumažinus greitį nuo 50 iki 30 km·h⁻¹ galima pasiekti nuo 2,8 iki 4 dB(A) triukšmo lygio sumažėjimą. Labai panašius rezultatus apie triukšmo lygio pokyčius greičiui mažėjant žvyro dangos keliuose gavo ir Leipus ir kt. (2010), kurie nustatė ~2 dB(A) triukšmo lygio padidėjimą automobilio važiavimo greičiui padidėjus nuo 40 km·h⁻¹ iki 50 km·h⁻¹. Nepaisant panašių triukšmo rezultatų dėl greičio įtakos, jų tyrime išmatuotos triukšmo lygio vertės buvo kiek mažesnės, nes vasaros laikotarpiu nustatyta 67 dB(A) triukšmo lygio vertė 7,5 atstumu, kai šiame tyrime ji siekė 73–76,5 dB(A). Tai gali būti aiškinama skirtinga kelių būkle, kuri minimame tyrime analizuota nebuvo.

Apibendrinant tyrimo rezultatus galima pasakyti, kad triukšmo emisijos vasaros laikotarpiu visais atvejais buvo didesnės dėl laisvo žvyro sluoksnio, nors ir įdubimų gylio vidurkiai dviejų kelių atkarpose buvo mažesni nei rudenį. Didėjant įdubimų vidurkiui triukšmo emisija visais atvejais didėja, o, kai yra laisvo žvyro, emisijos didėjimas suintensyvėja.

Išvados

1. Nustatyta, kad kelių su žvyro danga būklė kelia ne tik saugumo ir diskomforto problemas, tačiau turi ženklios įtakos triukšmo lygiui. Triukšmo lygis važiuojant tokiais keliais priklauso nuo automobilio važiavimo greičio ir kelio būklės (nelygumo).
2. Nustatyta, jog kelių su žvyro danga nelygumams padidėjus 1 mm, ekvivalentinis triukšmo lygis 7,5 m atstumu nuo važiuojamosios dalies gali padidėti nuo 0,55 dB(A) iki 1,7 dB(A). Ženklios įtakos triukšmo lygiui šiuose keliuose turi esantis laisvas (nesurištas) žvyras.
3. Gauti rezultatai rodo, kad padidinus automobilio greitį kelyje su žvyro danga nuo 30 km·h⁻¹ iki 50 km·h⁻¹ ekvivalentinis triukšmo lygis gali padidėti 2,8–4 dB(A) ir siekti ~ 73 dB(A), kai kelio nelygumų vidutinė vertė yra 20 mm.

Literatūra

1. Europos aplinkos agentūra. (2017). *Naujienos: Kelių transportas išlieka didžiausiu triukšmo taršos šaltiniu Europoje*. Road traffic remains biggest source of noise pollution in Europe — European Environment Agency
2. Europos aplinkos agentūra. (2020). *Environmental noise in Europe – 2020*.
3. ISO 11819-1:2023. (2024). *Acoustics – Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise*. ISO 11819-1:2023 – Acoustics – Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part 1: Statistical pass-by method
4. Leipus, L. & Butkus, D., Janusevicius, T. (2010). Research on Motor Transport Produced Noise on Gravel and Asphalt Roads. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 5, 125–131. 10.3846/bjrbe.2010.18.
5. *LR susisiekimo ministro įsakymas „Dėl triukšmo mažinimo valstybinės reikšmės keliuose rekomendacijų patvirtinimo“*. 2025 m. sausio 24 d. Nr. 3–34.
6. Oficialiosios statistikos portalas. (2025). *Kelių transporto priemonių skaičius Lietuvoje*. <https://osp.stat.gov.lt/>
7. Pasaulio sveikatos organizacija. (2018). *Environmental noise guidelines for the European Region*.
8. Saeed, N., Alam, M., Nyberg, R. (2021). A multimodal deep learning approach for gravel road condition evaluation through image and audio integration. *Transportation Engineering*, Vol. 16, 2024. ISSN 2666-691X, <https://doi.org/10.1016/j.treng.2024.100228>
9. Statista. (2019). *Distribution of controlled sources of noise pollution in Italy*. <https://www.statista.com/statistics/615727/sources-of-noise-pollution/>
10. Via Lietuva. (2024). Patvirtinta nauja žvyrkelių programa. Patvirtinta nauja žvyrkelių programa: ją įgyvendinus, neasfaltuotų valstybinių kelių liktų tik apie penktadalį. *ViaLietuva.lt*.

Dovydas Kriščiūnas, Gediminas Vasiliauskas

Study of Gravel Road Condition on Noise Caused by Road Vehicles

As traffic volumes continue to increase, the environmental issues caused by road transport also increase, with environmental noise pollution being one of the most significant concerns. Tire-road interaction is one of the primary contributors to noise levels, and on gravel roads, the road surface condition is particularly important, as it changes rapidly and directly influences noise levels. This issue has been relatively underexplored in scientific literature, therefore, this study focuses on analyzing it. The research was conducted on regional and national gravel roads, assessing road conditions and measuring environmental noise levels in their surroundings. The obtained results indicate that as road conditions deteriorate, the noise emissions generated by passing vehicles increase. It was determined that an increase in road surface irregularities by 1 mm results in a noise level increase of approximately 0.5 dB(A). Furthermore, the presence of loose gravel (unbound larger gravel particles) leads to an even greater increase in noise levels, reaching approximately 1.8 dB(A) per 1 mm of unevenness.

Keywords: Road transport, noise pollution, gravel road.

Gauta 2025 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2025 m. kovo mėn.

Dovydas KRIŠČIŪNAS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Inžinerijos fakulteto Transporto mašinų inžinerijos programos magistrantas. Adresas: Studentų g. 15a, LT-53362 Akademija, Kauno r., tel. +370 636 07733, el. paštas: dovydas.krisciunas@stud.vdu.lt

Dovydas KRIŠČIŪNAS. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Transport Mechanical Engineering study program Master student. Address: Studentų str. 15a, LT-53362 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 636 07733 e-mail: dovydas.krisciunas@stud.vdu.lt

Gediminas VASILIAUSKAS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedros lektorius. Adresas: Studentų g. 15A, LT-53362 Akademija, Kauno r., tel.: +370 689 77015, el. paštas: gediminas.vasiliauskas@vdu.lt

Gediminas VASILIAUSKAS. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, lecturer. Address: Studentų str. 15A, LT-53362 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 689 77015, e-mail: gediminas.vasiliauskas@vdu.lt

AUTOMOBILIŲ PLOVYKLŲ SUKELIAMAS APLINKOS TRIUKŠMAS

Marius Godvanas¹, Ramūnas Mioldažys¹, Kęstutis Čekavičius²

¹Vytauto Didžiojo universitetas, ²Divizijos generolo Stasio Raštikio Lietuvos kariuomenės mokykla

Šiame straipsnyje nagrinėjamas savitarnos automobilių plovyklų sukeltas aplinkos triukšmas, jo šaltiniai ir poveikis. Analizuojami tiek stacionarūs, tiek mobilieji triukšmo šaltiniai bei jų įtaka aplinkai. Aptariama ES Aplinkos triukšmo direktyva, Lietuvos teisės aktai ir jų reikalavimai triukšmo vertinimui. Straipsnyje nagrinėjamos triukšmo mažinimo technologijos bei jų taikymo galimybės plovyklų sektoriuje. Pateikiami standartai, siekiant objektyviai įvertinti triukšmo lygį. Tyrimo rezultatai leidžia modeliuoti triukšmo sklaidą ir numatyti efektyvias triukšmo mažinimo priemones. Šiuo metu taip pat nėra vieningų, visuotinai priimtų dokumentų, kurie leistų objektyviai įvertintų šių įrenginių keliamą triukšmą bei jų poveikį ne tik aplinkai, bet ir žmonių sveikatai.

Raktiniai žodžiai: triukšmas, decibelai (dB), ekvivalentinis, triukšmo poveikis, automobilių plovyklos.

Įvadas

Šiuolaikinį pasaulį apibūdinantis požymis yra automobilių gausa. Automobiliai ir juos aptarnaujančios veiklos dažnai turi ir aplinkosauginį poveikį, kurio vienas iš dažniausiai sutinkamų padarinių yra triukšmo tarša. Automobilių plovyklos, nors ir būtinos mūsų transporto priemonių priežiūrai, tampa viena iš triukšmo šaltinių urbanizuotose vietovėse. Tai kelia vis didesnę susirūpinimą tiek miestiečiams, tiek ir aplinkosaugininkams. Straipsnyje nagrinėjama automobilių plovyklų sukeltas triukšmo poveikis, siekiama atskleisti šio reiškinių svarbą ir galimas būsimas sprendimo kryptis. Šiuo metu yra labai mažai informacijos apie automobilių plovyklų sukeltą triukšmo lygį, o tai gali sukelti triukšmo taršą ir turėti neigiamos įtakos aplinkai gyvenantiems žmonėms.

Lietuvos higienos norma HN 33:2011 nustato ribines triukšmo lygio vertes pramonės triukšmui, kuris vertinamas trijų paros laikotarpių metu: dieną (7:00–19:00 val.), vakare (19:00–22:00 val.) ir naktį (22:00–7:00 val.). Gyvenamųjų ir visuomeninės paskirties pastatų aplinkoje, apibrėžiamoje kaip žemės sklypai ne didesniu nei 40 m atstumu nuo pastatų sienų, pramonės triukšmo ekvivalentinis garso lygis neturi viršyti 55 dB(A) dieną, 50 dB(A) vakare ir 45 dB(A) naktį (HN33, 2011).

Automobilių plovyklų sukeltą aplinkos triukšmo poveikio vertinimo metodika išlieka nepakankamai ištirta ir neretai prieštaringa, ypač kai kalbama apie savitarnos plovyklas. Nors kai kurie tyrimai apima bendrą pramonės triukšmo poveikį gyvenamajai aplinkai, specifinis savitarnos automobilių plovyklų triukšmo vertinimas dažnai nėra atliekamas išsamiai. Ypač trūksta duomenų apie triukšmo lygio pokyčius per parą ir jo poveikį gyvenamųjų rajonų gyventojams. Šiuo metu taip pat nėra vieningų, visuotinai priimtų standartų, kurie objektyviai įvertintų šių įrenginių keliamą triukšmą bei jo poveikį ne tik aplinkai, bet ir žmonių sveikatai. Dėl šios priežasties egzistuoja mokslinių studijų, kurios galėtų sukurti tiksliau triukšmą prognozuojančius modelius, poreikis. Tokie modeliai leistų geriau numatyti triukšmo sklaidą aplink automobilių plovyklas ir palyginti jų efektyvumą su esamais normatyviniais reikalavimais. Šie tyrimai galėtų ne tik užpildyti šios srities tyrimų spragas, bet ir prisidėti prie geresnės triukšmo valdymo politikos formavimo bei sveikatos apsaugos priemonių tobulinimo. Tyrimo tikslas – apžvelgti automobilių plovyklų sukeltą triukšmo tyrimus.

Tyrimų metodika

Šiame straipsnyje taikoma metodologija, pagrįsta literatūros analize ir autorių gautų rezultatų interpretacija. Naudotas kokybinis teorinių šaltinių analizės metodas, kuris leidžia išsamiai nagrinėti paskelbtus tyrimus ir jų rezultatus. Tyrimas remiasi tik teorinės analizės metodu, suteikiančiu galimybę giliau suprasti nagrinėjamą temą.

Rezultatai

Aplinkos triukšmo matavimas yra labai svarbus triukšmo poveikio bendruomenėms ir ekosistemoms vertinimo ir valdymo aspektas. Aplinkos triukšmo lygis gali turėti įvairių poveikių žmonių sveikatai ir gerovei. Dėl finansinių sumetimų savitarnos automobilių plovyklos su aukšto slėgio sistemomis pirmiausia įrengiamos tankiai apgyvendintose miestų vietose, kad būtų užtikrintas pastovus klientų srautas. Šios plovyklos paprastai yra atviro tipo, kad pritrauktų potencialius klientus (Zielińska, 2016). Dėl to triukšmo tarša nėra veiksmingai kontroliuojama, o triukšmui jautrių zonų atstumai išlieka gana arti, nepaisant galiojančių teisės aktų reikalavimų (HN33, 2011). Daugeliu atvejų automobilių plovyklos yra šalia triukšmui jautrių ar saugomų zonų ribų, šios zonos yra nutolusios mažiau nei 100 metrų. Papildomas iššūkis iškyla, kai automobilių plovyklos veikia naktimis, nes leistinas triukšmo lygis gerokai mažesnis nei dienos metu, kad būtų užtikrinta gyventojų

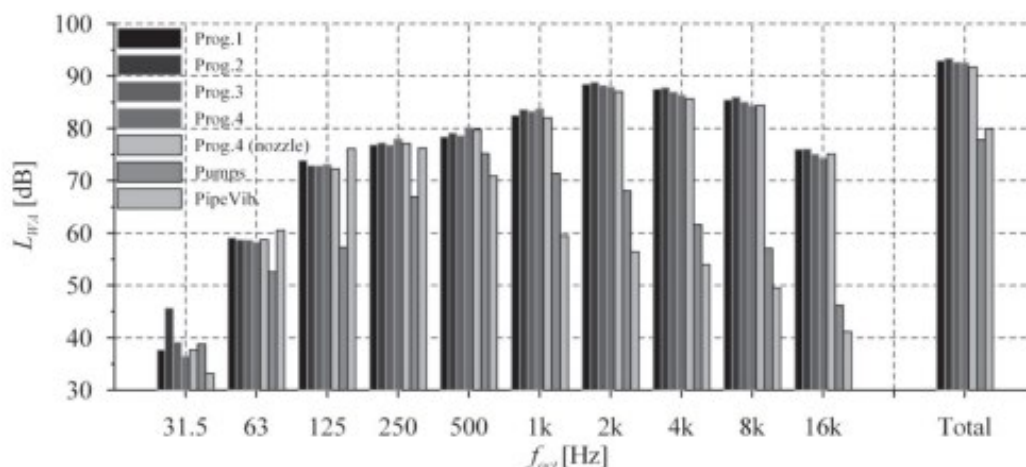
teisė į ramybę nakties metu (Kierzkowski ir Law, 2017). Todėl svarbu įgyvendinti tinkamas priemones triukšmo lygio matavimui ir analizei. Garso slėgio lygis yra pagrindinis parametras, naudojamas triukšmo kiekybiniam vertinimui, matuojant garso bangų intensyvumą decibelais (dB). Tačiau reikia atsižvelgti į dažninę A svertį, kuri atspindi žmogaus klausos jautrumą skirtingoms garso dažnių juostoms, taip pat į paros laiką, kurie leidžia įvertinti triukšmo lygį tam tikru laiko tarpsniu. Triukšmo lygiai gali skirtis priklausomai nuo vietos, todėl gali būti atliekami keli matavimai siekiant gauti reprezentatyvias vertes. Naudojant matavimo prietaisus, tokius kaip triukšmo lygio matuokliai, galima fiksuoti garso duomenis ir analizuoti jų pasiskirstymą laikes. Reguliarus matavimo prietaisų kalibravimas yra būtinas, siekiant užtikrinti triukšmo matavimų tikslumą ir patikimumą. Nuolatinė triukšmo stebėseną, naudojant duomenų registravimo sistemas, leidžia rinkti ilgalaikius triukšmo duomenis, kurie naudingi tendencijų analizei ir dėsningumų nustatymui. Standartai, nustatyti organizacijų, tokiose kaip Tarptautinė standartizacijos organizacija (ISO), nurodo matavimo procedūras, prietaisų reikalavimus ir ribines triukšmo lygio vertes aplinkose. Vietos bendruomenių dalyvavimas triukšmo stebėsenos veikloje gali suteikti papildomos informacijos apie triukšmo problemas ir padėti nustatyti mažinimo prioritetus. Analizuojant triukšmo duomenis, taikomi statistiniai metodai, siekiant apibūdinti triukšmo lygį, nustatyti tendencijas ir įvertinti atitiktis taisyklėms ar gairėms laipsnį. Remiantis šiomis analizėmis, galima kurti ir įgyvendinti triukšmo mažinimo strategijas, tokias kaip garso barjerų statyba, akustinė izoliacija ar teritorijų planavimo taisyklių keitimas. Laikantis šių principų, aplinkos triukšmo matavimas gali suteikti vertingos informacijos, padėsiančios įvertinti ir valdyti triukšmo taršą, taip prisidedant prie žmonių sveikatos apsaugos ir aplinkos kokybės išsaugojimo (Directive 2002/49/EC).

Aplinkos triukšmui matuoti naudojama specializuota įranga, kad būtų galima tiksliai užfiksuoti ir analizuoti garso lygį. Pagrindiniai prietaisai yra garso lygio matuokliai, kurie matuoja garso slėgio lygį decibelais (dB) ir pasižymi tokiomis funkcijomis kaip A svertinis koeficientas, laiko svertiniai vidurkiai, duomenų registravimas ir kalibravimas, kad būtų užtikrintas tikslumas. Triukšmo dozimetrai matuoja asmeninį triukšmo poveikį per tam tikrą laiką ir padeda vertinti darbo saugą, apskaičiuodami laiko svertinį vidurkį ir dozės procentinį dydį. Kalibratoriai, įskaitant akustinius ir elektroakustinius tipus, užtikrina garso lygio matuoklių ir dozimetų tikslumą dėl tikslaus garso slėgio lygio generavimo ir dažnio kalibravimo. Duomenų registratoriai nuolat fiksuoja triukšmo duomenis, kad būtų galima vykdyti ilgalaikę stebėseną, ir pasižymi tokiomis savybėmis kaip didelė atminties talpa, ilgesnis akumuliatoriaus veikimo laikas, atsparumas atmosferos poveikiui ir nuotolinė prieiga. Vėjo ekrano galimybės, pavyzdžiui, putplasčio ir pistoleto formos, sumažina vėjo trikdžius atliekant matavimus lauke, užtikrina suderinamumą, ilgaamžiškumą ir patikimus rezultatus. Tinkamas šių prietaisų parinkimas, kalibravimas ir priežiūra, taip pat standartų ir gairių laikymasis yra svarbiausi veiksniai, siekiant tiksliai įvertinti aplinkos triukšmą (SVANTEK, 2023).

ISO 1996-1 ir ISO 1996-2 nustato aplinkos triukšmo vertinimo standartus. Kai sudaromas triukšmo strateginis žemėlapis, kur vaizduojamas triukšmo poveikis pastatuose ir aplink juos, įvertinimo taškai turi būti $4,0 \pm 0,2$ m (nuo 3,8 m iki 4,2 m) aukštyje virš žemės paviršiaus ties „triukšmingiausiu“ fasadu. „Triukšmingiausias“ fasadas yra arčiausiai triukšmo šaltinio, atsuktas į jį (ISO 1996-2:2017). Tačiau kitais tikslais galima pasirinkti ir kitokį aukštį, tačiau ne mažiau kaip 1,5 m nuo žemės paviršiaus, ir rezultatus galima pakoreguoti taip, kad atitiktų 4 m aukštį, siekiant palaikyti vientisumą su standartais. Tai suteikia standartizuotą pagrindą triukšmo poveikio vertinimui ir užtikrina tikslumą bei palyginamumą tarp skirtingų matavimų (ISO 1996-1:2016).

Automobilių plovykloje triukšmas pirmiausia kyla iš įvairių šaltinių plovykloje. Triukšmą automobilių plovykloje paprastai sukelia transporto priemonių valymo įranga ir procesai, taip pat aplinkos, kurioje ji veikia, akustika (SoftDB, 2025). Šie šaltiniai gali būti mašinų, tokių kaip siurbliai, varikliai, orapūtės ir konvejerių sistemos, veikimas. Automatinėse plovyklose prie bendro triukšmo lygio taip pat prisideda vandens srovių, šepėčių ir kitų valymo mechanizmų skleidžiamas garsas. Be to, savitarnos plovyklose dirbantys siurbliai ir aukšto įpurškimo įranga kelia triukšmą. Statybinės medžiagos ir plovyklos išplanavimas taip pat gali turėti įtakos triukšmo lygiui, nes kieti paviršiai, pavyzdžiui, betoninės grindys ir sienos, atspindi ir sustiprina garsą (HN33, 2013).

Šiam triukšmui būdingi poliharmoniniai dažniai ir jis priskiriamas vamzdžių, kuriais vanduo tiekiamas į purkštukus, vibracijai. Šie pulsuojančios vandens srautai sukelia vamzdžių vibracijas, dėl kurių kyla aplinkos triukšmas (Dziechciowski ir kt., 2014; Łuczko ir kt., 2016). 1 paveiksle pavaizduoti garso galios lygiai konkrečiose oktavų juostose (A svertinis) ir bendri garso lygiai (L_{WA}) (Czerwiński ir kt., 2019). Standartinis automobilių plovimo ciklas susideda iš keturių etapų: plovimas naudojant mikromiltelius (1 programa; *Prog. 1*), skalavimas (2 programa; *Prog. 2*), konservavimas polimerais (3 programa; *Prog. 3*) ir plovimas su apdaila (4 programa; *Prog. 4*). Pirmoje matavimų serijoje buvo siekiama nustatyti pagrindinius triukšmo šaltinius, susijusius su specifinių plovimo programų vykdymu (kai purkštukas pritvirtintas maždaug 30 cm atstumu nuo transporto priemonės), taip pat gauti triukšmo lygius, susijusius su kitais triukšmo šaltiniais (Czerwiński ir kt., 2019; Fall ir kt., 2007).



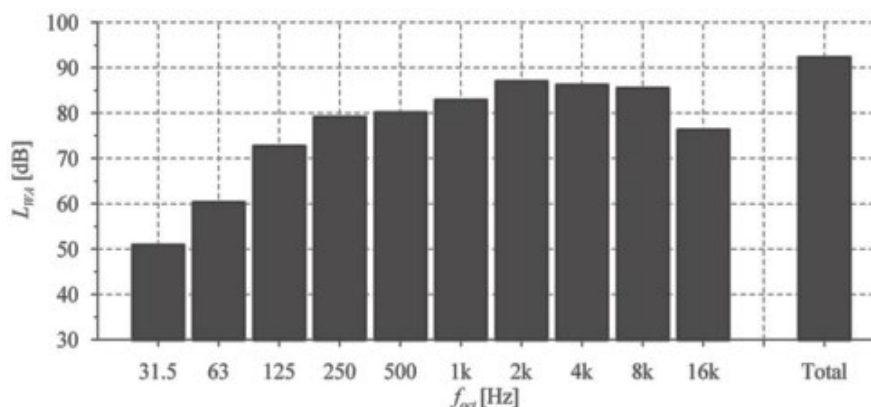
1 pav. Garso galios lygiai L_{WA} , susiję su triukšmo šaltiniais automobilių plovykloje (Czerwiński ir kt., 2019)

Fig. 1 Sound power levels L_{WA} associated with noise sources in a car wash (Czerwiński et al., 2019)

Matavimų duomenys buvo naudojami siekiant nustatyti garso galios lygius, susijusius su atskirais šaltiniais per kelias plovimo ciklo versijas. 1 programa – $L_{WA} = 92,9$ dB; 2 programa – $L_{WA} = 93,3$ dB; 3 programa – $L_{WA} = 92,6$ dB; 4 programa – $L_{WA} = 92,5$ dB; 4 programa (be skalavimo) – $L_{WA} = 91,7$ dB; siurbiai – $L_{WA} = 77,8$ dB; vamzdžiai – $L_{WA} = 79,9$ dB (Czerwiński ir kt., 2019).

Garso galios lygiai, susiję su purkštukų veikimu įvairiose plovimo programose, skiriasi minimaliai, šiek tiek didesnės vertės užfiksuotos 2 programoje (skalavimas). Girdimi garsai užfiksuoti nuo 2 kHz iki 8 kHz dažnių diapazone. Išpurškiant vandens čiurkšles iš purkštukų, įvairių plovimo ciklų programų spektrinė analizė rodo, kad spektrai yra panašūs, pastebimi tik nedideli skirtumai. Pagrindiniai veiksniai, darantys įtaką triukšmo lygiui, yra darbinis slėgis ir kiek mažiau – ploviklio sudėtis. Vandens srauto generavimas priklauso nuo hidraulinio tiekimo įrenginio, kurį pirmiausia sudaro aukšto slėgio siurblys. Tokių sistemų veikimas kelia didelį triukšmą, tačiau šių įrenginių uždarymas gali sumažinti skleidžiamą triukšmą (Czerwiński ir kt., 2019; Lau ir kt., 2013).

Plovimo aikštelės ir kiti triukšmo šaltiniai buvo modeliuojami kaip atskiri taškiniai šaltiniai. Todėl kiekvienam triukšmo šaltiniui buvo priskirti garso galios lygiai (1 pav. ir 2 pav.) ir išreikšti oktaviniais garso galios lygiais.

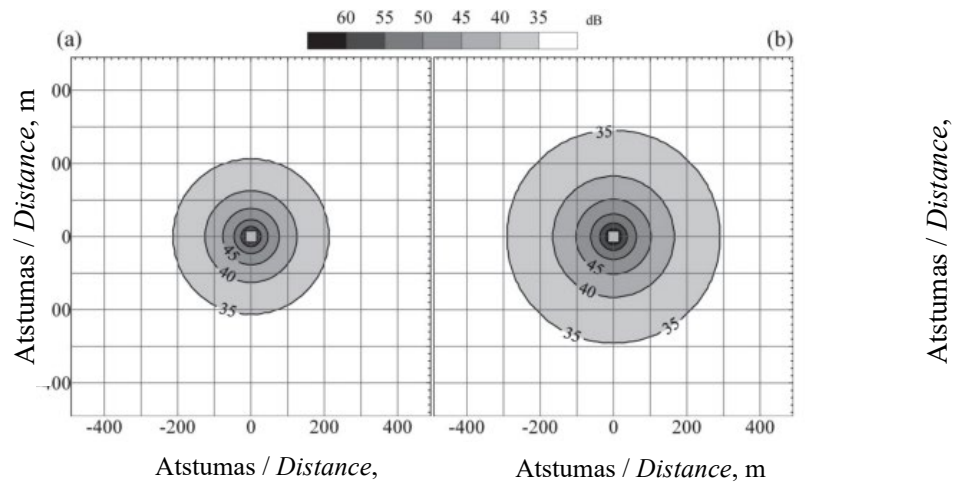


2 pav. Garso galios lygiai per visą skalavimo ciklą (Czerwiński ir kt. 2019)

Fig. 2 Sound power levels throughout the entire washing cycle (Czerwiński et al., 2019)

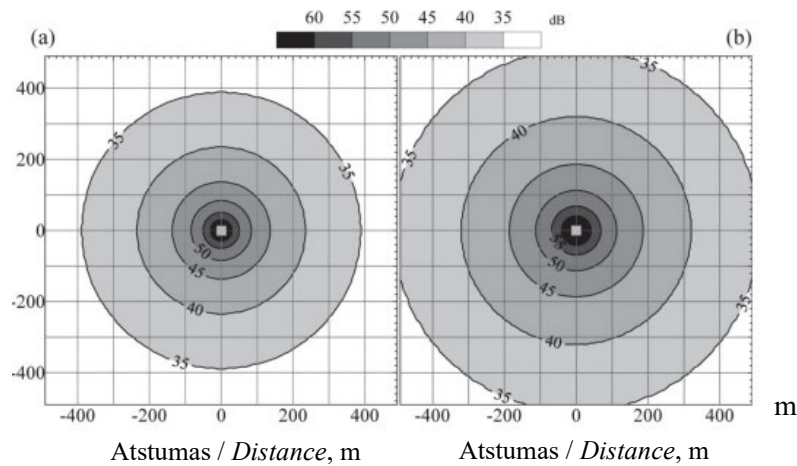
Bendras garso slėgio lygis (L_A) buvo nustatytas susumavus oktavos juostos garso slėgio lygius. Tyrime buvo daroma prielaida, kad nėra triukšmo barjerų ar ekranuojančių konstrukcijų (pvz., pastatų), o žemės paviršius buvo laikomas plokščiu, kietu ir atspindinčiu (Czerwiński ir kt., 2019).

3 ir 4 paveiksluose pateikti kontūriniai žemėlapiai, iliustruojantys garso lygio L_A pasiskirstymą aplink automobilių plovyklą su skirtingu aktyvių plovimo vietų skaičiumi. Buvo daroma prielaida, kad plovyklą veikia nuolat, o visos plovimo vietos yra visiškai išnaudotos. Žemėlapiai rodo vienodus garsumo kontūrus, pavaizduotus skirtingomis spalvomis, atitinkančiomis 35 dB, 40 dB, 45 dB, 50 dB, 55 dB ir 60 dB. 40 dB, 45 dB, 50 dB ir 55 dB garso lygiai atitinka didžiausias leistinas triukšmo poveikio ribas (HN33, 2011).



3 pav. Automobilių plovyklos triukšmo kontūro žemėlapis (Czerwiński ir kt., 2019): a – veikia vienas plovimo stovas, b – veikia du stovai

Fig. 3. Car wash noise contour map (Czerwiński et al., 2019): a – one wash stand operated, b – two stands operated



4 pav. Automobilių plovyklos triukšmo kontūro žemėlapis Czerwiński et al., 2019): a – eksploatuojami keturi standai, b – valdomi aštuoni standai

Fig. 4 Car wash noise contour map (Czerwiński et al., 2019): a – four stands operated, b – eight stands operated

Dėl vienodų sąlygų vietoje garsas simetriškai sklinda visomis kryptimis, todėl kontūriniai žemėlapiai sudaro koncentrinis apskritimus aplink triukšmo šaltinį (automobilių plovyklą). Šių apskritimų skersmuo, atspindintis kiekvieno garsumo kontūro mastą, didėja didėjant aktyvių plovimo vietų skaičiui, nes didėja ir bendras sistemos garso galios lygis. Vadinasi, plėsis ir teritorija, kurią veikia leistinas ribas viršijantis triukšmo lygis.

Išvados

1. Triukšmas yra sudėtinga problema, kurią sudaro įvairios priežastys ir kuri daro skirtingą poveikį. Norint apsaugoti žmonių sveikatą ir kelti gyvenimo kokybę, būtina nuolat sekti triukšmo lygį, taikyti efektyvius valdymo sprendimus.
2. Nustatyta, jog automobilių plovklose didžiausio triukšmo šaltiniai yra aukšto slėgio plovimo įrangos sukeltas triukšmas (triukšmo lygis iki 93,3 dBA) bei aukšto slėgio vandens srovės kontaktas su plaunamais paviršiais, kai triukšmo lygis gali siekti iki 92,9 dBA.
3. Garso slėgio lygis didėja priklausomai nuo veikiančių plovimo vietų skaičiaus, o triukšmo kontūrai formuoja koncentrinis apskritimus aplink triukšmo šaltinį. Didėjant bendram garso galios lygiui, plečiasi ir teritorija, kurioje triukšmo lygis viršija leistinas ribas. Todėl, siekiant sumažinti neigiamą poveikį aplinkai, rekomenduojama jau projektavimo etape numatyti triukšmo mažinimo priemones, tokias kaip triukšmo barjerai.

Literatūra

1. Czerwiński, A., Dziechciowski, Z. (2019). The noise analysis of a touchless car wash. *Росси́йский химический журнал*, 63(3–4), 3–11.
2. Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise – Declaration by the Commission in the Conciliation Committee on the Directive relating to the assessment and management of environmental noise. L189/12–L189/25, 2002.
3. Dziechciowski, Z., Kozień, M. S. (2014). Identification of the Types of Measured Acoustic Modes Inside the Operator's Cab in a Bulldozer. *Archives of Acoustics*, 39(4), 653–663.
4. Fall, C., López-Vázquez, C. M., Jiménez-Moleon, M. C., Bâ, K. M., Díaz-Delgado, C., García-Pulido, D., Lucero-Chavez, M. (2007). Carwash wastewaters: characteristics, volumes, and treatability by gravity oil separation. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 6(2), 175–184.
5. HN 33:2011. *Triukšmo ribiniai dydžiai gyvenamuosiuose ir visuomeninės paskirties pastatuose bei jų aplinkoje*. <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.402074/asr>.
6. ISO 1996-1:2016 *Acoustics – Description, measurement and assessment of environmental noise Basic quantities and assessment procedures*. (2016).
7. ISO 1996-2:2017 *Acoustics – Description, measurement and assessment of environmental noise – Part 2: Determination of sound pressure levels*. (2017).
8. Kierzkowski, M., Law, H. (2017). *Car wash noise and EPA regulation – a case study*. In Proceedings of the ACOUSTICS 2017 Perth: Sound, Science and Society – 2017 Annual Conference of the Australian Acoustical Society, AAS 2017.
9. Lau, W. J., Ismail, A. F., Firdaus, S. (2013). Car wash industry in Malaysia: Treatment of car wash effluent using ultrafiltration and nanofiltration membranes. *Separation and purification Technology*, 104, 26–31.
10. Łuczko, J., Czerwiński, A. (2016). Experimental and numerical investigation of parametric resonance of flexible hose conveying non-harmonic fluid flow. *Journal of Sound and Vibration*, 373, 236–250.
11. Sasi Kumar, N., Chauhan, M. S. (2018). Treatment of car washing unit wastewater – a review. *Water Quality Management: Select Proceedings of ICWEES-2016*, 247–255.
12. SoftDB. (2025). *Industrial Noise: What Is It and How to Control It?* <https://www.softdb.com/soundproofing/industrial-noise/>
13. SVANTEK. (2023). <https://svantek.com/academy/tonality/>
14. Zielińska, E. (2016). The role and importance car washes in Poland. *Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe*, 17.

Marius Godvanas, Ramūnas Mioldažys, Kęstutis Čekavičius

Environmental Noise Caused by Car Washes

This article examines the environmental noise caused by self-service car washes, its sources, and its impact. It analyses both stationary and mobile noise sources and their effects on the environment. The EU Environmental Noise Directive, Lithuanian legal acts, and their requirements for noise assessment are discussed. The article explores noise reduction technologies and their potential application in the car wash sector. Standards are provided to objectively evaluate noise levels. The research results enable the modeling of noise dispersion and the identification of effective noise reduction measures. Currently, there are no unified, universally accepted documents that objectively assess the noise generated by these facilities and its impact not only on the environment but also on human health.

Keywords: Noise, decibels (dB), equivalent, noise exposure, car washes.

Gauta 2025 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2025 m. balandžio mėn.

Marius GODVANAS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedros magistrantas. Adresas: Studentų g. 15a, LT-53362 Akademija, Kauno r., tel.: +370 377 52357, +370 602 45272, el. paštas: marius.godvanas@vdu.lt

Marius GODVANAS. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, master student. Address: Studentų str. 15a, LT-53362 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 377 52357, +370 602 45272, e-mail: marius.godvanas@vdu.lt

Ramūnas MIELDAŽYS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedros docentas. Adresas: Studentų g. 15a, LT-53362 Akademija, Kauno r., tel. +370 614 01137, el. paštas: ramunas.mieldazys@vdu.lt

Ramūnas MIELDAŽYS. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, assoc. prof. Address: Studentų str. 15a, LT-53362 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 614 01137, e-mail: kestutis.cekavicius@mil.lt

Kęstutis ČEKAVIČIUS. Divizijos generolo Stasio Raštikio Lietuvos kariuomenės mokykla. Brigados generolo Kazio Veverskio poligono viršininkas, Ekologijos ir aplinkotyros magistras. Adresas: Gulioniškės k. 1, LT-69387 Kazlų Rūdos sav., tel. +370 682 30900, el. paštas: kestutis.cekavicius@mil.lt

Kęstutis ČEKAVIČIUS. Division General Stasys Raštikis Lithuanian Military School. Chief of the Brigadier General Kazys Veverskis Training Area, Master of Ecology and Environmental sciences. Address: Gulioniškės k. 1, LT-69387 Kazlų Rūdos sav. Phone: +370 370 682 30900, e-mail: kestutis.cekavicius@mil.lt

TRANSPORTO PRIEMONĖS VAIRUOTOJO SĖDĖJIMO POZICIJOS ĮTAKOS MATOMUMUI TYRIMAS

Dovydas Kurlinkus, Tomas Mickevičius

Vytauto Didžiojo universitetas

Straipsnyje analizuojama transporto priemonės vairuotojo sėdėjimo pozicijos įtaka matomumui. Transporto priemonės operatoriui suteikti kuo daugiau informacijos, leidžiančios tinkamai reaguoti į aplinką, apibudinama, kaip viena iš svarbesnių aktyviosios saugos sistemų priemonių. Informaciją apie aplinką transporto priemonės operatoriui suteikia rega, todėl matomumas yra viena iš sričių, užtikrinančių eismo saugumą kelyje. Tyrimas atskleidė, kad aklosios zonos, kurias sukelia automobilio stogo stovai, gali apriboti vairuotojo matomumą. Aklosios zonos išlieka didelė problema, ypač sankryžose, nes gali užgožti kitas transporto priemones. Vairuotojui sunkiau matyti, kas vyksta kairėje pusėje, todėl dėl besikeičiančio matomumo į kairę jų reikšmė saugumui keliuose gali didėti. Matomumui užtikrinti operatorius turi tinkamai sureguliuoti vairuotojo sėdynę, veidrodėlius ir vairo padėtį, kad būtų užtikrintas geriausias matomumas. Tyrimo pastebėta, kad mažiausias uždengimo kampų pokytis, esant 20 % atlošo kampui, buvo fiksuojamas reglamentuotoje (0) pozicijoje, tuo tarpu didžiausias uždengimo kampų pokytis gautas antroje sėdėsenos pozicijoje, daugiau pristumtoje į priekį ir maksimaliai nuleistoje į apačią. Gauti rezultatai parodo, kaip automobilio kėbulo tipas ir sėdėseną turi įtakos vairuotojo matomumui ir saugumui kelyje.

Raktiniai žodžiai: stogo stovas, matomumas, vairuotojas, sėdėjimo pozicija.

Įvadas

Automobilių transporto pagrindinė paskirtis yra saugus, greitas ir patogus keleivių bei krovinių pervežimas. Siekiant sumažinti avarijų riziką vis svarbesnę reikšmę įgauna aktyvusis saugumas pagal sistemą žmogus – transporto priemonė – kelias – eismo aplinka. Tarp šių veiksmų neabejotinai dominuoja dvi pirmosios grandys – žmogus ir transporto priemonė. Transporto priemonės (TP) operatorius yra uždaroje kabinoje ar salone, todėl pirmiausia jam reikia užtikrinti gerą matomumą pro priekinį stiklą. TP operatoriui informaciją apie aplinką suteikia rega (Sagberg ir kt., 2015). Vairuotojo matomumas iš transporto priemonės vertinamas kaip vienas iš pagrindinių veiksmų, įtakojančių eismo saugumą kelyje (Theeuwes, Van Der Horst, 2017). Matomumo užtikrinimas reglamentuojamas tarptautinių standartų, kuriuose nustatomi minimalūs reikalavimai, apibrėžiantys matymo lauko kriterijus transporto priemonėse.

Remiantis statistiniais duomenimis, pastebima, kad aktyvaus eismo saugumo sistemoje mažiausia patikima grandis yra žmogus. Dėl žmogiškojo faktoriaus įvyksta dauguma eismo įvykių. Mokantis vairuoti TP, vairavimo instruktorių dažnai akcentuojamas aklujų zonų stebėjimas. Dviračių transporto priemonių vairuotojai turi didžiausią matymo lauką, kurį maža dalimi gali riboti galvos saugos šalmas. Naudojantis didesnėmis kelių transporto priemonėmis, matymo lauką mažina priekinio stiklo rėmo stovų matmenis, sėdynių galvos atlošai durų rėmai ar veidrodžiai. Šie konstrukciniai komponentai sudaro aklašias zonas, kurios gali apsunkinti vairuotojo galimybę stebėti aplinką ir laiku reaguoti į galimus pavojus. Sudėtingesnė situacija gali būti vertinama krovinių transporto priemonių vairuotojų, kurių vairuojamuose sunkvežimiuose nėra šoninių ir galinių langų, todėl vairuojamo automobilio operatoriui tenka pasitikėti pagalbinėmis matomumą didinančiomis priemonėmis (Summerskill, Marshall, 2015).

Vertinant matomumo sąlygas, neišvengiamai susiduriame su konstrukciniais elementais. Įstiklintų paviršių dydį ir formą riboja techniniai apribojimai – aerodinamika, estetika, dideli stiklai mažina kėbulo standumą ir stiprumą. Didesni įstiklinti paviršiai apsunkina temperatūrinio režimo palaikymą salone. Kita iš sudėtingesnių problemų, susijusių su matomumu, yra racionaliai nustatyti priekinio stiklo rėmo stovų matmenis. Diegiami konstrukciniai sprendimai transporto priemonėse turi užtikrinti nepertraukiamą matomumo lauką, mažinantį avarijų riziką keliuose. Dauguma eismo įvykių įvyksta dėl to, kad vairuotojai nepastebi pėsčiųjų ar kitų transporto priemonių, ypač sankryžose. Statramsčiai, kurie užtikrina automobilio konstrukcinį tvirtumą, tuo pačiu riboja matymo lauką. Šoniniai stiklo stovai sudaro aklašias zonas, kurios gali trukdyti vairuotojui pastebėti pėsčiuosius, dviratininkus ar kitus objektus, ypač posūkių metu į kairę. Dešinysis stovas gali užstoti kelio ženklus (Matsui, Oikawa, 2024).

Vidutinis atstumas tarp žmogaus akių yra apie 65 mm, todėl siauresni stovai gali mažinti aklašias zonas. Šiuolaikinės konstrukcijos dažnai naudoja vairuotojo link siaurėjančius stovus, kurie didina matomumą, tačiau šių sprendimų galimybės yra ribotos dėl saugos standartų ir stiprumui keliamų reikalavimų (Euro NCAP, 2022). Sėdynės padėties reguliavimo galimybės leidžia vairuotojui geriau prisitaikyti prie transporto priemonės konstrukcijos, tačiau ne visada užtikrina gerą matomumą. Mokslininkų atliktas tyrimas parodė, kad vairuotojo sėdynės padėtis tiesiogiai susijusi su saugaus vairavimo elgsena ir nelaimingų atsitikimų rizika (Watanuki et al., 2024). Vairuotojo sėdynės nustatymas į tinkamą padėtį yra labai svarbus užtikrinant būtiną

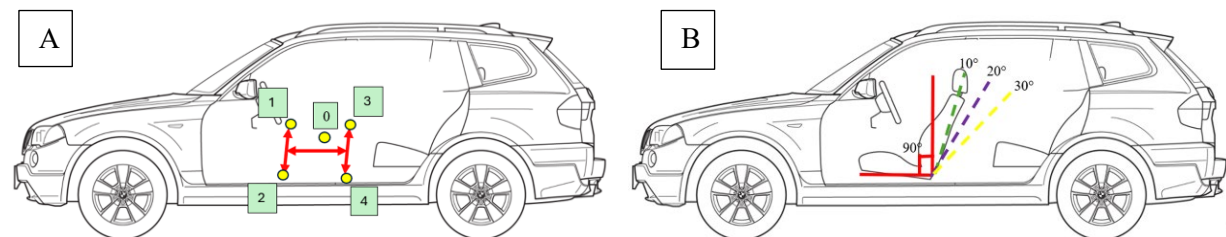
matomumą saugiam vairavimui ir mažinant su vairavimu susijusį nuovargį. Automobilio vairuotojo sėdynė turi įvairias reguliavimo funkcijas. Šios funkcijos sumontuotos aplink vairuotojo sėdynę, kad būtų užtikrintas saugus vairavimas. Netinkamai sureguliuota sėdynė gali sukelti ne tik fizinius nepatogumus, bet ir padidinti eismo įvykių riziką, dėl riboto matomumo ar sunkesnio avarinių veiksmų atlikimo. Norint sumažinti visus šiuos išvardytus veiksnius, būtina ir aktualu spręsti susidariusias problemas ir ieškoti būdų, kad būtų užtikrintas maksimalus saugumas vairuotojams.

Tyrimo tikslas – ištirti vairuotojo sėdėjimo pozicijos įtaką matomumui ir pateikti sprendimus, kurie padėtų sumažinti aklųjų zonų efektą.

Tyrimų metodika

Tyrimė buvo analizuojamas vairuotojo matomumas iš vairuotojo sėdynės, ypatingą dėmesį skiriant aklosioms zonoms, kurias sukelia transporto priemonės konstrukciniai elementai. Regėjimo laukas apibrėžiamas kaip erdvė, kurioje vairuotojas gali tiesiogiai arba per veidrodėlius stebėti aplinką. Vairuotojo sėdėjimo pozicijos įtakos matomumui bandymas buvo atliekamas su manekenu, prie kurio akių lygyje buvo pritvirtinti vertikalaus ir horizontalaus lygio išlaikymo lazeriai. Manekeno lazerių spindulio aukštis buvo prilyginamas vairuotojo 182 cm. ūgio akių aukščiui.

Bandymas buvo atliekamas su SUV kėbulo tipo automobiliu BMW X3. 1 pav. pateiktos tyrinėjamos sėdėsenos pozicijos. Pradžioje vairuotojo sėdėjimo pozicija (0) buvo nustatyta atsižvelgiant į reglamentuojamą sėdėsenos poziciją pagal galiojantį SAE J941_201003 standartą. Atliekant tyrimus (0) pozicijoje, buvo sureguliuota sėdynės horizontali pozicija, nustatytas kojų iki paminos ilgis. Buvo atsižvelgiama, kad stabdžių pamina būtų spaudžiama ne vidurine pėdos dalimi, o akceleratoriaus pėdos viršutine dalimi. Reguluojant poziciją buvo įvertintas kelių atstumas nuo prietaisų skydelio priekinės dalies paliekant ne mažesnę kaip 10 cm atstumą. Kojų sulenkimo kampas buvo 127°. Vertikalus sėdynės reguliavimas buvo pakeltas į viršų, kad akys būtų aukščiau pusę vairo, visiškai matytųsi priekinis stiklas ir prietaisų skydelis. Vairas nukreiptas krūtinės kryptimi. Sėdynės atlošo reguliavimo kampas buvo 20°. Ištiesus ranką ties vairo viršumi, padėtis buvo lygi delno centrui. Atliekant bandymus buvo laikomasi, kad atstumas nuo vairo iki krūtinės būtų ne mažesnis 25 cm.

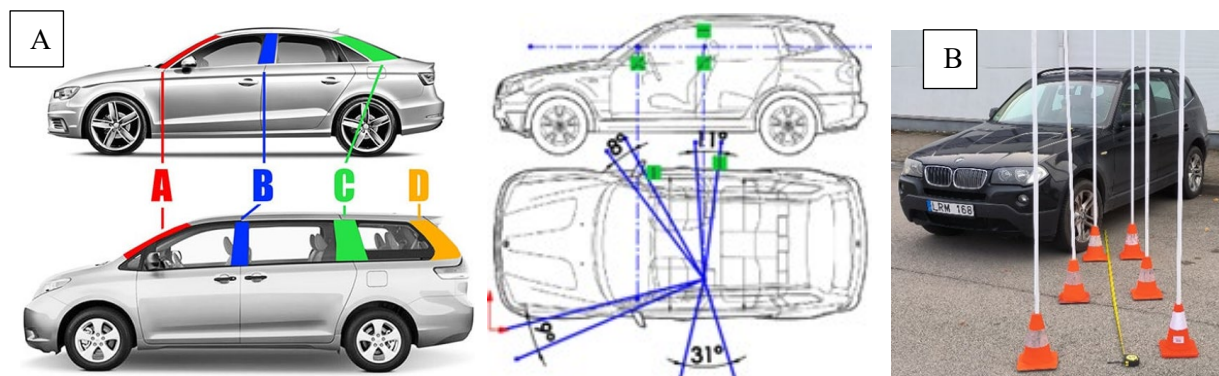


1 pav. **A** poz. – maksimaliai į priekį ir maksimaliai į viršų, **2** poz. – maksimaliai į priekį ir maksimaliai į apačią, **3** poz. – maksimaliai į galą ir maksimaliai į viršų, **4** poz. – maksimaliai į galą ir maksimaliai į apačią, **0** poz. – SAE J1517 reglamentuota sėdėjimo pozicija. **B** – kiekvienai nustatytai pozicijai sėdynės atlošo didinimas 10°, 20°, 30°

Fig. 1. **A** 1 pos. – Maximum forward and maximum up, 2 pos. – Maximum forward and maximum downward, 3 pos. – Maximum to the back and maximum to the top, 4 pos. – Maximum to the back and maximum to the bottom, 0 pos. – SAE J1517 Regulated seating position. **B** – For each set position, increasing the seat back by 10°, 20°, 30°

Tyrimė matavimas buvo atliekamas su priekiniais stogo stovais žymimais (A) ir vidiniais (B) (2 pav. A). Matavimai buvo atliekami kiekvienoje nustatytoje pozicijoje, naudojant prie manekeno pritvirtytą kampamatį. Lazerio spinduliais buvo nustatomas statramsčio aklos zonos užstojo kampas, keičiama vairuotojo sėdynės pozicija ir matavimai pakartojami. Viso buvo vertinamos penkios vairuotojo sėdėjimo pozicijos bei kiekvienoje iš jų didinamas sėdynės atlošo kampas 10°, 20° ir 30° (1 pav. B).

Lazerio horizontaliu spinduliu buvo nustatomas aklosios zonos plotis, kuris buvo vertinamas 1 m, 2 m, 3 m, 5 m ir 10 m atstumu ties užstojo zonos riba (2 pav. B). Aklosios zonos plotas išreikštas kvadratiniais metrais, buvo apskaičiuotas taikant trikampio ploto skaičiavimo formulę. Gauti duomenys buvo susisteminti „Microsoft Excel 2019“ programa ir pavaizduoti grafiškai. Straipsnyje pateikiami stogo stovo (A), 20Æ sėdynės atlošo kampo sėdėjimo pozicijos rezultatai.

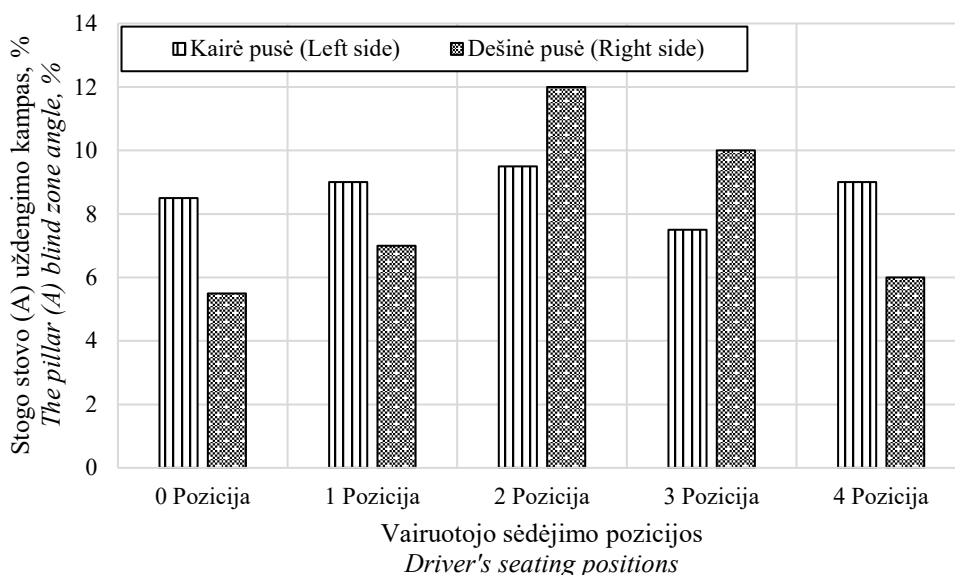


2 pav. Stogo stovų aklujų zonų kampų ir pločio matavimas

Fig. 2. Measuring the blind area angles and invisible area

Rezultatai ir aptarimas

3 pav. pateikti priekinio kairės ir dešinės pusės stogo stovo (A) kampų matavimo duomenys. Analizuojant gautus duomenis matyti, kad priekinio kairės pusės (A) stogo stovo didžiausias uždengimo kampas $9,5^\circ$ buvo gautas antroje sėdėsenos pozicijoje. Tuo tarpu mažiausias uždengimo kampas $7,5^\circ$ pastebimas trečioje sėdėsenos pozicijoje su 20° atlošo kampu. Gautuose tyrimų rezultatuose galima pastebėti, kad matomumo laukas tiesiogiai priklauso nuo vairuotojo sėdėjimo pozicijos. Netinkamas vairuotojo sėdėsenos suregulavimas tampa dažna avarijų sukėlimo priežastimi. Automobilių gamintojai apibrėžia optimalią sėdėjimo poziciją pagal operatoriaus akių padėties vietas.

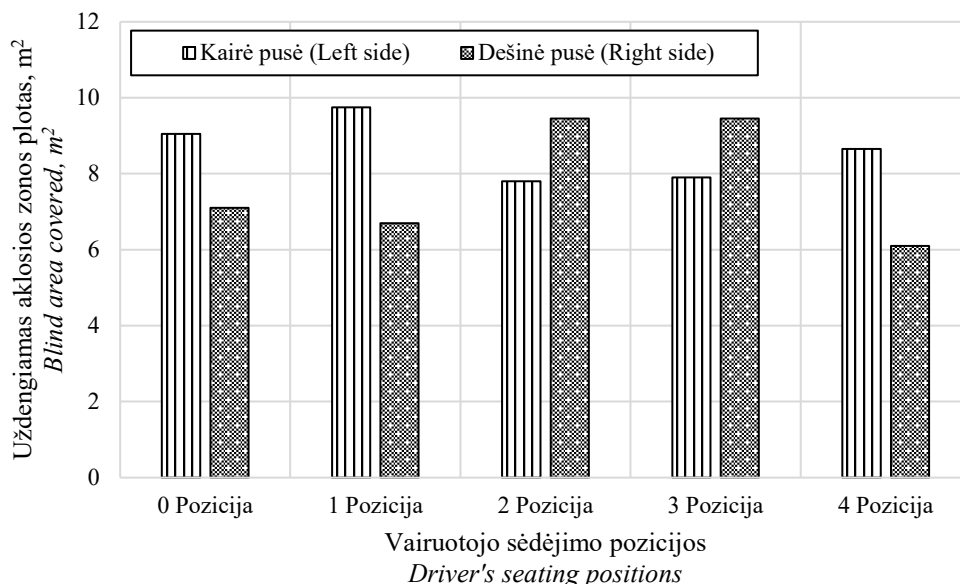


3 pav. Priekinio kairės pusės (A) stogo stovo uždengimo kampų matavimai, esant 20° atlošo kampui

Fig. 3. Data on the cover angles of the front left side (A) pillar, at a backrest angle of 20°

Iš pateiktų dešinio priekinio (A) stogo stovo matomumo uždengimo kampų, priklausomai nuo vairuotojo sėdėjimo pozicijos, matyti, kad didžiausias uždengimo kampas 12° , buvo fiksuojamas antroje pozicijoje su 20° atlošo kampu. Mažiausias uždengimo kampas $5,5^\circ$ buvo gautas reglamentuojamoje (0) sėdėsenos pozicijoje. Kaip matyti, mažiausias uždengimo kampų pokytis, esant 20° atlošo kampui, buvo fiksuojamas reglamentuotoje (0) pozicijoje, tuo tarpu didžiausias uždengimo kampų pokytis gautas antroje sėdėsenos pozicijoje, daugiau pristumtoje į priekį ir maksimaliai nuleistoje į apačią. Iš gautų tyrimo rezultatų galima daryti prielaidą, kad matomumo laukas glaudžiai susijęs su vairuotojo sėdėseną, todėl tinkamas sėdynės suregulavimas yra būtinas saugiam vairavimu.

4 pav. pateikti priekinio kairės ir dešinės pusės (A) stogo stovo aklosios zonos ploto duomenys, išreikšti kvadratiniais metrais 10 metrų atstumu. Analizuodami pateiktą grafiką matome, kad esant 20° atlošo kampui ir esant vairuotojo 2, 3 ir 4 pozicijos sėdėsenai, priekinio kairės stogo stovo aklosios zonos plotai atitinkamai 16 %, 14 % ir 4 % mažėja, palyginti su reglamentuojama vairuotojo sėdėsenos pozicija. Didžiausias priekinio kairės stogo stovo aklos zonos plotas $9,7 \text{ m}^2$ buvo gautas vairuotojo sėdėsenos pirmoje pozicijoje. Mažiausias plotas $7,5 \text{ m}^2$ fiksuotas antroje pozicijoje.



4 pav. Priekinio kairės pusės (A) stogo stovo aklosios zonos plotas 10 metrų atstumu, esant 20° atlošo kampui

Fig.4. Front left side (A) pillar blind zone areas 10 meters distance, at a backrest angle of 20°

Vertinant priekinio dešinės pusės (A) stogo stovo aklosios zonos plotus, priklausomai nuo vairuotojo sėdėsenos pozicijos, buvo pastebėta, kad didžiausias uždengiamas plotas buvo gautas antroje ir trečioje vairuotojo sėdėsenos pozicijose. Iš paveikslo matyti, kad mažiausias priekinio dešinės pusės (A) stogo stovo aklosios zonos plotas, buvo fiksuojamas ketvirtoje pozicijoje. Analizuodami pateiktą grafiką matome, kad esant 20° atlošo kampui ir esant vairuotojo 2 ir 3 pozicijos sėdėsenai, priekinio dešinės stogo stovo aklosios zonos plotai 33 % didėja, palyginti su reglamentuojama vairuotojo sėdėsenos pozicija.

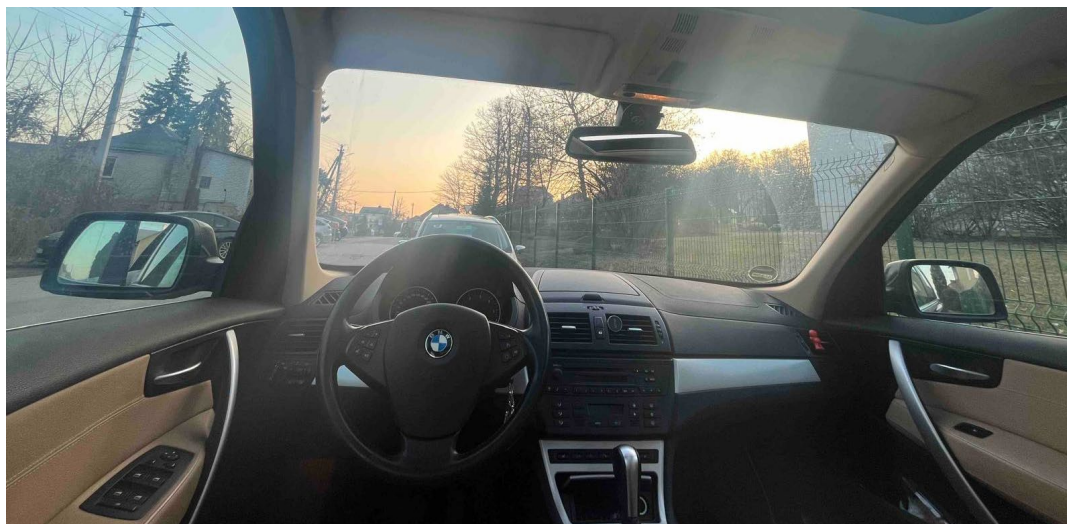
Mažiausias priekinio kairės ir dešinės pusės (A) stogo stovo uždengiamo aklosios zonos ploto pokytis, esant 20° atlošo kampui, buvo fiksuojamas ketvirtoje pozicijoje, tuo tarpu didžiausias uždengimo kampų pokytis gautas trečioje sėdėsenos pozicijoje daugiau pristumtoje į galą ir maksimaliai pakeltoje į viršų. Esant vairuotojo 4 pozicijos sėdėsenai, daugiau pristumtoje į galą ir nuleistoje į apačią, priekinio stogo stovo aklosios zonos plotas pokytis gautas 16 % mažesnis, lyginant su reglamentuojama vairuotojo sėdėsenos pozicija.

5 ir 6 pav. pateiktas iš vairuotojo vietos matymo lauko vaizdas priklausomai nuo sėdėsenos pozicijos. Vertinant vairuotojo sėdėsenos matymo lauką, esant ketvirtai vairuotojo sėdėjimo pozicijai, galima pastebėti, kad ši pozicija turi įtakos priekiniam matymo laukui (6 pav.). Mažesnis regėjimo laukas gali prailginti reakcijos laiką kritinėse situacijose. Galima daryti prielaidą, kad aukščiau ar per žemai sėdintis vairuotojas gali turėti ribotą matomumą per priekinį stiklą ar veidrodėlius, tuo tarpu arčiau vairo esanti vairuotojo sėdėsenos pozicija gali apriboti galimybę stebėti kelio ženklus ir šviesoforus.



5 pav. Vairuotojo vietos matymo lauko vaizdas esant reglamentuotai (0) vairuotojo sėdėsenos pozicijai

Fig. 5. Driver's place of vision image from the reglamented (0) driver seating position



6 pav. Vairuotojo vietos matymo lauko vaizdas esant ketvirtai vairuotojo sėdėsenos pozicijai

Fig. 6. Driver's place of vision image from the fourth driver seating position

Iš gautų tyrimo rezultatų galima teigti, kad matymo laukas glaudžiai susijęs su vairuotojo sėdėseną, todėl tinkamas sėdynės suregulavimas yra būtinas saugiam vairavimui.

Išvados

1. Priekinio kairės pusės (A) stogo stovo didžiausias uždengimo kampas $9,5^\circ$ buvo gautas antroje sėdėsenos pozicijoje. Tuo tarpu mažiausias uždengimo kampas $7,5^\circ$ pastebimas trečioje sėdėsenos pozicijoje su 20° atlošo kampu.
2. Dešinio priekinio (A) stogo stovo didžiausias uždengimo kampas 12° buvo fiksuojamas antroje pozicijoje su 20° atlošo kampu. Mažiausias uždengimo kampas $5,5^\circ$ buvo gautas reglamentuojamoje (0) sėdėsenos pozicijoje.
3. Mažiausias uždengimo kampų pokytis, esant 20° atlošo kampui, buvo fiksuojamas reglamentuotoje (0) pozicijoje, tuo tarpu didžiausias uždengimo kampų pokytis gautas antroje sėdėsenos pozicijoje, daugiau pristumtoje į priekį ir maksimaliai nuleistoje į apačią.
4. Mažiausias priekinio kairės ir dešinės pusės (A) stogo stovo uždengiamo aklosios zonos ploto pokytis, esant 20° atlošo kampui, buvo fiksuojamas ketvirtoje pozicijoje, didžiausias uždengimo kampų pokytis gautas trečioje sėdėsenos pozicijoje, daugiau pristumtoje į galą ir maksimaliai pakeltoje į viršų.
5. Matomumo laukas yra glaudžiai susijęs su vairuotojo sėdėseną, todėl tinkamas sėdynės suregulavimas yra būtinas saugiam vairavimui, netinkama vairuotojo pozicija gali būti viena iš avarijų priežasčių, nes sumažina regėjimo lauką ir gali prailginti reakcijos laiką.

Literatūra

1. Baba, K., Kaede, K., Watanuki, K. (2023). Biometric Information-Based Optimization of Driving Seat Position to Promote Safe Driving Behavior. In Shuichi Fukuda (eds.), *Affective and Pleasurable Design*. AHFE (2023) International Conference. AHFE Open Access, vol 71. AHFE International, USA. <http://doi.org/10.54941/ahfe1003242>
2. Euro, N. C. A. P. (2022). Euro NCAP Vision 2030: a safer future for mobility. *European New Car Assessment Programme (Euro NCAP)*.
3. ISO 4513. (2022). *Road Vehicles – Visibility – Method for Establishment of Eyellipses for Driver's Eye Location*. ISO: Geneva, Switzerland.
4. Matsui, Y., & Oikawa, S. (2024). Effect of A-Pillar Blind Spots on a Driver's Pedestrian Visibility during Vehicle Turns at an Intersection. *Stapp Car Crash Journal*, 68(2024-22-0002), 14–30.
5. No, R. *125 of the Economic Commission for Europe of the United Nations (UN/ECE) – Uniform Provisions Concerning the Approval of Motor Vehicles with Regard to the Forward Field of Vision of the Motor Vehicle Driver: ECE R125*. 2010.
6. SAE International. (2010). *Motor Vehicle Drivers' Eye Locations*. https://www.sae.org/standards/content/j941_201003/?src=j1100_200911 (žiūrėta 2025-01-27)
7. Sagberg, F., Selpi, Bianchi Piccinini, G. F., & Engström, J. (2015). A review of research on driving styles and road safety. *Human factors*, 57(7), 1248–1275.

8. Summerskill, S., & Marshall, R. (2015). The development of a truck concept to allow improved direct vision of vulnerable road users by drivers. *Procedia Manufacturing*, 3, 3717–3724.
9. Theeuwes, J., & Van Der Horst, R. (2017). *Designing safe road systems: A human factors perspective*. CRC Press.

Dovydas Kurlinkus, Tomas Mickevičius

A Study of Visibility Influence on Vehicle Driver's Seating Position

This article analyses the effect of the driver's seating position on visibility. Providing the driver with as much information as possible to react appropriately to his environment is described as one of the most important measures of active safety systems. The information about the environment provided to the driver by vision makes visibility one of the areas of road safety. The study has shown that blind spots caused by car roof mounts can limit the driver's visibility. Blind spots remain a major problem, particularly at junctions, where they can obscure other vehicles. They make it difficult for the driver to see what is happening to the left and their importance to road safety can increase as visibility changes to the left. Visibility requires the driver to adjust the seat, mirrors and steering wheel position to get the best view. The study showed that the lowest change in blockage angles at 20 % recline was recorded in the regulated (0) position, while the largest change in blockage angles was recorded in the second seat position, with the seat more forward and the seat lowered as far as possible. The results show that the body type of the car and the seating position have an impact on the driver's visibility and safety on the road.

Keywords: Pilar, blind spots, visibility, driver, seating position.

Gauta 2025 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2025 m. balandžio mėn.

Dovydas KURLINKUS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Inžinerijos fakulteto Mechanikos, energetikos ir biotechnologijų inžinerijos katedros magistrantas. Adresas: Studentų g. 15A, LT-53362 Akademija, Kauno r., el. paštas: dovydas.kurlinkus@vdu.lt

Dovydas KURLINKUS. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Mechanical, Energy and Biotechnology Engineering, Master student. Address: Studentų str. 15A, LT-53362 Akademija, Kaunas dist., e-mail: dovydas.kurlinkus@vdu.lt

Tomas MICKEVIČIUS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Inžinerijos fakulteto Mechanikos, energetikos ir biotechnologijų inžinerijos katedros lektorius. Adresas: Studentų g. 15A, LT-53362 Akademija, Kauno r., tel. +370 616 45666, el. paštas: tomas.mickevicius1@vdu.lt

Tomas MICKEVICIUS. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Mechanical, Energy and Biotechnology Engineering, lector. Address: Studentų str. 15A, LT-53362 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 616 45666, e-mail: tomas.mickevicius1@vdu.lt

PATOBULINTO FRONTALINIO KRAUTUVO VIRPESIŲ ĮTAKOS TRAKTORIAUS RĖMUI TYRIMAS

Jonas Braška, Eglė Jotautienė, Shankar Bhandari

Vytauto Didžiojo universitetas

Intensyvėjant žemės ūkio veikliai nuolat tobulinama žemės ūkio technika. Vienas plačiausiai ūkiuose naudojamų padargų yra frontalinis krautuvas. Šis krautuvas yra patrauklus ūkininkams, nes lengvai pritaikomas prie traktoriaus ir neriboja traktoriaus universalumo.

Tyrimo tikslas – ištirti patobulinto frontalinio krautuvo sukkeliamus virpesius traktoriaus rėmui ir operatoriui. Krautuvo patobulinimui pritaikytas hidraulinis akumulatorius. Tyrimas atliktas prie skirtingų krautuvo apkrovų – 180 kg, 312 kg apkrovų ir be apkrovos su išjungtu ir įjungtu hidrauliniu akumulatoriumi. Virpesiai matuoti vibracijų matavimo įranga jutiklius pritvirtinus traktoriaus rėmo gale.

Tyrimo rezultatai parodė, kad kai krautuvas yra minimaliai apkrautas, esminio skirtumo tarp įjungto ir išjungto hidraulinio akumulatoriaus nėra. Didžiausios traktoriaus rėmo virpesių vertės buvo išmatuotos, kai krautuvas apkrautas 312 kg apkrova ir hidraulinis akumulatorius išjungtas. Gauti rezultatai parodė, kad įjungto hidraulinio akumulatoriaus suteikiamos amortizacijos pakanka frontalinio krautuvo rėmo ir operatoriaus kabinos vibracijoms sumažinti.

Raktiniai žodžiai: frontalinis krautuvas, hidraulinis akumulatorius, vibracijos.

Įvadas

Traktorius – tai universali darbo mašina, kuria galima derinti su įvairiais žemės ūkio, statybų ar kelių priežiūros padargais. Intensyvėjant žemės ūkio veikliai, kuriami nauji ir tobulinami esami padargai, taip plečiant traktoriaus panaudojimo galimybes.

Žemės ūkyje vienas populiariausių padargų traktoriams yra frontalinis krautuvas. Krautuvas – tai tam tikros rūšies traktoriaus priedas, kurio priekyje sumontuotas platus kaušas yra prijungtas prie dviejų strėlių (svirties) galo, kad būtų galima pasemti nuo žemės birias medžiagas, tokias kaip purvas, smėlis ar žvyras, ir perkelti iš vienos vietos į kitą nestumiant medžiagos per dangą (Solis Tractors, 2022). Frontalinis krautuvas yra patrauklus ūkininkams, nes jį galima pritaikyti turimam ūkyje traktoriui ir tai neriboja traktoriaus universalumo. Nereikia pirkti brangaus teleskopinio ar atskiro krautuvo, jeigu nėra poreikio aukštai kelti krovinio. Paprastai frontaliniai krautuvai gali pakelti iki 2 400 kilogramų masės krovinį į 4,8 metro aukštį (John Deere, 2023). Paprasčiausią krautuvą sudaro rėmas, kuris yra tvirtinamas prie traktoriaus rėmo, dvi strėlės, sujungtos skersiniu vamzdžiu, hidraulinė sistema ir įtaisas gale. Įtaisas gali būti kaušas, šieno ar siloso ritinių griebtuvas arba smaigas. Aukštesnės klasės krautuvai turi papildomas siją ant šarnyrų, kurios jungia įtaiso vertimo mechanizmą su strėle kitame gale. Keliant krovinį nereikia atskirai koreguoti kaušo pavirtimo kampo. Ši konstrukcija apsaugo, kad keliant krovinį kaušu pavirtęs kaušas neišpiltų krovinio ant traktoriaus. Vietoj hidraulinių svirčių būna įdėta viena rankelė, kuri valdo elektrinius vožtuvus. Šiuolaikiniuose frontoliniuose krautuvuose yra sumontuota amortizacijos įranga.

Kai nei traktorius, nei frontalinis krautuvas neturi papildomų amortizacijos elementų, didžiausia dalis smūgių sugerama traktoriaus padangomis (Jiang ir kt., 2019). Vežant didelės masės svorį per nelygų paviršių, dėl amortizacijos trūkumo padangos patiria deformacijas. Taip keičiasi spindulys tarp ašies rato ir dangos paviršiaus. Traktoriaus transmisijoje atsiranda kinematiniai nesutapimai, kurie spartina padangų dėvėjimąsi, ypač važiuojant kieta danga (Oh ir kt., 2022). Dalį smūgio energijos sugeria ir pati krautuvo konstrukcija. Krautuvo konstrukciją yra veikia lenkimo įtempiai ir nuo nuovargio krautuvo rėme atsiranda įtrūkimai ir lūžiai. Traktoriai su frontaliniais keltuvas taip pat patiria visos mašinos vertikalios svyravimus važiuojant kelio danga. Vienas iš sprendimų yra pritaikyti priekinei ašiai amortizaciją (Layton ir kt., 2014). Tačiau tai yra gana brangus ir sudėtingas inžinerinis sprendimas. Kitas sprendimas yra amortizuoti patį frontalinį krautuvą, taip eliminuojant traktoriaus svyravimus važiuojant keliu, sumažinant smūgines apkrovas keltuvo rėmui bei pagerinant komfortą.

Tyrimų metodika

Tyrimui buvo naudojamas „Foton 904“ ratinis traktorius su „TZ10C-824“ frontaliu krautuvu (90HP 4WD 904 tractor..., 2025). Prie krautuvo buvo prikonstruotas „Fox Opera Mi Italy“ hidraulinis akumulatorius. Hidraulinis akumulatorius buvo pripildytas 50 barų azoto (Idropneumatic Accumulators and Pulsation Dampeners, 2025), prijungtas prie keltuvo hidraulinės sistemos su čiaupu, kad būtų galima jį išjungti.



1 pav. a – „Foton 904“ traktorius su krautuvu b – ir hidrauliniu akumulatoriumi

Fig. 1. a – „Foton 904 tractor“ with loader, b – and attached hydraulic accumulator

Tyrimui buvo naudojama „Bruel & Kjaer 3050-A040“ vibracijų matavimų įranga. Įranga skirta matuoti garso ir mechaninius virpesius. Matavimai atlikti naudojant „B&K 4526“ vibracijų jutiklį.



2 pav. „B&K 4526“ vibracijų jutiklis (Type 4526 CCLD Accelerometer, 2025)

Fig. 2. „B&K 4526“ vibration sensor (Type 4526 CCLD Accelerometer, 2025)

Vibracijų jutiklio techniniai parametrai pateikti 1 lentelėje.

1 lentelė. „B&K 4526“ parametrai (Product data 4/6-ch. Input Module, 2013)

Table 1. „B&K 4526“ parameters (Product data 4/6-ch. Input Module, 2013)

Dažnių diapazonas Frequency diapazone	0,3–8000 Hz
Temperatūra Temperature	-54–180 °C
Svoris Weight	5 g
Jautrumas Sensitivity	10 mV:ms-2
Jungtis Connector	10–32 UNF
Signalų išėjimas Signal output	CCLD
Rezonanso dažnis Resonance frequency	25 kHz

Tyrimui buvo naudotas krautuvo žnyplės be apkrovos, tada panaudotos 180 ir 312 kg apkrovos, 3,2 metro ilgio liniuotė ir universalus manometras padangų slėgiui matuoti (Manometras padangoms universalus, 2025).

Prieš tyrimą manometru patikrinamas padangų slėgis. Priekinių padangų slėgis buvo 2,5 bar, galinių – 1,8 bar. Nustatomos pastovios traktoriaus variklio apskukos – 700 aps./min. Įtvirtinama liniuotė 0,2 m gylyje. Liniuotė yra 3 m aukščio, turinti 1 m aukštyje atžymą. Vibracijų jutiklis tvirtinamas prie traktoriaus priekabos kablo gale, jog būtų išmatuotos krautuvo perduodamos vibracijos traktoriaus rėmui ir kabinai.



(a)

(b)

3 pav. Jutiklio tvirtinimas: a – kablo vieta traktoriuje (už rato), b – pritvirtinimas prie kablo

Fig. 3. Sensor fixed place: a – place in the tractor, b – attachment to the hitch

Krautuvas su 312 kg ritiniu pakeliamas į 3 m aukštį ir leidžiamas iki 1 m aukščio, visiškai atidarius skirstytuvo vožtuvą, kad krautuvas leistųsi greičiau. Išmatuojamas laikas keltuvui nusileisti. Tuo pačiu metu matuojamos vibracijos ir momentas, kada krautuvas sustoja bei sujuda traktoriaus galas.



4 pav. Krautuvu keliamas 312 kg ritinys į 3 m aukštį

Fig. 4. Loader rises the 312 kg bale to a 3 meter height



5 pav. Krautuvas staigiai nuleidžia 312 kg ritinį į pradinį 1 m aukštį

Fig. 5. Then loader drops the 312 kg bale to a start position, which is 1 meter

Tyrimas atliekamas su 3 skirtingomis apkrovomis:

- ☐ tuščias krautuvas (tik su žnyplėmis);
- ☐ su 180 kg apkrova;
- ☐ su 312 kg apkrova.

Su kiekviena apkrova atliekami 6 nuleidimai – 3 nuleidimai su išjungtu hidrauliniu akumulatoriumi, 3 su įjungtu hidrauliniu akumulatoriumi.

Rezultatai ir aptarimas

Buvo matuotas laikas, reikalingas keltuvui nusileisti be krovinio ir sukalibruotas vibracijų matavimo įrenginys, jog matuotų ir išsaugotų duomenis 10 sekundžių laiko tarpe. Toliau buvo atliekamas tyrimas pagal

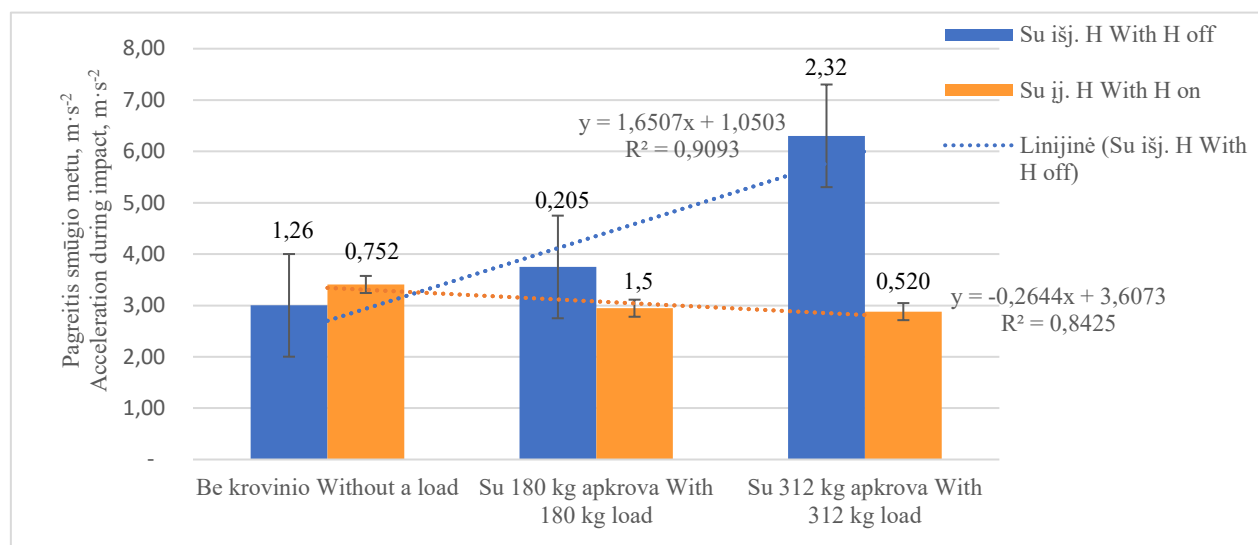
metodiką. Buvo fiksuojami maksimalūs traktoriaus rėmo pagreičiai smūgio metu, kai besileidžiantis krautuvą yra staiga sustabdomas. Rezultatai pateikiami 2 lentelėje.

2 lentelė. Traktoriaus rėmo maksimalūs pagreičiai smūgio metu

Table 2. Tractor frame peak accelerations during impact

	Pagreitis smūgio metu, $m \cdot s^{-2}$ <i>Acceleration on impact, $m \cdot s^{-2}$</i>			Vidurkis <i>Average</i>	Standartinis nukrypis <i>Standard deviation</i>	Vid. standartinis nuokrypis <i>A. Standard deviation</i>	Stjudento k. <i>Student coefficient</i>	Paklaida <i>Error</i>
	1 pak. <i>1 Take</i>	2 pak. <i>2 Take</i>	3 pak. <i>3 Take</i>					
Be krovinio, H išj. <i>Without load, H off.</i>	2,418	3,350	3,238	3,00	0,509	0,294	4,303	1,264
Be krovinio, H įj. <i>Without load, H on.</i>	3,680	3,083	3,464	3,41	0,303	0,175	4,303	0,752
Su 180 kg apkrova, H išj. <i>With 180 kg load, H off.</i>	3,723	3,685	3,843	3,75	0,082	0,048	4,303	0,205
Su 180 kg apkrova, H įj. <i>With 180 kg load, H on.</i>	3,539	2,939	2,362	2,95	0,588	0,340	4,303	1,462
Su 312 kg apkrova, H išj. <i>With 312 kg load, H off.</i>	6,241	5,404	7,265	6,30	0,932	0,538	4,303	2,315
Su 312 kg apkrova, H įj. <i>With 312 kg load, H on.</i>	2,661	3,078	2,901	2,88	0,209	0,121	4,303	0,520

Taip pat rezultatai buvo pavaizduoti grafike 6 pav.



6 pav. Traktoriaus rėmo pagreičio grafikas smūgio metu skirtingomis sąlygomis

Fig. 6. Acceleration graph of frame during impact on different situation

Grafike galima matyti, jog su išjungtu hidrauliniu akumulatoriumi, didėjant krovinio masei, traktoriaus rėmo didžiausio pagreičio reikšmė smūgio metu turi tendenciją kilti eksponentiškai, tai reiškia jog didėjant apkrovai, smūgis tenkantis traktoriaus rėmui, kabinai ir operatoriui didėja (6 pav.). Tuo tarpu su įjungtu hidrauliniu akumulatoriumi traktoriaus rėmo didžiausio pagreičio reikšmė smūgio metu turi tendenciją mažai kisti, netgi truputį sumažėja didėjant apkrovai. Tai reiškia, kai akumulatoriumis įjungtas, apkrautas krautuvą perduos ne didesnę smūgį traktoriaus rėmui ir operatoriui negu neapkrautas krautuvą.

Išvados

1. Mažiausias maksimalaus traktoriaus rėmo pagreičio smūgio metu skirtumas tarp įjungto ir išjungto hidraulinio akumulatoriaus buvo fiksuotas, kai krautuvą yra be apkrovos – $3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ su įjungtu ir $3,41 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ išjungtu hidrauliniu akumulatoriumi.

2. Didžiausias maksimalaus traktoriaus rėmo pagreičio smūgio metu skirtumas tarp įjungto ir išjungto hidraulinio akumulatoriaus buvo fiksuotas, kai krautuvą buvo apkrautas 312 kg apkrova – $6,30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ su įjungtu ir $2,88 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ išjungtu hidrauliniu akumulatoriumi.
3. Gauti rezultatai parodė, kad įjungto hidraulinio akumulatoriaus suteikiamos amortizacijos pakanka frontalinio krautuvo vibracijoms, perduodamoms į traktoriaus rėmą ir operatoriaus kabinai, sumažinti.

Padėka

Kirdonių žemės ūkio bendrovei už prisidėjimą prie tyrimo atlikimo.

Literatūra

1. *90HP 4WD 904 tractor Foton Lovol TD904 tractor*. (n. d.). [žiūrėta 2025-03-04] <https://www.cndieselengine.com/china-tractors/foton-lovol-tractor/90hp-4wd-904-tractor-foton-lovol-td904.html>
2. *Idropneumatic Accumulators and Pulsation Dampeners > Bladder > HB*. (n. d.). [Interaktyvus], [žiūrėta 2025-03-04]. <https://www.fox.it/inglese/product-details/idropneumatic-accumulators-and-pulsation-dampeners/bladder/hb/7404/>
3. Jiang, W., Zhou, J., Xu, H., Liu, S., Wang, C., & Dong, J. (2019). Research of the Influence of Road Excitation on Human Body Comfort under the Harvester Working Condition. *Applied Engineering in Agriculture*, 35(4), 495–502, [žiūrėta 2025-03-04]. <https://doi.org/10.13031/aea.13315>
4. John Deere. [interaktyvus], [žiūrėta 2025-02-24]. <https://www.deere.com/en/loaders/front-end-loaders-for-tractors/>
5. Layton, A., Krogmeier, J. V., & Buckmaster, D. R. (2014). *Toward understanding the errors in online Air-Ride suspension based weight estimation*. ASABE. [žiūrėta 2025-03-04]. <https://elibrary-asabe-org.ezproxy.vdu.lt:2443/azdez.asp?search=1&JID=5&AID=45020&CID=mon2014&T=1&urlRedirect=>
6. *Manometras padangoms universalus | 7.5 Bar (TG15S)*. (n. d.). IRANKIUGAMA.LT | Internetinė parduotuvė [interaktyvus] [žiūrėta 2025-03-04]. <https://www.irankiugama.lt/padangu-slegio-matuokliai-priputimo-pistoletai/manometras-padangoms-universalus-75-bar-tg15s>
7. Oh, J., Im, D., Han, H., Choi, K., Cho, S., Roh, S., Kim, H., & Park, Y. (2022). Optimization of cab suspension using Tractor-Ride vibration Simulation model. *Journal of the ASABE*, 65(4), 723–737 [žiūrėta 2025-03-04]. <https://doi.org/10.13031/ja.14758>
8. *Product data 4/6-ch. Input Module LAN-XI 51.2 kHz Type 3050*. (2013) [žiūrėta 2025-03-04]. <https://www.bksv.com/media/doc/bp2330.pdf>
9. Solis Tractors. (2022). *Buy Front End Loader for Your Tractor – Solis Tractor Implements*. [Interaktyvus] [žiūrėta 2025-02-24]. <https://solisworld.com/complete-implements-solution/front-end-loader/>
10. *Type 4526 CCLD Accelerometer | Brüel & Kjær*. (n. d.). Brüel & Kjær | B&K | Sound and Vibration. [žiūrėta 2025-02-24]. <https://www.bksv.com/es/transducers/vibration/accelerometers/ccl-d-iepe/4526>

Jonas Braška, Eglė Jotautienė, Shankar Bhandari

Study of the Impact of Improved Front Loader Vibrations on The Tractor Frame

As agricultural activities intensify, agricultural machinery is continuously improved. One of the most widely used implements on farms is the front loader. This loader is attractive to farmers because it is easily adaptable and does not limit the tractor's versatility.

The aim of this study is to investigate the vibrations caused by an improved front loader on the tractor frame and the operator's cabin. A hydraulic accumulator was applied to enhance the loader. The study was conducted under different loader loads — without load, with a 180 kg load, and with a 312 kg load— both with the hydraulic accumulator turned off and on. Vibrations were measured using vibration measurement equipment, with sensors attached to the rear of the tractor frame.

The results of the study showed that when the loader was minimally loaded, there was no significant difference between the hydraulic accumulator being on or off. The highest vibration values of the tractor frame were measured when the loader was loaded with 312 kg and the hydraulic accumulator was turned off. The obtained results indicated that the damping effect provided by the activated hydraulic accumulator was sufficient to reduce vibrations in both the front loader frame and the operator's cabin.

Keywords: Front loader, hydraulic accumulator, vibrations.

Gauta 2025 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2025 m. balandžio mėn.

Jonas BRAŠKA. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, master student. Address: Studentų str. 15a, LT-53362 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 650 16029, e-mail: jonas.braska@vdu.lt

Eglė JOTAUTIENĖ. VDU ŽŪA Inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedros profesorė; Adresas: Studentų g. 15a, LT-53362 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52204, el. paštas: Egle.Jotautiene@vdu.lt

Eglė JOTAUTIENĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, professor. Address: Studentų g. 15a, LT-53362 Akademija, Kaunas r. Phone: +370 377 52204, e-mail: Egle.Jotautiene@vdu.lt

Shankar BHANDARI. VDU ŽŪA Inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedra. Adresas: Studentų g. 15a, LT-53362 Akademija, Kauno r., tel. +370 37 752204, el. paštas: Shankar.Bhandari@vdu.lt

Shankar BHANDARI. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety. Address: Studentų str. 15a, LT-53362 Akademija, Kaunas r., tel. +370 377 52204, e-mail: Shankar.Bhandari@vdu.lt

AUKŠTESNIŲ GYVŪNŲ GEROVĖS REIKALAVIMŲ TAIKYMAS GALVIJŲ LAIKYMO SISTEMOSE

Vilma Naujokienė, Rolandas Bleizgys, Dainius Savickas

Vytauto Didžiojo universitetas

Gyvūnų gerovė yra vienas iš svarbiausių aspektų, užtikrinančių efektyvią gyvulininkystės veiklą, aukštą produkcijos kokybę ir tvarų ūkininkavimą. Pagrindiniai galvijų laikymo gerovės reikalavimai, nustatyti Valstybinės maisto ir veterinarijos tarnybos patvirtintuose „Ūkinių gyvūnų gerovės reikalavimuose“, akcentuoja gyvulių judėjimo laisvę, natūralių instinktų tenkinimą, tinkamas mikroklimatines sąlygas, kokybišką šėrimą ir girdymą bei nekenksmingą laikymo aplinką. Šie veiksniai lemia ne tik geresnę gyvūnų sveikatą, bet ir didesnę produktyvumą, mažesnę antibiotikų naudojimą bei palankesnę visuomenės požiūrį į gyvulininkystę. Straipsnyje analizuojama, kaip aukštesnių gyvūnų gerovės reikalavimų diegimas galvijų laikymo sistemose gali pagerinti gyvūnų gerovę ir ūkių veiklos rezultatus. Aptariami svarbiausi aspektai, tokie kaip galimybės gyvūnams laisvai judėti, dažnesnis buvimas lauke, mikroklimatinių sąlygų gerinimas bei antibiotikų profilaktinio naudojimo mažinimas. Tyrimo rezultatai atskleidžia, kad aukštesni gyvūnų gerovės standartai prisideda prie gyvūnų sveikatos gerinimo, efektyvesnio išteklių naudojimo bei didesnio ekonominio ūkių tvarumo. Tai pabrėžia būtinybę plėtoti ir įgyvendinti pažangesnes galvijų laikymo sistemas, kurios užtikrintų ne tik gyvūnų gerovę, bet ir aukštą produkcijos kokybę bei aplinkos apsaugą.

Raktiniai žodžiai: gyvūnų gerovė, gyvulininkystė, gyvūnų sveikata, aukštesni standartai.

Įvadas

Aukštesnių reikalavimų laikymasis galvijų ūkiuose tiesiogiai prisideda prie jų ekonominės vertės didinimo. Šie reikalavimai užtikrina gyvūnų gerovę, sveikatą ir geresnę produkcijos kokybę, kas lemia didesnę pelną ir rinkos plėtrą. Tačiau jiems įgyvendinti reikalingos didelės investicijos.

Gyvulininkystės pramonėje integruojamos pažangiosios technologijos, didinančios produktyvumą ir tvarumą (Vlaicu ir kt., 2024). Aukštesnių gyvūnų gerovės standartų laikymasis lemia didesnę produktyvumą, geresnę produktų kokybę ir teigiamą verslo įvaizdį (DG SANTE, 2010). Nepakankama gerovė didina ligų riziką ir mirtingumą, o tai gali sukelti finansinius nuostolius gamintojams.

Tyrimai rodo, kad laikymo sąlygos, įskaitant grindų paviršių ir erdvės dydį, daro įtaką gyvulių sveikatai, produktyvumui ir gali sukelti sveikatos problemų (Haufe ir kt., 2012). JK gerovės kodeksas numato, kad vienam buliui reikia ne mažiau kaip 16 m² miegamosios erdvės, o sunkesniems nei tona gyvūnams – dar daugiau (UK, 2003). Priištą laikymą sukelia nenormalų elgesį, o pakankamas pakratų kiekis ir guminiai kilimėliai mažina diskomfortą (Schenk ir kt., 2018).

Modernios technologijos, tokios kaip davikliai, GPS ir dronai, leidžia efektyviau stebėti gyvūnus didelėse ganyklose, matuoti jų sveikatą ir gerovę. Virtualios tvoros gali kontroliuoti gyvulių judėjimą, tačiau jų poveikis gerovei dar tiriamas (Herlin ir kt., 2021).

Ekonominis efektyvumas priklauso nuo tinkamo resursų panaudojimo, o ganyklų žolė yra ekonomiškiausias pašarų šaltinis pieno gamybai (Finneran ir kt., 2012). Tyrimai rodo, kad kuo didesnė ganyklų dalis racione, tuo mažesnės gamybos sąnaudos (Dillon ir kt.). Ganyklų sistemos mažina pašarų ir mechaninių operacijų kaštus, palankiai veikia pieno sudėtį, didindamos nesočiųjų riebalų rūgščių ir vitaminų kiekį (Martin ir kt.). Ganymas geriau atitinka natūralius gyvūnų poreikius, leidžia jiems išreikšti socialinius ryšius ir sumažina šlubavimo bei mastito riziką (Somers ir kt., 2005; Goldberg ir kt., 1992). Gera valdomos ganyklų sistemos mažina šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimą ir didina ūkio pelningumą (Saefullah ir kt., 2024). Automatinės šėrimo sistemos mažina darbo sąnaudas ir gerina gyvūnų gerovę (Oberschätzl ir kt., 2016).

Šiluminis stresas neigiamai veikia reprodukciją ir gyvūnų sveikatą. Tinkamos laikymo sąlygos, šešėlis ir vandens prieinamumas padeda mažinti šį poveikį (Silva ir kt., 2023).

Mėšinių galvijų augintojai susiduria su iššūkiais mažinti emisijas ir didinti svorio prieaugį. Geresnės šėrimo sąlygos, mažesnis stresas ir tinkama aplinka padeda optimizuoti auginimo rezultatus (Saefullah ir kt., 2024). Integruotos technologijos ir inovacijos leidžia sukurti tvaresnę ir ekonomiškai naudingesnę gyvulininkystės pramonę.

Gyvūnų gerovės principų integravimas išsiskiria kaip esminis ir daugialypis sprendimas, kuris ne tik sumažina šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimą, bet ir pagerina kasdienį mėšinių galvijų svorio prieaugį. Gyvūnų gerovės gairių įgyvendinimas atlieka esminį vaidmenį mažinant šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimą. Tinkamai šeriant galvijus, sumažinant stresą ir užtikrinant sveiką ir be streso aplinką, galima ženkliai sumažinti metano emisiją. Šis požiūris yra ne tik ekologiškai atsakingas: tai būtina daryti norint įvykdyti tarptautinius įsipareigojimus klimato srityje ir išsaugoti planetos ekosistemų tvarumą. Be naudos aplinkai, gyvūnų gerovės praktikos integravimas turi didelį ekonominį poveikį. Sveiki ir sotūs galvijai bus, jeigu bus

optimizuotas šėrimas, geri racionalai ir pašarų virškinimas, ir su mažesnėmis pašarų sąnaudomis kasdien priaugs daugiau svorio. Tai tiesiogiai pagerina mėsinių galvijų auginimo veiklos produktyvumą ir pelningumą. Aukštesnės kokybės mėsos iš gerai prižiūrimų gyvūnų gamyba gali padidinti rinkos paklausą ir pajamas, taip sustiprinant pramonės ekonominį gyvybingumą (Saefullah ir kt., 2024).

Tyrimų metodika

Parengtos metodikos gairės skaičiuoti ekonominiams rodikliams, ūkyje diegiant aukštesnius gyvūnų gerovės reikalavimus, pagrįsti reikalingi duomenys ir jų panaudojimas. Aukštesni galvijų, gerovės reikalavimai yra susiję su technologiniais sprendimais, kurie apibrėžia gyvulininkystės produkcijos gamybos būdus ir gamybos procese naudojamas priemones. Svarbu diegti tvarias technologijas gyvulininkystėje – tai metodų, procesų ir įrenginių visuma, skirta gyvulininkystės veiklai organizuoti taip, kad būtų užtikrinama ilgalaikė gamybos efektyvumo, aplinkos apsaugos ir gyvulių gerovės pusiausvyra. Tvari technologija siekia minimalizuoti neigiamą poveikį aplinkai, mažinti išteklių naudojimą (pvz., vandens, pašarų), efektyviai tvarkyti atliekas (pvz., mėšlą), bei optimizuoti energijos suvartojimą. Ji taip pat orientuojasi į aukštos kokybės produkcijos gavimą, tausoja natūralius resursus ir palaikant socialinę atsakomybę, kartu siekiant didesnio ekonominio gyvulininkystės sektoriaus gyvybingumo.

Gyvulininkystės technologijos vertinimo etapai:

1. Nustatomas technologijos vertinimo tikslas (pasirenkami svarbiausi technologijos naudojimo rezultatai).

2. Pasirenkami vertinimo kriterijai.

3. Kiekvienam kriterijui nustatomas bent vienas išmatuojamas rodiklis ir jo normatyvinės reikšmės.

4. Palyginami konkrečios technologijos veikimo metu gaunami rodikliai su normatyvinėmis reikšmėmis.

Tyrimo tikslas – įvertinti aukštesnių gyvūnų gerovės reikalavimų taikymo poveikį galvijininkystės ūkiuose, atsižvelgiant į ekonominius, ekologinius ir sveikatingumo aspektus.

Tyrimo objektas – keturios pagrindinės gyvūnų gerovės priemonės:

- ☐ Galvijų ganymas (didesnė ganymo trukmė – 140 dienų per metus).
- ☐ Pieninių galvijų ganymas (mažiausiai 120 dienų per metus).
- ☐ Užtrūkusių karvių ganymas (mažiausiai 60 dienų per metus).
- ☐ Tvarto ploto padidėjimas (papildoma 20 % erdvė vienam galvijui).

Atliekama mokslinės literatūros apžvalga, įtraukiant ankstesnius tyrimus apie gyvūnų gerovės poveikį produktyvumui, sveikatai ir ūkininkavimo sąnaudoms. Kitame etape atliekama duomenų analizė ir modeliavimas – deskriptyvinė statistika (dažniniai pasiskirstymai), regresinė analizė (gyvūnų gerovės priemonių taikymo koreliavimas su ekonominiais ir sveikatingumo rodikliais), daugiamačių duomenų analizė (principinių komponentų analizės (PCA) metodai). Tuomet įvertinamas privalumų ir trūkumų pasiskirstymas kiekvienai nagrinėjai priemonei.

Ši metodika leidžia pagrįstai įvertinti, kaip taikomos gyvūnų gerovės priemonės prisideda prie tvarios ir ekonomiškai naudingos galvijininkystės plėtros.

Rezultatai ir aptarimas

Įvertinus aukštesnių gyvūnų gerovės reikalavimų taikymo poveikį galvijininkystės ūkiuose, užfiksuota, kad siekiant sudaryti galvijams geras laikymo sąlygas reikalinga:

– Užtikrinti gyvūnų judėjimo laisvę (jeigu gyvūnas yra pririštas arba laikomas laikymo įrangoje, kurioje yra ribojama jo judėjimo laisvė, jam, atsižvelgiant į jo rūšį, nusistovėjusią patirtį ir mokslo žinias, turi būti suteikta tiek vietos, kad būtų patenkinami jo fiziologiniai ir etologiniai poreikiai).

– Laikymo vietos statybai ir laikymo bei kitos įrangos gamybai naudojamos medžiagos, prie kurių ūkiniai gyvūnai gali prisiliesti, neturi būti kenksmingos ūkiniams gyvūnams ir turi būti lengvai valomos ir dezinfekuojamos.

– Oro apykaita, dulkėtumas, temperatūra, santykinė oro drėgmė ir dujų koncentracija neturi būti kenksmingi gyvūnams.

– Gyvūnų laikymo patalpose gyvūnai neturi būti laikomi nuolatinėje tamsoje arba vien dirbtinėje šviesoje be atitinkamų poilsio pertraukų.

– Lauke laikomi gyvūnai, kur reikia ir galima, turi būti apsaugoti nuo jų sveikatai kenkiančių, nepalankių oro sąlygų, plėšrūnų ir kitų pavojų.

– Visa gyvūnų sveikatai ir gerovei turinti įtakos automatinė ar mechaninė įranga turi būti bent kartą per dieną tikrinama. Surasti šios įrangos gedimai turi būti nedelsiant pašalinti arba, jei to padaryti negalima, turi būti imamasi priemonių apsaugoti gyvūnų sveikatą ir gerovę.

– Jei gyvūnų sveikata ir gerovė priklauso nuo dirbtinio ventiliavimo sistemos, turi būti įrengta: atsarginė ventiliavimo sistema ir užtikrintas elektros energijos šaltinis, kad būtų išsaugota gyvūnų sveikata ir gerovė dirbtinio ventiliavimo sistemai sugedus; apie ventiliavimo sistemos gedimus įspėjanti signalizacijos sistema, kuri turi būti reguliariai tikrinama.

– Gyvūnai turi būti šeriami visaverčiais, jų amžių ir rūšį atitinkančiais saugiais pašarais, kurių kiekis turi patenkinti ūkinių gyvūnų mitybos poreikius. Draudžiama gyvūnus šerti ir girdyti kenksmingomis medžiagomis užterštais pašarais, vandeniu ar kitokiais skysčiais.

– Visi ūkiniai gyvūnai turi gauti pašaro jų fiziologinius poreikius atitinkančiais laiko tarpais.

– Ūkinių gyvūnų šėrimo ir girdymo įranga turi būti suprojektuota, sukonstruota ir įrengta taip, kad kiek galima būtų sumažinta pašaro ir vandens taršos ir kenksmingos ūkinių gyvūnų tarpusavio konkurencijos galimybė.

– Visi ūkiniai gyvūnai reguliariai turi gauti jų fiziologinius poreikius atitinkantį kiekį tinkamo vandens ar kitokių skysčių.

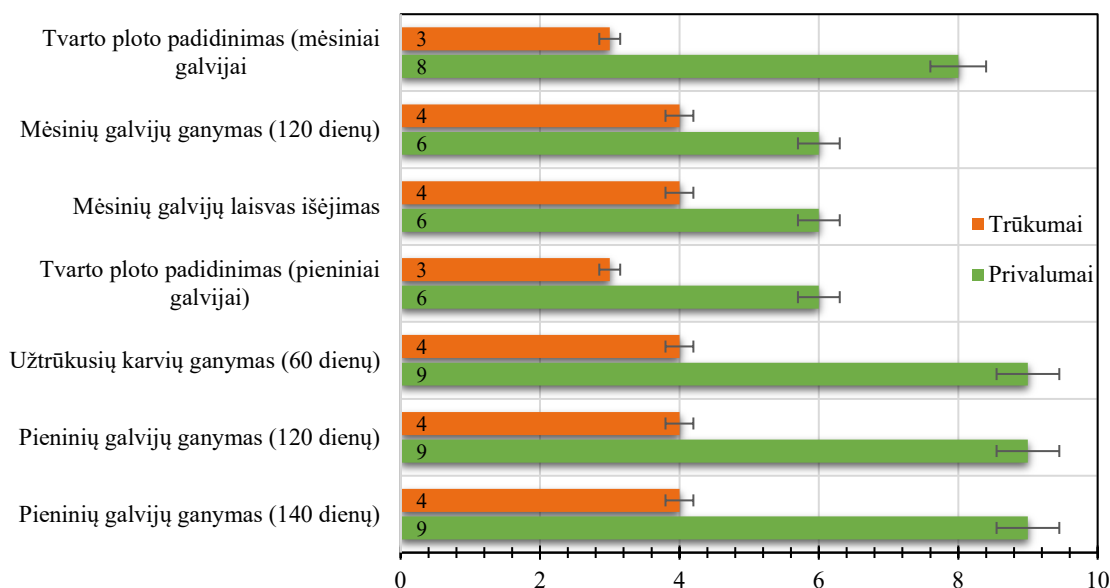
Taikant principinių komponentų analizės (PCA) metodą, identifikuoti reikiami diegti aukštesni gyvūnų gerovės reikalavimai, siekiant gerinti laikymo sąlygas galvijams (1 lentelė). Atlikus konsolidacinį įvertinimą, nustatytas privalumų ir trūkumų pasiskirstymas kiekvienai nagrinėtai priemonei (1 lentelė).

1 lentelė. Aukštesnių gyvūnų gerovės priemonių taikymo privalumų ir trūkumų pasiskirstymas ekonominės ir kokybinės vertės didinimui galvjininkystės ūkiuose

Table 1. Distribution of advantages and disadvantages of applying higher animal welfare measures to increase economic and qualitative value on cattle farms

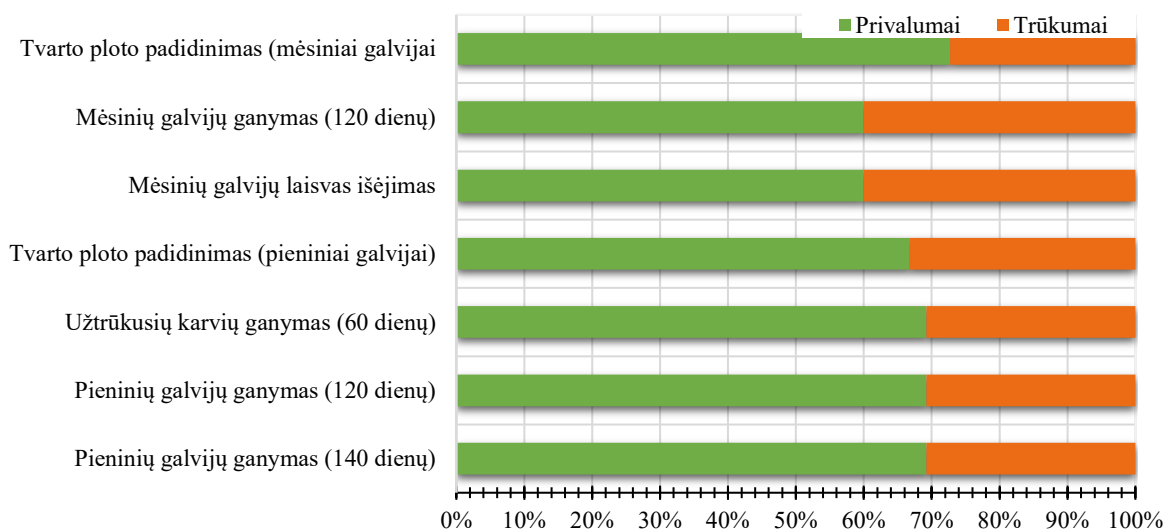
Minimalūs gyvūnų gerovės reikalavimai	Aukštesni gyvūnų gerovės reikalavimai (priemonių taikymas)	Priemonės privalumai	Priemonės trūkumai
Galvijai neganomi / neturi galimybės ganytis	Karves ganyti ganyklose nepertraukiamai ilgiau kaip 140 dienų per metus	Išsaugomos daugiametės pievos. Mažėja oro tarša amoniaku, ŠESD.	Reikalingos papildomos lėšos ganykloms įrengti: bandotakiams, aptvarams. Reikalingos papildomos išlaidos galvijams girdyti ganyklose. Reikalingos papildomos išlaidos karvėms melžti ganyklose. Ganant jaunuklius būtina įrengti apsaugos nuo plėšrūnų priemonės. Reikalinga diegti naują bandos valdymo strategiją.
	Užtikrinti, kad einamaisiais metais iki gruodžio 31 d. pieniniai galvijai turėtų galimybę ganytis atviroje erdvėje, diendaržiuose, ganyklose nepertraukiamai ne mažiau kaip 120 dienų per metus	Sumažėja kvapų emisija, ūkininkavimas tampa draugiškesnis aplinkiniams gyventojams. Mažėja išlaidos pašarų gamybai. Gerėja galvijų sveikatingumas. Pagerėja reprodukciniai rodikliai. Prailgėja galvijų ilgaamžiškumas. Sumažėja galvijų nagų susirgimų skaičius. Sumažėja išlaidos veterinariniams medikamentams.	
	Užtikrinti, kad einamaisiais metais iki gruodžio 31 d. pieninės užtrūkusios karvės, kurioms einamaisiais metais vykdomi produktyvumo tyrimai, turėtų galimybę ganytis atviroje erdvėje, diendaržiuose, ganyklose nepertraukiamai ne trumpiau kaip 60 dienų per metus		
Plotas tvarte atitinka ŽŪ TPT 01:2009 pateiktus reikalavimus	Sudaryti geresnes sąlygas galvijams judėti (plotą tvarte vienam galvijui padidinti 20 proc.)	– Gaminama produkcija yra brangesnė, tačiau visuomenei priimtinesnė. – Gerėja galvijų sveikatingumas, mažėja traumų, ligų. – Didėja galvijų produktyvumas. – Stiprėja galvijų rezistentiškumas. – Gerėja produkcijos kokybė. – Gerėja tvarte mikroklimatas. – Gerėja darbo sąlygos darbuotojams. – Sumažėja išlaidos veterinariniams medikamentams.	– Padidinus takų, guoliaviečių plotą, didėja tvartas ir investicijos į statybinę dalį. – Sumažinus tvarte laikomų galvijų skaičių, mažėja pagaminamos produkcijos kiekis, didėja kiekvieno technologinio proceso (šėrimo, mėšlo šalinimo, melžimo) eksploatacinės išlaidos vienam galvijui.

Apibendrinant, gyvūnų gerovės priemonės dažniau turi daugiau privalumų nei trūkumų, nes vidutiniškai privalumų užfiksuota 7,57, o trūkumų – 3,71 (1 pav.). Pagrindiniai teigiami aspektai apima oro taršos mažinimą, geresnę gyvūnų sveikatą ir didesnę produktyvumą. Tačiau tokių priemonių įgyvendinimas reikalauja papildomų investicijų, susijusių su ganyklų įrengimu, girdymu ir bandos valdymo strategijų keitimu.



1 pav. Aukštesnių gyvūnų gerovės priemonių taikymo efektyvumas

Fig. 1. Effectiveness of applying higher animal welfare measures



2 pav. Aukštesnių gyvūnų gerovės priemonių procentinė efektyvumo analizė

Fig. 2. Percentage effectiveness analysis of higher animal welfare measures

2 pav. vizualizuojamoje kiekvienos gyvūnų gerovės priemonės procentinėje efektyvumo analizėje nustatyta, kad dauguma priemonių turi daugiau privalumų nuo 50 iki 80 %, ypač ganymo praktikos ir tvarto ploto didinimas.

Išvados

1. Aukštesnių gyvūnų gerovės priemonių efektyvumo analizė parodė, kad visos vertintos priemonės turi daugiau privalumų nei trūkumų, teigiamai veikia ūkininkavimo efektyvumą ir tvarumą, o didžiausią naudą suteikia pieninių galvijų ir užtrūkusių karvių ganymas (140, 120 ir 60 dienų), kurių privalumų skaičius siekia 9, o trūkumų – 4, tuo tarpu tvarto ploto padidinimas (pieniniai – 70 % privalumų, mėsiniai – 80 % privalumų) ir mėsinių galvijų laisvas išėjimas (50 % privalumų, 50 % trūkumų) pasižymi mažesniu, bet vis dar teigiamu poveikiu, nors kai kurios priemonės reikalauja papildomų investicijų, todėl tolesnėmis

analizėmis aktualu vertinti jų ilgalaikį poveikį produktyvumui, ekonominiam atsiperkamumui ir ekosistemos tvarumui.

2. Identifikuota, kad gyvūnų gerovės gerinimas, taikant pažangias technines sistemas tvartuose ir užtikrinant optimalias laikymo sąlygas, tiesiogiai prisideda prie pieno produktyvumo didėjimo, mažesnių išlaidų dėl ligų ir geresnės mėsos kokybės, taip didinant ūkių ekonominį tvarumą. Išmaniosios stebėjimo, šėrimo, melžimo ir mikroklimato kontrolės sistemos ne tik sumažina gyvulių stresą, bet ir užtikrina efektyvesnį išteklių naudojimą, o tai lemia didesnę pelningumą ir konkurencingumą rinkoje.
3. Tikėtina ilgalaikė ekonominė prognozė – investavimas į geresnes gyvulių laikymo sąlygas brangus trumpuoju laikotarpiu, tačiau ilgalaikėje perspektyvoje jis sumažina išlaidas sveikatos priežiūrai, padidina gyvūnų produktyvumo trukmę ir lemia stabilesnį, pelningesnį ūkio vystymąsi.

Literatūra

1. DG SANTE. (2010). *The effects of animal welfare standards on farm productivity*. European Commission, Directorate-General for Health and Food Safety.
2. Dillon, P., Roche, J. R., Shalloo, L., et al. (2010). Optimising milk production efficiency in pasture-based systems. *Grass and Forage Science*, 65(4), 423–439.
3. Finneran, E., Crosson, P., Shalloo, L., et al. (2012). The economic implications of increased efficiency in pasture-based dairy production systems. *Grass and Forage Science*, 67(1), 1–19.
4. Goldberg, J. J., Wildman, E. E., Pankey, J. W., et al. (1992). The association between herd management practices and bulk tank milk somatic cell counts. *Journal of Dairy Science*, 75(12), 3298–3303.
5. Haufe, H. C., Gygax, L., Wechsler, B., et al. (2012). Effects of different flooring systems on claw health in dairy cattle. *Animal Welfare*, 21(4), 545–554.
6. Herlin, A. H., Andersson, M., Svennersten-Sjaunja, K., et al. (2021). Precision Livestock Farming: Applications in cattle health and welfare monitoring. *Computers and Electronics in Agriculture*, 183, 106042.
7. Martin, B., Verdier-Metz, I., Buchin, S., et al. (2005). Effects of grass-based feeding systems on milk composition and cheese quality. *Journal of Dairy Science*, 88(3), 1250–1261.
8. Oberschätzl, R., Bayerische, B. H., Bayerische, K. R., et al. (2016). Automation in dairy farming: Advances in automatic feeding systems (AFS). *Animal Science Journal*, 87(1), 11–22.
9. Saefullah, A., Nugroho, W., Hakim, A. R., et al. (2024). Animal welfare practices in reducing greenhouse gas emissions and improving livestock productivity. *Journal of Sustainable Agriculture and Environment*, 12(2), 78–94.
10. Schenk, M., Haskell, M. J., Langford, F. M., et al. (2018). The role of flooring material in preventing lameness and injuries in housed dairy cows. *Animal Behaviour Science*, 198, 41–50.
11. Silva, L. P., Souza, R. C., Barros, F. C., et al. (2023). Heat stress and its impact on reproduction in cattle: Physiological and management perspectives. *Livestock Science*, 256, 104829.
12. Somers, J. G. C. J., Frankena, K., Noordhuizen-Stassen, E. N., et al. (2005). Prevalence of claw disorders in dairy cows kept on pasture versus in confinement systems. *Journal of Dairy Science*, 88(10), 3320–3330.
13. United Kingdom Government. (2003). *Code of Practice for the Welfare of Cattle*. Department for Environment, Food & Rural Affairs (DEFRA).
14. Vlaicu, P., Pop, I. M., Marin, D. E., et al. (2024). Smart farming technologies in livestock production: A review of recent advancements and future prospects. *Computers and Electronics in Agriculture*, 210, 107965.

Vilma Naujokienė, Rolandas Bleizgys, Dainius Savickas

Application of Higher Bovine Welfare Requirements in Bovine Housing Systems

Animal welfare is one of the most important aspects ensuring efficient livestock farming, high production quality and sustainable farming. The main welfare requirements for cattle keeping, established in the “Farm Animal Welfare Requirements” approved by the State Food and Veterinary Service, emphasize freedom of movement of animals, satisfaction of natural instincts, appropriate microclimatic conditions, high-quality feeding and watering, and a harmless housing environment. These factors determine not only better animal health, but also higher productivity, lower antibiotic use, and a more favourable public attitude towards animal husbandry. The article analyses how the implementation of higher animal welfare requirements in cattle housing systems can improve animal welfare and farm performance. The most important aspects are discussed, such as opportunities for animals to move freely, more frequent outdoor activities, improvement of microclimatic conditions, and reduction of prophylactic use of antibiotics. The results of the study reveal that higher animal welfare standards contribute to improving animal health, more efficient use of resources, and greater

economic sustainability of farms. This emphasizes the need to develop and implement more advanced cattle husbandry systems that would ensure not only animal welfare, but also high production quality and environmental protection.

Keywords: Animal welfare, animal husbandry, animal health, higher standards.

Gauta 2025 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2025 m. balandžio mėn.

Vilma NAUJOKIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedros docentas. Adresas: Studentų g. 15a, LT-53362 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52357, el. paštas: vilma.naujokiene@vdu.lt

Vilma NAUJOKIENĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, assoc. prof. Address: Studentų str. 15a, LT-53362 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 37 752357, e-mail: vilma.naujokiene@vdu.lt

Rolandas BLEIZGYS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Inžinerijos fakulteto Mechanikos, energetikos ir biotechnologijų inžinerijos katedros profesorius. Adresas: Studentų g. 15a, LT-53362 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52357, el. paštas: rolandas.bleizgys@vdu.lt

Rolandas BLEIZGYS. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Mechanical, Energy and Biotechnology Engineering, prof. Address: Studentų str. 15a, LT-53362 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 377 52357, e-mail: rolandas.bleizgys@vdu.lt

Dainius SAVICKAS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedros asistentas. Adresas: Studentų g. 15a, LT-53362 Akademija, Kauno r., tel. +370 3775 2357, el. paštas: dainius.savickas@vdu.lt

Dainius SAVICKAS. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, assistant. Address: Studentų str. 15a, LT-53362 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 377 52357, e-mail: dainius.savickas@vdu.lt

NUOTEKŲ VALDYMAS PIENO PERDIRBIMO ĮMONĖJE

Mindaugas Stoka, Rasa Čingienė

Vytauto Didžiojo universitetas

Pieno pramonė yra svarbi maisto gamybos sektoriaus dalis, tačiau daro didelį poveikį aplinkai dėl gamybos metu susidarantių nuotekų. Pieno perdirbimo įmonės sunaudoja daug vandens įvairiems procesams – nuo žaliavos apdorojimo iki įrangos plovimo. Dėl to susidaro dideli nuotekų srautai, kuriuose yra daug teršalų. Šiame straipsnyje analizuojama pasirinktos pieno perdirbimo įmonės aplinkos tarša, susidaranti dėl gamybinių nuotekų ir jų koncentracijos. Įdiegus nuotekų valymo įrenginius, vadovaujantis aplinkosauginiais reikalavimais, aplinkos tarša nuotekomis sumažėja ne mažiau kaip 80 %, atsižvelgiant į teršalų koncentracijas gamybinėse nuotekose. Tyrimas parodė, kad penkių etapų nuotekų valymo sistema užtikrina efektyvų teršalų pašalinimą. Nors pieno perdirbimo įmonės nuotekos yra labai užterštos, efektyviausiai sumažinama riebalų (99,71 %), skendinčių medžiagų (98,48 %) ir BDS7 (96,75 %) koncentracija.

Raktiniai žodžiai: pienas, perdirbimas, nuotekos, aplinkos apsauga, valdymas.

Įvadas

Pienas yra sudėtinga koloidinė sistema, kurioje vienos medžiagos (pieno cukrus, mineralinės medžiagos) ištirpusios vandenyje – dispersinėje terpėje, o susidarę tirpikliai yra dispersijos terpė kitoms medžiagoms – riebalams ir baltymams (Urbšienė, 2013). Pieno perdirbimo procese susidaro nemažas kiekis atliekų įvairiais gamybos etapais tokių kaip išrūgos, gamyboje susidaranti brokuotų produktų atliekos, įvairių perdirbimo procesų atliekos. Visais proceso etapais yra užteršiamos gamybinės nuotekos, kurių koncentracija tampa labai aukšta. Pieno pramonės nuotekos sudaro didelę aplinkosaugos problemą – jos prisideda prie gėlo vandens ir jūrinės eutrofikacijos, didindamos azoto ir fosforo junginių koncentraciją vandenyje. Pagrindinės nuotekų charakteristikos apima aukštą cheminio ir biologinio deguonies poreikį (ChDS ir BDS), o tai rodo didelį organinių medžiagų kiekį, kuris gali neigiamai paveikti vandens ekosistemas. Pagrindinės nuotekų charakteristikos apima aukštą cheminio ir biologinio deguonies poreikį (ChDS ir BDS), o tai rodo didelį organinių medžiagų kiekį, kuris gali neigiamai paveikti vandens ekosistemas (Finnegan, 2018). Todėl būtina vertinti gamybinių nuotekų poveikį aplinkai. Nuotekų valymo technologijos gali žymiai sumažinti aplinkos taršą, tačiau jų efektyvumas priklauso nuo įmonės investicijų į modernias sistemas, tokias kaip anaerobinis ir aerobinis valymas, membraninė filtracija ir cheminis apdorojimas (Finnegan, 2018).

Pastaraisiais dešimtmečiais padidėjusi pieno produktų paklausa lėmė didėjančią pieno perdirbimo mastą, o kartu ir didėjančią taršą. Dėl to svarbu suprasti pieno pramonės nuotekų šaltinius, poveikį aplinkai ir efektyviausius jų tvarkymo metodus (Raghunath, 2016).

Pieno perdirbimo įmonės sunaudoja didelius vandens kiekius visuose procesuose – nuo žaliavos apdorojimo iki įrangos plovimo. Dėl to susidaro reikšmingi nuotekų srautai, pasižymintys didele teršalų koncentracija. Apskaičiuota, kad neapdorotų gamybinių nuotekų kiekis gali siekti ~ 2,5 karto didesnę tūrį nei perdirbtos pieno žaliavos tūris, tačiau diegiant geros gamybos praktiką šį santykį galima sumažinti iki ~ 1–2 m³ nuotekų 1 m³ perdirbtos pieno.

Pieno perdirbimo nuotekoms būdinga itin didelė biocheminio deguonies suvartojimo per 5 paras (BDS₅) ir cheminio deguonies suvartojimo (ChDS) vertė, rodanti didelę organinių teršalų koncentraciją. Įvairių tyrimų duomenimis, žaliavinio pieno perdirbimo pramonės nuotekų BDS₅ paprastai siekia ~ 1000–3000 mg O₂/l, o ChDS – ~ 1500–4000 mg O₂/l (Slavov, 2016), priklausomai nuo gamybos pobūdžio.

Dėl didelės taršos potencialo, pieno pramonės nuotekoms taikomi griežti išleidžiamų teršalų reikalavimai. Daugelis šalių laikosi principų, nustatytų ES Tarybos direktyvoje 91/271/EEB (Urban Wastewater Treatment Directive), kuri numato, kad išvalytų nuotekų kokybė turi atitikti tam tikras ribas: BDS₅ išvalymo efektyvumas turi siekti ne mažiau kaip 70 %, ChDS – ne mažiau kaip 75 %, suspenduotos medžiagos – ne mažiau kaip 90 %. Lietuvoje pieno pramonės nuotekų valymas reglamentuojamas Nuotekų tvarkymo reglamentu, kuris perkelia ES direktyvų nuostatas ir papildomai atsižvelgia į Baltijos jūros regiono jautrumą. Kadangi Baltijos jūra kenčia nuo eutrofikacijos (joje azoto koncentracija ~ 4 kartus, fosforo ~ 8 kartus didesnė nei prieš šimtmetį).

Tyrimų tikslas – pasirinktoje pieno perdirbimo įmonėje išanalizuoti gamybinių nuotekų valymo technologinę liniją, įvertinti susidarantių teršalų koncentracijas ir pritaikyti nuotekų valdymo priemones.

Tyrimų metodika

Tyrimai atlikti pieno perdirbimo įmonėje gaminančioje platų asortimentą pieno ir varškės gaminių. Analizuojamos įmonės gamyba orientuota į plėtrą ir naujo asortimento kūrimą, todėl didėjant gamybos apimtims, didėja įvairiuose gamybos etapuose susidarantių gamybinių nuotekų srautai. Įmonėje per parą

susidaro apie 250 m³ gamybinių nuotekų ir visos jos nukreipiamos į miesto nuotekų tinklus, tai sudaro nuo 20 iki 30 % visų miesto išleidžiamų nuotekų.

Tyrimai atlikti nuo 2023 m. spalio mėn. iki 2024 m. spalio mėn., jų metu buvo stebima gamybinių nuotekų teršalų koncentracija ir vertinama biocheminis deguonies suvartojimas per septynias paras (BDS₇), cheminis deguonies suvartojimas per chromą (ChDS), skendinčios medžiagos, bendras azotas (N), bendras fosforas (P) ir pH. Mėginiai imami vieną kartą per mėnesį. Tyrimai atliekami akredituotoje laboratorijoje UAB „Ekometrija“.

Gamybinių nuotekų sėmimas buvo atliekamas automatinio semtuvu (1 pav.), kuris tiek vasaros, tiek žiemos metu palaiko ne aukštesnę kaip + 8 °C pasemtų nuotekų temperatūrą, formuojant paros vidutinį mėginį.



1 pav. Automatinis nuotekų semtuvas

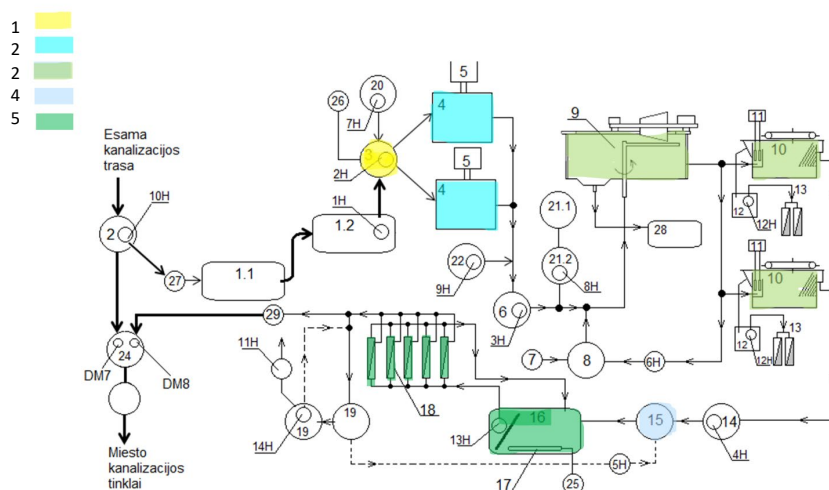
Fig. 1. Automatic sewage scoop

Automatinis semtuvas buvo užprogramuojamas 24 valandoms, užprogramuojant sėmimo intervalą (įprastai kas 30 minučių). Standartiškai buvo užprogramuojamas mėginio kiekis (100 ml), toliau semtuvas dirbo visu automatinio režimu.

Tyrimo metu buvo siekiama išsiaiškinti iki kokio lygio yra sumažinama nuotekose esančių teršalų koncentracija po nuotekų valymo prieš išleidžiant į miesto nuotekų tinklus. Gauti rezultatai analizuoti gavus tyrimų protokolus, įvertinant tiek nuotekų taršą prieš patenkant į įmonėje esančius nuotekų valymo įrenginius ir po valymo proceso. Duomenys formuojami „Microsoft Excel“ programoje.

Rezultatai ir aptarimas

Analizuojant tiriamos įmonės nuotekų sudėtį buvo padaryta palyginamoji teršalų koncentracija prieš valymą ir po. Pieno perdirbimo įmonėms, kurios išleidžia nuotekas į miesto nuotakyną yra reglamentuojama BDS₇ ir riebalų koncentracija. Esant nuotekų užterštumui BDS₇ > 1000 mg/l, aerobinio tipo nuotekų valymo įrenginiai neužtikrina normalaus valymo proceso. Taip pat reikia įvertinti, kad pieno pramonės nuotekose yra didelė riebalų koncentracija, įrangos plovime naudojama kaustikinė soda ir kiti šarminiai plovikliai. Įmonėje yra įdiegtas kompleksinis nuotekų valymas, kurių schema remiasi anodinio oksidavimo (elektrolizės), slėginės flotacijos bei elektroflotacijos, mechaninio filtravimo ir membraninio bioreaktoriaus metodų kombinacija, užtikrinančia efektyvų išvalymą nuo organinių teršalų. Valymą sudaro penki etapai (2 pav.). Pirmas (1) etapas – pH koreguojamas iki 6-5-9,0 reikšmės, antras etapas (2) – slėginė flotacija. Flotacija-teršalų atskyrimas nuo nuotekų oro burbuliukų pagalba. Susidarę oro burbuliukai prikimba prie priemaišų jas išskeldami į flotatoriaus paviršių. Tokiu būdu nuotekų paviršiuje susidaro išskiriama medžiaga prisotintas putų sluoksnis. Sėdančios medžiagos nusėda flotatoriaus dugne (pvz.: smėlis, skendinčiosios medžiagos (SM), purvas). Nuotekų valymo įrenginyje naudojama slėginė flotacija. Slėginė flotacija yra efektyvesnė nei kiti metodai. Persotintas oro tirpalas gaunamas išlaikant vandens ir oro mišinį kelias minutes talpoje, kurioje sudaromas 0,3–0,5 MPa slėgis. Oro vanduo tiekiamas į atvirą rezervuarą, kur, staigiai sumažėjus slėgiui iki atmosferinio, smarkiai išsiskiria oras ir kartu flotuojamos priemaišos. Trečias etapas (3) – elektroflotacija. Elektroflotatoriuje vyksta anodinio oksidavimo procesas ir teršalų atskyrimas nuo nuotekų išsiskiriančių dujų burbuliukų pagalba. Nuotekų paviršiuje susidaro išskiriama medžiaga prisotintas putų sluoksnis. Sėdančios medžiagos nusėda flotatoriaus dugne.



2 pav. Gamybinių nuotekų valymo įrenginio technologinės schema

Fig. 2. Technological scheme of the industrial wastewater treatment plant

Ketvirtas etapas (4) – smulkiadispersinių ir tirpių teršalų šalinimui numatytas mechaninis absorbcinis filtras su aktyvios anglies įkrova. Penktas etapas (5) – papildomas nuotekų valymas membraninio bioreaktoriaus pagalba. Naudojant didelės koncentracijos (10 gr/ltr) aktyvų dumblą, atliekamas organinių teršalų skaidymas biologinių procesų pagalba. Valyto vandeniui atskirti naudojami UF membranų moduliai, kurie užtikrina smulkių dalelių atskyrimą.

Vertinant tyrimų rezultatus (1 lentelė) stebima, kad vidutinė BDS₇ koncentracija prieš valymą siekusi $18\,601 \pm 2\,946$ mg/l, po valymo sumažėjo iki 628 ± 267 mg/l. Tuo tarpu maksimali reikšmė tiriamuoju laikotarpiu prieš valymą siekė 24 189 mg/l, minimali reikšmė – 13 229 mg/l. Tai rodo ganėtinai didelį taršos svyravimą atskiruose mėginiuose. Po valymo svyravimai mažesni. Sumažėjęs standartinis nuokrypis iki 267 mg/l rodo, kad po valymo koncentracijos tapo stabilesnės ir labiau kontroliuojamos. Šiam teršiančiam elementui yra nustatytas normatyvas 800 mg/l BDS₇ išleidžiant nuotekas į miesto nuotekų tinklus. Po valymo 3 mėginiai (23,1 %) vis dar viršijo 800 mg/l normą, o 10 mėginių (76,9 %) buvo žemiau šios ribos. Nors bendras valymo efektyvumas yra labai aukštas, tam tikrais atvejais teršalų lygis išlieka virš leistinos normos.

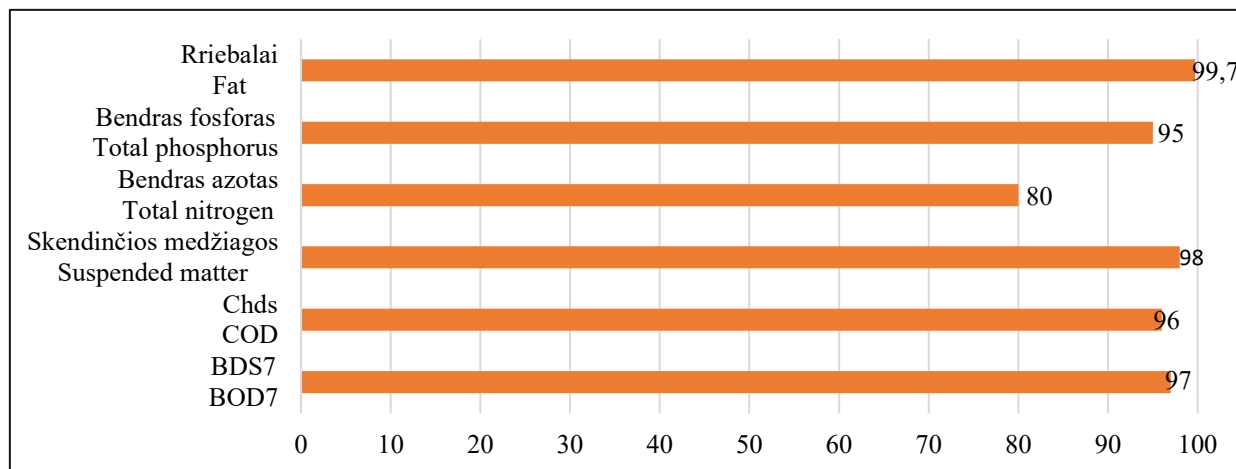
1 lentelė. Pieno perdirbimo metu susidaranti teršalų koncentracija

Table 1. Concentration of pollutants generated during milk processing

Teršalai Contaminants	Leistina koncentracija Allowed concentration	Prieš valymą Before cleaning mg/l	Po valymo After cleaning mg/l	Taršos sumažėjimas Pollution reduction %
BDS ₇ BOD ₇	800	18601±2946	628±267	96,75
Skendinčios medžiagos Suspended matter	-	7727±2473	116±63	98,48
Bendrasis azotas N Total N	-	170±46	34±19	78,63
Bendrasis fosforas P Total phosphorus P	-	47,5±8	2,38±2	95,00
Riebalai Fat	100	8509±1086	25,6±27	99,71
ChDS COD	-	20892±3445	845±418	95,95

Vidutinė skendinčių medžiagų (SM) koncentracija prieš valymą siekė 7 727 mg/l, o po valymo sumažėjo iki 116 mg/l. Didžiausios SM koncentracijos prieš valymą ne visada koreliuoja su didžiausiomis po valymo, kas rodo, kad valymo efektyvumas priklauso ne tik nuo pradinio taršos lygio, bet ir nuo procesų stabilumo. Bendro azoto (N) taršos svyravimai buvo ženkliai mažesni už BDS₇ ir SM tiek prieš, tiek po valymo. Riebalų koncentracija prieš valymą labai aukšta visuose mėginiuose, vidutiniškai $8\,509 \pm 1\,086$ mg/l. Po valymo visi mėginiai atitiko normatyvus (≤ 100 mg/l), rodo, kad valymo sistema veikia patikimai, tačiau atsižvelgiant, kad vidutinė koncentracija po valymo yra $25,6 \pm 27$ mg/l matosi, kad trūksta stabilumo valymo procese. Įmonės nuotekose didžiausią taršą sudaro BDS₇, riebalai, ChDS ir skendinčios medžiagos.

Stabiliausiai išvalomi teršalai yra BDS₇ (vidutinis sumažėjimas siekia 96,75 %), skendinčios medžiagos, (vidutinis sumažėjimas – 98,48 %) ir riebalai (vidutinis sumažėjimas 99,71 %). Šie teršalai buvo pašalinti labai vienodai visuose mėginiuose, nes vidurkio ir medianos sumažėjimai beveik nesiskiria. Šiek tiek didesni svyravimai buvo bendro fosforo (95 %) ir bendro azoto (78,63 %), kas rodo, kad jų šalinimo procesas nebuvo tolygiai efektyvus.



3 pav. Išvalymo efektyvumas per tiriamąjį laikotarpį, proc.

Fig. 3. Cleaning efficiency during the study period, percent

Apibendrinat visą tiriamąjį laikotarpį galima teigti, kad įmonėje sumontuotų nuotekų valymo įrenginių išvalymo efektyvumas yra ganėtinai aukštas ir siekia daugiau kaip 80 proc.

Išvados

1. Atliktas tyrimas parodė, kad nuotekų valymo sistema, sudaryta iš penkių etapų (pH korekcija, slėginė flotacija, elektroflotacija, mechaninis filtravimas ir membraninis bioreaktorius), užtikrina efektyvų teršalų pašalinimą, nors pieno perdirbimo įmonės nuotekos yra itin taršios.
2. Efektyviausias taršos sumažėjimas siekia riebalų – 99,71 %, skendinčių medžiagų – 98,48 %, BDS₇ – 96,75 %, blogiausiai išvalomas bendro azoto – 78,63 %.
3. Nepaisant aukšto valymo efektyvumo, tam tikrais laikotarpiais stebimi nukrypimai nuo normų, rodantys technologinių procesų nestabilumą.
4. Pagrindinės problemos, lemiančios nuotekų valymo proceso svyravimus, gali būti susijusios su technologinių procesų pokyčiais, nepakankama įrangos priežiūra ir žaliavų sudėties kitimais.

Literatūra

1. Raghunath, B. V., Punnaigaiarasi, A., Rajarajan, G., Irshad, A., Elango, A., & Mahesh Kumar, G. (2016). Impact of dairy effluent on environment – a review. *Integrated Waste Management in India: Status and Future Prospects for Environmental Sustainability*, 239–249.
2. Urbšienė, D. (2013). *Pieno cheminė sudėtis*. <https://pienoukis.lt/pieno-chemine-sudetis/>
3. Lietuvos Respublikos aplinkos ministro įsakymas „Dėl nuotekų tvarkymo reglamento patvirtinimo 2006 m. gegužės 17 d. Nr. D1-236 Vilnius“. <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.276576/asr>
4. Jindal, T., Sinha, S., Srivastava, A., Mehrotra, T., & Singh, R. (2019). A review on the dairy industry waste water characteristics, its impact on environment and treatment possibilities. *Emerging issues in ecology and environmental science: Case studies from India*, 73–84.
5. Sisay, E. J., & László, Z. (2021). Trend and Novel Possibilities of Dairy Wastewater Treatment by Membrane Filtration. *Journal of Engineering Science & Technology Review*, 14(1).
6. Kolev Slavov, A. (2017). General characteristics and treatment possibilities of dairy wastewater – a review. *Food technology and biotechnology*, 55(1), 14–28. doi: 10.17113/ftb.55.01.17.4520
7. Tarybos Direktyva 1991 m. gegužės 21 d. dėl miesto nuotekų valymo (91/271/EEB). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/PDF/?uri=CELEX:31991L0271>
8. Finnegan, W., Goggins, J., & Zhan, X. (2018). Assessing the environmental impact of the dairy processing industry in the Republic of Ireland. *Journal of Dairy Research*, 85(3), 396–399.

Mindaugas Stoka, Rasa Čingienė

Wastewater Management in a Milk Processing Company

The dairy industry is an important part of the food production sector, but it has a significant impact on the environment due to wastewater generated during production. Dairy processing companies consume a lot of water for various processes, from raw material processing to equipment washing. This results in large wastewater flows with high concentrations of pollutants. This article analyses the environmental pollution of a selected dairy processing company resulting from production wastewater and its concentration. With the installation of wastewater treatment facilities, in accordance with environmental requirements, environmental pollution from wastewater reduced by at least 80%, taking into account the concentrations of pollutants in production wastewater. The study showed that a five-stage wastewater treatment system ensures efficient removal of pollutants. Although dairy processing company wastewater is highly polluted, the most effective reduction is observed in the concentration of fats (99.71%), suspended solids (98.48%), and BOD7 (96.75%).

Keywords: Milk, processing, wastewater, environmental protection, management.

Gauta 2025 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2025 m. balandžio mėn.

Mindaugas STOKA. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir vadybos studijų programos magistrantas. Adresas: Studentų g. 15a, LT-53362 Akademija, Kauno r., tel. +370 620 48406, el. paštas: mindaugas.stoka@stud.vdu.lt

Mindaugas STOKA. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, master student. Address: Studentų str. 15a, LT-53362 Akademija, Kaunas r. Phone: 370 620 48406, e-mail: mindaugas.stoka@stud.vdu.lt

Rasa ČINGIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedros docentė. Adresas: Studentų g. 15a, LT-53362 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 88107, el. paštas: rasa.cingiene@vdu.lt

Rasa ČINGIENĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, assoc. prof. Address: Studentų str. 15a, LT-53362 Akademija, Kaunas r. Phone: +370 377 88107, e-mail: rasa.cingiene@vdu.lt

VALGOMŲJŲ LEDŲ PAGALIUKŲ GAMYBA IŠ PLUOŠTINIŲ KANAPIŲ IR MIŠINIŲ SU RIŠANČIOMIS MEDŽIAGOMIS

Miglė Ambrasaitė, Algirdas Jasinskas, Ramūnas Mioldažys, Ernestas Zaleckas

Vytauto Didžiojo universitetas

Valgomųjų ledų pagaliukai dažniausiai gaminami iš įvairios medienos, tokios kaip beržas, bukas, liepa ar kitokių rūšių. Tačiau tokius medžius užauginti sudėtinga, tam reikia daugelio metų, be to, aplinkoje didindami deguonies kiekį ir mažindami CO₂ kiekį, medžiai teikia įvairiapusę naudą ir padeda kovoti su klimato kaitos pokyčiais. Dėl to valgomųjų ledų pagaliukų gamybai būtų tikslinga naudoti alternatyvius augalus, tokius kaip pluoštinė kanapė, kuri yra labai produktyvi ir ne tik praturtina aplinkos orą deguonimi, bet augdama natūraliai kovoja su piktžolėmis. Atlikus mokslinių ir kitų šaltinių apžvalgą ir analizę nustatyta, kad šiuo metu nėra išsamių mokslo žinių, kaip šiuos augalus ir jų mišinius su rišančiomis medžiagomis būtų galima racionaliai ir efektyviai panaudoti sąlyčiui su maistu, konkrečiai – su valgomaisiais ledais. Dėl to sprendžiant šią mokslinę problemą siekiama išsiaiškinti, kaip pluoštinių kanapių biomasės ir rišančių medžiagų pagrindu sudaryti mišinius, tinkamus ledų pagaliukų gamybai. Atlikti paieškomieji tyrimai, kuriais remiantis ir tęsiant analitinę apžvalgą buvo išryškintos svarbiausios mokslinių tyrimų kryptys: nustatyta, kurie rišikliai su pluoštinių kanapių biomase užtikrina optimaliausią mišinio, skirto ruošinių, tinkamų valgomųjų ledų pagaliukų gamybai, sudėtį ir įvertintos sąlyčiui su maisto produktais tinkamų pagaliukų fizinės-mechaninės, kokybinės, cheminės ir kitos savybės.

Raktiniai žodžiai: pluoštinės kanapės, rišančios medžiagos, mišiniai, pagaliukai ledams, gaminių savybės, naudojimas maisto pramonėje.

Įvadas

Valgomųjų ledų pagaliukų gamyboje paprastai naudojamos medžiagos, kurios yra saugios liestis su maistu, patvarios ir tinkamos užšalimo temperatūrai. Dažniausiai ledų pagaliukų gamyboje naudojamos medžiagos yra mediena, bambukas, kartonas, perdirbtos medžiagos ir plastikas (Robertson, 2016; Pawar et al., 2013).

Polimerinių (plastmasinių) gaminių panaudojimas pasibaigus eksploatavimo laikui siekiant tvarių tikslų vis dar išlieka svarstytinas. Tradiciniai polimerinių gaminių tvarkymo būdai, tokie kaip deginimas, perdirbimas, atliekų šalinimas į sąvartynus ar pirolizė, yra svarbi ekologinė problema. Aplinkos tarša, susidaranti dėl nesunaikinamų kietųjų dalelių kaupimosi, susirūpinimą kelia vis labiau, todėl šiuo metu didelis dėmesys yra skiriamas iš atsinaujinančių išteklių gaunamiems biologiškai skaidomiems polimerams ir kompozitinėms medžiagoms (Pilla, 2011).

Mediniai valgomųjų ledų pagaliukai yra vieni populiariausių. Dažniausiai jie gaminami iš beržo, buko, liepos ar kitos rūšies medienos. Tačiau medžius užauginti sudėtinga – tai reikalauja daugelio metų, be to, aplinkoje didindami deguonies kiekį ir mažindami CO₂ kiekį, medžiai teikia įvairiapusę naudą ir padeda kovoti su klimato kaitos pokyčiais. Dėl to valgomųjų ledų pagaliukams gaminti tikslinga naudoti alternatyvius augalus, o geriausiai tam tiktų vienmečiai žoliniai ar pluoštiniai augalai, kurie gali būti auginami Lietuvos klimato sąlygomis. Vienas iš tokių augalų galėtų būti pluoštinė kanapė, kuri yra labai produktyvi ir ji ne tik praturtina aplinkos orą deguonimi, bet ir augdama natūraliai kovoja su piktžolėmis. Jos užaugintas sėklas būtų galima nukulti, o likusią stiebų masę, kurią sudaro apie 70–75 % pluoštas ir likusi dalis spaljai, panaudoti valgomųjų ledų pagaliukų gamybai (Robinson, 2022).

Kuriant valgomųjų ledų pagaliukus iš kanapių pluošto, reikalingos ir sąlyčiui su maistu tinkamos naudoti rišančios medžiagos. Vienas iš tipinių natūralių polimerų – krakmolas, kuris dėl gebėjimo sukietėti ir sustiprinti struktūras naudojamas kaip rišančioji medžiaga, ir, nors krakmolo mechaninės savybės yra ribotos, jas galima sustiprinti derinant krakmolą su kitais užpildais, pavyzdžiui, kanapių celiuliozės pluoštu (Pilla, 2011). Kuriant pagaliukus iš pluoštinių kanapių, kiti pasirenkami rišikliai gali būti sojos, soros miltai ir saulėgrąžų aliejus. Sojų miltai kaip rišiklis biokompozituose naudojami labai dažnai, kadangi turi didelį baltymų kiekį ir jungiant celiuliozės pluoštus gali suteikti papildomą struktūrinį tvirtumą (Carter et al., 2008; Papadopoulou et al., 2024). Soros miltai taip pat naudojami kaip rišantis komponentas, tačiau gerinant kompozito mechanines savybes tikslinga naudoti augalinį aliejų (pvz., saulėgrąžų), kuris turi geras lipnumo, jungimo savybes, taip pat padeda pasiekti geresnę medžiagos formą ir padidina atsparumą drėgmei (Norris et al., 2010; Mohanty et al., 2002).

Tyrimų metodika

Tirti naujos sudėties pagaliukai ledams, kurių pagrindą sudaro susmulkinti ir sumalti į miltus pluoštinių kanapių stiebai (pluoštas ir spaljai) ir rišančios medžiagos (krakmolas, sojos, soros miltai). Šių valgomųjų ledų pagaliukams naudotų medžiagų pavyzdžiai pateikti 1 pav.



1 pav. Medžiagos, naudotos naujos sudėties valgomųjų ledų pagaliukų gamybai

Fig. 1. Materials used to produce ice cream sticks

Tyrimuose naudotos pastaruosiu metu Lietuvoje labiausiai paplitusios trijų rūšių pluoštinės kanapės – *USO 31*, *Felina 32* ir *Finola*. Bandymai atlikti naudojant ankstesnių metų pluoštinių kanapių stiebus ir pastarųjų 3 metų ūkininkų ir VDU bandymų stotyje užaugintą pluoštinių kanapių augalinę biomasę, kuri buvo smulkinama ir malama į miltus. Tyrimuose naudotų pluoštinių kanapių stiebai buvo laikomi ir natūraliai džiovinami ryšuliuose, o po to smulkinami iki 2–3 cm ilgio pjaustinio ir papildomai džiovinami džiovinimo kameroje iki 15–20 % drėgnio. VDU ŽŪA laboratorijose atliktų eksperimentinių tyrimų metu pluoštinių kanapių stiebams smulkinti buvo naudojamas pašarų kombaino „Maral 125“ būgninis smulkintuvas. Gautą stiebų pjaustinius smulkintas iki miltų pavidalo (0,5–1,5 mm dalelių). Tam naudotas laboratorinis malūnas „Retsch SM 200“.

Pluoštinių kanapių stiebų malimo kokybė (frakcinė sudėtis) nustatyta naudojant sietų kratytuvą „Retsch AS 200“ ir sietus su skirtingo skersmens skylutėmis: 0 mm, 0,25 mm, 0,5 mm, 0,63 mm, 1 mm ir 2 mm (2.6 pav.). Ant sietų likusi masė pasverta, apskaičiuota kiekvienos frakcijos ėminio dalis procentais. Kiekvienas bandymas kartotas 5 kartus.

Nustatant miltų masės tankį, pasvertas tuščias 6 dm³ talpos cilindras ir į jį berti miltai iki indo viršutinės briaunos. Indas su pjaustiniu pasvertas, paskaičiuota miltų masė. Po to apskaičiuotas miltų tankis (masė dalinama iš cilindro tūrio – m³). Kiekvienas bandymas kartojamas 3 kartus. Miltų drėgnis buvo nustatomas VDU ŽŪA Inžinerijos fakulteto Progresyvos augalininkystės inžinerijos laboratorijoje pagal standartinę ir plačiai naudojamą metodiką. Drėgniui nustatyti paimti 3 mėginiai po 50 g, jie pasverti ir džiovinti 24 val. 105°C temperatūroje laboratorinėje džiovykloje. Pasverti išdžiovinti ėminiai, po to sverti tušti indeliai ir apskaičiuotas kiekvieno ėminio drėgnis. Augalo santykinis drėgnis apskaičiuojamas procentais. Laboratorijoje nustatytas vandens kiekio mėginyje santykis su mėginio mase. Nustačius skirtingų miltų mėginių drėgnį buvo paskaičiuotos mėginių masės vidutinė reikšmė, pateikiama su paklaida. Miltų mėginio drėgnis w_l apskaičiuojamas remiantis formule:

$$w_l = \frac{G_1 - G_2}{G_1} 100 \quad (\%), \quad (1)$$

čia: G_1 – drėgno ėminio masė, g (be indelio masės);

G_2 – išdžiovinto ėminio masė, g (be indelio masės).

Visoms tirtų variantų kompozicijoms suteikti simboliai bei nustatytos svorinės proporcijos pateiktos 1 lentelėje.

1 lentelė. Gaminiam suteikti simboliai ir kompozicijų sudėtis

Table 1. Symbols given to products and composition

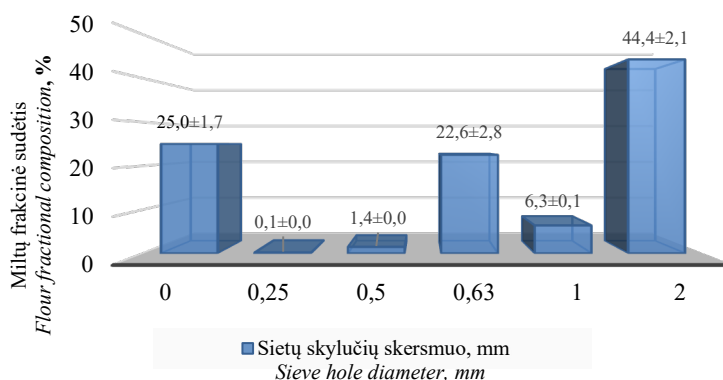
Varianto Nr. <i>Variant No.</i>	Susmulkinti kanapių stiebų miltai <i>Crushed hemp stalk flour</i>	Susmulkinti sorų miltai <i>Millet flour, crushed</i>	Susmulkinti sojų miltai <i>Crushed soybean flour</i>	Bulvių krakmolas <i>Potato starch</i>	Cukrus <i>Sugar</i>
Simboliai <i>Symbols</i>	KAN	SOR	SOJ	KRAK	CUK
1	5 g	-	-	-	-
2	5 g	-	-	5 g	2 g
3	5 g	5g	-	-	-
4	5 g	-	5g	-	-
5	5 g	– 5g linų sėmenų miltai / flaxseed flour (LIN) –		-	-
6	5 g	-	-	5 g	-
7	5 g	-	-	5 g	2 g
8	2,5 g	-	-	2,5 g	-
9	2,5 g	-	-	2,5 g	1 g

Tyrimų eiga: į plakiklį pripilta 250 ml distiliuoto vandens, atitinkamai pagal variantą (1 lentelė) sveriamos medžiagos ir supilamos į mikserį. Visa konsistencija maišyta 3 minutes įjungus, 1' plakiklio greitį. Gauta masė nufiltruota ir suspaudus tarp dviejų aliuminio plokštelių patalpinta į mufelinę krosnį, kaitinta 30 min. 200 °C temperatūroje. Produktas išimtas iš formos ir atvėsintas iki kambario temperatūros.

Tiriant pagamintų valgomųjų ledų pagaliukų atsparumą gniuždymui (stiprumą) buvo naudota VDU Žemės ūkio akademijos Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedroje esanti mažų jėginių matavimų įranga INSTRON 5960 bei programinė įranga „Bluehill“. Eksperimentiniai tyrimai buvo atlikti valgomųjų ledų pagaliukus dedant ant dviejų atramų, esančių 70 mm atstumu, ir juos centrinėje dalyje veikiant vertikalia pusiau statine apkrova. Tyrimų rezultatai buvo registruoti kas 0,1 sekundę, kol tiriamas pagaliukas išlinkdavo ir pasiekdavo kritinę jėgą. Skirtingų rūšių ir mišinių valgomųjų ledų pagaliukų mechaninių savybių bandymai buvo kartojami po 3 kartus.

Rezultatai ir aptarimas

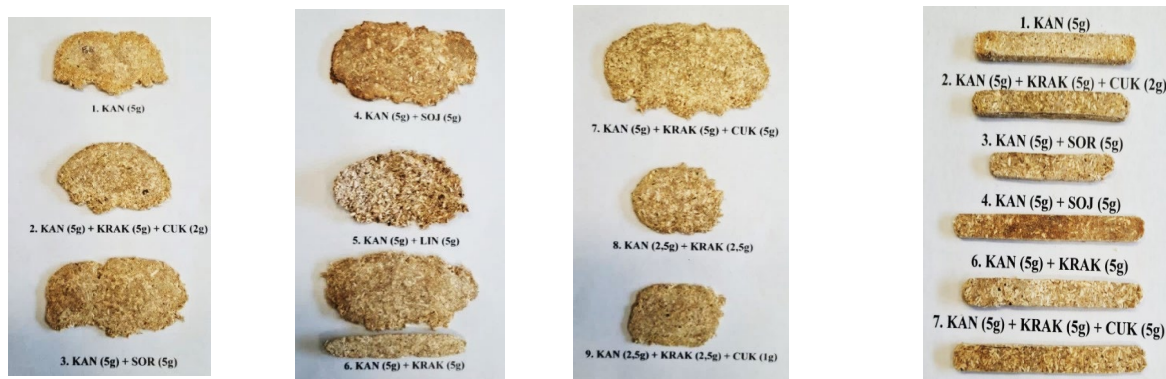
Ruošiant gaminti naujos sudėties pagaliukus valgomiesiems ledams, pluoštinių kanapių stiebai pirmiausia smulkinti ir malti į smulkią (naudojant malūną ir sietus su 1 mm skylutėmis) ir stambiaią (sietai su 2 mm skylutėmis) frakcijas. Miltai ruošti iš 3 kanapių rūšių ir įvairių jų mišinių. Nustatyta, kad kanapių miltai buvo skirtingo drėgnio, tai ir miltų drėgnis varijavo 7,9–9,1 proc. ribose. Įvertinus kanapių miltų frakcinę sudėtį, iš diagramos (2 pav.) matyti, kad didžiausia sėjamųjų kanapių miltų frakcija ($-44,4 \pm 2,1\%$) susikaupė ant 2 mm skersmens skylučių sieto, o mažiausiai frakcijos ($0,1 \pm 0,0\%$) gauta ant sieto su 0,25 mm skylutėmis. Smulkausios frakcijos, vadinamos dulkėmis, gauta net $25,0 \pm 1,7\%$.



2 pav. Pluoštinių kanapių stiebų miltų frakcinė sudėtis

Fig. 2. Fractional composition of fibrous hemp stalk flour

Plokščių pagaliukų gamyba bei pagamintų pagaliukų bendras vaizdas iš kanapių (KAN) mišinių su krakmolo (KRAK), sorų (SOR), sojų (SOJ), linų (LIN) ir cukraus (CUK) priedais pateiktas 3 pav.



3 pav. Suspaustos masės gamyba iš KAN mišinių su KRAK, SOR, SOJ, LIN ir CUK priedais (9 variantai)

Fig. 3. Production of compressed mass from KAN mixtures with KRAK, SOR, SOJ, LIN and CUK additives (9 variants)

4 pav. Plokšti pagaliukai pagaminti iš KAN mišinių su KRAK, SOR, SOJ ir CUK (7 variantai)

Fig. 4. Flat sticks made from KAN mixtures with KRAK, SOR, SOJ and CUK (7 variants)

Atsparumo gniuždymui bandymams atrinkti pagaliukai, kurie vizualiai atrodė patvariausi, pagaminti iš KAN mišinių su KRAK, SOR, SOJ ir CUK priedais (4 pav.).

Pagamintų pagaliukų iš kanapės (KAN) mišinių su krakmolo (KRAK), sorų (SOR), sojų (SOJ) bei cukraus (CUK) priedais tankis svyravo nuo 300,78 kg m⁻³ (KAN (5 g) + SOR (5 g) iki 640,38 kg m⁻³ (KAN (5 g) + SOJ (5 g) (2 lentelė). Tankio pokyčius lėmė tai, kad pagaliukai buvo pjaustomi rankiniu būdu iš suspaustos masės, gauti skirtingi pločiai (nuo 9,62 iki 10,34 mm) bei storiai (nuo 2,95 iki 4,27 mm).

2 lentelė. Pagamintų plokščių pagaliukų biometriniai rodikliai

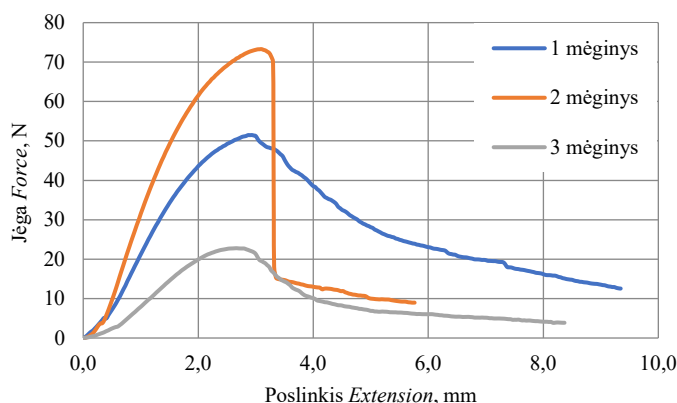
Table 2. Biometric indicators of manufactured flat sticks

Simboliai Symbols	Parametrai / Parameters				
	Ilgis Length, mm	Plotis Width, mm	Storis Thickness, mm	Masė Mass, g	Tankis Density, kg m ⁻³
1. KAN (5 g)	81,25	10,34	2,95	1,43	576,99
2. KAN (5 g) + KRAK (5 g) + CUK (2 g)	79,21	9,62	4,27	1,80	553,21
3. KAN (5 g) + SOR (5 g)	61,77	9,77	3,03	0,55	300,78
4. KAN (5 g) + SOJ (5 g)	94,23	10,04	2,74	1,66	640,38
6. KAN (5 g) + KRAK (5 g)	88,09	10,33	3,63	1,43	432,91
7. KAN (5 g) + KRAK (5 g) + CUK (5 g)	94,12	10,27	2,78	1,48	550,76

Atsparumo gniuždymui bandymų metu buvo vertinama skirtingų rūšių vidutinių (charakteringų tai rūšiai) pagaliukų deformacijos pradžia ir maksimali kritinė gniuždymo jėga. Buvo nustatyta, kad mažiausiai atsparūs gniuždymui buvo 1. KAN pagaliukai be priedų, jų didžiausia (kritinė) slėgio jėga $F = 2,02$ N (prie 1,76 mm), mažiausia 0,13 N (prie 2,03 mm). Toliau rikiavosi: variantas 6. KAN + KRAK (didžiausia (kritinė) slėgio jėga $F = 4,32$ N (prie 3,40 mm), mažiausia 2,02 N (prie 1,92 mm)); 7. KAN + KRAK + CUK (5 g) didžiausia (kritinė) slėgio jėga $F = 8,17$ N (prie 2,43 mm), mažiausia 0,91 N (prie 1,80 mm); 3. KAN + SOR didžiausia (kritinė) slėgio jėga $F = 10,27$ N (prie 1,70 mm), mažiausia 7,33 N (prie 2,54 mm) ir 4. KAN + SOJ didžiausia (kritinė) slėgio jėga $F = 18,78$ N (prie 2,03 mm), mažiausia 9,94 N (prie 3,23 mm).

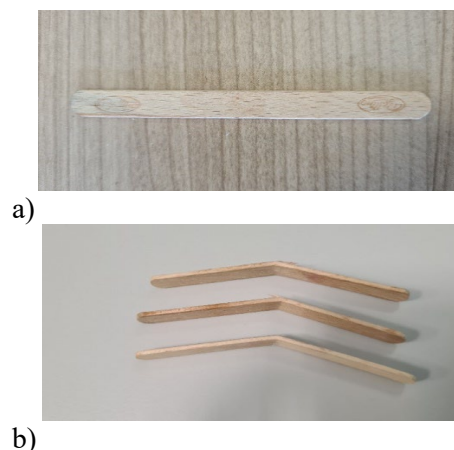
Atspariausi gniuždymui buvo 2. KAN + KRAK + CUK (2 g) pagaliukai, kurių didžiausia (kritinė) slėgio jėga F siekė net 73,28 N, o mažiausia 22,78 N. Pažymėtina, kad šio varianto pagaliukų tankis buvo vienas iš didesnių – 553,21 kg m⁻³. Šio varianto atsparumo gniuždymui tyrimų rezultatai pateikti 5 pav.

Palyginimui taip pat buvo atliktas plokščių pramoniniu būdu iš medienos pagamintų pagaliukų tyrimai. Jų bendras vaizdas pateiktas 6 pav.



5 pav. Plokščių pagaliukų 2. KAN + KRAK + CUK (2 g) stiprumo bandymo kreivės

Fig. 5. Strength test curves of flat sticks 2. KAN + KRAK + CUK (2 g)



6 pav. Pramoniniai plokšti pagaliukai (KONTROLĖ): a) plokščio pagaliuko vaizdas; b) pagaliukai po atsparumo gniuždymui bandymo.

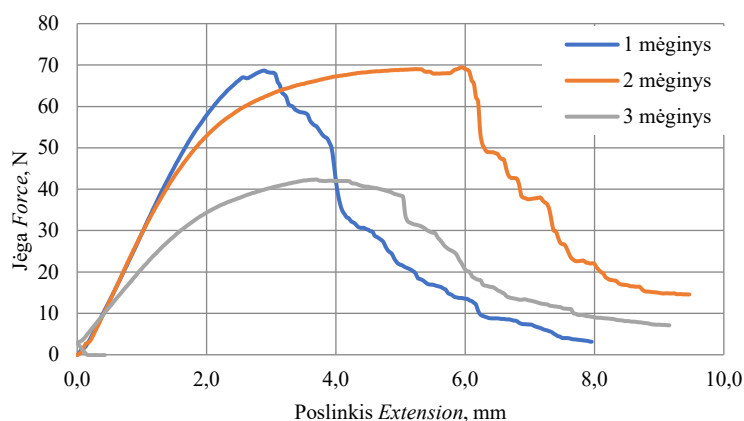
Fig. 6. Industrial flat sticks (CONTROL): a) image of a flat stick; b) sticks after the crushing resistance test.

Pramoniniu būdu pagamintų plokščių pagaliukų tankis svyravo nuo 656,00 kg m⁻³ iki 730,73 kg m⁻³ (3 lentelė). Lyginant kontrolei naudotus plokščius pagaliukus su iš kanapių (KAN) su įvairiais priedais pagamintais pagaliukais, galima teigti, kad tankis buvo labai panašus.

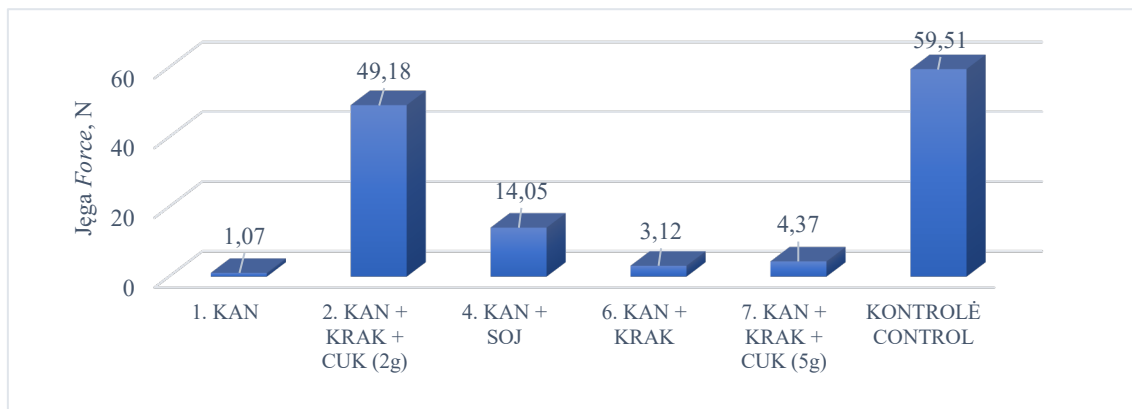
3 lentelė. Pramoninių plokščių pagaliukų biometriniai rodikliai**Table 3.** Biometric indicators of industrial flat sticks

Pavadinimas	Variantas <i>Variant</i>	Parametrai / <i>Parameters</i>				
		Ilgis <i>Length</i> , mm	Plotis <i>Width</i> , mm	Storis <i>Thickness</i> , mm	Masė <i>Mass</i> , g	Tankis <i>Density</i> , kg m ⁻³
KONTROLĖ <i>CONTROL</i>	A	92,94	9,45	2,01	1,29	730,73
	B	93,36	9,6	1,99	1,17	656,00
	C	92,56	9,55	2,00	1,19	673,12
	Vidurkis	92,95	9,53	2,00	1,22	686,62 ± 97,27

Plokščių pagaliukų kontrolei naudotų atsparumo gniuždymui tyrimų rezultatai pateikti 7 pav. Atlikus pagaliukų atsparumo gniuždymui tyrimus buvo nustatyta, kad mažiausiai atsparūs gniuždymui buvo 3 mėginys (c variantas), didžiausia (kritinė) slėgio jėga siekė 40,88 N (prie 3,14 mm). Atsparesnis gniuždymui buvo 2 mėginys (b variantas), didžiausia (kritinė) slėgio jėga F siekė 68,98 N (prie 5,26 mm) (7 pav.).

**7 pav.** Plokščių pagaliukų, pagamintų pramoniniu būdu, stiprumo bandymo kreivės**Fig. 7.** Strength test curves for industrially produced flat sticks

Apibendrinant pagaliukų stiprumo tyrimo rezultatus galima teigti, kad visų rūšių tirti pagaliukai buvo ne vienodai atsparūs pusiau statinei apkrovai (8 pav.).

**8 pav.** Visų tyrimuose naudotų plokščių pagaliukų atsparumo gniuždymui vidurkių palyginimas**Fig. 8.** Comparison of the average compressive strength of all flat sticks used in the experiments

Kaip minėta, atspariausi gniuždymui buvo 2. KAN + KRAK + CUK (2 g) pagaliukai, vidutinis jų atsparumas gniuždymui siekė $49,2 \pm 46,5$ N. Šios serijos, antrą pagal stiprumą 4. KAN + SOJ pagaliukai, vidutiniškai atlaikė iki $14,1 \pm 10,9$ N apkrovą. Kitos rūšys neviršijo 5 N atsparumo gniuždymo jėgos, dėl to tolimesnė pagamintų pagaliukų įvairių mišinių tyrimo analizė netikslinga (8 pav.). Lyginant plokščius pagaliukus, naudotus kontrolei, su pagamintais plokščiais pagaliukais iš kanapių (KAN) su įvairiais priedais, galima teigti, kad artimiausi pagaminti pagaliukai pagal atsparumo mechanines savybes buvo 2. KAN + KRAK + CUK (2 g) pagaliukai, kurių didžiausia (kritinė) slėgio jėga siekė net 73,28 N (vidutinis jų atsparumas gniuždymui siekė $49,2 \pm 46,5$ N). Apibendrinant šių tyrimų rezultatus galima teigti, kad gaminti pagaliukai tiktų sąlyčiui su valgomaisiais ledais, nes jie pasižymėjo dideliu atsparumu gniuždymui ir turėjo lygų paviršių.

Išvados

1. Įvertinus kanapių miltų frakcinę sudėtį, didžiausia sėjamųjų kanapių miltų frakcija ($44,4 \pm 2,1$ %) susikaupė ant 2 mm skersmens skylių sieto. Smulčiausios frakcijos, vadinamos dulkėmis, gauta net $25,0 \pm 1,7$ %.
2. Pagamintų pagaliukų iš kanapių (KAN) mišinių su krakmolo (KRAK), soros (SOR), sojos (SOJ) bei cukraus (CUK) priedais tankis svyravo nuo $300,78 \text{ kg m}^{-3}$ (KAN (5 g) + SOR (5g)) iki $640,38 \text{ kg m}^{-3}$ (KAN (5 g) + SOJ (5 g)). Lyginant kontrolei naudotus pramoniniu būdu gamintus plokščius pagaliukus, kurių tankis svyravo nuo $656,00 \text{ kg m}^{-3}$ iki $730,73 \text{ kg m}^{-3}$, su pagaliukais, gamintais iš kanapių ir mišinių su rišančiomis medžiagomis, nustatyta, kad pastarųjų tankis buvo mažesnis, bet artimas pramoniniams pagaliukams.
3. Lyginant pramoninius valgomųjų ledų pagaliukus (didžiausia slėgio jėga – 68,98 N) su pagamintais pagaliukais iš kanapių ir rišančių medžiagų, nustatyta, kad labiausiai panašūs pagal atsparumo gniuždymui mechanines savybes buvo 2. KAN + KRAK + CUK (2 g) varianto pagaliukai, kurių didžiausia slėgio jėga siekė net 73,28 N.

Literatūra

1. Robertson, G. L. (2016). *Food packaging: principles and practice*. 3rd ed. CRC Press. <http://dx.doi.org/10.1201/b21347>
2. Pawar, P. A., Purwar, A. H. (2013). Biodegradable polymers in food packaging. *American Journal of Engineering Research*, 2(5), 151–164.
3. Pilla, S. (2011). Engineering applications of bioplastics and biocomposites – An overview. *Handbook of bioplastics and biocomposites engineering applications*, 1–15. doi:10.1002/9781118203699
4. Robinson, B. B. (2022). *Hemp*. DigiCat. https://books.google.lt/books?id=G42CEAAQBAJ&hl=lt&source=gbs_navlinks_s
5. Carter, C. L., Gadhia, P. S. (2008). Use of starch and soy proteins for bio-composites: A comparative study. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, 2(1), 1–8.
6. Papadopoulou, E., Moutousidis, D., Kountouras, S., Argyropoulou, A., Stathopoulos, P., Skaltsounis, A. L., Chrissafis, K. (2024). New Bio-Based Binding Systems for Plywood Panels. *Applied Sciences* (2076–3417), 14(13). doi:10.3390/app14135862
7. Norris, M. R., Laks, P. (2010) Biocomposites from natural fibers and resins: a review of the use of vegetable oils as resins in composite applications. *Compos Part A, Appl Sci Manuf.* 41(7), 800–807. doi:10.1016/j.compositesa.2010.02.003
8. Mohanty, A. K., Misra, M., Drzal, L. T. (2002). Sustainable bio-composites from renewable resources: opportunities and challenges in the green materials world. *Journal of Polymers and the Environment*, 10, 19–26. <http://dx.doi.org/10.1023/a:1021013921916>

Miglė Ambrasaitė, Algirdas Jasinskas, Ramūnas Mioldažys, Ernestas Zaleckas

Production of Ice Cream Stickers from Fibrous Hemp and Mixtures with Binding Substances

The latest scientific and production information on sticks used for ice cream in Lithuania and abroad, which are usually made of various types of wood, such as birch, beech, linden or other types of wood, has been analysed. However, such trees are difficult to grow, it takes many years, and they serve as oxygen-increasing and CO₂-reducing plants in the environment. Therefore, it is recommended to use alternative plants, such as fibrous hemp, to produce such sticks, which is very productive and not only enriches the ambient air with oxygen, but also naturally fights weeds as it grows. After reviewing and analysing scientific and other sources, it was determined that there is currently no comprehensive scientific knowledge on how these plants and their mixtures with binding agents could be rationally and effectively used for the production of products suitable for contact with food, specifically ice cream. Therefore, in solving this scientific problem, the aim is to find out how to create mixtures based on fibrous hemp biomass and binding agents that are suitable for the production of ice cream sticks. For this purpose, exploratory studies have already been conducted, based on which and continuing the analytical review, the most important directions of scientific research were highlighted: to determine which binders with fibrous hemp biomass ensure the most optimal composition of the mixture for the production of blanks suitable for edible ice cream sticks, and to evaluate the physical-mechanical, qualitative, chemical and other properties of sticks suitable for contact with food products.

Keywords: Fibrous hemp, binding agents, mixtures, ice cream sticks, product properties, use in the food industry.

Gauta 2025 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2025 m. balandžio mėn.

Miglė AMBRASAITĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedros doktorantė. Adresas: Studentų g. 15a, LT-53362 Akademija, Kauno r., tel. +370 629 57336, el. paštas: migle.ambrasaite@vdu.lt

Miglė AMBRASAITĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, doctoral student. Address: Studentų str. 15a, LT-53362 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 629 57336, e-mail: migle.ambrasaite@vdu.lt

Algirdas JASINSKAS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos, Inžinerijos fakulteto, Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedros profesorius. Adresas: Studentų g. 15a, LT-53362 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52357, el. paštas: algirdas.jasinskas@vdu.lt

Algirdas JASINSKAS. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, prof. Address: Studentų str. 15a, LT-53362 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 377 52357, e-mail: algirdas.jasinskas@vdu.lt

Ramūnas MIELDAŽYS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedros docentas. Adresas: Studentų g. 15a, LT-53362 Akademija, Kauno r., tel. +370 614 01137, el. paštas: ramunas.mieldazys@vdu.lt

Ramūnas MIELDAŽYS. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, assoc. prof. Address: Studentų str. 15a, LT-53362 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 614 01137, e-mail: ramunas.mieldazys@vdu.lt

Ernestas ZALECKAS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Bioekonomikos tyrimų instituto vyresnysis mokslo darbuotojas. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r., tel. +370 683 05769, el. paštas: ernestas.zaleckas@vdu.lt

Ernestas ZALECKAS. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Bioeconomy Research Institute, Senior researcher. Address: Studentų str. 11, LT-53361 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 683 05769, e-mail: ernestas.zaleckas@vdu.lt

AUKŠTESNĖS PRIDĖTINĖS VERTĖS SUKŪRIMAS NAUDOJANT SKAITMENINIUS ĮRANKIUS ŽIEMINIŲ KVIEČIŲ TRĘŠIMO TECHNOLOGIJOJE

Romutė Mikučionienė

Lietuvos inžinerijos kolegija

Azoto išsiplovimui suvaldyti tikslinga taikyti bekontaktus azoto poreikio nustatymo metodus. Jų dėka efektyviau naudojami ūkio resursai bei gaunama papildoma nauda – didesnis bei aukštesnės kokybės derlius, sutaupoma trąšų ir pan. Šiuolaikinės technologijos leidžia integruoti į žemės ūkio techniką įvairius sensorinius jutiklius ir naudotis palydoviniais duomenimis, kurie padeda įvertinti pasėlio būklę realiu laiku ir atlikti augalų priežiūros (tręšimo, purškimo) darbus. Gamybinis bandymas atliktas žieminių kviečių pasėlyje vidurio Lietuvoje. Azoto poreikiui augaluose nustatyti naudoti azoto jutikliai su parinktu tiksliniu bei dviejų taškų algoritmu ir palydoviniai augalų vegetacijos indekso (NDVI) duomenys. Subalansavus augalų mitybą azoto trąšomis padidėjo jų derlingumas nuo 2 iki 7 %, pasėlis neišgulė ir sutaupyta iki 13 % azotinių trąšų.

Raktiniai žodžiai: azoto jutikliai, algoritmas, augimo tarpsnis, tręšimas, žieminiai kviečiai.

Įvadas

Žemės ūkio politika, aplinkosauginiai reikalavimai ir ES „žalioji kurso“ iššūkiai įpareigoja tikslingai panaudoti tręšiamuosius produktus, ypač azotines trąšas augalams tręšti. Azoto pasisavinimas žieminių kviečių pasėliuose priklauso nuo daugelio veiksnių ir jų sąveikos tarpusavyje ir lauke gali labai skirtis (Janušauskaitė ir kt., 2004; Sinclair ir kt., 2012).

Ne tik naujos veislės, besikeičiančio klimato sąlygos, bet ir išmaniųjų mašinų bei jutiklių integracija į ūkininkavimo procesus skatina ieškoti tinkamų sprendimų sėkmingoms tręšimo prielaidoms suformuoti (Stettmer et al., 2022; Wolfert et al., 2017; Sundmaecker ir kt., 2016). Azotas yra struktūrinis metabolinių fermentų komponentas ir statybinė medžiaga augalo ląstelių medžiagų sudėtyje. Azoto trūkumas stabdo ląstelių dalijimąsi, fotosintezės vyksmą, sulėtina augimo ir pagreitina senėjimo procesus. Labai svarbu suformuoti pasėlį su dideliu lapų asimiliacinį plotu, o vėlesniuose tarpsniuose – išlaikyti efektyviai fotosintetinantį lapų plotą. Beveik 60 % reikalingo nitratinės ir amoniakinės formos azoto grūdų pildymo metu paimama iš aplinkos, o 90 % azoto grūdų brandos metu remobilizuojami iš vegetatyvinių organų (Dordas, 2009; Kong ir kt., 2016; Xiaokang ir kt., 2022). Ryšys tarp fotosintezės ir derliaus yra itin kompleksiškas reiškinys, todėl modeliuojant augalų derlingumo potencialą būtina atsižvelgti į išorinių ir vidinių veiksnių visumą.

Šiltėjant klimatui vis dažniau stebimi ekstremalūs temperatūros ir kritulių pokyčiai. Keičiantis šilumos ir drėgmės pasiskirstymui šaltuoju metų laiku ir atsinaujinus augalo vegetacijai atsiranda žinių bei technologinių sprendimų trūkumas, kurie leistų užtikrinti žieminių kviečių derlingumą. Klimatologai prognozuoja, kad vidutinė metinė temperatūra kils, didės vidutinė maksimali oro temperatūra, išaugs stichinių kaitrų tikimybė (apie 31 %), kritulių atvejų skaičius nesikeis, tačiau didės kritulių intensyvumas, išaugs kritulių kiekis žiemos sezonu. Vidutinis mėnesio kritulių kiekis labiausiai keisis (didės) gruodžio bei sausio mėn., dėl ko, tikėtina, padaugės ilgai trunkantys lietingi periodai ir jų tikimybė svyruos priklausomai nuo sausringų ir lietingų ilgalaikių periodų (Kilpys, 2013). Keičiantis klimato sąlygoms, tręšiamųjų produktų pasiūlai, veislių įvairovei bei griežtėjant aplinkosaugios reikalavimams, reikalingi nauji sprendimai, kurie leistų efektyviai panaudoti mineralines azotines trąšas. Duomenys rodo, kad aplinkos taršą lemia ne tiek išbertų trąšų kiekis, kiek jų išbėrimo laikas, būdas ir įsisavinimo efektyvumas (Pranckietienė, 2022). Literatūros analizė parodė, kad egzistuoja žieminių kviečių auginimo moksliniai/technologiniai neapibrėžtumai, kurie reikalauja sprendinių, įgalinančių padėti sukurti pažangią, aplinką tausojančią ir prie netipinių meteorologinių sąlygų pritaikytą žieminių kviečių tręšimo technologiją pritaikant skirtingus azoto poreikio nustatymo ir atidavimo modelius.

Azoto normų tręsimui nustatyti jutiklių ir skaitmeninių įrankių pagalba reikia išspręsti šiuos mokslinius / technologinius neapibrėžtumus: nėra žinoma, kaip veikia azoto jutikliai ir skaitmeniniai įrankiai, kurių pagalba optimizuojamos azoto trąšų normos augalų krūmijimosi ir bamblėjimo tarpsniuose, siekiant užauginti didelio asimiliacinio ploto ir fotosintetinio potencialo pasėlį netipinėmis meteorologinėmis sąlygomis, nėra žinoma, kokie dėsningumai reiškiasi priklausomai nuo naudojamų inovatyvių azoto poreikio nustatymo įrankių augalo organinio augimo ir azoto metabolizmo procesų metu esant netipinėms meteorologinėms sąlygoms.

Šio darbo tikslas – išsiaiškinti skirtingų algoritmų azoto jutikliuose ir palydovinių duomenų NDVI indekso pritaikomumo efektyvumą žieminių kviečių tręšimo technologijoje esant netipinėms meteorologinėms sąlygoms. Tikslui pasiekti buvo iškelti du uždaviniai:

1. Išanalizuoti azoto jutiklių ir palydovinių duomenų NDVI indekso tikslumą, siekiant nustatyti azoto poreikį realiu laiku ir nustatyti tręšimo normas azotu žieminiams kviečiams pavasarį.

2. Remiantis gautais rezultatais nustatyti ir apibrėžti sąsajas tarp taikytų algoritmų bei NDVI indekso ir azotinių trąšų bei grūdų derliaus pokyčių.

Tyrimų metodika

Azoto jutiklių ir palydovinių NDVI indekso duomenų panaudojimo tręšimo technologijoje tyrimas atliktas žieminių kviečių pasėlyje 2022 ir 2023 metais. Bandymas įrengtas gamybiniame demonstraciniame lauke „Ateities“ ūkyje Radviliškio r. Remiantis geoportalas.lt duomenimis, tyrimų dirvožemis yra smėlingo lengvo priemolio giliau karbonatingas sekliu glėjiškas rudžemis. Bandymo schema pateikta 1 lentelėje.

1 lentelė. Bandymo schema
Table 1. Scheme of experimental

Eil. Nr. No.	Variantas Treatment	Azoto normos skaičiavimas Calculation of nitrogen rate	I papildomas tręšimas 1st additional fertilization	II papildomas tręšimas 2nd additional fertilization
1.	Įprastas tręšimas (K)	Pasėlis tręšiamas vienoda nustatyta norma (kontrolė)	BBCH 33-44	BBCH 55-57
2.	Tikslinės normos algoritmas (TNA)	Pasėlis tręšiamas kintama norma pagal nurodytą tikslinę normą, kuri susieta su jutiklio skenavimo verte		
3.	Dviejų taškų algoritmas (DTA)	Pasėlis tręšiamas kintama norma pagal nustatytas dviejų vidurkių (derlingos ir mažiau derlingos lauko vietos) normas, susietas su jutiklio skenavimo verte		
4.	4 taškų matavimo diapazonas (KTMD)	Pasėlis tręšiamas kintama norma pagal 4 taškų matavimo vidurkių normas, susietas su jutiklio skenavimo duomenis		
5.	Skaitmenis įrankis „Agro247“ („Agro247“)	Pasėlis tręšiamas kintama norma, sugeneravus tręšimo žemėlapi, pagal naujausius NDVI palydovinius duomenis		

Lentelės antraštės, paveikslų ašių pavadinimai bei grafikų legendos pateikiamos lietuvių ir anglų kalbomis.

Azoto poreikis augaluose (kg ha^{-1}) ir produktyvių stiebų skaičius (mln. vnt. ha^{-1}) buvo vertinamas kas dvi savaites (2 lentelė). Rankiniu azoto testeriu „SPAD-502 Plus“ išmatuotas chlorofilo kiekis augalo lapuose ir apskaičiuotas azoto poreikis. Žieminių kviečių stiebų skaičius buvo skaičiuotas 1 m^2 . Azoto poreikio matavimai ir augalo stiebų apskaita buvo atlikti visuose tiriamuosiuose laukuose (variantuose), 4-iose skirtingose vietose ir išvestas reikšmių vidurkis. Ekonominis vertinimas skaičiuotas remiantis šiais įkainiais: 2 kl. grūdų kaina 217 eur t^{-1} , amonio salietra – 450 eur t^{-1} , kai derlius 7 t ha^{-1} .

2 lentelė. Azoto poreikio augaluose vertinimo ir stiebų skaičiaus pasėlyje skaičiavimo laikas

Table 2. The time of evaluation of plant nitrogen demand and calculation of the number of stems per crop

Data ir augalo augimo tarpsnis							
Date and crop growth stage							
2022 04 14 BBCH 29–30	2022 04 28 BBCH 31–32	2022 05 05 BBCH 33	2022 05 19 BBCH 33–34	2022 06 08 BBCH 41–43	2022 06 22 BBCH 59–61	2022 07 01 BBCH 75	2022 07 13 BBCH 83
2023 05 02 BBCH 29–30	2023 05 09 BBCH 30–31	2023 05 17 BBCH 32–34	2023 05 23 BBCH 35–37	2023 05 30 BBCH 39–41	2023 06 06 BBCH 47–51	2023 06 20 BBCH 61–65	2023 06 27 BBCH 69

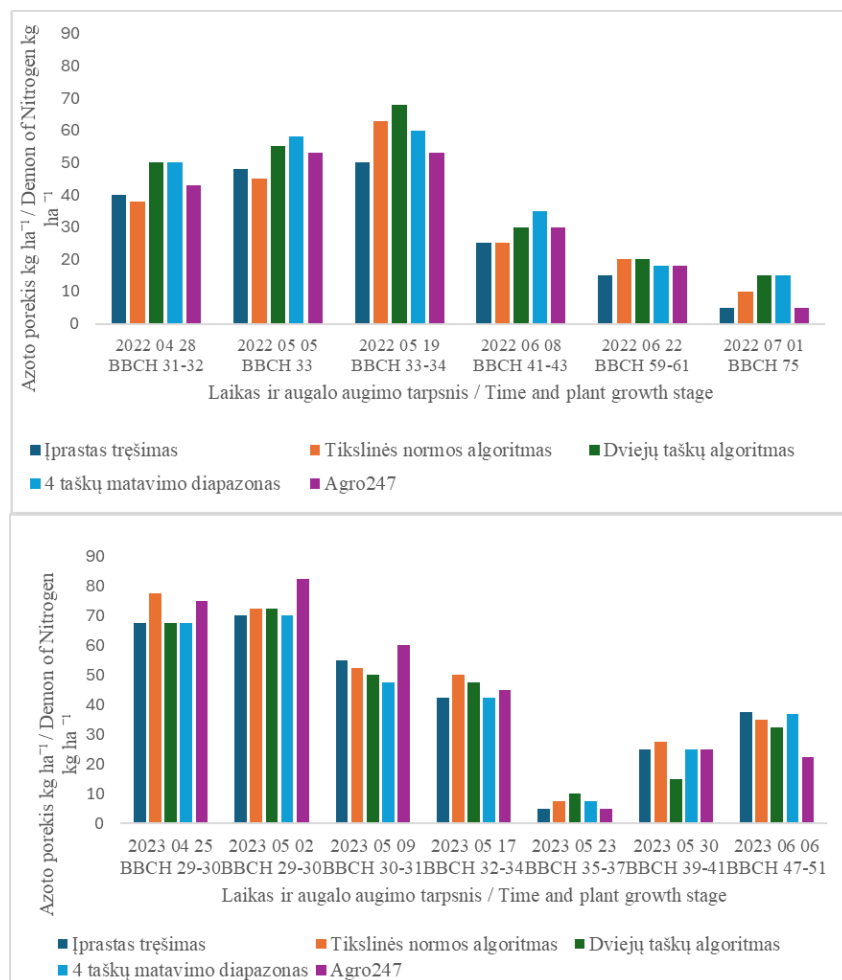
Rudeninis tręšimas sėjos metu ir pavasarinis tręšimas atsinaujinus augalų vegetacijai (krūmijimosi pabaiga) visuose bandymo variantuose buvo vienodas. 2022 m. ankstyvą pavasarį, atsinaujinus augalų vegetacijai, buvo išberta 115 kg ha^{-1} , o 2023 m. – $124,8 \text{ kg ha}^{-1}$ azoto veikliosios medžiagos. Papildomi tręšimai azotu atlikti augalų bambėjimo (BBCH 33–34) ir plaukėjimo (BBCH 55–57) tarpsniuose (1 lentelė). Kiti pasėlio priežiūros darbai atlikti pagal augalų apsaugos ir tręšimo per lapus technologijas. Pasėlio išgulimas buvo vertinamas stiebų apskaitos metu vizualiai bei pakeliant droną.

Derliaus apskaita buvo atlikta apskaitiniuose 1 ha laukeliuose, kurių plotas buvo išmatuotas rankiniu GPS matuokliu, technologinės vėžės buvo eliminuotos ir kiekvieno apskaitinio laukelio derlius sveriamas atskirai. Derlius nukultas 2022 08 18 ir 2023 08 04.

Rezultatai ir aptarimas

Šio tyrimo duomenys rodo, kad azoto poreikis pasibaigus krūmijimosi tarpsniui buvo nevienodas ir daugiausiai azoto augalams reikėjo bambklėjimo (BBCH 33–34) tarpsnyje (1 pav.). Tai rodo, kad žieminiai kviečiai yra reiklūs azotui bambklėjimo tarpsniu, todėl labai svarbu nepamažinti azoto trąšų normos šiuo momentu. Teigiama, kad žieminiams kviečiams iki pirmojo bamblio reikia apie 30 %, nuo pirmo bamblio iki vėliavinio lapo – 40 % azoto (Pranckietienė, 2022; Kong ir kt., 2016; Dromantienė, 2012; Tranavičienė, 2009).

2022 metų pavasarį žieminių kviečių azoto poreikis 3–4 bamblio augimo tarpsnyje (BBCH 33–34) skirtinguose tręšimo variantuose svyravo nuo 42,5 iki 67,5 kg ha⁻¹.



1 pav. Azoto poreikis augalo skirtingo išsivystymo tarpsniuose kg ha⁻¹ 2022–2023 m.

Fig. 1. Nitrogen requirement in different development stages of plant kg ha⁻¹, 2022–2023 m.

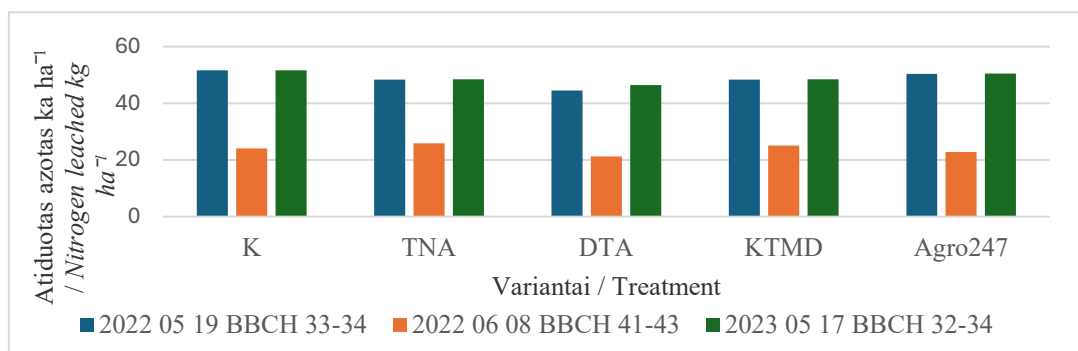
Šaltinis / Source. „Ateities“ ūkis, Radviliškis.

Didžiausias azoto poreikis nustatytas variantuose, kuriuose tręšimas buvo atliekamas azoto sensorių pagalba. Tręšimui naudojant jutiklius su tikslinės normos algoritmu (TNA) ir 4 taškų matavimo diapazonu azoto (4TMD) buvo išberta 48,3 kg ha⁻¹ ir naudojant jutiklius su dviejų taškų kalibravimu – 44,5 kg ha⁻¹. Čia azoto poreikis buvo 60,0 kg ha⁻¹. Jutiklių pagalba pasėlis tręšiamas kintama norma, todėl sunaudota mažesnė azoto trąšų norma nei buvo paskaičiuotas poreikis. Didžiausia azoto norma (50,4–51,6 kg ha⁻¹) išberta tręšiant įprastai (K) arba naudojant „Agro247“ programos tręšimo žemėlapius, nors šiuose laukuose azoto poreikis nustatytas mažiausias (42,5–45,0 kg ha⁻¹) (1 pav.). Kitas tręšimas azotu atliktas plaukėjimo tarpsnio pabaigoje (BBCH 55–57), tačiau azoto poreikis buvo jau per pus mažesnis, lyginant su intensyvios fotosintezės laikotarpiu. Mokslininkai teigia, kad intensyviausias augalo mitybos elementų įsisavinimas vyksta bambklėjimo-vamzdelėjimo tarpsniuose, kai per dieną gali būti sunaudojama nuo 2,4 iki 3,0 kg azoto. 2023 m. susiklostė kitokia situacija. Ankstyvą, tačiau ilgą ir šaltą pavasarį augalams reikėjo daug daugiau azoto (70–82,5 kg ha⁻¹) krūmijimosi pabaigoje BBCH 29–30. Šis azoto poreikis buvo patenkintas su ankstyvuoju tręšimu

pavasari azotinėmis trąšomis ($124,8 \text{ kg ha}^{-1}$, azoto veikliąja medžiaga). Pasibaigus krūmijimuisi azoto poreikis augalams buvo panašus kaip ir 2022 m.

Mažiausiai azoto augalams buvo atiduota tręšiant kintamos normos azoto jutikliais, naudojant dviejų taškų, tikslinės normos algoritmą arba 4 taškų matavimo diapazonu ($46,4\text{--}48,5 \text{ kg ha}^{-1}$). Gauti duomenys rodo, kad azoto poreikis buvo patenkinamas ir jo užteko iki stiebų augimo pabaigos (BBCH 39–41) (1 pav.). Tačiau prasidėjęs sausringas laikotarpis išdžiovino viršutinį dirvožemio sluoksnį ir apsunkino sparčiai besivystančių javų mitybą maisto medžiagomis. Tai rodė ir smarkai kylantis azoto poreikis augaluose (BBCH 47–51), tačiau dėl sausų ir karštų orų nuo gegužės pabaigos iki birželio vidurio papildomas tręšimas plaukėjimo tarpsnyje nebuvo atliktas. Vyko natūrali šoninių ūglių redukcija. Kadangi ūkyje taikyta ir intensyvi tręšimo per lapus technologija, šis procesas vyko lėčiau, net užsitęsęs sausras mažesnė stiebų dalis buvo prarasta (3 lentelė).

Užsienyje ir Lietuvoje atlikta daug tyrimų, kurių metu vertinta azoto įtaka kviečių augimui ir vystymuisi, derlingumo formavimui ir grūdų kokybei (Imran ir kt., 2011; Juchnevičienė ir kt., 2016). Imran ir Gurmani (2011) tyrimų duomenimis, krūmijimosi tarpsniu javus patyrė nepakankama azoto norma ir esant šio elemento trūkumui, augalai neformuoja šoninių ūglių (arba redukuoja jau suformuotus) ir augina mažiau produktyvias varpas.



2 pav. Azoto jutikliais nustatytas poreikis ir tręšimo norma kg ha^{-1} , 2022–2023 m.

Fig. 2. Nitrogen sensors determine the demand and fertilisation rate kg ha^{-1} , 2022–2023 m.

Pastaba: sutrumpinimai pateikti 1 lentelėje.

Note The abbreviations are in Table 1.

Šaltinis / Source. „Ateities“ ūkis, Radviliškis.

Vertinant taikytas tręšimo azotu technologijas nustatyta, kad stiebų skaičius nuo bambulėjimo pradžios (BBCH 31–32) iki vamzdelėjimo pradžios (BBCH 41–43) sumažėjo nuo 28 iki 34 % 2022 m. ir 21–26 % 2023 m. (3 lentelė).

3 lentelė. Augalo stiebų skaičius (mln ha^{-1}) skirtinguose tręšimo variantuose, 2022–2023 m., „Ateities“ ūkis, Radviliškis

Table 3. The number of plant stems (mln ha^{-1}) in different fertilization options, 2022–2023 m.

Variantas Treatment	Data ir augalo augimo tarpsnis Date and crop growth stage							
	BBCH 29–30	BBCH 31–32	BBCH 33	2022 05 19 BBCH 33– 34	2022 06 08 BBCH 41– 43	2022 06 22 BBCH 59– 61	2022 07 01 BBCH 75	2022 07 13 BBCH 83
Stiebų skaičius mln ha^{-1} / Content of stems mln ha^{-1}								
K	12,4	12,42	12,11	11,01	7,98	7,91	7,89	7,89
TNA	13,37	12,48	11,18	10,32	8,13	8,07	8,07	8,05
DTA	14,77	13,33	12,11	11,62	9,77	9,42	9,29	9,29
KTMD	13,46	13,04	12,86	12,25	9,06	8,78	8,77	8,77
„Agro247“	14,51	13,74	12,33	11,67	9,54	9,34	9,08	9,08
	BBCH 29–30	BBCH 30–31	BBCH 32–34	BBCH 35– 37	BBCH 39– 41	BBCH 47– 51	BBCH 61– 65	BBCH 69
K	7,61	7,63	7,23	7,26	6,45	5,83	5,18	4,9
TNA	8,99	9,16	8,91	8,18	7,62	6,96	6,66	6,58
DTA	8,94	8,89	9,08	8,89	7,47	6,86	6,25	6,2
KTMD	8,69	9,27	8,97	8,49	7,17	6,36	5,88	5,88
Agro247	7,48	8,28	8,06	8,04	6,8	5,91	5,23	5,23

2022 m. gauti derliaus duomenys parodė, kad naudojant azoto jutiklius galima gauti nuo 3 iki 6 proc. derliaus priedą ir sutaupyti trąšų nuo 2 iki 13 %, palyginus su įprastine tręšimo technologija (4 lentelė). Panašūs derliaus duomenys gauti ir taikant azoto sensorių su 4 taškų matavimo diapazonu bei programą „Agro247“, tačiau naudojant palydovinius NDVI duomenis („Agro247“) trąšų sunaudota 7 % mažiau. Didžiausia trąšų ekonomija (13 %) gauta naudojant dviejų taškų kalibravimo azoto jutiklių technologiją.

4 lentelė. Grūdų derliaus ir trąšų sunaudojimo pokyčiai (%) taikant skirtingus tręšimo būdus, 2022–2023 m., „Ateities“ ūkis, Radviliškis

Table 4. Impact on grain yield and consume N fertilizes in different fertilization methods, 2022–2023 m.

Metai	K		TNA		DTA		4TMD		„Agro 247“	
	Derliaus pokytis	Trąšų sunaudojimas	Derliaus pokytis	Trąšų sunaudojimas	Derliaus pokytis	Trąšų sunaudojimas	Derliaus pokytis	Trąšų sunaudojimas	Derliaus pokytis	Trąšų sunaudojimas
	%									
2022	100	100	106	98	103	87	105	97	106	93
2023	100	100	106	94	105	90	106	94	100	98

Šaltinis / Source. „Ateities“ ūkis, Radviliškis.

Panaši tendencija buvo ir 2023 m. Derliaus priedai svyravo nuo 5 iki 6 %, o trąšų sutaupyta nuo 6 iki 10 %. Mažiausia azoto trąšų sunaudota tręšiant augalus dviejų taškų kalibravimo (DTA) azoto jutiklio pagalba. Tręšimas panaudojus NDVI palydovinius duomenis yra mažiau patikimas, lyginant su realiu laiku dirbančiais azoto jutikliais. Tai parodė 2023 m. duomenys.

Norėdami palyginti azoto sensorių panaudojimo atsiperkamumą atlikome azoto jutiklių tyrimų analizę per kitas naudas. Gauti duomenys rodo, kad patręšus augalus pagal pasirinktą algoritmą, gautas derlius buvo didesnis 3–6 %, trąšų sutaupyta iki 13 %. Taip pat buvo suvaldytas pasėlių išgulimas dėl tręšimo per didelėmis azoto trąšų normomis (išgulimas sumažėjo nuo 80 iki 100 %). Pečkaitės (2009) tyrimai patvirtino, kad per didelės azoto normos didina javų išgulimo riziką, skatina ligų plitimą ir blogina dirvožemio biologines savybes. Atlikę ekonominį skaičiavimą per kitas naudas, gavome, kad kuliant 7 t ha⁻¹ javų derlių galima gauti papildomų pajamų per derliaus priedą – 75,65 eur ha⁻¹, sutaupyti 9 eur ha⁻¹ trąšoms, taip pat gauti dar papildomai iki 42 eur ha⁻¹, jei įvertinsime ir padidėjusį baltymų kiekį. Skaičiavimai atlikti remiantis šiais įkainiais: 2 kl. grūdų kaina 217 eur t⁻¹, amonio salietros – 450 eur t⁻¹.

Išvados

1. Azoto jutiklių su skirtingais algoritmais ir palydovinių duomenų NDVI indeksas leido koreguoti tręšimo planus bei užtikrinti tolygesnę augalų mitybą. Tiksliesni ir mažiau sąnaudų reikalaujantys buvo azoto jutikliai su skirtingais algoritmais.
2. Gauti rezultatai leidžia teigti, kad buvo suvaldytas pasėlių išgulimas dėl tręšimo per didelėmis azoto trąšų normomis, o gautas derlius buvo 3–6 % didesnis, trąšų sutaupyta iki 13 %.
3. Nuorodos į literatūrą išvadose nenaudojamos.

Padėka

Šį tyrimą finansavo ir vykdė UAB „Agrokoncernas“ Tikslųjų technologijų centro ir Inovacijų ir tyrimų centro komandos.

Literatūra

1. Dordas, C. (2009). Dry matter, nitrogen and phosphorus accumulation, partitioning and remobilization as affected by N and P fertilization and source-sink relations, *Eur. J. Agron.*, 30, 129–139.
2. Dromantienė, R. (2012). *The use of amino acids for Winter wheat biological potential enhancement introduction*. Summary of doctoral dissertation. Akademija, 26.
3. Imran, M., Gurmani, Z. (2011). A. Role of macro and micro nutrients in the plant growth and development. *Science Technology and Development*, Vol. 30, 36–40.
4. Janušauskaitė, D., Šidlauskas, G. (2004). Azoto trąšų efektyvumo žieminiuose kviečiuose priklausomumas nuo meteorologinių sąlygų Vidurio Lietuvoje. *Žemdirbystė: mokslo darbai*. LŽI, LŽŪU, Akademija, Kėdainių r., t. 88, 34–47.
5. Kilpys, J. (2013). *Klimato kaitos prognozės Vilniaus miestui XXI a., remiantis AIB scenarijumi*. Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba, 30.

6. Kong, L., Xie, Y., Hu, L., Feng, B., Li, S. (2016). Remobilization of vegetative nitrogen to developing grain in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Field Crops Res.*, Vol. 196, 134–144.
7. Pečkaitė, A. (2009). *Salyklinių miežių agrobiologinio potencialo bei derliaus kokybės priklausomumas nuo mineralinių ir lapų trąšų*. Daktaro disertacija. Akademija, 95.
8. Pranckietienė, I. (2022). *Trąšų naudojimo efektyvumas, mikroelementai ir jų funkcijos*. GŽPK seminaras „Augalų mityba Geros žemdirbystės praktikos kodekse“ 2022 m. balandžio 28 d.
9. Sinclair, T. R., and Rufty, T. W. (2012). Nitrogen and water resources commonly limit crop yield increases, not necessarily plant genetics. *Glob. Food Secur.*, 1, 94–98. doi: 10.1016/j.gfs.2012.07.001
10. Sundmaeker, H., Verdouw, C., Wolfert, S., Pérez Freire, L. (2016). Internet of food and farm 2020. In O. Vermesan, P. Friess. (eds.), *Digitising the Industry – Internet of Things Connecting Physical, Digital and Virtual Worlds*. River Publishers, Gistrup/Delft, 129–151.
11. Stettmer, M., Maidl, F. X., Schwarzensteiner, J., Hülsbergen, K. J., Bernhardt, H. (2022). Analysis of Nitrogen Uptake in Winter Wheat Using Sensor and Satellite Data for Site-Specific Fertilization. *Agronomy*, 12, 1455. <https://doi.org/10.3390/agronomy12061455>
12. Tranavičienė, T. (2009). *Azoto poveikis skirtingų paprastojo kviečio (*Triticum aestivum* L.) veislių fotosintezės ir grūdų kokybės rodikliams*. Daktaro disertacija. Akademija, 89.
13. Xiaokang, L., Yang, L., Na, L., Liban, K., Yuting, H., Xiaoxia, W. (2022). Foliar applications of various nitrogen (N) forms to winter wheat affect grain protein accumulation and quality via N metabolism and remobilization. *ScienceDirect The Crop Journal*, No. 10, 1165–1177.
14. Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., Bogaardt, M. J. (2017). Big Data in Smart Farming – A review. *Agricultural Systems*, Vol. 153, p. 69–80. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023>

Romutė Mikučionienė

Creating Enhance Added Value Through Digital Tools in Winter wheat Fertilizer Technology

Given the environmental requirements related to nitrogen leaching, the application of non-contact methods for determining nitrogen requirements is particularly relevant. Digital and satellite data enable more efficient resource utilization on farms, leading to numerous added benefits such as higher and better-quality yields, reduced fertiliser consumption, etc. Modern precision technologies facilitate the integration of various sensors and satellite data into agricultural machinery, allowing real-time crop monitoring and precise plant maintenance activities, including fertilisation and spraying. To assess the nitrogen demand of the plants and optimize nitrogen fertilisation in real time, nitrogen sensors with a targeted two-point algorithm and satellite-derived Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) data were employed. By balancing nitrogen fertilisation, crop yields increased by 2% to 7%, lodging was prevented, and up to 13% of nitrogen fertiliser was saved.

Keywords: Nitrogen sensor, algorithm, growth stage, fertilization, winter wheat words.

Gauta 2025 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2025 m. balandžio mėn.

Romutė MIKUČIONIENĖ. Lietuvos inžinerijos kolegijos Aplinkos inžinerijos fakulteto docentė. Adresas: Laumėnų g. 1, LT-53103 Girionys, Kauno r., tel. +370 687 76009, el. paštas: romute.mikucioniene@lik.tech

Romutė MIKUČIONIENĖ. Lithuanian College of Engineering, Faculty of Environmental Engineering, assoc. prof. Address: Laumėnų g. 1, LT-53103 Girionys, Kauno distr. Phone: +370 687 76009, e-mail: romute.mikucioniene@lik.tech

APLINKOS VEIKSNIŲ ĮTAKOS HIDROTECHNIKOS STATINIŲ ATRAMINIŲ SIENŲ PATIKIMUMUI TYRIMAI

Raimondas Šadzevičius, Dainius Ramukevičius, Nerijus Varnas

Vytauto Didžiojo universitetas

Daugelį gelžbetoninių konstrukcijų atvirame ore, grunte, hidrotechnikos statiniuose veikia agresyvi aplinka. Agresyvioje aplinkoje keičiasi medžiagų struktūra ir savybės, dėl to konstrukcijos prieš laiką suyra.

Šio tyrimo tikslas – įvertinti aplinkos veiksnių įtaką hidrotechnikos statinių gelžbetoninių atraminių sienų patikimumui. Siekiant įvertinti aplinkos veiksnių įtaką hidrotechnikos statinių atraminių sienų patikimumui buvo sudarytas įvykių medis, apskaičiuotos gedimų tikimybės, naudojant kompiuterinių programų paketą GEO5 apskaičiuotos įrašos, įvertinta armatūrą nuo neigiamo aplinkos poveikio saugančio betoninio sluoksnio storio įtaka atraminės sienos armavimui.

Raktiniai žodžiai: hidrotechnikos statiniai, atraminės sienos, aplinka, patikimumas.

Įvadas

Hidrotechnikos statiniuose vienos iš svarbesnių ir plačiai naudojamų laikančiųjų konstrukcijų yra gelžbetoninės atraminės sienos. Kampuotinio tipo atraminė siena yra viena iš plačiausiai paplitusių grunto slėgi laikančių atraminių statinių forma tiek civilinės, tiek ir hidrotechninės inžinerijos praktikoje. Atliekant bendrą atraminių sienų stabilumo vertinimą, reikia atsižvelgti į įvairius galimus gedimų režimus, taip pat į neapibrėžtumo ir kintamumo kriterijus, susijusius su grunto užpylimu, statybos metu pasitaikančius nuokrypius, deformacijas, naudojimo metu pasitaikančias skaičiuotines situacijas. Statybos ir naudojimo metu atraminių sienų konstrukcijų ilgaamžiškumą ir patikimumą mažina aplinkos veiksniai bei eksploatacinės sąlygos. Agresyvi aplinka, kuri veikia pastatus ir statinius, gali būti silpno, vidutinio ir stipraus agresyvumo. Silpno agresyvumo aplinkoje eksploatuotos vienus metus neapsaugotos konstrukcijos betono stiprumas korozijos zonoje sumažėja iki 5 proc., vidutinio – 5... 20 proc. ir stipraus agresyvumo – daugiau kaip 20 proc.

Straipsnyje (Varga et al., 2024) atliekama gruntinio vandens, geofiltracijos ir hidraulinio iškėlimo poveikių įtakos optimaliam įgilintų atraminių sienų projektavimui lyginamoji analizė. Atraminės sienos optimizavimo modelis (ORW) leidžia sumažinti bendrą atraminės sienos ilgį, atsižvelgiant į projektavimo apribojimus. Modelis išplečiamas įtraukiant gedimo tikimybę kaip papildomą apribojimą.

Straipsnyje (Sivakumar Babu et al., 2008) pateikiami išsamių tyrimų, atliktų nustatant optimalias atraminės sienos proporcijas, rezultatai, įvertinant tokius ribinius būvius, t. y. apvertimo, nustumimo, per didelio ekscentriškumo, laikomosios galios, šlyties ir momentinės apkrovos, taip pat įvertinant apkrovas veikiančias pado plokštę, konsolę ir fasadinę plokštę, taip pat įvertinant sienos parametrų ir matmenų kintamumą. Skaičiavimai buvo atliekami naudojant patikimumo indeksą bei palyginti su rezultatais naudojant tradicinius atraminių sienų projektavimo metodus. Panašus tyrimas atliktas darbe (Ukritchon et al., 2017) Šiame straipsnyje pristatytas naujas optimizavimo metodas, skirtas optimaliems atraminės sienos matmenims ir plieninei armatūrai parinkti, atsižvelgiant į keturis geotechninius apribojimus (apvertimo, nustumimo, laikomosios galios ir šlaito stabilumo).

Atraminių sienų patikimumo projektavimo būdai, naudojant baigtinių elementų metodą, aptarti straipsnyje (Sayed et al., 2010). Vienuolika metaheuristinių algoritmų naudojamų kampuotinio tipo atraminėms sienoms optimizuoti paminėti straipsnyje (Kaveh et al., 2020):

1) dirbtinės bičių kolonijos (ABC) algoritmas, 2) BB-BC (Big Bang-Big Crunch) algoritmas, 3) TLBO (Teaching-Learning-Based Optimization) algoritmas, 4) ICA (Imperialist Competitive Algorithm) algoritmas, 5) CS (Cuckoo Search) algoritmas, 6) CSS (Charged System Search) algoritmas, 7) spindulių optimizavimo (RO) algoritmas, 8) vilkimo optimizavimo (TWO) algoritmas, 9) vandens garavimo optimizavimo (WEO) algoritmas, 10) vibruojančių dalelių sistemos (VPS) algoritmas ir 11) ciklinės partenogenezės algoritmas (CPA).

Rezultatai rodo, kad BB-BC, TLBO, CPA, VPS ir CSS algoritmai yra pranašesni tiek konvergencijos greičio, tiek tikslumo atžvilgiu, palyginti su kitais taikytais algoritmais.

Hidrotechnikos statinių gelžbetoninės konstrukcijos dažniausiai pažeidžiamos dėl korozijos ir karbonizacijos procesų (Fuhaid et al., 2022). Aplinkos sąlygos, tokios kaip drėgmė, temperatūros svyravimai ir ledo ir vandens, grunto slėgis, turi esminę įtaką konstrukcijų pažaidų vystymosi intensyvumui. Pažaidų įtaką gelžbetoninių atraminių sienų ilgaamžiškumui vertino Novikova (2015), plyšių vystymosi įtaką tyrinėjo Šemežys (2009), atraminių sienų deformacijas aptarė tyrėjai Šadzevičius, Sankauskienė, Mikuckis (2013). Hidromazgų atraminių sienų temperatūrinių- deformacinių siūlių būklės tyrimus atliko Černevičius (2015),

geofiltraciją ties laidžiomis hidrotechnikos statinių atraminių sienų siūlėmis vertino profesorius Ramonas (2003).

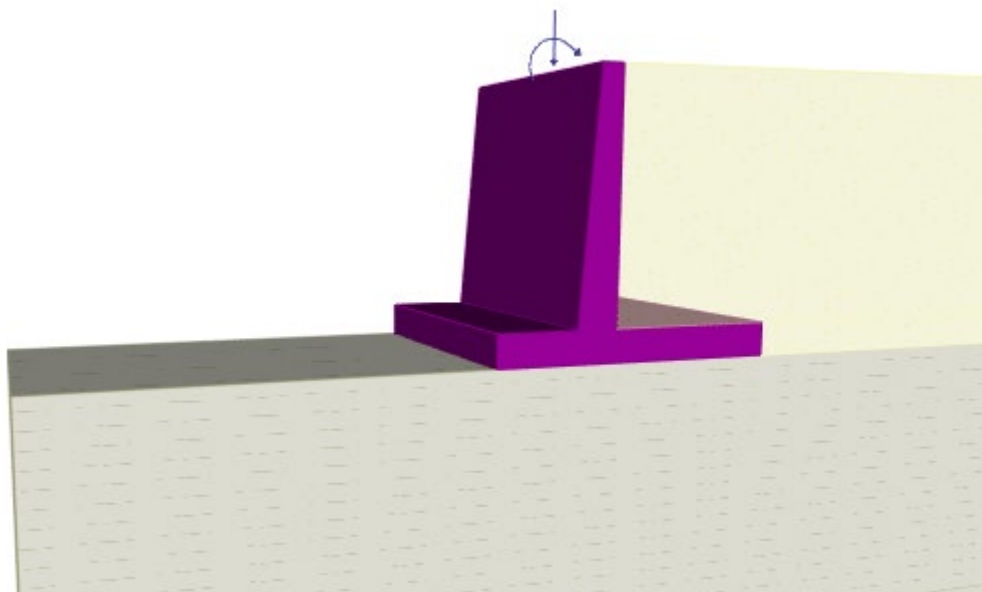
Remiantis apžvelgtos literatūros analize, nustatyta, kad hidrotechnikos statinių gelžbetoninių atraminių sienų patikimumui įvertinti nėra universalus būdas. Hidrotechnikos statinių patikimumo įvertinimas yra daugialypis procesas, reikalaujantis skirtingų metodų taikymo priklausomai nuo turimų duomenų tikslumo (Ginzburg et al., 2021). Apskaičiuojant tikimybes, naudojamas tikimybinis rizikos vertinimo metodas, kuris apima:

1. Statistinius duomenis – jei prieinama istorinių griūčių duomenų bazė, naudojami empiriniai duomenys.
2. Ekspertinius vertinimus – kai nėra pakankamai duomenų, remiamasi specialistų vertinimais.
3. Galimybių teoriją (Possibility Distribution, PD) – kai nėra pakankamai duomenų.
4. Tikimybinį modeliavimą – jei turima pakankamai statistinių duomenų – naudojamos Monte Karlo simuliacijos, Bayeso tinklai ar kiti modeliai, įvertinantys sąlygines tikimybes.
5. Fizikiniai-matematiniai modeliai – inžinerinės formulės, apimančios medžiagų fizines-mechanines savybes, įvertinančios filtraciją ir aprašančios kitus aplinkos veiksnius.

Šio tyrimo tikslas – įvertinti aplinkos veiksnių įtaką hidrotechnikos statinių gelžbetoninių atraminių sienų patikimumui.

Tyrimų metodika

Tyrimo objektas – hidrotechnikos statinių kampuotinio tipo atraminės sienos, kurios plačiai naudotos statant šiuos statinius 1960–1980 m. (1 pav.). Šio laikotarpio pradžioje tokių konstrukcijų statybai naudotas M200 (dabar C12/15) markės, o vėliau – B25 (dabar C20/25) klasės betonai. Dabartiniu metu projektuojant hidrotechnikos statinių atramines sienas naudojamas C30/37 klasės betonai. Atraminės sienos konstrukcijos fasadinės plokštės storis paprastai būdavo nuo 45 iki 60 cm, o apsauginio betono sluoksnio storis tokio tipo statiniams – 40 arba 50 mm. Hidrotechnikos statiniai bei atraminės sienos, remiantis statybos techniniu reglamentu STR 2.02.06:2004, pagal avarijų ir naudojimo sutrikimų galimus padarinius, skirstomi į keturias pasekmių klases (CC1, CC2, CC3 ir CC4). Šiame darbe nagrinėjamos CC1 (žemiausios) pasekmių klasės atraminės sienos.



1 pav. Hidrotechnikos statinių kampuotinio tipo atraminės sienos schema

Fig. 1. Schematic diagram of a retaining wall of an angular type for hydraulic structures

Įvykių medžio tikimybių apskaičiavimo metodika

1. Grunto erozijos tikimybė (0,3)

Grunto erozija priklauso nuo vandens tėkmės greičio v , grunto atsparumo išplovimui S ir kritulių intensyvumo R . Tikimybė skaičiuojama pagal:

$$P(E) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (1)$$

čia λ – erozijos intensyvumas pagal istorinius duomenis. Vidutiniškai nustatyta, kad 30 % atvejų dėl erozijos susidaro avarinė būklė.

2. Geofiltracijos tikimybė (0,1)

Geofiltracija priklauso nuo:

- grunto pralaidumo koeficiento k_f ,
- hidraulinio gradiento i ,
- vandens slėgio pokyčių ΔH .

3. Hidrodinaminio slėgio tikimybė (0,2)

Atsižvelgiant į potvynių dažnį ir slėgio poveikį, griūtis gali įvykti, kai:

$$P(H) = P(H_1) \times P(H_2) \quad (2)$$

čia $P(H_1)$ – kritinis vandens lygis,

$P(H_2)$ – sienos stabilumo mažėjimas.

Šių dviejų įvykių bendra tikimybė – 20 %.

4. Medžiagų irimo tikimybė (0,25)

Medžiagų irimas priklauso nuo betono karbonizacijos gylis x , armatūros korozijos laipsnio C , drėgmės ir temperatūros svyravimų.

Tikimybė buvo nustatyta pagal:

$$P(M) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (3)$$

čia λ – irimo greitis pagal eksperimentinius duomenis. 25 % inžinerinių griūčių įvyksta dėl medžiagų (degradacijos) irimo.

5. Statinių apkrovų viršijimo tikimybė (0,15)

Skaiciuojama pagal apkrovų pasiskirstymo funkciją:

$$P(S) = P(Q > Q_{lim}) \quad (4)$$

čia Q – faktinė apkrova,

Q_{lim} – leistina apkrova.

Analizė rodo, kad tokios situacijos įvyksta maždaug 15 % atvejų.

Atraminės sienos patikimumo skaičiavimo matematinis modelis. Bet kuriuo konstrukcijos naudojimo metu, pavyzdžiui, praėjus laikui t_k , jos elemento kokybę nusako atsitiktinė efektyvumo funkcija (Kudzys, Kvedaras, 2006):

$$z_k = R_k - S_k \quad (5)$$

čia R_k ir S_k – nagrinėjamo elemento atspario ir įrašos atsitiktinių argumentų funkcijos.

Elemento efektyvumo funkcija rodo skirtumą tarp jo atspario R ir įrašos S . Konstrukcija gali būti šimtu procentų patikima, kai jos elementų efektyvumo funkcijų reikšmės yra daug didesnės už nulį. Bet tokios konstrukcijos yra labai neekonomiškos.

Norint atlikti detalizuotus elemento atspario ir įrašų skaičiavimus, reikia įvertinti:

1. Grunto aktyvųjį slėgį.
2. Atraminės sienų stiprumą.
3. Lenkimo momentą ir skersinę jėgą.
4. Įvertinti laikomąją galią.

Aktyvusis grunto slėgio koeficientas (Kulono formulė):

$$K_a = \frac{\cos^2(\varphi)}{1 + \sqrt{\sin(\varphi) \cos(\varphi)}} \quad (6)$$

čia φ – vidinės trinties kampas laipsniais.

Maksimalus grunto slėgis prie sienos pagrindo:

$$P_0 = \gamma_{gr} \cdot H \quad (7)$$

čia γ_{gr} – grunto savitasis sunkis, kN/m³.

Bendras horizontalus slėgis (pagal trikampį slėgio paskirstymą):

$$P_e = 0.5 \times K_a \times \gamma_{gr} \times H^2 \quad (8)$$

Lenkimo momentas atraminės sienos pagrindo:

$$M = P_e \times H/3 \quad (9)$$

Tikrinama laikomoji galia ar $M_u > M$, t. y. ar atraminė siena yra pakankamai stipri lenkimo momentui atlaikyti. Darbe atraminės sienos skerspjūvyje veikiančių įrašų apskaičiavimui ir laikomosios galios įvertinimui naudotas kompiuterinis programinis paketas GEO5.

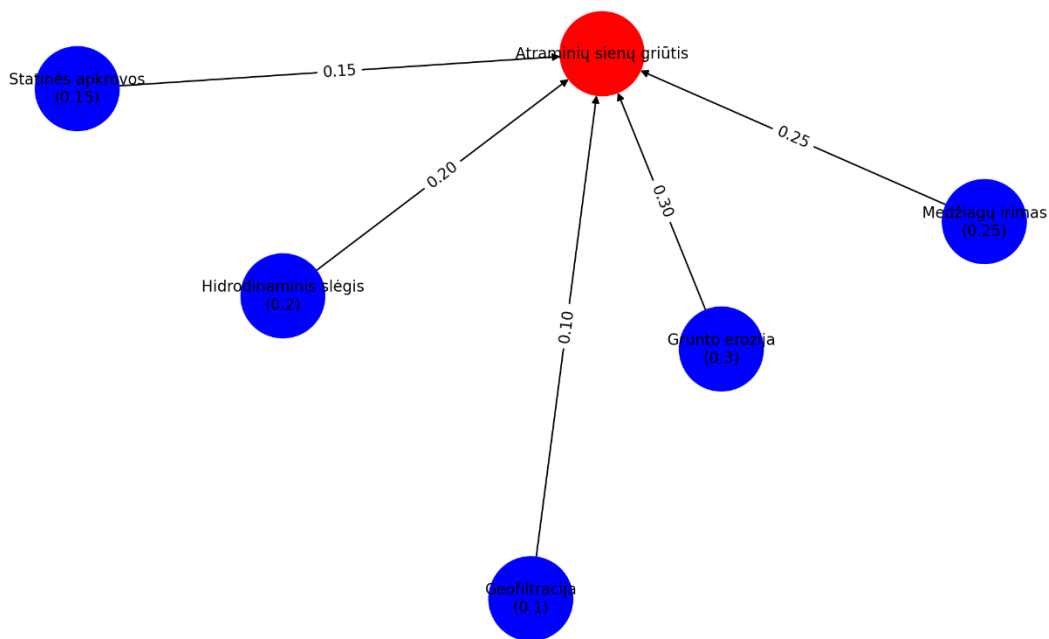
Rezultatai ir aptarimas

Įvykių medžio tikimybių apskaičiavimo rezultatai

Naudojant tikimybinę analizę, kuri apima pagrindinius griūties veiksnius ir jų sąveiką, sudarytas hidrotechnikos statinių atraminių sienų griūties dėl aplinkos poveikių įvykių medis.

Jame numatyti pagrindiniai griūties veiksniai:

1. Grunto erozija (pvz., dėl paplovimų iš vandens pusės, kritulių infiltracijos ir pan.).
 2. Geofiltraciniai poveikiai (intensyvus vandens sunkimasis per užtvankos kūną, prastas sutankinimas įrengiant pylimą ir pan.).
 3. Hidrodinaminis slėgis (vandens lygio pokyčiai, potvyniai).
 4. Medžiagų irimo procesai (senėjimas, betono karbonizacija, armatūros korozija ir pan.).
 5. Statinės apkrovos (padidėjo grunto slėgis užšalus gruntiniam vandeniui, užvažiuo transportas ir pan.).
- Pateikiamas įvykių medis su pagrindiniais griūties veiksniais ir apskaičiuotomis tikimybėmis (2 pav.).



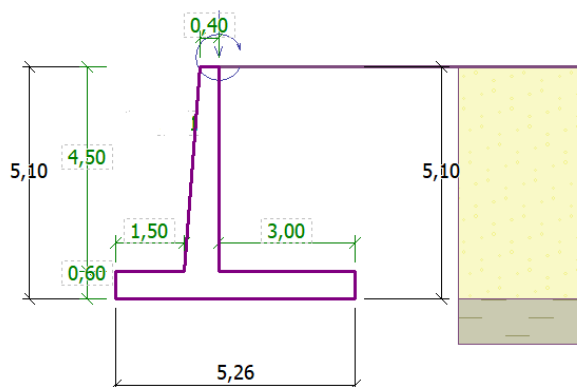
2 pav. Hidrotechnikos statinių atraminių sienų griūties dėl aplinkos poveikių įvykių medis

Fig. 2. Event tree of retaining walls collapse in hydraulic structures due to environmental influences

Įvykių medyje nustatyta didžiausia atraminės sienos griūties tikimybė (0,3), t. y. labiausiai tikėtina atraminės sienos griūtis dėl grunto erozijos.

Atraminės sienos patikimumo skaičiavimo rezultatai

- Atraminės sienos aukštis $H = 4,5$ m (3 pav.).
- Atraminės sienos storis $b_1 = 0,4$ m.
- Atraminės sienos storis skaičiuojamajame pjūvyje $b_2 = 0,45$ m.
- Siekiant įvertinti aplinkos veiksnių poveikio įtaką reikalingam armavimui skaičiuota, pagal seniau galiojusius normatyvinius dokumentus (seniau) ir pagal dabar galiojančius normatyvinius dokumentus (dabar).
- Armatūros apsauginio sluoksnio storis $a = 0,03$ m (seniau) ir $0,05$ m (dabar).
- Gniuždomo betono stipris $f_{c,0} = 20$ MPa (seniau) ir 30 MPa (dabar).
- Plieno takumo įtempis $f_s = 280$ MPa (seniau) ir 500 MPa (dabar).



3 pav. Kampuotinio tipo atraminės sienos gabaritiniai matmenys

Fig. 3. Dimensions of an angular type retaining wall

Skaiciuojamuoju pasirinktas pats nepalankiausias atvejis – tai yra atraminę sieną veikiantis gruntas yra smėlinis. Grunto charakteristikų statistiniai parametrai:

- ☐ Grunto savitasis sunkis $\gamma_{gr} = 16,8 \text{ kN/m}^3$.
- ☐ Grunto vienetinio svorio variacijos koeficientas $\delta(\gamma_{gr}) = 4,0 \%$.
- ☐ Vidinės trinties kampas $\varphi = 26^\circ$.
- ☐ Vidinės trinties kampo variacijos koeficientas $\delta(\varphi) = 23,7 \%$.
- ☐ Tariamoji sankyba $c = 0$.

Darbe patikrinus atraminės sienos stabilumą kompiuterinių programų paketu GEO5 nustatyta, kad vertimo momentas $M_{ovr} = 144,98 \text{ kNm/m}$, apvertimui besipriešinantis momentas $M_{res} = 869,78 \text{ kNm/m}$, t. y. siena apvertimui yra pakankamo stabilumo.

Stumiančioji jėga $H_{act} = 114,98 \text{ kN/m}$, nustūmimui besipriešinanti jėga $H_{res} = 187,88 \text{ kN/m}$, t. y. siena nustūmimui yra pakankamo stabilumo.

Kompiuterinių programų paketu GEO5 apskaičiavus lenkimo momentą, nustatyta, kad atraminės sienos vertikaliai daliai (fasadinei plokštei) jis lygus $170,86 \text{ kNm}$, pamatinei plokštei jis lygus $55,16 \text{ kNm}$. Pagal šiuos momentus apskaičiuotas reikalingas tempiamos armatūros skerspjūvio plotas A_s , kuris pateiktas 1 lentelėje.

1 lentelė. Atraminės sienos reikalingo armavimo skaičiavimo rezultatai

Table 1. Results of the calculation of the reinforcement required for the retaining wall

Atraminės sienos dalis Part of the retaining wall	Reikalingas tempiamos armatūros skerspjūvio plotas A_s , mm^2 , kai armatūros apsauginio betoninio sluoksnio storis a Required cross-sectional area of tensile reinforcement A_s , mm^2 , when the thickness of the reinforcement protective concrete layer is a			
	$a = 0,03 \text{ m}$ $f_{c,0} = 20 \text{ MPa}$ $f_s = 280 \text{ MPa}$	$a = 0,05 \text{ m}$ $f_{c,0} = 20 \text{ MPa}$ $f_s = 280 \text{ MPa}$	$a = 0,03 \text{ m}$ $f_{c,0} = 30 \text{ MPa}$ $f_s = 500 \text{ MPa}$	$a = 0,05 \text{ m}$ $f_{c,0} = 30 \text{ MPa}$ $f_s = 500 \text{ MPa}$
Fasadinė plokštė Facade plate	1 470,7	1 429,8	1 088,6	1 058,5
Pamatinė plokštė Base plate	1 144,0	1 103,1	847,5	817,3

Pastaba. Armatūros apsauginio sluoksnio storis $a = 0,03 \text{ m}$ (seniau) ir $0,05 \text{ m}$ (dabar); gniuždomo betono stipris $f_{c,0} = 20 \text{ MPa}$ (seniau) ir 30 MPa (dabar); plieno takumo įtempis $f_s = 280 \text{ MPa}$ (seniau) ir 500 MPa (dabar).

Analizuojant 1 lentelėje pateiktus rezultatus nustatyta, kad projektuojant hidrotechnikos statinių atraminių sienų konstrukcijas pagal dabartinius reikalavimus vien dėl didesnių betono stiprio $f_{c,0} = 30 \text{ MPa}$ ir armatūros stiprių $f_s = 500 \text{ MPa}$ reikalingas mažesnis tempiamos armatūros skerspjūvio plotas A_s , lyginant su anksčiau galiojusiu normų reikalavimais.

Vertinant armatūrą nuo neigiamo aplinkos poveikio saugančio betoninio sluoksnio storio įtaką atraminės sienos armavimui, nustatyta, kad tiek pagal seniau, tiek pagal dabar galiojančias projektavimo normas padidinus betono apsauginį sluoksnį nuo 3 iki 5 cm reikalingas mažesnis tempiamos armatūros skerspjūvio plotas A_s .

Išvados

1. Tikimybiniais skaičiavimais nustatyta, kad hidrotechnikos statinių atraminių sienų patikimumui didžiausią grėsmę kelia grunto erozija.
2. Vertinant armatūrą nuo neigiamo aplinkos poveikio saugančio betoninio sluoksnio storio įtaką atraminės sienos armavimui, nustatyta, kad pagal dabartines projektavimo normas taikomi didesni betono ir armatūros stipriai, leidžia patikimai projektuoti konstrukcijas ir su mažesniu tempiamos armatūros skerspjūvio plotu, palyginus su anksčiau galiojusiu normų reikalavimais.
3. Atlikus hidrotechnikos statinio gelžbetoninės atraminės sienos projektavimą, nustatyta, kad nuo agresyvaus aplinkos poveikio geriau armatūrą saugo storesnis (50 mm) apsauginis betoninis sluoksnis.

Literatūra

1. Černevičius, J. (2015). *Hidromazgų atraminių sienų temperatūrinių-deformacinių siūlių būklės tyrimai. Magistro baigiamasis darbas*. Kaunas, Akademija, 51.
2. Fuhaid, A. F. A. & Niaz, A. (2022). Carbonation and Corrosion Problems in Reinforced Concrete Structures. *Buildings*, 12, 586. <https://doi.org/10.3390/buildings12050586>
3. Ginzburg, S. M. & Yudelevich, A. M. (2021). Reliability Assessment of Hydraulic Structures. *Power Technol Eng*, 54, 793–801. <https://doi.org/10.1007/s10749-021-01289-0>
4. Kaveh, A., Biabani Hamedani, K. & Bakhshpoori, T. (2020). Optimal Design of Reinforced Concrete Cantilever Retaining Walls Utilizing Eleven Meta-Heuristic Algorithms: A Comparative Study. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 64(1), 156–168. <https://doi.org/10.3311/PPci.15217>.
5. Kudzys, A., ir Kvedaras, A. K. (2006). Research on structural resistance and safety of tubural composite members. *Mechanika*, 5(61), 5–10.
6. Novikova, M. (2015). *Pažaidų įtakos gelžbetoninių atraminių sienų ilgaamžiškumui įvertinimas. Magistro baigiamasis darbas*. Kaunas, Akademija, 66.
7. Ramonas, Č. (2003). Geofiltracija ties laidžiomis hidrotechnikos statinių atraminių sienų siūlėmis. *Lietuvos žemės ūkio universiteto Vandens ūkio mokslo darbai*. Kaunas, 23–26.
8. Sayed, S., Dodagoudar, G.R. & Rajagopal, K. (2010). Finite element reliability analysis of reinforced retaining walls, *Geomechanics and Geoengineering: An International Journal*, 5:3, 187–197, doi: 10.1080/17486020903576788
9. Sivakumar Babu, G.L. & Basha, B.M. (2008). Optimum Design of Cantilever Retaining Walls Using Target Reliability Approach. *International Journal of Geomechanics*, 8, 240–252. 10.1061/(ASCE)1532-3641(2008)8:4(240)
10. Statybos techninis reglamentas. (2004). *Hidrotechnikos statiniai. Pagrindinės nuostatos*. STR 2.02.06:2004.
11. Šadzevičius, R., Sankauskienė, T., ir Mikuckis, F. (2013). Limit Deformations of Retaining Walls in Lithuanian Hydro-schemes. In *Proc. of 4th International Conference Civil Engineering* (pp. 336–340).
12. Šemežys, M. (2009). *Pažeistų atraminių sienų plyšių vystymosi įtaka konstrukcijų patikimumui. Magistro baigiamasis darbas*. Kaunas, Akademija, 53.
13. Ukritchon, B., Chea, S., & Keawsawasvong, S. (2017). Optimal design of Reinforced Concrete Cantilever Retaining Walls considering the requirement of slope stability. *KSCE Journal of Civil Engineering*, Vol. 21, Issue 7, 2673–2682. <https://doi.org/10.1007/s12205-017-1627-1>
14. Varga, R., Žlender, B. & Jelušič, P. (2024). Optimization of Embedded Retaining Walls Under the Effects of Groundwater Seepage Using a Reliability-Based and Partial Factor Design Approach. *Appl. Sci.*, 14, 11135. <https://doi.org/10.3390/app142311135>

Raimondas Šadzevičius, Dainius Ramukevičius, Nerijus Varnas

Research on the Influence of Environmental Factors on the Reliability of Retaining Walls in Hydraulic Structures

Many reinforced concrete structures are exposed to aggressive environments in the open air, in the ground and in hydraulic structures. Aggressive environments lead to changes in the structure and properties of the materials, causing the structures to degrade over time.

The aim of this study is to assess the influence of environmental factors on the reliability of reinforced concrete retaining walls of hydraulic structures. In order to assess the influence of environmental factors on the reliability of retaining walls of hydraulic engineering structures, an event tree was constructed, failure probabilities were calculated, indentations were

calculated using the computer software package GEO5, and the influence of the thickness of the concrete layer protecting the reinforcement from the adverse effects of the environment on the reinforcement of the retaining wall was assessed.

Keywords: Hydraulic structures, retaining wall, environment, reliability.

Gauta 2025 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2025 m. balandžio mėn.

Raimondas ŠADZEVIČIUS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Inžinerijos fakulteto Vandens inžinerijos katedros docentas. Adresas: Universiteto g. 10, LT-53362 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52286, el. paštas: raimondas.sadzevicius@vdu.lt

Raimondas ŠADZEVIČIUS. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Water Engineering, assoc. prof. Address: Universiteto str. 10, LT-53362 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 377 52286, e-mail: raimondas.sadzevicius@vdu.lt

Dainius RAMUKEVIČIUS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Inžinerijos fakulteto Vandens inžinerijos katedros lektorius. Adresas: Universiteto g. 10, LT-53362 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52286, el. paštas: dainius.ramukevicius@vdu.lt

Dainius RAMUKEVIČIUS. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Water Engineering, lecturer. Address: Universiteto str. 10, LT-53362 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 377 52286, e-mail: dainius.ramukevicius@vdu.lt

Nerijus VARNAS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Inžinerijos fakulteto Vandens inžinerijos katedros doktorantas. Adresas: Universiteto g. 10, LT-53362 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52286, el. paštas: nerijus.varnas@vdu.lt

Nerijus VARNAS. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Water Engineering, PhD student. Address: Universiteto str. 10, LT-53362 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 377 52286, e-mail: nerijus.varnas@vdu.lt

PERTEKLINIO DUMBLO TVARKYMO OPTIMIZAVIMAS MAŽO IR VIDUTINIO NAŠUMO NUOTEKŲ VALYKLOSE

Tadas Drabavičius, Algirdas Radzevičius

Vytauto Didžiojo universitetas

Straipsnyje pateikti veikliojo perteklinio dumblo susidarymo tyrimai ir alternatyvių tolimesnio apdorojimo būdų analizės rezultatai. Tyrimo objektais buvo pasirinktos trys UAB „Vilkaviškio vandenys“ priklausančios nuotekų valyklos: Alvito NVĮ ($Q_d = 45,0 \text{ m}^3/\text{d}$; 319GE), Gižų NVĮ ($Q_d = 63,6 \text{ m}^3/\text{d}$; 493GE) ir Pilviškių NVĮ ($Q_d = 202,0 \text{ m}^3/\text{d}$; 1010GE). Atliktas susidarančio perteklinio dumblo kiekių palyginimas su skaičiuotinėmis projekcinėmis reikšmėmis, atsižvelgiant į esamas hidraulinės ir teršalų apkrovas, teršalų koncentracijas nuotekose po valymo. Tolesnio perteklinio dumblo tvarkymo alternatyvų vertinimas atliktas lyginant kaštus ir sąnaudas naudojant tokius metodus ir technologijas: a) vietinis dumblo tankinimas ir išvežimas; b) mobilios dumblo sausinimo sistemos panaudojimas; c) stacionarios dumblo sausinimo sistemos panaudojimas.

Raktiniai žodžiai: nuotekų valyklos, perteklinis dumblas, dumblo tvarkymo optimizavimas.

Įvadas

Biologinis nuotekų valymas dumbliu praktikoje taikomas jau daugiau nei šimtmetį. Didėjantis spaudimas pasiekti vis griežtesnius išvalymo standartus, kitaip nesuteikiamas leidimas išleisti išvalytas nuotekas, paskatino ieškoti naujų pažangių biologinio valymo proceso tobulinimo technologijų. Iš esmės biologinio teršalų šalinimo procesas – tai teršalų koncentravimas ir pervedimas į kitą būvį – biomasę. Sprendžiant pačią svarbiausią problemą – šalinant teršalus iš nuotekų, savaime iškyla ir kita, nemažiau aktuali problema: kuo efektyviau valome nuotekas, tuo didesnę dumblo prieaugį turime apdoroti (Arun Mittal, 2011).

Didelę žalą vandens telkiniams sukelia maistinės medžiagos, todėl intensyviai diegiamos technologijos, šalinančios azotą ir fosforą, norint sumažinti telkiniuose eutrofikacijos reiškinius (masinį dumblių susidarymą) (Dauknyš et al., 2009). Biologinių maistinių medžiagų (BMM) šalinimas yra vienas iš sudėtingiausių biocheminių reiškinių, skirtų nuotekoms valyti ir turi įvairių sprendimo būdų. Bendras visų BMM procesų bruožas yra tas, kad jie suskirstyti į funkcinės zonas, kuriose yra skirtingos biocheminės zonos (pvz.: anaerobinė, anoksinė, aerobinė). Šių zonų sudarymas ir reikiamų rodiklių palaikymas užtikrina efektyvų azoto ir (arba) fosforo junginių pašalinimą. Biologinė fosforo šalinimo sistema iš esmės yra veikliojo dumblo sistema, kurioje naudojamos kameros, sukuriančios skirtingas aplinkas, kaip taisyklė, pirmasis bioreaktorius (zona) yra anaerobinis, kad paskatintų specializuotų bakterijų augimą (fosforą kaupiančios bakterijos). Biologinio fosforo šalinimo proceso schema yra A/O (anaerobinis / oksinis) procesas. Jis taip pat žinomas kaip Phoredox procesas (Leslie Grandy ir kt., 2011).

Perteklinio dumblo apdorojimas ir šalinimas yra didėjantis iššūkis nuotekų valymo įrenginiams dėl ekonominių, aplinkos, socialinių ir reglamentavimo iššūkių. Todėl yra didelis susidomėjimas kurti technologijas, galinčias sumažinti dumblo susidarymą biologinio nuotekų valymo proceso metu. Nagrinėjama daug perspektyvių technologijų (A^2O , UCT, VIP), galinčių sumažinti dumblo prieaugį, pasitelkiant vidinius mikroorganizmų metabolizmo procesus ir bakterijų bei kitų mikroorganizmų, gyvuojančių vienoje ekosistemoje, tarpusavio sąveiką (Yuansong Wei ir kt., 2003).

Labai svarbus veiksnys nuotekų dumblo apdorojime ir panaudojime – galimybė „atgauti“ maistines medžiagas, kurios gali būti vėl panaudotos (fosforas ir azotas), taip pat sausose medžiagose yra organinių junginių, šie aspektai labai svarbūs panaudojimui įvairiose žemės ūkio šakose. Kita dumblo panaudojimo sritis – biodujų gamyba, tačiau jos efektyvumą gali įtakoti taikomų procesų ypatumai. Techninėje literatūroje nurodoma, kad dumblo anaerobinio skaidymo proceso metu biodujų išeiga vienam suskaidytam sausųjų medžiagų (SM) masės vienetui didesnė nei dumblas su įterptais reagentais. Naudojant cheminį nusodinimą, dumblas turi didesnę mažiau biologiškai skaidžių organinių junginių dalį dėl organinių medžiagų sąveikos su metalų hidroksido driesniais (Yousouf Kalogo ir kt., 2008). Svarbus dumblo tvarkymo aspektas – jo kiekis. Kuo mažesnis dumblo tūris, tuo mažesnės transportavimo sąnaudos, dėl to siekiama iš dumblo pašalinti kuo daugiau vandens, t. y. jį sutirštinti. Pagrindinis dumblo tankinimo (tirštinimo) tikslas yra sumažinti dumblo turį, prieš tolesnius dumblo apdorojimo etapus (Galimybės..., 2006). Dumblo apdorojimo tikslas yra sumažinti jo masę ir tūrį, kad būtų sumažintos šalinimo išlaidos, tuo pačiu sumažinant bet kokias latentines sveikatos problemas, susijusias su šalinimu (Barry ir kt., 2019).

Šiuo metu perteklinis dumblas yra vienas rimčiausių iššūkių biologinio nuotekų valymo srityje. Nuotekų valymo įrenginių (NVĮ) nuotekų dumblo šalinimas ir utilizavimas sudaro daugiau kaip pusę visų nuotekų valymo sąnaudų. 1991–1992 m. Europos Sąjungos (ES) valstybėse narėse veikė 40 300 NVĮ, kuriuose per metus susidarydavo 6,5 mln. tonų sausųjų medžiagų. Apskaičiuota, kad dėl Miesto nuotekų valymo direktyvos,

kurioje reikalaujama efektyvesnio nuotekų valymo ir nuotekų dumblo utilizavimo, nuotekų dumblo susidarymas ES iki 2005 m. pabaigos padidėjo mažiausiai 50 % per metus ir susidaro 10,1 mln. tonų sausųjų medžiagų. Pagrindiniai alternatyvūs dumblo šalinimo būdai ES šalyse yra šalinimas į sąvartynus, panaudojimas dirvožemiui pagerinti ir deginimas. Šiais būdais utilizuojama apie 90 % viso ES susidarančios dumblo (Yuansong Wei ir kt., 2003). Nuotekų dumblas yra didelės pridėtinės vertės trąšos, galinčios pagerinti dirvožemį ir augalų auginimo sąlygas, nes jame yra didelė azoto, fosforo ir kitų organinių medžiagų koncentracija (Mohamed ir kt., 2018).

Tyrimų metodika

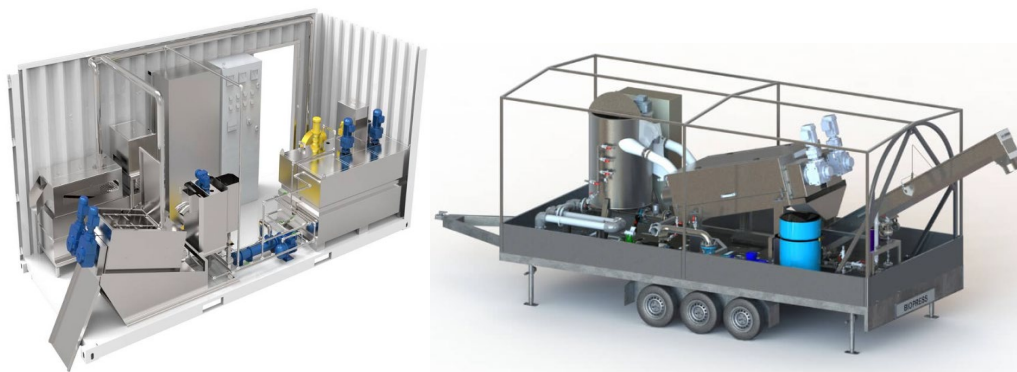
Projektuojant naujas arba rekonstruojant esamas nuotekų valyklas dažnai susiduriama su duomenų stoka – nuotekų debito apskaitos nėra (naujos valyklos atveju) arba naudojami fiziškai ir / ar morališkai pasenę metodai, dėl prastos nuotekų surinkimo sistemos būklės (infiltracijos, paviršinių nuotekų patekimo) teršalų koncentracijų nuotekose monitoringo duomenys netikslūs. Formuojant technines specifikacijas ir rengiant projektavimo užduotis skaičiuojamos vidutinės galimos reikšmės, kurios gali skirtis nuo realių. Nuotekų kiekiai ir sudėtis tiesiogiai įtakoja susidarančio perteklinio dumblo kiekius, todėl būtina sutikrinti su faktinėmis aplinkybėmis, norint gauti objektyvų įvertinimą.

Nagrinėjamos nuotekų valyklose įdiegtos technologijos skirtos pašalinti organinius teršalus (BDS), skendinčias medžiagas (SM), taip pat maistines medžiagas – fosforą (P) ir azotą (N). Valyklų technologines schemas sudaro šios pagrindinės grandys: parengtinis valymas (nešmenų ir grunto dalelių atskyrimui), biologinio valymo grandis (anaerobinės, anoksinės, aeracinės kameros) su antriniais sėsdintuvais ir perteklinio dumblo talpos. Bioreaktoriuose palaikoma veikliojo dumblo koncentracija $\sim 5\text{kg/m}^3$, veikliojo dumblo amžius ~ 20 parų. Palaikant paminėtas proceso sąlygas veikslus dumblas bioreaktoriuose aerobiškai stabilizuojamas – praktiškai nebeturi organinių medžiagų (nėra nemalonių kvapų susidarymo tikimybės), geros sedimentacinės savybės.

Susidaręs perteklinis dumblas nagrinėjamos nuotekų valyklose kaupiamas numatytose perteklinio dumblo talpose ir periodiškai išvežamas specialiu transportu tolimesniam apdorojimui į Vilkaviškio miesto nuotekų valyklą. Remiantis atliktos duomenų analizės rezultatais atliekamas alternatyvių dumblo apdorojimo technologijų taikymo palyginimas siekiant nustatyti efektyviausią metodą.

Šiuo metu vis labiau populiarėja mažo našumo dumblo sausinimo įrenginiai, ypač sraigtiniai presai (1 pav.), pastarieji pasižymi nedideliais gabaritais, taigi, nereikalauja daug vietos. Jie taip pat gali būti montuojami ant sunkvežimio bazės (mobili sistema), aukštas efektyvumas – 15–18 % SM sausintame dumble, nesudėtinga eksploatacija.

Vadovaujantis nagrinėjamų nuotekų valyklų projektinėje dokumentacijoje pateiktais tekstiniais ir grafiniais duomenimis, surinktais statistiniais duomenimis vykdant nuolatinį nuotekų debitų ir teršalų koncentracijų nevalytose ir valytose nuotekose monitoringą bei susidarančio perteklinio veikliojo dumblo kiekių apskaitą, atliekama duomenų analizė padėties įvertinimui. Atlikti perteklinio dumblo sausų medžiagų koncentracijos tyrimai, nustatyti dumblo transportavimo į apdorojimo vietas atstumai.



1 pav. Stacionari ir mobili dumblo sausinimo sistema

Fig. 2. Stationary and mobile sludge dewatering systems

Išskiriamos dvi dumblo apdorojimo sistemų grupės – mobilios ir stacionarios, abi grupės turi privalumų ir trūkumų, kurie detalčiau pateikti 2 paveiksle.

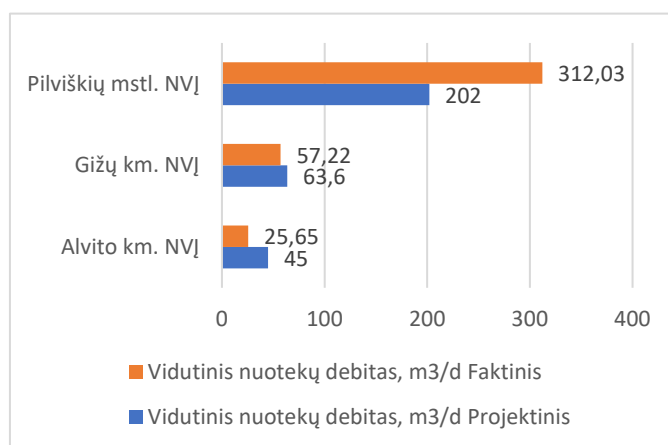
Dumblo sausinimo sistemos tipas	Pranašumai	Trūkumai
Stacionari dumblo sausinimo sistema	- Specialiai pritaikyta atitikti konkrečios valyklos poreikius - našumas; - Aukštas sausinimo efektyvumas; - Pastovios sausinimo dumblo savybės užtikrina optimalų reagentų naudojimą; - Atitinkamai numčius reikiamus statinius galima sausintą dumblą vietoje kaupti/kompostuoti.	- Pirminiai įrangos kaštai; - Gali atlikti savo funkciją tik viename objekte; - Pervežamas dumblas sausinimui (iš kitų valyklų) reikalauja reikšmingų transportavimo kaštų; - Turint daugiau įrenginių (skirtingų gamintojų) apsunkina eksploataciją.
Mobili dumblo sausinimo sistema	- Mobilumas, galimybė pervežti ir panaudoti daugiau nei vienoje nuotekų valykloje; - Transportavimo kaštų optimizavimas; - Mažinama CO₂ emisija; - Vieno tipo įrangos naudojimas supaprastina eksploataciją (atsarginės dalys, remonto darbai).	- Pirminiai įrangos kaštai; - Reikalingas specialiai apmokytas personalas (vairuotojas/operatorius); - Ribotas našumas; - Nuolatinis veikimas greičiau išnaudoja bendrą įrangos resursą; - Valykla turi būti pritaikyta priimti mobilią įrangą.

2 pav. Mobilių ir stacionarių dumblo sausinimo sistemų charakteristikų palyginimas

Fig. 2. Comparison of the characteristics of mobile and stationary sludge dewatering systems

Rezultatai ir aptarimas

Remiantis surinktais duomenimis, dviejose nagrinėjamose nuotekų valyklose – Gižų k. ir Alvito k. nevalytų nuotekų debitas mažesnis nei projektinis, atitinkamai 6,4 m³/d (– 10 %) ir 19,4 m³/d (– 43 %), trečiojoje – Pilviškių mstl., fiksuotas projektinio debito perviršis 110 m³/d (54 %) (3 pav.).



3 pav. Vidutinis nuotekų debitas Pilviškių mstl., Gižų k., Alvito k.

Fig. 3. Average wastewater flow rate Pilviškiai., Gižai, Alvitai

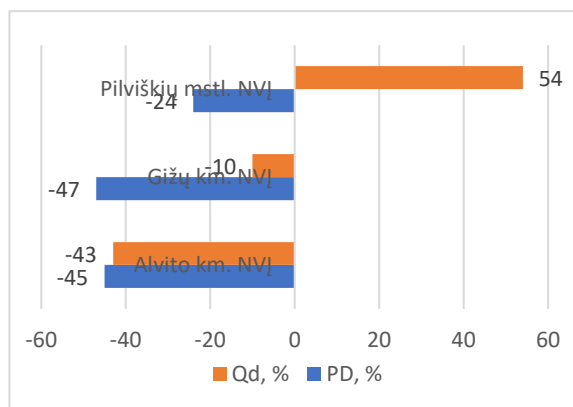
Norint įvertinti nuotekų debito ir teršalų apkrovos įtaką susidarancio perteklinio dumblo kiekiams, atliktas palyginimas tarp hidraulinės apkrovos (m³/d) ir dumblo prieaugio (kg SM/d) santykinio pokyčio (4 pav.). Taip pat atliktas palyginimas tarp teršalų apkrovos (kg/d) ir dumblo prieaugio (kg SM/d) santykinio pokyčio (5 pav.).

Alvito k. NVI ir Gižų k. NVI nustatytas mažesnis dumblo prieaugis, atitinkamai 45 % ir 47 %, lyginant su projektiniu, tai lėmė 43 % ir 10 % mažesnis nuotekų kiekis ir mažesnė teršalų apkrova.

Pilviškių mstl. NVI nustatytas 24 % mažesnis dumblo prieaugis, lyginant su projektiniu kiekiu. Nustatytas vidutinis metinis dienos nuotekų debitas 2023 m. buvo 54 % didesnis už projektinį kiekį, tačiau organinių medžiagų koncentracija ir atitinkamai teršalų apkrova vidutiniškai buvo 15 % mažesnė už projektinę. Taip pat tikėtinas dumblo išnešimas (pikinių debitų metu) dėl viršytų projektinių našumų.

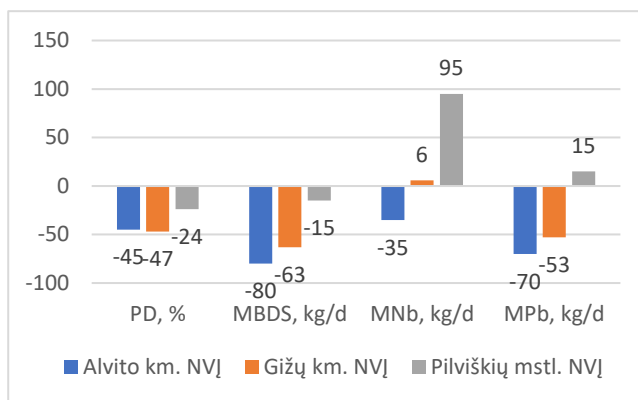
Sudarant perteklinio dumblo apdorojimo planus būtina išanalizuoti faktines aplinkybes ir nustatyti tikslus susidariusio perteklinio dumblo kiekius bei galimas to priežastis, lyginant su projektiniais parametrais.

Vadovaujantis vien projektiniais duomenimis parinkta įranga ir / ar jos našumas, statiniai ir kita reikiama infrastruktūra gali neatitikti realių poreikių. Tikslus įrangos našumo nustatymas leidžia optimizuoti sprendinius, dėl to didėja ekonominio vertinimo tikslumas ir objektyvumas.



4 pav. Perteklinio dumblo susidarymo palyginimas su nuotekų debitu. Q_d – nuotekų debitas, PD – perteklinio dumblo kiekis

Fig. 4. Comparison of excess sludge production with wastewater flow rate. Q_d – wastewater flow rate, PD – excess sludge amount



5 pav. Perteklinio dumblo susidarymo palyginimas su teršalų apkrova. PD – perteklinio dumblo kiekis, MBDS – apkrova BDS₇, MN_b – apkrova bendruoju azotu, MP_b – apkrova bendruoju fosforu

Fig. 5. Comparison of excess sludge production with contaminant load. PD – excess sludge amount, MBDS – BOD₇ load, MN_b – total nitrogen load, MP_b – total phosphorus load

Išanalizuotas susidarančio dumblo kiekis ir logistikos poreikis tolesniam jo apdorojimui (1 lentelė). Dumblui transportuoti naudojama asenizacinė mašina su 4 m³ cisterna.

1 lentelė. Dumblo kiekiai ir logistiniai tolesnio tvarkymo parametrai, taikant gravitacinį tankinimą

Table 1. Sludge quantities and logistical parameters for further management, sing gravitational thickening

	m ³ /mėn.	kg SM/mėn.	% SM	Vežimų sk., vnt.	Atstumas iki Vilkaviškio NVI, km	Nuvažiuojamas atstumas, km/mėn.	Nuvažiuojamas atstumas, km/m.
Alvito k. NVI	32	320	1	8	8.7	139,2	1670,4
Gižų k. NVI	45	450	1	11,25	16.75	376,88	4522,56
Pilviškių mstl. NVI	64	1280	2	16	17.6	563,2	6758,4
Iš viso:							12951.36,

Taikant pažangesnes ir efektyvesnes dumblo apdorojimo (sausinimo) technologijas, galimas sausų medžiagų koncentracijos padidėjimas iki 15–18 % SM, kai esamomis priemonėmis pasiekama koncentracija (nustatyta atlikus laboratorinius tyrimus) tankinant gravitaciniu būdu: Alvito k. NVI – 1 % SM, Gižų k. NVI – 1 % SM, Pilviškių mstl. NVI – 2 % SM. Sumažinus išvežamo perteklinio dumblo tūrį, reikšmingai mažėja logistiniai poreikiai (išvežti naudojant 4 m³ talpos priekabą), priimant vidutinę 15 % SM koncentraciją sausintame dumble reikiamo išvežti dumblo kiekiai būtų sumažinami 7–15 kartų (2 lentelė).

2 lentelė. Sausinto dumblo kiekiai ir logistiniai tolesnio tvarkymo parametrai, taikant sausinimo technologiją

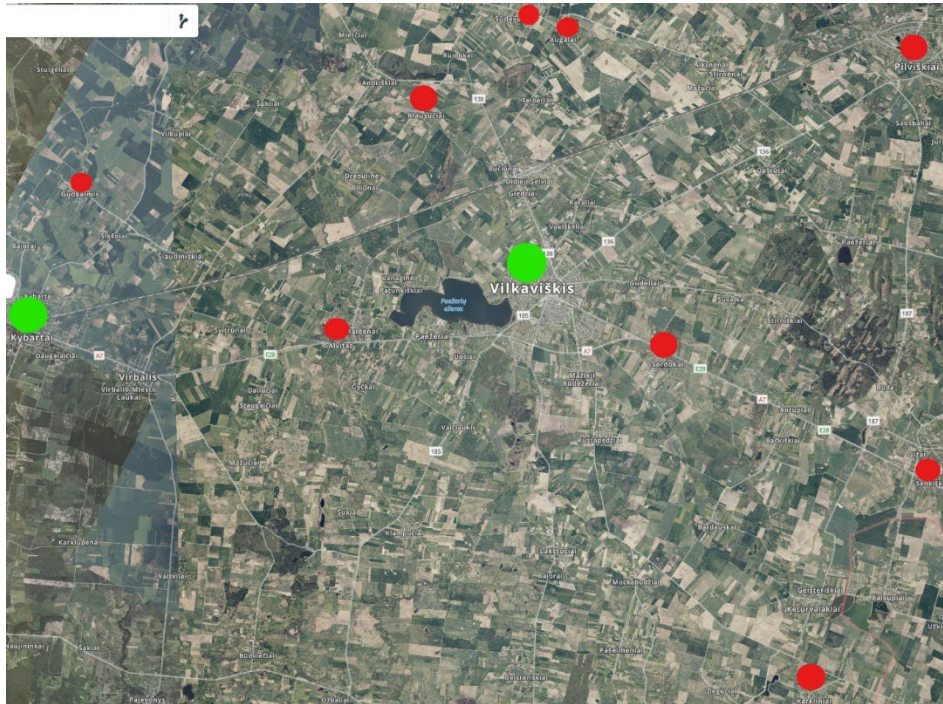
Table 2. Sludge quantities and logistical parameters for further management, using dewatering technology

	m ³ /mėn.	kg SM/mėn.	% SM	Vežimų sk./mėn., vnt.	Atstumas iki Vilkaviškio NVI, k.	Nuvažiuojamas atstumas, km/mėn.	Nuvažiuojamas atstumas, km/m.
Alvito k. NVI	2.1	320	15	0,5	8,7	8,7	104,4
Gižų k. NVI	3	450	15	0,8	16,75	26,8	321,6
Pilviškių mstl. NVI	8,5	1 280	15	2,1	17,6	73,92	887,04
Iš viso:							1313,04

Kuro suvartojimo norma taikomam transportui – 22 l/100 km, sumažinus reikiamo išvežti dumblo kiekius vien nagrinėjamos valylose transportavimo kaštai galėtų būti sumažinami – 4 200 eur/metų. Orientacinės

dumblo sausinimo sistemų (sraigtinis presas 30 kg SM/h) kainos: stacionari – 35 000–40 000 eur, mobili – 41 000–46 000 eur.

UAB „Vilkaviškio vandenys“, be nagrinėjamų NVĮ, eksploatuoja dar 6 valyklas, iš kurių perteklinis dumblas tolesniam apdorojimui vežamas į Vilkaviškio miesto nuotekų valyklą: Augalų NVĮ, $Q_d = 85 \text{ m}^3/\text{d}$ (9,7 km); Gudkaimio NVĮ, $Q_d = 45 \text{ m}^3/\text{d}$ (23 km); Karklinių NVĮ, $Q_d = 25 \text{ m}^3/\text{d}$ (22 km); Klausučių NVĮ, $Q_d = 40 \text{ m}^3/\text{d}$ (9,4 km); Serdokų NVĮ, $Q_d = 45 \text{ m}^3/\text{d}$ (6,7 km); Sūdavos NVĮ, $Q_d = 40 \text{ m}^3/\text{d}$ (10,2 km). Planuose – nuotekų tvarkymo tinklo plėtra, artimiausioje perspektyvoje numatoma statyti 3 naujas valyklas, kurių našumas – 45–60 m^3/d . Vilkaviškio r. eksploatuojamų nuotekų valyklų schema pateikiama 6 paveiksle.



6 pav. Vilkaviškio r. eksploatuojamų nuotekų valyklų schema. Žalia – NVĮ, turintys dumblo sausinimo įrangą, raudona – dumblas išvežamas į Vilkaviškio miesto NVĮ

Fig. 6. Scheme of wastewater treatment plants operating in Vilkaviškis district. Green – WWTPs with sludge dewatering equipment, red – sludge is transported to Vilkaviškis city WWTP

Kadangi nuotekų valyklos skirtos priimti nedidelių gyvenviečių buitines nuotekas – nėra pramonės nuotekų, taigi sunkiųjų metalų koncentracijos dumble nėra aukštos, atitinka I–II grupes, todėl galimas perteklinio dumblo panaudojimas tręšimui. Sausinto dumblo konsistencija tinkama nesudėtingam transportavimui ir paskleidimui. Šis pritaikymas pareikalautų papildomų pirminių išlaidų, kaupimo aikštelių įrengimui, tačiau paverstų dumblą iš atliekų į trąšas, kurias ūkininkai galėtų išvežti naudodami savo transportą, taip reikšmingai sumažindami logistines išlaidas.

Išvados

1. Atlikus projektinių ir faktinių duomenų palyginimą nustatyti reikšmingi nuokrypiai, kurie turi tiesioginę įtaką susidarancio perteklinio dumblo kiekiams. Sudarant rajono strateginius planus dumblo apdorojimo sistemos optimizavimui būtina atlikti realios padėties analizę.
2. Vertinant hidraulinės ir teršalų apkrovos įtaką susidarancio dumblo kiekiams nustatyta, kad teršalų apkrovos dinamika tiksliau nusako dėsningumus. Hidraulinių apkrovų pokyčiai gali turėti papildomų veiksmų, kaip galimas dumblo išnešimas viršijus NVĮ techninius parametrus.
3. Pritaikius dumblo sausinimo technologijas išvežamo dumblo kiekiai gali būti sumažinami 7–15 kartų, atitinkamai mažėtų bendras transportavimo atstumas ir tam skirtos išlaidos, mažinama CO₂ emisija.
4. Efektyvaus ir ekonomišką sausinimo įrangos veikimo užtikrinimui taikytina mobili sistema, kuri gali būti pagal poreikį transportuojama į pasirinktą valyklą. Šiuo metu dumblo sausinimo įranga Vilkaviškio rajone galėtų būti naudojama 9-iose valyklose, taip pat 3-jose numatomose valyklose. Plečiantis nuotekų tvarkymo infrastruktūrai įrangos ekonominė nauda didėtų.

Literatūra

1. Barry, D., Barbiero, C., Briens, C., Berruti, F. (2019). *Pyrolysis as an economical and ecological treatment option for municipal sewage sludge*.
2. Dauknys, R., Vabolienė, G., Valentukevičienė M., Rimeika, M. (2009). *Influence of substrate on biological removal of phosphorus*.
3. Galimybų studija. (2006). *Dumblo tvarkymo Lietuvoje investicinė programa*. II tomas.
4. Kalogo, Y., Monteith, H. (2008). *State of science report: energy and resource recovery from sludge*.
5. Leslie Grady, C. P. Glen, Jr., Daigger, Jr., Love, N. G., Filipe, C. D. M. (2011). *Biological Wastewater Treatment. Third Edition*.
6. Mittal, A. (2011). *Biological Wastewater Treatment*.
7. Mohamed, B., Mounia, K., Aziz, A., Ahmed, H., Rachid, B., Lotfi, A. (2018). *Sewage sludge used as organic manure in Moroccan sunflower culture*.
8. Wei, Y., van Houten, R. T., Borger A. R., et al. (2003). *Minimization of excess sludge production for biological wastewater treatment*.

Algirdas Radzevičius, Tadas Drabavičius

Optimization of Excess Sludge Management in Small and Medium Capacity Wastewater Treatment Plants

The article presents the results of a study on the formation of active excess sludge and an analysis of alternative further treatment methods. The study focused on wastewater treatment plants operated by UAB "Vilkaviškio vandenys," including: Alvitas village WWTP (Qd – 45.0 m³/d; 319 PE), Gižai village WWTP (Qd – 63.6 m³/d; 493 PE), Pilviškiai town WWTP (Qd – 202.0 m³/d; 1010 PE). A comparison of the actual amounts of excess sludge generated with the calculated design values was conducted, taking into account the existing hydraulic and pollutant loads, as well as pollutant concentrations in the treated wastewater.

The evaluation of alternative excess sludge management methods was conducted by comparing costs and expenditures using different approaches and technologies: a) Local sludge thickening and transportation, b) Implementation of a mobile sludge dewatering system, c) Implementation of a stationary sludge dewatering system.

Keywords: Excess sludge, sludge management optimization.

Gauta 2025 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2025 m. balandžio mėn.

Tadas DRABAVIČIUS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Inžinerijos fakulteto Vandens inžinerijos katedros studentas. Adresas: Sėkmės g. 43, LT-14335 Didieji Gulbinai, Vilniaus r., tel. +370 625 76775, el. paštas: tadas.drabavicius@vdu.lt,

Tadas DRABAVIČIUS. Vytautas Magnus University, Faculty of Engineering, Department of Water Engineering, student. Address: Sėkmės g. 43, LT-14335 Didieji Gulbinai, Vilniaus dist. Phone: +370 625 76775, e-mail: tadas.drabavicius@vdu.lt

Algirdas RADZEVIČIUS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Inžinerijos fakulteto Vandens inžinerijos katedros profesorius. Adresas: Universiteto g. 10-329, LT-53361 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52393, el. paštas: algirdas.radzevicius@vdu.lt

Algirdas RADZEVIČIUS. Vytautas Magnus University, Faculty of Engineering, Department of Water Engineering, prof. Address: Universiteto str. 10-329, LT-53361 Akademija, Kauno dist. Phone: +370 377 52393, e-mail: algirdas.radzevicius@vdu.lt

BIOLOGINIŲ PLĖVELINIŲ REAKTORIŲ TAIKymo TRE TINIAM NUOTEKŲ VALYmui ANALIZĖ

Laurynas Eigelis, Algirdas Radzevičius

Vytauto Didžiojo universitetas

Straipsnyje nagrinėjama plačiausiai tretiniam nuotekų valymui naudojami įrenginiai – biologiniai plėveliniai reaktoriai. Tyrimo objektu buvo pasirinkta Vilniaus nuotekų valykla. Vilniaus nuotekų valykla buvo pirmoji, įdiegusi į valymo grandį tretinį nuotekų valymą. Atlikta laistomųjų, nardinamųjų reaktorių ir biologinių filtrų analizė. Pateikti eksperimentiniai nardinamojo (diskinio) reaktoriaus tyrimo rezultatai.

Raktiniai žodžiai: biologinis plėvelinis reaktorius, diskinis biofiltras, tretinis nuotekų valymas, fosforo šalinimas.

Įvadas

Aplinkosaugos požiūriu, efektyvus nuotekų valymas yra svarbus siekiant išsaugoti vandens telkinių ekosistemas ir užtikrinti visuomenės sveikatą (Obaideen ir kt., 2022). Daugelis nuotekų valymo įrenginių, ypač didesniuose miestuose, susiduria su intensyvėjančiais iššūkiais dėl ribotų erdvinų galimybių, didėjančių apkrovų bei griežtėjančių aplinkosaugos reikalavimų. Tretinis nuotekų valymas – galutinis ir pažangiausias valymo etapas, kurio metu pašalinami fosforo ir azoto junginiai, smulkios suspenduotos kietosios dalelės ir mikrobiologiniai teršalai (Česonienė, 2021).

Tarp modernių tretinio valymo technologijų išsiskiria biologinių plėvelinių reaktorių (BPR) taikymas, kur yra derinami biologiniai ir fizikiniai-cheminiai procesai, padedantys užtikrinti aukštą išvalymo lygį (Starenko, Mažeikienė, 2019). Vienas iš perspektyviausių BPR įrenginių – panardinami diskiniai biofiltrai, kuriuose ant biodiskų paviršiaus iš mikroorganizmų susidaro bioplėvelė, užtikrinanti maistinių medžiagų ir suspenduotų dalelių šalinimą (Simanavičius, 2021).

Pastaruoju metu Lietuvoje sparčiai diegiamos tretinio nuotekų valymo technologijos, kurios yra ypač svarbios siekiant patenkinti vis griežtėjančius aplinkosaugos reikalavimus išvalytų nuotekų kokybei, pašalinant iš nuotekų azoto ir fosforo junginius, mikroteršalus bei smulkiąsias kietąsias daleles.

Tretinio nuotekų valymo grandis su panardinamais diskinais biofiltrais pirmą kartą Lietuvoje diegiama Vilniaus nuotekų valykloje. Tai didžiausia nuotekų valykla Lietuvoje, kurioje nuotekos valomos pagal griežtus aplinkosaugos reikalavimus.

Tyrimo tikslas – išanalizuoti, kokio lygio išvalymo efektyvumą galima pasiekti tretinio valymo grandyje, taikant panardinamus diskinius biofiltrus, ir įvertinti šių įrenginių privalumus bei trūkumus.

Tyrimo metodika

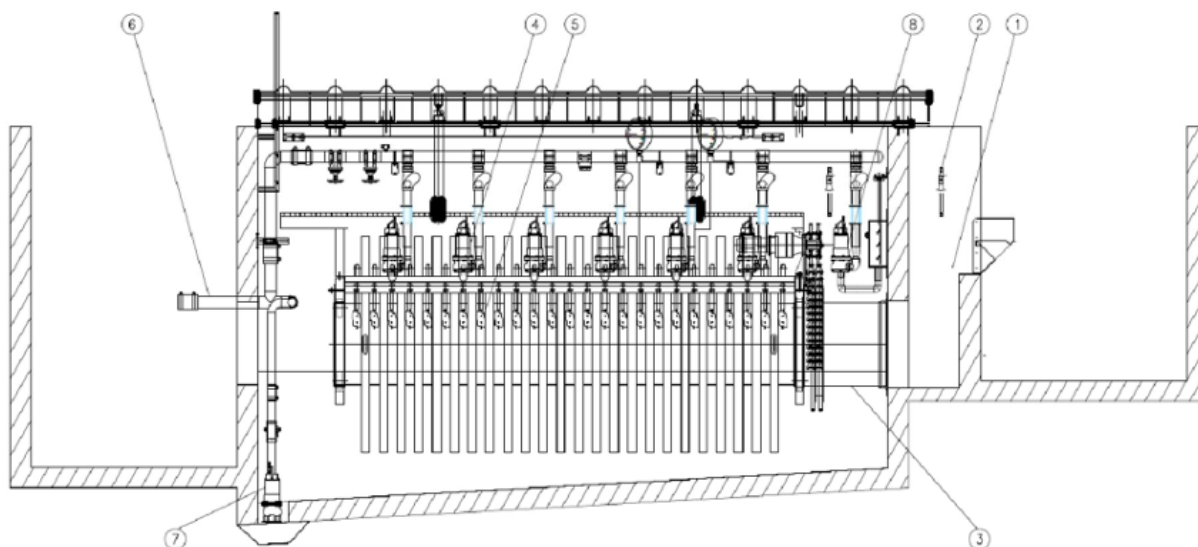
Tyrimo objektu pasirinkta Vilniaus miesto nuotekų valykla, kurioje įdiegta nauja tretinio valymo grandis su šešiais diskinais biofiltrais ir mikroplastiko šalinimo iš nuoplovų sistema. Diskiniai biofiltrai suteikia galimybę sumažinti ne tik skendinčiųjų medžiagų koncentraciją, biogeninių medžiagų kiekį valytose nuotekose, bet ir pašalinti mikroplastiko daleles, kurių stambumas didesnis nei 10 µm. Mikroplastikui iš nuoplovų atskirti panaudotos būgninės grotos, kurių sieto akučių dydis – 0,5 mm.

Mokslinių darbų, nagrinėjančių tretinį valymą BPR technologijomis, analizė atlikta remiantis praktinį BPR sistemų pritaikymą tirtais šaltiniais (Starenko, Mažeikienė, 2019; Kopūstienė, 2022; Wardi ir kt., 2023). Papildomai įvertinta panašių metodų taikymo ekonominė ir aplinkosauginė nauda (Estahbanati ir kt., 2021).

Pagrindiniai vertinamieji rodikliai – likutinės fosforo, azoto junginių bei skendinčių medžiagų koncentracijos išvalytose nuotekose. Efektyvus biologinis tretinis valymas turėtų reikšmingai sumažinti minėtų parametru reikšmes iki teisės aktuose nustatytų normų.

Diskinio biofiltro schema pateikta 1 paveiksle, o jo veikimo principas yra toks. Diskams sukantis nuotekų rezervuare jų paviršiaus pasidengia biologine plėvele, ant šio paviršiaus kaupiasi teršalų dalelės. Pastarosioms sudarius paklotą ant disko išorinės pusės slėgio nuostoliai išauga. Pasiekus iš anksto nustatytą maksimalų nuotekų lygį skirtumą tarp filtro rezervuaro ir ištekėjimo latako, įsijungia filtro praplovimas ir kietos medžiagos pašalinamos nuo diskų paviršiaus. Diskų plovimas vyksta vakuuminio nusiurbimo metodu, t. y. ant kiekvieno disko sumontuoti siurbtukai, kurie žarnomis sujungti su siurbliu. Veikiant siurbliui susidaro vakuuminis srautas, kuris nusiurbia nuo disko susikaupusius nešmenis. Filtravimo procesas vyksta nepertraukiamai net ir plovimo metu. Kiekvieno filtro dugne sumontuotas dumblo / nuosėdų šalinimo siurblys, kuris periodiškai vieną kartą per valandą įsijungia pašalinti nusėdusias ant filtro dugno nuosėdas. Filtro dugnas suprojektuotas su nuolydžiu į siurblio pusę. Plovimo vanduo ir pašalintos nuo dugno nuosėdos vamzdžiu nukreipiamos į nuoplovų atskyrimo patalpą. Plūduriuojančios mikroplastiko dalelės šalinamos paviršinių

išplūdų surinkikliu. Tam tikslui kelis kartus per parą filtrų rezervuaruose pakeliamas vandens lygis. Išjungus paviršinių išplūdų / plastiko šalinimo siurbliui, plastiko dalelės nuo paviršinių išplūdų surinkiklio nukreipiamos plovimo vamzdynu į nuoplovų atskyrimo talpyklą.



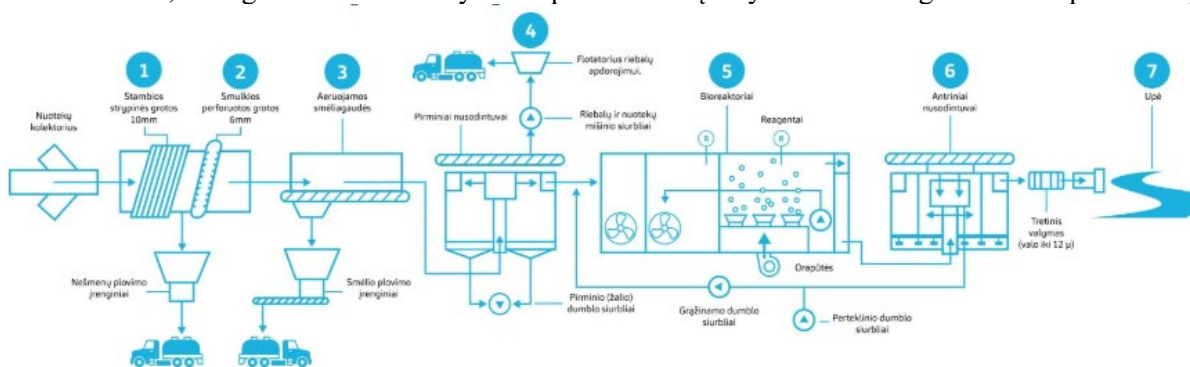
1 pav. Biofiltro sudedamosios dalys: 1 – išvalytų nuotekų išteklėjimo slenkstis; 2 – lygio jutikliai; 3 – centrinis vamzdis; 4 – siurblys; 5 – filtravimo diskas; 6 – nuoplovų ir dumblo išteklėjimo vamzdis; 7 – dumblo siurblys (dugnas); 8 – paviršiaus SM siurblys (MITA, 2024)

Fig. 1. Biofilter components: 1 – Treated wastewater outlet threshold; 2 – Level sensors; 3 – Central pipe; 4 – Pump; 5 – Filter disc; 6 – Effluent and sludge outlet pipe; 7 – Sludge pump (bottom); 8 – Surface SM pump (MITA, 2024)

Tyrime taikomi metodai. Palyginimo metodas – remiantis kitų šalių praktika bei vietiniais tyrimais analizuojama, kiek efektyvūs BPR sprendimai. Statistiniai rodikliai – apibendrinant BPR sistemos efektyvumą vertinamos vidutinės, maksimalios ir minimalios išvalymo reikšmės. Kokybinė analizė – vertinama, kaip efektyvumo rodiklius veikia skirtingos sąlygos: nuotekų srauto paros svyravimai, teršalų apkrovos, nuotekų temperatūra.

Rezultatai ir aptarimas

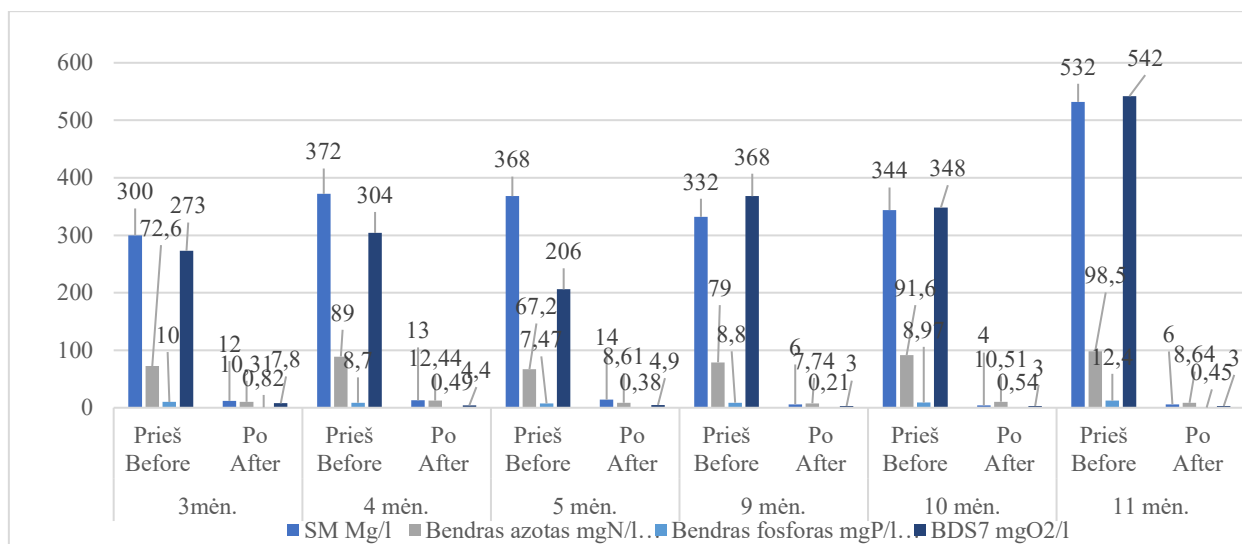
Diskinio biofiltro tyrimai buvo vykdomi Vilniaus nuotekų valykloje, kurioje nuotekų valymo procesas apima mechaninio, biologinio ir tretinio valymo etapus. Nuotekų valyklos technologinė schema pateikta 2 pav.



2 pav. Nuotekų valyklos technologinė schema (Vilnius, 2023)

Fig. 2. Waste water treatment plant technological scheme (Vilnius, 2023)

Tretinio nuotekų valymo grandis Vilniaus nuotekų valykloje buvo įdiegta 2024 m. rugsėjo mėnesį. Prieš šios grandies įdiegimą nuotekų valykloje buvo pasiekiami tokie nuotekų išvalymo rodikliai: BDS7 – 4,4 mgO₂/l, bendras azotas – 12,44 mg/l, bendras fosforas – 0,49 mg/l, SM – 13 mg/l. 2022 m. išvalytų nuotekų, išleidžiamų į Nėries upę, kai dar neveikė tretinio valymo grandis, kokybinių charakteristikų dinamika pateikta 3 paveiksle.



3 pav. Nuotekų rodikliai prieš valymą ir po valymo

Fig. 3. Wastewater indicators before and after treatment

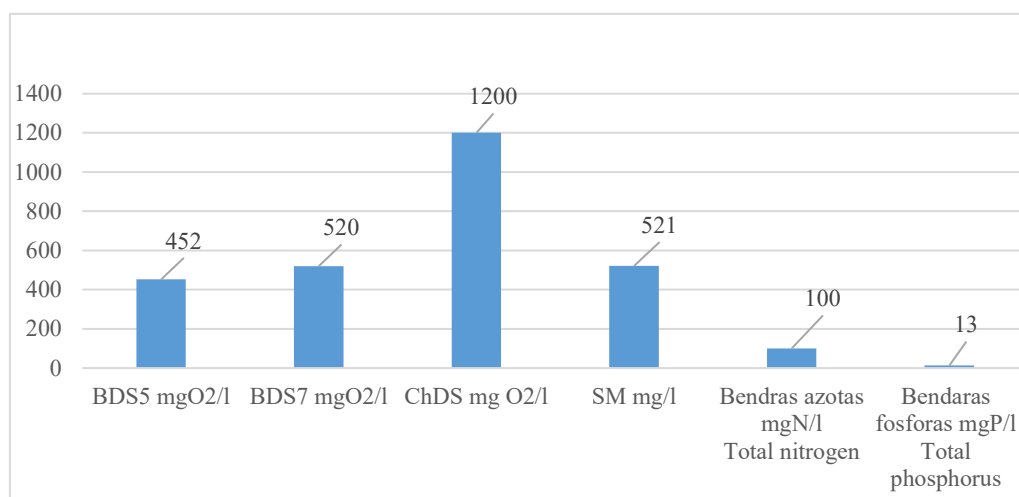
Vilniaus nuotekų valyklos rekonstrukcijos ir tretinio valymo grandies statybos projektiniai nuotekų srauto parametrai pateikti 1 lentelėje.

1 lentelė. Projektiniai debitai

Table 1. Design flows

Parametrai Parameters	Reikšmė Meaning
Projektinis minimalus valandinis debitas Design minimum hourly flow rate	2 780 m ³ /h
Projektinis vidutinis valandinis debitas Design average hourly flow rate	5 380 m ³ /h
Projektinis maksimalus valandinis debitas (sausu paros metu) Design maximum hourly flow rate (during a dry day)	7 900 m ³ /h
Projektinis maksimalus valandinis debitas (lietingu periodu) Design maximum flow rate (during rainy days)	17 000 m ³ /h

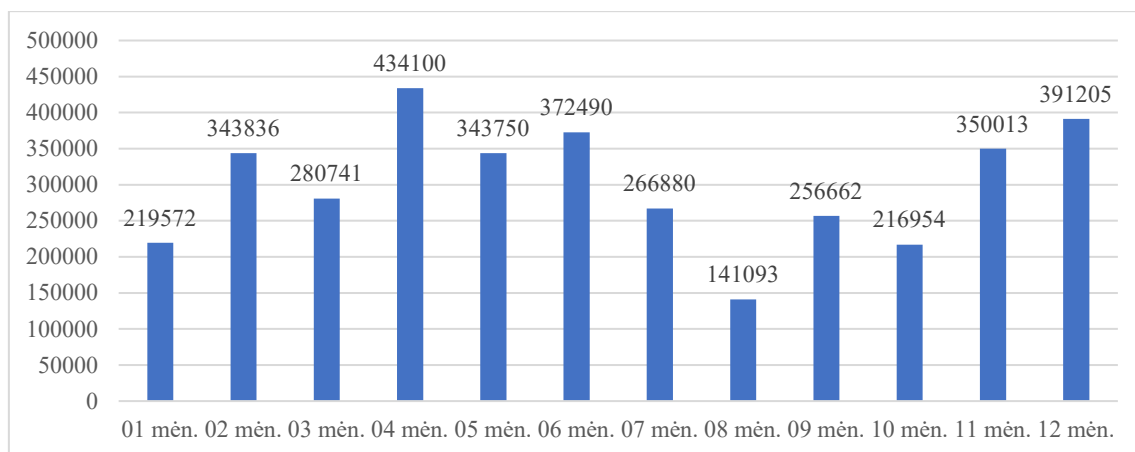
Projektinės atitekančių ir nevalytų nuotekų reikšmės pateiktos 4 paveiksle.



4 pav. Projektinės atitekančių ir nevalytų nuotekų užterštumo reikšmės

Fig. 4. Design pollution values for incoming and untreated wastewater

Grafikas rodo, kad didžiausi nuotekų kiekiai atiteka pavasarį ir žiemą, o mažiausi – vasarą, ypač rugpjūtį. Aukščiausia reikšmė fiksuota balandį (434 100 m³), mažiausia – rugpjūtį (141 093 m³). Atitekančių į nuotekų valyklą nuotekų kiekio dinamikoje pastebimas sezoniskumas, susijęs su klimato sąlygomis ir vartojimo pokyčiais.



5 pav. Atitekančių į nuotekų valyklą nuotekų kiekio dinamika, m³

Fig. 5. Amount of wastewater, m³

Tretinio nuotekų valymo grandis, susidedanti iš šešių diskinių biofiltrų (angl. *pile cloth filters*), taip pat mikroplastiko šalinimo iš nuoplovų sistemos, buvo įdiegta 2024 m. rugsėjo mėnesį. Projektiniai išvalytų nuotekų, išleidžiamų į Nerį, parametrai pateikti 2 lentelėje.

2 lentelė. Išleidžiamų valytų nuotekų užterštumas po tretinio valymo

Table 2. Contamination of discharged treated wastewater after tertiary treatment

Eilės numeris Row number	Parametrai Parameters	Matavimo vienetas Unit of measurement	Reikšmė Meaning
1	Vidutinis paros mėginys pagal BDS ₅ Average daily sample according to BDS ₅	mg O ₂ /l	13
2	Vidutinis paros mėginys pagal BDS ₇ Average daily sample according to BDS ₇	mg O ₂ /l	15
3	Vidutinė metinė pagal bendrąjį azotą reikšmė Average annual total nitrogen	mg N/l	10
4	Vidutinė metinė pagal bendrąjį fosforą reikšmė Average annual total phosphorus	mg P/l	0,5
5	Vidutinė metinė pagal skendinčias medžiagas reikšmė Average annual suspended solids	mg SM/l	12,5

Tyrimais nustatyta, kad įdiegus šią grandį bendrojo fosforo koncentracija išvalytose nuotekose sumažėjo iki 0,2–0,5 mg/l, bendrojo azoto – iki 8–10 mg/l, skendinčių medžiagų – 5–8 mg/l. Diskinių biofiltrų biologinė plėvelė padeda sėkmingai pašalinti ištirpusias organines medžiagas ir maistines medžiagas, likusias po antrinio valymo. Diskinio filtro paviršiuje susidariusi plėvelė veikia kaip aktyvioji aplinka, kurioje vyksta nitrifikacijos-denitrifikacijos procesai, o fosforas pašalinamas jį įtraukiant į mikroorganizmų ląsteles. Tokiu būdu diskiniuose BPR galima užtikrinti tolesnę likutinio fosforo ir azoto pašalinimo eigą. 4 paveiksle pateikti nuotekų išvalymo rodikliai įdiegus tretinio valymo grandį.

Apibendrinant tyrimų rezultatus galima teigti, kad panardinami diskiniai filtrai pasižymi mažesniu energijos suvartojimu, lyginant su įprastiniais membraniniais filtrais, lengvesnė jų priežiūra, dėl paprastos mechaninės konstrukcijos geba dirbti esant svyruojančioms apkrovoms be reikšmingo efektyvumo praradimo. Aplinkosauginiu požiūriu ši technologija leidžia mažinti reikiamų cheminių reagentų kiekį, o išvalytos nuotekos atitinka griežtesnius normatyvus ir sumažėja rizika, kad bus viršyti išleistinių teršalų kiekiai.

Taigi biologinių plėvelinių reaktorių integracija su diskiniais filtrais suteikia kompromisinį sprendimą tarp išvalymo kokybės, eksploatacijos sąnaudų ir reikiamo ploto.

Išvados

- Atlikti tyrimai parodė, kad diskinių filtrų taikymas tretiniam nuotekų valymui suteikia galimybę sumažinti skendinčių medžiagų koncentraciją iki 5–8 mg/l bei pašalinti iš nuotekų didesnes nei 10 µm mikroplastiko daleles.
- Įdiegus tretinį valymą 2024 m. rugsėjį, Vilniaus nuotekų valykla pasiekė geresnius valymo rezultatus. Fosforo koncentracija sumažėjo nuo 1,0–1,2 mg/l iki 0,2–0,5 mg/l, bendras azotas – nuo 12–13 mg/l iki 8–10 mg/l.

3. Atlikti tyrimai parodė, kad panardinami diskiniai biofiltrai pasižymi stabilium darbu ir aukštu filtravimo efektyvumu esant skirtingoms apkrovoms, juos nesudėtinga prižiūrėti, keisti darbo režimą, šalinti susikaupusius teršalus.

Literatūra

1. Česonienė, L. (2021). Nuotekų išvalymo efektyvumo palyginamoji analizė. In *Žmogaus ir gamtos sauga 2021: mokslo straipsnių rinkinys = Human and nature safety 2021: selected papers*. Kaunas: Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademija.
2. Estahbanati, M., Kumar, S., Khajvand, M., Drogu, P., & Dayal, R. (2021). Environmental impacts of recovery of resources from industrial wastewater. In *Biomass, biofuels, biochemicals* (pp. 121–162). Elsevier.
3. Kopūstienė, J. (2022). *Biržų aglomeracijos nuotekų valymo įrenginių ir dumblo panaudojimo efektyvumo analizė*. Doctoral dissertation.
4. *Nuotekų tvarkymo reglamentas*. (2006). Retrieved March 6, 2024. <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.276576/asr>
5. Obaideen, K., Shehata, N., Taha Sayed, N., Abdelkareem, M., & Mohamed, et al. (2022). The role of wastewater treatment in achieving sustainable development goals (SDGs) and sustainability guideline. *Energy Nexus*, 7, 100112.
6. Simanavičius, S. (2021). *Kupiškio miesto nuotekų valymo įrenginių efektyvumo analizė*. Doctoral dissertation.
7. Starenko, J., Mažeikienė, A. (2019). *Tretinio nuotekų valymo filtruojant per ceolito, kriauklelių ir Filtralite P užpildus tyrimas ir analizė*.
8. Vaukas, M. (2024, October). Plungės nuotekų valyklos rekonstravimo galimybių analizė. In *Young Scientist, Conference / Jaunasis mokslininkas, konferencija* (pp. 620–624).
9. Wardi, M., Slimini, N., Alla, A. A., & Belmouden, A. (2023). First study of the effect of wastewater treatment on microbial biodiversity at three wastewater treatment plants in Agadir, Morocco, using 16S rRNA sequencing. *Environmental Pollution*, 337, 122528.
10. *MITA water technologies*. (2024) [interaktyvus] [žiūrėta 2025-02-24]. <https://skeinforce.com/bim/product-details/pec-disc-filters-bim-object-mita-water-technologies-20022e>
11. *Vilniaus nuotekų valykla*. (2023) [interaktyvus] [žiūrėta 2025-02-24]. <https://www.vv.lt/vilniaus-nuoteku-valyklos-rekonstrukcija/>

Laurynas Eigelis, Algirdas Radzevičius

Analysis of the Use of Biological Film Reactors for Tertiary Wastewater Treatment

The article examines the most widely used equipment for tertiary wastewater treatment – biological film reactors. The Vilnius wastewater treatment plant was chosen as the object of the study. Vilnius wastewater treatment plant was the first to introduce tertiary wastewater treatment into the treatment chain. An analysis of irrigated, submerged reactors and biological filters was performed. Experimental results of the study of a submerged (disk) reactor are presented.

Keywords: Biological film reactor, disc filter, tertiary wastewater treatment, phosphorus removal, environmental protection.

Gauta 2025 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2025 m. balandžio mėn.

Laurynas EIGELIS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedros docentas. Adresas: Studentų g. 15a, LT-53362 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52357, +370 651 67701, el. paštas: laurynas.eigelis@vdu.lt

Laurynas EIGELIS. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, assoc. prof. Address: Studentų str. 15a, LT-53362 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 377 52357, +370 651 67701, e-mail: laurynas.eigelis@vdu.lt

Algirdas RADZEVICIUS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Inžinerijos fakulteto Vandens inžinerijos katedros profesorius. Adresas: Universiteto g. 10-329, LT-53361 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52393, el. paštas: algirdas.radzevicius@vdu.lt

Algirdas RADZEVICIUS. Vytautas Magnus University, Faculty of Engineering, Department of Water Engineering, prof. Address: Universiteto str. 10-329, LT-53361 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 377 52393, e-mail: algirdas.radzevicius@vdu.lt

APLINKA IR SVEIKATA

ENVIRONMENT AND HEALTH

URBANISTINĖS APLINKOS VEIKSNIŲ ĮTAKOS METABOLINIAM SINDROMUI TYRIMAS

Aušra Kapustinskaitė

Lietuvos sveikatos mokslų universiteto ligoninės Kauno klinikų Šeimos medicinos klinika

Metabolinis sindromas yra sveikatos sutrikimų, kilusių dėl medžiagų apykaitos pakitimų, klasteris, didinantis širdies ligų, insulto, diabeto riziką, priešlaikinę mirtį ir bloginantį gyvenimo kokybę. Pastaraisiais dešimtmečiais įvairiose šalyse ženkliai padidėjo metabolinio sindromo paplitimas. Metabolinio sindromo raidai gali turėti įtakos aplinkos veiksniai, tokie kaip oro tarša, transporto keliamas triukšmas, žaliųjų miesto erdvių mažėjimas ir gyvenimo būdas, tačiau kompleksinių tyrimų rezultatai yra nevienareikšmiai. Iki šiol nėra aišku, koks ultrasmulkiųjų dalelių ekspozicijos lygis gali turėti reikšmingos įtakos metabolinių sutrikimų raidai ir metabolinio sindromo biologinių žymenų raiškai. Ankstyvas metabolinio sindromo nustatymas ir valdymas gali reikšmingai sumažinti širdies ir kraujagyslių ligų riziką ir mirtinas pasekmes. Šio tyrimo tikslas – nustatyti oro taršos ultrasmulkiosiomis kietosiomis dalelėmis gyvenamojoje aplinkoje poveikį bei gyvenimo būdo įtaką metabolinio sindromo rizikai 45–64 metų amžiaus Kauno gyventojams. Remiantis tyrimo rezultatais, politikams, visuomenės sveikatos specialistams ir visuomenei bus pateikti pasiūlymai, skirti aplinkos sveikatai gerinti ir metabolinių sutrikimų rizikai mažinti.

Raktiniai žodžiai: aplinkos veiksniai, oro tarša, sveikatos elgsena, metabolinis sindromas, rizikos valdymas.

Įvadas

Tarptautinė statistinė ligų ir sveikatos sutrikimų klasifikacija, dešimtas pataisytas ir papildytas leidimas (TLK-10-AM), metabolinį sindromą apibūdina kaip lėtinę neinfekcinę ligą. Šią diagnozę visame pasaulyje dažniausiai išgirsta sergantieji širdies ir kraujagyslių sistemos ir endokrininėmis ligomis, o sindromo paplitimas priklauso nuo naudojamų diagnostikos kriterijų (Haverinen et al., 2021). Įvairiose šalyse atlikti tyrimai pateikė įrodymų apie pastaraisiais dešimtmečiais didėjančią metabolinio sindromo paplitimą populiacijos mastu (Noubiap et al., 2022; Liang et al., 2021; Kim et al., 2020). Metabolinio sindromo paplitimo didėjimas siejamas su keletu veiksnių, susijusių su metabolizmo sutrikimu dėl kenksmingų aplinkos veiksnių, pasikeitusios sveikatos elgsenos, rūkymo, pakitusių mitybos įpročių, padidėjusia sėdima veikla ir stresu (Huang et al., 2015; Cho and Koo, 2018). Metabolinis sindromas susijęs su požymiais, tokiais kaip centrinis nutukimas (juosmens apimties padidėjimas), hipertenzija, lipidų apykaitos sutrikimais, gliukozės netoleravimas (Grundy et al., 2005). Be to, paaiškėjo, kad sindromas yra antro tipo diabeto, išeminės širdies ligos ir kitų širdies ir kraujagyslių ligų rizikos veiksnys. Taigi, metabolinis sindromas apibūdina sveikatos sutrikimus, kilusius dėl medžiagų apykaitos pakitimų, ir yra veiksnių klasteris, didinantis širdies ligų, insulto, diabeto riziką, priešlaikinę mirtį ir bloginantį gyvenimo kokybę (Alberti et al., 2009; Eckel et al., 2005; Kassi et al., 2011).

Keletas aplinkos veiksnių, veikdami kartu, didina metabolinio sindromo riziką, tačiau lemiamą vaidmenį vaidina oro tarša, nepalankus elgsenos veiksnys – mažas fizinis aktyvumas, kuris susijęs su nutukimo rizika ir padidėjusiu kraujo spaudimu (Christensen et al., 2015; Eze et al., 2015). Nustatyta, kad oro tarša, ypač ultrasmulkiosiomis ir smulkiosiomis kietosiomis dalelėmis (KD0.1, KD2.5), ir transporto keliamas triukšmas turi nepalankų poveikį gyvenimo kokybei ir gyventojų sveikatai. Minėti veiksniai didina sergamumą širdies ir kraujagyslių sistemos ligomis, centrines nervų sistemos ir metabolizmo sutrikimų ligomis, vadinamomis aplinkos sąlygojamomis lėtinėmis ligomis (Münzel et al., 2023). Europoje dėl oro taršos pirma laiko miršta apie 0,5 milijono gyventojų, tačiau kietųjų dalelių ir triukšmo normos nėra įtrauktos į klinikoje direktyvas. Be to, oficialūs Europos aplinkos taršos limitai ženkliai viršija Pasaulio sveikatos organizacijos standartus. Tai ypač aktualu labiausiai pažeidžiamoms socialinės atskirties grupėms, sergantiesiems lėtinėmis ligomis ar vyresnio amžiaus gyventojų grupėms. Iki šiol nėra aiški ultrasmulkiųjų dalelių ekspozicijos reikšmė metabolinių sutrikimų, skatinančių širdies ir kraujagyslių ligų ir metabolinio sindromo vystymąsi, patogenezę. Lyginant smulkių ir stambių dalelių poveikį sveikatai, ultrasmulkiųjų dalelių sukeliami pažeidimai yra didesni dėl teršalų tiesioginio patekimo per plaučių audinį į kraujotaką. Dėl tos priežasties kyla sisteminis uždegimas, endotelio disfunkcija, kraujo krešėjimo sutrikimai ir oksidacinis stresas, sukeliantys metabolinius sutrikimus ir širdies ir kraujagyslių ligas (Schraufnagel et al., 2021). Lietuvoje širdies ir kraujagyslių ligos vargina apie 40 % 45–64 m. populiacijos ir turi reikšmingos įtakos visuomenės sveikatai ir sveikatos priežiūros sistemai (Grazuleviciene et al., 2021). Svarbiausias metabolinio sutrikimo indikatorius yra centrinis nutukimas, tačiau nėra paskelbta duomenų apie jo ryšį su ultrasmulkiųjų dalelių ekspozicijos lygiu ir individo sveikatos elgsena. Ankstyvas metabolizmo sutrikimo nustatymas ir valdymas gali reikšmingai sumažinti širdies ir kraujagyslių ligų riziką ir mirtinas pasekmes (International..., 2005).

Populiacijos mastu atlikti tyrimai parodė, kad miestų transporto keliama oro tarša reikšmingai didina metabolinio sindromo paplitimą Kinijos bendruomenėse (Yang et al., 2018), Vokietijoje (Matthiessen et al., 2018) ir reikšmingai didina hipertenzijos riziką. Oro tarša miestuose ir kiti nepalankūs urbanistinės aplinkos veiksniai daro neabejotiną poveikį gyventojų elgsenai, susijusiai su nutukimu ir metabolinio sindromo rizika. Paskelbta duomenų, kad didesnis žalumos indeksas gyvenamajame rajone susijęs su mažesniu metabolinio sindromo paplitimu (Yang et al., 2020; de Keijzer et al., 2019), o parkų kaimynystė gali mažinti oksidacinį stresą (Yeager et al., 2018) ir metabolinio sindromo riziką (Dengel et al., 2009). Keičiant modifikuojamus gyvenimo būdo rizikos veiksnius, tokius kaip fizinis aktyvumas, mityba, galima sumažinti metabolinio sindromo vystymąsi (Sequi-Dominguez et al., 2020) ir lėtinių ligų riziką (Park et al., 2022; Bassi et al., 2014). Yra duomenų, kad reguliarius lankymasis parkuose mažina aplinkos stresorių, tokių kaip oro tarša ar transporto keliamas triukšmas, nepalankų aplinkos poveikį sveikatai (Münzel et al., 2021), nes sumažina lėtinį stresą, turi atstatomąjį poveikį širdies ir kraujagyslių sistemai ir didina socialinius kontaktus (Markevych et al., 2017; Grazuleviciene et al., 2015; Kuo, 2015).

Pastaruoju metu nustatytas ryšys tarp centrinio nutukimo, kūno masės indekso ir kardiometabolinius sutrikimus koduojančių biologinių žymenų, kraujo spaudimo ir sergamumo hipertenzija (Giontella et al., 2021). Paskelbti tyrimai byloja, kad vaikščiojimas parke pagerina sergančių išemine širdies liga sveikatą mažinant stresines reakcijas ir per smegenų neurotrofinio faktoriaus reguliaciją, pagerina širdies funkciją, sumažina kraujo spaudimą. Reguliarus septynių dienų 30 min. vaikščiojimas ir sveikos mitybos intervencija gali reikšmingai pagerinti širdies veiklą, sumažinti kraujo spaudimą ir kūno masės indeksą (Grazuleviciene et al., 2015; Chin et al., 2016). Tokiu būdu metabolinių sutrikimų patologijos tyrimas ir sutrikimų mažinimas naudojant fizinį aktyvumą žalioje erdvėje yra viena iš šiuolaikinių ir perspektyvių gamtos terapijos (*Nature therapy*) priemonių. Tačiau iki šiol nėra aišku, koks ultrasmulkiųjų dalelių ekspozicijos lygis gali turėti reikšmingos įtakos labiausiai pažeidžiamoms gyventojų grupėms – vyresnio amžiaus, turintiems metabolinių sutrikimų požymių asmenims, ir kokią įtaką daro didesnis fizinis aktyvumas žaliose erdvėse ir sveika mityba mažinant metabolinio sindromo biologinių žymenų raišką.

Tyrimo hipotezė: ilgalaikė oro taršos ultrasmulkiosiomis kietosiomis dalelėmis ekspozicija gyvenamojoje aplinkoje didina metabolinio sindromo riziką.

Tyrimo tikslas – nustatyti oro taršos ultrasmulkiosiomis kietosiomis dalelėmis ekspozicijos gyvenamojoje aplinkoje įtaką metabolinio sindromo rizikai ir trumpalaikės sveikos gyvensenos poveikį metabolinio sindromo biologiniams žymenims.

Uždaviniai:

1. Nustatyti ryšį tarp oro taršos ultrasmulkiosiomis kietosiomis dalelėmis ekspozicijos gyvenamojoje vietoje ir metabolinio sindromo paplitimo, kontroliuojant ryšį iškreipiančių veiksnių įtaką.
2. Įvertinti fizinio aktyvumo miesto parke poveikį lipidų ir gliukozės apykaitos metaboliniams žymenims.
3. Įvertinti septynių dienų Viduržemio jūros dietos poveikį gliukozės koncentracijai plazmoje, trigliceridų koncentracijai ir didelio tankio lipoproteinų (DTL) cholesterolio koncentracijai kraujyje.
4. Remiantis tyrimo rezultatais, pateikti pasiūlymų, skirtų metabolinių sutrikimų rizikai mažinti, specialistams, planuojantiems visuomenės sveikatos stebėseną ir visuomenei.

Tyrimų metodika

Ryšio tarp oro taršos ir metabolinio sindromo paplitimo tyrimas. Siekiant nustatyti gyvenamosios aplinkos ir gyvenimo būdo įtaką metabolinio sutrikimo rizikos veiksniams, pradžioje atliekamas aplinkos epidemiologinis stebimasis pjūvio (*Cross-sectional*) tyrimas (Grazulevičienė, 2005). Į tyrimą įtraukiama reprezentatyvi gyventojų imtis apklausai atlikti. Tyrimas pradedamas atsitiktiniu būdu atrenkant apie 1 000 45–64 metų amžiaus Kauno gyventojų internetinei apklausai, kurie užpildo internetinę anketą, skirtą surinkti duomenis apie savo sveikatos rodmenis, gydytojo diagnozuotas lėtines ligas, socialinę ir ekonominę situaciją, elgsenos veiksnius ir dalyvio nuomonę apie gyvenamąją vietą. Naudojant šiuolaikines priemones (PALAS ENVI-CPC 100), nustatoma aplinkos oro tarša ultrasmulkiosiomis kietosiomis dalelėmis, sumodeliuojamas gyvenamosios vietos ekspozicijos dydis ir, pasitelkus geografinę informacinę sistemą (GIS), ekspozicija susiejama su kiekvieno tyrimo dalyvių gyvenamąją vietą, transporto srautais ir gyvenimo trukmės istoriniais duomenimis. Naudojant matematinį modeliavimą ir kontroliuojant ryšį iškreipiančių veiksnių įtaką (Lash et al., 2021), nustatomas ryšio stiprumas (šansų santykis) tarp aplinkos ekspozicijos dydžio ir sveikatos rodmenų (širdies ir kraujagyslių ligų, hipertenzijos, diabeto). Tokiu būdu bus nustatytas ryšys tarp oro taršos ekspozicijos ultrasmulkiosiomis kietosiomis dalelėmis dydžio ir metabolinio sindromo rizikos veiksnių bei metabolinio sindromo paplitimo Kauno populiacijoje.

Ryšio tarp sveikatos elgsenos ir metabolinio sindromo biologinių žymenų tyrimas. Siekiant nustatyti priežastinį ryšį taro oro taršos, sveikatos elgsenos ir metabolinės sveikatos rodmenų (biologinių žymenų) atsako, planuojamas atlikti jautresnis / pagilintas atsitiktinės kontrolės (*Randomized trial*) tyrimas. Į šį tyrimą

iš reprezentacinės populiacijos dalyvių atsitiktiniu būdu atrenkama apie 20 proc. asmenų (iki 200). Dalyviai informuojami apie pagilintą tyrimą ir, jiems pasirašius Informuoto asmens sutikimą, atsitiktiniu būdu priskiriami į vieną iš trijų sveikos gyvensenos grupių (kontrolinei, fizinio aktyvumo – kasdienis 30 min. vaikščiojimas sparčiu žingsniu miesto parke ar Viduržemio jūros dietos grupę). Visų grupių dalyviams pirmą dieną, pradedant 7 dienų stebėseną, ir po jos 8 parą bus atliekama vienoda sveikatos patikra, ES sertifikuotais prietaisais atliekami matavimai, imami kraujo mėginiai biologiniams medžiagų apykaitos žymenims nustatyti, matuojamas kraujo spaudimas, kūno sudėtis (*Bioelectrical Impedance Analysis* – BIA), juosmens apimtis, kūno masės indeksas. Visi dalyviai 7 paras nešioja apyrankes-jutiklius „Fitbit Alta“, kurie teikia skaitmeninius duomenis apie fizinio aktyvumo ekvivalentą (METS), nueitų žingsnių skaičių, širdies susitraukimų dažnį, miego kokybę. Sveikatos atsakas į sveiką gyvenimo būdą nustatomas palyginus tyrimo rezultatus pradedant 7 dienų stebėseną ir 8 parą. Tiriant hipotetinį modelį ir aprašant tarpusavio ryšius, naudojama daugiaveiksnės logistinės regresijos analizė priežastiniams ryšiams išaiškinti (*Path analysis*).

Metabolinio sindromo diagnostika. Metabolinis sindromas diagnozuojamas remiantis grupe rizikos veiksnių, tokių kaip centrinis nutukimas, lipidų apykaitos sutrikimais, hiperglikemija, kuriems kilti didelės įtakos turi mažas fizinis aktyvumas, stresas, kenksmingi aplinkos veiksniai, vyresnis amžius, genetika ir nepalankūs elgsenos veiksniai (Eckel et al., 2005). Remiantis jungtine tarptautinių mokslo draugijų rekomendacija, skirta metabolinio sindromo diagnostikai, centrinis nutukimas, padidėjęs kraujo spaudimas, gliukozės koncentracijos plazmoje padidėjimas, padidėjusi trigliceridų koncentracija ir maža didelio tankio lipoproteinų (DTL) cholesterolio koncentracija yra svarbiausi metabolinio sindromo diagnostikos kriterijai. Lentelėje aprašyti tarptautinių mokslo draugijų bendru sutarimu priimti metabolinio sindromo diagnostiniai kriterijai (Alberti et al., 2009). Metabolinis sindromas diagnozuojamas esant padidėjusiai juosmens apimčiai kartu su dviem kitais 1 lentelėje išvardytais veiksniais.

1 lentelė. Klinikiniai metabolinio sindromo diagnostikos kriterijai

Table 1. Criteria for Clinical Diagnosis of the Metabolic Syndrome

Matavimai <i>Measure</i>	Kategorijų ribos <i>Categorical Cut points</i>
Padidėjusi juosmens apimtis ir du iš kitų veiksnių <i>Elevated waist circumference and any two of the following factors</i>	Vyrams / <i>for men</i> ≥ 94 cm Moterims / <i>for women</i> ≥ 80 cm
Padidėję trigliceridai (arba vartojami vaistai jiems mažinti) <i>Elevated triglycerides (drug treatment for elevated triglycerides is an alternate indicator)</i>	≥150 mg/dL (1,7 mmol/L)
Sumažėję didelio tankio lipoproteidai (cholesterolis) arba vartojami vaistai jiems mažinti <i>Reduced HDL-C (or drug treatment for reduce HDL-C cholesterol)</i>	Vyrams / <i>in males</i> < 40 mg/dL (1,0 mmol/L) Moterims / <i>in females</i> < 50 mg/dL (1,3 mmol/L)
Padidėjęs kraujo spaudimas arba vartojami antihipertenziniai vaistai <i>Elevated blood pressure (or antihypertensive drug treatment)</i>	Sistolinis / <i>systolic</i> ≥ 130 ir / arba <i>end / or</i> Diastolinis / <i>diastolic</i> ≥ 85 mm Hg
Padidėjusi nevalgius gliukozė arba gydymas vaistais <i>Elevated fasting glucose (drug treatment of elevated glucose is an alternate indicator)</i>	≥ 100 mg/dL

Laukiami rezultatai

Paskelbti tyrimai byloja, kad reguliarius 30 min. vaikščiojimas parke ir sveika mityba gali pagerinti sveikatą mažinant stresines reakcijas ir per smegenų neurotropinio faktoriaus reguliaciją, pagerinti širdies funkciją, sumažinti kraujo spaudimą ir lėtinį stresą (Grazuleviciene et al., 2015; Chin et al., 2016). Egzistuoja ryšys tarp centrinio nutukimo ir kardiometabolinius sutrikimus koduojančių biologinių žymenų (Giontella et al., 2021; Munzel et al., 2021). Dėl tos priežasties tikėtina, kad tyrime naudojant aplinkos epidemiologinius metodus ir matematinius ekspozicija-atsakas modelius, bus gauti nauji moksliniai duomenys apie ultrakietųjų dalelių ekspozicijos ryšį su metabolinių sutrikimų paplitimu ir biologinių žymenų pokyčiais, susijusiais su sveikos gyvensenos poveikiu. Tyrimas suteiks duomenų kuriant prevencines programas ir priemones metabolinių sutrikimų rizikai mažinti.

Išvados

1. Iki šiol nėra aišku, kokia ultrasmulkiųjų kietųjų dalelių ekspozicija reikšmingai didina metabolinio sindromo riziką.
2. Didesnis fizinis aktyvumas parke ir sveika mityba gali sumažinti metabolinio sindromo biologinių žymenų raišką ir metabolinio sindromo riziką.
3. Tyrimo rezultatai apie ultrasmulkiųjų kietųjų dalelių ekspozicijos ryšį su metabolinių sutrikimų rizika pateiks įrodymų pasiūlymams, skirtiems metabolinių sutrikimų rizikai mažinti.

Literatūra

1. Alberti, K. G., Eckel, R. H., Grundy, S. M., Zimmet, P. Z., Cleeman, J. I., Donato, K. A. (2009). Harmonizing the metabolic syndrome: A joint interim statement of the International Diabetes Federation Task Force on Epidemiology and Prevention; National Heart, Lung, and Blood Institute; American Heart Association; World Heart Federation; International Atherosclerosis Society; and International Association for the Study of Obesity. *Circulation*, 120(16), 1640–1645. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.109.192644>
2. Bassi, N., Karagodin, I., Wang, S., Vassallo, P., Priyanath, A., Massaro, E., & Stone, N. J. (2014). Lifestyle modification for metabolic syndrome: A systematic review. *The American Journal of Medicine*, 127(12), 1242.e1–1242.e10. <https://doi.org/10.1016/j.amjmed.2014.07.020>
3. Chin, S. H., Kahathuduwa, C. N., & Binks, M. (2016). Physical activity and obesity: What we know and what we need to know. *Obesity Reviews*, 17(12), 1226–1244. <https://doi.org/10.1111/obr.12460>
4. Cho, D. Y., & Koo, J. W. (2018). Differences in metabolic syndrome prevalence by employment type and sex. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(12), 1798. <https://doi.org/10.3390/ijerph15121798>
5. Christensen, J. S., Raaschou-Nielsen, O., Tjønneland, A., Nordsborg, R. B., Jensen, S. S., Sørensen, T. I. (2015). Long-term exposure to residential traffic noise and changes in body weight and waist circumference: A cohort study. *Environmental Research*, 143(Pt A), 154–161. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.08.029>
6. de Keijzer, C., Basagana, X., Tonne, C., Valentin, A., Alonso, J., Anto, J. M. (2019). Long-term exposure to greenspace and metabolic syndrome: A Whitehall II study. *Environmental Pollution*, 255(Pt 2), 113231. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113231>
7. Dengel, D. R., Hearst, M. O., Harmon, J. H., Forsyth, A., & Lytle, L. A. (2009). Does the built environment relate to the metabolic syndrome in adolescents? *Health & Place*, 15(4), 946–951. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2008.12.004>
8. Eckel, R. H., Grundy, S. M., & Zimmet, P. Z. (2005). The metabolic syndrome. *The Lancet*, 365, 1415–1428. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(05\)66378-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(05)66378-7)
9. Eze, I. C., Hemkens, L. G., Bucher, H. C., Hoffmann, B., Schindler, C., Kunzli, N. (2015). Association between ambient air pollution and diabetes mellitus in Europe and North America: A systematic review and meta-analysis. *Environmental Health Perspectives*, 123(5), 381–389. <https://doi.org/10.1289/ehp.1408987>
10. Giontella, A., Lotta LA., John D. Overton JD., Baras A., Minuz P. (2021). Causal effect of adiposity measures on blood pressure traits in 2 urban Swedish cohorts: A Mendelian randomization study. *Journal of the American Heart Association*, 10(e020405). <https://doi.org/10.1161/JAHA.120.020405>
11. Grazuleviciene, R., Andrusaityte, S., Dédélé, A., Grazulevicius T., Valius L., Rapalavicius A., Kapustinskiene V., Bendokiene I. (2021). Urban environment and health: A cross-sectional study of the influence of environmental quality and physical activity on blood pressure. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(11), 6126. <https://doi.org/10.3390/ijerph18116126>
12. Grazuleviciene, R., Vencloviene J., Kubilius R., Grizas V., Dedel A., Grazulevicius T., Ceponiene I. (2015). The effect of park and urban environments on coronary artery disease patients: A randomized trial. *BioMed Research International*, 2015, Article ID 403012. <https://doi.org/10.1155/2015/403012>
13. Gražulevičienė, R. (2005). *Aplikos epidemiologija ir rizikos sveikatai įvertinimas*. Kaunas: VDU leidykla.
14. Grundy, S. M., Cleeman, J. I., Daniels, S. R., Donato, K. A., Eckel, R. H., Franklin, B. A., Gordon, D. J. (2005). Diagnosis and management of the metabolic syndrome: An American Heart Association/National Heart, Lung, and Blood Institute scientific statement. *Circulation*, 112, 2735–2752. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.105.169404>
15. Haverinen, E., Paalanen, L., Palmieri, L. et al. Comparison of metabolic syndrome prevalence using four different definitions – a population-based study in Finland. *Arch Public Health*, 79, 231 (2021). <https://doi.org/10.1186/s13690-021-00749-3>

16. Huang, J. H., Li, R. H., Huang, S. L., Sia, H. K., Chen, Y. L., Tang, F. C. (2015). Lifestyle factors and metabolic syndrome among workers: The role of interactions between smoking and alcohol to nutrition and exercise. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12, 15967–15978. <https://doi.org/10.3390/ijerph121215967>
17. Yang, B. Y., Liu, K. K., Markevych, I., Knibbs, L. D., Bloom, M. S., Dharmage, S. C. (2020). Association between residential greenness and metabolic syndrome in Chinese adults. *Environmental International*, 135, 105388. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105388>
18. Yang, B. Y., Markevych, I., Heinrich, J., Bloom, M. S., Qian, Z., Geiger, S. D. (2019). Residential greenness and blood lipids in urban-dwelling adults: The 33 Communities Chinese Health Study. *Environmental Pollution*, 250, 14–22. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.03.038>
19. Yeager, R., Riggs, D. W., DeJarnett, N., Tollerud, D. J., Wilson, J., Conklin, D. J. (2018). Association between residential greenness and cardiovascular disease risk. *Journal of the American Heart Association*, 7(24), e009117. <https://doi.org/10.1161/JAHA.118.009117>
20. International Diabetes Federation (IDF). (2005). The IDF consensus worldwide definition of the metabolic syndrome. Brussels: IDF. Retrieved from <https://sites.pitt.edu/~super1/Metabolic/IDF1.pdf>
21. Kassi, E., Pervanidou, P., Kaltsas, G., & Chrousos, G. (2011). Metabolic syndrome: Definitions and controversies. *BMC Medicine*, 9, 48. <https://doi.org/10.1186/1741-7015-9-48>
22. Kim, M. H., Lee, S. H., Shin, K. S., Son, D. Y., Kim, S. H., Joe, H., Yoo, B. W., Hong, S. H. (2020). The change of metabolic syndrome prevalence and its risk factors in Korean adults for a decade: Korea National Health and Nutrition Examination Survey for 2008–2017. *Korean Journal of Family Practice*, 10, 44–52. <https://doi.org/10.21215/kjfp.2020.10.1.44>
23. Kuo, M. (2015). How might contact with nature promote human health? Promising mechanisms and a possible central pathway. *Frontiers in Psychology*, 6, 1093. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01093>
24. Lash, T. L., VanderWeele, T. J., Haneuse, S., & Rothman, K. J. (2021). *Modern Epidemiology* (4th ed.). Wolters Kluwer.
25. Liang, X., Or, B., Tsoi, M. F., Cheung, C. L., Cheung, B. M. (2021). Prevalence of metabolic syndrome in the United States National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES) 2011–2018. *European Heart Journal*, 42, 2420. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehaa106>
26. Markevych, I., Schoierer, J., Hartig, T., Chudnovsky, A., Hystad, P., Dzhambov, A. M. (2017). Exploring pathways linking greenspace to health: Theoretical and methodological guidance. *Environmental Research*, 158, 301–317. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.06.028>
27. Matthiessen, C., Lucht, S., Hennig, F., Ohlwein, S., Jakobs, H., Jockel, K. H. (2018). Long-term exposure to airborne particulate matter and NO₂ and prevalent and incident metabolic syndrome – Results from the Heinz Nixdorf Recall Study. *Environmental International*, 116, 74–82. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.04.004>
28. Münzel, T., Hahad, O., & Daiber, A. (2021). Running in polluted air is a two-edged sword – Physical exercise in low air pollution areas is cardioprotective but detrimental for the heart in high air pollution areas. *European Heart Journal*, 42(25), 2498–2500. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehab227>
29. Münzel, T., Sørensen, M., Hahad, O., Nieuwenhuijsen, M., & Daiber, A. (2023). The contribution of the exposome to the burden of cardiovascular disease. *Nature Reviews Cardiology*, 20(10), 651–669. <https://doi.org/10.1038/s41569-023-00873-3>
30. Noubiap, J. J., Nansseu, J. R., Lontchi-Yimagou, E., Nkeck, J. R., Nyaga, U. F., Ngouo, A. T., Tounouga, D. N. (2022). Geographic distribution of metabolic syndrome and its components in the general adult population: A meta-analysis of global data from 28 million individuals. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 188, 109924. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2022.109924>
31. Park, J. M., Choi, J. E., Lee, H. S., Jeon, S., Lee, J. W., & Hong, K. W. (2022). Effect of walking steps measured by a wearable activity tracker on improving components of metabolic syndrome: A prospective study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19, 5433. <https://doi.org/10.3390/ijerph19105433>
32. Schraufnagel, D. E. (2020). The health effects of ultrafine particles. *Experimental & Molecular Medicine*, 52, 311–317. <https://doi.org/10.1038/s12276-020-0403-3>
33. Sequi-Dominguez, I., Alvarez-Bueno, C., Martinez-Vizcaino, V., Fernandez-Rodriguez, R., del Saz Lara, A., & Cavero-Redondo, I. (2020). Effectiveness of mobile health interventions promoting physical activity and lifestyle interventions to reduce cardiovascular risk among individuals with metabolic syndrome: Systematic review and meta-analysis. *Journal of Medical Internet Research*, 22, e17790. <https://doi.org/10.2196/17790>

Aušra Kapustinskaitė

Research of the Impact of Urban Environment on Metabolic Syndrome

Metabolic syndrome is a cluster of health disorders that occur because of metabolism disorders, increasing cardiovascular disease, type 2 diabetes, premature death and impairing the quality of life. During the last decades, in different countries significantly increased prevalence of metabolic syndrome. Evolution of the metabolic syndrome is associated with environmental factors, such as air pollution, noise, decrease in urban green spaces and health behaviour, however, the results of complex studies are ambiguously. It is not known what ultra fine particles exposure level may have significant effect on the evolution of metabolic syndrome and the metabolic syndrome biomarkers resolution. Early diagnostic and management of the metabolic syndrome may significantly decrease cardiovascular disease risk and fatal outcomes. The aim of the current study is to assess the impact of ultra fine particles exposure and health behaviour on metabolic syndrome risk among 45-64-year-age Kaunas citizens. Based on the study results will be presented recommendations for politicians, public health specialists and general population for improving environmental health and metabolic disorders risk management.

Keywords: Environmental factors, air pollution, health behaviours, metabolic syndrome, risk management.

Gauta 2025 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2025 m. balandžio mėn.

Aušra KAPUSTINSKAITĖ. Lietuvos sveikatos mokslų universiteto ligoninės Kauno klinikų Šeimos medicinos klinikos gydytoja rezidentė. Adresas: Eivenių g. 2, LT-50161 Kaunas, tel. 063 83 6085, el. paštas: Kapustinskaite@gmail.com

Aušra KAPUSTINSKAITĖ. Department of Family Medicine, Lithuanian University of Health Sciences, Kaunas, Lithuania physician resident. Address: Eivenių str. 2, LT-50161 Kaunas. Phone: 063 83 6085, e-mail: Kapustinskaite@gmail.com

ŠIŲ DIENŲ POREIKIAMS PRITAIKYTŲ SODYBŲ LIETUVOS KAIMO VIETOVĖSE INTERJERŲ ESTETIKA, FUNKCIONALUMAS IR POVEIKIS GYVENIMO GEROVEI

Indraja Raudonikytė

Kauno technologijos universitetas

Per pastarąjį šimtmetį lietuvių tauta patyrė daug išbandymų, ir tik pastarasis ketvirtis amžiaus buvo ramus ir leidžiantis įleisti šaknis kaimo sodybose vienai ar net kelioms kartoms. Deja, kaimų nykimas iš žemėlapių nesiliauja. Iš tėvų namų gamtoje išvykę į vizualiai ir biologiškai sterilius miestus, mes kuriame naujus namus, bandydami įsitvirtinti dirbtinėje antropogeninėje aplinkoje. Tyrimai rodo, kad žmonės geriausiai jaučiasi savo tėvų, senelių namuose ir ten, kur juos supa geri prisiminimai ir gamta. Pastebima, kad vaikai, augę kaimo aplinkoje, daug rečiau serga alergijomis ar kitomis autoimuninėmis ligomis. Tad aplinka, kurią kūrė mūsų tėvai ir seneliai sau ir ateities kartoms, išlieka vertinga ir aktuali, o istoriniai interjero sprendimai*, gali stiprinti ir turėti teigiamos įtakos mūsų psichologinei ir emocinei gerovei. Tyrimo tikslas – išanalizuoti šių dienų poreikiams pritaikytų sodybų, esančių Lietuvos kaimo vietovėse, interjerų savybes ir kūrimo galimybes estetiniu, funkcionalumo ir ekologinės sveikatos požiūriais. Tyrimas atskleidžia, kad siekiant išsaugoti tai, kas vertinga mūsų istorijai ir mums patiems, verta pasisemti žinių ir gerosios patirties iš tvarumo estetikos praktikos, kartu išsaugant vietos identitetą ir kultūrinį tęstinumą, o autentiška, medinė mūsų paveldo architektūra yra sveikiausia ir geriausia mūsų prigimčiai ir psichofizinei gerovei.

Raktiniai žodžiai: tvarumas, tvarumo estetika, emocinė gerovė, sodybų interjeras.

Įvadas

Tyrimo aktualumas. Pastaraisiais dešimtmečiais vis dažniau atsižvelgiama į žmogaus gerovę ir jo psichofizinę sveikatą. Natūraliai gali kilti dvejonų, kodėl tai staiga tapo aktualu. Atrodytų, kad šios sąvokos ir faktoriai anksčiau neturėjo didelės įtakos ir reikšmės miestų ir kaimų gyventojams arba į šiuos faktorius niekas nekreipė dėmesio. Šiuolaikinė skubanti visuomenė turi gerokai daugiau leisti laiko įsisavindama naujas darbo ir kasdienio gyvenimo sritis, mokytis valdyti naujus prietaisus, skaityti informaciją, domėtis politika ir kitais aplinkos reiškiniais. Visa kasdienė žmogaus veikla natūraliai reikalauja daugiau laiko sąnaudų, o kur dar mūsų tiesioginis darbas ir pareigos. Pastebima, kad žmogaus produktyvumas, jo sukuriamas tiek ekonominis, tiek socialinis gerbūvis labai glaudžiai susijęs su gyvenimo ir poilsio kokybe. Kaip ir bet kokia kita gyva būtybė, žmogus negali pasitenkinti vien maistu ir miegu. Itin svarbi maisto ir miego kokybė, ką mokslas jau byloja ne vieną šimtą metų. Tačiau apie mus kasdien supančios aplinkos kokybės įtaką mūsų poilsiui, laikui, kurį leidžiame namuose, imta kalbėti tik suvokus, kaip stipriai tai veikia mūsų produktyvumą šiuolaikinės visuomenės kontekste. Ir jei žmogus gali išgyventi, ištverti savo kasdienę būtį, tai jo sukuriama ekonominė pridėtinė vertė atspindės jo fizinę, emocinę ir dvasinę būklę. Kuo daugiau visuomenė reikalauja iš kiekvieno individo, tuo reikšmingesnis kiekvienas faktorius, lemiantis individo visapusišką produktyvumą, nesvarbu, ar jo ekonominė veikla susijusi su fiziniu, ar su protiniu darbu.

Siekiant išaiškinti žalingus faktorius kiekvieno individo produktyvumui, imtasi tirti, analizuoti ir gilintis į mus supančią aplinką net ląstelių, sporų, mikroorganizmų lygmenyje. XX amžiaus pradžioje, šioms technologijoms padarius didelę pažangą dėl industrinės revoliucijos, buvo pastebėtos žalingos bakterijos, patogeniniai mikroorganizmai ir išrasti antibiotikai, žmonija lengviau atsikvėpė ir tikėjosi išsigelbėti nuo negandų, pagerinti sveikatos būklę ir didinti žmonijos ilgaamžiškumą ir, žinoma, darbingumą. Taip beveik šimtmetį viskas buvo dezinfekuojama, švarinama ir žmogus traukiamas iš jį supančios natūralios aplinkos. Ne tik mikro-, makro- ar dalelių apsupties, kurios tūkstančius metų supo jį, natūralioje jo aplinkoje, bet ir iš erdvių, kurios jam buvo svarbios, artimos ir saugios.

Dar klajokliai mūsų protėviai kažkada apsisotojo savo ūkiuose ir gamtos prieglobstyje, kurį šimtmečius tikrino karta iš kartos ir apsisprendė čia likti ir įsikurti. Tačiau geopolitinės permainos, ekonominės reformos, o kartais ir gamtiniai pokyčiai versdavo mūsų tėvus ir protėvius pakeisti savo šeimos namų ir ūkio vietą. Pastarojo šimtmečio tendencijos mūsų tautai skyrė itin daug išbandymų, ir tik pastarasis ketvirtis amžiaus buvo ramus ir suteikiantis galimybes įleisti šaknis vienai ar net kelioms kartoms šeimos namuose ar ūkyje. Ir kai laikantis tradicijų ar paprasto ūkiškumo, sodybas jau galėtų paveldėti jose ramiau kurtis vaikai ir vaikaičiai – kaimų nykimo iš žemėlapių metas – nesiliauja. Išnyksta vietovardžiai, bendruomenės, tradicijos. Tačiau nūdienos aktualijos atspindi, kokios psichofizinės problemos kamuoja mūsų visuomenę, ir tik vienas kitas tiriamasis straipsnis prabyta apie šių problemų kilmę. Atitrūkę nuo savo natūralios organinės ir estetinės aplinkos, išvykę į vizualiai ir biologiškai sterilius miestus, o gal priešingai – į chemiškai užterštus, mes kuriame savo naujus namus, tarsi paukščiai lizdą iš civilizacijos primestų atliekų, dirbtinai bandome įsitvirtinti savo

prigimčiai svetimame betono luite. Naujausi tyrimai byloja, kad kiekvienas mūsų geriausiai jaučiamės savo tėvų namuose (Šeputytė-Vaitulevičienė ir Skruibienė, 2019), senelių medinuke (Luobikienė ir Butkevičienė, 2010) ar ten, kur mus supa geri prisiminimai ir gamta. Ten, kur mūsų seneliai ir proseneliai kūrė namus ir gerbūvį. Kur medinės sienos ir paprastos, jaukios erdvės, kupinos šeimos istorijos ir jaukių prisiminimų mus stiprina ir suteikia jėgų. Ir teiginiai, kad namai – gydo, tampa nebe tautosakos teiginiu, bet mokslu pagrįstu faktu, o prieš porą dešimtmečių atlikti tyrimai patvirtino, kad vaikai, augę kaime, ūkyje, daug rečiau serga alergijomis ir net astma (Riedler et al., 2000). Aplinka, kurią su pačiomis geriausiomis intencijomis kūrė mūsų šeima mums, mūsų ateičiai, vis dar pulsuoja ta energija. Ir net namų interjero sprendimai, dizaino elementai, kurie supo mūsų senelius ir tėvus, gali stiprinti mus ir turėti teigiamos įtakos mūsų vidinei gerovei. Ir net jei lankomės ne savo giminės, ne šeimos kurtuose namuose – jaučiame gerą jų „aurą“, nuoširdumą ir meilę, skirtą namų kūrimui, net ir besisvečiuodami galime pasijusti ramūs, atsipalaidavę, o po viešnagės – ir pailsėję. Senujų sodybų ir kaimų pritaikymas šiandienio žmogaus gyvenimo poreikiams ir jų įveiklinimas nėra utopija. Ir ne tik kaimo turizmo, rekreacijos tikslais, bet ir kasdieniam gyvenimui. Tik stengiantis išsaugoti tai, kas vertinga mūsų istorijai ir mums patiems, reikia šiek tiek praplėsti akiratį ir pasisemti žinių ir gerosios patirties. Sodybų atnaujinimo bumas, vykęs pandemijos metu, buvo padiktotas mados, tačiau ne visos mados yra blogos. Sekdami architektų, dizainerių, paveldo istorikų gairėmis, kone netyčia pastebime, kad būtent ši, autentiška, medinė, mūsų paveldo architektūra yra sveikiausia ir geriausia mūsų prigimčiai ir psichofizinei gerovei. Ir teiginiai apie tai, kad nugriovus senąsias sodybas ir medinius namus yra daug paprasčiau, lengviau ir pigiau pasistatyti šiuolaikinį naują namą – nebūtinai visada yra teisingi.

Tyrimo tikslas. Atsižvelgiant į šias aktualijas, buvo suformuluotas tyrimo tikslas – išanalizuoti šių dienų poreikiams pritaikytų sodybų, esančių Lietuvos kaimo vietovėse, interjerų savybes ir kūrimo galimybes estetiniu, funkcionalumo ir gyvenimo gerovės gerinimo požiūriais.

Tyrimų kontekstas ir metodika

Tyrimo kontekstas. Nedideliuose miesteliuose vis dar sukasi gyvenimas, mokykla, prekybos centras, poliklinika ir bažnyčia, šie centrai vis dar pritraukia naujus gyventojus ir išlaiko senbuvius. Žinoma, norint būti patraukliam, miesteliui būtinas tinklinis prekybos centras su prieinamomis kainomis. Tai sąlygoja ir prekybos centrų plėtrą į periferiją, bet dažnai ir naikina unikalios miestelių planus, XX a. susiformavusius, bet dar nesaugomus senamiesčius, chaotiška paminklosaugos sistema nesaugo medinės architektūros. Bendruomenė patenkinta į miestelį atkeliaujančiais pigiais pusgaminiais ir tenkinasi lengvesnio „greitojo gyvenimo“ privalumais. Atokesni kaimai, vienkiemiai, kaimo sodybos tuo metu nyksta ir merdėja.

Investicijos iš Skandinavijos šalių fondų Lietuvą pasiekia ir medinė architektūra gaivinama, tik ne taip sparčiai, kaip ji nyksta. Projektai su finansavimu ir sektiniais pavyzdžiais sunkiai pasiekia nuo didmiesčių atitolusias gyvenvietes. Skubama gelbėti didmiesčių medinių namų mikrorajonus, išlikusias autentiškas oazes, tačiau ištisos gyvenvietės ar kaimai neretai nušluojami nuo žemės paviršiaus. Lietuvoje kasmet iš žemėlapių išnyksta ne vienas ir ne du kaimai.

Atsiradę pavieniai entuziastai grįžta į kaimą, ar paveldėję tėvų, senelių namus, ar įsigiję sodybas vaizdingoje vietoje. Vieni čia įkuria šeimos vasarnamį, kiti apsigyvena, tačiau žiemą vis tiek grįžta į miestą. Tačiau atsiranda ir įsikuriančių ilgam, vieni – ūkininkauja, kiti gi mėgaujasi gamtos ir kaimo teikiamais privalumais, apsiriboja nedideliu daržu, sodu, tačiau kas dieną ar kelis kartus per savaitę ar mėnesį vyksta į darbą mieste.

Kaimo vietovėse išlikusius senus pastatus, juos tik suremontavus, sutvarkius, šiuolaikiniai žmonės vargiai ar iš karto pritaikys dabartiniais savo šeimos ar darbo poreikiams. Pastatytus praeitame ar net užpraeitame šimtmečiuose statinius tenka adaptuoti šiuolaikiniams poreikiams ir gyvenimo būdai. Taip mažų miestelių ir kaimų medinės trobos ir svirnai tampa šiuolaikiniais gyvenamaisiais namais su įprastais buitinais patogumais, biurais, restoranais ar gamybinėmis patalpomis. Tvartai, kluonai, fermos, administracinės ar ūkinės paskirties patalpos – biurais, bendruomenės darbo erdvėmis, treniruoklių salėmis, bendruomenės namais, muziejais, parodų erdvėmis ar remonto dirbtuvėmis.

Pastatų pritaikymas naujiems poreikiams – hibridizacija yra neišvengiamas ir labai sėkmingai vykdomas didesniuose ar mažesniuose miestuose. Taip seni kino teatrai tampa galerijomis, kalėjimai – koncertų ar kultūros renginių erdvėmis, o gamyklų dirbtuvės ir sandėliai – loftais – studijomis, butais ar biurais. Tačiau kaimo vietovėse šie procesai daug lėtesni. Kartais tai vyksta savaime, nuolat, palaipsniui, ir niekas net nepastebi, ir to nevadina hibridizacija. Taip XIX ar XX a. pradžios namai ar kitos ūkinės paskirties pastatai tampa vis šiuolaikiškesni ir modernesni, įgyja šiuolaikiniam būstui būdingų savybių.

Tyrimo metodika. Tyrimo metodika apima literatūros šaltinių analizę, socialiniuose tinkluose veikiančių sodybų atgaivinimu besidominčių grupių dalyvių pateiktą vaizdinę, techninę ir kitokios medžiagos analizę, gyvų interviu metu surinktą medžiagą, autorės stebėjimus ir refleksijas šių dienų poreikiams pritaikytų sodybų Lietuvos kaimo vietovėse interjerų estetikos, funkcionalumo ir gyvenimo gerovės klausimais.

Tyrimų rezultatai

Kaimo sodybų pritaikymas poilsui ir pramogoms. Jau ne vienerius metus atliekami tyrimai, analizuojantys ekonominę naudą, kurią atneša kaimo vietovėms būdingas nekilnojamas kultūros paveldas, skatindamas kaimo turizmo plėtrą, sukurdamas pridėtinę vertę ir vietos gyventojams, ir keliautojams (Gražuliavičiūtė-Vileniškė ir Karvelytė-Balbierienė, 2007). Didžioji dalis tyrimų atlikta iš paveldosaugos, architektūros ar ekonominės pusės. Tačiau remiantis pasaulinėmis praktikomis, mūsų šalyje dar labai nedaug tyrinėjamas kaimo vietovių autentiškumo, nekeitamumo, išsaugojimo poveikis piliečių psichofizinei sveikatai ir gerovei. Galime stebėti tyrimus ir statistinius duomenis apie kaimo turizmo objektų suteikiamas paslaugas (Vaišnorienė, 2017).

Šiuose tyrimuose atsiranda viena kita eilutė apie poilsiautojų, keliautojų emocinį pasitenkinimą kaimo turizmo sodybų švara, tvarka, higiena, paslaugų kokybe (Ramančionienė, 2009). Tačiau duomenų apie estetiką, autentiškumą, paveldą ir holistinę kokybę trūksta. Tikriausiai tik kaimo turizmo kontekste ir būtų galima priartėti prie tokių duomenų Lietuvoje, kurie bent iš tolo leistų sužinoti, kokį emocinį poveikį turi interjero estetikos ir estetikos tvarumo sprendimai, dizaino elementai, ir koks jų poveikis poilsio ar gyvenimo kokybei. Kaip pavyzdys atsiradusi sąvoka „darbostogos“ (angl. *workation*), kuomet atvykę į kaimo vietovę lankytojai ne tik ilsisi, dirba, bet ir tiesiog joje gyvena. Kaimo turizmo sodybų lankytojai turi tam tikrų lūkesčių (Stankevičius, 2013), kurie atsispindi tyrimuose, vienas populiariausių – vandens telkinys, vėliau seka pobūvių salės, pirtis, vaikų žaidimų aikštelės ir apie sąrašo vidurį rasime „apgyvendinimo paslaugos kokybę“. Tačiau ši statistika reikšmingai nesiskiria ir vėliau surinktoje informacijoje kituose tyrimuose, nes didžioji dalis kaimą tapatina su vieta poilsui, pobūviams ar šventėms.

Kaimo sodybų pritaikymas gyvenimui ir interjero reikšmė. Analizuojant duomenis iš socialiniuose tinkluose veikiančių bendraminčių grupių dalyvių apie kaimą kaip pasirinkimą gyventi, ne tik ilsėtis, galima susikurti ir kitokį vaizdinį. Grupėse „Mano sodyba“, „Senųjų sodybų grožis“, „Močiucių raštai“ bendraujant su diskusijų dalyviais, kurie pasirinko ir apsisprendė savo kasdienį gyvenimą sieti su kaimo vietovėmis, ganėtina dažnai galime pastebėti išskirtinį dėmesį, skiriamą gyvenamajam namui, jo autentiškumui, natūraliam ugniakurui, interjero dekoru elementams.

Nauji senų sodybų šeimininkai neretai renka dekoru elementus, interjero sprendimus, kurie jiems primena jų vaikystės namų interjerą. Antikvariatuose, skelbimuose ar atvežamų sendaikčių turguose ieško rakandų, virtuvės puošybos ar kasdieninės buities detalių, prietaisų, įrankių keliančių prisiminimus. Kaip žinia, gerus prisiminimus, skatinančius teigiamas emocijas ir taip gerinančius žmogaus dvasinę sveikatą (Šeputytė-Vaitulevičienė ir Skruibienė, 2019). Šie apsisprendimai lemia ir baldų stiliaus pasirinkimą kaimo namuose – prisiminimai derinami su tautodailės motyvais.

Senos statybos sodybose išlikusiose mediniuose ar plytų mūro namuose dažnas naujakuris ieško sprendimų, kaip suremontuoti, restauruoti koklinę (XX a. statyba) ar rečiau – drėbto molio (XIX a. statyba) krosnį. Nepavykus išsaugoti autentiškų – mūrija naujas ar įsirengia ketaus krosnelę, kuri bent vizualiai atstotų senelės namuose buvusios krosnies ar tėvų namuose buvusio židinio vaizdinį (Stigsdotter, 2017).

Ne paskutinės svarbos elementas, kuriantis jaukius kaimo namus, – tekstilė. Net ir kuriant kaimo turizmo sodybų interjerų dizainą, profesionaliai ar mėgėjiškai, stengiamasi naudoti tautodailės kūrinius – rankšluosčius, lovatieses, staltieses, užuolaidas, kartais ir unikalų, rankdarbiais dekoruotą (siuvinėtą, mereškuotą, su vąšeliu nertais intarpais) dekoratyvinę patalynę ar kitus namų tekstilės objektus. Nors ir šiandien tekstilė kaip namų dekoru elementas dažnai sumenkinama dėl nepraktiškumo, iš psichologinės ir patyrimų dizaino šalies tai itin svarbus ir reikalingas elementas, ne tik atliekantis tiesiogines funkcijas, bet ir keičiantis erdvių akustiką. Akustika turi didelę svarbą ne tik gyventojų, bet netgi iščiose esančio kūdikio, būsimo žmogaus emocinei sveikatai (Jefimova, 2017).

Visi šie dizaino, dekoru elementai, kurie sukuria teigiamas emocijas, dar kitaip atsispindi išeivijos interjeruose. Lankydami tiek Europoje reziduojančių, tiek ir kitoje Atlanto pusėje lietuvių namuose dažnai aptinkame „lietuvišką kampelį“, o kartais ir visus namus, įrengtus su tomis pačiomis emocijomis išgyventomis savo ar netgi savo tėvų Tėvynėje ar Tėviškėje (Daukšas, 2021). Žmonės, atitrūkę nuo savo šaknų fiziškai, dažnai drąsiai įvardija, kad tokie dažnai vadinami „kaimiški“ sprendimai interjere jiems svarbūs ne dizaino, istorine, estetinė ar patriotine prasme, o būtent sukeliamomis emocijomis. Pasirinkti sprendimai ar detalės veikia gydančiai, stiprina iš vidaus, panašiai kaip kitose kultūrose artimųjų nuotraukų ekspozicija. Ne paskutinės svarbos namuose ir jau paminėtos nuotraukos, paveikslai. Portretai interjere būdingi ne tik kaimo, bet apskritai namų interjerams. Istorinės portretų kūrimo ir naudojimo interjere ištakos siekia net 9000 metų prieš Kristų (Brilliant, 1991).

Atliekant teorinius tyrimus ir analizuojant aktualias publikacijas darnumo estetikos, interjero dizaino ir jo santykio su psichofizine gerove tema aplinkos kaitos ir hibridizacijos kontekste, galima daryti prielaidą, kad aplinkai ir žmogui itin vertingas autentiškas, organiškasis, sukurtas iš natūralių vietos medžiagų interjeras, turintis istorinį tęstinumą ir esantis kaimo vietovėje. Tai byloja ne tik architektų, darbai, bet ir psichologų,

psichiatrų straipsniai. Ir nors vyraujančios interjero tendencijos dažnai diktuoja skandinavišką minimalizmą, „gyva aplinka“ su savo istorija menančiais artefaktais (Day, 2004) dažnam individui sukuria saugų emocinį lauką ir ne tik prievolę valyti dulkes nuo jų supančių daiktų.

Išvados

1. Vertinant kaimo sodybų pritaikymo šiuolaikiniams poreikiams reikšinių pragmatiškai, remiantis ir Lietuvos, ir užsienio autorių išvadomis, istorinių, paveldo namų atkūrimas turi teigiamą įtaką vietovės ekonomikai. Taip ne tik į regioną pritraukdamas turizmą, fondų, remiančių istorinio paveldo išsaugojimą, investicijas, bet ir sukuriant naujas erdves tiek gyvenimui, tiek ir kultūrinei, ekonominei veiklai.
2. Išanalizavus literatūros šaltiniuose pateiktus statistinius ir kitus duomenis, socialiniuose tinkluose veikiančių sodybų atgaivinimu besidominčių grupių dalyvių pateiktą vaizdinę ir kitą medžiagą, autorės stebėjimus ir refleksijas, galima daryti prielaidas, kad pasirinkimą gyventi kaime, sename, bet suremontuotame, atitinkančiame šiuolaikinius poreikius name gali nulemti erdvių estetiškas išbaigtumas, sukeliantis jaukumo pojūtį, artimesnis santykis su gamta. Gyvenant kaimo vietovėje jaučiama mažiau vizualinio ir garsinio, „techninio“ triukšmo, dėl didesnių, erdvesnių sklypų jaučiama daugiau privatumo. Pasirinkimą lemia ir švaresnis oras, galimybė auginti savo daržoves ar tiesiog mėgautis lėtesniu gyvenimo tempu. Tai gali suteikti daugiau ramybės ir geresnę gyvenimo kokybę, ypač jei nėra poreikio itin dažnai lankytis mieste.
3. Atsižvelgiant į šiuolaikiniams poreikiams pritaikytų kaimo sodybų gyvenimo kokybės gerinimo potencialą, traktuojant jas ne tik kaip urbanistinį vienetą, bet ir kaip erdvę, kuri padeda ilsėtis, atgauti jėgas, galima daryti prielaidą, kad šių sodybų teikiama pridėtinė vertė galėtų būti skaičiuojama ne tik įvertinant harmoningo, pailsėjusio individo sukuriamą gerbūvį, bet ir sveikatos apsaugos sistemos lėšų taupymą ne tik psichologų, psichiatrų paslaugoms, bet priklausomybių ir kitų, kraštutinių sutrikimų gydymui ir prevencijai.

Literatūra

1. Čiutaitė, D. (2010). *Kaimo vietovių ekonominio konkurencingumo stiprinimas plėtojant vietos gyventojų verslumą*. Daktaro disertacija. Aleksandro Stulginskio universitetas.
2. Brilliant, R. (1991). *Portraiture*. Reaktion Books.
3. Daukšas, D. (2021). Namai „čia“ ir „ten“: namų konstravimo sampratos (lietuviškoje) migracijoje. *Lituanistica*, 67(3), 230–243.
4. Day Ch. (2004). *Places of the Soul. Architecture and Environmental Design as a Healing Art*. Architectural Press, Princeton, USA.
5. Gražuliavičiūtė-Vileniškė, I., Karvelytė-Balbierienė, V. (2007). Nekilnojamojo kultūros paveldo įtaka darniam kaimo gyvenamųjų vietovių vystymuisi. *Urbanistika ir architektūra*, 31(4), 213–224.
6. Jefimova, M. (2017). *Muzikos terapijos poveikis neišnešioti naujagimio ir motinos streso pokyčiams*. Daktaro disertacija. Vilniaus universitetas.
7. Kregždaitė, R. (2017). *Kultūros ir kūrybinių industrijų vertinimo modeliavimas Europos Sąjungos šalyse*. Daktaro disertacija. Mykolo Romerio universitetas.
8. Kruk, E., & Sandberg, K. (2013). A home for body and soul: Substance using women in recovery. *Harm Reduction Journal*, 10, 1–16. <https://doi.org/10.1186/1477-7517-10-39>
9. Listokin, D., Listokin, B., & Lahr, M. (1998). The contributions of historic preservation to housing and economic development. *Housing Policy Debate*, 9(3), 431–478.
10. Luobikienė, I., Butkevičienė, E. (2010). Kaimo gyventojų sociokultūrinio portreto bruožai. *Ekonomika ir vadyba: aktualijos ir perspektyvos*, 3(2), 31–38.
11. Okunytė, P. (2024). *Kūrybinio kaimo potencialas Lietuvoje*. Daktaro disertacija.
12. Ramančionienė, R. (2009). *Kaimo turizmo sodybų paslaugų kokybės vertinimas*. Lietuvos kūno kultūros akademija.
13. Riedler, J., Eder, W., Oberfeld, G., & Schreuer, M. (2000). Austrian children living on a farm have less hay fever, asthma and allergic sensitization. *Clinical & Experimental Allergy*, 30(2), 194–200. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2222.2000.00799.x>
14. Stankevičius, A. (2013). *Vartotojų reikalavimai kaimo turizmo paslaugai*. Lietuvos sporto universitetas.
15. Stigsdotter, U. K., Corazon, S. S., Sidenius, U., Kristiansen, J., & Grahn, P. (2017). Forest design for mental health promotion – Using perceived sensory dimensions to elicit restorative responses. *Landscape and Urban Planning*, 160, 1–15.
16. Šeputytė-Vaitulevičienė, E., Skruibienė, I. (2019). *Namų psichologija. Kaip susikurti namų pojūtį savyje ir aplink save*.

17. Vaišnorienė, A. (2017). *Paslaugų vartotojų patirties valdymas: kaimo turizmo sodybos atvejis*. Daktaro disertacija. Kauno technologijos universitetas.

Indraja Raudonikytė

Aesthetics, Functionality and Influence on Well-Being in the Interiors of Lithuanian Rural Area Country Houses Adapted to Present Day Needs

The Lithuanian nation has experienced many trials over the last century, and only the last quarter of a century has been calm, allowing one or even several generations to put down roots in rural homesteads. Unfortunately, the disappearance of villages from the map continues unabated. After leaving our parents' homes in nature for visually and biologically sterile cities, we are creating new homes in an attempt to establish ourselves in artificial anthropogenic environments. Studies show that people feel most comfortable in the homes of their parents and grandparents and where they are surrounded by good memories and nature. Children who grow up in a rural environment are much less likely to suffer from allergies or other autoimmune diseases. So the environment that our parents and grandparents created for themselves and for future generations remains valuable and relevant, and historic interior design solutions can enhance and positively influence our psychological and emotional well-being. The aim of the study is to analyse the qualities and possibilities of designing interiors for today's modern farmhouses in rural areas of Lithuania in terms of aesthetics, functionality and well-being. The study reveals that in order to preserve what is valuable for our history and ourselves, it is worth drawing on knowledge and best practices from the aesthetics of sustainability, while preserving local identity and cultural continuity, and that the authentic, wooden architecture of our heritage is the healthiest and best for our nature and psycho-physical well-being.

Keywords: Sustainability, sustainability aesthetics, emotional well-being, homestead interiors.

Gauta 2025 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2025 m. balandžio mėn.

Indraja RAUDONIKYTĖ. Kauno technologijos universiteto, Statybos ir architektūros fakulteto doktorantė. Adresas: Studentų g. 48-427, LT-51367 Kaunas, el. paštas: indraja.raudonikyte@ktu.lt

Indraja RAUDONIKYTĖ. Kaunas University of Technology Faculty of Civil Engineering and Architecture, associate professor. Address: Studentų str. 48-427, LT-51367 Kaunas, e-mail: indraja.raudonikyte@ktu.lt

NORDPLUS PROJECT “HEALING GREENERY” – GREEN CARE EDUCATION FOR A CHANGING ENVIRONMENT

Kadri Maikov

Estonian University of Life Sciences

Project introduces *Green care*, brings together international students and lecturers from social work, medicine, landscape architecture, agronomy and business technology to foster interdisciplinary collaboration and design healing green spaces since 2018. The challenge is that while today's job market demands social and practical skills, the new generation's disconnect from nature hinders hands-on experience and environmental awareness; therefore, the goal is to use educational projects as a research foundation to raise awareness of environmental risks and the importance of green spaces for mental health. Year titles were in 2021 (26 participants) Development of kindergarten green environment; in 2022 (22) Community gardens, urban gardening, and public parks for social cohesion; in 2023 (19) Educational services and in 2024 (23) Green therapy for different age groups. Participants highlighted environmental risks: disconnection from nature, mental health issues, insufficient green spaces, lack of accessibility and limited awareness of nature's impact on health.

Keywords: environmental risks.

Introduction

Green Care is an evidence-based approach that uses nature and the outdoors to enhance physical, mental, and emotional well-being. It is a structured therapeutic intervention where nature actively participates in the healing process. The *Green Care* Quality Manual (Luke and THL, 2017) addresses nature safety issues, such as avoiding poisonous plants and ensuring everyone's rights and responsibilities, especially in relation to freedom of movement. *Green care: A Conceptual Framework* (Sempik et al., 2010) highlights how agriculture and land management contribute to public goods like biodiversity and landscape aesthetics, and how diverse land use can provide values such as climate change mitigation. Landscape or garden design focuses on creating safe, accessible and therapeutically beneficial *Green Care* spaces, with special attention to accessibility for those with physical disabilities or special needs. The manual also stresses caution regarding poisonous plants and advises that allergenic plants be handled carefully by knowledgeable counsellors. The COST Action 866 ‘*Green care in Agriculture*’ defines *Green care* as the use of agricultural environments (animals, plants, gardens, forests, and landscapes) to promote mental and physical health and quality of life for various client groups. The goals of *Green Care* (Visnapuu, 2021) span social, healthcare, educational and environmental well-being services. *Green Care* therapy is divided into *Green Care* and Green empowerment therapy with the latter supporting overall mental and physical well-being and preventive therapeutic activities.

A healing garden is a green space in healthcare settings specifically designed to improve health outcomes by providing a place of refuge and promoting healing for all users. These gardens offer relief from symptoms, reduce stress and enhance overall wellbeing and hopefulness. Unlike therapeutic landscapes, which are tailored to specific needs, healing gardens are generally designed for more passive involvement and are meant to benefit a diverse group of people. When designing a healing garden, the focus is on people who need therapy and based on the principles of green therapy. A garden is a place where one can simply be, experience and work. Thus, both visual and architectural aspects are important (Stigsdotter & Grahn, 2002).

Nature connectedness (Langiesa, Aviste, 2025) focuses on particular forms of meaningful interaction with nature that serve as the most significant predictors of a strong connection to the natural world. Another often-cited antecedent of nature connectedness is mindfulness. While general mindfulness tends to positively predict nature connectedness, there is some degree of nuance, with some facets of mindfulness (e.g., observing and non-reactivity) more predictive of nature connectedness than others. Finally, positive affect is another antecedent of nature connectedness often cited.

Nowadays international courses are multicultural and – professional, influences many development ways. This approach is not studied very deeply and has lack of theories. Students and lecturers are from social work, medicine, landscape architecture, agronomy, and business technology specialities. Natural/living environment has been chosen specifically. Natural environments are utilized to enhance physical, mental and emotional well-being while promoting social inclusion. From project description: “The principle of *Green Care*, or green therapy, which consists in the use of living and inanimate nature, i.e. biotic and abiotic factors, in maintaining a person's mental and physical health and increasing the quality of life. The flora and fauna, gardens and landscape are used to support different client groups, because the natural living environment helps young and old people with learning difficulties, depression, burnout, drug and alcohol addiction, psychiatric patients, young offenders, victims of natural disasters and clients in need of social services.” During the intensive

courses, the local living environment is valued: therapeutic green spaces are designed; educational excursions and open lectures are held. In intensive course structure (Figure 1) is provided through three phase – homework (individual + country) before the intensive week, intensive week design work (mixed groups) and reflecting back experiences (individual) after the course. Based on every year different topic in *Green care* – healing gardens/areas are designed based on *Green Care* activities.

Goal of the Healing greenery project is:

1. Applying green economy principles to create inclusive living environments for socially vulnerable groups.
2. Enhancing interdisciplinary collaboration between various fields.
3. Developing students' teamwork and communication skills.
4. Encouraging creative thinking and problem-solving.
5. Fostering an entrepreneurial mindset in a multidisciplinary setting.

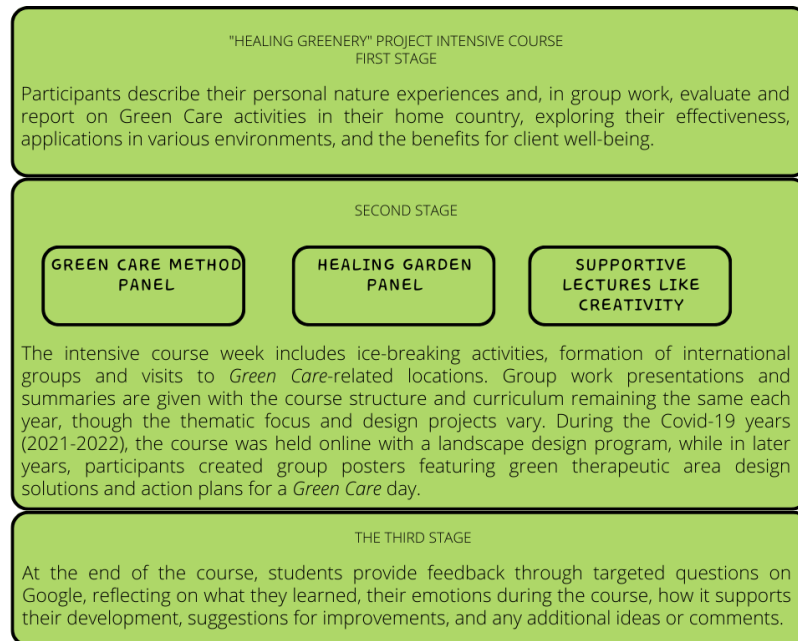


Fig. 1. Healing greenery program. Author visualization in Canva

Hypothesis of paper: "We assume that human contact with nature influences awareness of environmental risks and understanding of the importance of green spaces for mental health. The experience comes through healing landscape design process."

Nature safety is a critical aspect when implementing *Green Care* methods, especially in creating healing green spaces. As the project brings together professionals from diverse fields, it highlights the need to address potential environmental risks that may arise in such spaces. One key concern is the disconnection from nature, which not only affects mental health, but also limits opportunities for engaging with natural elements. Ensuring the safety of the natural environment is essential to foster a therapeutic and inclusive environment. The project emphasizes the importance of understanding and managing these risks to ensure the health benefits of nature-based interventions are fully realized.

Research methodology

1. The course follows the planned curriculum, by every year different topic, offering participants experience and knowledge in applying *Green Care* methods across various fields.
2. The questionnaire gathers essay form feedback on course content, learning outcomes, and the overall experience, providing insights for course evaluation and improvement (questions in figure 1).
3. The research analyses on self-reported essays are collected via Google surveys after an intensive week. Responses are reviewed, analysed year by year and summarised using NotebookLM. Irrelevant answers have removed; key points are highlighted and the data is validated through cross-checking questions referencing the answers provided by the article author.
4. Graphs are visualized by author in napkins.ai based on the article written chapters data; Figure 1 created in Canva by author.
5. Environmental risks and awareness are noted in responses with high value placed on clear expressions of awareness. For example concerns about losing a connection with nature are counted as environmental risks.

Results

2021 Feedback give the positive impacts of nature on children's development and well-being (Figure 2). It underlines the significance of connecting children with nature for their comprehensive growth. Kindergarten kids learn faster when exposed to the environment. Participants learned ways to teach children about *Green Care* and the importance of taking care of nature. Exposure to nature can help people manage stress and improve their mental health. Nature aids in children's physical and emotional development. They explored ways to incorporate a child's connection to nature in a city environment.

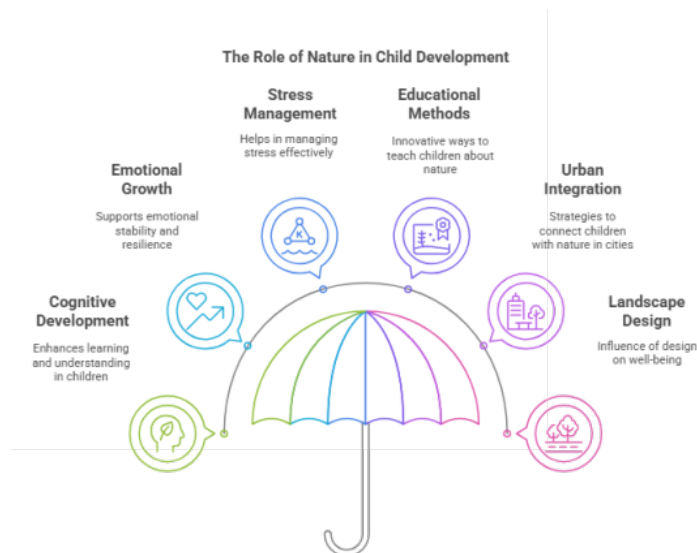


Fig. 2. The role of Nature in Child Development. Graph visualized in napkins.ai by author

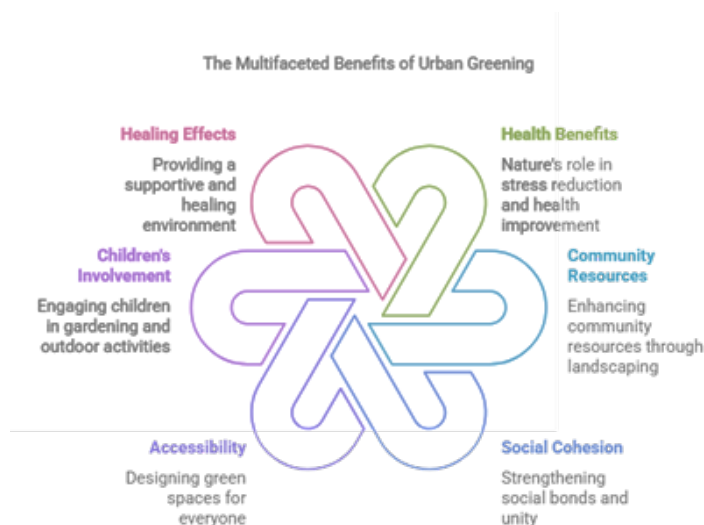


Fig. 3. Multifaceted Benefits of Urban Greening. Graph visualized in napkins.ai by author

2022 Feedback rely on participants' experiences of urban greening and its impact on health (Figure 3). Connection between nature and health, settings for the urban environment and emphasis on well-being are highlighted. It is important to create pleasant outdoor environments and urban landscaping should be a part of everyday life. Nature has a healing effect on city dwellers, also it helps promote community resources. Urban greening is related to social work, especially community work which contributes to social cohesion. The spaces are designed to be accessible to everyone (Arkadia park). The positive aspects of urban greening are emphasized. Gardening is a therapy, hobby or activity that helps the community feel more united.

2023 Feedback focuses mainly on the participants' experiences and perceptions of the impact of the green environment on health and well-being (Figure 4). Several aspects related to the connection between nature and health: Using a green environment in studies leads to better cognitive function, less stress and anxiety, more physical activity, better environmental education and social benefits. Properly designed environment can have a great effect on mental state. The environment is not only what we see, but also what we feel and smell. Social workers can use nature to recover from work stress, look at the landscape to gain new strength and return to

work. Gardening is therapy – plants, nature and the elements affect people. People experience and feel better – create an inclusive environment for everyone.

2024 Participants' experiences and perceptions of nature, animal-related therapies and their impact on health and well-being (Figure 5). Nature can be relaxing and used in social work. Learned different ways to use nature as a form of healing and how to create green rooms. A walk in the woods can be life-changing. Horses and dogs can help people open up and provide a relaxing and fun time. Equine therapy has the potential to aid in physical, emotional and mental rehabilitation. Being on the land helped the participants to reconnect with nature, with themselves and organize their thoughts. Nature provides a chance to relax and escape routine with interactions like those with horses helping to reduce stress and promote presence.



Fig. 4. Multifaceted Benefits of Green environments. Graph visualized in napkins.ai by author

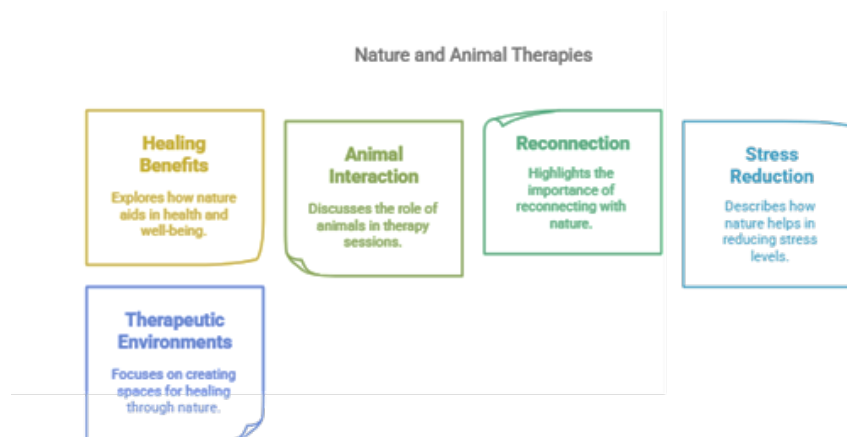


Fig. 5. Nature and Animal Therapies. Graph visualized in napkins.ai by author

Environmental risks across all years of research are combined. Participants highlighted environmental risks (Figure 6): disconnection from nature, mental health issues, insufficient green spaces, lack of accessibility and limited awareness of nature's impact on health. Poorly planned environments can negatively affect mental health. Participants mentioned feeling stressed and anxious when disconnected from nature in urban settings. Living in urban environments may become disconnected from nature, which can negatively impact their mental and physical health. It is a risk factor, as exposure to nature is associated with stress reduction and overall well-being improvement. Participant admitted that they had forgotten the value of nature, but the project reminded them of its importance. Lack of green spaces in urban areas is a risk factor. Mentions are that small plants can create a positive atmosphere. Green spaces play a crucial role in children's development and creativity stimulation. Participant expressed concern about how urbanization and environmental destruction might impact future quality of life. The absence of nature may also contribute to loneliness and social isolation, which are additional risk factors for mental health problems. Greenery creates a calmer atmosphere and promotes relaxation. Community gardens are noted as a way to improve social cohesion and foster a sense of unity. Environments should be accessible to everyone – when not, they can create exclusion and deepen social inequalities, which also pose health risks. Some participants were unaware of nature's positive impact on health and well-being before the course. A lack of awareness about the benefits of nature is a risk factor, as it may prevent people from seeking nature-based solutions to improve their health.

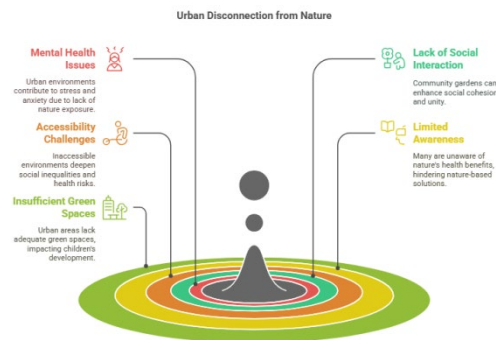


Fig. 6. Urban disconnection from Nature. Graph visualized in napkins.ai by author



Fig. 7. Example 3D model from Estonia design area. Graph visualized in SketchUP – groupwork result by participants

The course has boosted participants' confidence, taught new skills like 3D design (Figure 7) and highlighted the importance of nature in children's development. They learned how to integrate nature into urban environments, gained international teamwork experience and improved social interaction and English skills. The course broadened their understanding of early childhood education across different countries and inspired them to create safe environments. It also encouraged participants to implement new ideas and recognize the need for interdisciplinary collaboration in providing high-quality services.

Discussion

Human safety and *Green care* are closely connected, as both focus on person well-being through different aspects. *Green care* methods, such as horticultural and animal-assisted therapy, help reduce stress, anxiety and depression, supporting safety and quality of life. Additionally, *Green care* strengthens social cohesion by providing safe spaces for interaction, personal growth and support for vulnerable groups. Through nature-based solutions, *Green care* enhances physical and mental health, environmental quality and social security, contributing to human safety. The *Green care* methodology is not yet widely known in Estonia as it is not reflected in educational programs. Almost all people come into contact with green therapy, both green empowerment and *Green care* therapy, consciously or spontaneously during their lives. *Green care* methodology affects the target group through the effective relationship created between the landscape and the person. *Green care* methods support climate change adaptation by increasing awareness of environmental risks and fostering sustainable lifestyles.

Through this approach, nature-related risks – such as climate change, temperature fluctuations, light, shade, plant pests and allergies – are carefully considered. Based on current foundational documents, the *Green care* approach is well established with Finland leading its implementation. Collaboration with nature is a defining theme of this century and governments should actively support these initiatives to foster respect for nature.

Healing gardens and landscape design are deeply connected to environmental psychology, making it essential to incorporate scientific theories to explain their impact. Green spaces and healing gardens improve the environment by reducing pollution and noise while encouraging an active lifestyle. The connection between healing gardens and the relationship between health and nature aligns well with *Green Care* methods, making landscape design an additional platform for implementing *Green Care*. The process follows a specific order: first – The therapy form is chosen, the landscape is designed, construction follows, and the area is used once completed.

In multidisciplinary learning, this approach has not been widely used before, but it holds great potential for the future. A landscape architect is not the only one designing green spaces – this responsibility is shared with other professionals. The results of multidisciplinary research (Pennell, Sabau, 2024) indicate that students who are exposed to broad multidisciplinary requirements may be more likely to have positive attitudes toward sustainability than students who focus on a single discipline.

Results matter on a small scale, bringing participant feedback as added value in teaching. The biggest value in education lies in experimenting with interdisciplinary transitions, where unexpected connections emerge, providing direct links to practice and moments of recognition. The best results come from personal experience, and each year, exploring new fields reveals new nuances. This learning method accelerates interdisciplinary decision-making. The design process generates insights that shift mindsets toward green thinking, with the strongest connections emerging in the social sector, where professionals see opportunities to integrate their work into a greener future. Social workers within *Green care* provide valuable insights to landscape architects, highlighting nuances they might not have considered. While the method may not be perfect, it is effective. Professionals from various fields contribute to discussions on the relationship between health and landscapes; structured learning methods enhance these connections further.

Methodological limitations mainly lie in text interpretation, as AI's wordplay can influence results. Analyzing data revealed how AI interprets information, which always requires validation.

Knowledge of nature's impact on health is not the same across countries, which in turn affects people's well-being. There are also different approaches to *Green Care* methods in various countries, as the same concepts are interpreted differently.

Future expansion should not only focus on user groups, but also highlight landscape diversity. Permaculture has not yet been tested in this context, but it could help reduce environmental risks. Environmental risks did not surface in annual results, reviewing four years of data collectively revealed clear patterns.

Such a course fosters well-being by using thoughtful healing garden design to reduce stress, promote social cohesion and enhance environmental health, while integrating *Green Care* methods to create spaces that support mental health, personal growth and climate adaptation.

Conclusion

The evolving work environment requires innovative design approaches and specialists capable of planning green spaces that enhance well-being and personal development. Current educational research explores the hypothesis that human interaction with nature increases awareness of environmental risks and deepens the understanding of green spaces' role in mental health. This awareness is fostered through the healing landscape design process. Conclusions are following:

1. Over the years, participants have increasingly recognized the positive impact of nature on health and well-being. The course have reinforced the importance of integrating nature into urban environments and using it as a tool for education, design, therapy and social cohesion.
2. While earlier years emphasized the importance of green spaces for learning and community-building, more recent years (2023–2024) have highlighted nature and animal-assisted therapies, indicating an increasing interest in the therapeutic potential of nature for both physical and mental health.
3. Key risks associated with urbanization include disconnection from nature, mental health issues, insufficient green spaces, accessibility barriers and limited awareness of nature's health benefits. These risks emphasize the need for well-planned green infrastructure and education on nature's role in well-being.
4. Participants have recognized the importance of interdisciplinary approaches in urban planning, social work, and education. Working in international teams has helped them understand the value of cross-sectoral cooperation in creating inclusive, green and health-supportive environments.
5. Nature has been linked to stress reduction, improved cognitive function and social bonding. Community gardens, urban greenery and accessible outdoor spaces have been identified as key solutions for fostering well-being.
6. Educational projects provide valuable material for research as they combine practical experience with personal reflection, making them highly relevant at the international level and for formulating research findings.

Acknowledgements

The project is managed by Kaunas University of Applied Sciences, Estonian University of Life Sciences, Tallinn University of Technology, Riga Stradiņš University and Savonia University of Applied Sciences. I thank the team members and students involved.

Summary

The study highlighted the significant environmental risks associated with urbanization and the lack of green spaces. Participants identified key threats including disconnection from nature, mental health challenges and the negative effects of poorly planned urban environments. Limited access to green spaces, physical and social barriers, a general lack of awareness about nature's benefits was recognized as major risk factors affecting well-being. Research findings (Figure 6) showed that living in nature-deprived environments can lead to increased stress, anxiety and social isolation. Participants expressed concerns about how urbanization and environmental degradation might impact future quality of life. They also acknowledged that the absence of greenery in cities could hinder children's development and creativity. Green spaces were seen as essential in promoting relaxation, fostering social cohesion and reducing exclusion. Through the course participants gained a deeper understanding of environment support public health and well-being.

References

1. Lengieza, M., Aviste R. (2025). *Relationships between people and nature: Nature connectedness and relational environmental values*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352250X24001970>
2. Luke and THL. (2017). *Green care Quality Manual The Natural Resources Institute Finland and the National Institute on Health and Welfare*. Online publication.
3. Pennell, N., Sabau, G. (2024). The impact of multidisciplinary program requirements on student attitudes toward sustainability and education for sustainability. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, Vol. 25, No. 3, 669–687. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-06-2022-0199>
4. Sempik, J., Hine, R., Wilcox, D. (2010). *Green care: A Conceptual Framework*. Cost 866. https://www.umb.no/statisk/greencare/green_carea_conceptual_framework.pdf
5. Stigsdotter, U., Grahn, P. (2002). *What Makes a Garden a Healing Garden?* https://www.researchgate.net/publication/234072230_What_Makes_a_Garden_a_Healing_Garden.
6. Visnapuu, Ü. (2021). *Roheteraapia rehabilit eeriv olemus*. Tallinna Tehnikakõrgkool, Sotsiaaltöö õppekava.

Received in March 2025, published in April 2025

Kadri MAIKOV. Estonian University of Life Sciences, Institute of Agricultural and Environmental Sciences, Lecturer, PhD. Address: Kreutzwaldi 56/1-406C, 51014 Tartu, Estonia. Phone: +372 555 98155, e-mail: kadri.maikov@emu.ee

PERSPEKTYVIŲ VAISTINIŲ (AROMATINIŲ) AUGALŲ TARPDISCIPLININIŲ MOKSLINIŲ TYRIMŲ RAIDA VDU BOTANIKOS SODO VAISTINIŲ IR PRIESKONINIŲ AUGALŲ MOKSLO SEKTORIJE

Ona Ragažinskienė, Erika Šeinauskienė, Karolina Jackevičienė

Vytauto Didžiojo universiteto Botanikos sodas

Sprendžiant vaistinių (aromatinių) įvairovės gausinimo, išsaugojimo ir visuomenės sveikatos gerinimo problemą, šių augalų introdukcija ir tarpdisciplininiai kompleksiniai tyrimai turi mokslinę ir praktinę reikšmę ne tik Lietuvoje, bet ir visame pasaulyje. Pranešime bus pristatyta VDU Botanikos sodo Mokslo skyriaus Vaistinių ir prieskoninių augalų mokslo sektoriaus 4 laikotarpių tarpdisciplininių mokslinių tyrimų raida.

Tyrimo objektas – vaistinių (aromatinių) augalų moksliniai tyrimai atskirais etapais. Tyrimo tikslas – atlikti vaistinių (aromatinių) augalų tarpdisciplininių mokslinių tyrimų duomenų retrospektyvinę palyginamąją analizę introdukcijos metu VDU Botanikos sodo Mokslo skyriaus Vaistinių ir prieskoninių augalų mokslo sektoriaus ilgametėje Vaistinių augalų mokslinėje kolekcijoje.

Raktiniai žodžiai: vaistiniai augalai, introdukcija, tarpdisciplininiai tyrimai.

Įvadas

XX–XXI a. sprendžiama žmogaus sveikatos stiprinimo, gyvenimo kokybės gerinimo ir biologinės įvairovės gausinimo problema (WHO Tradicional Medicine Strategy: 2014–2023; The European Union's Biodiversity Strategy for 2030). Svarbų vaidmenį šios problemos sprendimui turi vaistiniai, prieskoniniai (aromatiniai) augalai, jų vaistinė augalinė žaliava ir joje susikaupe įvairūs biologiškai veiklieji junginiai, kurie pasižymi antioksidantiniu, antimikrobiniu, antiadiabetiniu, imunoterapiniu, priešuždegiminiu, priešnavikiniu, antimaliariniu poveikiais (Ekiert ir kt., 2020)

1924 m. Kaune, Fredoje, Lietuvos universiteto Botanikos sode, įkūrus Vaistinių augalų skyrių, pradėta vaistinių augalų eksperimentinė veikla, atliekant bandymus. VDU Botanikos sodo Vaistinių augalų skyriaus kolekcijų kūrimas ir mokslinė tematika kito tam tikrais istoriniais laikotarpiais, priklausomai nuo šalies politinės ir ekonominės santvarkos, institucijos vadovų kaitos (Juknevičienė, Juronis, 2000; Ragažinskienė, 2009).

Tyrimo objektas – vaistinių (aromatinių) augalų moksliniai tyrimai atskirais etapais.

Tyrimo tikslas – atlikti vaistinių (aromatinių) augalų tarpdisciplininių mokslinių tyrimų duomenų retrospektyvinę palyginamąją analizę introdukcijos metu VDU Botanikos sodo Mokslo skyriaus Vaistinių ir prieskoninių augalų mokslo sektoriaus ilgametėje Vaistinių augalų mokslinėje kolekcijoje.

Tyrimų metodika

1924–2025 m. ilgalaikiuose eksperimentiniuose lauko bandymuose ir vaistinių augalų kolekcijose tyrimai atlikti modifikuotais bei optimizuotais augalų introdukcijos, cheminių savybių tyrimo bei fenologinių stebėjimų metodais (Juknevičienė ir kt., 2000; Ragažinskienė ir kt., 2008; Maruška ir kt., 2014).

Tyrimo duomenys gauti analizuojant mokslinių straipsnių bei literatūros šaltinių duomenis, taikant sisteminės analizės teorinius metodus.

Rezultatai ir aptarimas

VDU Botanikos sodo Mokslo skyriaus Vaistinių ir prieskoninių augalų mokslo sektoriaus tarpdisciplininių mokslinių tyrimų raida skirstoma į 4 laikotarpius.

Pagrindinė vaistinių augalų mokslinių tyrinėjimų kryptis augalų introdukcija ir aklimatizacija pradėta 1924 m. Lietuvos universiteto Botanikos sodo Vaistinių augalų skyriuje – prieškariniu Lietuvos Nepriklausomybės laikotarpiu ir tęsiama iki šiol.

Per **pirmąjį mokslinių tyrinėjimų laikotarpį** (1924–1949 m.), vadovaujant prof. dr. Kazimierui Grybauskui, vaistinių augalų pradiniai tyrinėjimai vykdėti ne tik bandymų plotuose, kolekcijose, bet ir laboratorijoje. Atlikti augalų aklimatizacijos bandymai, tiriamos jų auginimo sąlygos. Tuo laiku apibendrinti paprastojo apynio 24 veislių tyrimų duomenys ir atrinktos penkios iš jų, kurios tinkamos auginti Lietuvos sąlygomis, o apynių žaliava naudota farmacijoje ir maisto pramonėje. Be to, spręsti vaistinės augalinės žaliavos paruošimo ir realizavimo klausimai, nuolatiniai kontaktai su mokslo ir prekybos atstovais Lietuvoje ir užsienyje – visa tai turėjo didelės reikšmės plečiant vaistinių augalų auginimą, paruošas ir eksporto galimybes. Tuo laikotarpiu vykdyti ne tik vaistinių ir techninių augalų tyrinėjimai, jų duomenų apibendrinimas iki

rekomendacijų, bet buvo populiarinamos žinios apie vaistinius augalus periodinėje spaudoje bei įvairiuose leidiniuose. 54-iose „Farmacijos žinių“ numeriuose aprašytos 46 vaistinių augalų rūšys, iš viso tuo laikotarpiu atspausdinta 230 straipsnių, išleista 17 leidinių (Grybauskas, 1927, 1936, 1941).

Lietuvoje 1936–1938 m. prof. dr. Marija Natkevičaitė-Ivanauskienė pirmoji atliko vaistinių augalų genetinius tyrimus, sukryžmindama 14 *Verbascum* L. ir 2 *Celsia* L. rūšis (Natkevičaitė, 1939).

Greta mokslinės veiklos vykdytas pedagoginis darbas. Botanikos sodo vaistinių augalų kolekcijos tapo studijų ir švietėjiškos veiklos objektu, kur perteikiamos botanikos ir farmakognozijos žinios iki šių dienų.

Per **antrąjį mokslinių tyrinėjimų laikotarpį** (1949–1984 m.), vadovaujant mokslininkams dr. Stasiui Gudanavičiui ir dr. Algimantui Morkūnui, tęsta vaistinių, techninių ir aliejinių bei rauginių augalų introdukcija ir aklimatizacija. Ši problema spręsta, siekiant Lietuvos augalijos bei augalinių resursų praturtinimo ir racionalaus jų panaudojimo (Morkūnas, 1977).

Tirti *Brassicaceae* Burnett (*Cruciferae* Juss.) šeimos techniniai (aliejiniai) augalai plačiai naudojami maisto pramonėje, nustatytas 9 rūšių augalų sėklų derlius, jų riebalinio aliejaus kokybė bei kiekybė. Iš septynių rūšių žolinių rauginių augalų trys nustatytos tinkamomis auginti Lietuvos sąlygomis. Dr. S. Gudanavičius, tęsdamas prof. K. Grybausko pradėtus tyrinėjimus apynių hibridizacijos ir selekcijos srityje, atliko perspektyvių paprastojo apynio veislių atranką. Be to, ištirtos prieskoninių, daržovių, pašarinių augalų biologinės savybės, įvertintas jų vaistinėje žaliavoje esančio eterinio aliejaus kiekis (Gudanavičius, 1959).

Šio laikotarpio vaistinių ir techninių augalų introdukcijos tyrimų duomenys apibendrinti leidiniuose, skirtuose medicinai, farmacijai, žemės ūkiui ir veterinarijai.

Per **trečiąjį mokslinių tyrinėjimų laikotarpį** (1984–1999 m.), vadovaujant dr. Onai Gražinai Juknevičienei, vykdyta tyrimų kryptys – „Rūšies ir fitocenozų funkcionavimo bei produktyvumo dėsningumai ir racionalus jų panaudojimas pašarų bazės pagerinimui“, „Naudingų augalų rūšių paplitimas, ekologiniai ir fitocenologiniai ypatumai, jų introdukcija ir sukultūrinimas“, „Svarbesnių laukinių naudingų augalų rūšių paplitimo biologinių ir ekologinių ypatybių tyrimas, siekiant racionaliai naudoti ir praturtinti jų išteklius“.

Pradėti moksliniai tiriamieji darbai „Biologinių ir metodinių pagrindų paruošimas geresniam Lietuvos kaimo gyvenviečių ir gamybinių centrų apželdinimui“, „Želdynų įrengimo kūrimo principų ir eksploatacijos technologijų paruošimas Botanikos sodo kolekcijų tyrimo bei lauko bandymų pagrindu“ pagal sutartis su pramonės įmonėmis ir sanatorijomis, sprendžiant augalų asortimento parinkimo apželdinimui ir vaistinių augalų naudojimo aerofitoterapijai klausimus įvairiuose respublikos miestuose.

Per **ketvirtąjį mokslinių tyrinėjimų laikotarpį** (1999–2025 m.), vadovaujant prof. habil. dr. Onai Ragažinskienei, vaistinių augalų tyrimai vykdomi šiomis kryptimis.

- *Echinacea* Moench rūšių biologinių savybių, augimo ir vystymosi, vaistinės augalinės žaliavos kokybės ir kiekybės įvertinimas, kuriant augalinės kilmės imunostimuliuojančias gydomąsias priemones.
- Perspektyvių vaistinių augalų biologiškai veikliųjų medžiagų identifikavimas, jų kiekio įvertinimas ir polifenolinius junginius kaupiančių augalų rūšių atranka farmacijos teorijai ir praktikai.
- Introdukuotų vitamininių vaisinių ir techninių augalų biologinių savybių ir vaistinės augalinės žaliavos vertinimas (Ragažinskienė, Rimkienė, 2002).
- Vaistinių, prieskoninių (aromatinių) augalų introdukcija, jų auginimo ir vaistinės žaliavos ruošimo ir kokybės tyrimų inovatyvių technologijų kūrimas bei racionalus ir tvarus naudojimas

Tuo laikotarpiu pasitvirtino VDU rektoriaus akademiko, prof. habil. dr. Vytauto Kaminsko inicijuota tarpdisciplininė mokslinė kooperacija tarp VDU Gamtos mokslų fakulteto ir Botanikos sodo. Vaistiniai augalai tyrinėti dalyvaujant dviejų klasterių mokslinėje, projektinėje veikloje:

F-08-03 Instrumentinės analizės metodų vystymas ir jų taikymas molekulinei biologinių objektų, sintetinių produktų ir aplinkos analizei;

B-08-01 Klimato kaitos ir aplinkos taršos poveikis organizmų sąveikai ir sveikatingumui genosistemos lygmenyse (KLIGEN).

Mokslinė ir projektinė veikla. Šios kolekcijos yra unikalus farmakognostinis sodas – vaistinių, prieskoninių (aromatinių) augalų introdukcijos centras Europoje ir Baltijos jūros šalių regione bei mokslinio tyrimo, studijų ir projektinės veiklos objektas. Čia vykdomi nacionaliniai ir tarptautiniai kompleksiniai, inovatyvūs, tarpdalykiniai, tarpžinybiniai moksliniai darbai, tiriant vaistinių (aromatinių) augalų biologines, chemines, funkcines, antioksidacines, genotoksines, priešvėžines, antimikrobines savybes mokslinių projektų pagrindu.

Vaistinių augalų ilgamečiai introdukcijos ir cheminių savybių kompleksiniai, tarpdisciplininiai ir transdisciplininiai tyrimai atlikti nacionalinių ir tarptautinių projektų pagrindu. Šie kompleksiniai tyrimai vykdyti kartu su VDU Gamtos mokslų fakulteto Instrumentinės analizės atviros prieigos centru, Kauno technologijos universiteto Cheminės technologijos fakulteto Maisto produktų technologijos katedra, Lietuvos sveikatos mokslų universiteto Medicinos akademijos Farmacijos ir medicinos fakultetu bei kitais Lietuvos ir

užsienio mokslininkais įvairiose mokslo institucijose (Balčiūnaitė ir kt., 2020; Baranauskienė ir kt., 2019; Maruška ir kt., 2014). Šiuo laikotarpiu inventorizuotos, įteisintos ir cheminių tyrimų pagrindu įtrauktos į augalų nacionalinių genetinių išteklių (ANGI) sąrašą vaistinių augalų rūšys bei paprastojo apynio veislės. Šiuo metu 56 rūšys vaistinių augalų yra augalų nacionalinių genetinių išteklių (ANGI) sąraše, kuris patvirtintas Lietuvos Respublikos aplinkos ministro įsakymais. Be to, paprastojo apynio 25 veislės ir formos yra Vaistinių ir aromatinių augalų lauko kolekcijų, priskirtų augalų nacionaliniams genetiniams ištekliams, sąraše, kuris patvirtintas Lietuvos Respublikos aplinkos ministro įsakymu (2009 m. gruodžio 31 d. Nr. D1-861) (Ragažinskienė, Rimkienė, 2003). Šių tyrimų duomenys apibendrinti daktaro disertacijose, habilitacijos procedūroje, magistro, bakalauro baigiamuosiuose darbuose, nacionalinių ir tarptautinių konferencijų pranešimuose, mokslo ir mokslo žinių sklaidos straipsniuose, mokslinėse rekomendacijose ir metodikose.

Pradėta nauja kryptis – mokslo žinios vaistažolininkystės verslui. Įdiegtos mokslinės vaistinių prieskoninių (aromatinių) augalų auginimo ir vaistinės augalinės žaliavos ruošimo technologijos. Kompleksiškai ir tarpdiscipliniškai bendradarbiaujant, įvykdytas Europos žemės ūkio kaimo paramos fondo projektas. Dzūkijos nacionaliniame parke, Panaros pilnų namų bendruomenėje, sukurta moderni vaistažolių džiovyklą, taikant alternatyvią saulės energiją (Raila ir kt., 2014).

Mokslininkų indėlis į įstatyminės bazės kūrimą Lietuvoje. Atkreiptas dėmesys į Lietuvos mokslininkų indėlį bei jų dalyvavimo būtinumą **teisėkūros procese**, įgyvendinant ilgalaikę valstybės strategiją. Šioje srityje išskiriami darbai, kurie išryškina vaistinių, prieskoninių (aromatinių) augalų, kokybiškos, saugios ir efektyvios vaistinės augalinės žaliavos ir jų biologiškai veikliųjų medžiagų reikšmę medicinai, farmacijai, maisto pramonei, veterinarijai. Mokslininkų konsultantų-ekspertų ir specialistų grupės atliktų darbų ir gautų rezultatų mokslinės-ekspertinės veiklos pagrindu LR sveikatos apsaugos ministerija 2013 m. inicijavo teisėkūros procesą *Papildomos alternatyvios medicinos (PAM)* kūrimui, nuo 2019 m. pertvarkytą į *Papildomos alternatyvios sveikatos priežiūros (PASP)* įstatymą, kuris LR Seime buvo patvirtintas 2020 m. sausio 4 d., pasirašius LR prezidentui, įsigaliojo nuo 2021 m. sausio 1-osios. Be to, dalyvaujama Nacionalinės sveikatos tarybos (NST) darbe, teikiant išvadas ir pasiūlymus LR Seimui dėl įstatymų projektų, kitų teisės aktų projektų, reglamentuojančių sveikatos priežiūrą; teikiant nuomonę Seimui, Prezidentui, Vyriausybei, ministerijoms, Vyriausybės įstaigoms, mokslo ir studijų institucijoms, savivaldybių institucijoms valstybinės sveikatos politikos klausimais; telkiant asociacijas viešoms diskusijoms svarbiausiais sveikatos politikos ir strategijos tobulinimo ir jų įgyvendinimo klausimais. Sprendžiant vaistinių augalų ir jų preparatų saugaus, racionalaus vartojimo medicinoje ir neigiamos savigydos problemas, bendradarbiaujama ir dalyvaujama LR Seimo sveikatos reikalų komitetu ir LR sveikatos apsaugos ministerija darbo grupių darbe.

Vaistinių augalų mokslinės kolekcijos įvertinimas, pripažinimas etnopaveldu ir išsaugojimo strategija. 2024 m. kovo 11 d. Rijekoje (Kroatija) asociacijos AIS Generalinės Asamblėjos posėdyje Lietuvos dvi mokslo institucijos – VDU Botanikos sodo Vaistinių ir prieskoninių augalų mokslo sektorius ir LSMU Lietuvos medicinos ir farmacijos istorijos muziejus – ilgamečių tyrimų, studijų ir praktinių bei visuomenės švietimo darbų pagrindu pripažintos ir apdovanotos, tapusios Europos Tarybos kultūros paveldo 48 kelio Europos istorinių vaistinių ir vaistinių sodų asociacijos *Aromas Itinerarium Salutis* (AIS) tikraisiais nariais.

Studijos. Vaistinių augalų mokslinė kolekcija yra Lietuvos ir užsienio mokslo institucijų bei tarptautinių ERASMUS + studijų ir praktikos mokslinė studijų bazė.

Išvados

Išanalizavus VDU Botanikos sodo Mokslo skyriaus Vaistinių ir prieskoninių augalų mokslo sektoriaus 4 laikotarpių tarpdisciplininių mokslinių tyrimų raidą nustatyta:

1. Nuo 1924 m. iki dabar vaistinių augalų tarpdisciplininių tyrinėjimų kryptys kito atskirais laikotarpiais – svarbiausi uždaviniai išliko reikšmingi ir aktualūs bei perspektyvūs iki šiol ir atitinka Lietuvos ir Europos Sąjungos prioritetinių mokslinių tyrinėjimų eksperimentinės plėtros kryptis biotechnologijos, gamtos, medicinos ir sveikatos bei farmacijos mokslų.
2. VDU Botanikos sodo Vaistinių ir prieskoninių augalų mokslo sektorius ilgamečių tyrimų, studijų ir praktinių bei visuomenės švietimo darbų pagrindu pripažintas ir apdovanotas, tapęs Europos Tarybos kultūros paveldo 48 kelio Europos istorinių vaistinių ir vaistinių sodų asociacijos *Aromas Itinerarium Salutis* (AIS) tikruoju nariu.

Literatūra

1. Ekiert H. M., Szopa A. (2020). Biological Activities of Natural Products. *Molecules*, 25(23), 5769; <https://doi.org/10.3390/molecules25235769>
2. Ragažinskienė O., Lapinskienė N., Kornysova O., Maruška A. (2008). Introdukavimo metodų taikymas vaistinių augalų biologinėms savybėms nustatyti. *Jaunųjų mokslininkų darbai*, 3(19), 113–117.

3. Juknevičienė, G., Juronis, V. (2000). *Medicinal plants*. Collections of Kaunas Botanical Garden of Vytautas Magnus University, 62 p.
4. Penkauskienė, E., Rimkienė, S. (1991). *Ecological and biological characteristics of wild and cultivated sorts of medicinal plants of Lithuania*. Monografija. Vilnius: Mokslo.
5. Ragažinskienė, O. (2009). *Introdukuojamų vaistinių prieskoninių augalų biologinių savybių įvertinimas ir atranka farmacijos bei vaistažolininkystės plėtrai Lietuvoje: habilitacijos procedūrai teikiamų mokslo darbų apžvalga*. Kaunas, 48.
6. World Health Organization, Geneva. (2003). *WHO guidelines on good agricultural and collection practices (GACP) for medicinal plants*. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/42783/9241546271.pdf?sequence=1>
7. World Health Organization, Geneva. (2003). *WHO traditional medicine strategy: 2014–2023*. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241506096>
8. Raila, A., Ragažinskienė, O., Novošinskas, H., Zvicevičius, E., Čiplienė, A., Volkavičiūtė, Ž., Kemzūraitė, A. (2014). *Vaistinės augalinės žaliavos auginimo ir džiovavimo technologijos: rekomendacijos vaistinių ir prieskoninių augalų auginėjams ir perdirbėjams*. 63.
9. Ragažinskienė, O., & Rimkienė, S. (2003). *Medicinal and aromatic plants: genetic resources and cultivation in Lithuania*. *Zeitschrift für Arznei- & Gewürzpflanzen*. Clenze: Agrimedia GmbH, 2003, Vol. 8, no. 4.
10. Ragažinskienė O. (2009). Vaistinių augalų tyrinėjimų raida VDU Kauno botanikos sode ir jų reikšmė vaistažolininkystės plėtrai Lietuvoje. *Vytauto Didžiojo universiteto botanikos sodo raštai*.
11. Balčiūnaitė, G., Haimi, P. J., Miknienė, Z., Savickas, G., Ragažinskienė, O., Juodziukynienė, N., Baniulis, D., Pangonytė, D. (2020). Identification of Echinacea Purpurea (L.) Moench Root LysM Lectin with Nephrotoxic Properties. *Toxins*, 12(2), 88. <https://doi.org/10.3390/toxins12020088>
12. Baranauskienė, R., Bendžiuvienė, V., Ragažinskienė, O., Venskutonis, P. R. (2019). Essential oil composition of five Nepeta species cultivated in Lithuania and evaluation of their bioactivities, toxicity and antioxidant potential of hydrodistillation residues. *Food and Chemical Toxicology*, Vol. 129, 269–280. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2019.04.039>
13. Orentas, P. (2013) *Apynių (Humulus lupulus L.) eterinių aliejų ir karčiųjų rūgščių analizė*. Magistro darbas.
14. Maruška, A., Ragažinskienė, O., Vyšniauskas, O., Kaškonienė, V., Bartkuvienė, V., Kornyšova, O., Briedis, V., Ramanauskienė, K. (2014). Flavonoids of willow herb (Chamerion angustifolium (L.) Holub) and their radical scavenging activity during vegetation. *Advances in Medical Sciences V.*, 59, II, 136–141. <https://doi.org/10.1016/j.advms.2013.10.002>
15. Ragažinskienė, O. (2004). Vaistinių augalų tyrinėjimai Vytauto Didžiojo universiteto Kauno botanikos sode. Kaunas: Kauno medicinos universitetas, *Medicina*, t. 40, Nr. 8.
16. Natkevičaitė, M., (1939). On the interspecific hybridisation in Verbascum and Celsia. Preliminary report. *Vytauto Didžiojo universiteto Matematikos ir gamtos fakultetų darbai*, 13(2), 165–82.
17. Grybauskas, K. (1927). Vaistiniai augalai Lietuvos universiteto Kauno botanikos sode. *Farmacijos žinios*, Nr. 3.
18. Grybauskas, K. (1936). *Kultūriniai apyniai ir jų auginimas*. Kaunas.
19. Grybauskas, K. (1941). Fenologinis žiedadulkių kritulių spektras. Vilniaus universiteto Matematikos-gamtos fakultetas. *Darbai*, 1(7).
20. Morkūnas, A., Gudanavičius, S., Dagytė, S. (1977). *Augalų introdukcija ir aklimatizacija MA Botanikos instituto Botanikos sode*. *Botanikos mokslų pasiekimai Tarybų Lietuvoje*. Vilnius: Mokslo.
21. Гуданавичюс, С. (1959). *Возможности культуры хмеля в естественных условиях Литовской ССР. Автореферат диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук*. Вильнюс.

Ona Ragažinskienė, Erika Šeinauskienė, Karolina Jackevičienė

Development of Interdisciplinary Scientific Research on Prospective Medicinal (Aromatic) Plants in the Medicinal and Spicy Plant Science Sector of VDU Botanical Garden

In solving the problem of increasing, preserving and improving public health diversity of medicinal (aromatic) plants, their introduction and interdisciplinary scientific research have scientific and practical significance not only in Lithuania, but also throughout the world. The report will present the development of interdisciplinary scientific research in the VMU Botanical Garden Scientific Department of Medicinal and Spice Plants Science Sector in 4 periods. The object of the research is scientific research on medicinal (aromatic) plants in separate stages. The aim of the research is to conduct a retrospective comparative analysis of interdisciplinary scientific research data on medicinal (aromatic) plants during the

introduction period in the long-term scientific collection of Medicinal Plants of the VMU Botanical Garden Scientific Department of Medicinal and Spice Plants Science Sector.

Keywords: medicinal plants, introduction, interdisciplinary research.

Gauta 2025 m. Kovo mėn., atiduota spaudai 2025 m. balandžio mėn.

Ona RAGAŽINSKIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Botanikos sodo vyresnioji mokslo darbuotoja, profesorė. Adresas: Vilties g. 6A, LT-46324 Kaunas, tel. +370 372 95287, el. paštas: ona.ragazinskiene@vdu.lt

Ona RAGAŽINSKIENĖ. Botanical Garden of Vytautas Magnus University, senior research worker, professor. Address: Vilties str. 6A, LT-46324 Kaunas. Phone: +370 37 295287, e-mail: ona.ragazinskiene@vdu.lt

Erika ŠEINAUSKIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Botanikos sodo vyriausioji botaninių kolekcijų kuratorė, magistrė. Adresas: Vilties g. 6A, LT-46324 Kaunas, tel. +370 372 95287, el. paštas: erika.seinauskiene@vdu.lt

Erika ŠEINAUSKIENĖ. Botanical Garden of Vytautas Magnus University, senior curator, magister. Address: Vilties str. 6A, LT-46324 Kaunas. Phone: +370 372 95287, e-mail: erika.seinauskiene@vdu.lt

Karolina JACKEVIČIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Botanikos sodo vyresnioji botaninių kolekcijų kuratorė, Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos magistrantė. Adresas: Ž. E. Žilibero g. 6, LT-46324 Kaunas, tel. +370 372 95287, el. paštas: karolina.jackeviciene@vdu.lt

Karolina JACKEVIČIENĖ. Botanical Garden of Vytautas Magnus University, senior curator, student of Vytautas Magnus University. Address: Ž. E. Žilibero str. 6, LT-46324 Kaunas. Phone: +370 372 95287, e-mail: karolina.jackeviciene@vdu.lt

VAISTINIŲ AROMATINIŲ AUGALŲ ALELOPATINIS POVEIKIS BALTOSIOS BALANDOS SĖKLŲ DYGIMUI

Karolina Jackevičienė, Aušra Sinkevičienė, Rasa Kimbirauskienė, Kęstutis Romanekas,
Ona Ragažinskienė, Giulnara Salimpur

Vytauto Didžiojo universitetas

Augaluose esančių junginių (alelochemikalų) panaudojimas kuriant naujas agrochemines medžiagas turi privalumų prieš sintetinius produktus bei užtikrina aplinkos tvarumą (Kocira et al., 2020). Tokių ekstraktų, kuriuose gausu augimo reguliatorių, mineralinių medžiagų ir kitų junginių, naudojimas gali paskatinti augalų augimą dygimo stadijoje. Taip pat svarbu ir ekstraktų koncentracija. Skirtingų augalų skirtingos koncentracijos gali turėti tiek teigiamą, tiek neigiamą poveikį.

Tyrimas atliktas Vytauto Didžiojo universitete Žemės ūkio akademijos bandymų stotyje. Tyrimo tikslas – nustatyti vaistinės medetkos (*Calendula officinalis* L.), tikrojo margainio (*Silybum marianum* L.) ir darželinės juodgrūdės (*Nigella damascena* L.) vandeninio ekstrakto poveikį baltosios balandos (*Chenopodium album* L.) dygimui, šaknelių, daigelių ilgiui ir sausųjų medžiagų kiekiui daiguose. Eksperimento variantai: 1) vaistinės medetkos ekstraktas; 2) tikrojo margainio ekstraktas; 3) darželinės juodgrūdės ekstraktas. Taip pat tyrimui pasirinktos 3 skirtingos vaistinių aromatinių augalų ekstrakto koncentracijos: 1) 1:10; 2) 1:50; 3) 1:250. Kontrolė – distiliuotas vanduo.

Atlikti tyrimai rodo, kad tikrojo margainio (*Silybum marianum* L.), darželinės juodgrūdės (*Nigella damascena* L.) ir vaistinės medetkos (*Calendula officinalis* L.) ekstraktų visos tirtos koncentracijos esmingai skatino baltosios balandos daigų augimą (nuo 19,2 iki 49,1 proc.) ir esmingai didino biomasę (nuo 1,1 iki 2 kartų), tačiau esmingai (nuo 1,5 iki 15 kartų) mažino sausųjų medžiagų kiekį. Tikrojo margainio ir vaistinės medetkos 1:10 koncentracijos ekstraktai esmingai slopino baltosios balandos (*Chenopodium album* L.) šaknų augimą (nuo 2,5 iki 18,9 proc.), tačiau esmingai didino baltosios balandos (*Chenopodium album* L.) sėklų (1,5 karto) sudygimą. Darželinės juodgrūdės *Nigella damascena* L.) ir vaistinės medetkos (*Calendula officinalis* L.) ekstraktai ir taikyta stipriausia (1:10) koncentracija esmingai mažino (nuo 2,9 iki 10,6 karto) baltosios balandos (*Chenopodium album* L.) sėklų dygimo indeksą.

Raktiniai žodžiai: alelopatija, baltoji balanda, vaistiniai augalai.

Ivadas

Alelopatija – biologinis reiškinys, kai vienas augalas gamina biochemines medžiagas, turinčias įtakos kito augalo augimui ir vystymuisi. Augaluose esančių junginių (alelochemikalų) panaudojimas kuriant naujas agrochemines medžiagas turi privalumų prieš sintetinius produktus bei užtikrina aplinkos tvarumą (Kocira et al., 2020). Naudojimas tokių ekstraktų, kuriuose gausu augimo reguliatorių, mineralinių medžiagų ir kitų junginių, gali paskatinti augalų augimą dygimo stadijoje. Taip pat svarbu ir ekstraktų koncentracija. Skirtingų augalų skirtingos koncentracijos gali turėti tiek teigiamą, tiek neigiamą poveikį. Sąveika tarp augalų alelocheminių junginių turi didelę įtaką rūšių pasiskirstymui ir gausai (Boutagayout et al., 2024).

Kartu su slopinančiu ar stimuliuojančiu alelochemikalų poveikiu buvo nustatytas keletas kitų šių cheminių medžiagų poveikis, įskaitant augalų apsaugą, maistinių medžiagų ir dirvožemio biotos kiekio didinimą (Aslam et al., 2017). Alelopatinių preparatų naudojimas svarbus sėklų dygimui, ypač ekologinio ūkininkavimo sąlygomis (Findura et al., 2020).

Tyrimo tikslas – nustatyti vaistinės medetkos (*Calendula officinalis* L.), tikrojo margainio (*Silybum marianum* L.) ir darželinės juodgrūdės (*Nigella damascena* L.) ekstrakto poveikį baltosios balandos (*Chenopodium album* L.) dygimui, šaknelių, daigelių ilgiui ir sausųjų medžiagų kiekiui daiguose. Baltoji balanda viena iš labiausiai paplitusių piktžolių rūšių, turinti neigiamą įtaką pasėliams. Vaistinė medetka, tikrasis margainis ir darželinė juodgrūdė pasirinkta dėl didelio visuomenės susidomėjimo ir naudojimo.

Tyrimo objektas – baltosios balandos sėklos, daiginamos skirtingų vaistinės medetkos, tikrojo margainio ir darželinės juodgrūdės vandeninėse ištraukose naudojant skirtingas 1:10, 10:50 ir 1:250 koncentracijas.

Tyrimų metodika

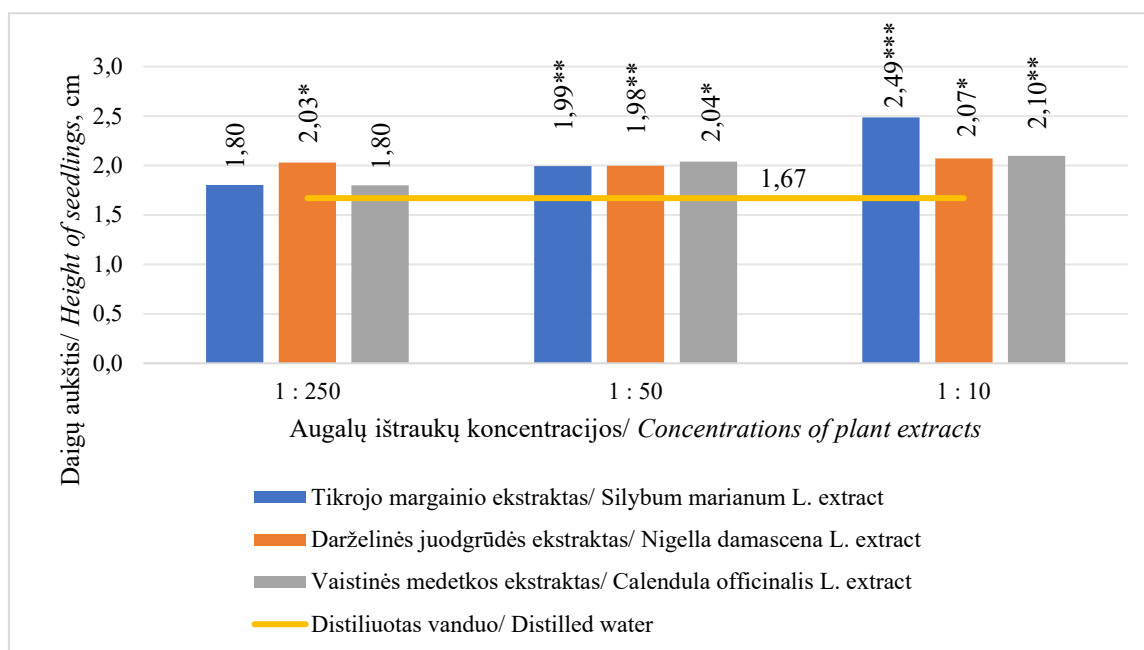
Isėlinių tarpinių augalų alelopatinių savybių nustatymas. Tyrimai buvo atlikti laboratorijoje taikant A. Grodzinskio (1990 m) metodiką. Augalai surinkti masinio žydėjimo tarpsnyje (fenologiniai tarpsniai). Ruošiant ištraukas, nesmulkinta augalų antžeminė dalis buvo užpildyta distiliuotu vandeniu (santykiu 1:10), laikoma kambario temperatūroje (18 °C) 24 val. Gauta ištrauka buvo nufiltruota ir praskiesta santykiais: 1:10, 1:50, 1:250. Į kiekvieną Petri lėkštelę buvo pilama po 5 ml tirpalo ir išdėliotos 30 tiriamų augalų sėklų, kurios surinktos VDU Žemės ūkio akademijos Bandymų stotyje (Velička ir kt., 2012). Tyrimas atliktas 3 pakartojimais. Sėklų sudygimas šaknelių ir daigelių vystymasis skirtinguose tirpaluose buvo palygintas su distiliuotame vandenyje pasėtomis sėklomis. Sudygusių sėklų sausųjų medžiagų kiekis proc. nustatytas

džiovinant mėginius 105 °C temperatūroje džiovinimo spintoje „Memmert“ (Vokietija) iki pastovios masės (LST ISO 751:2000). Biomasės nustatymui pasverti 10 daigintų sėklų kartu su daigais ir šaknimis. Sėklų sudygimas bei dygimo indeksas skirtinguose ištraukose palygintas su destiliuotame vandenyje dygstančiomis sėklomis. Buvo nustatyta: dygimo energija proc., dygimo pradžia, arba pradinis dygimas (sėklos sudygimas buvo fiksuojamas pasirodžius gemalinei šaknelei), sudygimo pabaiga (dygimas buvo stebimas 10-ies dienų intervale) ir apskaičiuotas bendras varianto vidutinis sėklų daigumas (Malinauskaitė ir kt., 2016).

Tyrimo duomenys apdoroti vieno veiksnio dispersinės analizės metodu, naudojant kompiuterines programas ANOVA ir GLM iš programos paketo SYSTAT 10. Skirtumų tikimybės lygis įvertintas LSD testu: * 0,05 ≤ P > 0,01; ** 0,01 ≤ P > 0,001; *** P ≤ 0,001 (SPSS Inc., 2000).

Rezultatai ir aptarimas

Baltosios balandos daigų aukštis, vyravo nuo 7,8 iki 49,1 proc., didesnis naudojant visas tirtas augalų ištraukas ir jų koncentracijas (1:250, 1:50, 1:10), palyginus su distiliuotu vandeniu. Baltosios balandos daigai distiliuotame vandenyje siekė 1,67 cm. Nustatytas, kad 1:50 ir 1:10 koncentracijų tikrojo margainio ekstraktas esmingai skatino baltosios balandos daigų augimą nuo 19,2 iki 49,1 proc., palyginus su kontroliniu variantu – distiliuotu vandeniu (1 pav.).



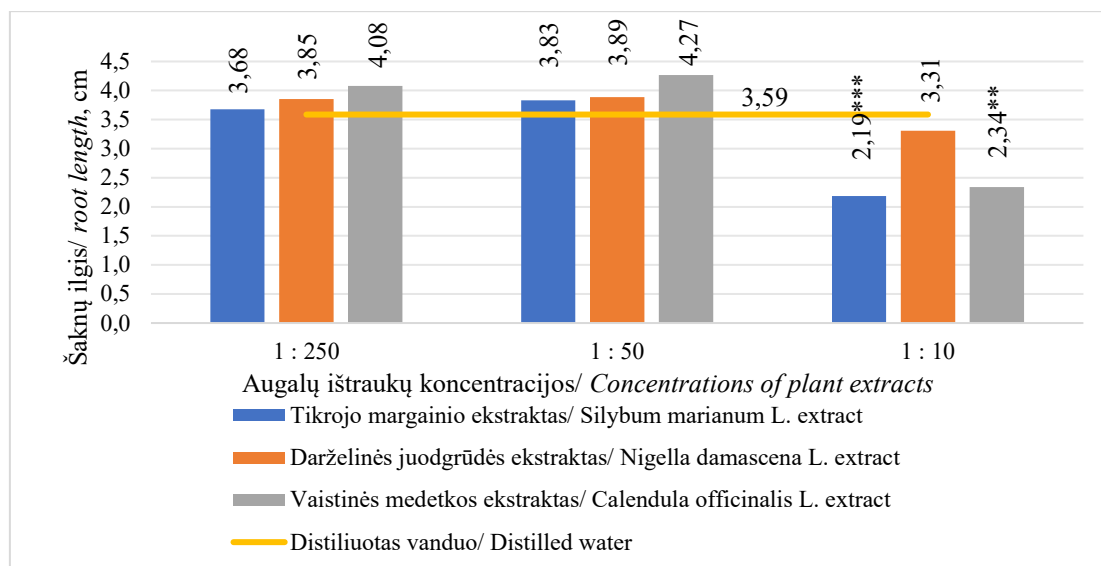
1 pav. Augalų ištraukų skirtingų koncentracijų įtaka baltosios balandos (*Chenopodium album* L.) daigų aukščiui
Fig. 1. Effect of different concentrations of plant extracts on the height of white dove (*Chenopodium album* L.) seedlings

Pastaba: * $P \leq 0,05$; ** $0,01 \leq P > 0,001$; *** $P \leq 0,05$.

Note: * $P \leq 0.05$; ** $0.01 \leq P > 0.001$; *** $P \leq 0.05$.

Kitų mokslininkų tyrimų rezultatai parodė, kad visų koncentracijų kultūrinių augalų ekstraktai esmingai skatino rapsų daigų augimą nuo 24,4 iki 43,2 proc. (Romaneckas, 2024). Panašius rezultatus nustatėme ir mes atlikę tyrimą. Darželinės juodgrūdės ir vaistinės medetkos ekstraktai skatino baltosios balandos augimą (daigų aukštį) nuo 7,8 iki 25,7 proc., lyginant su kontroliniu variantu.

Tikrojo margainio, darželinės juodgrūdės ir vaistinės medetkos ekstraktų skirtingos 1:250 ir 1:50 koncentracijos skatino baltosios balandos šaknelių augimą nuo 2,5 iki 18,9 proc., palyginti su distiliuotu vandeniu (2 pav.).



2 pav. Augalų ištraukų skirtingų koncentracijų įtaka baltosios balandos (*Chenopodium album* L.) šaknų ilgiui

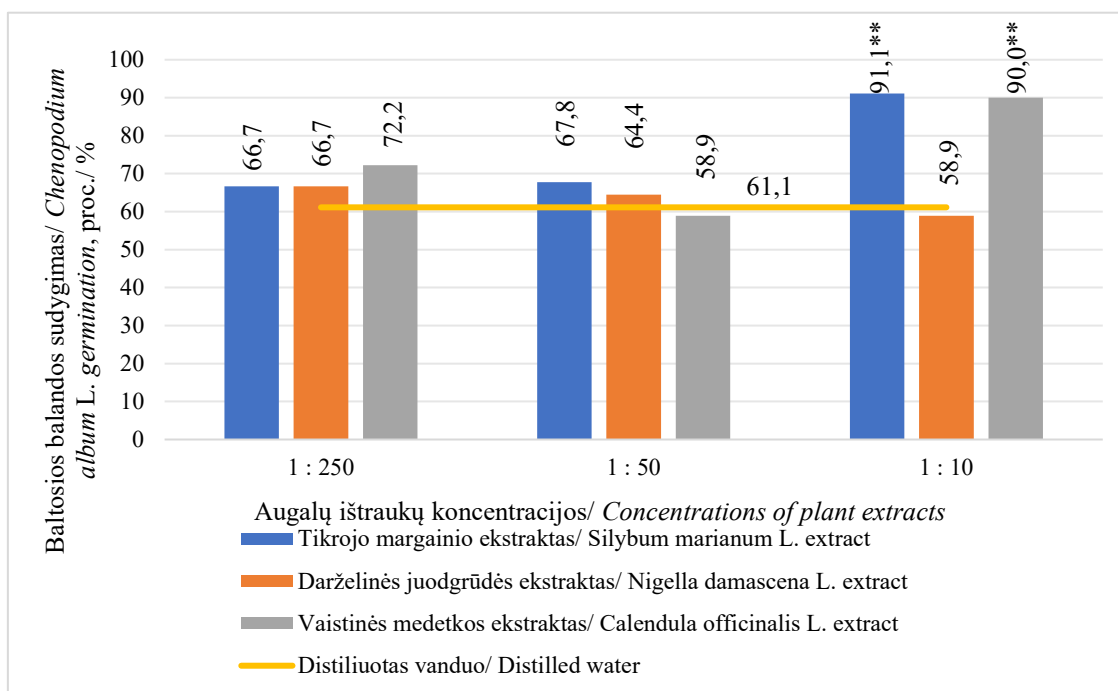
Fig. 2. Effect of different concentrations of plant extracts on the root length of white dove (*Chenopodium album* L.)

Pastaba: ** $0,01 \leq P > 0,001$; *** $P \leq 0,05$.

Note: ** $0,01 \leq P > 0,001$; *** $P \leq 0,05$.

Tikrojo margainio ir vaistinės medetkos 1:10 koncentracijos ekstraktai esmingai slopino baltosios balandos šaknelių augimą nuo 66,2 iki 70,7 proc., lyginant su distiliuotu vandeniu.

Esminės teigiamos įtakos (1,5 karto) baltosios balandos sėklų sudygimui turėjo tikrojo margainio ir vaistinės medetkos 1:10 koncentracijos ekstraktai, palyginti su distiliuotu vandeniu (3 pav.).



3 pav. Augalų ištraukų skirtingų koncentracijų įtaka baltosios balandos (*Chenopodium album* L.) sudygimui

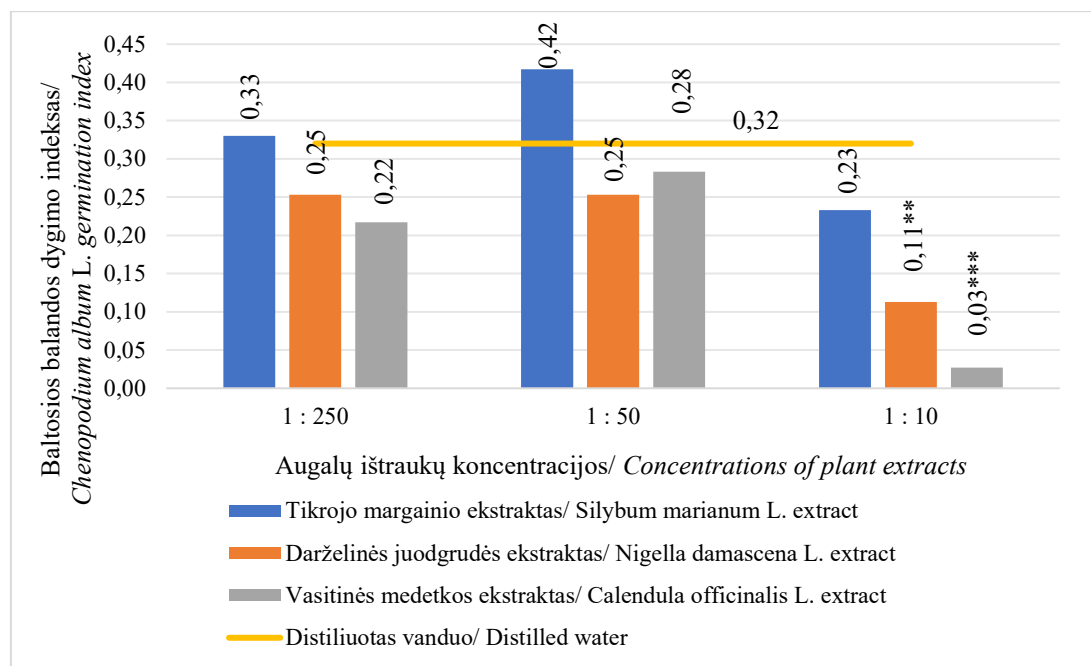
Fig. 3. Effect of different concentrations of plant extracts on the germination of white dove (*Chenopodium album* L.)

Pastaba: ** $0,01 \leq P > 0,001$.

Note: ** $0,01 \leq P > 0,001$.

Kitos koncentracijos vaistinių aromatinių augalų ekstraktai esminės įtakos baltosios balandos sėklų sudygimui neturėjo, buvo labai panašūs ir svyravo nuo 58,9 iki 72,2 proc.

Baltosios balandos dygimo indeksą esmingai mažino 1:10 koncentracijos darželinės juodgrūdės ir vaistinės medetkos ekstraktai, nuo 2,9 iki 10,6 karto, lyginant su kontrole (4 pav.).



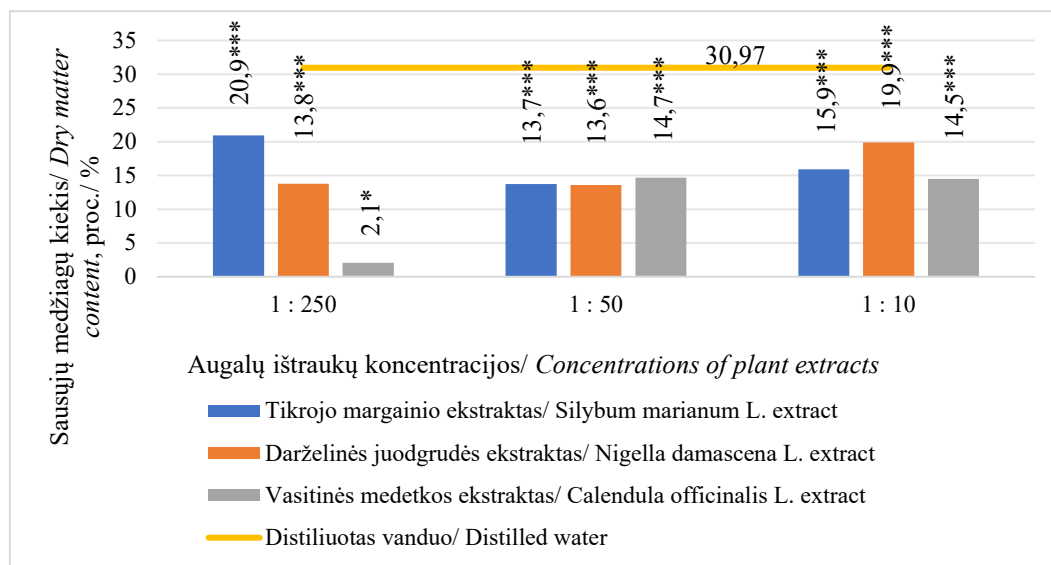
4 pav. Augalų ištraukų skirtingų koncentracijų įtaka baltosios balandos (*Chenopodium album* L.) dygimo indeksui
Fig. 4. Effect of different concentrations of plant extracts on the germination index of white dove (*Chenopodium album* L.)

Pastaba: ** $0,01 \leq P < 0,001$; *** $P \leq 0,05$.

Note: ** $0,01 \leq P < 0,001$; *** $P \leq 0,05$.

Tikojo margainio ekstraktai prie šių koncentracijų 1:250, 1:50 didino tik 3,1 proc., o darželinės juodgrūdės ir vaistinės medetkos ekstraktai mažino nuo 12,5 iki 31,2 proc. vnt. dygimo indeksą, tačiau neesmingai.

Gauti tyrimų rezultatai parodė, kad tikojo margainio, darželinės juodgrūdės ir vaistinės medetkos visų koncentracijų ekstraktai esmingai mažino sausųjų medžiagų kiekį baltosios balandos daiguose nuo 1,5 iki 15,0 karto, lyginant su distiliuotu vandeniu (5 pav.).



5 pav. Augalų ištraukų skirtingų koncentracijų įtaka baltosios balandos (*Chenopodium album* L.) sausųjų medžiagų kiekiui
Fig. 5. Effect of different concentrations of plant extracts on the dry matter content of white dove (*Chenopodium album* L.)

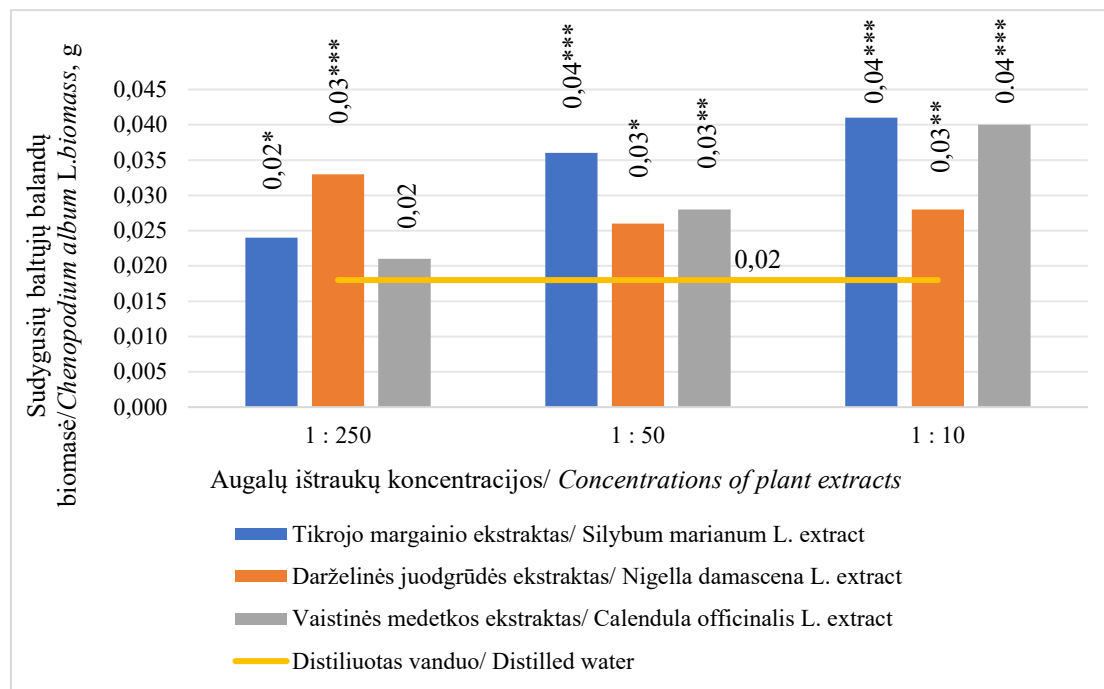
Pastaba: * $P \leq 0,05$; *** $P \leq 0,05$.

Note: * $P \leq 0,05$; *** $P \leq 0,05$.

Mūsų gautus tyrimų rezultatus patvirtina ir kiti mokslininkai. Mokslininkų tyrimų duomenimis, nustatyta, kad 1:50 koncentracijos daigiametės svidrės (*Lolium perenne* L.), paprastojo miežio (*Hordeum vulgare* L.) ir sėjamojo rugio (*Secale cereal* L.) ekstraktai taip pat mažino augalų sausųjų medžiagų kiekį, lyginant su distiliuotu vandeniu (Romaneckas, 2024). Mažiausias baltosios balandos sausųjų medžiagų kiekis nustatytas

naudojant 1:250 koncentracijos vaistinės medetkos ekstraktą (14,7 karto), o daugiausia – 1:250 koncentracijos tikrojo margainio ekstrakto (1,5 karto).

Visų tirtų augalų ekstraktų visos tirtos koncentracijos, išskyrus vaistinės medetkos 1:250 koncentracijos ekstraktą, esmingai didino (nuo 1,1 iki 2 kartų) baltosios balandos biomasę, lyginant su kontrole (6 pav.).



6 pav. Augalų ištraukų skirtingų koncentracijų įtaka baltosios balandos (*Chenopodium album* L.) biomasei

Fig. 6. Effect of different concentrations of plant extracts on the biomass of white pigeon pea (*Chenopodium album* L.)

Pastaba: * $P \leq 0,05$; ** $0,01 \leq P < 0,001$; *** $P \leq 0,05$.

Note: * $P \leq 0,05$; ** $0,01 \leq P < 0,001$; *** $P \leq 0,05$.

Esmingai didžiausia sudygusių baltosios balandos biomasė nustatyta esant 1:10 koncentracijai tikrojo margainio ekstrakto (2 kartai), lyginant su distiliuotu vandeniu.

Išvados

1. Tikrojo margainio (*Silybum marianum* L.), darželinės juodgrūdės (*Nigella damascena* L.) ir vaistinės medetkos (*Calendula officinalis* L.) ekstraktų visos tirtos koncentracijos esmingai skatino baltosios balandos (*Chenopodium album* L.) daigų augimą (nuo 19,2 iki 49,1 proc.) ir esmingai didino biomasę (nuo 1,1 iki 2 kartų), tačiau esmingai (nuo 1,5 iki 15 kartų) mažino sausųjų medžiagų kiekį, lyginant su distiliuotu vandeniu.
2. Tikrojo margainio (*Silybum marianum* L.) ir vaistinės medetkos 1:10 koncentracijos ekstraktai esmingai slopino baltosios balandos (*Chenopodium album* L.) šaknų augimą (nuo 2,5 iki 18,9 proc.), tačiau esmingai didino baltosios balandos (*Chenopodium album* L.) sėklų (1,5 karto) sudygimą, lyginant su kontrole.
3. Darželinės juodgrūdės (*Nigella damascena* L.) ir vaistinės medetkos (*Calendula officinalis* L.) 1:10 koncentracijos ekstraktai esmingai mažino (nuo 2,9 iki 10,6 karto) dygimo indeksą, lyginant su distiliuotu vandeniu.

Literatūra

1. Aslam, F., Khaliq, A., Matloob, A., Tanveer, A., Hussain, S., Zahir, Z. A. (2017). Allelopathy in agro – ecosystems: a critical review of wheat allelopathy – concepts and implications. *Chemoecology*, 27(1), 1–24.
2. Boutagayout, A., Belmalha, S., Hamdani, A., Benabderrahmane, A., Adiba, A., Ezrari, S., Nassiri, L., Bouiamrine, E. H. (2024). Phytochemical analysis of crop extracts and assessment of their allelopathic effect on germination and seedling growth of wild mustard (*Sinapis arvensis*) and faba bean (*Vicia faba* var. minor). *Frontiers in Ecology and the Environment*, 44(4), 741–751.
3. Findura, P., Hara, P., Szpraga, A., Kocera, S., Czewinska, E., Bartoš, P., Treder, K. (2020). Evaluation of the effects of allelopathic aqueous plant extracts, as potential preparations for seed dressing, on the

modulation of Cauliflower seed germination. *Agriculture*, 10(4), 122. <https://doi.org/10.3390/agriculture10040122>

4. Grodzinsky, A. M. (1990). *Allelopathy and Productivity of Plants*. Naukova Dumka, Kiev.
5. Kocira, S., Hara, P., Szparaga, A., Czerwińska, E., Beloev, H., Findura, P., Bajus, P. (2020). Evaluation of the effectiveness of the use of biopreparations as seed dressings. *Agriculture*, 10(4), 90. <https://doi.org/10.3390/agriculture10040090>.
6. Malinauskaitė, R. (2016). *Jonizuoto vandens įtaka Sosnovskio barščio (Heracleum sosnovskyi Mandel) lapų ištraukos alelopatinėms savybėms*. Konferencija „Žmogaus ir gamtos sauga“, Akademija, 160–162.
7. Romanekas, K. (2024). Daugianarių agroekosistemų, grįstų alelopatinėmis aromatinių augalų savybėmis, daugiafunkciškumas, tvarumas ir bioekonominis efektyvumas. *Projekto ataskaita*, 8–10.
8. SPSS. (2000). *Instat 10. Statistics I*. Chicago, 663.
9. Velička, R., Čepulienė, R., Marcinkevičienė, A., Pupalienė, R., Kriaučiūnienė, Z., Kosteckas, R., Bieliauskaitė, R. (2012). Rapsų liekanų vandeninių ištraukų alelopatinė įtaka vasarinių miežių dygimui bei augimui. *Žemės ūkio mokslai*, 19(1).

Karolina Jackevičienė, Aušra Sinkevičienė, Rasa Kimbirauskienė, Kęstutis Romanekas, Ona Ragažinskienė, Giulnara Salimpur

Allelopathic Effect of Medicinal, Aromatic Plants on the Germination of *Chenopodium Album* L. Seeds

The use of plant-derived compounds – allelochemicals – in the development of new agrochemicals has advantages over synthetic products and ensures environmental sustainability (Kocira et al., 2020). The use of such extracts, which are rich in growth regulators, minerals and other compounds, can stimulate plant growth at the germination stage. The concentration of extracts is also important. Different concentrations in different plants can have both positive and negative effects.

The study was carried out at the Vytautas Magnus University at the Academy of Agriculture Experimental Station. The aim of the study was to determine the effect of extracts of *Calendula officinalis* L., *Silybum marianum* L. and *Nigella damascena* L. on the germination, root length, seedling length and dry matter content of *Chenopodium album* L. seedlings. Experimental variations: 1. *Calendula officinalis* L.; 2. *Silybum marianum* L.; 3. *Nigella damascena* L. Also, 3 different concentrations of medicinal-aromatic plant extract were chosen for the study: 1) 1:10; 2) 1:50; 3) 1:250. Control - distilled water.

In conclusion, all the concentrations of the extracts of *Calendula officinalis* L., *Silybum marianum* L. and *Nigella damascena* L. studied significantly promoted the growth of *Chenopodium album* L. seedlings (19.2 to 49.1%) and significantly increased biomass (1.0 to 2.0 times), but significantly decreased dry matter content (1.5 to 15.0 times). Extracts of *Calendula officinalis* L., *Silybum marianum* L. at a concentration of 1:10 significantly inhibited the growth of *Chenopodium album* L. roots (from 2.5 to 18.9%), but significantly increased the germination of *Chenopodium album* L. seeds (by a factor of 1.5). Extracts of *Nigella damascena* L. and *Calendula officinalis* L. at a concentration of 1:10 significantly reduced the germination index (from 2.9 to 10.6 times).

Keywords: Allelopathy, *Calendula officinalis* L., medicinal plants.

Gauta 2025 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2025 m. balandžio mėn.

Karolina JACKEVIČIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos, Agronomijos fakulteto, Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedros Agronomijos studijų programos doktorantė. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r., tel. +370 372 95287, el. paštas: karolina.jackeviciene@vdu.lt.

Karolina JACKEVIČIENĖ. Agriculture Academy of Vytautas Magnus University, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Science, PhD student in Agronomy. Address: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno dist. Phone: +370 372 95287, e-mail: karolina.jackeviciene@vdu.lt

Aušra SINKEVIČIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos, Agronomijos fakulteto, Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedros biomedicinos (žemės ūkio) mokslų daktaras, docentė. Adresas: Studentų g. 15, LT-53361 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52229, el. paštas: ausra.sinkeviciene@vdu.lt

Aušra SINKEVIČIENĖ. Agriculture Academy of Vytautas Magnus University, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Science, doctor of Biomedical Science, assoc. prof. Address: Studentų g. 15, LT-53361 Akademija, Kauno dist. Phone: +370 377 52229, e-mail: ausra.sinkeviciene@vdu.lt.

Rasa KIMBIRAUSKIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos, Agronomijos fakulteto, Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedros biomedicinos (žemės ūkio) mokslų daktaras, lektorė. Adresas: Studentų g. 15, LT-53361 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52229, el. paštas: rasa.kimbirauskiene@vdu.lt

Rasa KIMBIRAUSKIENĖ. Agriculture Academy of Vytautas Magnus University, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Science, doctor of Biomedical Science, lecture. Address: Studentų g. 15, LT-53361 Akademija, Kauno dist. Phone: +370 377 52229, e-mail: rasa.kimbirauskiene@vdu.lt.

Kęstutis ROMANECKAS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos, Agronomijos fakulteto, Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedros biomedicinos (žemės ūkio) mokslų daktaras, profesorius. Adresas: Studentų g. 15, LT-53361 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52229, el. paštas: kestutis.romaneckas@vdu.lt

Kęstutis ROMANECKAS. Agriculture Academy of Vytautas Magnus University, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Science, doctor of Biomedical Science, profesor. Address: Studentų g. 15, LT-53361 Akademija, Kauno r. Phone: +370 377 52229, e-mail: kestutis.romaneckas@vdu.lt.

Ona RAGAŽINSKIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Botanikos sodo vyresnioji mokslo darbuotoja, profesorė. Adresas: Vilties g. 6A, LT-46324 Kaunas, tel. +370 372 95287, el. paštas: ona.ragazinskiene@vdu.lt

Ona RAGAŽINSKIENĖ. Botanical Garden of Vytautas Magnus University, senior research worker, professor. Address: Vilties st. 6A, LT-46324 Kaunas. Phone: +370 372 95287, e-mail: ona.ragazinskiene@vdu.lt

Giulnara SALIMPUR. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos, Agronomijos fakulteto, Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedros Agronomijos studijų programos magistrantė. Adresas: Studentų g. 15, LT-53361 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52229, el. paštas: giulnara.salimpur@vdu.lt

Giulnara SALIMPUR. Agriculture Academy of Vytautas Magnus University, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Science, Agronomy graduate student of Science (MSc). Address: Studentų g. 15, LT-53361 Akademija, Kauno r. Phone: +370 377 52229, e-mail: giulnara.salimpur@vdu.lt

VAISTINIŲ AROMATINIŲ AUGALŲ ALELOPATINIS POVEIKIS PAPRASTOJO KUKURŪZO (*ZEА MAYS L.*) SĖKLŲ DYGIMUI

Giulnara Salimpur, Aušra Sinkevičienė, Rasa Kimbirauskienė, Kęstutis Romanekas,
Ona Ragažinskienė, Karolina Jackevičienė

Vytauto Didžiojo universitetas

Alelopatija – tai viena iš cheminių konkurencijos formų ekosistemoje, veikianti daugelį augalų. Ji pasireiškia, kai antžeminės augalų dalys, šaknys ar sėklos išskiria biochemines medžiagas, kurios turi neigiamą arba teigiamą reikšmę augalo dygimui, augimui ir vystymuisi.

Tyrimas atliktas Vytauto Didžiojo universitete, Žemės ūkio akademijos bandymų stotyje. Tyrimo tikslas – nustatyti vaistinės medetkos (*Calendula officinalis* L.), tikrojo margainio (*Silybum marianum* L.) ir darželinės juodgrūdės (*Nigella damascena* L.) vandeninio ekstrakto poveikį paprastojo kukurūzo (*Zea mays* L.) sėklų daigumui.

Eksperimento variantai: 1) vaistinės medetkos ekstraktas; 2) tikrojo margainio ekstraktas; 3) darželinės juodgrūdės ekstraktas. Taip pat tyrimui pasirinktos 3 skirtingos vaistinių aromatinių augalų ekstrakto koncentracijos: 1) 1:10; 2) 1:50; 3) 1:250. Kontrolė – distiliuotas vanduo.

Tiriamuoju laikotarpiu nustatyta, kad vaistinės medetkos 1:10 koncentracijos ekstraktas mažino kukurūzų sėklų sudygimą (20 proc. vnt.), o 1:50 koncentracijos ekstraktas mažino kukurūzų daigų aukštį (1,2 karto) ir didino dygimo indeksą 1,5 karto, lyginant su distiliuotu vandeniu. Tikrojo margainio (*Silybum marianum* L.) 1:250 koncentracijos ekstraktas mažino kukurūzų daigų biomasę (5,6 proc.) ir slopino šaknelių augimą (8,9 proc.), lyginant su distiliuotu vandeniu. Visos tirtos tikrojo margainio (*Silybum marianum* L.) koncentracijos didino kukurūzų sausųjų medžiagų kiekį (nuo 3,7 iki 5 proc. vnt.), lyginant su kontrole.

Raktiniai žodžiai: andeninė ištrauka, paprastasis kukurūzas, vaistiniai aromatiniai augalai.

Įvadas

Alelopatija – viena iš cheminių konkurencijos formų ekosistemoje, veikianti daugelį augalų. Alelopatija yra receptorinių ir donorinių augalų sąveikos būdas ir gali turėti teigiamą poveikį (pvz., žemės ūkio valdymui, piktžolių kontrolei, pasėlių apsaugai ar pasėlių atkūrimui) arba neigiamą (pvz., autotoksiškumas, ligos ar biologinė invazija) (Cheng, Cheng, 2015). Šis poveikis buvo žinomas ir naudojamas žemės ūkyje nuo senų senovės (Zeng et al., 2014).

Kitų tyrimų duomenimis, nustatyta, kad poveikio pobūdis priklauso nuo augalų rūšies, vystymosi tarpsnio ir paruoštų koncentracijų. Taip pat nuo pasirinktos augalo dalies – antžeminės dalies ištraukos stipriau slopina sėklų daigumą nei šaknų (Baležentienė, Šežienė, 2010). Tinkamas alelopatijos taikymas pasėlių produktyvumui ir aplinkos apsaugai gerinti taikant aplinkai nekenksmingą piktžolių, vabzdžių kenkėjų, pasėlių ligų kontrolę, išsaugant azotą pasėlių žemėse ir sintetinant naujas agrochemines medžiagas, pagrįstas alelocheminėmis medžiagomis, atkreipė daug dėmesio alelopatiniuose tyrimuose (Cheng, Cheng, 2015).

Tyrimo tikslas – nustatyti vaistinės medetkos (*Calendula officinalis* L.), tikrojo margainio (*Silybum marianum* L.) ir darželinės juodgrūdės (*Nigella damascena* L.) ekstrakto poveikį paprastojo kukurūzo (*Zea mays* L.) sėklų daigumui. Paprastasis kukurūzas, vaistinė medetka, tikrasis margainis ir darželinė juodgrūdė pasirinkta dėl didelio visuomenės susidomėjimo ir vartojimo.

Tyrimo objektas – paprastojo kukurūzo sėklos daiginamos skirtingų koncentracijų vaistinės medetkos, tikrojo margainio ir darželinės juodgrūdės vandeninėse ištraukose.

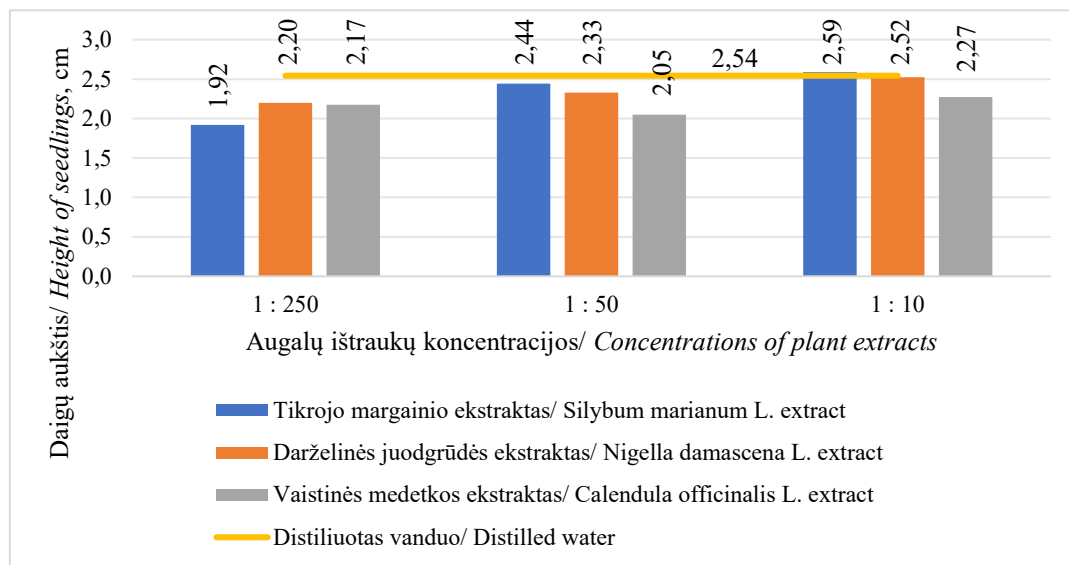
Tyrimų metodika

Įsėlinių tarpinių augalų alelopatinių savybių tyrimas atlikti laboratorijoje pagal A. Grodzinskio (1990 m.) metodiką. Augalai surinkti masinio žydėjimo tarpsnyje (fenologiniai tarpsniai). Nesmulkinta augalų antžeminė dalis užpilta distiliuotu vandeniu (santykiu 1:10), laikoma kambario temperatūroje (18 °C) 24 val. Gauta ištrauka nufiltruota ir praskiesta santykiu: 1:10, 1:50, 1:250. Į kiekvieną Petri lėkštelę pilama po 5 ml tirpalo ir išdėliojama po 20 tiriamų kultūrinių augalų sėklos. Tyrimas atliktas 3 pakartojimais. Naudotos VDU Žemės ūkio akademijos bandymų stoties sėklos. Sėklų sudygimas skaičiuotas po 5 dienų, o šaknelės ir daigeliai matuojami po 10 dienų. Sėklų sudygimas, šaknelių ir daigelių vystymasis skirtinguose tirpaluose buvo palygintas su distiliuotame vandenyje dygstančiomis sėklomis, šaknelių ir daigelių vystymusi. Sudygusių sėklų sausųjų medžiagų kiekis proc. nustatytas džiovinant mėginius 105 °C temperatūroje džiovinimo spintoje „Memmert“ (Vokietija) iki pastovios masės (LST ISO 751:2000). Dygimo indeksas įvertintas suskaičiavus sudygusias sėklas praėjus trimis ir penkioms dienoms nuo daiginimo pradžios. Padalinus pirmą reikšmę iš antros suskaičiuojamas dygimo indeksas. Biomasei nustatyti pasverta 10 daigintų sėklų kartu su daigais ir šaknimis (Velička ir kt., 2012; Malinauskaitė ir kt., 2016).

Tyrimo duomenys apdoroti vieno veiksnio dispersinės analizės metodu, naudojant kompiuterines programas ANOVA ir GLM iš programos paketo SYSTAT 10. Skirtumų tikimybės lygis įvertintas LSD testu: * $0,05 \leq P < 0,01$; ** $0,01 \leq P < 0,001$; *** $P \leq 0,001$ (SPSS Inc., 2000).

Rezultatai ir aptarimas

Išmatavus paprastojo kukurūzo daigelių aukštį, nustatyta, kad distiliuotame vandenyje kukurūzų daigeliai siekė 2,54 cm (1 pav.). Nustatyta, kad tik tikrojo margainio (*Silybum marianum* L.) ištraukų 1:10 koncentracija skatino daigelių augimą, lyginant su distiliuotu vandeniu. Tačiau naudojamos vaistinių aromatinių augalų ištraukų silpnesnės (1:50 ir 1:250) koncentracijos slopino nuo 3,94 iki 24,41 proc. daigelių augimą. Mokslininkas K. Romanekas (2024) atliko tyrimą ir gavo priešingą ekstraktų poveikį sėklų dygimui. Gauti tyrimų rezultatai parodė, kad visų koncentracijų daugiametės svidrės (*Lolium perenne* L.) ekstraktas esmingai skatino rapsų daigų augimą nuo 24,4 iki 43,2 proc.



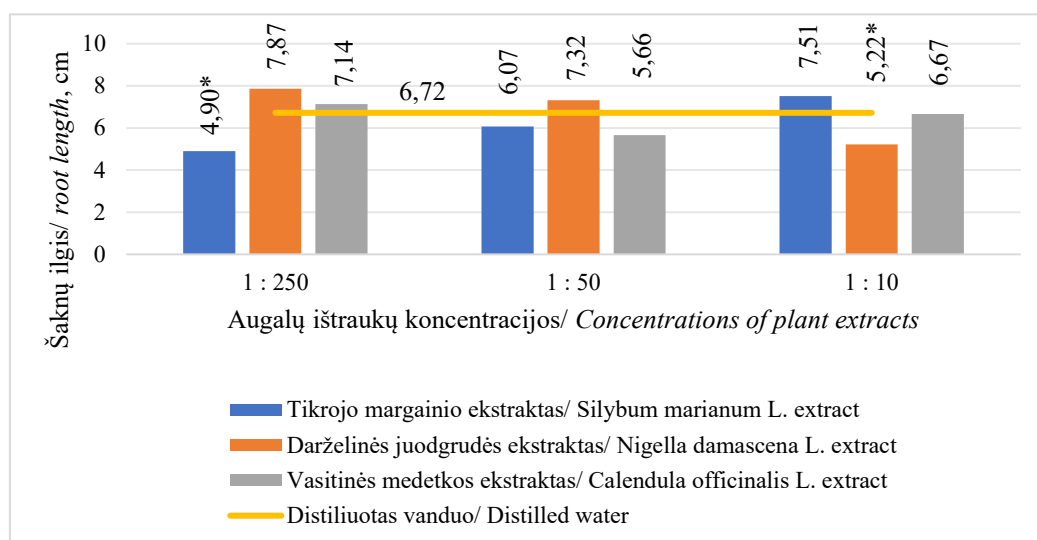
1 pav. Augalų ištraukų skirtingų koncentracijų poveikis paprastojo kukurūzo (*Zea mays* L.) daigelių aukščiui

Fig. 1. Effect of different concentrations of plant extracts on the height of maize (*Zea mays* L.) seedlings

Pastaba: esminių skirtumų nėra: $P > 0,05$.

Note: no significant differences: $P > 0,05$.

Tikrojo margainio 1:250 koncentracijos ekstraktas labiausiai mažino paprastojo kukurūzo dygimą – 1,3 karto.



2 pav. Augalų ištraukų skirtingų koncentracijų poveikis paprastojo kukurūzo (*Zea mays* L.) šaknų ilgiui

Fig. 2. Effect of different concentrations of plant extracts on root length in maize (*Zea mays* L.)

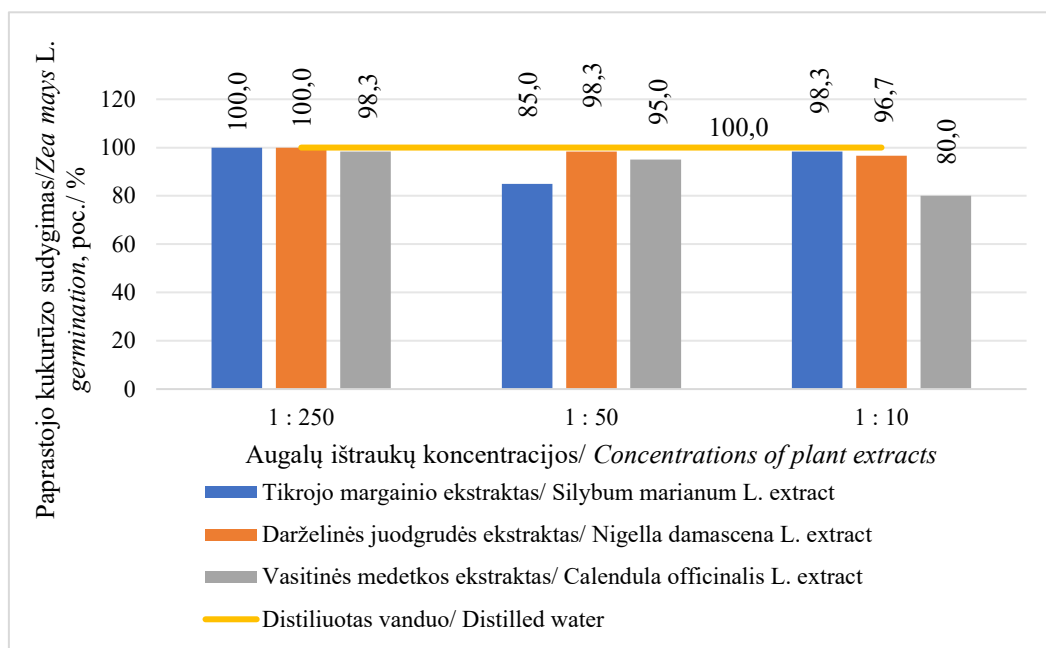
Pastaba: * $P \leq 0,05$.

Note: * $P \leq 0,05$.

Išmatavus kukurūzų šaknelių ilgį nustatyta, kad distiliuotame vandenyje kukurūzų šaknelių ilgis siekė 6,72 cm (2 pav.). Vaistinių aromatinių augalų ištraukų įvairios koncentracijos kukurūzų šaknelių ilgiui turėjo nevienodą poveikį. Darželinės juodgrūdės (*Nigella damascena* L.) 1:10 koncentracijos ekstraktas ir tikrojo margainio (*Silybum marianum* L.) 1:250 koncentracijos ekstraktas esmingai mažino nuo 22,3 iki 27,1 proc. kukurūzų šaknelių ilgį. Tikrojo margainio (*Silybum marianum* L.) 1:10 koncentracijos ekstraktas ir darželinės juodgrūdės (*Nigella damascena* L.) 1:250 ir 1:50 koncentracijų ekstraktai skatino kukurūzų šaknų augimą nuo 1,1 iki 1,2 karto, lyginant su kontrole.

Vaistinės medetkos (*Calendula officinalis* L.) ekstraktas teigiamai veikė (6,2 proc.) kukurūzų šaknelių augimą tik 1:250 koncentracijos.

Nustačius paprastojo kukurūzo (*Zea mays* L.) sėklų sudygimą vandeninėse vaistinių aromatinių augalų ištraukose skirtingose koncentracijose esminių skirtumų nenustatyta (3 pav.).



3 pav. Augalų ištraukų skirtingų koncentracijų poveikis paprastojo kukurūzo (*Zea mays* L.) sudygimui

Fig. 3. Effect of different concentrations of plant extracts on the germination of maize (*Zea mays* L.)

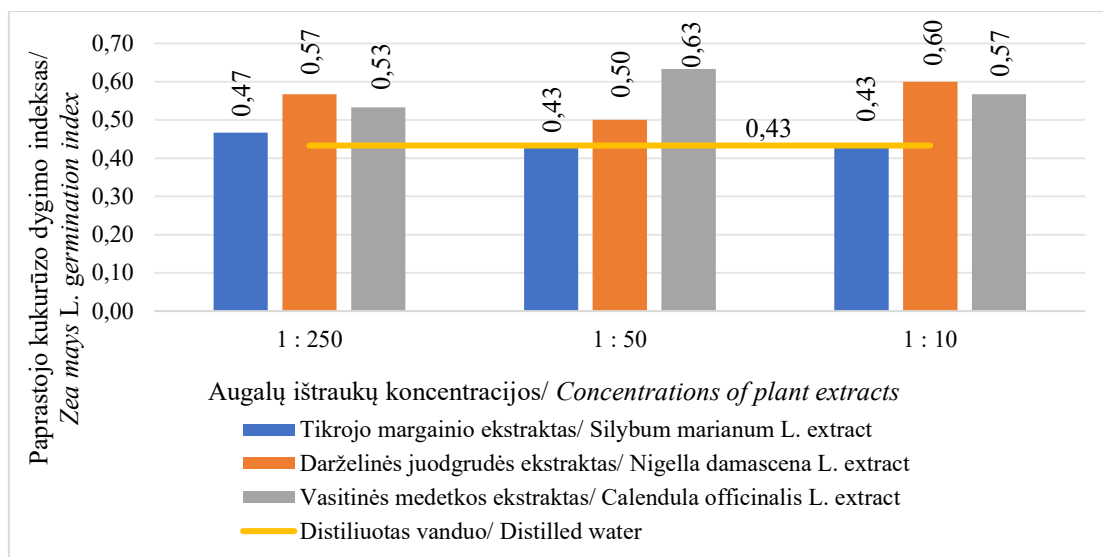
Pastaba: esminių skirtumų nėra: $P > 0,05$.

Note: no significant differences: $P > 0,05$.

Visų tirtų vaistinių, aromatinių augalų ekstraktų koncentracijos (1:250; 1:50; 1:10) kukurūzų sėklų dygimui turėjo panašų poveikį. Nustatyta, kad tikrojo margainio (*Silybum marianum* L.) 1:50 koncentracijos ekstraktas ir vaistinės medetkos (*Calendula officinalis* L.) 1:10 koncentracijos ekstraktas labiausiai mažino kukurūzų sėklų dygimą nuo 15,0 iki 20 proc. vnt., palyginti su distiliuotu vandeniu.

Kukurūzų dygimo indeksui vaistinių, aromatinių augalų ištraukos, taikant skirtingas koncentracijas, esminio poveikio taip pat neturėjo, lyginant su distiliuotu vandeniu (4 pav.).

Visi tirti vaistinių aromatinių augalų ekstraktai ir taikytos skirtingos koncentracijos didino kukurūzų dygimo indeksą. Tik tikrojo margainio (*Silybum marianum* L.) ekstrakto 1:10 ir 1:50 koncentracijos turėjo vienodą poveikį kaip ir kontrolinis variantas. Darželinės juodgrūdės (*Nigella damascena* L.) ir vaistinės medetkos (*Calendula officinalis* L.) ekstraktai ir jų naudotos koncentracijos neesmingai didino kukurūzų sėklų dygimo indeksą nuo 1,16 iki 1,47 karto, lyginant su distiliuotu vandeniu. Didžiausias (0,63) kukurūzų dygimo indeksas nustatytas naudojant vaistinės medetkos (*Calendula officinalis* L.) 1:50 koncentracijos ekstraktą, lyginant su kontrole.



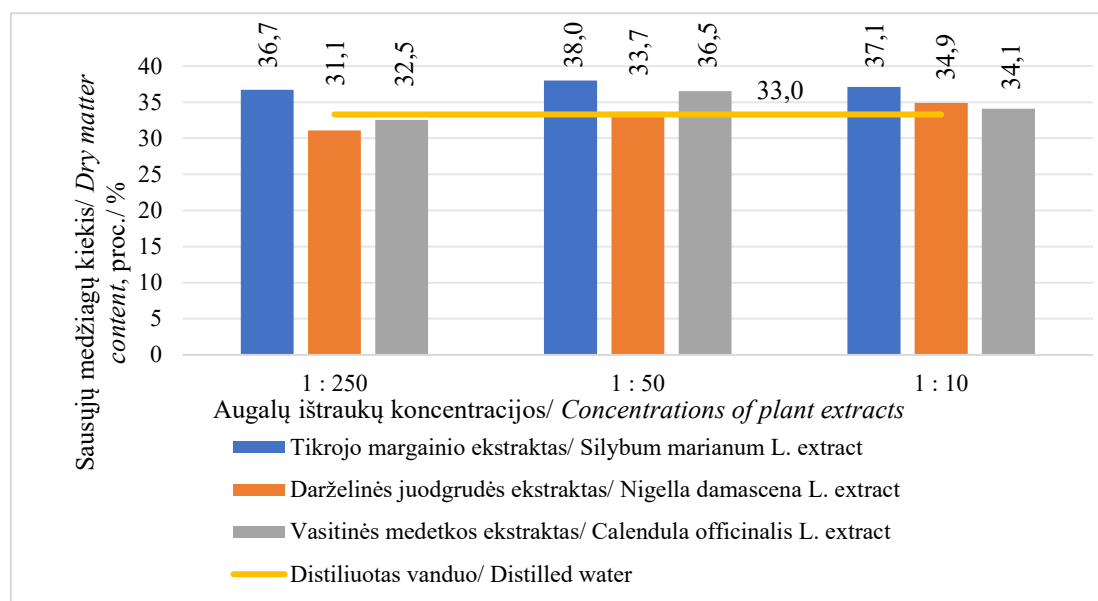
4 pav. Augalų ištraukų skirtingų koncentracijų poveikis paprastojo kukurūzo (*Zea mays* L.) dygimo indeksui

Fig. 4. Effect of different concentrations of plant extracts on the germination index of maize (*Zea mays* L.)

Pastaba: esminių skirtumų nėra: $P > 0,05$.

Note: no significant differences: $P > 0.05$.

Naudojant tikrojo margainio (*Silybum marianum* L.) ekstraktus su tirtomis skirtingomis (1:250, 1:50 ir 1:10) koncentracijomis nustatytas didesnis nuo 4,1 iki 5 proc. vnt. kukurūzų sausųjų medžiagų kiekis (5 pav.).



5 pav. Augalų ištraukų skirtingų koncentracijų poveikis paprastojo kukurūzo (*Zea mays* L.) sausųjų medžiagų kiekiui

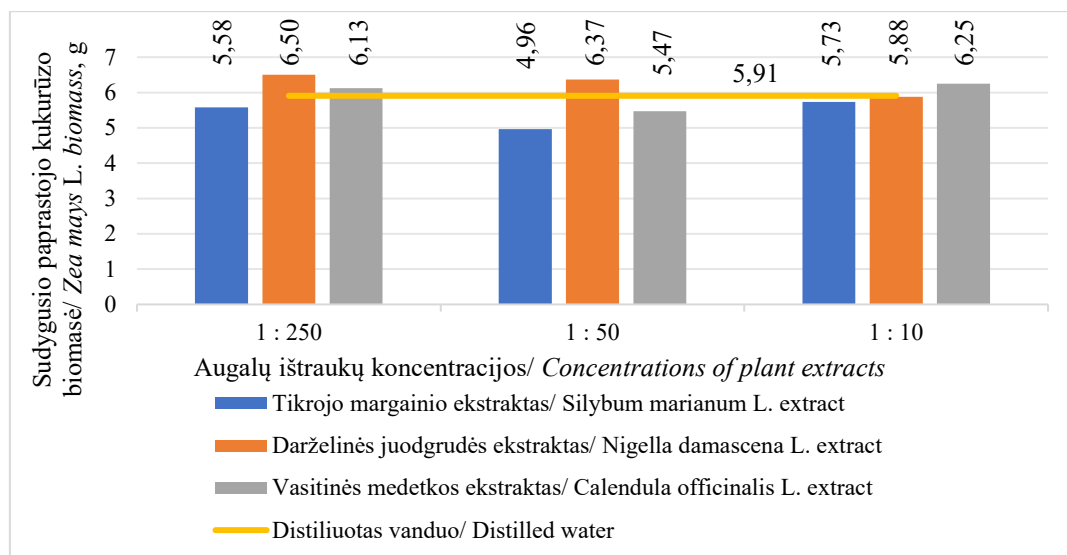
Fig. 5. Effect of different concentrations of plant extracts on the dry matter content of maize (*Zea mays* L.)

Pastaba: esminių skirtumų nėra: $P > 0,05$.

Note: significant differences: $P > 0.05$.

Darželinės juodgrūdės (*Nigella damascena* L.) ir vaistinės medetkos (*Calendula officinalis* L.) ekstraktai ir taikyta silpniausia (1:250) koncentracija mažino (nuo 0,5 iki 1,9 proc. vnt.) kukurūzo sausųjų medžiagų kiekį, lyginant su kontrole. Kiti naudoti vaistinių aromatinių augalų ekstraktai ir jų taikytos skirtingos koncentracijos didino nuo 0,7 iki 5 proc. vnt. kukurūzų sausųjų medžiagų kiekį.

Paprastojo kukurūzo (*Zea mays* L.) biomasei vaistinių, aromatinių augalų ekstraktai skirtingomis koncentracijomis (1:250; 1:50; 1:10) esminio poveikio neturėjo (6 pav.).



6 pav. Augalų ištraukų skirtingų koncentracijų poveikis paprastojo kukurūzo (*Zea mays* L.) biomasei

Fig. 6. Effect of different concentrations of plant extracts on the biomass of maize (*Zea mays* L.)

Pastaba: esminių skirtumų nėra: $P > 0,05$.

Note: no significant differences: $P > 0.05$.

Didžiausia kukurūzų biomasa (1,1 karto) nustatyta taikant darželinės juodgrūdės (*Nigella damascena* L.) ekstrakto silpniausią 1:250 koncentraciją, o mažiausia (1,2 karto) tikrojo margainio (*Silybum marianum* L.) ekstrakto vidutinę 1:50 koncentraciją, lyginant su distiliuotu vandeniu. Kitų tyrėjų duomenimis, sudugusių sėjamojo rapso (*Brassica napus* L.) masė 1,2 karto mažesnė nustatyta 1:50 koncentracijos sėjamosios avižos (*Avena sativa* L.) vandeninėje ištraukoje, palyginus su distiliuotu vandeniu (Romaneckas, 2024).

Išvados

1. Vaistinės medetkos (*Calendula officinalis* L.) ekstrakto taikyta stipriausia 1:10 koncentracija mažino paprastojo kukurūzo (*Zea mays* L.) sėklų sudygimą (20 proc. vnt.), o 1:50 koncentracija mažino daigelių aukštį (1,2 karto) tačiau didino dygimo indeksą 1,5 karto, lyginant su distiliuotu vandeniu.
2. Tikrojo margainio (*Silybum marianum* L.) ekstrakto taikyta koncentracija 1:250 mažino paprastojo kukurūzo (*Zea mays* L.) biomasa (5,6 proc.) ir slopino šaknelių augimą (8,9 proc.), lyginant su kontroliniu variantu.
3. Visos tirtos tikrojo margainio (*Silybum marianum* L.) ekstrakto koncentracijos didino paprastojo kukurūzo (*Zea mays* L.) sausųjų medžiagų kiekį (nuo 3,7 iki 5,0 proc. vnt.), lyginant su distiliuotu vandeniu.

Literatūra

1. Baležentienė L., Šežienė, V. (2010). Biochemical impact of dominants' extracts of Scots pinewood cuttings on germination. *Polish Journal of Environmental Studies*, 19(1), 35–42.
2. Cheng, F., and Cheng, Z. (November 2015). Research progress on the use of plant allelopathy in agriculture and the physiological and ecological mechanisms of allelopathy. *Frontiers in Plant Science*, 6, 1020. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2015.01020>
3. Grodzinsky A. M. (1990). *Allelopathy and Productivity of Plants*. Naukova Dumka, Kiev.
4. Gudžinskas, Z. (1999). *Lietuvos induočiai augalai*. Botanikos inst. Leidykla.
5. Malinauskaitė, R. (2016). Jonizuoto vandens įtaka Sosnovskio barščio (*Heracleum sosnovskyi* Mandel) lapų ištraukos alelopatinėms savybėms. Konferencija *Žmogaus ir gamtos sauga*, Akademija, 160–162.
6. Romaneckas, K. (2024). Daugianarių agroekosistemų, grįstų alelopatinėmis aromatinėmis augalų savybėmis, daigafunkciškumas, tvarumas ir bioekonominis efektyvumas. *Projekto ataskaita*, 8–10.
7. SPSS. (2000). *Instat 10. Statistics I*. Chicago.
8. Velička, R., Čepulienė, R., Marcinkevičienė, A., Pupalienė, R., Kriaučiūnienė, Z., Kosteckas, R., Bieliauskaitė, R. (2012). Rapsų liekanų vandeninių ištraukų alelopatinė įtaka vasarinių miežių dygimui bei augimui. *Žemės ūkio mokslai*, 19(1).
9. Zeng, R. S. (2014). Allelopathy – the solution is indirect. *Journal of chemical ecology*, 40, 515–516.

Giulnara Salimpur, Aušra Sinkevičienė, Rasa Kimbirauskienė, Kęstutis Romanekas, Ona Ragažinskienė, Karolina Jackevičienė

Allelopathic Effect of Medicinal – Aromatic Plants on Seed Germination in Maize (*Zea Mays* L.)

Allelopathy is a form of chemical competition in an ecosystem that affects many plants. It occurs when the above-ground parts of a plant, whether roots or seeds, release biochemicals that have negative or positive effects on the germination, growth and development of the plant.

The study was carried out at the Vytautas Magnus University, Academy of Agriculture test station. The aim of the study was to determine the effect of extracts of *Calendula officinalis* L., *Silybum marianum* L. and *Nigella damascena* L. the effect of the extract on the germination of maize (*Zea mays* L.) seeds. Experimental variations: 1. *Calendula officinalis* L.; 2. *Silybum marianum* L.; 3. *Nigella damascena* L. Also, 3 different concentrations of medicinal-aromatic plant extract were chosen for the study: 1) 1:10; 2) 1:50; 3) 1:250. Control – distilled water.

During the study period, it was found that a 1:10 extract of *Calendula officinalis* L reduced the germination of maize seeds (by 20 percent pcs), while a 1:50 extract reduced the height of maize seedlings (by a factor of 1.2), and increased the germination index by a factor of 1.5, compared to distilled water. The 1:250 extract of *Silybum marianum* L. reduced the biomass of maize seedlings (5.6 %) and inhibited root growth (8.9 %) of maize seedlings compared to distilled water. All the concentrations of *Silybum marianum* L. studied increased the dry matter content (from 3.7 to 5.0 %) of maize seedlings compared to the control.

Keywords: Aqueous extract, maize, medicinal and aromatic plants.

Gauta 2025 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2025 m. balandžio mėn.

Giulnara SALIMPUR. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos, Agronomijos fakulteto, Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedros Agronomijos studijų programos magistrantė. Adresas: Studentų g. 15, LT-53361 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52229, el. paštas: giulnara.salimpur@vdu.lt

Giulnara SALIMPUR. Agriculture Academy of Vytautas Magnus University, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Science, Agronomy graduate student of Science (MSc). Address: Studentų str. 15, LT-53361 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 377 52229, e-mail: giulnara.salimpur@vdu.lt

Aušra SINKEVIČIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos, Agronomijos fakulteto, Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedros biomedicinos (žemės ūkio) mokslų daktaras, docentė. Adresas: Studentų g. 15, LT-53361 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52229, el. paštas: ausra.sinkeviciene@vdu.lt

Aušra SINKEVIČIENĖ. Agriculture Academy of Vytautas Magnus University, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Science, doctor of Biomedical Science, assoc. prof. Address: Studentų str. 15, LT-53361 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 377 52229, e-mail: ausra.sinkeviciene@vdu.lt.

Rasa KIMBIRAUSKIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Agronomijos fakulteto Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedros biomedicinos (žemės ūkio) mokslų daktarė, lektorė. Adresas: Studentų g. 15, LT-53361 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52229, el. paštas: rasa.kimbirauskiene@vdu.lt.

Rasa KIMBIRAUSKIENĖ. Agriculture Academy of Vytautas Magnus University, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Science, doctor of Biomedical Science, lecture. Address: Studentų str. 15, LT-53361 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 377 52229, e-mail: rasa.kimbirauskiene@vdu.lt.

Kęstutis ROMANECKAS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Agronomijos fakulteto Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedros biomedicinos (žemės ūkio) mokslų daktaras, profesorius. Adresas: Studentų g. 15, LT-53361 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52229, el. paštas: kestutis.romanekas@vdu.lt

Kęstutis ROMANECKAS. Agriculture Academy of Vytautas Magnus University, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Science, doctor of Biomedical Science, profesor. Address: Studentų str. 15, LT-53361 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 377 52229, e-mail: kestutis.romanekas@vdu.lt.

Ona RAGAŽINSKIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Gamtos ir technologijos mokslų tyrimų instituto biomedicinos (žemės ūkio) habilituota mokslų daktarė, profesorė. Adresas: Z. E. Zilibero g. 6, LT-3018 Kaunas, tel. +370 372 95287, el. paštas: ona.ragazinskiene@vdu.lt

Ona RAGAŽINSKIENĖ. Vytautas Magnus University, Research Institute of Natural and Technological Sciences, doctor of Biomedical Science, habil. profesor. Address: Z. E. Zilibero str. 6, LT-3018 Kaunas. Phone: +370 372 95287, e-mail: ona.ragazinskiene@vdu.lt

Karolina JACKEVIČIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos, Agronomijos fakulteto, Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedros Agronomijos studijų programos doktorantė. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r., tel. +370 372 95287, el. paštas: karolina.jackeviciene@vdu.lt.

Karolina JACKEVIČIENĖ. Agriculture Academy of Vytautas Magnus University, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Science, PhD student in Agronomy. Adresas: Studentų str. 11, LT-53361 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 372 95287, e-mail: karolina.jackeviciene@vdu.lt

CROP WILD RELATIVES AND WILD HARVESTED PLANTS IN LITHUANIA: NEW INSIGHTS INTO THEIR DIVERSITY AND CONSERVATION

Mantas Lisajevičius, Juozas Labokas

State Scientific Research Institute Nature Research Centre

In the face of global climate change, biodiversity loss, and increasing risk of crop genetic erosion, the conservation of crop wild relatives (CWR) and wild harvested plants (WHP) has become urgent. As the first step towards preparing the Lithuanian national strategy for conservation of CWR and WHP, a preliminary checklist of vascular plants of Lithuania has been compiled. Out of this, an annotated CWR and WHP checklist was generated, containing plant taxa that are related to crops or are harvested in the wild for food, forage, medicinal, aromatic, industrial, and other uses. As a result, an inventory of 147 CWR and WHP priority taxa for food and agriculture has been created by using several criteria including species relatedness to crops, socio-economic and cultural importance of species, and threat status of species. Our study offers a *de novo* assessment of CWR and WHP diversity in Lithuania and provides valuable insights regarding enhancement of conservation and sustainable use of the target taxa.

Keywords: conservation planning, checklist, crops, plant genetic resources, wild plants.

Introduction

The relatively high genetic homogeneity of the most cultivated plant varieties remains one of the major factors conditioning their susceptibility to biotic (e.g., pests and diseases) and abiotic (e.g., droughts and frosts) environmental agents, and thus affecting the sustainability of agriculture and food production. Moreover, crop plants are being increasingly affected by shifting environmental conditions due to climate change most likely resulting in reduced yields. In such a situation when global food security is under imminent threat, a crucial role is seen in crop wild relatives (CWR) which harbour immense resources of genetic diversity needed for crop improvement, and in wild harvested plants (WHP) which are traditionally used directly as human or animal food.

It has been acknowledged that these plant genetic resources are not sufficiently conserved or accessible, yet they are crucial for tackling agricultural challenges (FAO, 2017; ECPGR, 2021). CWR and WHP are taxa related to species of socio-economic and cultural importance including plants of food, forage and fodder, medicinal, aromatic, industrial, and forestry application (Heywood & Zohary, 1995; Magos Brehm *et al.*, 2008). Some wild plant species are harvested from the wild for direct use as food for human consumption or as fodder for livestock and amount to a potential source for further domestication and creation of new crops (Labokas *et al.*, 2024). This is consistent with the International Treaty on Plant Genetic Resources for Food and Agriculture (ITPGRFA), which states that contracting parties shall ‘promote *in situ* conservation of wild crop relatives and wild plants for food production, including in protected areas, by supporting, *inter alia*, the efforts of indigenous and local communities’ (FAO, 2001, p. 6).

The development of any subnational, national or regional conservation plan of CWR and WHP starts from the creating and maintaining current, specialized inventories of these taxa. These inventories provide the foundation for analysing distribution patterns, threat levels, existing conservation efforts, and identifying priority areas which require conservation (Kell *et al.*, 2008; Ciancaleoni *et al.*, 2021).

The main aim of this study is to evaluate CWR and WHP diversity in Lithuania. The objectives of this study are to: 1) generate an annotated checklist of vascular plants of Lithuania, 2) compile a list of CWR and WHP of Lithuania, 3) revise the priority list of CWR and WHP taxa for their conservation *in situ*.

This paper describes the creation of the annotated checklist of vascular plants, containing the broadest list of Lithuania’s CWR and WHP. This checklist serves as a baseline data for the selection of CWR and WHP priority taxa for which active *in situ* conservation measures should be implemented after the respective action plan is developed.

Research methodology

First, a preliminary annotated national vascular plants checklist has been compiled based on the *Vascular Plants of Lithuania* (Gudžinskas, 1999e), *Flora of the Baltic Countries* (Laasimer *et al.*, 1993; Kuusk *et al.*, 1996; Kuusk *et al.*, 2003), *Conspectus of Alien Plant Species of Lithuania* (Gudžinskas, 1997a; 1997b; 1997c; 1997d; 1998a; 1998b; 1998c; 1998d; 1999a; 1999b; 1999c; 1999d; 2000a; 2000b; 2000c; 2000d), *Invasive and Alien Species in Lithuania* (Gudžinskas & Rašomavičius, 2023), and other sources (cited in Results and

discussion). Taxonomic databases, Euro+Med Plantbase (primary) and Plants of the World Online (secondary) were used for the taxonomic harmonisation (Euro+Med, 2025; POWO, 2025).

Compilation and annotation of information on cultivated crops and wild plants was based on Gudžinskas (1999), Lithuania's Plant Genetic Resources Database (State Forest Service, 2025), the list of Minor and Major Crops in Lithuania (EMUDA, 2021), and National List of Plant Varieties (e.g., State Plant Service, 2024). The checklist also includes all native and alien taxa that are mentioned in Annex I of the ITPGRFA (FAO, 2001). Information on plant socio-economic applications has been based on Kunkel (1984), Jankevičienė (1998), Wiersema & León (2013), and other sources (cited in Results and discussion). The following categories were largely chosen by referring to Petitpierre et al. (2023): food, forage, medicinal, aromatic, industrial, forestry, melliferous, ornamental, and restoration. Information about protection and conservation of plant taxa came from the European Council Directive 92/43/EEC (hereafter referred to as the European Habitats Directive) (European Council, 1992), *Red Data Book of Lithuania* (Rašomavičius, 2021), and the List of Species of Animals, Plants and Fungi Protected by the Republic of Lithuania (Minister of Environment, Republic of Lithuania, 2024).

The floristic approach was used to prepare a preliminary national CWR and WHP checklist in accordance with the methodology provided by Maxted et al. (2013). Previously published Lithuanian CWR checklists by Kell et al. (2005) and Labokas et al. (2016) were used as the basis for the current study. The extracted taxa were harmonised in accordance with the previously described procedure. Any species (or a subtaxon) belonging to the same genus as crop, or have at least one reported direct use, have been considered CWR or WHP, respectively, or both.

As described in Labokas et al. (2024), prioritisation of CWR and WHP taxa was carried out with the focus on the taxa of importance for food and agriculture, with priority given to native species and archaeophytes. Some taxa, such as *Lactuca serriola* L., *Prunus cerasifera* L., *Avena fatua* L., and *Raphanus raphanistrum* L. were excluded from the prioritisation process due to their rampant proliferation (Pagad, 2022; Gudžinskas & Rašomavičius, 2023). CWR and WHP taxa within the genera listed in the Annex I of the ITPGRFA (FAO, 2001) as well as the list of global priority CWR genera (Vincent et al., 2013) were selected as target taxa. Lithuania's National Lists of Plant Varieties (e.g., State Plant Service, 2024) were used as references of crop importance and CWR prioritisation, respectively. CWR relatedness to crops was established according to the gene pool (Harlan & de Wet, 1971) and the taxon group (Maxted et al., 2006) concepts. Information for determination of relatedness was gathered from the data available at the Germplasm Resources Information Network (USDA, 2025), Nordic Priority CWR Dataset (Fitzgerald et al., 2018), *Flora of the Baltic Countries* (Laasimer et al., 1993; Kuusk et al., 1996; Kuusk et al., 2003) and other sources (for more details see Labokas et al., 2024; Results and discussion section).

Results and discussion

The national annotated checklist of vascular plants contains a total of 2,492 taxa (2,396 species) across 796 genera and 145 families. The checklist of vascular plants is comprised of 1,339 native taxa (incl. archaeophytes) and 1,153 alien taxa, including 22 invasive and 34 potentially invasive species, while 1,038 taxa (133 native and 905 alien ones) are used in cultivation or gardening. In the checklist, 819 taxa (33% of the checklist) are food crops, or their wild relatives and 457 taxa are of forage (or fodder) use (18%) (Table 1). Additionally, 193 taxa are related to those included in Annex I of the ITPGRFA (FAO, 2001). Moreover, the vascular plant checklist covers 14 taxa (including 13 native taxa) that are included in Annex II, as well as 10 taxa (including 8 native taxa) in the Annex V of the European Habitat Directive (European Council, 1992). On top of that, 170 taxa (*Dianthus arenarius* L. according to the *Red Data Book of Lithuania* (Rašomavičius, 2021) interpreted as *D. arenarius* subsp. *arenarius* and *D. arenarius* subsp. *borussicus* Vierh.) that are mentioned in the List of Species of Animals, Plants and Fungi Protected by the Republic of Lithuania (Minister of the Environment of the Republic of Lithuania, 2024) are included in the checklist.

Galinis et al. (1980) report that 2,153 plant species are described in the multi-volume set of *Lithuanian SSR Flora* (Volumes I–VI), including 724 genera and 129 families. Compared to our work, the numbers have increased due to the new introductions of alien species and different interpretations of some taxa held in herbaria (Gudžinskas, 1999e; 2000d; Gudžinskas & Rašomavičius, 2023). For comparison, 3,236 vascular plant species have been reported from Finland (Kurtto et al., 2019).

Furthermore, out of the mentioned total taxa, 1,459 (1,394 species) from 545 genera and 118 families are designated as CWR and (or) WHP, while 1,407 taxa are attributed to CWR and 1,056 taxa are selected as WHP, with a total of 1,004 that can be considered as both CWR and WHP (Table 1). Out of CWR and (or) WHP, 468 taxa (32% of the checklist) are food crops or their wild relatives and 358 taxa are of forage (or fodder) use (25%). Moreover, 103 taxa are related to those included in Annex I of the ITPGRFA (FAO, 2001), as well as 42 taxa related to the genera of global CWR priority (Vincent et al., 2013). In addition, the CWR

and WHP checklist includes 1,208 native taxa (incl. archaeophytes) and 251 naturalised alien taxa, including 22 invasive and 33 potentially invasive species (Gudžinskas & Rašomavičius, 2023), while 308 taxa (133 native and 175 alien ones) are used in cultivation or gardening. Combined CWR and WHP checklist covers 9 native taxa that are included in Annex II, in addition to 7 taxa (including 6 native taxa) in the Annex V of the European Habitat Directive (European Council, 1992). The list includes 153 taxa that are covered by the List of Species of Animals, Plants and Fungi Protected by the Republic of Lithuania (Minister of Environment, of the Republic of Lithuania, 2024).

Table 1. A summary of vascular plant checklist of Lithuania with CWR, WHP, and priority taxa according to their reported use

	Total	Food	Forage	Medicinal	Aromatic	Industrial	Forestry	Melliferous	Ornamental	Restoration
Vascular Plants	2,492	819	457	925	277	391	20	300	1,121	130
CWR	1,407	455	346	556	160	210	18	226	514	92
WHP	1,056	468	358	587	163	215	18	231	529	97
Priority Taxa (CWR+WHP)	147	72	109	66	26	21	1	55	47	28

The new version of the national CWR checklist, compared to the lists reported by Kell *et al.* (2005) and Labokas *et al.* (2016), includes information about WHP. Compared to the previous work (e.g., Labokas *et al.*, 2016), the national checklist increased from 1,188 taxa (1,160 species) to 1,459 taxa (1,394 species). For comparison, Fitzgerald (2013) reported 1,905 taxa (1,381 species) in the national CWR checklist of Finland.

A total of 147 CWR and (or) WHP taxa from 56 genera and 16 families have been prioritised. In addition, 72 taxa (49% of the target taxa inventory) are food crops or their wild relatives and 109 taxa are of forage (or fodder) use (74%) (Table 1). The target taxa inventory comprises of 60 taxa that are related to taxa mentioned in Annex I of the ITPGRFA (FAO, 2001), as well as 16 taxa related to the taxa of global CWR priority (Vincent *et al.*, 2013). In addition, the inventory includes 138 native taxa and 9 naturalised alien taxa, 2 of which are potentially invasive (Gudžinskas & Rašomavičius, 2023), while 55 taxa (46 native and 9 alien ones) are used in cultivation or gardening. The target taxa inventory also includes 17 species which are covered by the List of Species of Animals, Plants and Fungi Protected by the Republic of Lithuania (Minister of Environment, Republic of Lithuania, 2024).

In the current version of priority CWR inventory, the number of target taxa has increased from the previous version (Labokas *et al.*, 2024) by three species, *A Armoracia rusticana* G. Gaertn., B. Mey. & Scherb., *Medicago sativa* L., and *Rumex acetosa* L.

The mentioned checklist and its references have been compiled into one spreadsheet which is available at <https://doi.org/10.5281/zenodo.14989322>.

Conclusions

1. The checklist of vascular plants of Lithuania serves as the baseline data for the creation of the national CWR and WHP checklist which enables further steps in plant genetic resources conservation planning.
2. The prioritized CWR and WHP inventory allows to better focus conservation efforts and more effectively allocate the resources needed for the active *in situ* conservation of CWR and WHP.
3. The current list of CWR and WHP priority taxa largely reflects the food and agriculture priority, which is of the highest importance globally.

Acknowledgements

The authors thank Dr Domas Uogintas and Dr Birutė Karpavičienė for their contribution with data collection and processing.

References

1. Ciancaleoni, S., Raggi, L., Barone, G., Donnini, D., Gigante, D., Domina, G., & Negri, V. (2021). A new list and prioritization of wild plants of socioeconomic interest in Italy: toward a conservation strategy. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 45(9), 1300–1326. doi:10.1080/21683565.2021.1917469

2. ECPGR. (2021). *Plant Genetic Resources Strategy for Europe*. Rome: European Cooperative Programme for Plant Genetic Resources. <https://www.ecpgr.org/resources/ecpgr-publications/publication/plant-genetic-resources-strategy-for-europe-2021>
3. EMUDA. (2021). *Lithuania. List of minor and major crops (update in 2021)*. https://www.eumuda.eu/media/files/country_information/LT_minor_major_crops_2021-10-01.xlsx
4. Euro+Med. (2025). *Euro+Med PlantBase – the information resource for Euro-Mediterranean plant diversity*. <https://europlusmed.org/>
5. European Council. (1992). Council Directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora. *Official Journal L206*, 0007–0050. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A31992L0043>
6. FAO. (2001). *The International Treaty on Plant Genetic Resources for Food and Agriculture*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/3/i0510e/i0510e.pdf>
7. FAO. (2017). *Voluntary Guidelines for the Conservation and Sustainable Use of Crop Wild Relatives and Wild Food Plants*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i7788en>
8. Fitzgerald, H., Palmé, A., Aronsson, M., Asdal, Å., Bjureke, K., Endresen, D., ... Wind., P. (2018). *The Nordic Priority Crop Wild Relative Dataset*. figshare. Dataset. doi:10.6084/m9.figshare.5688130.v3
9. Galinis V., Jankevičienė, R., Kizienė, B., Lazdauskaitė, Ž., Lekavičius, A., Natkevičaitė-Ivanauskienė, M., ... Starkinienė, I. (1980). *Lietuvos TSR Flora VI*. Vilnius: Mokslas.
10. Gudžinskas, Z. (1997a). Conspectus of alien plant species of Lithuania. 1. *Liliopsida* (excluding *Poaceae*). *Botanica Lithuanica*, 3(1), 3–23.
11. Gudžinskas, Z. (1997b). Conspectus of alien plant species of Lithuania. 2. *Poaceae*. *Botanica Lithuanica*, 3(2), 107–134.
12. Gudžinskas, Z. (1997c). Conspectus of alien plant species of Lithuania. 3. *Brassicaceae*. *Botanica Lithuanica*, 3(3), 215–249.
13. Gudžinskas, Z. (1997d). Conspectus of alien plant species of Lithuania. 4. *Asteraceae*. *Botanica Lithuanica*, 3(4), 335–366.
14. Gudžinskas, Z. (1998a). Conspectus of alien plant species of Lithuania. 5. *Boraginaceae, Convolvulaceae, Cuscutaceae, Hydrophyllaceae, Polemoniaceae, Solanaceae*. *Botanica Lithuanica*, 4(1), 21–35.
15. Gudžinskas, Z. (1998b). Conspectus of alien plant species of Lithuania. 6. *Lamiaceae* and *Scrophulariaceae*. *Botanica Lithuanica*, 4(2), 119–135.
16. Gudžinskas, Z. (1998c). Conspectus of alien plant species of Lithuania. 7. *Apiaceae, Asclepiadaceae, Caprifoliaceae, Dipsacaceae, Oleaceae, Sambucaceae, Valerianaceae, and Viburnaceae*. *Botanica Lithuanica*, 4(3), 249–265.
17. Gudžinskas, Z. (1998d). Conspectus of alien plant species of Lithuania. 8. *Aceraceae, Balsaminaceae, Eleagnaceae, Geraniaceae, Hippocastanaceae, Linaceae, and Vitaceae*. *Botanica Lithuanica*, 4(4), 363–377.
18. Gudžinskas, Z. (1999a). Conspectus of alien plant species of Lithuania. 9. *Cannabaceae, Cucurbitaceae, Euphorbiaceae, Malvaceae, and Tiliaceae*. *Botanica Lithuanica*, 5(1), 13–25.
19. Gudžinskas, Z. (1999b). Conspectus of alien plant species of Lithuania. 10. *Fabaceae*. *Botanica Lithuanica*, 5(2), 103–114.
20. Gudžinskas, Z. (1999c). Conspectus of alien plant species of Lithuania. 11. *Aristolochiaceae, Caryophyllaceae, Fumariaceae, Nyctaginaceae, Papaveraceae, Portulacaceae, and Ranunculaceae*. *Botanica Lithuanica*, 5(3), 203–218.
21. Gudžinskas, Z. (1999d). Conspectus of alien plant species of Lithuania. 12. *Amaranthaceae* and *Polygonaceae*. *Botanica Lithuanica*, 5(4), 313–326.
22. Gudžinskas, Z. (1999e). *Vascular Plants of Lithuania*. Vilnius: Institute of Botany Publishers.
23. Gudžinskas, Z. (2000a). Conspectus of alien plant species of Lithuania. 13. *Chenopodiaceae*. *Botanica Lithuanica*, 6(1), 3–16.
24. Gudžinskas, Z. (2000b). Conspectus of alien plant species of Lithuania. 14. *Crassulaceae, Fagaceae, Grossulariaceae, Juglandaceae, Saxifragaceae, and Violaceae*. *Botanica Lithuanica*, 6(2), 115–127.
25. Gudžinskas, Z. (2000c). Conspectus of alien plant species of Lithuania. 15. *Azollaceae, Pinaceae, and Salicaceae*. *Botanica Lithuanica*, 6(2), 235–242.
26. Gudžinskas, Z. (2000d). Conspectus of alien plant species of Lithuania. 16. *Rosaceae*. *Botanica Lithuanica*, 6(4), 345–364.
27. Gudžinskas, Z., & Rašomavičius, V. (2023). *Invasive and Alien Species in Lithuania*. Vilnius: Nature Research Centre.

28. Harlan, J. R., & de Wet, J. M. J. (1971). Towards a rational classification of cultivated plants. *Taxon*, 20(4), 509–517. doi:10.2307/1218252
29. Heywood, V. H., & Zohary, D. (1995). A Catalogue of the Wild Relatives of Cultivated Plants Native to Europe. *Flora Mediterranea*, 5, 375–415.
30. Jankevičienė, R. (ed.). (1998). *Dictionary of Plant Names*. Vilnius: Institute of Botany Publishers.
31. Kell, S. P., Knüpfner, H., Jury, S. L., Ford-Lloyd, B. V., & Maxted, N. (2008). Crops and Wild Relatives of the Euro-Mediterranean Region: Making and Using a Conservation Catalogue. In *Crop Wild Relative Conservation and Use* (pp. 69–109). CAB International.
32. Kell, S. P., Knüpfner, H., Jury, S. L., Maxted, N., & Ford-Lloyd, B. V. (2005). *Catalogue of Crop Wild Relatives for Europe and the Mediterranean*. Birmingham: University of Birmingham. <https://web.archive.org/web/20071107185031/http://www.pgrforum.org/cwris/cwris.asp?fact=426656>
33. Kunkel, G. (1984). *Plants for Human Consumption*. Koenigstein: Koeltz Scientific Books.
34. Kuusk, V., Tabaka, L., & Jankevičienė, R. (eds.). (1996). *Flora of the Baltic Countries II*. Tartu: Estonian Academy of Sciences.
35. Kuusk, V., Tabaka, L., & Jankevičienė, R. (eds.). (2003). *Flora of the Baltic Countries III*. Tartu: Estonian Academy of Sciences.
36. Laasimer, L., Kuusk, V., Tabaka, L., & Lekavičius, A. (eds.). (1993). *Flora of the Baltic Countries I*. Tartu: Estonian Academy of Sciences.
37. Labokas, J., Karpavičienė, B., Rašomavičius, V., & Gelvonauskis, B. (2016). Developing a National Crop Wild Relative In Situ Conservation Strategy for Lithuania: Creation of a National CWR Inventory and its Prioritization. In *Enhancing Crop Genepool Use: Capturing Wild Relative and Landrace Diversity for Crop Improvement* (pp. 217–230). CAB International.
38. Labokas, J., Lisajevičius, M., Uogintas, D., & Karpavičienė, B. (2024). Enhancing In Situ Conservation of Crop Wild Relatives for Food and Agriculture in Lithuania. *Agronomy*, 14(9), 2126. doi:10.3390/agronomy14092126
39. Magos Brehm, J., Mitchell, M., Maxted, N., Ford-Lloyd, B. V., & Martins-Loução, M. A. (2008). IUCN Red Listing of Crop Wild Relatives: is a National Approach as Difficult as Some Think? In *Crop Wild Relative Conservation and Use* (pp. 211–242). CAB International.
40. Maxted, N., Ford-Lloyd, B. V., Jury, S., Kell, S., & Scholten, M. (2006). Towards a definition of a crop wild relative. *Biodiversity and Conservation*, 15(8), 2673–2685. doi:10.1007/s10531-005-5409-6
41. Maxted, N., Magos Brehm, J., & Kell, S. (2013). *Resource Book for Preparation of National Conservation Plans for Crop Wild Relatives and Landraces*. Birmingham: University of Birmingham. https://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/PGR/PubPGR/ResourceBook/TEXT_AL_L_2511.pdf
42. Minister of Environment, Republic of Lithuania. (2024). *Order on the approval of the list of species of animals, plants and fungi protected by the Republic of Lithuania*. <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.219902/asr>
43. Negri V., Branca F., & Castellini, G. (2008). Integrating Wild Plants and Landrace Conservation in Farming Systems: a Perspective from Italy. In *Crop Wild Relative Conservation and Use* (pp. 394–404). CAB International.
44. Pagad, S. (2022). *Global Register of Introduced and Invasive Species – Lithuania. Version 1.2. Invasive Species Specialist Group ISSG*. Checklist dataset <https://doi.org/10.15468/ewm0v1> accessed via GBIF.org on 2025-03-01.
45. Petitpierre, B., Boserup, J., Möhl, A., Rometsch, S., & Aubry, S. (2023). Importance of agriculture for crop wild relatives conservation in Switzerland. *Global Ecology and Conservation*, 46, e02588. doi:10.1016/j.gecco.2023.e02588
46. POWO. (2025). *Plants of the World Online. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew*. <https://powo.science.kew.org/>
47. Rašomavičius, V. (Ed.). (2021). *Red Data Book of Lithuania. Animals, plants, fungi*. Vilnius: Ministry of the Environment.
48. State Forest Service. (2025). *National Plant Genetic Resources Database*. <https://agb.amvmt.lt/angi/>
49. State Plant Service. (2024). *Lithuanian National List of Plant Varieties 2024*. <https://vatzum.lrv.lt/media/viesa/saugykla/2024/2/5ksAXYeAE0s.pdf>
50. USDA. (2025). *Agricultural Research Service, National Plant Germplasm System. Germplasm Resources Information Network (GRIN Taxonomy)*. <https://npgsweb.ars-grin.gov/gringlobal/taxon/taxonomysearchcwr>

51. Vincent, H., Wiersema, J., Kell, S., Fielder, H., Dobbie, S., Castañeda-Álvarez, N.P., . . . Maxted, N. (2013). A prioritized crop wild relative inventory to help underpin global food security. *Biological Conservation*, 167, 265–275. doi:10.1016/j.biocon.2013.08.011
52. Wiersema, J. H., & León, B. (2013). *World Economic Plants. Second Edition*. CRC Press. doi:10.1201/b13945
53. Kurtto, A., Lampinen, R., Piirainen, M. & Uotila, P. (2019). *Checklist of the vascular plants of Finland. Suomen putkilokasvien luettelo*. Helsinki: Finnish Museum of Natural History.
54. Fitzgerald, H. (2013). The National Crop Wild Relative Strategy Report for Finland. *MTT Report 121*. <http://www.mtt.fi/mttraportti/pdf/mttraportti121.pdf>

Mantas Lisajevičius, Juožas Labokas

Kultūrinių augalų laukiniai gentainiai ir laukiniai naudojami augalai Lietuvoje: naujos išvalgos apie jų įvairovę ir išsaugojimą

Atsižvelgiant į pasaulinę klimato kaitą, biologinės įvairovės nykimą ir didėjančią kultūrinių augalų genetinės erozijos riziką, išsaugoti kultūrinių augalų laukinius gentainius (CWR) ir laukinius naudojamus augalus (WHP) tapo būtina. Pirmasis žingsnis rengiant Lietuvos nacionalinę CWR ir WHP išsaugojimo strategiją buvo preliminarus Lietuvos induočių augalų sąrašo sudarymas. Iš jo buvo sudarytas anotuotas CWR ir WHP kontrolinis sąrašas, į kurį įtraukti augalų taksonai, giminingi kultūriniais arba renkamiems gamtoje augalams maistinėms, pašarinėms, vaistinėms, aromatinėms, pramoninėms ir kitoms reikmėms. Remiantis keliais kriterijais, įskaitant rūšių giminystę su kultūriniais augalais, socioekonominę ir kultūrinę rūšių svarbą bei grėsmės statusą, buvo sudarytas 147 CWR ir WHP prioritetinių taksonų, skirtų maistui ir žemės ūkiui, sąrašas. Mūsų atliktas tyrimas suteikia galimybę *de novo* įvertinti CWR ir WHP įvairovę Lietuvoje ir suteikia vertingų išvalgų dėl tikslinių taksonų išsaugojimo ir tvaraus naudojimo gerinimo.

Raktiniai žodžiai: išsaugojimo planavimas, kontrolinis sąrašas, kultūriniai augalai, augalų genetiniai ištekliai, laukiniai augalai.

Gauta 2025 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2025 m. balandžio mėn.

Mantas LISAJEVIČIUS. Nature Research Centre Institute of Botany, Laboratory of Economic Botany, PhD Student. Address: Žaliųjų ežerų str. 47, LT- 12200 Vilnius, Phone: +370 5 272 9930, e-mail: mantas.lisajevicius@gamtc.lt

Juožas LABOKAS. Nature Research Centre Institute of Botany, Laboratory of Economic Botany, Head of the Laboratory. Address: Žaliųjų ežerų str. 47, LT-12200 Vilnius, Phone: +370 5 272 9930, e-mail: juozas.labokas@gamtc.lt

CARBON ALLOCATION PATTERNS IN *BOTRYCHIUM SIMPLEX* (*OPHIOGLOSSACEAE*), A RARE AND PROTECTED SPECIES

Darija Lebedžinskaitė¹, Anita Elizabeth Clarke¹, Andrius Garbaras²,
Radvilė Rimgailė-Voicik¹

¹Vilnius University, Life Sciences Center, Institute of Biosciences, ²State Research Institute Center for Physical Sciences and Technology

The least moonwort (*Botrychium simplex* E. Hitchc.) is a rare and protected perennial spore bearing vascular plant species in Europe with a single viable population in Lithuania. It is listed in the list of Protected Fauna, Flora and Fungi species of the Republic of Lithuania and in the Annex II of the European Habitats Directive. Understanding ecophysiological processes of this intricate species, which forms symbiotic relationships with fungi and (potentially) neighbouring plants is crucial. Our study investigates carbon allocation across different parts of *B. simplex* and neighbouring plants. We used stable carbon isotope ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) ratios and carbon content as ecophysiological indicators to assess carbon flows in selected species. Plant specimens were collected in Pajūris Regional Park (Lithuania) in May of 2023 and June of 2024. Later, specimens were herbarized and divided into different parts which were ground into powder. $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios (expressed as $\delta^{13}\text{C}$, ‰) and carbon content (C%, %) in plant bulk were measured by isotope ratio mass spectrometry coupled with elemental analysis (EA-IRMS). Preliminary results indicate functional differences in carbon acquisition among different parts of *B. simplex* and neighbouring plants. Our study provides insights into the carbon balance of *B. simplex* and its interactions with its environment.

Keywords: Carbon partitioning, stable carbon isotopes, fern ecophysiology, carbon flows, IRMS.

Introduction

The least moonwort (*Botrychium simplex* E. Hitchc.) is a rare and protected species in Europe, including Lithuania. So far, only one viable population of the least moonwort has been found in Lithuania, located in Klaipėda district (Rimgailė-Voicik et al., 2024). Due to its rarity, this species is included in the list of Protected Fauna, Flora and Fungi species of the Republic of Lithuania (Order 504), the Appendix I of the 1979 Bern Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats (Convention, 1979), and the Annex II of the 1992 European Habitats Directive (Directive, 1992).

Plants from Ophioglossaceae Martinov, such as *Botrychium* Sw. (moonworts), form symbiotic relationships with fungi through arbuscular mycorrhiza (AM) (Winther & Friedman, 2007). Gametophytes of moonworts are below-ground, achlorophyllous, and fully mycoheterotrophic (Winther & Friedman, 2007). However, the ecophysiology of the moonwort sporophyte remains poorly understood, particularly whether it is fully autotrophic or partially mixotrophic (Wagner & Wagner, 1986; Suetsugu et al., 2020). Also, Ophioglossaceae may share carbon compounds of the same origin with neighbouring plants via AM symbiont networks (Field et al., 2015). Potential carbon flows via mycorrhizal networks can be assessed by determining the ratios of stable carbon isotopes $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ (expressed as $\delta^{13}\text{C}$, ‰) and carbon content (C%, %) (Gebauer & Meyer, 2003). Such studies were conducted with *Ophioglossum* L., indicating mixotrophy (Suetsugu et al., 2020). However, to our knowledge, there are no published studies which have used stable isotopes of carbon and carbon content to study carbon distribution in *B. simplex* and neighbouring plants.

Stable carbon isotope ratios and carbon content in plants depend on environmental conditions (Peri et al., 2012) such as average annual precipitation and average annual temperature. Under drought conditions, the above-ground plant parts become enriched in heavier (^{13}C) isotopes and grow smaller in size (Yamato et al., 2023). Since moonworts are found in relatively arid and slightly acidic soils (Bennert, 1999), their $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios and C content should be affected. Under long drought conditions, the fertility and trophophore size of above-ground sporophytes in subsequent years declines, although there are no apparent size or fertility differences between higher temperature and precipitation (Mesipuu et al., 2009). Due to the rareness of *B. simplex* and knowledge gaps about its ecology, investigating carbon allocation patterns in this species could provide valuable insights into their ecophysiological functioning. The aim of our study is to investigate carbon distribution in *B. simplex* found *in situ* by applying methods in stable isotope and elemental analysis. The objectives of our study were: 1) to determine carbon stable isotope ratios ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) and carbon content (C%) in different parts of *B. simplex*; 2) to evaluate $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratio and carbon content differences in *B. simplex* and neighbouring plant taxa; 3) to compare $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios and carbon content in *B. simplex* and neighbouring plants collected in different years. We hypothesized that carbon isotopic composition and carbon content in *B. simplex* should reflect local meteorological conditions and be related to neighbouring plants.

Material and methods

The study area is located in Klaipėda district, Palanga municipality, Pajūris Regional Park, near the Nemirseta settlement. The study area is legally protected and belongs to Natura 2000 areas (site name: Pajūrio kopos; SAC: LTKLA0009 (Natura 2000, 2025).

Plant specimens were collected twice: on the 25th of May, 2023 and on the 8–9th of June, 2024, since these plants form above-ground structures and distribute spores only during late spring and early summer. In 2024, the study area of 3441 m² was inspected to determine in which parts of the study site *B. simplex* subpopulations are found. Then, five soil samples with plant coverage (*B. simplex* and its neighbouring plants) in size of 10 × 10 × 15 cm were collected. Later in the laboratory, all plant specimens were carefully picked out of the soil samples, herbarized, cleaned from debris and identified. We used identification keys for mosses (Jukonienė, 2003) and vascular plants: Poaceae Barnhart (Natkevičaitė-Ivanauskienė, 1963), Cyperaceae Juss. (Stancevičius, 1963), Fabaceae Juss. (Stancevičius, 1971), Scrophulariaceae Juss. (Natkevičaitė-Ivanauskienė, 1976), and *Hieracium* L. (Lazdauskaitė, Lekavičius, 1980).

Samples of different plant parts were prepared for further analysis based on methods described by Clarke et al. (2022). *B. simplex* and its neighbouring plant specimens were divided into different parts: leaves, roots (in the case of mosses – above-ground stems with leaves and rhizoids), stems, root tubers, flowering parts, leaf petioles, sporophores, sporophore branching points and trophophores (Fig 1.). Later, plant parts ground to powder-like fractions using a MICCRA MiniBatch D-1 homogenizer (MICCRA GmbH, Heitersheim, Germany) or a metal mortar and pestle, depending on the amount and hardness of plant parts.

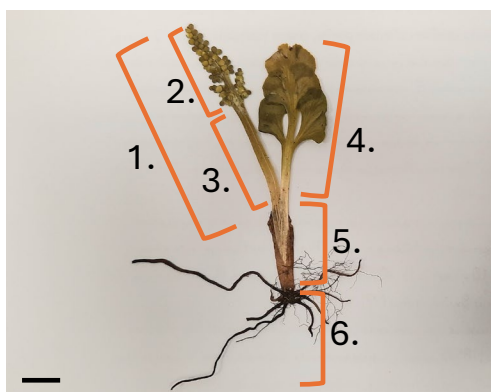


Fig. 1. Different parts of *Botrychium simplex* E. Hitchc.: 1) sporophore, 2) fertile part of the sporophore, 3) sterile part of the sporophore, 4) trophophore, 5) below-ground leaf petiole (common stalk), 6) roots. Scalebar is 1 cm

The samples were weighed using a high precision analytical balance (Mettler Toledo XP105 DeltaRange, Columbus, Ohio, USA, error ± 0,01 mg). The mass of each sample was approximately 4.5 mg. The samples were packed into 6 × 4 mm or 8 × 5 mm standard clean tin capsules (OEA Labs Ltd, Exeter, United Kingdom). $\delta^{13}\text{C}$ values and carbon content (C%) in the samples was determined by using isotope ratio mass spectrometry coupled with elemental analysis (EA-IRMS). This system consisted of a Delta V Advantage isotope ratio mass spectrometer coupled with a Flash EA1112 elemental analyzer by a Finnigan ConFlo III interface (Thermo Electron Corporation, Bremen, Germany).

Local meteorological data registered in Klaipėda weather station (approximately 15 km from our sample collection site) were obtained from the open-access archive of Meteorological and hydrological observation archive (Lithuanian Hydrometeorological Service, 2025).

Statistical analysis was carried out with R (ver. 4.4.2) (R Core Team, 2024) and RStudio (ver. 2024.12.0+467) (Posit Team, 2024). To test the assumption of data normality, Shapiro-Wilk test was used. To test the assumption of data homoscedasticity, Bartlett or Brown-Forsythe tests were used, depending on the normality of the data. One-way ANOVA or Kruskal-Wallis tests were used to determine whether there were statistical differences between several different plant parts or plant taxa groups. Tukey HSD or Conover-Iman tests were used in post-hoc analysis, respectively. Welch t or Mann-Whitney-Wilcoxon tests for two independent samples were used to detect differences between two plant parts or two plant taxa. Level of significance (α) was set to 0.05. In total, 354 plant specimens were included in the analysis: 63 *B. simplex* (51 was from 2023 and 12 were from 2024) and 291 neighbouring plant specimens (116 were from 2023 and 175 were from 2024).

Results and discussion

Some differences among $\delta^{13}\text{C}$ values in different *B. simplex* organs were detected. Analysis of data pooled by year of collection revealed no significant inter-organ $\delta^{13}\text{C}$ differences in the year 2023. The highest $\delta^{13}\text{C}$

values in *B. simplex* were in below-ground leaf petioles from year 2024 ($\delta^{13}C_{mean} = -30.93\text{‰}$), while the lowest $\delta^{13}C$ values were in fertile parts of the sporophore from year 2023 ($\delta^{13}C_{mean} = -32.78\text{‰}$). The highest overall $^{13}C/^{12}C$ ratios in *B. simplex* specimens from both years were in below-ground leaf petioles ($\delta^{13}C_{mean} = -31.15\text{‰}$) and the lowest were in trophophores ($\delta^{13}C_{mean} = -32.10\text{‰}$). No significant differences were found in $\delta^{13}C$ values between different parts of *B. simplex* individuals which were collected in different years, except for the fertile parts of the sporophore (Welch-t test, $t = -3.21$, $df = 7.14$, $p < 0.05$). $\delta^{13}C$ value was lower in *B. simplex* individuals from the year 2023 ($\delta^{13}C_{mean} = -32.78\text{‰}$) than in *B. simplex* individuals from the year 2024 ($\delta^{13}C_{mean} = -31.15\text{‰}$) (Fig. 2. A, B). Also, in general, a trend can be observed that the $\delta^{13}C$ value of individuals collected in 2023 was slightly more negative compared to those collected in 2024, i.e. the first-year plants accumulated less ^{13}C , but the differences were not significant. Photosynthetic tissues of grassland species which undergo drought-related stress usually become enriched with ^{13}C (Klaus et al., 2016). In the case of *B. simplex*, the insignificant enrichment of ^{13}C in *B. simplex* correlates with increased temperatures, therefore, the slight difference may suggest that discrimination against ^{13}C isotopes in *B. simplex* may occur in relation to drought-related stress, which increases discrimination (Farquhar et al., 1989; Klaus et al., 2016).

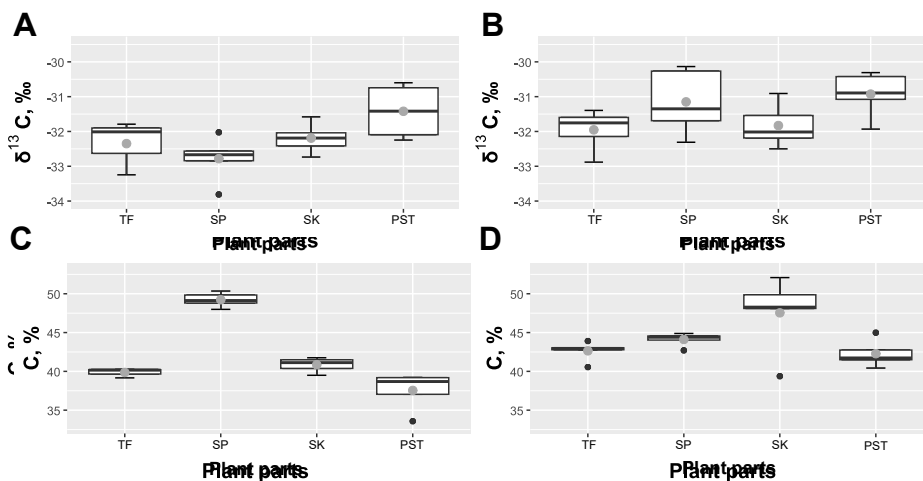


Fig. 2. $\delta^{13}C$ (A, B) and C% (C, D) of different “*Botrychium*” *simplex* E. Hitchc. parts collected in 2023 (A, C) and 2024 (B, D)

Note. Abbreviations: TF – trophophore, SP – fertile part of the sporophore, SK – roots, PST – below-ground leaf petiole. Black lines in boxes mark median values, grey dots mark mean values, boxes represent IQR ranges, black dots mark outliers, and whiskers represent the min and max values (if outliers are not present).

However, meteorological data from May of both years shows that the precipitation was heavier (54.8 mm) and average temperature was higher (19.4 °C) in the 2024 than in 2023 (12.3 °C and 10.4 mm, respectively) (Lithuanian Hydrometeorological Service, 2025). This may suggest that *B. simplex* can be sensitive to higher temperatures and increased amounts of rainfall. There is a positive relationship between local temperature, precipitation, and plant $\delta^{13}C$ (Liu et al., 2017), which is due to changes in CO_2 diffusion and water vapor fluxes (Cernusak, 2018). No significant differences between $\delta^{13}C$ values in *B. simplex* (except for sporophores) collected in different years were found, but the effects of local weather conditions cannot be completely ruled out, either. Therefore, more data is needed to confirm whether *B. simplex* responds to environmental changes in a similar way to most C3 vascular plants.

Significant variations were detected in $\delta^{13}C$ values among neighbouring plant taxa. Significant differences were detected in $\delta^{13}C$ values between all taxa (Kruskal-Wallis, $\chi^2 = 37.82$, $df = 5$, $p < 0.05$). The highest overall $\delta^{13}C$ values were in *Hieracium* L. plants ($\delta^{13}C_{mean} = -30.44\text{‰}$) and the lowest were in *Trifolium dubium* Sibth ($\delta^{13}C_{mean} = -32.34\text{‰}$). Significant differences were found among above-ground (Kruskal-Wallis, $\chi^2 = 22.29$, $df = 5$, $p < 0.05$) and below-ground (Kruskal-Wallis, $\chi^2 = 14.62$, $df = 5$, $p < 0.05$) parts of different taxa. Generally, below-ground parts of all taxa had higher $\delta^{13}C$ values than the above-ground parts (Fig. 3. A, B). Yang et al. (2015) noticed that roots from another species from the genus *Trifolium* Tourn. ex L., *T. alpinum* (Fabaceae Juss.), tend to have higher $\delta^{13}C$ values compared with other above-ground parts and generally have lower $\delta^{13}C$ values than plants in the family Cyperaceae Juss., which supports our findings. In our case, lower $\delta^{13}C$ values could be due to a low growing habit of *T. dubium*, as higher amounts of respired CO_2 which is ^{13}C -depleted could lead to lower $^{13}C/^{12}C$ in *T. dubium*.

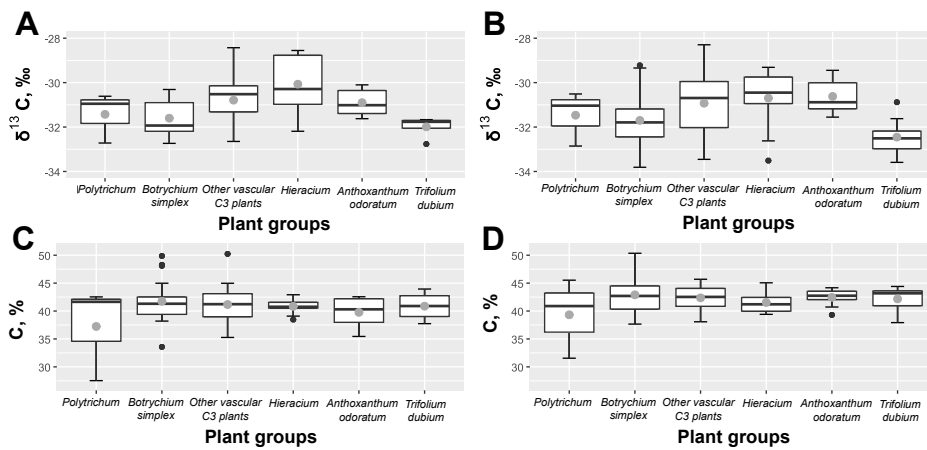


Fig. 3. $\delta^{13}\text{C}$ and $\text{C}\%$ of *Botrychium simplex* E. Hitchc. and neighbouring plants in below-ground (A, C) and above-ground (B, D) parts. Black lines in boxes mark median values, grey dots mark mean values, boxes represent IQR ranges, black dots mark outliers, and whiskers represent the min and max values (if outliers are not present).

Some differences were found between carbon content of *B. simplex* parts from specimens collected in different years. Significant differences were found between $\text{C}\%$ in different parts of *B. simplex* individuals collected in 2023 (Kruskal-Wallis, $\chi^2 = 13.84$, $\text{df} = 3$, $p < 0.05$); however, no statistically significant differences were found between different parts of *B. simplex* individuals collected in 2024. The highest $\text{C}\%$ was in the fertile parts of the sporophore collected in 2023 ($\text{C}\%_{\text{mean}} = 49.22\%$) while the lowest $\text{C}\%$ was in below-ground leaf petioles collected in the same year ($\text{C}\%_{\text{mean}} = 37.54\%$). Root $\text{C}\%$ was relatively high (compared with other organs), indicating that this organ is important for carbon compound storage. Relatively lower $\text{C}\%$ were in trophophores and below-ground leaf petioles, implying that these parts do not serve as carbon sinks, but rather as carbon sources. Plant photosynthetic tissues generally have more carbon than roots (Ma et al., 2018), which partially contradicts our findings. In the case of *B. simplex*, trophophores have a lower C content, implying that they function differently than leaves of most angiosperms. In general, all parts of *B. simplex* individuals of the year 2024 had accumulated a higher amount of carbon than individuals from the previous year. However, the fertile parts of sporophores showed a completely different result – in 2024, these parts had accumulated less carbon than the ones from the year before. These differences could be related to variations in sporophyte maturity stages. The fertile sporophytes collected in 2024 were more mature and larger, as they had already started to spread spores, while the sporangia collected in 2023 were still closed. It is likely that some of the carbon was lost with the spores, hence this could be accounted for the inter-year differences between carbon content in sporophores (Fig. 2. C, D). Fern spores are known to be rich in storage lipids and proteins (Templeman et al., 1987) which may explain higher carbon content in spores than in sporangia. In addition, based on the findings of Mesipuu et al. (2009), it is possible that in 2023 *B. simplex* experienced stressful conditions which reduced carbon accumulation, hence individuals were smaller in size. However, more research is needed to investigate potential links between carbon content in *B. simplex* and sporophyte maturity stage and size.

No significant differences were found in $\text{C}\%$ of above-ground and below-ground parts (Fig. 3. C, D). It is possible that plants are connected in the same mycorrhizal network or have similar trends in carbon allocation. However, this hypothesis requires further testing to confirm possible mycorrhizal relationships among *B. simplex* and neighbouring plants.

Conclusions

1. The highest $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios in *B. simplex* were in below-ground leaf petioles from years 2023 and 2024 as well as fertile parts of the sporophore from 2024 while the lowest were in fertile parts of the sporophore from 2023; the highest carbon content was in sterile parts of the sporophore and roots while the lowest was in underground leaf petioles, indicating that certain parts of *B. simplex* function as carbon pools and, possibly, as sources of nutrients at the whole-plant level.
2. There were significant variations of $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios among different neighbouring plant taxa, which indicate isotopic differences in source CO_2 and specific discrimination patterns, while insignificant variations in carbon content suggest similar tendencies of carbon transport in different taxa.
3. While no significant differences between $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios and carbon content in different years were found, minor enrichment of ^{13}C in *B. simplex* in relation to increased temperature and precipitation suggests

that *B. simplex* exhibits ecophysiological responses to environmental shifts; however, more research is needed.

Acknowledgements

The authors thank Darius Nicius, the director of Administration of Lithuania Minor Protected Areas for the accommodation, and Erlandas Paplauskis, the ecologist of Pajūris Regional Park, who annually provided information on the *B. simplex* phenology. We also would like to thank assoc. prof. Jūratė Tupčiauskaitė, who helped with identification of the collected plant specimens.

References

1. Bennert, W. H. (1999). *Die seltenen und gefährdeten Farnpflanzen Deutschlands – Biologie, Verbreitung, Schutz*. Bundesamt für Naturschutz, Deutschland, Bonn.
2. Cernusak, L.A., (2018). Gas exchange and water-use efficiency in plant canopies. *Plant Biology*, 22(S1), 52–67.
3. Clarke, A.E., Rimgailė-Voicik, R., Paškauskas, R., Mažeika, J. (2022). $\delta^{13}\text{C}$ in above-ground and below-ground organs of *Spinulum annotinum* (Lycopodiaceae). *Flora*, 294, 152119. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2022.152119>
4. Directive, 2013-07-01. *Council Directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora (consolidated version, 2013-07-01)*. OL L 206, 1992 7 22 [Accessed: 2025-02-24]. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/PDF/?uri=CELEX:31992L0043>
5. Farquhar, G. D., Ehleringer, J. R., Hubick, K. T. (1989). Carbon Isotope Discrimination and Photosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 40, 503–537.
6. Field, K. J., Leake, J. R., Tille, S., Allinson, K. E., Rimington, W. R., Bidartondo, M. I., Beerling, D. J., Cameron, D. D. (2015). From mycoheterotrophy to mutualism: mycorrhizal specificity and functioning in *Ophioglossum vulgatum* sporophytes. *New Phytologist*, 205, 1492–1502. <https://doi.org/10.1111/nph.13263>
7. Gebauer, G., Meyer, M. (2003). ^{15}N and ^{13}C natural abundance of autotrophic and myco-heterotrophic orchids provides insight into nitrogen and carbon gain from fungal association. *New Phytologist*, 160, 209–223. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2003.00872.x>
8. Jukonienė, I. (2003). *Lietuvos kiminai ir žaliuosios samanės*. Vilnius: Botanikos instituto leidykla.
9. Klaus, V.H., Hölzel, N., Prati, D., Schmitt, B., Schöning, I., Schrupp, M., Solly, E.F., Hänsel, F., Fischer, M., Kleinebecker, T. (2016). Plant diversity moderates drought stress in grasslands: Implications from a large real-world study on ^{13}C natural abundances. *Science of the Total Environment*, 566–567, 215–222.
10. Convention. (1979-09-19). *Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats* (adopted 19 September 1979, entered into force 4 March 2000). ETS/STE 104 – Bern Convention, (Appendix/Annexe I) [Accessed: 2024-06-07]. <https://rm.coe.int/168097eb56>
11. Lazdauskaitė, Ž., Lekavičius, A. (1980). Genus *Hieracium*. In M. Natkevičaitė-Ivanauskienė, R. Jankevičienė, A. Lekavičius (eds.), *Flora of the Lithuanian SSR Vol. VI: 209–243*. Vilnius: Valstybinė politinės ir mokslinės literatūros leidykla.
12. Lithuanian Hydrometeorological Service. (2025). *LHMT Meteorologinių ir hidrologinių stebėjimų archyvas (in Lithuanian)*. [Accessed: 2025-02-28]. <https://archyvas.meteo.lt/>
13. Liu, X., Zhang, Y., Li, Z., Feng, T., Su, Q., Song, Y. (2017). Carbon isotopes of C3 herbs correlate with temperature on removing the influence of precipitation across a temperature transect in the agro-pastoral ecotone of northern China. *Ecology and Evolution*, 7(24), 10582–10591.
14. Ma, S., He, F., Tian, D., Zou, D., Yan, Z., Yang, Y., Zhou, T., Huang, K., Shen, H., Fang, J. (2018). Variations and determinants of carbon content in plants: a global synthesis. *Biogeosciences*, 15(3), 693–702.
15. Mesipuu, M., Shefferson, R.P., Kull, T. (2009). Weather and herbivores influence fertility in the endangered fern *Botrychium multifidum* (S.G. Gmel.) Rupr. *Plant Ecology*, 203, 23–31. <https://doi.org/10.1007/s11258-008-9501-3>.
16. Natkevičaitė-Ivanauskienė, M. (1963). Family Gramineae. In M. Natkevičaitė-Ivanauskienė (ed.), *Flora of the Lithuanian SSR Vol. II: 184–272*. Vilnius: Valstybinė politinės ir mokslinės literatūros leidykla.
17. Natkevičaitė-Ivanauskienė, M. (1976). Family Scrophulariaceae. Genus Euphrasia. In M. Natkevičaitė-Ivanauskienė (ed.), *Flora of the Lithuanian SSR Vol. V: 466–476*. Vilnius: Valstybinė politinės ir mokslinės literatūros leidykla.
18. Order 504. (2003). *Lietuvos Respublikos saugomų gyvūnų, augalų ir grybų rūšių sąrašo patvirtinimo*. [Accessed: 2025-03-15]. <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.219902/asr>

19. Peri, P. L., Ladd, B., Pepper D. A., Bonser, S. P., Laffan, S. W., Amelung, W. (2012). Carbon ($\delta^{13}\text{C}$) and nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$) stable isotope composition in plant and soil in Southern Patagonia's native forests. *Global Change Biology*, 18(1), 311–321.
20. Posit Team. (2024). *RStudio: Integrated Development Environment for R. Posit Software*. PBC, Boston, MA [accessed: 2025-02-27]. <http://www.posit.co/>
21. R Core Team. (2024). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria [accessed: 2025-02-27]. <https://www.r-project.org/>
22. Rimgailė-Voicik, R., Tupčiauskaitė, J., Matulevičiūtė, D., Horn, K., Zonneveld, B. J. M., Bennert, H. W. (2024). *Botrychium simplex* (Ophioglossaceae) in the Baltic countries and adjacent areas – a monographic study. *Nova Hedwigia*, 118, 183–239. https://doi.org/10.1127/nova_hedwigia/2024/0934
23. Stancevičius, A. (1963). Family Cyperaceae, subfamily Caricoideae. Genus Carex. In M. Natkevičaitė-Ivanauskienė (ed.), *Flora of the Lithuanian SSR Vol. II: 387-450*. Vilnius: Valstybinė politinės ir mokslinės literatūros leidykla.
24. Stancevičius, A. (1971). Family Fabaceae. Genus Trifolium. In M. Natkevičaitė-Ivanauskienė (ed.), *Flora of the Lithuanian SSR Vol. IV: 457–468*. Vilnius: Valstybinė politinės ir mokslinės literatūros leidykla.
25. Suetsugu, K., Taketomi, S., Tanabe, A.S., Haraguchi, T. F., Tayasu, I., Toju, H. (2020). Isotopic and molecular data support mixotrophy in Ophioglossum at the sporophytic stage. *New Phytologist*, 228, 415–419.
26. Templeman, T. S., DeMaggio, A. E., Stetler, D. A. (1987). Biochemistry of Fern Spore Germination: Globulin Storage Proteins in Matteuccia struthiopteris L. *Plant Physiology*, 85, 343–349. <https://doi.org/10.1104/pp.85.2.343>
27. Wagner, W. H., Wagner, F. S. (1983). Genus Communities as a Systematic Tool in the Study of New World Botrychium (Ophioglossaceae). *Taxon*, 32, 51–63. <https://doi.org/10.2307/1219850>
28. Winther, J. L., Friedman, W. E. (2007). Arbuscular Mycorrhizal Symbionts in Botrychium (Ophioglossaceae). *American Journal of Botany*, 94, 1248–1255.
29. Yamato, M., Yagita, M., Kusakabe, R., Shimabukuro, K., Yamana, K., Suetsugu, K. (2023). Impact of mycoheterotrophy on the growth of Gentiana zollingeri (Gentianaceae), as suggested by size variation, morphology, and ^{13}C abundance of flowering shoots. *Journal of Plant Research*, 136, 853–863. <https://doi.org/10.1007/s10265-023-01496-y>
30. Yang, Y., Siegwolf, R. T. W., Körner, C. (2015). Species specific and environment induced variation of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ in alpine plants. *Frontiers in Plant Sciences*, 6, 423. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00423>

Received in March, 2025, published in April, 2025

Darija LEBEDŽINSKAITĖ. Vilnius University, Life Sciences Center, a biology undergraduate. Address: Saulėtekio Ave 7, LT-10257 Vilnius, e-mail: darijalebed@gmail.com.

Anita Elizabeth CLARKE. Vilnius University, Life Sciences Center, Institute of Biosciences, PhD student. Address: Saulėtekio Ave 7, LT-10257 Vilnius, e-mail: anita.clarke@gmc.vu.lt.

Andrius GARBARAS. State Research Institute Center for Physical Sciences and Technology, Department of Nuclear Research, Head of Isotopic Research Laboratory, Senior Researcher. Address: Saulėtekio Ave 3, LT-10257 Vilnius, Lithuania, e-mail: andrius.garbaras@ftmc.lt.

Radvilė RIMGAILĖ-VOICIK. Vilnius University, Life Sciences Center, Institute of Biosciences, Associate Professor. Address: Saulėtekio Ave 7, LT-10257 Vilnius, e-mail: radvile.rimgaile-voicik@gmc.vu.lt.

HIDROGELIŲ IR OLEOGELIŲ SU *p*-KUMARO RŪGŠTIMI MODELIAVIMAS IR BIOFARMACINIS VERTINIMAS

Justė Mickevičiūtė, Kristina Ramanauskienė

Lietuvos sveikatos mokslų universitetas

Oda yra apsauginis žmogaus organas, kuris gali būti pažeidžiamas išorinės aplinkos. Aktualu ieškoti apsauginio poveikio veikliųjų junginių kuriant pusiau kietas farmacinės formas, pavyzdžiui, gelius, vartojamas ant odos. Šio tyrimo metu pasirinkta veiklioji medžiaga: *p*-kumaro rūgštis, kuri pasižymi antioksidaciniu, antimikrobinu ir priešuždegiminiu poveikiu. Hidrogelių gamybai kaip gelifikuojanti medžiaga pasirinktas poloksameras. Palyginimui buvo pagaminti oleogeliai. Aliejine faze naudotas alyvuogių aliejus, gelifikantas – koloidinis silicio dioksidas. Tyrimų rezultatai parodė, kad *p*-kumaro rūgštis turi įtakos gelių pH reikšmei. Gelių pagrindų pH reikšmė buvo didesnė, lyginant su pagamintais *p*-kumaro rūgšties geliais. Tyrimų metu nustatyta, kad gelifikanto kiekis geliuose daro įtaką klampai, *p*-kumaro rūgšties atpalaidavimo kinetikai ir antioksidaciniam aktyvumui. Pagamintos formuluotės pasižymėjo antioksidaciniu aktyvumu, kuris priklauso nuo atpalaiduoto veikliosios medžiagos kiekio.

Raktiniai žodžiai: *P*-kumaro rūgštis, gelis, poloksameras, alyvuogių aliejus.

Įvadas

Pusiau kietos farmacinės formos plačiai taikomos kuriant kosmetines ir gydomąsias priemones odos priežiūrai bei gydymui. Vietinio poveikio vartojamų ant odos preparatų potencialus augimas skatina ieškoti naujų kompozicijų, vertinti jų kokybę taikant šiuolaikinius analizės metodus siekiant biologinio aktyvumo pagrindimo.

Šio tyrimo metu pasirinkta gaminti hidrofilinius gelius ir oleogelius. Hidrofiliniai geliai pasižymi geru tepumu, lengvai nusiplauna nuo odos ir turi drėkinamųjų savybių. Augaliniai aliejai naudingi odos priežiūrai ir žaizdų gijimui dėl sudėtyje esančių antioksidantų. Augalinio aliejaus gelifikacija leidžia suformuoti pusiau kietos konsistencijos oleogelius, pasižyminčius stabilumu, biologiniu darnumu su daugeliu veikliųjų junginių (Agrawal et al., 2009). Nesudėtinga oleogelių ir gelių technologija skatina mokslininkus taikyti juos biologiškai aktyvių junginių inkorporavimui, formuluojant apsauginio poveikio pusiau kietas sistemas (Elmowafy et al., 2021). Aktualu sumodeliuoti oleogelius ir hidrofilinius gelius su *p*-kumaro rūgštimi dėl turimų biologinių savybių. *P*-kumaro rūgštis yra natūralus metabolitas, esantis daugelyje augalų, o jos antioksidacinis aktyvumas mažinant oksidacinį stresą ir uždegimines reakcijas buvo įrodytas įvairiais eksperimentiniais modeliais (An et al., 2010). Mokslininkai ištyrė *p*-kumaro rūgšties antimelanogenines savybes: tai sustiprina šios rūgšties taikymo potencialą kosmetikos gaminiuose (Boo et al., 2019).

Hidrogelių gamybai pasirinktas gelifikantas poloksameras 407, kuris plačiai taikomas kaip pagalbinė medžiaga geriamųjų tirpalų, suspensijų, inhaliacijų, parenterinių, oftalmologinių ar vietinio poveikio farmacinių formų gamyboje (Dumortier et al., 2006). Oleogelių gamybai naudotas alyvuogių aliejus. Oğuz ir kt. atliko tyrimą, kuriame dalyvavo 56 dalyviai, siekdami nustatyti alyvuogių aliejaus veiksmingumą krūties spenelių įtrūkimų profilaktikai ir gydymui. Tyrimo metu buvo nustatyta, kad alyvuogių aliejus pasižymėjo geresniu poveikiu lyginant su lanolinu (Oğuz et al., 2014). Alyvuogių aliejuje esantis skvalenas turi antioksidacinių ir drėkinamųjų savybių ir gali būti naudojamas žmonėms, sergantiems seborėjinio dermatitu, akne, psoriaze ir atopiniu dermatitu (Lopez et al., 2014), todėl vienas iš šio darbo uždavinių buvo suformuoti oleogelius alyvuogių aliejaus pagrindu, naudojant gelifikantus silicio dioksidą ir karnaubo vašką. Sumodeliuotų formuluočių kokybė vertinta nustatant pH reikšmę, klampą ir *p*-kumaro rūgšties išsiskyrimą *in vitro*. Šio eksperimentinio darbo tikslas – įvertinti veiksnius, darančius įtaką *p*-kumaro rūgšties išsiskyrimui iš sumodeliuotų gelių.

Tyrimų metodika

Pirmame etape buvo pagaminti 15 % ir 18 % koncentracijos poloksamero geliai. Reikiamas poloksamero kiekis sumaišytas su išgrynintu vandeniu ir laikytas 4 °C temperatūroje, kol gelifikantas ištirpo ir susiformavo skaidrus tirpalas. Į poloksamero tirpalą buvo įterpta 96 % (v/v) etanolyje ištirpinta *p*-kumaro rūgštis. Mišinys buvo maišomas iki kol susiformavo vienalytis gelis. Eksperimentinių tyrimų metu buvo pagaminti 5 % ir 7 % koloidinio silicio dioksido oleogeliai. Koloidinis silicio dioksidas buvo sumaišytas su alyvuogių aliejumi iki vientisos masės. Paruoštame pagrinde buvo suspenduota *p*-kumaro rūgštis. Karnaubo vaško oleogelis buvo pagamintas tiesioginės dispersijos metodu. Reikiamas kiekis alyvuogių aliejaus buvo kaitinamas iki 90 °C. Į karštą aliejų įdėtas reikiamas karnaubo vaško kiekis. Buvo maišoma, kol karnaubo vaškas išsilydė. Atvėsintame pagrinde suspenduota *p*-kumaro rūgštis.

Pagamintų hidrogelių ir oleogelių dinaminė klampa nustatyta naudojant vizkozimetą „Vibro viscometer SV-10“ („A&D Company, Ltd“, Japonija).

Eksperimentinių formuluočių pH reikšmė nustatyta naudojant pH-metrą „pH-meter 766“ su elektrodu „Knick SE 104 N“ („Knick Elektronische Messgeräte GmbH & Co. KG“, Vokietija).

P-kumaro rūgšties ir pusiau kietų farmacinių formų su p-kumaro rūgštimi antioksidacinio aktyvumo įvertinimas buvo atliktas naudojant reagentą 2,2-difenil-1-pikrilhidrazilą (DPPH) (Jokubaite et al., 2024).

P-kumaro rūgšties atpalaidavimo tyrimas *in vitro* iš gelių ir oleogelių buvo atliktas naudojant modifikuotas Franz tipo difuzines celes. Kaip donorinė fazė naudotas $1 \pm 0,05$ g hidrogelio / oleogelio mėginys, o kaip akceptorinė terpė – 30 ml išgryninto vandens ir 96 % (v/v) etanolio (70:30) mišinys. Akceptorinės terpės temperatūra $32 \pm 0,5$ °C. Akceptorinei terpei maišyti naudota magnetinė maišyklė IKA C-MAG HS 7 („IKA-Werke GmbH & Co. KG“, Vokietija). Akceptorinės terpės bandiniai buvo imami po 1, 3, 4 ir 6 val. Atpalaiduotas p-kumaro rūgšties kiekis nustatytas atliekant reakciją su Folin-Ciocalteu reagentu, matuojant absorbciją UV/Vis spektrofotometru, esant 760 nm bangos ilgiui (Jokubaite et al., 2024).

Statistinė rezultatų analizė buvo atlikta naudojant „IBM SPSS“ ir „Microsoft Office Excel 2019“ programas. Apskaičiuotos gautų tyrimų rezultatų standartinės paklaidos, standartiniai nuokrypiai ir vidurkiai. Statistinis skirtumų reikšmingumas vertintas naudojant vieno faktoriaus dispersinę analizę ANOVA. Gauti rezultatai laikomi statistiškai reikšmingi, kai p reikšmė mažesnė už 0,05 ($p < 0,05$).

Rezultatai ir aptarimas

Tyrimų metu buvo pagamintos skirtingos hidrogelių ir oleogelių kompozicijos, į kuriuos įterpta 1 proc. p-kumaro rūgšties. Formuluočių sudėtys pateiktos 1 lentelėje.

1 lentelė. Hidrogelių ir oleogelių su p-kumaro rūgštimi sudėtys

Table 1. Compositions of hydrophilic gels and oleogels with p-coumaric acid

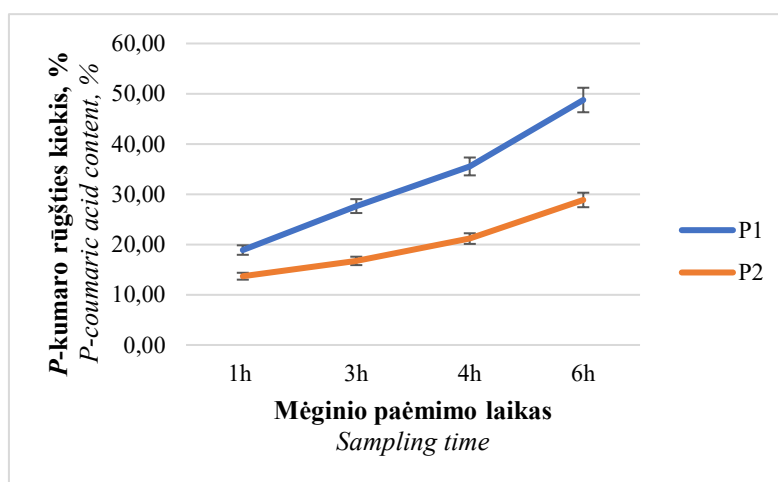
Formuluotė <i>Composition</i>	<i>p</i> -kumaro rūgšties kiekis, g <i>Quantity of p-coumaric acid, g</i>	Gelifikantas <i>Gelling agent</i>	Gelifikanto kiekis, g <i>Quantity of gelling agent, g</i>	Tirpikliai <i>Solvents</i>	Tirpiklių kiekis, g <i>Quantity of solvents, g</i>	Drėkiklis <i>Moisturizer</i>	Drėkiklio kiekis, g <i>Quantity of moisturizer, g</i>
P1	1,0	Poloksameras 407 <i>Poloxamer 407</i>	15,0	Etanolis 96 % (v/v), Išgrynintas vanduo <i>Ethanol 96 % (v/v) Purified water</i>	5,0 Iki 100,0 <i>Ad 100,0</i>	Glicerolis <i>Glycerol</i>	5,0
P2	1,0		18,0		5,0 Iki 100,0 <i>Ad 100,0</i>		
A1	1,0	Koloidinis silicio dioksidas <i>Colloidal silicon dioxide</i>	5,0	Alyvuogių aliejus <i>Olive oil</i>	Iki 100,0 <i>Ad 100,0</i>		
A2	1,0		7,0				
V1	1,0	Karnaubo vaškas <i>Carnauba wax</i>	10,0				

Pasirinkti gelifikantai ir jų kiekiai tinkami siekiant suformuoti pusiau kietos konsistencijos formas su p-kumaro rūgštimi. Hidrogelių pagrindo tirpikliu naudotas išgrynintas vanduo. Oleogelių gamyboje kaip tirpiklis naudotas alyvuogių aliejus. Glicerolis formuluočių sudėtyje pasirinktas kaip drėkiklis, kuris buvo darnus su kitais komponentais ir tolygiai pasiskirstė pagamintoje masėje. Hidrogeliuose p-kumaro rūgštis įterpta etanolinio tirpalo formoje. Aliejinio pagrindo pusiau kietose farmacinėse formose p-kumaro rūgštis buvo inkorporuota suspensijos forma.

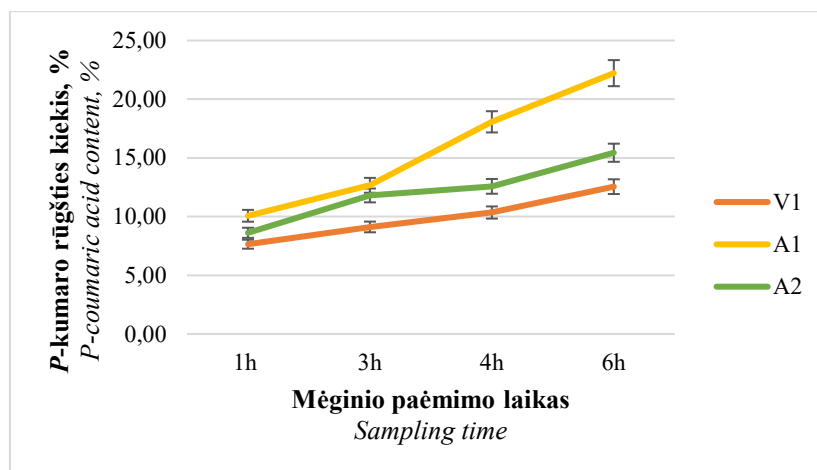
2 lentelė. Sumodeliuotų formuluočių kokybės vertinimo rezultatai**Table 2.** Results of quality assessment of modelled formulations

Formuluotė <i>Composition</i>	Dinaminė klampa, Pa x s <i>Dynamic viscosity, Pa x s</i>	pH be <i>p</i> -kumaro rūgšties <i>pH without p-coumaric acid</i>	pH su <i>p</i> -kumaro rūgštimi <i>pH with p-coumaric acid</i>	Antioksidacinis aktyvumas, % <i>Antioxidant activity, %</i>
P1	10,60 ± 0,03	6,93 ± 0,32	3,66 ± 0,17	27,06 ± 0,43
P2	10,80 ± 0,02	7,06 ± 0,24	3,81 ± 0,10	14,24 ± 0,52
A1	0,43 ± 0,04	5,12 ± 0,15	4,04 ± 0,18	17,30 ± 0,38
A2	3,38 ± 0,02	5,04 ± 0,31	3,96 ± 0,22	14,22 ± 0,58
V1	0,95 ± 0,04	12,07 ± 0,17	12,04 ± 0,14	19,11 ± 0,64

Tyrimų rezultatai parodė (2 lentelė), jog sumodeliuotų formuluočių klampa priklausė nuo naudoto gelifikanto ir jo kiekio. Poloksamero geliai pasižymėjo didesne klampa, lyginant su tirtaisiais oleogeliais. Tyrimų rezultatai taip pat parodė, kad *p*-kumaro rūgšties įterpimas statistiškai reikšmingai ($p < 0,05$) sumažina hidrogelių ir oleogelių (A1, A2) pH reikšmę. Tik oleogelio V1 pH reikšmė statistiškai reikšmingai nepakito ($p \geq 0,05$). Tyrimo rezultatai rodo, kad oleogelio V1 gamybai naudojant gelifikantą karnaubo vašką, *p*-kumaro rūgšties priedas neturi reikšmingos įtakos pH reikšmei. Tyrimų rezultatai patvirtino, kad formuočių pH reikšmė priklauso nuo sudėtyje esančių komponentų (Jokubaite et al., 2024). Tirtosios formuluotės pasižymėjo statistiškai reikšmingai ($p < 0,05$) mažesniu antioksidaciniu aktyvumu, lyginant su tirtaisiais kontroliniais tirpalais. Kaip kontrolė buvo naudoti 1 % vitamino C, 1 % vitamino E ir 1 % *p*-kumaro rūgšties tirpalai, kurių antioksidacinis aktyvumas buvo atitinkamai 98 %, 90 % ir 46 %.

**1 pav.** *p*-kumaro rūgšties išsiskyrimas iš hidrogelių**Fig. 1.** Release of *p*-coumaric acid from hydrogels

Iš 1 paveikslė pateiktų duomenų matyti, jog P1 formuluotės gelis, kuriame buvo mažesnis poloksamero kiekis, atpalaidavo žymiai daugiau *p*-kumaro rūgšties, tai yra $48,75 \pm 1,7$ %, nei P2 gelis, kuris po 6 valandų atpalaidavo $28,86 \pm 2,0$ % veikliosios medžiagos.



2 pav. *p*-kumaro rūgšties išsiskyrimas iš oleogelių

Fig. 2. Release of *p*-coumaric acid from oleogels

Mažiausią kiekį veikliosios medžiagos atpalaidavo oleogelio V1 formuluotė ($12,55 \pm 2,0$ %) (2 pav.). Galima teigti, jog gelifikuojant alyvuogių aliejų karnaubo vašku, suformuojama didesnės klampos ir tvirtesnės struktūros oleogelio sistema iš kurios *p*-kumaro rūgštis išsiskiria lėčiau. Iš kitų oleogelių išsiskyrė didesnis kiekis *p*-kumaro rūgšties, lyginant su V1 formuluote. Statistiškai reikšmingai ($p < 0,05$) didesnis *p*-kumaro rūgšties kiekis buvo atpalaiduotas iš hidrogelių, lyginant su oleogeliais. *In vitro* išsiskyrimo testas atskleidžia farmacinių veiksmų, tokių kaip veikliosios medžiagos tirpumas pagrinde, dalelių dydis, farmacinės formos klampa, įtaką vaistinės medžiagos atpalaidavimui iš inkorporuoto pagrindo per sintetinę membraną į akceptorinę terpę (Bernardo et al., 2024). *p*-kumaro rūgšties atpalaidavimą iš oleogelių galėjo riboti blogas tirpumas.

Išvados

1. Eksperimentinių tyrimų metu pagaminti skirtingų sudėčių stabilūs, vienalyčiai hidrogeliai ir oleogeliai su *p*-kumaro rūgštimi.
2. Parinkta gelio kategorija ir gelifikanto kiekis daro įtaką formuluočių pH reikšmei, klampai ir *p*-kumaro rūgšties išsiskyrimo kinetikai per pusiau pralaidžią membraną.
3. Oleogelių ir hidrogelių formulavimui pasirinktos pagalbinės medžiagos turėjo įtakos formuluočių antioksidaciniam aktyvumui. Nors iš oleogelių išsiskyrė mažesnis kiekis veikliosios medžiagos, jų antioksidacinis aktyvumas buvo panašus į hidrogelių. Oleogelių antioksidacinį aktyvumą sustiprina kaip tirpiklis naudotas alyvuogių aliejus ir gelifikantas karnaubo vaškas.

Literatūra

1. Agrawal, V., Gupta, V., Ramteke, S., & Trivedi, P. (2010). Preparation and evaluation of tubular micelles of pluronic lecithin organogel for transdermal delivery of sumatriptan. *Aaps PharmSciTech*, 11(4), 1718–1725.
2. An, S. M., Koh, J. S., & Boo, Y. C. (2010). *p*-coumaric acid not only inhibits human tyrosinase activity in vitro but also melanogenesis in cells exposed to UVB. *Phytotherapy research: PTR*, 24(8), 1175–1180. <https://doi.org/10.1002/ptr.3095>
3. Bernardo, A. G., Faccin, T. S., de Oliveira, M. C., de Castro Hoshino, L. V., Baesso, M. L., Pangoni, F. B. B., & Bruschi, M. L. (2024). The impact of isopropanol and carbomer type on physicochemical characteristics of bioadhesive thermoresponsive platforms for eprinomectin delivery. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 98, 105835.
4. Boo, Y. C. (2019). *p*-Coumaric Acid as An Active Ingredient in Cosmetics: A Review Focusing on its Antimelanogenic Effects. *Antioxidants*, 8(8), 275. <https://doi.org/10.3390/antiox8080275>
5. Dumortier, G., Grossiord, J. L., Agnely, F., & Chaumeil, J. C. (2006). A review of poloxamer 407 pharmaceutical and pharmacological characteristics. *Pharmaceutical research*, 23(12), 2709–2728. <https://doi.org/10.1007/s11095-006-9104-4>
6. Elmowafy, M., Musa, A., Alnusaie, T. S., Shalaby, K., Fouda, M. M. A., Salama, A., Al-Sanea, M. M., Abdelgawad, M. A., Gamal, M., & Fouad, S. A. (2021). Olive Oil/Pluronic Oleogels for Skin Delivery of Quercetin: In Vitro Characterization and Ex Vivo Skin Permeability. *Polymers*, 13(11), 1808. <https://doi.org/10.3390/polym13111808>

7. Jokubaite, M., & Ramanauskiene, K. (2024). Potential Unlocking of Biological Activity of Caffeic Acid by Incorporation into Hydrophilic Gels. *Gels*, 10(12), 794. <https://doi.org/10.3390/gels10120794>
8. Lopez, S., Bermudez, B., Montserrat-de la Paz, S., Jaramillo, S., Varela, L. M., Ortega-Gomez, A., Abia, R., & Muriana, F. J. (2014). Membrane composition and dynamics: a target of bioactive virgin olive oil constituents. *Biochimica et biophysica acta*, 1838(6), 1638–1656. <https://doi.org/10.1016/j.bbamem.2014.01.007>
9. Oğuz, S., Işık, S., Güngör, A. N. Ç., Şeker, M., & Ogretmen, Z. (2014). Protective efficacy of olive oil for sore nipples during nursing. *Family Med Community Health*, 1, 1021.

Justė Mickevičiūtė, Kristina Ramanauskiene

Modeling and Biopharmaceutical Evaluation of Hydrogels and Oleogels With *P*-Coumaric Acid

The skin is a protective organ of the human body that can be affected by various external environment factors. It is relevant to search for active compounds with protective effects when developing semi-solid pharmaceutical forms, such as gels, used on the skin. The active substance chosen in this study is *p*-coumaric acid, because it has antioxidant, antimicrobial and anti-inflammatory effects. Poloxamer was chosen as the gelling agent to produce hydrogels. Oleogels were prepared to make a comparison. Olive oil was used as the oil phase, and colloidal silicon dioxide was the gelling agent. The results of the studies showed that *p*-coumaric acid affects the pH value of the gels. The pH value of the gel bases was higher compared to the prepared *p*-coumaric acid gels. During the studies, it was found that the amount of gelling agent in the gels affects the viscosity, *p*-coumaric acid release kinetics and antioxidant activity. The produced formulations were characterized by antioxidant activity, which depends on the amount of released active ingredient.

Keywords: *P*-coumaric acid, gel, poloxamer, olive oil.

Gauta 2025 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2025 m. balandžio mėn.

Justė MICKEVIČIŪTĖ. Lietuvos sveikatos mokslų universiteto Medicinos akademijos Farmacijos fakulteto biomedicinos (farmacijos) mokslų magistrantė. Adresas: Sukilėlių pr. 13, LT-50162 Kaunas, tel. +370 373 27290, el. paštas: juste.mickeviciute@stud.lsmu.lt

Justė MICKEVIČIŪTĖ. Lithuanian University of Health Sciences, Medical Academy, Faculty of Pharmacy, Master student of Biomedical Sciences (Pharmacy). Address: Sukilėlių pr. 13, LT-50162 Kaunas. Phone: +370 373 27290, e-mail: juste.mickeviciute@stud.lsmu.lt

Kristina RAMANAUSKIENĖ. Lietuvos sveikatos mokslų universiteto Medicinos akademijos Farmacijos fakulteto biomedicinos (farmacijos) mokslų daktarė, Klinikinės farmacijos katedros profesorė. Adresas: Sukilėlių pr. 13, LT-50162 Kaunas, tel. +370 373 27290, el. paštas: kristina.ramanauskiene@lsmu.lt

Kristina RAMANAUSKIENĖ. Lithuanian University of Health Sciences, Medical Academy, Faculty of Pharmacy, Biomedical Sciences (Pharmacy) PhD, Department of Clinical Pharmacy, prof. Address: Sukilėlių pr. 13, LT-50162 Kaunas. Phone: +370 373 27290, e-mail: kristina.ramanauskiene@lsmu.lt

EMULGELIŲ SU PAPRASTŲJŲ ŠERMUKŠNIŲ VAISIŲ (*SORBUS AUCUPARIA* L.) EKSTRAKTAIS STABILUMAS IR FIZIKINIŲ SAVYBIŲ ĮVERTINIMAS

Augustė Morta Vaitkutė, Agnė Mazurkevičiūtė, Kristina Zymonė

Lietuvos sveikatos mokslų universitetas

Pasaulyje kiekvienais metais diagnozuojama vis daugiau odos melanomos atvejų, kuriuos bandoma sustabdyti pasitelkiant prevenciškai veikiančius produktus. Šiai paskirčiai tiktų paprastųjų šermukšnių vaisių ekstraktai, kuriuose randama ne tik fotokancerogenezę mažinančių bioaktyviųjų junginių, bet ir antimikrobinį poveikį suteikiančių medžiagų. Tyrimas atliktas pasitelkiant skirtingas aliejaus koncentracijas ir gelifikuojančias medžiagas turinčius emulgelius, kurių fizikinės savybės ir stabilumas vertintas panaudojant „Mastersizer“ įrenginį bei rotacinį reometrą. Tyrimo metu nustatyta, jog aliejaus koncentracija ir įterpiamas aliejinio ekstrakto kiekis reikšmingai nekeičia emulgelio dalelių dydžio, tuo tarpu šaldymo sąlygos padidina fiksuojamų dalelių dydžių reikšmes tiek karbomero 980, tiek poloksamero 407 emulgeliuose, tačiau vizualiai tik Poloksamero emulgeliai tampa nestabilūs ir nepalaiko reikiamos konsistencijos.

Raktiniai žodžiai: emulgelis, karbomeras 980, poloksameras 407, šermukšniai.

Įvadas

Pasaulio sveikatos organizacijos duomenimis, 2020 metais visame pasaulyje buvo diagnozuota apie 300 000 naujų odos melanomos atvejų, kas sudarė apie 2 proc. visų vėžinių ligų, ir toks reiškinys yra augantis pastaruosius kelis dešimtmečius visame pasaulyje, todėl žmonėms svarbu atrasti efektyviausius prevenciškai veikiančius produktus, siekiant valdyti augančią vėžio susirgimo riziką (Lietuvos..., 2022).

Sorbus aucuparia L. (paprastasis šermukšnis) – 15–20 metrų medis, plačiai paplitęs Europoje – nuo Islandijos iki Ispanijos ir Kaukazo – ir nuo seno naudojamas liaudies medicinoje (Raspe et al., 2000). Šiuo metu ši augalinė žaliava tiriama dėl priešnavikinio aktyvumo melanomai valdyti (Razina et al., 2016). Be to, *S. aucuparia* aliejinių ekstraktų sudėtyje randama karotinoidų, didinančių odos atsparumą UVB sukeltai eritemai, mažinančių fotokancerogenezę bei apsaugančių nuo su senėjimu susijusio kolageno irimo dermoje (Baswan et al., 2021), o vandeninių ekstraktų sudėtyje randama fenolinių junginių (chlorogeno ir neochlorogeno rūgštys, kvercetas, antocianinai, katechinai ir kt.), pasižyminčių antimikrobinio poveikiu prieš odos infekcijas sukeliančius *Staphylococcus aureus* bei *Pseudomonas aeruginosa* (Vaitūnaitė, 2014). Todėl šiuo tyrimu buvo siekiama sukurti emulgelius su *S. aucuparia* vaisių ekstraktais bei parinkti tinkamo stabilumo ir klampos formuluoatę, naudojant gelifikuojančias medžiagas.

Tyrimų metodika

Tyrimas atliktas su skirtingas aliejaus koncentracijas turinčiais emulgeliais, kurių sudėtis nurodyta 1 lentelėje.

1 lentelė. Emulgelio formuluočių sudėtinės dalys

Table 1. Components of emulgel formulations

Kodas Code	Polisorbatas 80 (25 proc.) (proc.) <i>Polysorbate 80</i> (25%) (%)	Migdolų aliejus (proc.) <i>Almond oil</i> (%)	Karbomeras 980 (1 proc.) (proc.) <i>Carbomer 980 (1%)</i> (%)	Poloksameras 407 (proc.) <i>Poloxamer</i> 407 (%)	Aliejinis ekstraktas (1:5) (proc.) <i>Oil extract (1:5)</i> (%)
K10	5	10	85	-	-
K20	5	20	75	-	-
K30	5	30	65	-	-
K40	5	40	55	-	-
K10*	5	-	85	-	10
K20*	5	10	75	-	10
K30*	5	20	65	-	10
K40*	5	30	55	-	10
P10	5	10	-	85	-
P20	5	20	-	75	-
P30	5	30	-	65	-
P40	5	40	-	55	-

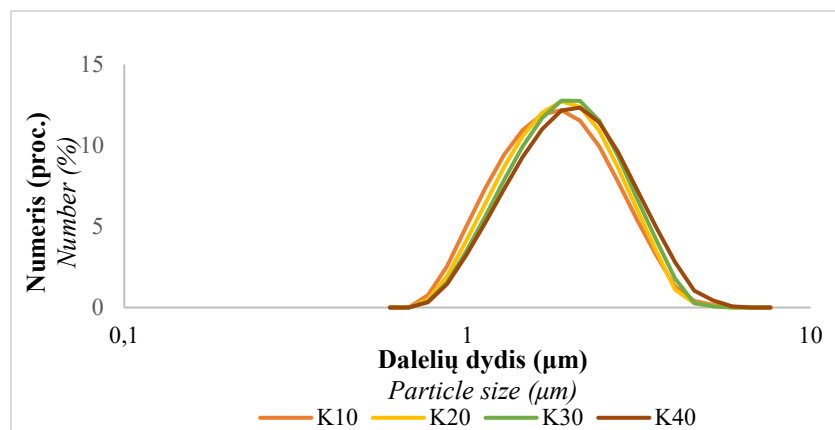
Pastaba / Note. * Emulgelio sudėtyje yra aliejinio *S. aucuparia* ekstrakto; * The emulgel contains *S. aucuparia* extract.

Dalelių dydis ir pasiskirstymas buvo įvertinti naudojant „Mastersizer 3000“ su „Hydro EV“ įrenginiu („Malvern Panalytical Ltd.“, Malvernas, JK). Praskiesti vandeniu mėginiai buvo lašinami į dispergentą (vandenį), kad būtų gautas 9,5–10,5 proc. lazerio užtemimas. Temperatūros įtaka gelifikacijos procesui matuota naudojant rotacinį reometrą MCR102 („Anton Paar BmbH“, Gracas, Austrija) su plokštelės-plokštės geometrija (tarpas 1,0 mm); temperatūra (40–0 °C) buvo kontroliuojama Peltier sistema.

Rezultatai ir aptarimas

Dalelių dydis ir jų pasiskirstymas yra svarbus parametras lyginant dispersijas, nes dispersijos su didelėmis dalelėmis yra mažiau stabilios nei su mažesnėmis dalelėmis.

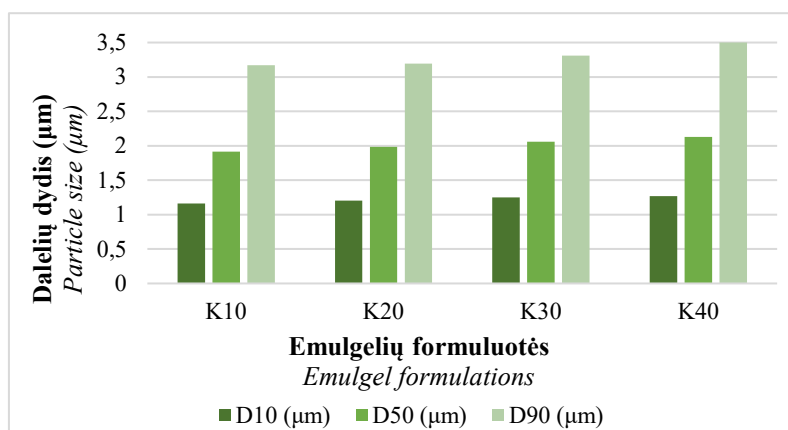
1 paveiksle matomas dalelių pasiskirstymas skirtingų formuluočių emulgeliuose su karbomeru 980. Nustatyta, kad aliejaus koncentracija emulių dalelių dydžiams ir pasiskirstymui statistškai reikšmingo poveikio neturėjo ($p > 0,05$), o visų ištirtų preparatų dalelės pasiskirsto tame pačiame diapazone: K10, K20, K30 ir K40 0,767–5,920 μm .



1 pav. Dalelių pasiskirstymas skirtingos migdolų aliejaus koncentracijos emulgeliuose su karbomeru 980

Fig. 1. Particle distribution in emulgels with different almond oil concentrations containing Carbomer 980

Procentiliai D10, D50 ir D90 nurodo dydį, kuriam esant atitinkamai 10 proc., 50 proc. ir 90 proc. dalelių yra lygios arba mažesnės. Vidutinis diametras D50 reiškia tokią dalelių pasiskirstymo vertę, kuriai esant 50 proc. dalelių tūris yra lygus arba mažesnis. Dalelių dydžio matavimai (nurodyti 2 paveiksle), išreikšti procentiliais (D10, D50 ir D90), parodė sąlyginai vienodus dalelių dydžius skirtinguose migdolų aliejaus koncentracijos emulgeliuose su karbomeru 980, o statistškai reikšmingų skirtumų nenustatyta ($p > 0,05$).



2 pav. Procentilių D10, D50 ir D90 reikšmės skiriasi migdolų aliejaus koncentracijos emulgeliuose su karbomeru 980

Fig. 2. The percentile values D10, D50, and D90 of different almond oil concentrations in emulgel formulations with Carbomer 980

Papildomai buvo atliktas stabilumo vertinimas panaudojant šaldymo-atitirpinimo testą, kuris apėmė 72 val. šaldymą (-20 ± 1 °C), po kurio sekė 24 val. atitirpinimas (20 ± 1 °C). Nors emulgeliai, veikiami šaldymo, vizualiai išliko stabilūs, be akivaizdaus aliejinės ir vandeninės fazių atsiskyrimo, spalvos ar tekstūros pokyčių, dalelių dydžio matavimai, pateikti 2 lentelėje, atskleidė, kad po šaldymo proceso D50 pokytis buvo nedidelis K20, K30 ir K40 formuluočių, o K10 reikšmė padidėjo. D90 reikšmė padidėjo (vidutinis tirtų emulgelio formuluočių D90 lygus 43,70 (8,98) μm) visose emulgelio formuluočių, lyginant su dalelių dydžiu

prieš šaldymą (vidutinis tirtų emulgelio formuluočių D90 lygus 3,30 (0,16) μm). Po šaldymo didžiausi dalelių dydžiai (D10, D50 ir D90) buvo stebėti karbomero 980 emulgeliuose, kuriuose buvo 10 proc. aliejaus koncentracija, o mažiausi dalelių dydžio pokyčiai stebėti emulgeliuose su 20 proc. aliejaus koncentracija. Rezultatai parodo, kad stabiliausias emulgelis su mažiausia fazių atsiskyrimo rizika ir geriausiu veikliųjų medžiagų prasiskverbimu pro odos barjerą yra K20, nes jo D90 reikšmė, atspindinti didesnių dalelių dalį mėginyje, yra mažiausia.

2 lentelė. Skirtingo aliejaus koncentracijų karbomero 980 emulgelio dalelių dydžio matavimai, išreikšti procentiliais, prieš ir po atlikto šalčio įtakos stabilumui vertinimo

Table 2. The measurements of the particle sizes of Carbomer 980 emulgels at different concentrations of almond oil, expressed as percentiles, before and after assessing the stability under cold influence

Procentilis Percentile	Prieš šaldymą Before freezing				Po šaldymo After freezing			
	K10	K20	K30	K40	K10	K20	K30	K40
D10 (μm)	1,16	1,20	1,25	1,27	2,60	1,06	1,10	1,06
D50 (μm)	1,92	1,99	2,06	2,13	22,10	4,65	2,35	2,12
D90 (μm)	3,17	3,19	3,31	3,51	55,40	33,70	41,50	44,20

Tyrimo metu į skirtingas keturias emulgelio formulutes buvo įterptas migdolų aliejumi išgautas paprastųjų šermukšnių ekstraktas (1:5). Šermukšnių ekstrakto įterpimas į aliejus – vanduo disperguotą sistemą lėmė tai, kad dalelių dydis (D50) išliko gana pastovus (vidutinis tirtų emulgelio formuluočių D50 lygus 2,04 (0,14) μm), palyginti su emulgelio dalelėmis, sudarytomis tik iš aliejaus ir nepaveiktomis šalčio (vidutinis tirtų emulgelio formuluočių D50 lygus 2,02 (0,09) μm). 3 lentelėje matomi rezultatai parodo, kad aliejinio ekstrakto įterpimas neturi tiesioginio poveikio emulgelio dalelių dydžiui, todėl ir jų stabilumui.

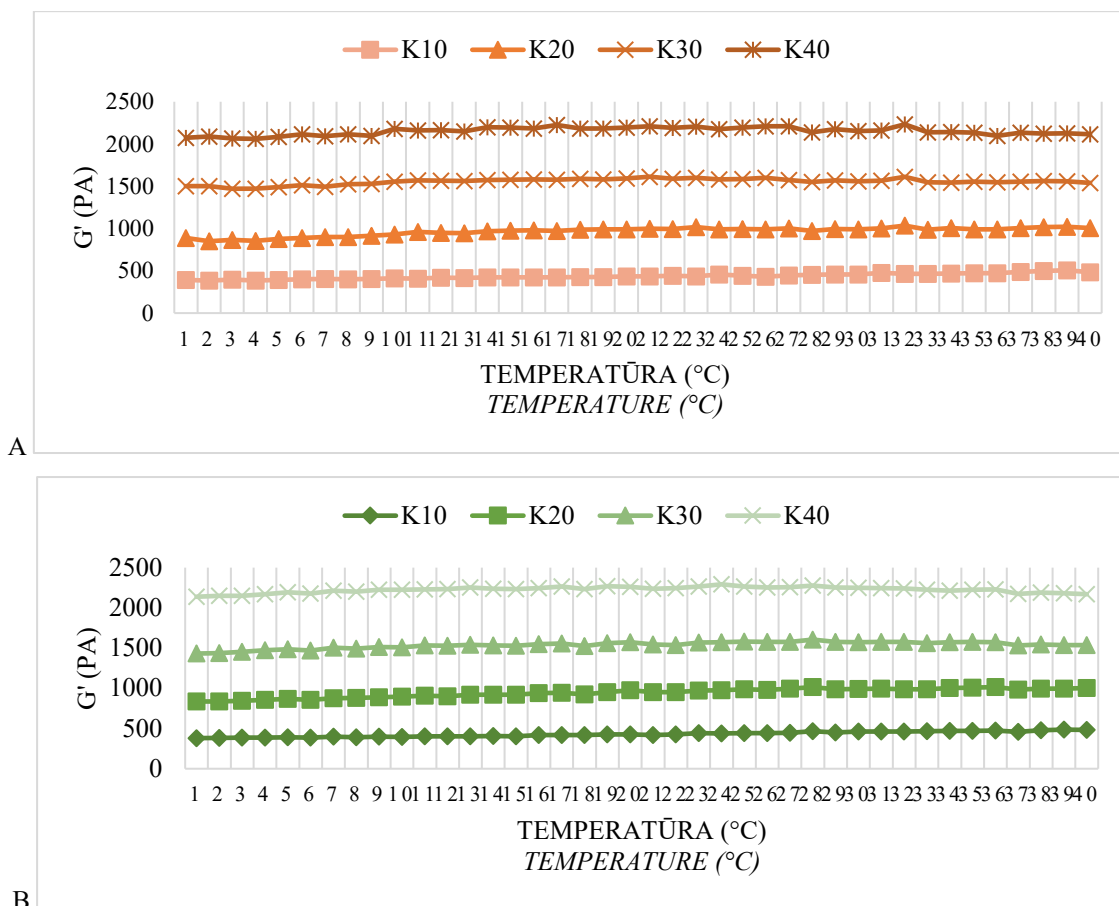
3 lentelė. *S. aucuparia* aliejinio ekstrakto įtaka emulgelio su karbomeru 980 dalelių dydžiams

Table 3. The effect of *S. aucuparia* oil extract on the particle sizes of Carbomer 980 emulgels.

Formuluotė Formulation	D50 (μm)	
	Be ekstrakto No extract	Su ekstraktu With extract
K10	1,92 (0,09)	1,85
K20	1,99 (0,04)	2,04 (0,01)
K30	2,06 (0,02)	2,05 (0,02)
K40	2,13 (0,03)	2,20 (0,01)

Karbomero 980 gelifikacijos procesui temperatūra neturi didelės įtakos, nes jo formavimą daugiau lemia terpės pH bei elektrolitų koncentracija, nes karbomeras reaguoja su bazėmis ir sudaro gelį dėl elektrostatinio atstūmimo tarp neigiamų krūvių.

Tyrimas, kurio metu buvo tiriama temperatūros įtaka gelifikacijos procesui bei tiriamų emulgelio formuluočių konsistencijai, panaudojant rotacinį reometrą, įrodė, kad temperatūros diapazone (0–40 °C) emulgeliai išlaikė pusiau kietą konsistenciją (3 pav. A), nepriklausomai nuo aliejaus kiekio, o tai parodo stabilumo išlaikymą keičiantis temperatūros režimui. Panašūs rezultatai stebimi įterpus į formulutes *S. aucuparia* aliejinį ekstraktą (3 pav. B), o tai nusako, kad ekstrakto dalelės neturi tiesioginio poveikio emulgelio konsistencijai ir jos stabilumui keičiantis temperatūros sąlygoms. Temperatūros priklausomybė nuo saugojimo modulio (G') parodyta 3 paveiksle, kuris matuoja medžiagos elastingumą, nusako, kiek medžiaga gali atlaikyti deformaciją ir grįžti į pradinę būseną po jėgos panaikinimo.



3 pav. Temperatūros įtaka emul gelių su karbomeru 980 formuluočių konsistencijai (A – emulgeliai be aliejinio ekstrakto, B – emulgeliai su aliejinio ekstraktu)

Fig. 3. The effect of temperature on the consistency of emulgel formulations with Carbomer 980 (A – emulgels without oil extract, B – emulgels with oil extract)

Emulgeliai – farmacinė forma, gaunama sumaišius emulsiją (šiuo atveju aliejus vandenyje) su gelio pagrindu. Tyrimo metu emul gelių formulotėse panaudotas ne tik aliejinis *S. aucuparia* ekstraktas, gausus karotinoidų, bet ir vandeninis paprastųjų šermukšnių ekstraktas, pasižymintis fenoliniais junginiais (antocianinai, chlorogeno, neochlorogeno rūgštys). Įterpus vandeninį *S. aucuparia* ekstraktą į turimų emul gelių su karbomeru 980 formuluočių sudėtį pastebėta, jog ekstraktas keičia terpės pH, ji stipriai rūgštėja (pH lygus 3), ekstrakto dalelės trukdo formuoti ryšius protonizuojamos karboksilo grupės ir mažindamos elektrostatinį atstūmimą, dėl to karbomero gelis nesugeba suformuoti gelifikuojančių ryšių ir tampa skystas, sunkiai tepamas ant odos net ir po neutralizacijos reakcijų, o bandant suformuoti emul gelį jo aliejinė ir vandeninė fazės išlieka atsiskyrusios ir tai galima stebėti 4 paveiksle.



4 pav. Suformuotų emul gelių konsistencija (A – siekiamas rezultatas, B – gautas rezultatas įterpus *S. aucuparia* vandeninį ekstraktą)

Fig. 4. The consistency of the formulated emulgels (A – desired result, B – obtained result after incorporating *S. aucuparia* aqueous extract)

Karbomero 980 ir kitos gelifikuojančios medžiagos fizikinių savybių ir stabilumo palyginimui pasitelktas poloksamero kopolimeras. Skirtingai nei karbomeras 980, jam nereikia pH reikšmės keitimo emul geliui

sudaryti, tačiau pasižymi savybe išlikti skystos būsenos kambario temperatūroje, o pasiekus kūno temperatūrą – formuoti gelį. Šaldymo sąlygomis poloksamero 407 pagrindu suformuoti emulgeliai tampa nestabilūs, nes vizualiai buvo stebimas aliejinės bei vandeninės fazės atsiskyrimas, taip pat matuojant dalelių dydžius pastebėtas procentilių D10, D50 ir D90 reikšmių padidėjimas, matomas 4 lentelėje. Didžiausiomis dalelių dydžių D10, D50 ir D90 reikšmėmis pasižymėjo poloksamero 407 emulgelis su 40 proc. migdolų aliejaus.

4 lentelė. Skirtingo aliejaus koncentracijų poloksamero 407 emulgių dalelių dydžio matavimai, išreikšti procentiliais, prieš ir po atlikto šalčio įtakos stabilumui vertinimo

Table 4. The measurements of the particle sizes of Poloxamer 407 emulgels at different concentrations of almond oil, expressed as percentiles, before and after assessing the stability under cold influence

Procentilis Percentile	Prieš šaldymą Before freezing				Po šaldymo After freezing			
	P10	P20	P30	P40	P10	P20	P30	P40
D10 (µm)	0,41	0,43	0,40	0,48	1,86	3,41	1,60	22,70
D50 (µm)	0,64	0,66	0,61	0,77	8,31	70,70	37,70	119,00
D90 (µm)	1,27	1,29	1,30	1,38	109,00	151,00	184,00	203,00

Išvados

1. Tyrimo metu nustatyta, jog skirtinga migdolų aliejaus koncentracija statistiškai reikšmingai nekeičia emulgių dalelių dydžio.
2. Tyrimo metu įvertinta, kad šaldymo sąlygos didina emulgių su karbomeru 980 dalelių dydį (D90), tačiau vizualiai aliejinės ir vandeninės fazės atsiskyrimas nepastebimas, o stabiliausias emulgelis su mažiausia fazių atsiskyrimo rizika yra K20.
3. Tyrimo metu pastebėta, kad šaldymo sąlygos padidina fiksuojamų dalelių dydžių reikšmes visuose poloksamero 407 emulgiuose, todėl vizualiai emulgeliai su poloksameru tampa nestabilūs ir nepalaiko reikiamos konsistencijos.
4. Tyrimo metu nustatyta, jog aliejinio ekstrakto įterpimas neturi tiesioginio poveikio emulgių su karbomeru 980 dalelių dydžiui ir stabilumui.

Padėka

Tyrimas finansuojamas Lietuvos mokslo tarybos (LMTLT) lėšomis (Nr. VKC7-24-99).

Literatūra

1. Baswan, S. M., Klosner, A. E., Weir, C., Salter-Venzon, D., Gellenbeck, K. W., Leverett, J., & Krutmann, J. (2021). Role of ingestible carotenoids in skin protection: A review of clinical evidence. *Photodermatology, Photoimmunology & Photomedicine*, 37(6), 490–504.
2. Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministerija. (2022). *Odos melanoma: prevencija, diagnostika ir gydymas. Metodinis dokumentas*.
3. Raspe, O., Findlay, C., & Jacquemart, A. L. (2000). *Sorbus aucuparia* L. *Journal of Ecology*, 88(5), 910–930.
4. Razina, T. G., Zueva, E. P., Ulrich, A. V., Rybalkina, O. Y., Chaikovskii, A. V., Isaikina, N. V., ... & Zyuz'Kov, G. N. (2016). Antitumor effects of *Sorbus aucuparia* L. extract highly saturated with anthocyanins and their mechanisms. *Bulletin of experimental biology and medicine*, 162, 93–97.
5. Vaitūnaitytė, M. (2014). *Fenolinių junginių kokybinės ir kiekybinės sudėties įvairavimo šermukšnių (S. aucuparia l.) lapuose ir žieduose tyrimas*. Master's thesis, Lithuanian University of Health Sciences (Lithuania).

Augustė Morta Vaitkutė, Agnė Mazurkevičiūtė, Kristina Zymonė

Stability and Evaluation of Physical Properties of Emulgels with Rowanberry (*Sorbus Aucuparia* L.) Extracts

Each year, an increasing number of skin melanoma cases are diagnosed worldwide, prompting efforts to counteract them using preventive products. One potential candidate for this purpose is extracts from *Sorbus aucuparia* L. fruits, which contain not only bioactive compounds that reduce photocarcinogenesis but also substances with antimicrobial properties. The study was conducted using emulgels containing different oil concentrations and gelling agents, with their physical properties and stability assessed using a Mastersizer device and a rotational rheometer. The findings revealed that oil

concentration and the amount of incorporated oil extract do not significantly affect the particle size of the emulgel. However, freezing conditions increased the recorded particle size values in both Carbomer 980 and Poloxamer 407 emulgels, however, only Poloxamer-based emulgels became visually unstable and failed to maintain the desired consistency.

Keywords: Emulgel, Carbomer 980, Poloxamer 407, rowanberry.

Gauta 2025 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2025 m. balandžio mėn.

Augustė Morta VAITKUTĖ. Lietuvos sveikatos mokslų universiteto Medicinos akademijos Farmacijos fakulteto studentė. Adresas: Sukilėlių pr. 13, Kaunas, tel. + 370 678 64255, el. paštas: auguste.morta.vaitkute@stud.lsmu.lt

Auguste Morta VAITKUTĖ. Lithuanian University of Health Sciences, Medical Academy, Faculty of Pharmacy student. Address: Sukilėlių pr. 13, Kaunas. Phone: + 370 678 64255, e-mail: auguste.morta.vaitkute@stud.lsmu.lt

Agnė MAZURKEVIČIŪTĖ. Lietuvos sveikatos mokslų universiteto mokslo darbuotoja. Adresas: Sukilėlių pr. 13, Kaunas, tel.: +370 692 29486, el. paštas: agne.mazurkeviciute@lsmu.lt

Agnė MAZURKEVIČIŪTĖ. Lithuanian University of Health Sciences scientific researcher. Address: Sukilėlių pr. 13, Kaunas. Phone: +37069229486, e-mail: agne.mazurkeviciute@lsmu.lt

Kristina ZYMONĖ. Lietuvos sveikatos mokslų universiteto mokslo darbuotoja. Adresas: Sukilėlių pr. 13, Kaunas, el. paštas: kristina.zymone@lsmu.lt

Kristina ZYMONĖ. Lithuanian University of Health Sciences scientific researcher. Address: Sukilėlių pr. 13, Kaunas, e-mail: kristina.zymone@lsmu.lt

BRUKNIŲ UOGŲ PIGMENTAI: SPALVOS, PH IR ANTOCIANINŲ VERTINIMAS

Gerda Klapatauskaitė, Aušra Adomėnienė

Kauno kolegija

Bruknių uogose gausu raudonos spalvos pigmentų, ypač antocianinų. Esant rūgščiai terpei, jie išlieka stabilūs įvairių farmacinių formų. Darbe tiriamos iš bruknių uogų išsiekstrahavusių pigmentų spalvos, pH vertės ir monomerinių antocianinų kiekio stabilumas keičiant pH terpę ir temperatūrą. Pigmentams charakterizuoti bruknių uogų mėginiuose šviesos sugerties spektrai matuoti spektrofotometrinio metodu 400–720 nm bangų ilgio intervale. Naudoti analizės metodai patvirtino, kad raudonos spalvos pigmentai sudarė didžiausią procentinę dalį, o geltonos spalvos pigmentas išliko stabiliausias skirtingose pH terpėse.

Raktiniai žodžiai: bruknės, monomeriniai antocianinai, temperatūra, pigmentai, pH.

Bruknė (*Vaccinium vitis-idaea* L.) – erikinių (*Ericaceae*) šeimos, *Vaccinium* L. genties puskrūmis, brandinantis rūgštaus skonio vaisius (uogas). Daugelyje šalių bruknių uogos vertinamos dėl antioksidantinių, antiflogistinių ir priešvėžinių savybių. Bruknių (*Vaccinium vitis-idaea* L.) uogose gausu vyno, benzoinės rūgšties, vitamino C, mikroelementų (kalcio, magnio, fosforo). Be paminėtų junginių, bruknių uogose taip pat gausu antocianinų (Kowalska, 2021). Tai raudonai mėlynų pigmentų grupė, gerai tirpstanti vandenyje. Dauguma antocianinų grupės pigmentų nepatvarūs pH ir temperatūrų skirtumams. Nors esant rūgščiai terpei jie išlieka stabilūs įvairių farmacinių formų, dėl netinkamų laikymo sąlygų gali pasikeisti jų savybės.

Nepaisant to, kad daug žinoma apie bruknių uogų antioksidacines, priešvėžines savybes, žinios apie pigmentinių antocianinų stabilumą bruknių uogose yra ribotos. Daugumos jų stabilumo savybės susijusios su pigmentų kiekiu.

Tyrimo metu pigmentams išskirti pasirinktas maceracijos būdas. Dėl ilgai vykstančios ekstrakcijos pastaruoju metu šis būdas naudojamas rečiau, tačiau taip galima išekstrahuoti nemažą kiekį augalinėje žaliavoje esančių biologiškai aktyvių junginių (Baltramiejūnaitė et al., 2024). Aktualu tai, kad galima praplėsti turimas žinias apie bruknių uogose vyraujančius pigmentus.

Tyrimo tikslas – nustatyti bruknių uogų mėginių stabilumą keičiant pH terpę ir temperatūrą.

Tyrimų metodika

Bruknių (*Vaccinium vitis-idaea* L.) uogos, rinktos rankiniu būdu Kuprės miškų urėdijoje. Uogos džiovintos džiovyklėje 50 °C laipsnių temperatūroje 3 dienas.

Kiekvienam mėginiui atsverta po 10 mg džiovintų smulkintų bruknių uogų ir ekstrahuota 100 ml 96 proc. etanolio / 0,1 M druskos rūgšties mišiniu (I) 85:15 (v/v), 70 proc. etanolio / vandens / 0,1 M druskos rūgšties mišiniu (II) 79:20:1 (v/v), 96 proc. etanolio / išgryninto vandens mišiniu (III) 70:30 (v/v) kambario temperatūroje 24 val. Po maceracijos mėginiai filtruoti.

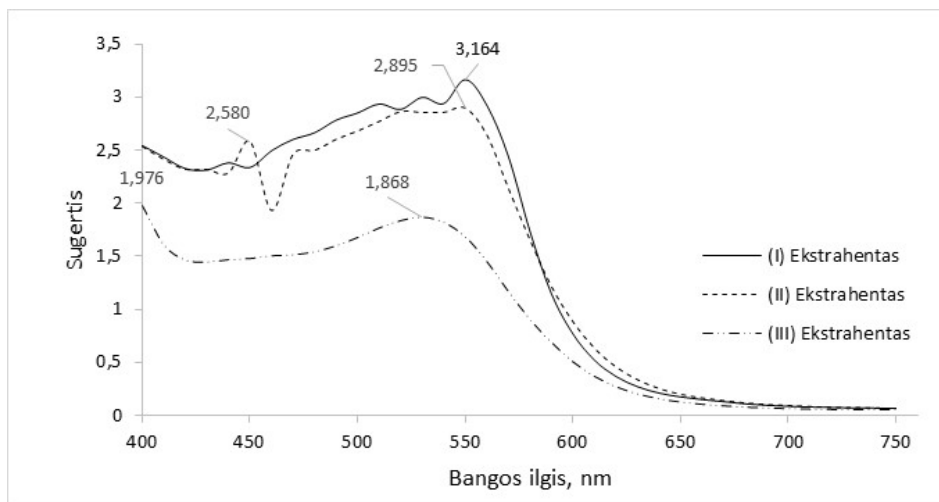
Pigmentams charakterizuoti visų mėginių šviesos sugerties spektrai išmatuoti UV-6300PC spektrofotometru regimosios šviesos diapazone. Pasirinkti matavimo intervalai – 20 nm. Spalvos intensyvumui įvertinti pasirinkti bangų ilgiai 420 nm – geltonai spalvai, 520 nm – raudonai spalvai ir 620 nm – mėlynai spalvai. Naudojant skirtingų pH (1; 2; 3; 4; 4,5 ir 5) reikšmių buferinius tirpalus šviesos sugerties spektrai išmatuoti esant 420 nm, 520 nm ir 620 nm bangos ilgiams.

Bendras antocianinų kiekis išreikštas cianidin-3-gliukozidu, nustatytas pH diferenciniu metodu (Wrolstad et al., 2005). Bruknių uogų tirpalai buvo praskiesti buferiniais tirpalais, kurių pH vertė 1 ir 4,5. Mėginių šviesos sugertis matuojama esant 510 nm ir 700 nm bangos ilgiams.

Rezultatai ir aptarimas

Pigmentams charakterizuoti bruknių uogų mėginiuose spektrofotometrinio metodu šviesos sugerties spektrai matuoti 400–720 nm bangų ilgio intervale (1 pav.). Išmatavus sugertis ties įvairiais bangos ilgiais intensyviausi regimosios šviesos sugerties spektrai gauti 400–560 nm bangų ilgio intervale (Saha et al., 2020). Naudojant dviejų tirpiklių ekstrahentą – 96 proc. etanolio / 0,1 M HCl mišinio tirpalą (I) 85:15 (v/v) išsiekstrahavę iš bruknių uogų pigmentai tirpale rodė didžiausią šviesos sugertį pasirinkus 560 nm bangos ilgį. Eksperimentiniam tyrimui naudojant kitą dviejų tirpiklių ekstrahentą – 96 proc. etanolio / išgryninto vandens mišinio tirpalą 70:10 (v/v) (III) išsiekstrahavę iš bruknių uogų pigmentai tirpale rodė didžiausią šviesos sugertį pasirinkus 530 nm bangos ilgį. Nedaug skyrėsi šviesos sugerties spektras naudojant trijų tirpiklių ekstrahentą (70 proc. etanolio / vandens / 0,1M druskos rūgšties mišinio tirpalą (II) 79:20:1 (v/v)). Regimojo spektro dalyje

bruknių uogų tirpale didžiausia šviesos sugertis nustatyta esant 550 nm bangos ilgiui. Be to, regimosios šviesos sugertis 400–450 nm bangų ilgio intervale taip pat parodė kelis didesnius šviesos sugerties spektrus. II mėginio didžiausia šviesos sugertis išmatuota esant bangos ilgiui 450 nm, III mėginio – esant bangos ilgiui 400 nm. Kaip žinoma, antocianinų pigmentai turi specifinių sugerties spektrų, pagal kuriuos galima juos identifikuoti. Pagal gautus šviesos sugerties spektrus daroma prielaida, kad regimojo spektro dalyje ($\lambda = 530$ nm, $\lambda = 550$ nm, $\lambda = 560$ nm) dominavo pigmentai, būdingi antocianinų grupei, o esant $\lambda = 400$ ir $\lambda = 450$ išryškėjo pigmentai, priklausantys karotenoidų grupei. Bruknių uogų pigmentų sugerties spektrai parodyti 1 paveiksle.



1 pav. Bruknių uogų mėginiuose pigmentų šviesos sugerties spektrai (I) – ekstrahentas: 96 proc. etanolis / 0,1 M HCl, 85:15 (v/v); (II) – ekstrahentas: 70 proc. etanolis / H₂O / 0,1 M HCl, 79:20:1 (v/v); (III) – ekstrahentas: 96 proc. etanolis / H₂O, 70:30 (v/v)

Fig. 1. Light absorption spectrum of pigments in lingonberry samples (I) – extrahent: 96% ethanol / 0.1 M HCl, 85:15 (v/v); (II) – extrahent: 70% ethanol / H₂O / 0.1 M HCl, 79:20:1 (v/v); (III) – extrahent: 96% ethanol / H₂O, 70:30 (v/v)

Kadangi uogos yra vienas iš pagrindinių antocianinus kaupiančių šaltinių, buvo įvertintas spalvos ir pigmentų santykis (1 lentelė) pagal jiems būdingas regimojo spektro spalvas.

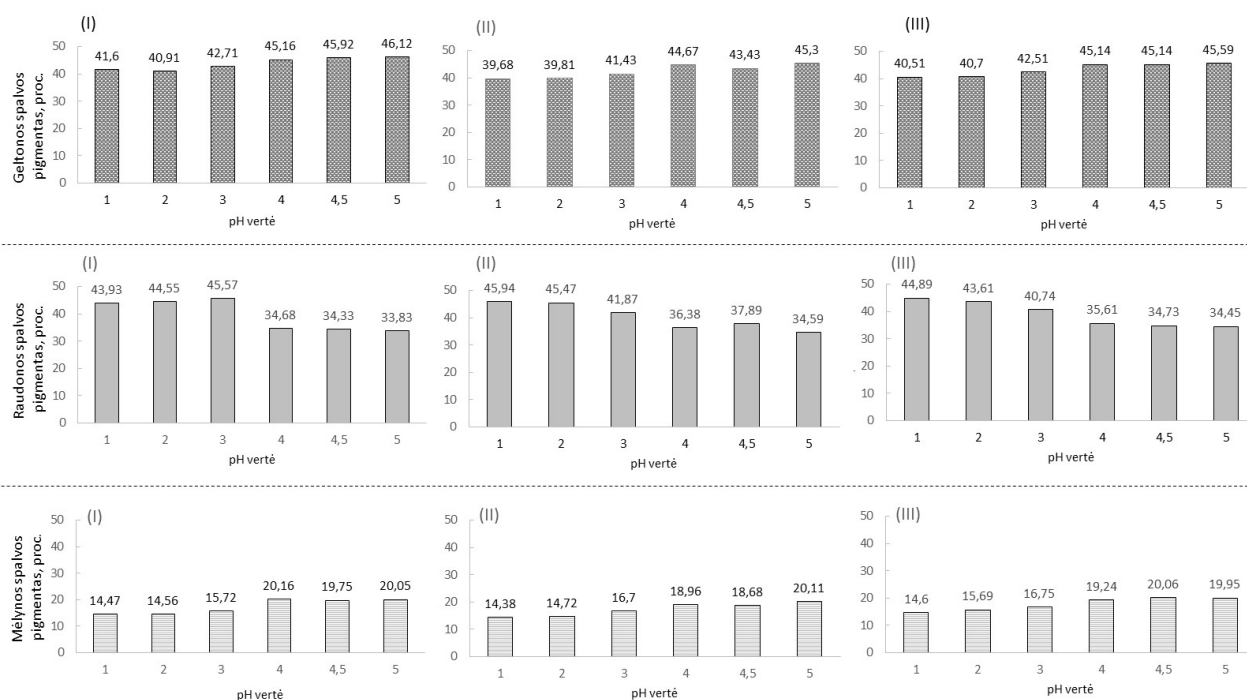
1 lentelė. Spalvos intensyvumas

Table 1. Colour intensity

Ekstrahentas <i>Extrahent</i>	Spalvų pasiskirstymas <i>Color distribution</i>		
	Geltona, proc. <i>Yellow, %</i>	Raudona, proc. <i>Red, %</i>	Mėlyna, proc. <i>Blue, %</i>
96 proc. etanolis / 0,1 M HCl, 85:15 (v/v) (I)	41,16	52,15	6,69
70 proc. etanolis / H ₂ O / 0,1 M HCl, 79:20:1 (v/v) (II)	41,13	50,64	8,23
70 proc. etanolis / H ₂ O, 70:30 (v/v) (III)	41,21	51,12	7,63

Iš gautų rezultatų matyti (1 lentelė), kad didžiausią procentinę dalį sudarė raudonos spalvos pigmentas. Jo kiekis visuose bruknių uogų tirpaluose svyravo nuo 51,12 iki 52,15 proc. Kiek mažesnis kiekis geltonos spalvos pigmento. Jo kiekis visuose mėginiuose beveik nekito ir liko ~ 41 proc. ribose. Mažiausią procentinę dalį sudarė mėlynos spalvos pigmentas. Gauti rezultatai prilygo ankstesniuose tyrimuose nustatytiems pigmentams pagal jiems būdingas regimojo spektro spalvas (Baltramiejūnaitė et al., 2024). Baltramiejūnaitė ir kt. publikuotame straipsnyje (2024) pažymėjo, jog mėlynos spalvos pigmentas sudarė mažiausią procentinę dalį šermukšnių ir raugerškių uogų mėginiuose.

Kiekvieno pigmento spalvos tipas gali turėti skirtingą atsaką į tam tikrą pH. Naudojant skirtingų pH (1; 2; 3; 4; 4,5 ir 5) reikšmių buferinius tirpalus, stebėtas pigmentų spalvos stabilumas. Pažymint, jog bruknių uogų I mėginio pH vertė buvo $3,2 \pm 0,1$, II mėginio pH vertė – $3,64 \pm 0,1$ ir III mėginio $3,78 \pm 0,1$.

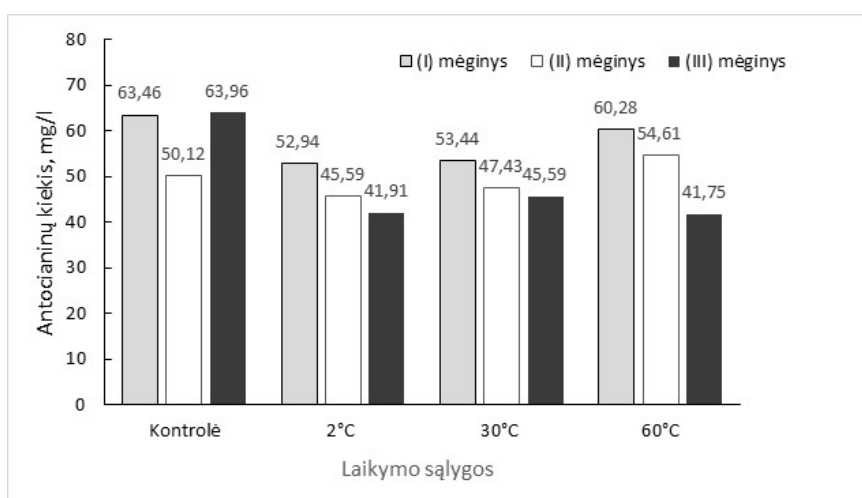


2 pav. Bruknių uogų pigmentų spalvos pasikeitimas nuo pH 1 iki pH 5 (I) – ekstrahentas: 96 proc. etanolio / 0,1 M HCl, 85:15 (v/v); (II) – ekstrahentas: 70 proc. etanolio / H₂O / 0,1 M HCl, 79:20:1 (v/v); (III) ekstrahentas: 96 proc. etanolis / H₂O, 70:30 (v/v)

Fig. 2. Color change of lingonberry pigments from pH 1 to pH 5 (I) – extrahent: 96% ethanol / 0.1 M HCl, 85:15 (v/v); (II) – extrahent: 70% ethanol / H₂O / 0.1 M HCl, 79:20:1 (v/v); (III) – extrahent: 96% ethanol / H₂O, 70:30 (v/v)

Iš gautų rezultatų matyti, kad esant rūgštiniam pH 1 ir 3 geltonos spalvos pigmentas išliko beveik stabilus, raudonos spalvos pigmentas labiausiai reagavo į pH 4, 4,5 ir 5 terpių pasikeitimą. Priešingai, mėlynos spalvos pigmentas reagavo į visų pH terpių pasikeitimus (2 pav.). Rezultatai rodo, kad mėlynos spalvos pigmentas kintant pH terpei yra labiausiai nestabilus, lyginant su geltonos ir raudonos spalvos pigmentais. Mokslininkai (Welch et al., 2008), atlikę monomerinių antocianinų pigmentų tyrimus, teigia, kad esant rūgštinei terpei, kai pH yra 3 ar mažiau, mėginiuose geriau išsilaiko raudonos spalvos pigmentas, o pH terpei artėjant prie neutralios, raudoną pigmentą ima keisti geltonas dėl hidratacijos reakcijos.

Vertinant aplinkos sąlygų įtaką antocianinų stabilumui, mėginiai buvo laikomi 2°C, 30°C ir 60 °C laipsnių temperatūroje 30 min. Tyrimų rezultatai pateikti 3 pav.



3 pav. Antocianinų kiekis bruknių uogų etanoliniuose tirpaluose, (I) mėginys – ekstrahentas: 96 proc. etanolio / 0,1 M HCl, 85:15 (v/v); (II) mėginys – ekstrahentas: 70 proc. etanolio / H₂O / 0,1 M HCl, 79:20:1 (v/v); (III) mėginys – ekstrahentas: 96 proc. etanolis / H₂O, 70:30 (v/v)

Fig. 3. Anthocyanin content in lingonberries ethanolic solutions (I) sample – extrahent: 96% ethanol / 0.1 M HCl, 85:15 (v/v); (II) sample – extrahent: 70% ethanol / H₂O / 0.1 M HCl, 79:20:1 (v/v); (III) sample – extrahent: 96% ethanol / H₂O, 70:30 (v/v)

Tyrimų metu didžiausias antocianinų kiekis nustatytas mėginiuose naudojant dviejų tirpiklių, t. y. 96 proc. etanolio / 0,1 M druskos rūgšties mišinio (I) ekstrahentą ir 96 proc. etanolio / išgryninto vandens mišinio ekstrahentą (III). Mėginiuose antocianinų kiekis siekė ~ 63,96 mg/l. Kiek mažesnis antocianinų kiekis nustatytas naudojant 70 proc. etanolio / vandens / 0,1 M druskos rūgšties mišinio (II) 79:20:1 (v/v) ekstrahentą. Vertinant skirtingų temperatūrų svyravimų įtaką antocianinų stabilumui, mėginiai buvo laikomi 2 °C, 30 °C ir 60 °C laipsnių temperatūroje 30 min. Nustatyta (3 pav.), kad mėginiuose, kurie buvo laikomi 2 °C temperatūroje, monomerinių antocianinų kiekis mažėjo panašiai: I mėginio – 1,5 karto, II mėginio – 1,1 karto, III mėginio – 1,53 karto, lyginant su kontrole. Mėginiuose, kurie buvo laikomi 30 °C temperatūroje, monomerinių antocianinų kiekis taip pat mažėjo: I mėginio – 1,2 karto, II mėginio – 1,06 karto, III mėginio – 2,6 karto, lyginant su kontrole. Pastebėta, kad mėginiai, kurie buvo laikomi 60 °C temperatūroje, monomerinių antocianinų kiekis I mėginyje mažėjo 1,05 karto, III mėginyje – 1,53 karto, lyginant su kontrole. Tačiau II mėginyje jų kiekis padidėjo ~ 0,9 karto. Kaip pažymi dauguma tyrėjų, temperatūros didėjimas turi įtakos antocianinų grupės pigmentų stabilumui. Didėjanti temperatūra *in vitro* keičia monomerinių antocianinų savybes – vyksta jų degradacija, skilimas (Welch et al., 2008; Rodriguez-Amaya, 2019; Enaru et al., 2021). Kiek palankesnės sąlygos antocianinų stabilumui yra žema laikymo temperatūra. Pasak Enaru et al. (2021), uogų sultyse, kuriose gausu antocianinų, pusinės eliminacijos laikas ženkliai trumpesnis laikant kambario temperatūros sąlygomis nei laikant šaldytuve. Vertinant monomerinių antocianinų kiekį keičiant temperatūros sąlygas *in vitro* nustatyta, kad iš pasirinktų ekstrahentų I ekstrahentas (96 proc. etanolio / 0,1 M HCl, 85:15 (v/v)) geriau išlaiko antocianinų kiekio stabilumą bruknių uogų mėginiuose.

Išvados

1. Atlikus pigmentų charakteristikų analizę didžiausia šviesos regimojo spektro sugertis nustatyta 520–560 nm bangų ilgio intervale. Be to, regimosios šviesos sugertis 400–450 nm bangų ilgio intervale taip pat išryškino kelis didesnius šviesos sugerties spektrus. Tyrimo rezultatai leidžia daryti prielaidą, jog bruknių uogų mėginiuose yra pigmentų, priklausančių ne tik antocianinų klasei, bet ir karotenoidų klasei.
2. Bruknių uogų mėginiuose didžiausią procentinę dalį sudarė geltonos ir raudonos spalvos pigmentai. Vertinant pigmentų spalvos stabilumą skirtingose pH terpėse, stabiliausias išliko geltonos spalvos pigmentas, o kintant temperatūroms mažiausiai kito antocianinų kiekis naudojant 96 proc. etanolio / 0,1 M HCl, 85:15 (v/v) ekstrahentą.

Literatūra

1. Baltramiejūnaitė, G., Knabikaitė, U., Adomėnienė, A. (2024). Maceracijos trukmės poveikis bendram fenolinių junginių išskyrimui iš šermukšnio ir raugerškio vaisių. *Verslas, technologijos, biomedicina: inovacijų įžvalgos*, 1(15), 36–43.
2. Enaru, B., Drețanu, G., Pop, T. D., Stănilă, A., & Diaconeasa, Z. (2021). Anthocyanins: Factors affecting their stability and degradation. *Antioxidants*, 10(12), 1967.
3. Kowalska, K. (2021). Lingonberry (*Vaccinium vitis-idaea* L.) fruit as a source of bioactive compounds with health-promoting effects – a review. *International journal of molecular sciences*, 22(10), 5126.
4. Laleh, G., Frydoonfar, H., Heidary, R., Jameei, R., & Zare, S. (2006). The effect of light, temperature, pH and species on stability of anthocyanin pigments in four *Berberis* species. *Pakistan Journal of Nutrition*, 5(1), 90–92.
5. Rakić, V. P., Ota, A. M., Skrt, M. A., Miljković, M. N., Kostić, D. A., Sokolović, D. T., & Poklar Ulrih, N. E. (2015). Investigation of fluorescence properties of cyanidin and cyanidin 3-O-β-glucopyranoside. *Chemical Industry/Hemijška Industrija*, 69(2).
6. Rodriguez-Amaya D. B. (2019). Update on natural food pigments – A mini-review on carotenoids, anthocyanins, and betalains. *Food research international (Ottawa, Ont.)*, 124, 200–205.
7. Saha, S., Singh, J., Paul, A., Sarkar, R., Khan, Z., & Banerjee, K. (2020). Anthocyanin profiling using UV-vis spectroscopy and liquid chromatography mass spectrometry. *Journal of AOAC International*, 103(1), 23–39.
8. Welch, C. R., Wu, Q., & Simon, J. E. (2008). Recent advances in anthocyanin analysis and characterization. *Current analytical chemistry*, 4(2), 75–101.
9. Wrolstad, R. E., Durst, R. W., & Lee, J. (2005). Tracking color and pigment changes in anthocyanin products. *Trends in food science & technology*, 16(9), 423–428.

Gerda Klapatauskaitė, Aušra Adomėnienė

Lingonberries Pigments: Evaluation of Colour, pH and Anthocyanins Changes

Lingonberries are rich in red pigments, especially anthocyanins. In an acidic environment, they remain stable in various pharmaceutical forms. This study investigates the stability of the colour, pH values, and the number of monomeric anthocyanins in pigments extracted from lingonberries, by changing the pH and temperature. For pigment characterization, the light absorption spectra of lingonberry samples were measured using a spectrophotometric method in the wavelength range of 400–720 nm. The analytical methods used confirmed that red pigments constituted the largest percentage, while the yellow pigment remained the most stable across different pH environments.

Keywords: Lingonberries, monomeric anthocyanins, temperature, pigments, pH.

Gauta 2025 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2025 m. balandžio mėn.

Aušra ADOMĖNIENĖ. Kauno kolegijos Medicinos fakulteto Farmakoteknikos katedros lektorė. Adresas: K. Petrausko g. 15, LT-44162 Kaunas, tel. +370 373 30149, el. paštas: ausra.adomeniene@go.kauko.lt

Aušra ADOMĖNIENĖ. Kaunas college, Faculty of Medicine, Department of Pharmacy techniques lecturer. Address: K. Petrausko str. 15, LT-44162 Kaunas. Phone: +370 37 330149, e-mail: ausra.adomeniene@go.kauko.lt

Gerda Klapatauskaitė. Kauno kolegijos Medicinos fakulteto Farmakoteknikos katedros studentė. Adresas: K. Petrausko g. 15, LT-44162 Kaunas, tel. +370 625 45913, el. paštas: gerda.kla293@go.kauko.lt

Gerda Klapatauskaitė. Kaunas college, Faculty of Medicine, Department of Pharmacy techniques student. Address: K. Petrausko str. 15, LT-44162 Kaunas. Phone: +370 625 45913, e-mail: gerda.kla293@go.kauko.lt

GELIŲ SU KANABIDIOLIU ANTIOKSIDACINIS POVEIKIS

Lija Juozelytė, Asta Marija Inkėnienė, Mindaugas Marksa

Lietuvos sveikatos mokslų universitetas

Kanabidiolis (CBD) yra natūrali iš *Cannabis sativa* L. augalo išgaunama medžiaga, kuri pasižymi antioksidaciniu poveikiu. CBD yra saugus naudoti žmonėms ir neturi kenksmingo poveikio aplinkai. Atliekamas CBD gelių antioksidacinio aktyvumo tyrimas DPPH radikalų surišimo metodu. Gauti rezultatai parodo, kad gelių su 1 proc. CBD DPPH radikalų inaktyvavimas buvo 8,44–17,59 proc. intervale. Gelių su 14–20 proc. CBD DPPH radikalų inaktyvavimas svyravo 49,37–72,72 proc. intervale. Gauti rezultatai parodo, kad gelių su CBD antioksidaciniam aktyvumui įtaką daro ne tik gelių pagrindo sudėtis, bet ir pridėto CBD koncentracija. Norint pasiekti didžiausią CBD antioksidacinį aktyvumą, tinkamiausi pagrindai CBD aliejui įterpti yra hidrogelis, gelifikuotas 1,25 proc. karbomero 980, oleogelis, gelifikuotas 7 proc. koloidinio silicio dioksido ir emulgelis, sudarytas iš 1:1 aliejus – vandenyje emulsijos, gelifikuotas 0,5 proc. karbomero 980.

Raktiniai žodžiai: kanabidiolis, antioksidantai, geliai.

Įvadas

Pastaraisiais metais didėja susidomėjimas natūraliais produktais, tarp gyventojų populiarėja teigiamas požiūris į savigydą. Vis dažnesnė tema yra *Cannabis sativa* L. augalo naudojimas įvairiais tikslais. Jau nuo seno šis augalas buvo naudojamas įvairiose rytietiškos kultūros (Jitcă et al., 2023). *Cannabis sativa* L. augalas, be medicininio panaudojimo, buvo naudojamas kaip pluoštas bei maistas dar prieš 10 000 metų, ledynmečio pabaigoje, – tai viena seniausių augalų rūšių. Pirmą kartą šio augalo naudojimas tradicinėje medicinoje paminėtas seniausioje Kinijos farmakopėjoje, pirmame amžiuje prieš dabartinę erą (Stasiłowicz et al., 2021). Buvo nustatyta, kad viena iš *Cannabis sativa* L. augalo farmakologiškai aktyvių medžiagų yra fitokanabinoidas kanabidiolis (CBD). CBD turi daug naudingų farmakologinių poveikių, tokių kaip antioksidacinis poveikis, tačiau nėra psichoaktyvus (Atalay et al., 2019). CBD yra saugi medžiaga naudoti žmonėms, nes nesukelia katalepsijos ir nekeičia fiziologinių parametrų, tokių kaip širdies susitraukimo dažnis bei kraujospūdis. Dozės iki 1500 mg per parą ir ilgalaikis vartojamas gerai toleruojami žmonių, kaip rodo tyrimai (Iffland et al., 2017). Yra įrodymų, kad CBD naudojimas ant odos gali padėti gydyti tam tikras odos būkles, susijusias su oksidaciniu stresu (Baswan et al., 2020). Norint patogiai naudoti CBD ant odos, reikia parinkti tinkamą pusketę farmacinę formą. Šiame tyrime buvo sumodeliuoti skirtingus pagrindus turintys geliai, į kuriuos įterptas CBD aliejus kaip veiklioji medžiaga. Tyrimo tikslas – įvertinti skirtingų gelių pagrindų įtaką kanabidiolio antioksidacinėms savybėms.

Tyrimų metodika

Sumodeliuojami trijų skirtingų tipų gelių pagrindai: hidrogelis, gelifikuotas 1,25 proc. karbomero 980, oleogeliai, gelifikuoti 7 proc. koloidinio silicio dioksidu ir 10 proc. bičių vaško bei emulgeliai, pagaminti iš 1:1 aliejinės ir vandinės fazės. Emulgeliai buvo gaminami emulsiją gelifikuojant dviem skirtingais metodais: pirmas emulsiją homogenizuojant su 0,5 proc. karbomero 980, o antrame 60 proc. emulsijos sumaišoma su 40 proc. jau pagaminto 2 proc. karbomero 980 geliu. Į visus penkis gelių pagrindus įterpiamas CBD aliejus, į kurio sudėtį įeina 1 proc. CBD. Į oleogelius ir emulgelių, gelifikuotą 0,5 proc. karbomero 980, įterpiama CBD aliejaus, į kurį įeina 14 proc. CBD. Didžiausias CBD aliejaus procentas, į kurį įeina 20 proc. CBD, įterpiamas tik į oleogelius. Šie CBD aliejaus įterpimo skirtumai atsiranda dėl gelių pagrindų sudėčių skirtumų – tik didesnį aliejaus procentą turintys geliai gali į savo sudėtį įkomponuoti didelį CBD aliejaus procentą ir išlaikyti nesuirusią struktūrą. Gelių pagrindų sudėtys pateikiamos 1 lentelėje.

Antioksidaciniam tyrimui vykdyti paruošiami gelių su CBD aliejumi tirpalai etanolyje: sveriamas 1 g gelio ir ištirpinama 10 ml 96 proc. etanolyje. Tiriami pagaminti 1, 14 ir 20 proc. CBD geliai ($n = 3$). Gauti tirpalai yra filtruojami pro popierinį filtrą. Taikant DPPH radikalų surišimo metodą vertinamas antioksidacinis aktyvumas *in vitro*. Šis metodas pagrįstas vieno azoto atomo elektronų DPPH redukovimu iki atitinkamo hidrazino, paimant vandenilio atomą iš antioksidantų. DPPH· radikalas turi stabilų ir intensyvią violetinę spalvą. Kai vandenilio atomą atiduoti gebančios medžiagos tirpalas sumaišomas su DPPH tirpalu, ši violetinė spalva išnyksta – redukuojamas DPPH radikalas į DPPH-H. Hidrazino (DPPH-H) susiformavimas sukelia tirpalo spalvos pasikeitimą iš violetinės į šviesiai geltoną, nes vandenilio atomai radikalų redukcijos būdu perkeltami iš antioksidantų, kurie yra vandenilio donorai. Spalvos pokytis gali būti užfiksuojamas UV spektrofotometru (Gulcin et al., 2023).

1 lentelė. Gelių pagrindų sudėtys, proc.**Table 1.** Composition of gel bases, in percentages

Geliai <i>Gels</i>	Išgrynintas vanduo <i>Purified water</i>	Avokadų aliejus <i>Avocado oil</i>	Karbomeras 980 <i>Carbomer 980</i>	Koloidinis silicio dioksidas <i>Colloidal silicon dioxide</i>	Bičių vaškas <i>Bees wax</i>	Tvinas 80 <i>Tween 80</i>	Spanas 80 <i>Span 80</i>	NaOH 10 proc. tirpalas <i>NaOH 10 percent solution</i>
H ₂	98,75	-	1,25	-	-	-	-	pora lašų <i>a few drops</i>
OS ₅	-	93,0	-	7,0	-	-	-	-
OB ₂	-	90,0	-	-	10,0	-	-	-
E ₂	46,5	43,0	0,5	-	-	3,0	7,0	pora lašų <i>a few drops</i>
EG ₂	63,2	30,0	0,8	-	-	1,8	4,2	pora lašų <i>a few drops</i>

Antioksidacinio aktyvumo tyrimui paruoštas 0,1 mM DPPH tirpalas 96 proc. etanolyje. Iki 200 ml skiedžiamas analitinėmis svarstyklėmis pasvertas 0,008 g DPPH, pirma ištirpintas 96 proc. etanolyje. Ruošiami tiriamieji mėginiai: 60 µl CBD gelių ir emulgių tirpalų sumaišoma su 3 ml 0,1 mM DPPH etanolinio tirpalo. Taip pat palyginimui ruošiami CBD aliejaus mėginiai su 1 proc. gryno CBD. Tiriamieji mėginiai 30 min. laikomi tamsoje. Ruošiamas ir palyginamasis tuščias mėginys: 60 µl 96 proc. etanolio sumaišoma su 3 ml 0,1 mM DPPH etanolinio tirpalo. Esant 518 nm bangos ilgiui, tiriamųjų ir palyginamojo mėginio absorbcija matuojama spektrofotometru Agilent 8453 UV-Vis. Taikant formulę apskaičiuota absorbcija verčiama į inaktyvuoto DPPH kiekį procentais:

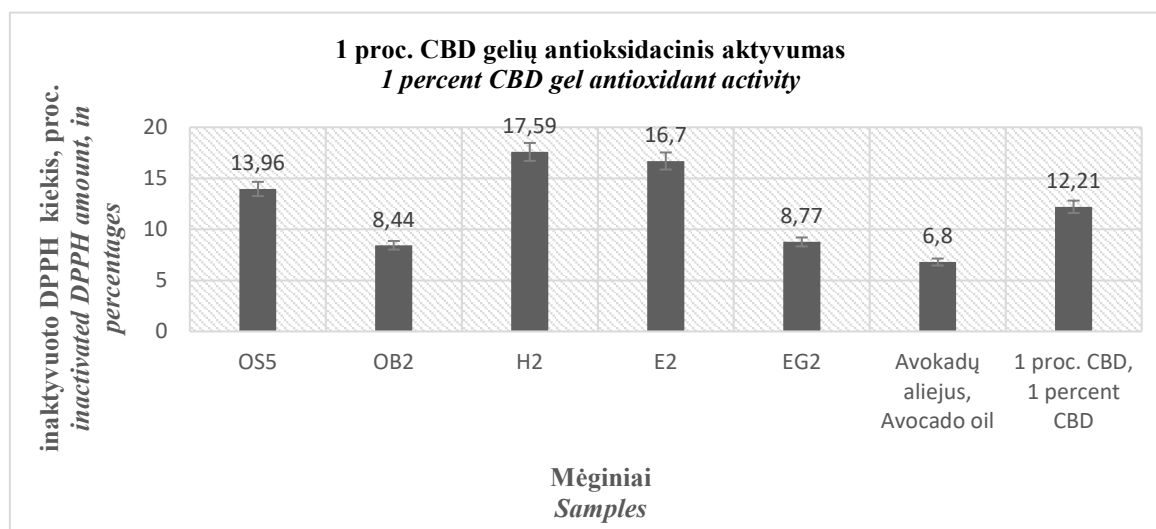
$$\text{Inaktyvuoto DPPH proc.} = \left(\frac{A_0 - A_1}{A_0} \right) \times 100 \text{ proc.}, \quad (1)$$

čia A_0 – palyginamojo mėginio absorbcija,

A_1 – tiriamojo mėginio absorbcija (Masek et al., 2016).

Rezultatai ir aptarimas

Pirmo tyrimo metu tirti geliai, į kurių sudėtį įeina 1 proc. CBD. Rezultatai pateikti 1 paveiksle, surišto DPPH kiekis pateiktas procentais.

**1 pav.** 1 proc. CBD gelių antioksidacinis aktyvumas**Fig. 1.** 1 percent CBD gel antioxidant activity

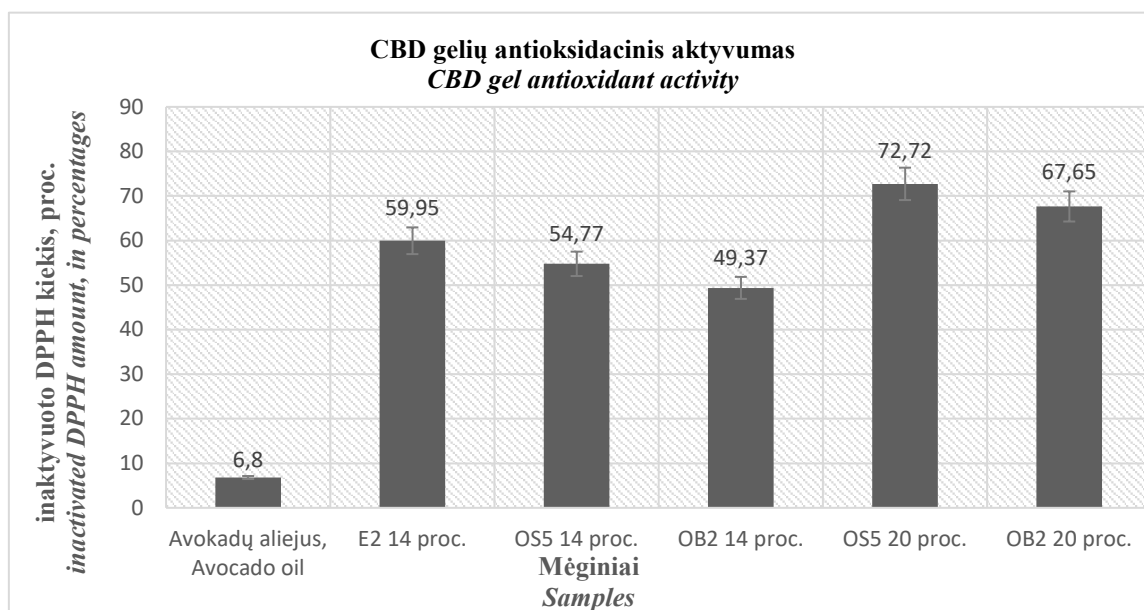
Iš visų tirtų mėginių vizualiai DPPH violetinės spalvos neišblukino nė vienas tirtas mėginys, tačiau visi mėginiai pasižymėjo antioksidaciniu aktyvumu. Gauti rezultatai parodo, kad gelių DPPH radikalų inaktyvavimas buvo 8,44–17,59 proc. intervale. Didžiausią antioksidacinį aktyvumą turėjo hidrogelis H₂ – inaktyvavo 17,59 proc. Po to sekė emulgelis E₂, inaktyvavęs 16,7 proc., ir oleogelis OS₅ – 13,96 proc.

Mažiausią antioksidacinį aktyvumą turėjo oleogelis OB₂ – 8,44 proc. ir emulgelis EG₂ – 8,77 proc. Tarp visų gelių antioksidacinio aktyvumo nustatyti statistiškai reikšmingi skirtumai ($p < 0,05$).

Mažesnę OB₂ ir EG₂ antioksidacinį aktyvumą galima paaiškinti pačių gelių struktūra. OB₂ gelyje naudotas gelifikantas – bičių vaškas – sudaro klampios tekstūros, prie paviršių kimbantį gelį, kuris labai prastai mašosi su vandeniniais tirpalais. Šio tyrimo metu gelių mėginiai buvo tirpinami etanolio tirpale ir filtruojami – gelis OB₂ iki galo nesusimaišė su tirpalu ir neatpalaidavo į jį sudėtyje buvusio CBD. Emulgelis EG₂ turi netolygią mikrostruktūrą – aliejaus lašeliai su CBD pasiskirstę sancaupomis emulgelio struktūroje, todėl prasčiau atpalaiduojamas CBD tirpinant emulgelį etanolio tirpale. Geliai H₂ ir E₂ turi didesnę antioksidacinį aktyvumą, nes į jų sudėtį įeina didesnis procentas vandens, kuris gerina jų tirpumą etanolio tirpale ir lengvina CBD pernešimą iš gelio į tiriamą mėginį. Gauti rezultatai parodo, kad 1 proc. CBD gelių antioksidaciniam aktyvumui įtaką daro gelio pagrindo sudėtis.

Taip pat palyginimui buvo ištirtas avokadų aliejus, norint patikrinti, ar jis daro įtaką oleogelių ir emul gelių antioksidaciniam aktyvumui. Avokadų aliejus pasižymėjo labai silpnu antioksidaciniu aktyvumu – inaktyvavo 6,8 proc. DPPH radikalų, tačiau galima teigti, kad avokadų aliejaus antioksidacinis poveikis prisidėjo prie bendro oleogelių ir emul gelių antioksidacinio aktyvumo. Norint palyginti, ar įterpimas į gelius daro įtaką CBD aliejaus antioksidaciniam aktyvumui, buvo tirtas grynas CBD aliejaus tirpalas, į kurio sudėtį įėjo 1 proc. CBD. Šis 1 proc. CBD tirpalas pasižymėjo vidutiniu antioksidaciniu poveikiu ir inaktyvavo 12,21 proc. DPPH radikalų – 5,38 proc. mažiau nei stipriausią antioksidacinį poveikį turintis gelis H₂ bei 3,77 proc. daugiau nei silpniausią antioksidacinį aktyvumą turintis OB₂ gelis. Šie skirtumai galimai atsiranda dėl prasto OB₂ gelio tirpumo etanolio tirpale ir geresnio nei CBD aliejaus hidrogelio H₂ tirpumo etanoliniame tirpale. Nustatyti statistiškai reikšmingi skirtumai tarp CBD tirpalo ir visų gelių antioksidacinio aktyvumo ($p < 0,05$). Rezultatai rodo, kad 1 proc. CBD geliai turi vidutinį antioksidacinį aktyvumą. CBD aliejaus įterpimas į gelius gali padidinti CBD aliejaus antioksidacinį poveikį, kai gelio pagrindas geriau tirpsta etanoliniame tirpale.

Antrame tyrime buvo tiriami 14 proc. ir 20 proc. CBD geliai, norint patikrinti, kaip keičiasi gelių antioksidacinis aktyvumas didėjant CBD koncentracijai. Gauti rezultatai pavaizduoti 2 paveiksle.



2 pav. CBD gelių antioksidacinis aktyvumas

Fig. 2. CBD gel antioxidant activity

Visi tirti mėginiai, išskyrus avokadų aliejų, vizualiai išblukino violetinę DPPH spalvą. Tirti geliai inaktyvavo DPPH radikalus 49,37–72,72 proc. intervale. Tarp 14 proc. CBD gelių didžiausią antioksidacinį aktyvumą turėjo E₂ emulgelis, inaktyvavęs 59,95 proc. DPPH radikalų, mažiausią – OB₂ oleogelis, inaktyvavęs 49,37 proc. Šie rezultatai seka tokia pat tendencija, kaip ir 1 proc. CBD geliai – geriau etanoliniame tirpale tirpstantis emulgelis turi didesnę antioksidacinį poveikį nei prasčiau etanoliniame tirpale tirpstantys oleogeliai. Tarp 20 proc. CBD oleogelių OS₅ gelis turėjo didesnę antioksidacinį aktyvumą – inaktyvavo 72,72 proc. DPPH radikalų – nei OB₂ gelis, kuris inaktyvavo 67,65 proc. Tai parodo, kas koloidiniu silicio dioksidu gelifikuotas oleogelis geriau tirpsta etanoliniame tirpale ir lengviau atpalaiduoja jo sudėtyje esantį CBD. Tarp visų gelių antioksidacinio aktyvumo nustatyti statistiškai reikšmingi skirtumai ($p < 0,05$). Visi geliai inaktyvavo statistiškai reikšmingai didesnę procentą DPPH radikalų nei 1 proc. CBD geliai ($p < 0,05$). 14 proc. ir 20 proc. CBD geliai turėjo žymiai didesnę antioksidacinį aktyvumą, lyginant su 1 proc. CBD geliais. Šie rezultatai parodo, kad gelių antioksidaciniam aktyvumui įtaką daro ne tik gelių pagrindo sudėtis, bet ir pridėto CBD

koncentracija. Norint pasiekti didžiausią CBD antioksidacinį aktyvumą, tinkamiausi pagrindai CBD aliejui įterpti yra H₂, E₂ ir OS₅.

Mokslinių straipsnių duomenimis, tirti 0,5 proc. CBD mėginiai jau turėjo antioksidacinį aktyvumą. Tyrimu nustatyta, kad atliekant DPPH radikalų inaktyvavimo testą į tam tikras sistemas įterptas CBD turėjo didesnę antioksidacinį aktyvumą nei tomis pačiomis sąlygomis tirtas α -tokoferolis – gerai žinomas stiprus antioksidantas (Tura et al., 2019). Kitas tyrimas parodė, kad CBD turintis kanapių aliejus turi stiprų antioksidacinį poveikį – gali surišti laisvuosius radikalus ir slopinti lipidų peroksidaciją. Šio tyrimo metu taip pat rasta, kad CBD aliejus turi stipresnį antioksidacinį poveikį nei vien grynas CBD, kas parodo CBD aliejaus pranašumą įterpimui į farmacines formas (Petrovici et al., 2021). Taigi CBD gelių antioksidacinio tyrimo metu gauti rezultatai sutampa su literatūroje rasta duomenimis. Šie tyrimai parodo CBD potencialą kuriant formuluotes, pasižyminčias antioksidaciniu aktyvumu.

Išvados

1. Gelių su CBD antioksidacinis aktyvumas didėja, didėjant į gelius įterpto CBD koncentracijai.
2. Gelių pagrindai, kurie leido antioksidacinėms savybėms pasireikšti labiausiai, yra hidrogelis, gelifikuotas 1,25 proc. karbomero 980, oleogelis, gelifikuotas 7 proc. koloidinio silicio dioksido, ir emulgelis, pagamintas iš 1:1 aliejinės ir vandeninės fazės, gelifikuotas 0,5 proc. karbomero 980.

Literatūra

1. Atalay, S., Jarocka-Karpowicz, I., & Skrzydlewska, E. (2019). Antioxidative and anti-inflammatory properties of cannabidiol. *Antioxidants*, 9(1), 21.
2. Baswan, S. M., Klosner, A. E., Glynn, K., Rajgopal, A., Malik, K., Yim, S., & Stern, N. (2020). Therapeutic potential of cannabidiol (CBD) for skin health and disorders. *Clinical, Cosmetic and Investigational Dermatology*, 13, 927–942.
3. Gulcin, İ., & Alwasel, S. H. (2023). DPPH radical scavenging assay. *Processes*, 11(8), 2248.
4. Iffland, K., & Grotenhermen, F. (2017). An update on safety and side effects of cannabidiol: A review of clinical data and relevant animal studies. *Cannabis and Cannabinoid Research*, 2(1), 139–154.
5. Jitcă, G., Ōsz, B. E., Vari, C. E., Rusz, C. M., Tero-Vescan, A., & Pușcaș, A. (2023). Cannabidiol: Bridge between antioxidant effect, cellular protection, and cognitive and physical performance. *Antioxidants*, 12(2), 485.
6. Masek, A., Chrzescijanska, E., & Latos, M. (2016). Determination of antioxidant activity of caffeic acid and p-coumaric acid by using electrochemical and spectrophotometric assays. *International Journal of Electrochemical Science*, 11, 10644–10658.
7. Petrovici, A. R., Simionescu, N., Sandu, A. I., Paraschiv, V., Sillion, M., & Pinteala, M. (2021). New insights on hemp oil enriched in cannabidiol: Decarboxylation, antioxidant properties and in vitro anticancer effect. *Antioxidants*, 10(5), 738.
8. Stasiłowicz, A., Tomala, A., Podolak, I., & Cielecka-Piontek, J. (2021). Cannabis sativa L. as a natural drug meeting the criteria of a multitarget approach to treatment. *Molecules*, 26(18), 5564.
9. Tura, M., Mandrioli, M., & Gallina Toschi, T. (2019). Preliminary study: Comparison of antioxidant activity of cannabidiol (CBD) and α -tocopherol added to refined olive and sunflower oils. *Molecules*, 24(19), 3485.

Lija Juozelytė, Asta Marija Inkėnienė, Mindaugas Marksa

The Antioxidant Effects of Cannabidiol Gels

Cannabidiol (CBD) is a natural substance extracted from the *Cannabis sativa* L. plant, which has an antioxidant activity. CBD is safe for use in humans and has no harmful effects on the environment. The antioxidant activity of CBD gels was studied using the DPPH radical scavenging method. The results obtained show that the DPPH radical inactivation of gels with 1 percent CBD was in the range of 8.44–17.59 percent. The DPPH radical inactivation of gels with 14–20 percent CBD ranged from 49.37–72.72 percent. The results obtained show that the antioxidant activity of gels with CBD is influenced not only by the composition of the gel base, but also by the percentage of added CBD. In order to achieve the highest antioxidant activity of CBD, the most suitable bases for the addition of CBD oil are hydrogel, gelled with 1.25 percent carbomer 980, oleogel, gelled with 7 percent colloidal silicon dioxide and an emulgel consisting of a 1:1 oil-in-water emulsion, gelled with 0.5 percent carbomer 980.

Keywords: Cannabidiol, antioxidants, gels.

Gauta 2025 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2025 m. balandžio mėn.

Lija JUOZELYTĖ. Lietuvos sveikatos mokslų universiteto, Farmacijos fakulteto studentė. Adresas: Sukilėlių pr. 13, LT-50166 Kaunas, tel. +370 653 74750, el. paštas: lija.juozelyte@stud.lsmu.lt

Lija JUOZELYTĖ. Student at the Faculty of Pharmacy, Lithuanian University of Health Sciences. Address: Sukileliai av. 13, LT-50166 Kaunas. Phone. +370 653 74750, e-mail: lija.juozelyte@stud.lsmu.lt

Asta Marija INKĖNIENĖ. LSMU, FF, Klinikinės farmacijos katedra, mokslų daktarė, docentė. Adresas: Sukilėlių pr. 13, LT-50166 Kaunas, tel. +370 373 27290, el. paštas: asta.inkeniene@lsmuni.lt

Asta Marija INKĖNIENĖ. Department of Clinical Pharmacy, Faculty of Pharmacy, Lithuanian University of Health Sciences, assoc. prof. Address: Sukileliai Avenue 13, LT-50166 Kaunas. Phone: +37037327290, e-mail: asta.inkeniene@lsmuni.lt

Mindaugas MARKSA. Lietuvos sveikatos mokslų universitetas, Analizinės ir toksikologinės chemijos katedra, mokslų daktaras. Adresas: Sukilėlių pr. 13, LT-50166 Kaunas, tel. +370 373 27246, el. paštas: mindaugas.marksa@lsmu.lt

Mindaugas MARKSA. Department of Analytical and Toxicological Chemistry, Doctor at the Faculty of Pharmacy, Lithuanian University of Health Sciences. Address: Sukileliai Avenue 13, LT-50166 Kaunas. Phone.: +370 373 27246, e-mail: mindaugas.marksa@lsmu.lt

ALERGENŲ VALDYMO PROGRAMOS TAIKYMAS VARŠKĖS SŪRELIŲ GAMYBOS ĮMONĖJE

Jurgita Polonskė, Aušra Steponavičienė

Kauno kolegija

Maiste esantys alergenai kelia reikšmingą pavojų alergiškiems asmenims, todėl maisto produktų gamybos metu svarbu efektyviai valdyti alergenų, siekiant išvengti kryžminės taršos technologinio proceso metu naudojant skirtingas žaliavas, gaminant skirtingų rūšių produktus. Maisto gamybos įmonėse dėl skirtingų žaliavų gausos, darbuotojų nepakankamos kompetencijos, netinkamo gamybos proceso planavimo galima kryžminė tarša alergenais. Šiai problemai spręsti viso gamybos technologinio proceso metu būtina taikyti alergenų valdymo programą. Glaistytų varškės sūrelių gamybos technologinio proceso metu atlikta maisto saugos rizikos veiksnių analizė bei pritaikytos jų valdymo priemonės. Pagal maisto saugą ir kokybę reglamentuojančių tarptautinių standartų (IFS ir BRC) reikalavimus glaistytų varškės sūrelių gamyboje pritaikyta alergenų valdymo programa.

Raktiniai žodžiai: maisto alergenai, alergija maistui, alergenų valdymo programa, maisto sauga.

Įvadas

Išsivysčiusiose šalyse XXI amžiuje sergamumas alerginėmis ligomis pasiekė epideminį mastą ir toliau sparčiai didėja. Šiandien labai plinta alergijos maistui, ypač žemės riešutams. Didėjantis sergamumas alerginėmis ligomis siejamas su visuomenės gyvenimo būdo pokyčiais – sanitarinių sąlygų pagerėjimu, higienos įpročių ir mitybos pasikeitimu, padidėjusiu laiko praleidimu uždaroje patalpoje (Žilėnaitė ir Stankevičiūtė, 2017). Alergija maistui gali sukelti gyvybei pavojingų reakcijų ir pabloginti gyvenimo kokybę. Per pastaruosius kelis dešimtmečius alergijos maistui paplito keliuose pasaulio regionuose. Nors nustatyta, kad daugiau kaip 170 maisto produktų gali sukelti alergiją, tik mažuma šių maisto produktų sukelia didžiąją dalį reakcijų, o paplitę maisto alergenai įvairiuose geografiniuose regionuose skiriasi (Burks ir kt. 2013; Burks ir kt., 2012).

Alergija maistui yra vienas iš labiausiai paplitusių alerginių sutrikimų, pripažintas kaip pagrindinė vaikų sveikatos problema Vakarų šalyse. Alergijos maistui paplitimas Europoje nustatytas 6–8 % vaikų iki 3 metų amžiaus. Daugiau nei 17 mln. žmonių Europoje kenčia nuo alergijos maistui. Atlikti moksliniai tyrimai rodo, kad dėl sunkios alerginės reakcijos į ligitinę patekimas per pastaruosius 10 metų padidėjo 7 kartus (EAACI, 2013). Alergija maistui atsiranda dėl nenormalaus imuninio atsako, kuris pasireiškia žmogui susidūrus su specifiniais maisto baltymais, ir laikomas neigiamu poveikiu žmogaus sveikatai tiek vaikams, tiek suaugusiems (Zuidmeer ir kt., 2008). Net ir nedidelis alergenų kiekis gali sukelti nenusipėjamą klinikinių požymių, tokių kaip sumažėjęs kraujospūdis, kvėpavimo sutrikimai, virškinamojo trakto simptomai, odos ir (arba) gleivinės pažeidimai (Danqing ir Shiqian, 2024).

Maisto alergenai gali būti gyvulinės arba augalinės kilmės. Jie būdingi tam tikrai geografiniai zonai. Svarbiausi maisto alergenai yra šie: pienas, kiaušiniai, grūdiniai, turintys gliuteno, riešutai, sojos, žuvis, mėsa, vėžiagyviai, uogos, vaisiai, daržovės, prieskoniai ir kt. JAV 8 maisto produktai sukelia 90 % visų alergijų maistui, dėl to jie dažnai vadinami „didžiuoju aštuonetu“ – tai pienas, kiaušiniai, žemės riešutai, kiti riešutai, grūdiniai produktai, žuvis, vėžiagyviai, sojos (Kavaliūnas ir kt., 2010).

Maisto alergenams valdyti maisto gamybos įmonėje būtina atlikti maisto saugos rizikos veiksnių analizę ir pritaikyti jų valdymo priemones. Projektuojant žaliavų perdirbimo, maisto gamybos, transportavimo ar prekybos įmonę, būtina įvykdyti daugelį reikalavimų patalpoms, įrenginiams, darbuotojų higienai, valymui, plovimui ir dezinfekcijai, transportavimui. RVASVT – tai sisteminis požiūris, apimantis visus maisto saugos aspektus visose maisto gamybos ir vartojimo grandyse: žaliavų auginimo ir paruošimo, gabenimo, saugojimo, perdirbimo, paskirstymo, pardavimo ir vartojimo (Danilčenko, H. 2012).

Pasirinkta tema yra aktuali, nes maiste esantys alergenai kelia reikšmingą pavojų alergiškiems asmenims. Todėl maisto produktų gamybos metu svarbu efektyviai valdyti alergenų, siekiant išvengti kryžminės taršos technologinio proceso metu naudojant skirtingas žaliavas, gaminant skirtingų rūšių produktus. Kadangi vis daugiau žmonių yra alergiški tam tikriems maisto produktams, o maisto gamybos įmonėse dėl skirtingų žaliavų gausos, darbuotojų nepakankamos kompetencijos, netinkamo gamybos proceso planavimo galima kryžminė tarša alergenais. Šiai problemai spręsti viso gamybos technologinio proceso metu būtina taikyti alergenų valdymo programą. Darbo tikslas – pagal maisto saugą ir kokybę reglamentuojančių tarptautinių standartų (IFS, BRC, FSSC 22000) reikalavimus glaistytų varškės sūrelių su sausainiais gamyboje pritaikyti alergenų valdymo programą.

Tyrimų metodika

Maisto saugą reglamentuojančių tarptautinių standartų (IFS, BRC ir FSSC 22000) reikalavimų pritaikymas glaistytų varškės sūrelių su sausainiais gamybos ceche. Pagrindiniai tyrimo etapai:

- Tarptautinių standartų (IFS, BRC ir FSSC 22000) reikalavimų alergenų valdymui analizė.
- Įprastinių glaistytų varškės sūrelių bei varškės sūrelių su sausainiais technologinio proceso analizė vertinant alergenų riziką.
- Alergenų valdymo programos parengimas ir pritaikymas glaistytų varškės sūrelių gamybos ceche.

Rezultatai ir aptarimas

Išanalizavus tarptautinių standartų (IFS, BRC ir FSSC 22000) reikalavimus alergenų valdymui, parengtas sąvadas (1 lentelė).

1 lentelė. Tarptautinių maisto saugos standartų (IFS, BRC ir FSSC 22000) reikalavimų alergenų valdymui sąvadas

Table 1. Compendium of requirements for allergen management in international food safety standards (IFS, BRC and FSSC 22000)

Tarptautinis standartas / reglamentuota alergenų valdymo priemonė		
FSSC 22000	IFS	BRC
Jei produkte yra alergenų dėl jo sudėties ar gamyboje esančios kryžminės taršos, tai turi būti deklaruojama.	4.19.1 Turi būti atliktas visų žaliavų rizikos vertinimas, siekiant nustatyti alergenų, kuriuos reikia deklaruoti, įskaitant atsitiktinį arba techniškai neišvengiamą kryžminį teisiškai privalomų deklaruoti alergenų ir pėdsakų užteršimą.	5.3.3 Turi būti įdiegtos procedūros, užtikrinančios efektyvų alergenų valdymą, kad būtų apsaugoti nuo kryžminio užteršimo produktai, neturintys alergenų.
Deklaracija turi būti nurodyta ant vartotojui skirtų produktų ar atitinkamuose dokumentuose, kai produktai skirti tolesniam perdirbimui.	4.19.2 Turi būti įgyvendintos ir prižiūrimos prevencinės ir kontrolės priemonės, pagrįstos rizika nuo priėmimo iki išsiuntimo, siekiant užtikrinti, kad būtų sumažintas kryžminis produktų užteršimas alergenais. Turi būti apsvarstytos kryžminio užteršimo rizikos, mažiausiai susijusios su: aplinka; transportu; sandėliavimu; žaliavomis; personalu (įskaitant rangovus ir lankytojus). Įgyvendintos kontrolės priemonės turi būti patikrinamos.	5.3.4 Turi būti fizinis arba laiko atskyrimas žaliavoms, turinčioms alergenų, kol jos laikomos, apdorojamos ar pakuojamos. Reikia naudoti atskirus apsauginius drabužius, dirbant su alergenų turinčiomis medžiagomis, atskiras gamybos ir valymo inventoriaus naudojimas, tinkamos ventiliacinės sistemos įdiegimas.
Produktai turi būti apsaugoti valymu ar kitų linijų panaudojimu, gamybos eiliškumo nustatymu nuo nepageidaujamos kryžminės taršos alergenais.	4.19.3 Gatavi produktai, kuriems būtinas alergenų turėjimo deklaravimas, turi būti tinkami paženklininti, atsižvelgiant į teisės aktų reikalavimus. Atsitiktinis ar techniškai neišvengiamas kryžminis, pagal teisinius reikalavimus deklaruojamų alergenų ir pėdsakų užteršimas turi būti nurodytas ženkliniame. Sprendimas turi būti grindžiamas rizika. Produkto ženkliniame taip pat turi būti atsižvelgta į galimą kryžminį užterštumą dėl įmonėje perdirbamų žaliavų su alergenais.	

Sūrelių gamybos technologinio proceso metu visuose gamybos technologinio proceso etapuose, taikant tarptautinių standartų (IFS, BRC ir FSSC 22000) reikalavimus, pagal parengtą rizikos veiksnių valdymo metodiką (2 lentelė) atlikta maisto saugos rizikos veiksnių (įskaitant ir alergenų) analizė.

Įvertinus rizikos rimtumą (pavojaus sveikatai rimtumas × atsiradimo tikimybė) (2lentelė), kiekvienai RV kategorijai parinktos kontrolės priemonės (3 lentelė).

2 lentelė. Rizikos rimtumas**Table 2. The severity of the risk**

Atsiradimo tikimybė Pavojaus sveikatai rimtumas	Didelė	Vidutinė	Maža
Mažas	3	2	1
Vidutinis	4	3	2
Didelis	5	4	3

3 lentelė. Valdymo priemonės**Table 3. Control measures**

Kategorija	1	2	3	4	5
Kontrolės priemonės	Nereikalingos kontrolės priemonės	Kontrolės priemonės nėra būtinos, tačiau kas tam tikrą laiką planinių auditų metu turėtų būti peržiūrima	Reikalingos bendrinės kontrolės priemonės (būtiniosios programos)	Reikalingos papildomos kontrolės priemonės, kurios bus taikomos viso technologinio proceso metu (Alergenų valdymo programa)	Būtinės specifinės kontrolės priemonės, pritaikytos specialiai tai rizikai valdyti (SVT). Būtinasis monitoringas

Alergenų valdymo programos įdiegimas glaistytų varškės sūrelių gamyboje. Kryžminis kontaktas kyla maisto gamybos metu, kai alergizuojantys baltymai netyčia pernešami iš vieno produkto į kitą, ypač gaminant kelis skirtingus produktus toje pačioje patalpoje ar linijoje. Tai gali įvykti iki galutinio maisto supakavimo proceso. Glaistytų varškės sūrelių gamybos įmonėje gaminant įprastus pieno produktus bei produktus, kurių sudėtyje yra alergenų, galima kryžminė tarša. Išanalizavus traptautių maisto saugą reglamentuojančių standartų (IFS, BRC, FSSC 22000) reikalavimus bei atlikus alergenų rizikos veiksnių analizę sūrelių gamybos įmonėje pritaikytas alergenų valdymas. Alergenų valdymo programa pateikta 4-oje lentelėje.

4 lentelė. Alergenų valdymas sūrelių gamybos įmonėje**Table 4. Allergen management in the company**

Procesas	Rekomendacijos
Bendra dalis	1. Paskirti maisto saugos komandą, turinčią įvairių sričių žinių. 2. Atlikti rizikos vertinimą įvairiuose gamybos etapuose. 3. Sudaryti alergenų žemėlapi visuose glaistytų varškės sūrelių technologinio proceso etapuose. 4. Sudaryti produktų ir žaliavų sąrašus su alergenais.
Alergizuojančių maisto produktų atskyrimas arba sudedamųjų dalių sandėliavimo metu, tvarkymas ir perdirbimas.	1. Alergiją sukeliančias sudedamąsias dalis arba produktus laikyti atskirai, kad būtų išvengta kryžminio sąlyčio: – naudoti švarius ir uždarus indus; – naudoti aiškiai pažymėtas alergizuojančių maisto produktų ir ingredientų sandėliavimo vietas; – naudoti atskiras gamybos linijas. 2. Alergizuojančius ingredientus identifikuoti pagal ženklą ar etiketę (arba spalvinį kodą) ir sandėliuojant atskirti juos nuo nealergizuojančių produktų. 3. Kai specialios perdirbimo linijos yra arti viena kitos, pastatyti fizinius barjerus ir atskirti alergizuojančias ir nealergizuojančias gamybos linijas. 4. Gamybos linijų, kuriose yra susikirtimo taškų, atveju neleisti, kad alergizuojantys maisto produktai patektų ant nealergizuojančių gamybos linijų.
Tiekėjų valdymo programos taikymas	1. Reikalauti iš tiekėjų kokybės dokumentų, ingredientų specifikacijų, kuriuose būtų garantuojama, kad įsigytuose ingredientuose nėra nedeclaruotų alergenų. 2. Reguliariai tikrinti tiekėjus, atliekant auditus, kiekvienais metais atlikti tiekėjų vertinimą. 3. Priimant tikrinti ingrediento pakuotės etiketę ir specifikaciją.

Procesas	Rekomendacijos
Kryžminio kontakto prevencija apdorojimo metu	Gamybos planavimas: – pirmumo tvarka gaminti produktus be alergenų, su vienu alergenų ir t. t.; – didinti gamybos apimtį su alergenais, kad būtų išvengta dažno perėjimo iš gamybos su alergenais; – numatyti sanitarinį plovimą po gamybos su alergenais; – po plovimo vykdyti alergenų likučių kontrolę taikant greituosius alergenų likučių testus. Gamybos linijų su alergenais ir be jų atskyrimas: 1. Produktų, kurių sudėtyje yra alergenų, gamyboje naudoti atskirus įrankius, talpyklas, indus. 2. Produktų, kurių sudėtyje yra alergenų, gamyboje naudoti atskirą paviršių / patalpoms valyti skirtą inventorių. 3. Suprojektuoti darbuotojų, žaliavų judėjimo srautus ir oro srautus gamybos patalpose taip, kad būtų išvengta kryžminio alergenų kontakto.
Produkto etiketės peržiūra; etiketė ir pakuočių naudojimas ir kontrolė	1. Užtikrinti, jog etiketėse informacija atitiktų alergenų ženklinimo reikalavimus. 2. Užtikrinti, kad produkto specifikacijos ir sudėties pakeitimai nedelsiant būtų pateikti etiketėse. 3. Įgyvendinti tinkamas pakavimo medžiagų atsargų kontrolės procedūras.
Patvirtinta alergenų valymo programa	1. Tinkamai suprojektuoti įrangą bei inventorių: – geras prienamumas įrangai valyti bei patikrinti. 2. Parengti ir pritaikyti alergenų valymo planą. 3. Vykdyti valymo darbų efektyvumo kontrolę. 4. Registruoti valymo darbų įrašus. 5. Periodiškai įvertinti alergenų valymo programos efektyvumą.
Darbuotojų mokymai	Į kasmetinių darbuotojų mokymų planą įtraukti alergenų valdymo įmonėje mokymus.

Alergenų taršos valdymas žaliavose. Įmonėje visi produktai gaminami iš pieno, todėl kryžminės taršos galimybės gamybos metu nėra. Galimos kitos žaliavos, kurios yra alergenai arba jose yra alergenų ar jų pėdsakų. Žaliavoms rengiamas jų sąrašas su alergenais ir jų pėdsakais. Pateikus klausimynus žaliavos tiekėjams ir iš žaliavų specifikacijų sužinomas alergenų statusas.

Priėmimo metu įvertinama gaunama specifikacija ar kitas kokybės dokumentas, ženklinimas, kuriame turėtų būti nurodyti galimi alergenai ir jų pėdsakai. Priėmimą atliekantis darbuotojas papildomai naudoja alergenų sąrašą.

Jei žaliavoje atsirado naujas alergenai, kurio nebuvo ankstesnėje specifikacijoje, kuri buvo suderinta su tiekėju, tokiu atveju informuojamas gamybos vadovas / maisto produktų ir gėrimų technologas ir įvertinama, ar nekils kryžminės taršos dėl žaliavos, atliekama rizikos veiksnių analizė. Tokia žaliava iki naudojimo laikoma karantine. Visos žaliavos su alergenais yra laikomos atskirai, paženklintoje vietoje. Žaliavoms su alergenais svėrimui skirtas atskiras inventorių, paženklintas skirtingomis spalvomis.

Alergenų likučių tyrimai. Produktai, kurių sudėtyje yra alergenų, gaminami atskirai nuo produktų be jų. Jeigu to neįmanoma išvengti, po gamybos atliekamas gamybinių linijų (įrengimų) valymas, dezinfekavimas, vykdoma alergenų kontrolė (taikant greituosius alergenų kontrolės testus).

Kiekvieną kartą atlikus įrenginių paviršių plovimą po glaistytų varškės sūrelių su sausainiais gamybos vykdomi alergenų likučių tyrimai taikant RIDA®QUICK Gliedin testus. Šiuo tyrimo metodu nustatomi sausainiuose esančio alergeno – glitimo likučiai ant įrenginių, gamybinių paviršių, kurių nėra gaminant glaistytus varškės sūrelius be sausainių.

Tyrimo metu, vertinant gamybinių paviršių higieną po plovimo, RIDA®QUICK Gliedin reagentų rinkinyje esančių juostelių galiukais (reakcijos zona) perbraukiama per įrenginio ar gamybinio paviršiaus, ant kurio buvo gaminami glaistyti varškės sūreliai su sausainiais. Gauti tyrimų rezultatai vertinti stebint spalvos pasikeitimą juostelėje bei lyginant su mėlynos spalvos kontrolinėmis juostelėmis (1 pav.).



1 pav. Tyrimo rezultatų vertinimas taikant RIDA®QUICK Gliadin testą

Fig. 1. Evaluation of test results using the RIDA®QUICK Gliadin test

Išvados

1. Išanalizavus tarptautių maisto saugą reglamentuojančių standartų (IFS, BRC, FSSC 22000) reikalavimus alergenų valdymui gliaistytų varškės sūrelių gamybos įmonėje taikant alergenų rizikos vertinimo metodiką atlikta alergenų rizikos veiksnių analizė. Glaistytų varškės sūrelių gamybos ceche parengta alergenų valdymo programa, leidžianti efektyviai gaminti gliaistytus varškės sūrelius, įskaitant ir sūrelius su sausainiais. Gamybos procesas optimizuotas taip, kad per vieną pamainą, naudojant dvi fasavimo linijas, būtų pagaminama 2 764,8 kg produkcijos, atitinkančios numatytus kokybės ir maisto saugos reikalavimus. Sukurta gliaistytų varškės sūrelių su sausainiais, kurie sudaro papildomą alergenų šaltinį, receptūra. Išsamiai apskaičiuotas reikalingas pagrindinių ir pagalbinių žaliavų kiekis šiai receptūrai įgyvendinti, užtikrinant tikslų ingredientų paskirstymą ir efektyvų jų naudojimą gamybos procese taikant alergenų valdymą.
2. Alergenų valdymo programa apima: alergizuojančių maisto produktų arba sudedamųjų dalių atskyrimą sandėliavimo metu, tvarkymą ir perdirbimą; tiekėjų valdymo programos taikymą; žaliavų / produktų ženklinimą; gamybos planavimą; alergenų likučių tyrimus; darbuotojų mokymus.
3. Glaistytų varškės sūrelių gamyboje pritaikius RIDA®QUICK Gliadin tyrimų metodą dėl alergenų kryžminės taršos neatitiktį sumažėjo 80 proc.

Literatūra

1. Burks A. W, Calderon M. A., Casale T., Cox L., Demoly P., Jutel M., Nelson H., Akdis C. A. (2013). Update on allergy immunotherapy: American Academy of Allergy, Asthma & Immunology/European Academy of Allergy and Clinical Immunology/PRACTALL consensus report. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 131 (5), p. 1288–1296. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2013.01.049>.
2. Burks, A. W., Tang, M., Sicherer, S., Muraro, A., Eigenmann, P. A., Ebisawa, M. et al. (2012). ICON: food allergy. *J Allergy Clin Immunol*, 129(4), 906–920. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2012.02.001>
3. Danilčenko, H. (2012). *Maisto žaliavų kokybės ir saugos valdymas*. Kaunas: Akademija.
4. Danqing Z., Shiqian F., (2024). Recent progresses on emerging biosensing technologies and portable analytical devices for detection of food allergens. *Trends in Food Science & Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104485>
5. *EAACI issues European Food Allergy & Anaphylaxis Public Declaration*. <http://www.eaaci.org/pressreleases/130207EAACIissuesEuropeanFoodAllergy&AnaphylaxisPublicDeclaration.pdf>
6. Kavaliūnas, A., Šurkienė, G., Dubakienė, R., Stukas, R. (2010), Alergijos maistui epidemiologija: rizikos veiksniai, paplitimas, reikšmė. *Visuomenės sveikata*, 4(51), 35–44. [https://visuomenessveikata.hi.lt/uploads/pdf/visuomenes%20sveikata/2010.4\(51\)/VS%202010_4\(51\)_Kavaliunas\(LIT_A\).pdf](https://visuomenessveikata.hi.lt/uploads/pdf/visuomenes%20sveikata/2010.4(51)/VS%202010_4(51)_Kavaliunas(LIT_A).pdf)
7. Zuidmeer, L., Goldhahn, K., Rona, R. J., Gislason, D., Madsen, Ch., Summers, C., Sodergren, E., Dahlstrom, J., Lindner, T., Sigurdardottir, S. T., McBride, D., Keil, T. (2008). The prevalence of plant food allergies: A systematic review. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 121(5), 1210–1218. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2008.02.019>.

8. Žilėnaitė, E., Stankevičiūtė, R., (2017). *Alerginių ligų prevencija – kaip sumažinti ar atidėti alerginių ligų pasireišimą*. [Žiūrėta 2024-09-02]. <https://allergomedica.lt/blogas/p-alerginiu-ligu-prevencija-ndash-kaip-sumazinti-ar-atideti-alerginiu-ligu-pasireiskima>

Jurgita Polonskė, Aušra Steponavičienė

The Implementation of an Allergen Management Program in a Glazed Cottage Cheese Snack Production Company

Allergens present in food pose a significant risk to allergic individuals. Therefore, it is important to effectively manage allergens during food production to prevent cross-contamination during the technological process, especially when using different raw materials and producing various types of products. In food production companies, cross-contamination of allergens can occur due to the variety of raw materials, insufficient employee competence, and improper production process planning. To address this issue, an allergen management program must be implemented throughout the entire production process. A food safety risk factor analysis was conducted during the production process of glazed cottage cheese snacks, and management measures were applied accordingly. In line with international standards regulating food safety and quality (IFS and BRC), an allergen management program has been applied in the production of glazed cottage cheese snacks. This document contains requirements for the preparation of scientific article for the scientific journal.

Keywords: Food allergens, food allergy, allergen management program, food safety.

Gauta 2025 m. balandžio mėn., atiduota spaudai 2025 m. balandžio mėn.

Jurgita POLONSKĖ. Kauno kolegija. Informatikos, inžinerijos ir technologijų fakultetas. Maisto ir agrotechnologijų katedros studentė. Adresas: Pramonės pr. 22, LT-50468 Kaunas, tel. +370 372 81286, el. paštas: jurgita.polonske@go.kauko.lt

Jurgita POLONSKĖ. Kaunas University of Applied Sciences. Faculty of Informatics, Engineering, and Technology. Department of Food and Agrotechnology, student. Address: Pramonės pr. 22, LT-50468 Kaunas dist. Phone: +370 372 81286, e-mail: jurgita.polonske@go.kauko.lt

Aušra STEPONAVIČIENĖ. Kauno kolegija. Informatikos, inžinerijos ir technologijų fakultetas. Maisto ir agrotechnologijų katedros docentė. Adresas: Pramonės pr. 22, LT-50468 Kaunas, tel. +370 372 81286, el. paštas: ausra.steponaviciene@go.kauko.lt

Aušra STEPONAVIČIENĖ. Kaunas University of Applied Sciences. Faculty of Informatics, Engineering, and Technology. Department of Food and Agrotechnology, assoc. prof. Address: Pramonės pr. 22, LT-50468 Kaunas dist. Phone: +370 372 81286, e-mail: ausra.steponaviciene@go.kauko.lt

**EKOLOGIJA,
DARNI MIŠKININKYSTĖ**

ECOLOGY, SUSTAINABLE FORESTRY

TOWARDS A SUSTAINABLE FUTURE: NATURE-BASED SOLUTIONS AND OUR ROLE

Anželika Dautartė

Vytautas Magnus University

Biodiversity loss and climate change pose significant environmental challenges, requiring effective solutions such as Nature-Based Solutions (NBS). This study, conducted within the Horizon Europe – eNaBIS project, examines public knowledge, perceptions, and engagement with NBS in Lithuania through an online survey of 157 respondents. Findings reveal that over 90% associate biodiversity with ecological diversity, misconceptions persist regarding NBS, with 40% uncertain or misinterpreting the concept. Although 68% recognise biodiversity loss as a local issue, awareness gaps remain. The most acknowledged NBS benefits include sustainable farming (74%) and air and water quality improvement (70%), while flood prevention (45%) and food security (25%) were less recognized. Education emerged as the most supported conservation measure (61%), while financial incentives received minimal backing (25%). Government institutions were viewed as primary conservation actors, with mixed opinions on ecological activists. The study underscores the need for enhanced public education, stakeholder collaboration, and policy integration to strengthen biodiversity conservation and NBS adoption.

Keywords: Biodiversity loss, Nature-Based Solutions, public awareness, conservation strategies.

Introduction

Biodiversity loss – the ongoing reduction in the variety of life on Earth at genetic, species, and ecosystem levels – has accelerated to unprecedented rates in recent decades (IPBES, 2019). Global assessments warn that roughly one million species are now threatened with extinction, a trend that is eroding the foundations of economies, livelihoods, food security, and human well-being worldwide (IPBES, 2019; IPCC, 2022). Protecting and restoring ecosystems is therefore not only a conservation imperative but also essential for climate adaptation and resilience. Indeed, the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) emphasizes that safeguarding biodiversity and ecosystems is fundamental to climate-resilient development (IPCC, 2022). In this context, Nature-Based Solutions (NBS) have emerged as a key strategy to address the dual crises of biodiversity loss and climate change. NBS are broadly defined as “solutions that are inspired and supported by nature, which are cost-effective, simultaneously provide environmental, social and economic benefits and help build resilience” (European Commission, 2022). By working with natural processes – for example, conserving wetlands for flood control or restoring forests for carbon sequestration – NBS leverage ecosystem services to reduce climate risks and enhance the adaptive capacity of both ecosystems and societies (Griscom et al., 2017; European Commission, 2022). In sum, NBS offer a promising framework to simultaneously halt biodiversity decline and bolster climate resilience.

Recognizing the importance of NBS, the global policy agenda has increasingly integrated nature-based approaches into its frameworks for sustainability. The landmark Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework adopted in 2022, for instance, calls for urgent action to halt and reverse nature loss this decade, including through nature-based solutions and ecosystem-based approaches (Convention on Biological Diversity [CBD], 2022). Several targets within this framework explicitly emphasize NBS as tools for climate change mitigation, adaptation, and disaster risk reduction (CBD, 2022). Likewise, recent IPCC reports underscore that conserving and restoring nature is critical for addressing climate change, highlighting that effective and equitable conservation of 30–50% of Earth’s land and seas is needed to maintain resilient ecosystems (IPCC, 2022). This international momentum has been accompanied by United Nations initiatives such as the UN Decade on Ecosystem Restoration (2021–2030), reflecting a broad consensus that NBS are globally significant for achieving climate and biodiversity goals.

At the regional level, the European Union (EU) has made NBS a centrepiece of its environmental and climate strategies. The EU’s Biodiversity Strategy for 2030 – a core component of the European Green Deal – sets out an ambitious plan to protect nature and reverse ecosystem degradation, aiming to put Europe’s biodiversity on a path to recovery by 2030 (European Commission, 2020). This strategy explicitly links biodiversity conservation with climate mitigation and adaptation, noting that these efforts are for the benefit of people, climate, and the planet (European Commission, 2020). In line with these goals, major EU programs are investing in and implementing NBS. For example, Horizon Europe (the EU’s research and innovation framework) is funding numerous projects that harness NBS to confront climate change and biodiversity loss (European Commission, 2021). Such projects explore solutions like sustainable urban drainage, forest restoration, and agroecological farming as innovations that provide co-benefits for society (e.g., improved health, jobs) while enhancing ecosystem resilience (European Commission, 2021). Complementing the

research agenda, the EU's LIFE Programme (its dedicated funding instrument for environment and climate action) supports on-the-ground interventions in member states. The LIFE Programme's objectives include halting and reversing biodiversity loss and tackling ecosystem degradation, thereby directly facilitating NBS implementation across Europe (European Commission, 2021). Together, these policies and initiatives demonstrate a strong multilevel commitment – from global agreements to EU legislation – to mainstreaming NBS as a pathway towards sustainability and climate resilience.

Crucially, the success of Nature-Based Solutions depends not only on high-level policies but also on public engagement and education. Effective implementation of NBS requires the buy-in and active participation of local communities, stakeholders, and citizens. Research indicates that community engagement in NBS planning, and deployment is critical to ensure projects meet local needs, produce equitable benefits, and are sustained over time (Nicholas Institute for Environmental Policy Solutions, 2022). In practice, NBS that involve residents in design and decision-making tend to foster a sense of ownership and social acceptance, which can be decisive for their long-term maintenance (Kiss et al., 2022). Moreover, enhanced public participation is linked to stronger social and environmental outcomes: studies of NBS initiatives have found that deeper community involvement correlates with a heightened sense of belonging, increased ecological knowledge, and greater motivation for stewardship (Kiss et al., 2022). Education and awareness-raising are likewise key enablers of NBS. Evidence suggests that informing people about NBS and ecosystem management can significantly improve their willingness to support and co-create such solutions (Chan et al., 2022). These findings underscore that engaging the public through education, consultation, and collaborative action is not a mere supplementary aspect of NBS but rather a central component of their success. Broad public awareness can build the social license needed for NBS (such as new green infrastructure or conservation areas), while grassroots involvement can enhance the effectiveness and resilience of these interventions on the ground (Nicholas Institute for Environmental Policy Solutions, 2022; Zhu et al., 2022).

The study aimed to assess public knowledge, perceptions, and engagement with biodiversity loss and Nature-Based Solutions (NBS) in Lithuania, identifying key gaps and motivational factors for conservation efforts.

Research Methodology

An online survey was conducted to assess public knowledge, perceptions, concerns, and motivations regarding biodiversity loss and the role of NBS in climate resilience and well-being in several European countries. The study targeted a diverse range of stakeholders, including employees, students, professional organizations, NGOs, and local authorities. The questionnaire was developed using EUSurvey, an online survey platform administered by the European Commission. Although the platform provided translations into all official EU languages, it did not include Arabic, Turkish, and Ukrainian. Therefore, the survey was independently translated into these languages with the assistance of a professional translation service. The survey was conducted between 5 June 2024 and 31 August 2024, aiming to collect at least 1,000 responses. The dissemination strategy included partner networks, academic and professional institutions, and targeted communication campaigns. The survey was carefully designed in compliance with ethical principles, ensuring the protection of participants' rights. Informed consent was obtained from all respondents before participation, and they were explicitly informed of their right to withdraw at any time without consequences. The survey maintained anonymity, with all identifying information removed to protect participant confidentiality. Data storage adhered to EU Data Protection Policy requirements, and the purpose and intended use of the collected data were communicated to participants.

This study presents data collected from 157 respondents in Lithuania. The survey consisted of 29 questions, of which 11 were selected for analysis, focusing on three key themes: understanding and significance of biodiversity and its loss, nature-based solutions and public awareness, and responsibility and actions for biodiversity conservation.

The questionnaire included both quantitative and qualitative components. Quantitative analysis was applied to structured questions, including multiple-choice, Likert-scale, and binary (yes/no) questions. Thematic categorization was employed to analyse open-ended responses, enabling a deeper understanding of public perceptions and knowledge. The frequency of each response was calculated and presented as a percentage, providing insights into the predominant interpretations of biodiversity and NBS among respondents.

Results and discussion

The survey assessed public understanding of biodiversity by asking participants to select the definition that best matched their perspective. The majority (142 respondents, over 90%) associated biodiversity with the

diversity of plants, animals, and habitats, reflecting an ecological viewpoint. A smaller group (9 respondents, 5.7%) linked it to species protection in designated areas, while 4 respondents (2.5%) connected it to natural selection and evolution, and 2 respondents (1.3%) viewed it through urban greening efforts. These results highlight that most see biodiversity as an ecological system, though some interpret it through conservationist, evolutionary, or urban sustainability lenses. The low recognition of biodiversity's link to evolution suggests a need for targeted education.

Participants also shared views on local biodiversity decline. A majority (106 respondents, 68%) saw it as a problem, indicating strong awareness, while 38 respondents (24%) did not perceive it as an issue, possibly due to a lack of visible change or awareness. Another 13 respondents (8%) were uncertain, emphasizing the need for public education. The findings suggest that while many recognize biodiversity loss, a significant portion remains unaware or unsure, highlighting the importance of communication efforts to encourage conservation engagement.

To assess perceptions of the significance of biodiversity, participants were asked to select the reasons they considered most important. The most frequently cited reason was "Health of nature", chosen by 140 respondents, indicating widespread recognition of biodiversity's role in ecosystem stability. "Survival of humankind" was another dominant response (126 respondents), reinforcing the notion that biodiversity is integral to human well-being. Similarly, "Climate stability" was acknowledged by 124 respondents, demonstrating awareness of biodiversity's influence on climate regulation. Other commonly selected reasons included ethical and moral responsibility (109 respondents), economic benefits (106 respondents), and resilience against natural disasters (104 respondents). Additionally, cultural (81 respondents) and educational (89 respondents) values were acknowledged, reflecting a multifaceted appreciation of biodiversity's societal relevance. These responses suggest that biodiversity is valued for both its ecological and socio-economic contributions. The strong emphasis on ecosystem health and human survival underscores the necessity of conservation efforts that integrate ecological protection with broader societal benefits.

Participants also identified the consequences of biodiversity loss, selecting all that applied. The most frequently acknowledged impact was habitat loss and species extinction (122 respondents), followed by climate instability (106 respondents) and declining water quality (105 respondents). The risks of natural disasters (100 respondents), loss of medicinal plants (99 respondents), and reduced pollination affecting food security (96 respondents) were also widely recognized. Economic and social consequences were less frequently acknowledged. Economic losses affecting industries such as fisheries and tourism were identified by 69 respondents, while cultural disruptions were noted by 62 respondents. Only 59 participants linked biodiversity loss to potential conflicts and migration driven by resource scarcity, suggesting a need for increased public awareness regarding the socio-economic ramifications of biodiversity decline.

The survey also explored public familiarity with the term "Nature-based Solutions (NBS)". Recognition of the term was evident among 91 respondents, suggesting growing awareness, possibly influenced by increasing environmental discourse (Fig. 1). However, 49 respondents were unfamiliar with NBS, and 17 expressed uncertainties, indicating that further communication efforts are necessary to enhance public understanding of this concept. While recognition of NBS is on the rise, a considerable portion of the public remains unclear on its full implications. Simplifying communication strategies and providing real-world examples may facilitate broader comprehension and encourage the adoption of NBS principles.

Participants were further asked to identify the correct definition of NBS from a set of options. A majority (90 respondents, 60%) accurately defined NBS as "Working with nature to solve problems, such as climate change and food shortages". However, misconceptions were evident, with 23 respondents (15%) conflating NBS with biomimicry and 18 respondents (12%) associating it with general environmental actions like recycling. These misunderstandings highlight the need for clearer differentiation between NBS and other sustainability approaches. Addressing these knowledge gaps through educational initiatives and public engagement efforts could enhance understanding and support for NBS, fostering its integration into environmental policies.

To assess awareness of NBS benefits, respondents selected all applicable options (Fig. 2). "Sustainable farming" emerged as the most recognized benefit (111 respondents, 74%), followed by "Improving air and water" (104 respondents, 70%) and "Cooling cities" (99 respondents, 66%). Other frequently cited benefits included "Carbon reduction" (96 respondents, 64%) and "Creating homes for animals and green spaces" (95 respondents, 63%). However, fewer participants identified NBS benefits related to flood prevention (68 respondents, 45%) and economic sustainability (68 respondents, 45%). The least acknowledged benefit was "Food security" (38 respondents, 25%), suggesting a need for increased public education on how NBS contributes to long-term food stability.

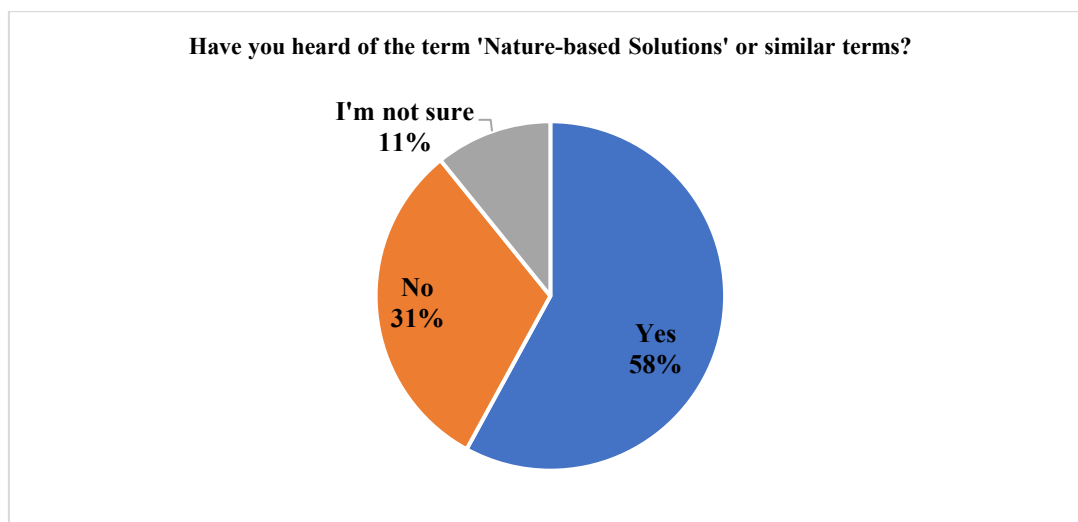


Fig. 1. Public Awareness of Nature-Based Solutions

1 pav. Visuomenės žinios apie gamta grįstus sprendimus

When asked about actions necessary to protect biodiversity, the most strongly supported measure was integrating biodiversity education into school and university curricula (96 respondents, 61.1%). Other widely endorsed actions included promoting eco-friendly farming practices (78 respondents, 49.1%) and restoring damaged natural habitats (73 respondents, 46.5%). By contrast, financial redistribution for conservation received the lowest support (39 respondents, 24.8%), alongside rewarding businesses for eco-friendly practices (47 respondents, 30.1%), reflecting scepticism regarding economic interventions. The highest level of uncertainty was observed with business incentives for biodiversity protection (40 respondents, 25.5%).

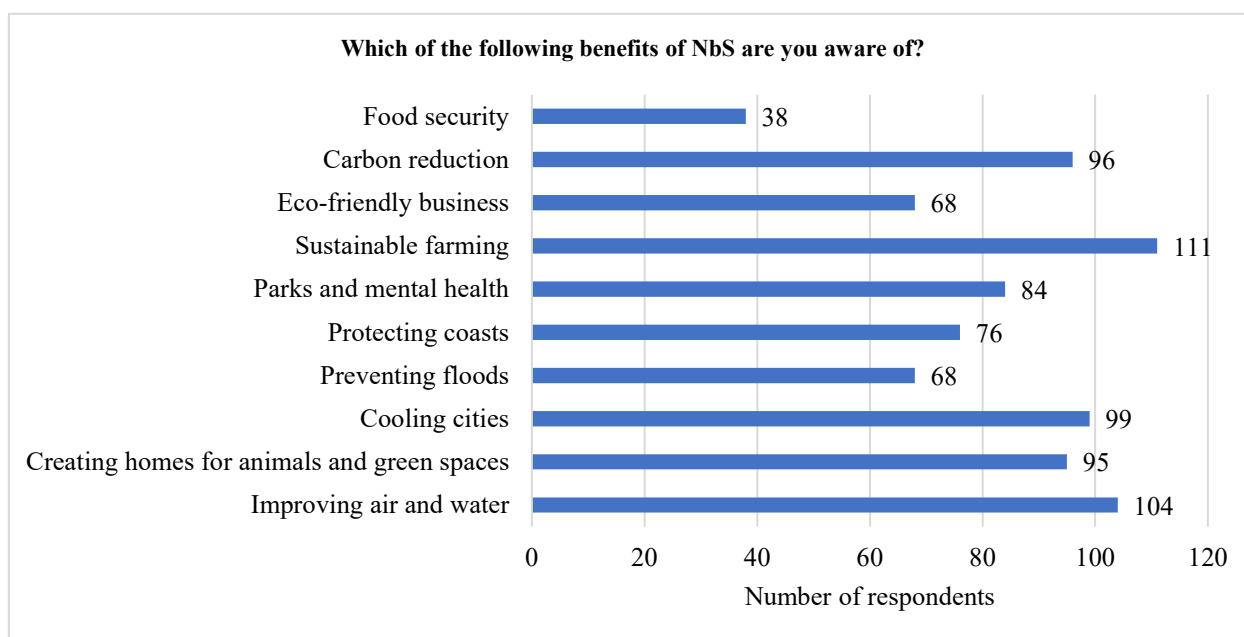


Fig. 2. Perceived Benefits of Nature-Based Solutions

2 pav. Apklaustųjų informuotumas apie gamta grįstų sprendimų naudą

To gauge perceptions of responsibility for biodiversity conservation, respondents expressed their levels of agreement with various stakeholders' roles. Government authorities received the highest level of strong agreement (73 respondents, 46.5%), signifying trust in institutional leadership. Conversely, ecological activists garnered the lowest level of strong agreement (47 respondents, 29.9%) and the highest strong disagreement (14 respondents, 8.9%), suggesting some scepticism about their effectiveness in conservation efforts. The greatest uncertainty surrounded the role of engineers (42 respondents, 26.8%), indicating a lack of clarity regarding their contributions to biodiversity protection. These findings emphasize the need for more explicit communication about the responsibilities of different stakeholders in conservation efforts.

Open-ended responses revealed common themes in individual biodiversity conservation efforts. The most frequently mentioned actions included sustainable consumption (18 mentions), waste reduction and recycling

(16 mentions), and direct biodiversity protection measures (14 mentions). Pollution prevention (8 mentions) and planting native species (7 mentions) were cited less frequently. These results indicate that individuals recognize both direct and indirect contributions to biodiversity conservation. Public awareness campaigns that promote sustainable behaviours could further encourage personal engagement in conservation efforts.

Lastly, participants were asked what would motivate them to take part in biodiversity conservation. The most effective motivators included educational programs (80 respondents, 51.0%), witnessing tangible local benefits (77 respondents, 49.0%), and receiving financial support for sustainability initiatives (74 respondents, 47.2%). The highest level of uncertainty was recorded regarding the involvement of specialists (49 respondents, 31.2%), suggesting that while expert guidance is valued, it may not be seen as a primary driver of engagement. These findings highlight the significance of education, direct benefits, and financial incentives in encouraging public participation in biodiversity conservation initiatives.

Conclusions

1. While 90% of respondents understood biodiversity as an ecological system, only 2.5% linked it to natural selection and evolution, indicating knowledge gaps in scientific literacy and biodiversity's broader implications.
2. Although 68% of participants recognized biodiversity loss as a local issue, 24% did not perceive it as a concern, and 8% were uncertain; similarly, 58% were familiar with NBS, but 27% held misconceptions, underscoring the need for improved education and communication.
3. The strongest support for conservation efforts focused on education (61.1%), sustainable farming (49.1%), and habitat restoration (46.5%), while economic incentives for businesses received the least support (30.1%), highlighting public preferences for direct engagement over financial redistribution.

Acknowledgement

The data examined in this paper originates from the Horizon Europe – Cluster 6 project Education and Nature-Based Solutions: Enabling Society to Bend the Curve for Biodiversity (eNaBIS, project 101135035). We acknowledge the contributions of all project partners in facilitating collaboration and knowledge exchange of higher education to enhance the understanding and implementation of Nature-Based Solutions (NBS). We would like to express our gratitude to the University of Hohenheim (UHOH) for its essential role in developing the questionnaire and research methodology, ensuring a scientifically rigorous approach to data collection. Their expertise and efforts were instrumental in designing the online survey used to assess public knowledge, perceptions, concerns, and motivations regarding biodiversity loss and the role of NBS in climate resilience and well-being. Additionally, we appreciate the valuable input and support provided by Julia Klawitter, Nandni Shah and Ann-Catrin Fender in refining the research framework and facilitating data collection.

References

1. CBD. (2022). Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework. *United Nations Convention on Biological Diversity*. <https://www.cbd.int/doc/decisions/cop-15/cop-15-dec-04-en.pdf>
2. European Commission. (2020). *EU biodiversity strategy for 2030*. https://ec.europa.eu/environment/strategy/biodiversity-strategy-2030_en
3. European Commission. (2021). *Horizon Europe: Cluster 6 - Food, bioeconomy, natural resources, agriculture and environment*. https://rea.ec.europa.eu/funding-and-grants/horizon-europe-cluster-6-food-bioeconomy-natural-resources-agriculture-and-environment/nature-based-solutions_en
4. Griscom, B. W., et al. (2017). Natural climate solutions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(44), 11645–11650. <https://doi.org/10.1073/pnas.1710465114>
5. IPBES. (2019). Global assessment report on biodiversity and ecosystem services. *United Nations Environment Programme*. <https://ipbes.net/global-assessment>
6. IPCC. (2022). Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability. *Intergovernmental Panel on Climate Change*. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>
7. Kiss, B., Sekulova, F., Hörschmann, K., Salk, C. F., Takahashi, W., & Wamsler, C. (2022). Citizen participation in the governance of nature-based solutions. *Environmental Policy and Governance*, 32(3), 247–272. <https://doi.org/10.1002/eet.1987>
8. Nicholas Institute for Environmental Policy Solutions. (2022). *Community engagement in nature-based solutions: Key strategies and challenges*. Duke University.
9. Chan, F. K. S., Lu, L., Zhu, Y., Balzan, M. V., Pezzoli, A., Johnson, M., Zhu, F., Ruan, T., Luo, G., Li, G., & Xu, Y. (2023). Exploring community perceptions and engagement of nature-based solutions:

The case of Ningbo, a Chinese coastal sponge city. *Nature-Based Solutions*, 4, Article 100093. <https://doi.org/10.1016/j.NBSj.2023.100093>

Anželika Dautartė

Tvarios ateities link: gamta grįsti sprendimai ir mūsų vaidmuo

Biologinės įvairovės nykimas ir klimato kaita kelia didelius aplinkosaugos iššūkius, todėl būtina taikyti veiksmingus sprendimus, tokius kaip gamta grįsti sprendimai (GGS). Šiame tyrime, atliktame pagal „Horizon Europe – eNaBIS“ projektą, analizuojamos visuomenės žinios, požiūris ir įsitraukimas į GGS Lietuvoje, remiantis 157 respondentų internetinės apklausos duomenimis. Rezultatai rodo, kad daugiau nei 90 % apklaustųjų biologinę įvairovę sieja su ekologine įvairove, tačiau GGS supratimo spragos išlieka – 40 % respondentų nebuvo tikri arba neteisingai suprato šį terminą. Nors 68 % pripažįsta biologinės įvairovės nykimą kaip vietinę problemą, vis dar pastebimas informuotumo trūkumas. Labiausiai atpažįstamos GGS naudos – darnus ūkininkavimas (74 %) ir oro bei vandens kokybės gerinimas (70 %), o mažiau pastebimos – apsauga nuo potvynių (45 %) ir maisto saugumas (25 %). Švietimas buvo laikomas svarbiausia gamtos apsaugos priemone (61 %), tuo tarpu finansinės paskatos sulaukė mažesnio palaikymo (25 %). Vyriausybės institucijos buvo laikomos pagrindinėmis atsakingomis šalimis, o ekologinių aktyvistų veikla vertinta nevienareikšmiškai. Tyrimas pabrėžia būtinybę stiprinti visuomenės švietimą, skatinti suinteresuotųjų šalių bendradarbiavimą ir integruoti GGS į politikos strategijas, siekiant veiksmingesnės biologinės įvairovės apsaugos.

Raktiniai žodžiai: biologinės įvairovės nykimas, gamta grįsti sprendimai, visuomenės informuotumas, išsaugojimo strategijos.

Gauta 2025 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2025 m. balandžio mėn.

Dr. Anželika DAUTARTĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Miškų ir ekologijos fakulteto Aplinkos ir ekologijos katedros docentė. Adresas: Studentų g. 11-519, LT-53361 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52224, el. paštas: anzelika.dautarte@vdu.lt

Dr. Anželika DAUTARTĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Forest Sciences and Ecology, Department of Environment and Ecology, assoc. prof. Address: Studentų str. 11-519, LT-53361 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 377 52224, e-mail: anzelika.dautarte@vdu.lt

CO-DESIGNING NATURE-BASED SOLUTIONS: A PARTICIPATORY APPROACH PROMOTING EMPATHY FOR NON-HUMANS IN URBAN ENVIRONMENTS

Indrė Gražulevičiūtė-Vileniškė, Laura Jankauskaitė-Jurevičienė, Jurga Vitkuvienė, Jūratė Kamičaitytė, Diana Žmėjauskaitė

Kaunas University of Technology

The increasing prevalence of human-nature conflicts in urban areas highlights the urgent need for sustainable solutions promoting coexistence of different life forms and habitats. Nature-based solutions offer transformative potential, addressing ecological challenges while promoting social and environmental justice. This study explores the development of participatory approaches to integrate empathy for and needs of non-human species into urban planning and introduces the methodology for co-designing empathetic, sustainable urban solutions that balance the needs of human and non-human users. Participatory workshop conducted during the forum “Youth for a Sustainable Future” focusing on Birštonas Nemunas River embankment was implemented for testing the methodology. The study highlighted the relevance and applicability of participatory and empathy-driven approaches in advancing nature-based solutions. Such methods can bridge the gap between urban development and biodiversity conservation, creating a culture of coexistence and climate resilience.

Keywords: Nature-based solutions, co-creation, co-design, empathy, participatory approach.

Introduction

Rapid urbanization and the continuous transformation of urban landscapes present both opportunities and challenges for sustainable development. In response to growing ecological and social concerns, the urban regeneration is one of the key strategies for improving environmental quality, promoting social justice, and ensuring resilience to climate change (Urban regeneration, 2021). One of the most promising approaches in this context is the implementation of nature-based solutions, which employ natural processes to address societal challenges, while fostering ecological integrity and human well-being (Dumitru and Wendling, 2021). Unlike purely technological interventions, nature-based solutions recognize the complexity and dynamism of socio-ecological systems, advocating for holistic, adaptive, and context-sensitive solutions (Eggermont et al., 2015; Garmestani and Benson, 2013).

At the center of nature-based solutions lies the need for inclusive and participatory co-creation (GreenIn cities, 2025). Given that nature-based solutions seek to balance human and non-human needs in shared environments, their success depends on integrating diverse perspectives, particularly through stakeholder engagement and community participation. Co-creative processes contribute to the relevance and effectiveness of nature-based solutions by incorporating local knowledge, ensuring social acceptance, and fostering collective ownership of urban transformations. Moreover, empathy - the ability to recognize and understand the experiences of others, including other life forms – plays a crucial role in designing equitable urban habitats that support biodiversity and human well-being alike.

The aim of the research – to present developed participatory co-design methodology titled Bio-collaboration workshop aimed at fostering empathy for non-human species in urban environments. The proposed methodology was tested in the participatory workshop conducted during the forum “Youth for a Sustainable Future” focusing on Birštonas Nemunas River embankment.

Participatory planning and co-creation of nature-based solutions

Participatory planning has been increasingly recognized as a fundamental component of sustainable urban development. Since the latter half of the 20th century, the concept of public participation in decision-making, particularly in urban planning, has evolved from passive consultation to active co-creation (Arnstein, 1969; GreenIn cities, 2025). In the context of nature-based solutions, participation is essential, as these interventions seek to balance ecological, social, and economic interests (Dumitru and Wendling, 2021) and rely on inclusive governance structures that integrate diverse stakeholders, ensuring that solutions reflect local needs, environmental conditions, and long-term sustainability goals (Pauleit et al., 2017).

However, conventional participatory processes largely focus on human perspectives, overlooking the agency and well-being of non-human species. Expanding participation beyond human stakeholders requires new methods that foster empathy towards non-human life forms, enabling participants to understand and represent their needs in urban planning. Empathy-driven tasks, such as role-playing exercises in the processes

and “Can coexistence with non-human species contribute to environmental sustainability?” guide the initial dialogue.

Workshop participants then transition to the second step, where they select character cards representing various human and non-human stakeholders present in the urban landscape under consideration. These cards contain information on the chosen species or social group’s ecological role, behaviors, and needs. By engaging with these narratives, participants begin to recognize the diverse perspectives of urban human and non-human inhabitants. Moderators encourage reflection by asking, “Do you understand the needs of the character on your card?” and “What challenges might they face in a changing urban climate?” etc.

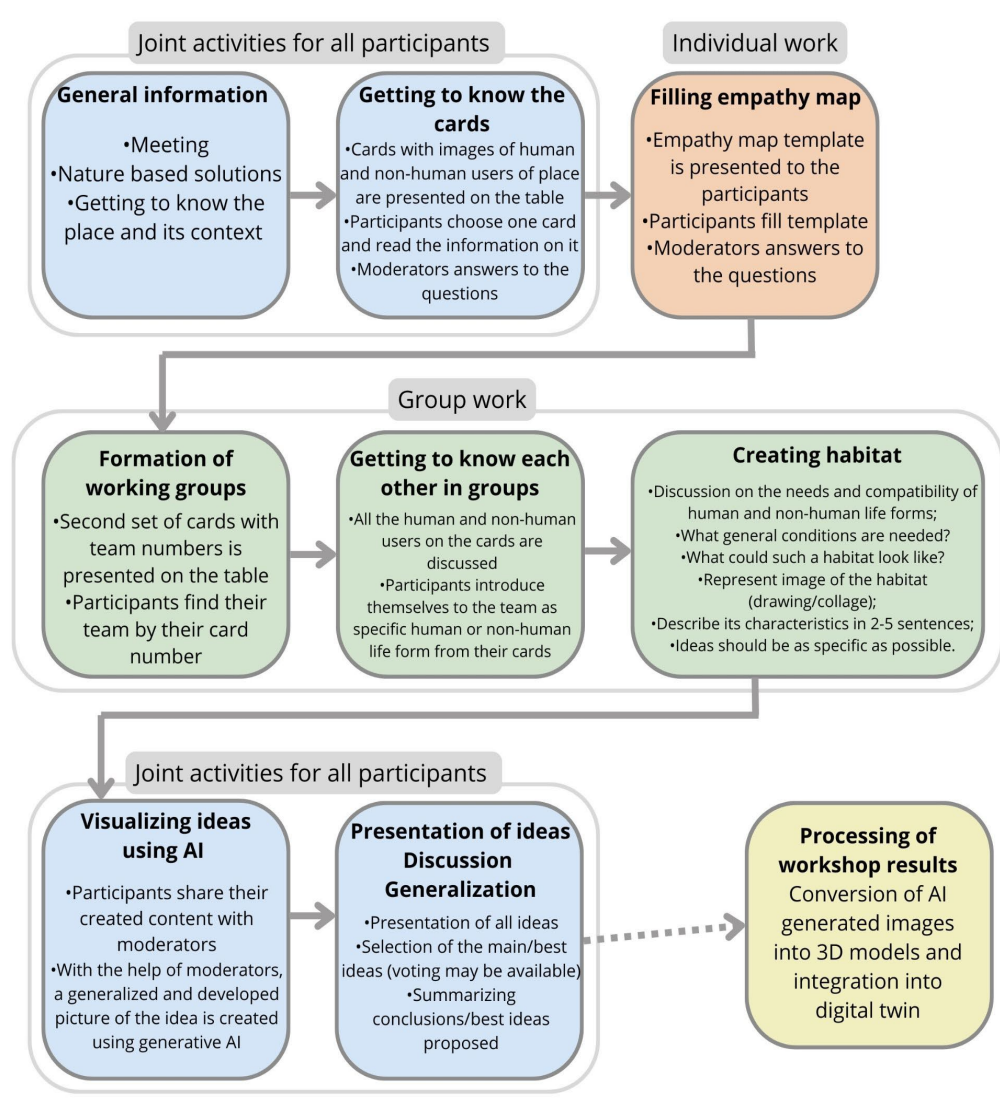


Fig. 2. The sequence of Bio-collaboration workshop
2 pav. Biokolaboracijos kūrybinių dirbtuvių eiga

In the third stage, participants individually complete an empathy mapping exercise to deepen their engagement with their assigned character. This structured reflection helps them articulate the sensory, emotional, and spatial experiences of their character. The process encourages stepping outside the anthropocentric perspective, with moderators posing questions such as “How does your character perceive their surroundings?” and “What environmental factors are critical for their well-being?” This exercise stimulates cognitive and affective empathy, laying the foundation for further meaningful co-creation.

The fourth and fifth steps involve the formation of working groups based on assigned team numbers. Each team consists of diverse human and non-human representatives, ensuring a rich dialogue on the interactions and conflicts within the urban ecosystem. Participants introduce themselves as their character on the previously selected card, prompting discussions about conflicts and coexistence. Moderators guide this exchange of perspectives with questions like, “What conditions are necessary for your character’s survival?” and “How do different species interact within this shared space?”

The sixth step shifts the focus to collaborative habitat design. Each group discusses the compatibility of human and non-human life forms and conceptualizes a habitat that meets their needs. Using hands-on methods

such as sketching and collage-making, teams translate their ideas into tangible spatial solutions. Moderators encourage specificity by asking, “What are the key environmental elements needed in your design?” and “How does this habitat balance human and non-human priorities?” The process fosters innovative thinking while grounding discussions in ecological realities. In this stage of the workshop each working group also describes their ideas in 2 to 5 sentences thus formulating a prompt for further generative AI visualization.

In the seventh step, participants visualize their concepts through generative AI visualizations. They submit their sketches and descriptions to moderators, who facilitate the use of generative AI to create a more defined representation of the proposed habitat. This stage allows participants to see their ideas take shape in a digital format, prompting discussions on potential refinements. Moderators prompt critical thinking with questions such as, “How well does the AI generated image reflect your intentions?” and “What modifications could enhance ecological functionality?”

The eighth stage focuses on the presentation and synthesis of ideas. Each team showcases their habitat design, explaining its features and rationale. A general discussion follows, where participants compare concepts, identify common themes, and refine the strongest proposals. The session concludes with a collective reflection, guided by questions like “What was the most surprising insight from this exercise?” and “How can these ideas be implemented in real urban planning scenarios?”

The outcomes of the workshop are further developed through digital twin technology. The AI generated images and design proposals are transformed into 3D models (with any suitable 3D drawing software, in our case we used SketchUp) and uploaded to the Birštonas city digital twin, allowing for further analysis, discussions and refinement.

This iterative co-design approach not only fosters empathy for non-human stakeholders but also contributes to interdisciplinary collaboration in urban planning. By merging participatory design, AI visualization, and digital twin modeling, the Bio-Collaboration Workshop can bridge the gap between ecological knowledge and technological innovation, creating a more inclusive and adaptive framework for nature-based urban solutions.



Fig. 3. Implementation of Bio-collaboration workshop: a) cards used in empathy task and for forming the working groups and hands-on activities, b) collages and written prompts created by workshop participants, c) AI generated images using prompts written by workshop participants, d) 3D models of co-designed objects created after the workshop, e) co-designed objects integrated into digital twin of Birštonas can be further used for discussions and decision-making

3 pav. Biokolaboracijos kūrybinių dirbtuvių įgyvendinimas: a) kortelės, naudotos empatijos užduotyje, darbo grupėms sudaryti ir kūrybinė veikla dirbtuvių metu, b) dirbtuvių dalyvių sukurti kolažai ir idėjų aprašymai, c) dirbtinio intelekto sugeneruoti vaizdai, naudojant dirbtuvių dalyvių pateiktus idėjų aprašymus, d) po dirbtuvių sukurti objektų 3D modeliai, e) objektai, integruoti į Birštono skaitmeninį dvynį, gali būti toliau naudojami diskusijoms ir sprendimams priimti

The Bio-collaboration methodology was tested during a creative workshop “Fostering Empathy for Animals in the Community in the Face of Climate Change”, conducted during the forum “Youth for a Sustainable Future” which took place at Kaunas University of Technology 29th of November 2024. The empathy and co-design tasks were focused on Nemunas river embankment in Birštonas. 7 participants formed two working groups and engaged in empathy tasks, imagining the experiences of local animals and humans interacting with the embankment space. Using collages and generative AI, participants visualized solutions, which were later refined into 3D models using SketchUp and integrated into a Birštonas city digital twin of the site for further analysis (Fig. 3). The participatory process provided design concepts that accommodated diverse ecological and human needs. Discussions revealed enriched participant understanding of non-human perspectives and the importance of biodiversity in urban planning. Visualizations facilitated stakeholder engagement, demonstrating the value of combining analog and digital design tools.

Conclusions

1. The study demonstrated that participatory and empathy-driven approaches can contribute to the development of nature-based solutions by fostering deeper understanding and representation of non-human needs in urban environments. The Bio-Collaboration Workshop methodology provides a structured framework for integrating diverse perspectives, ensuring that urban planning processes are more inclusive and ecologically conscious.
2. Digital tools applied in the co-creative processes can contribute to the visualization, refinement, and assessment of proposed nature-based solutions. This technological integration enables more informed decision-making while strengthening stakeholder engagement.
3. The findings highlight the importance of broadening participatory planning beyond human-centered perspectives, incorporating empathy-driven methodologies to bridge the gap between biodiversity conservation and urban development. Such approaches promote a culture of coexistence, contributing to more resilient and sustainable urban transformations.

Acknowledgements

This study is a part of the dissemination activities of the research project “Demonstrating Holistic Data-driven Co-Creative Approaches in Nature-Based Solutions towards Climate Adaptation and Mitigation (GreenIn Cities)” (Grant ID Number 101139730), funded under the Horizon Europe call HORIZON-MISS-2023-CLIMA-CITIES-01.

Literatūra

1. Arnstein, Sh., R. (1969). A Ladder of citizen participation. *Journal of the American Planning Association*, 35(4), 216–224.
2. Pauleit, S., Zölch, T., Hansen, R., Randrup, T. B., & Konijnendijk van den Bosch, C. (2017). Nature-based solutions and climate change—four shades of green. *Nature-based solutions to climate change adaptation in urban areas: Linkages between science, policy and practice*, 29–49.
3. Dumitru, A., & Wendling, L. (2021). *Evaluating the impact of nature-based solutions: A handbook for practitioners*. European Commission.
4. Eggermont, H., Balian, E., Azevedo, J. M. N., Beumer, V., Brodin, T., Claudet, J., Fady, B., Grube, M., Keune, H., Lamarque, P., Reuter, K., Smith, M., van Ham, C., Weisser, W. W., & Le Roux, X. (2015). Nature-based solutions: New influence for environmental management and research in Europe. *GALA*, 24(4), 243–248.
5. Garmestani, A. S., & Benson, M. H. (2013). A framework for resilience-based governance of social-ecological systems. *Ecology and Society*, 18(1).
6. *GreenInCities for urban regeneration: participatory and sustainable greening solutions for all*. (2025). <https://www.greenincities.eu/>
7. Pauleit, S., Zölch, T., Hansen, R., Randrup, T. B., & Konijnendijk van den Bosch, C. (2017). Nature-based solutions and climate change—four shades of green. *Nature-based solutions to climate change adaptation in urban areas: Linkages between science, policy and practice*, 29–49.
8. United Nations Programme UN-Habitat. (2021). *Urban regeneration as a tool for inclusive and sustainable recovery. Report of the Expert Group Meeting*. <https://unhabitat.org/urban-regeneration-as-a-tool-for-inclusive-and-sustainable-recovery>

Indrė Gražulevičiūtė-Vileniškė, Laura Jankauskaitė-Jurevičienė, Jurga Vitkuvienė, Jūratė Kamičaitė, Diana Žmėjauskaitė

Gamta pagrįstų sprendimų bendrakūryba: dalyvavimu grindžiamas požiūris, skatinantis empatiją ne žmonėms miesto aplinkoje

Vis dažniau pasitaikantys žmonių ir gamtos konfliktai miestuose rodo, kad reikia skubiai ieškoti tvarių sprendimų, skatinančių įvairių gyvybės formų ir buveinių sambūvį. Gamta grindžiami sprendimai turi transformacinį potencialą, nes padeda spręsti ekologines problemas ir kartu skatina socialinį ir aplinkosauginį teisingumą. Šiame tyrime nagrinėjamos dalyvaujamojo požiūrio grįstos metodikos, skirtos empatijai nežmogiškoms rūšims integruoti į miestų planavimą, kūrimo galimybes ir pristatoma empatiškų, tvarių urbanistinių sprendimų, derinančių žmonių ir nežmogiškų rūšių naudotojų poreikius, bendrakūrybos metodika. Metodikai išbandyti buvo įgyvendintos dalyvaujamosios dirbtuvės, surengtos forumo „Jaunimas už tvarią ateitį“ metu, orientuotos į Birštono Nemuno krantinę. Tyrimas išryškino dalyvavimu ir empatija grindžiamų metodų veiksmingumą projektuojant gamta pagrįstus sprendimus. Tokie metodai gali

sumažinti atotrūkį tarp miestų plėtros ir biologinės įvairovės išsaugojimo, kuriant sambūvio kultūrą ir atsparumą klimato kaitai.

Raktiniai žodžiai: gamta pagrįsti sprendimai, bendra kūryba, bendras projektavimas, empatija, dalyvavimu grindžiamas požiūris.

Gauta 2025 m. vasario mėn., atiduota spaudai 2025 m. balandžio mėn.

Indrė GRAŽULEVIČIŪTĖ-VILENIŠKĖ. Kauno technologijos universiteto Statybos ir architektūros fakulteto docentė. Adresas: Studentų g. 48-427, LT-51367 Kaunas, el. paštas: indre.grazuleviciute@ktu.lt

Indrė GRAŽULEVIČIŪTĖ-VILENIŠKĖ. Kaunas University of Technology Faculty of Civil Engineering and Architecture, associate professor. Address: Studentų str. 48-427, LT-51367 Kaunas, e-mail: indre.grazuleviciute@ktu.lt

Laura JANKAUSKAITĖ-JUREVIČIENĖ. Kauno technologijos universiteto Statybos ir architektūros fakulteto lektorė. Adresas: Studentų g. 48-427, LT-51367 Kaunas, el. paštas: laura.jankauskaite-jureviciene@ktu.lt

Laura JANKAUSKAITĖ-JUREVIČIENĖ. Kaunas University of Technology Faculty of Civil Engineering and Architecture, lecturer. Address: Studentų str. 48-427, LT-51367 Kaunas, e-mail: laura.jankauskaite-jureviciene@ktu.lt

Jurga VITKUVIENĖ. Kauno technologijos universiteto Statybos ir architektūros fakulteto lektorė. Adresas: Studentų g. 48-427, LT-51367 Kaunas, el. paštas: jurga.vitkuviene@ktu.lt

Jurga VITKUVIENĖ. Kaunas University of Technology Faculty of Civil Engineering and Architecture, lecturer. Address: Studentų g. 48-427, LT-51367 Kaunas, e-mail: jurga.vitkuviene@ktu.lt

Jūratė KAMIČAITYTĖ. Kauno technologijos universiteto Statybos ir architektūros fakulteto profesorė. Adresas: Studentų g. 48-427, LT-51367 Kaunas, el. paštas: jurate.kamicaityte@ktu.lt

Jūratė KAMIČAITYTĖ. Kaunas University of Technology Faculty of Civil Engineering and Architecture, professor. Address: Studentų str. 48-427, LT-51367 Kaunas, e-mail: jurate.kamicaityte@ktu.lt

Diana ŽMĖJAUSKAITĖ. Kauno technologijos universiteto Statybos ir architektūros fakulteto lektorė. Adresas: Studentų g. 48-427, LT-51367 Kaunas, el. paštas: diana.zmejauskaite@ktu.lt

Diana ŽMĖJAUSKAITĖ. Kaunas University of Technology Faculty of Civil Engineering and Architecture, lecturer. Address: Studentų str. 48-427, LT-51367 Kaunas, e-mail: diana.zmejauskaite@ktu.lt

MOLĖTŲ RAJONO MAUDYKLŲ VANDENS KOKYBĖS RODIKLIŲ VERČIŲ DINAMIKA 2021–2024 M.

Arnoldas Sadkevičius^{1,2}, Laima Česonienė¹, Viktorija Ivickytė²

¹Vytauto Didžiojo universitetas, ²Aplinkos apsaugos departamentas prie Aplinkos ministerijos

Šiame tyrime įvertinta Molėtų rajono maudyklų vandens kokybė 2021–2024 metais, remiantis mikrobiologiniais ir fizikiniais-cheminiais rodikliais. Pagrindinis dėmesys skiriamas žarninių enterokokų (*Intestinal enterococci*) ir žarninių lazdelių (*Escherichia coli*) koncentracijoms, kurios rodo fekalinę taršą. Šių mikroorganizmų kiekio svyravimas atspindi aplinkos sąlygų bei žmonių veiklos poveikį paviršiniams vandens telkiniams. Šio tyrimo rezultatai pabrėžia poreikį tęsti nuoseklų vandens kokybės monitoringą ir diegti efektyvias taršos prevencijos priemones, siekiant gerinti maudyklų vandens kokybę Molėtų rajone.

Raktiniai žodžiai: tarša, maudyklos, paviršinis vanduo.

Įvadas

Maudyklų vandens kokybės užtikrinimas yra svarbus tiek visuomenės sveikatai, tiek vandens ekosistemų apsaugai. Dėl mikrobiologinės taršos rizikos kasmet atliekami vandens kokybės tyrimai, siekiant užtikrinti saugias maudymosi sąlygas ir laikytis Europos Sąjungos bei Lietuvos teisės aktų reikalavimų. Maudyklų vanduo yra aplinkos elementas ir jo kokybė tiesiogiai priklauso nuo šios aplinkos būklės. Vanduo yra ribotas gamtos išteklis ir būtina jį tinkamai apsaugoti. Europos bendrijos politika savo teisės aktais siekia nuolat gerinti aplinkos, įskaitant vandenį, būklę. Nacionaliniais teisės aktais siekiama apsaugoti aplinką ir visuomenės sveikatą mažinant maudyklų vandens taršą ir apsaugant ją nuo tolesnės taršos, įgyvendinant Bendrijos įsipareigojimą užtikrinti aukštą maudyklų vandens apsaugos lygį (European..., 2020).

Šio darbo tikslas – išanalizuoti Molėtų rajono maudyklų vandens kokybės pokyčius ketverių metų laikotarpiu (2021–2024 m.), siekiant nustatyti ilgalaikes tendencijas. Tyrimo metu buvo nagrinėjami pagrindiniai mikrobiologiniai vandens kokybės rodikliai, kurie gali turėti tiesioginį poveikį žmonių sveikatai ir aplinkos būklei. Analizuojant šiuos duomenis siekta ne tik įvertinti, ar vandens kokybė atitinka nustatytus standartus, bet ir suprasti, kaip ji kito per tam tikrą laikotarpį bei kokie veiksniai galėjo lemti stebimus pokyčius.

Ketverių metų laikotarpis leidžia išsamiai stebėti ir analizuoti vandens kokybės pokyčius, atsižvelgiant į sezoniskumo įtaką, kurią gali sukelti, pavyzdžiui, temperatūros svyravimai, kritulių kiekis ir natūralūs gamtiniai procesai. Taip pat šis laikotarpis suteikia galimybę identifikuoti ilgalaikius aplinkos pokyčius, tokius kaip klimato kaitos poveikis, urbanizacija ir kraštovaizdžio pokyčiai, kurie gali turėti reikšmingos įtakos maudyklų vandens būklei. Be to, analizuojant surinktus duomenis, galima nustatyti galimus taršos šaltinius, pavyzdžiui, pramonės veiklą, žemės ūkio praktikas ar miestų nuotekų sistemų trūkumus, taip pat kitus veiksnius, tokius kaip žmonių veikla, kurie gali neigiamai paveikti vandens kokybę ir kelti grėsmę maudyklų saugumui bei ekosistemoms.

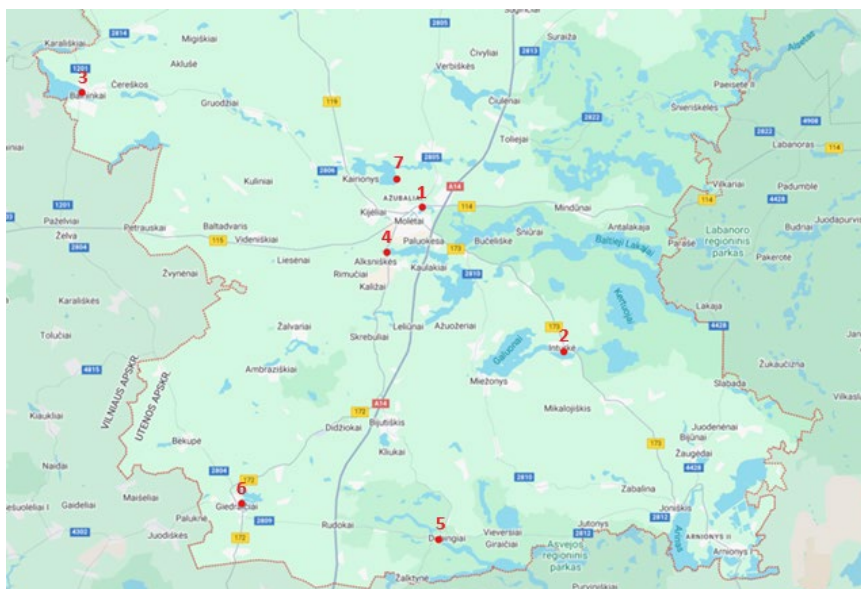
Tyrimų metodika

Paviršinių mėginių ėmimas. Molėtų rajono savivaldybės teritorijoje paviršinių vandens telkinių kokybės tyrimų vietos pateikiamos žemėlapyje (1 pav.).

Matavimo vietos Molėtų rajono savivaldybėje parinktos skirtingose vietovėse siekiant, kad rezultatai kuo objektyviau reprezentuotų gyvenviečių taršą, apibūdintų užterštumo lygį gyvenamuosiuose rajonuose, rekreacinėse zonose. 2021–2024 metų laikotarpiu buvo analizuojamos 7 Molėtų rajono maudyklos: 1 – Pastovio ežeras; 2 – Galuonų ežeras; 3 – Alaušų ežeras; 4 – Luokesos ežeras; 5 – Asvejos ežeras; 6 – Kiemento ežeras; 7 – Dūrių ežeras.

Mėginių paėmimo metodika. Mikrobiologinis maudyklų būklės įvertinimas vykdomas pagal Lietuvos higienos normos HN-92:2018 „Papildiniai ir jų maudyklų vandens kokybė“ (toliau – higienos norma) reikalavimus (Lietuvos..., 2007b).

Vadovaujantis higienos norma, mikrobiologinė maudyklų vandens kokybė priklauso nuo žarninių enterokokų bei žarninių lazdelių kiekio. Higienos normoje nurodytos žarninių enterokokų kolonijas sudarančių vienetų skaičius 100 ml, ne daugiau kaip 100, ir žarninių lazdelių kolonijas sudarančių vienetų skaičius 100 ml, ne daugiau kaip 1000.



1 pav. Molėtų rajono maudyklų mėginių paėmimo taškai

Fig. 1. Sampling points of swimming sides in Molėtai district

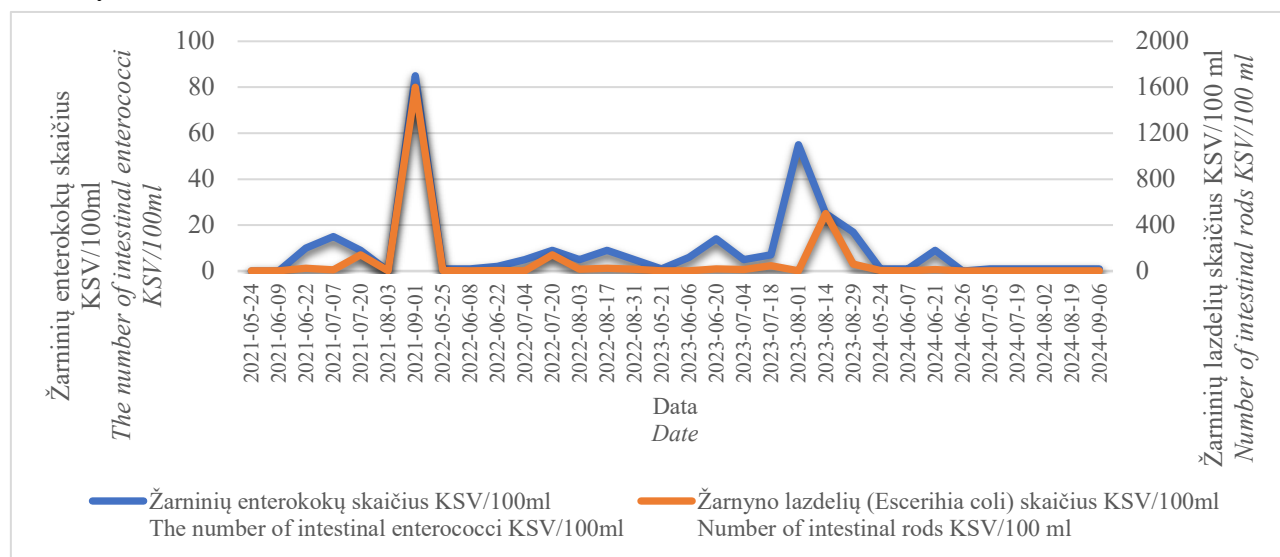
Vandens mėginiai imti kas dvi savaites kiekvieną maudymosi sezoną, kuris Lietuvoje prasideda birželio 1 d. ir tęsiasi iki rugsėjo 15 d. Remiantis gautais rezultatais maudyklų vandens kokybė klasifikuojama kaip puiki, gera, patenkinama ir prasta (Lietuvos..., 2007b).

Rezultatai ir aptarimas

Maudyklų vandens kokybė vertinama vadovaujantis higienos norma kiekviename paplūdimyje pasibaigus maudymosi sezonui ir remiantis maudyklų vandens kokybės duomenimis, surinktais per einamąjį ir tris ankstesnius maudymosi sezonus.

Maudyklų vandens kokybės vertinimas atliekamas remiantis dviejų mikrobiologinių parametru žarninių enterokokų ir žarninių lazdelių duomenų rinkiniu, kurį sudaro stebėsenos duomenys. Higienos normoje pabrėžiama, kad maudyklų vandens kokybės duomenų rinkinį turi sudaryti ne mažiau kaip 16 vandens mėginių (Lietuvos..., 2007b).

2 paveiksle pavaizduotame grafike matyti, kaip per ketverius metus kito Pastovio ežero mikrobiologinių rodiklių vertės.



2 pav. Mikrobiologinių vandens kokybės rodiklių verčių kitimas Pastovio ežere 4 metų laikotarpiu

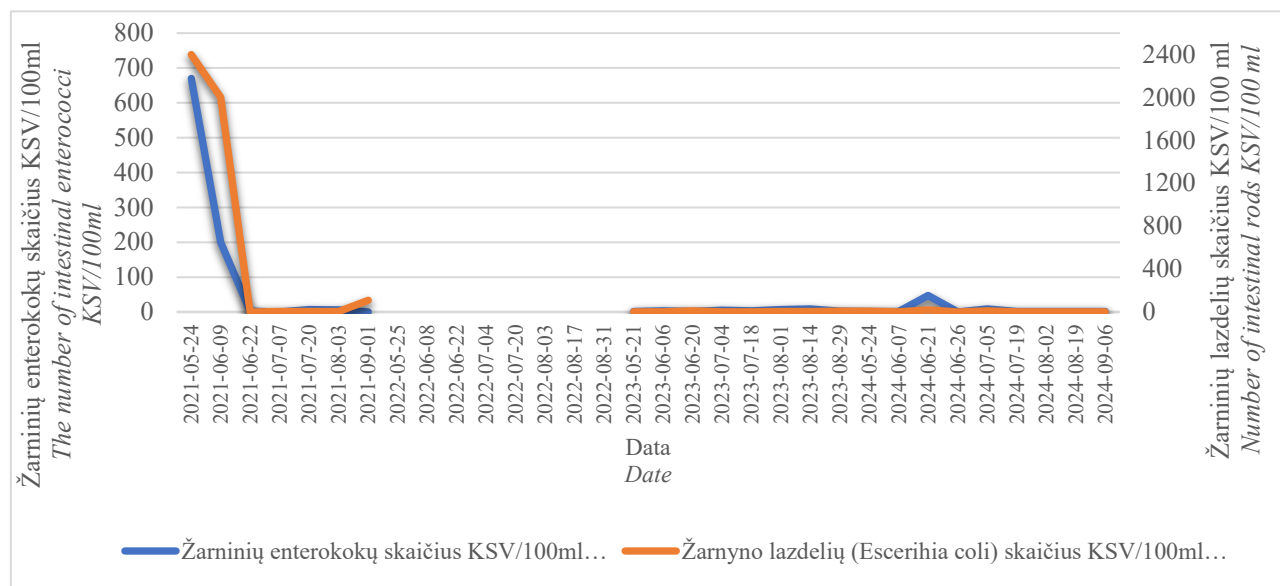
Fig. 2. Changes in microbiological water quality indicators in Lake Pastovis over a 4-year period

Didžiausia žarninių enterokokų koncentracija nustatyta 2021 09 01 – 85 KSV/100 ml ir 2023 08 01 – 55 KSV/100 ml. Tačiau ribinė vertė – 100 KSV/100 ml nė karto nebuvo viršyta. Didžiausia žarninių lazdelių

vertė nustatyta 2021 09 01 – 1 600 KSV/100 ml (ribinė vertė – 1 000 KSV/100 ml viršyta, buvo draudžiama maudytis) ir 2023 08 14 – 500 KSV/100 ml – ribinė vertė neviršyta.

Įvertinus įprastos tikimybės tankio funkcijos log10 procentilių vertinimą nustatyta, kad žarninių enterokokų, remiantis 95 procentilio vertinimu, skaičius yra 33 KSV/100 ml bei žarninių lazdelių 186 KSV/100 ml, kas vadovaujantis higienos normoje pateiktomis vertėmis rodo, kad Pastovio ežero maudyklos būklė yra puiki.

3 paveikslėlyje pavaizduota, kaip per ketverius metus kito Galuonų ežero mikrobiologinių rodiklių vertės.



3 pav. Mikrobiologinių vandens kokybės rodiklių verčių kitimas Galuonų ežere 4 metų laikotarpiu

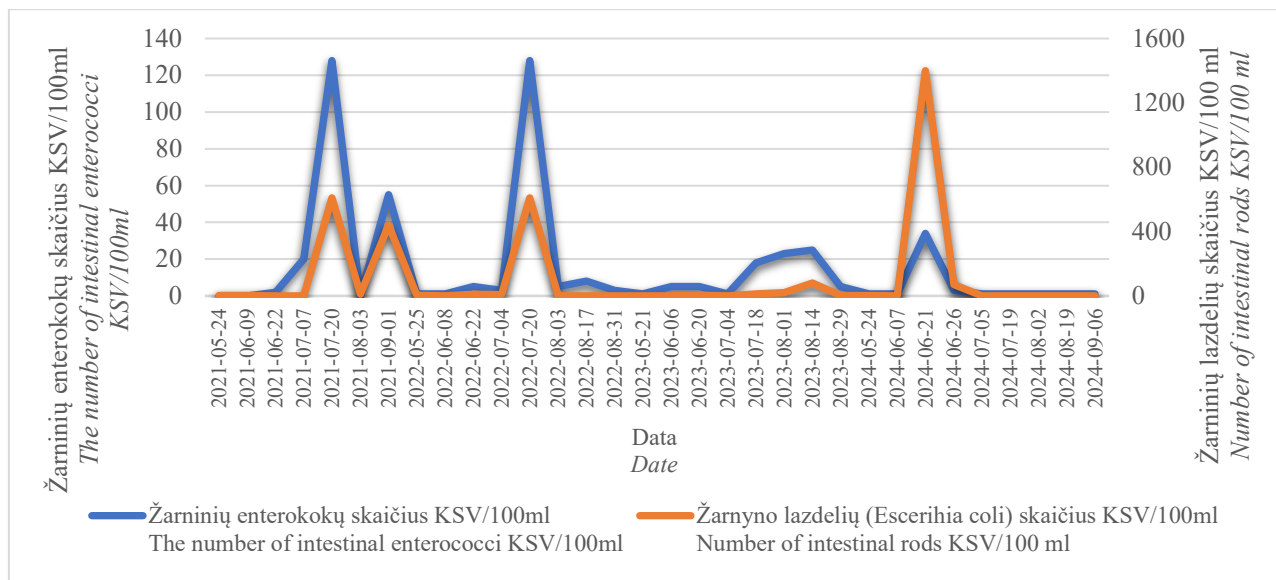
Fig. 3. Changes in microbiological water quality indicators in Lake Galuonai over a 4-year period

Didžiausia žarninių enterokokų koncentracija nustatyta 2021 05 24 – 670 KSV/100 ml; 2021 09 01 – 110 KSV/100 ml ir 2021 06 09 – 200 KSV/100 ml. Ribinė vertė – 100 KSV/100 ml viršyta tomis dienomis, toliau viršyta nebuvo. Didžiausia žarninių lazdelių vertė nustatyta 2021 05 24 – 2 500 KSV/100 ml ir 2021 06 09 – 2 000 KSV/100 ml (ribinė vertė viršyta, buvo draudžiama maudytis).

Įvertinus įprastos tikimybės tankio funkcijos log10 procentilių vertinimą nustatyta, kad žarninių enterokokų, remiantis 95 procentilio vertinimu, skaičius yra 63 KSV/100 ml bei žarninių lazdelių 184 KSV/100 ml, kas vadovaujantis higienos normoje pateiktomis vertėmis rodo, kad šios maudyklos būklė yra puiki.

4 pav. grafike pavaizduota, kaip per ketverius metus kito Alaušų ežero mikrobiologinių rodiklių vertės.

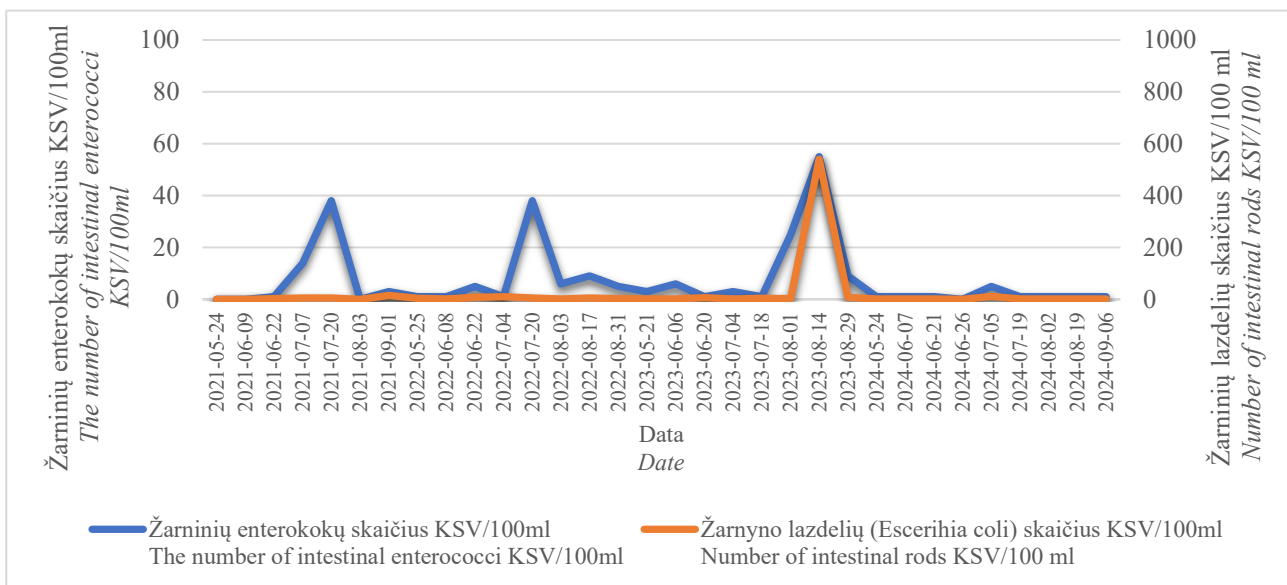
Didžiausia žarninių enterokokų koncentracija nustatyta 2021 07 20 ir 2022 07 20 – 128 KSV/100 ml. Ribinė vertė – 100 KSV/100 ml viršyta tomis dienomis, toliau viršyta nebuvo. Didžiausia žarninių lazdelių vertė nustatyta 2024 06 21 – 1 400 KSV/100 ml (ribinė vertė viršyta, buvo draudžiama maudytis).



4 pav. Mikrobiologinių vandens kokybės rodiklių verčių kitimas Alaušų ežere 4 metų laikotarpiu

Fig. 4. Changes in microbiological water quality indicators in Lake Alausai over a 4-year period

Įvertinus įprastos tikimybės tankio funkcijos log10 procentilių vertinimą nustatyta, kad žarninių enterokokų, remiantis 95 procentilio vertinimu, skaičius yra 48 KSV/100 ml, o žarninių lazdelių – 207 KSV/100 ml, kas vadovaujantis higienos normoje pateiktomis vertėmis rodo, kad maudyklos būklė yra puiki.



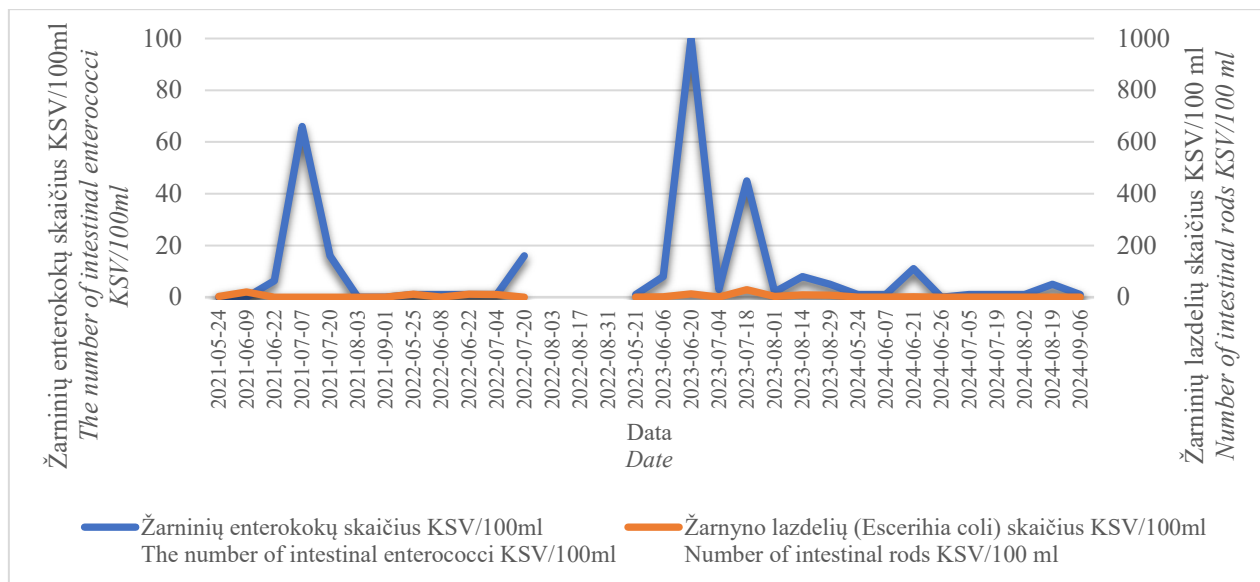
5 pav. Mikrobiologinių vandens kokybės rodiklių verčių kitimas Luokesos ežere 4 metų laikotarpiu

Fig. 5. Changes in microbiological water quality indicators in lake Luokesa over a 4-year period

Iš 5 paveikslėlyje pavaizduotų Luokesos ežero mikrobiologinių rodiklių verčių matome, kad didžiausia žarninių enterokokų koncentracija nustatyta 2023 08 14 – 55 KSV/100 ml. Ribinė vertė – 100 KSV/100 ml nė karto nebuvo viršyta. Didžiausia žarninių lazdelių vertė nustatyta taip pat 2024 08 14 – 540 KSV/100 ml, ribinė vertė – 1 000 KSV/100 ml nė karto nebuvo viršyta.

Įvertinus įprastos tikimybės tankio funkcijos log10 procentilių vertinimą nustatyta, kad žarninių enterokokų, remiantis 95 procentilio vertinimu, skaičius yra 24 KSV/100 ml, o žarninių lazdelių – 24 KSV/100 ml, kas vadovaujantis higienos normoje pateiktomis vertėmis rodo, kad šios maudyklos būklė yra puiki.

6 paveikslėlyje pavaizduota, kaip per ketverius metus kito Asvejos ežero mikrobiologinių rodiklių vertės.

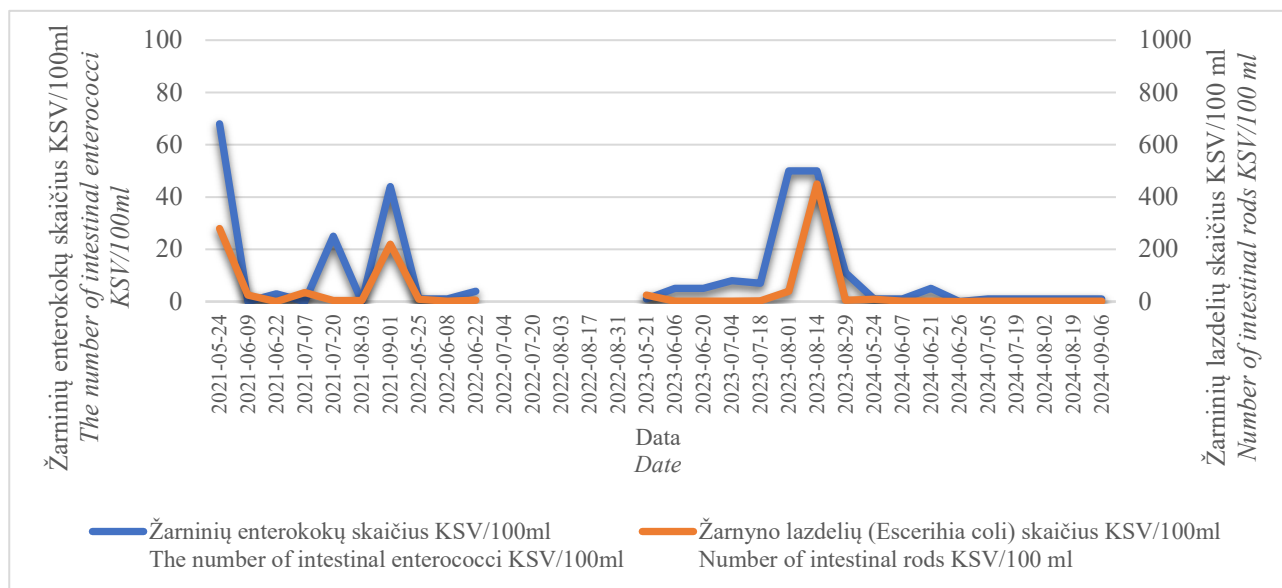


6 pav. Mikrobiologinių vandens kokybės rodiklių verčių kitimas Asvejos ežere 4 metų laikotarpiu

Fig. 6. Changes in microbiological water quality indicators in Lake Asveja over a 4-year period

Didžiausia žarninių enterokokų koncentracija nustatyta 2023 06 20 – 100 KSV/100 ml. Ribinė vertė nebuvo viršyta. Didžiausia žarninių lazdelių vertė nustatyta 2023 07 18 – 29 KSV/100 ml (ribinė vertė neviršyta).

Įvertinus įprastos tikimybės tankio funkcijos log10 procentilių vertinimą nustatyta, kad žarninių enterokokų, remiantis 95 procentilio vertinimu, skaičius yra 31 KSV/100 ml, o žarninių lazdelių – 15 KSV/100 ml, kas vadovaujantis higienos normoje pateiktomis vertėmis rodo, kad šios maudyklos būklė yra puiki.



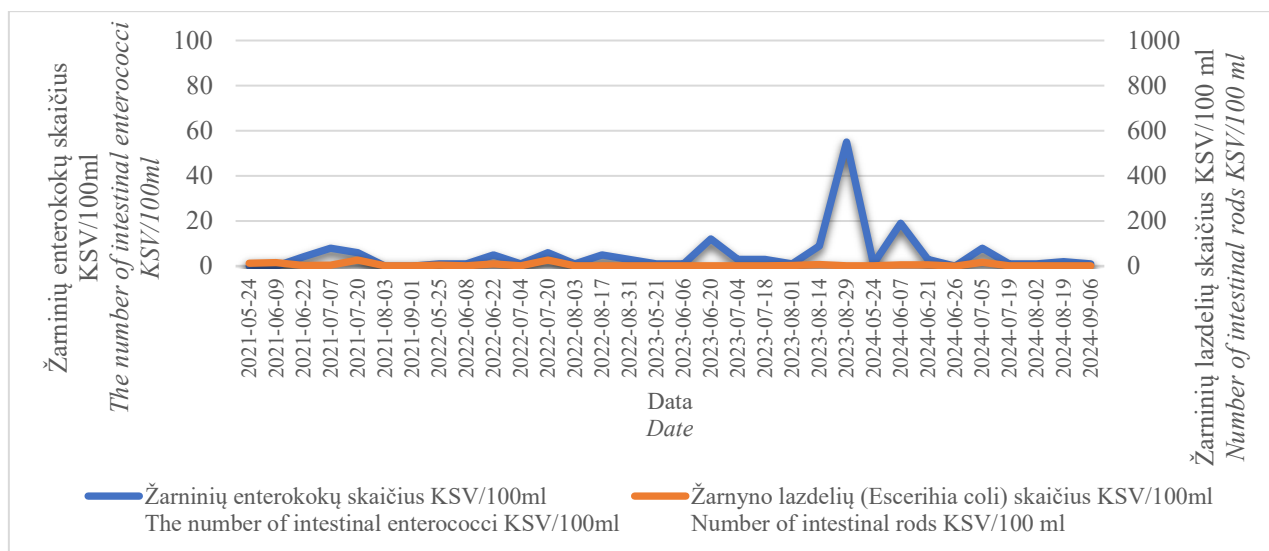
7 pav. Mikrobiologinių vandens kokybės rodiklių verčių kitimas Kiemento ežere 4 metų laikotarpiu

Fig. 7. Changes in microbiological water quality indicators in Lake Kiemantas over a 4-year period

Iš 7 pav. grafike pavaizduotų Kiemento ežero mikrobiologinių rodiklių verčių matome, kad didžiausia žarninių enterokokų koncentracija nustatyta 2021 05 24 – 68 KSV/100 ml. Ribinė vertė nė karto nebuvo viršyta. Didžiausia žarninių lazdelių vertė nustatyta taip pat 2023 08 14 – 450 KSV/100 ml, ribinė vertė – 1000 KSV/100 ml nė karto nebuvo viršyta.

Įvertinus įprastos tikimybės tankio funkcijos log10 procentilių vertinimą nustatyta, kad žarninių enterokokų, remiantis 95 procentilio vertinimu, skaičius yra 42 KSV/100ml o žarninių lazdelių 104 KSV/100ml, kas vadovaujantis Higienos normoje pateiktomis vertėmis nurodo, kad maudyklos būklė yra puiki.

8 paveiksle pavaizduota, kaip per ketverius metus kito Dūrių ežero mikrobiologinių rodiklių vertės.



8 pav. Mikrobiologinių vandens kokybės rodiklių verčių kitimas Dūrių ežere 4 metų laikotarpiu

Fig. 8. Changes in microbiological water quality indicators in Lake Duriai over a 4-year period

Didžiausia žarninių enterokokų koncentracija nustatyta 2023 08 29 – 55 KSV/100 ml ir 2024 06 07 – 19 KSV/100 ml. Ribinė vertė – 100 KSV/100 ml viršyta nebuvo. Didžiausia žarninių lazdelių vertė nustatyta 2021 07 20 ir 2022 07 20 – 27 KSV/100 ml (ribinė vertė neviršyta).

Įvertinus įprastos tikimybės tankio funkcijos log10 procentilių vertinimą nustatyta, kad žarninių enterokokų, remiantis 95 procentilio vertinimu, skaičius yra 15 KSV/100 ml, o žarninių lazdelių – 16 KSV/100 ml, kas vadovaujantis higienos normoje pateiktomis vertėmis rodo, kad šios maudyklos būklė yra puiki.

Išvados

1. Vadovaujantis mikrobiologinio tyrimo rezultatais matyti, kad visi 7 tirti ežerai yra puikios mikrobiologinės būklės.
2. Žarninių enterokokų ribinė vertė – 100 KSV/100 ml viršyta, maudytis buvo draudžiama Galuonų ežere 2021 05 24 – 680 KSV/100 ml; 2021 09 01 – 110 KSV/100 ml ir 2021 06 09 – 200 KSV/100 ml; Alaušų ežere – 2021 07 20 ir 2022 07 20 – 128 KSV/100 ml.
3. Žarninių lazdelių ribinė vertė – 1 000 KSV/100 ml viršyta Pastovio ežere 2021 09 11 – 1600 KSV/100 ml; Galuonų ežere 2021 05 24 – 2 500 KSV/100 ml ir 2021 06 09 – 2 000 KSV/100 ml; Alaušų ežere – 2024 06 21 – 1 400 KSV/100 ml.

Literatūra

1. Česononienė, L. (2020). *Molėtų rajono savivaldybės aplinkos monitoringo 2021–2026 metų programa*.
2. European Environment Agency. (2020). *Vandens ir jūros aplinka*. <https://www.eea.europa.eu/lt/themes/water/intro>
3. Lietuvos Respublikos aplinkos ministras. (2003). Įsakymas dėl bendrųjų reikalavimų vandens telkinių monitoringui patvirtinimo. *TAR*, 2003-12-31, Nr. 726.
4. Lietuvos Respublikos aplinkos ministras. (2007). Įsakymas dėl paviršinių vandens telkinių būklės nustatymo metodikos patvirtinimo. *TAR*, 2007-04-12, Nr. D1-210.
5. Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministras. (2007). Įsakymas dėl Lietuvos higienos normos HN 92:2018 „Paplūdimiai ir jų maudyklų vandens kokybė“ patvirtinimo. *TAR*, 2007-12-21, Nr. V-1055. <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.311976/asr>

Arnoldas Sadkevičius, Laima Česonienė, Viktorija Ivickytė

Dynamics of Water Quality Values in Molėtai District Bathing Areas 2021–2024

This study assessed the water quality of bathing waters in the Molėtai district in 2021–2024, based on microbiological indicators. The focus is on the concentrations of intestinal enterococci and intestinal sticks (*Escherichia coli*), which indicate fecal pollution. Fluctuations in the amount of these microorganisms reflect the impact of environmental conditions and human activity on surface water bodies. The results of this study emphasize the need to continue consistent

water quality monitoring and implement effective pollution prevention measures to improve the quality of bathing water in the Molėtai district.

Keywords: Pollution, bathing waters, surface water.

Gauta 2025 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2025 m. balandžio mėn.

Arnoldas Sadkevičius. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Miškų ir ekologijos fakulteto studentas. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r., tel. +370 677 78792, el. paštas: arnoldas.sadkevicius@vdu.lt
Arnoldas SADKEVIČIUS. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Forest Sciences and Ecology, assoc. prof. Address: Studentų str. 11, LT-53361 Akademija, Kaunas dist. Phone: +37067778792, e-mail: arnoldas.sadkevicius@vdu.lt

Laima ČESONIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Miškų ir ekologijos fakulteto Aplinkos ir ekologijos katedros vedėja, prof. dr. Adresas: Studentų g. 11-518, LT-53361 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52224, el. paštas: laima.cesonienel@vdu.lt

Laima ČESONIENĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Forest Sciences and Ecology, Department of Environment and Ecology, prof. dr. Address: Studentų str. 11-518, LT-53361 Academy, Kaunas dist. Phone: +370 377 52224, e-mail: laima.cesonienel@vdu.lt

TARŠOS NAFTOS PRODUKTAIS STABDYMO TECHNINIŲ PRIEMONIŲ EFEKTYVUMO VERTINIMAS

Jurgita Sadauskaitė, Laima Česonienė, Midona Dapkienė

Vytauto Didžiojo universitetas

Analizuojama istorinės taršos naftos produktais išsiliejimo į Nemuno upę ties Juozapavičiaus pr. 120, Kaune, problematika. Darbo tikslas – įvertinti taršos stabdymo techninių priemonių, užtikrinančių naftos produktų nepatekimą į Nemuno upę, efektyvumą. Žinant įrengtų taršos stabdymo techninių priemonių efektyvumą Nemuno upėje paviršinis vanduo buvo vertinamas pagal cheminius rodiklius. Nemuno upės paviršinio vandens mėginiai buvo imami dviejose vietose (aukščiau ir ties įrengtomis taršos stabdymo techninėmis priemonėmis) vieną kartą per mėnesį. Buvo tiriamos naftos angliavandenilių C10-C40 indekso koncentracijos, kurios buvo lyginamos su Nemuno upės paviršinio vandens naftos angliavandenilių C10-C40 indekso koncentracijomis prieš įrengiant taršos stabdymo technines priemones. Nustatyta, kad naftos angliavandenilių C10-C40 indekso koncentracijos ties įrengtomis taršos stabdymo techninėmis priemonėmis neviršijo nustatytų ribinių verčių ir buvo ženkliai mažesnės, lyginant su paviršinio vandens tyrimų rezultatais iki įdiegiant taršos naftos produktais stabdymo priemones. Atliktų tyrimų rezultatai rodo, kad įrengtos taršos stabdymo techninės priemonės užtikrina laisvųjų naftos produktų sulaikymą į Nemuno upę.

Raktiniai žodžiai: tarša, naftos produktai, Nemuno upė.

Įvadas

Pastaraisiais dešimtmečiais mūsų aplinką neigiamai veikia klimato pokyčiai. Žmogaus ūkinė veikla didina šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) koncentraciją atmosferoje, kuomet deginamas iškastinis kuras, pramonės ir žemės ūkio gamybos procesų metu netinkamai tvarkomos veikloje susidariusios atliekos, nuotekos ir lemia oro temperatūros didėjimą visame pasaulyje. Taip pat dėl netinkamos ūkinės veiklos atsiranda vis daugiau teritorijų, kurių gruntas, požeminiai ir paviršiniai vandenys yra užteršti. Šiuo metu klimato kaita yra viena svarbiausių aplinkosaugos problemų visame pasaulyje.

Lietuvoje yra daugiau kaip 12 tūkstančių vietų, kuriose žemė ir požeminis vanduo gali būti užteršti naftos produktais, sunkiaisiais metalais, pesticidais ar kitais teršalais. Apie 40 proc., arba apie 5 000, tokių potencialių taršos židinių yra vietos, užterštos naftos produktais. Dažniausiai tai istorinė tarša, tačiau pasitaiko, kad nesilaikant aplinkosaugos reikalavimų teršiamos naujos teritorijos (Rubežius, 2021).

1862–1989 m. Kaune veikė geležinkelio pabėgių gaminių įmonė. Joje pabėgiai buvo mirkomi skalūnų alyvoje, kuri sandėliuota požeminiuose rezervuaruose. Teritorija buvo nuolat teršiama skalūnų alyva ir kitais naftos produktais, kurie su gruntiniu vandeniu patekdavo į žemiau esantį Nemuną.

Geležinkelio pabėgiai yra vieni iš svarbiausių atraminių geležinkelio linijos elementų (Brózdą, Selejdak, 2015). Mediniai geležinkelių pabėgiai prieš naudojimą impregnuojami, norint apsaugoti juos nuo drėgmės ir biologinės korozijos, suteikti ilgaamžiškumo (Vilniškis, Vaiškūnaitė, 2017). Impregnavimui dažniausiai naudojama cheminė medžiaga kreozotas – skystis, gaunamas naftos arba skalūnų alyvos distiliacijos proceso metu (Kohler, Künniger 2003; Moret et al., 2007). Didžiąją kreozoto dalį sudaro policikliniai aromatiniai angliavandeniliai (PAA) – 80–90 %, 5–12 % fenoliai, 10–20 % heterocikliniai aromatiniai junginiai, kurie yra dideli kancerogenai (Kukulska-Zajack et al., 2014; Ghaly et al., 2012; Lehto et al., 2000). Panaudotų medinių geležinkelio pabėgių atliekų tvarkymas kelia nemažai aplinkosaugos problemų. Naftos produktai – viena iš labiausiai paplitusių ir pavojingų aplinką teršiančių medžiagų. Jie paviršinėse nuotekose gali būti ištirpę, chemiškai stabilios emulsijos, laisvieji naftos produktai (LNP), kurių dalelių dydis yra daugiau negu 150 µm (Alther, 2008). Naftos produktams surinkti gali būti naudojamos įvairios technologijos, pradedant nuo paprastų rankinio nugriebimo ir pasyvių surinkimo sistemų iki sudėtingesnių aktyvių surinkimo ir didelio masto regeneravimo sistemų. Taikomų metodų tikslas – kiek įmanoma pašalinti LNP, užkirsti kelią jų migracijai. Labai efektyvus naftos produktų iš paviršinių nuotekų šalinimo būdas yra filtravimas pro sorbuojančiosios medžiagos sluoksnį (Wu et al., 2009). Naudojami įvairūs gamtiniai sorbentai: medienos pjuvenos, kokosų lukštai, nendrės, medvilnės pluoštas (Baltrėnas et al., 2007), taip pat organiniai sintetiniai pluoštiniai sorbentai (pvz., polipropileno pagrindo sorbentai), kurie yra hidrofobiški, nedidelio tankio, turi didelę sorbcinę gebą (Zhu et al., 2011). Greitai pašalinti išsiliejusią naftą ir ištirpusius angliavandenilius taikomi superhidrofobiniai medvilnės filtrai kaip alternatyva nanomedžiagomis apdorotiems ar plastikiniams sorbentams, kurie paprastai naudojami naftos remediacijos procesuose (Gkogkou et al., 2021). Valant užterštą naftos produktais vietovę gali būti naudojami inovatyvūs biobarjerai (Hsia et al., 2021).

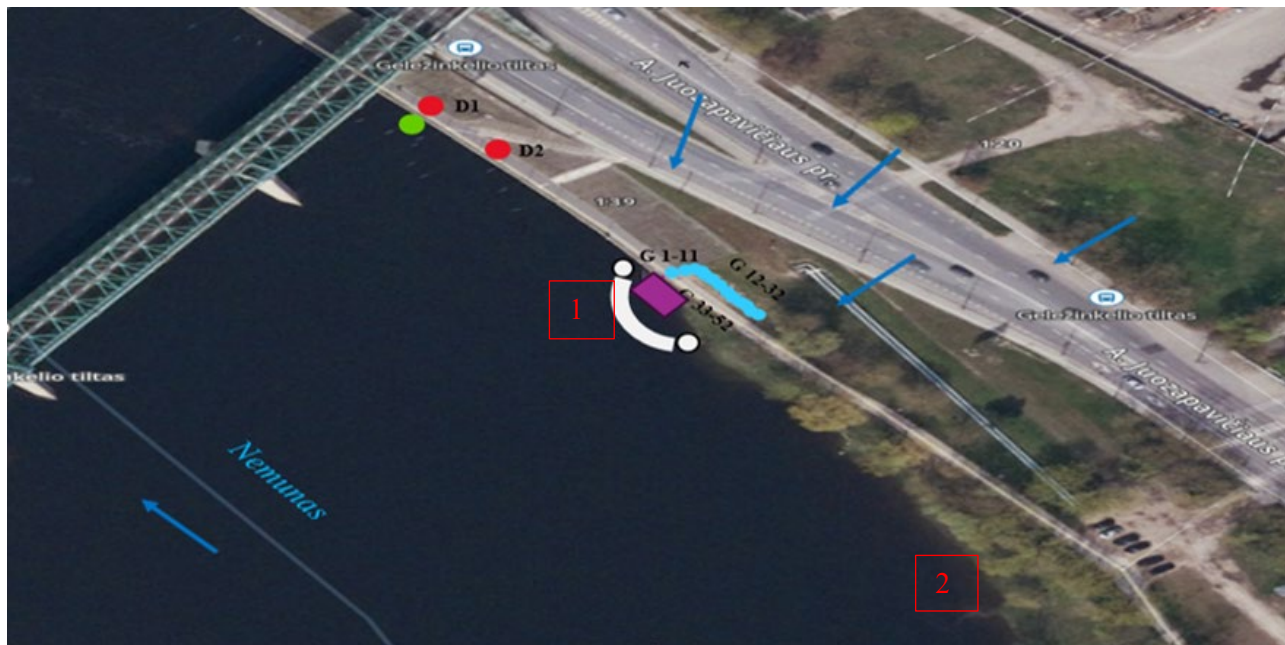
Tyrimo tikslas – įvertinti taršos stabdymo priemonių, užtikrinančių taršos naftos produktais nepatekimą į Nemuno upę, efektyvumą.

Tyrimų metodika

Geležinkelio pabėgių gaminimo įmonės, veikusios iki 1989 m., užteršta teritorija yra centrinėje Kauno m. dalyje, A. Juozapavičiaus pr. 120, 118 ir Nemuno pakrantėje. Pagrindinė taršos priežastis nagrinėjamoje teritorijoje yra užteršto gruntinio vandeningo sluoksnio paviršiuje besikaupiantys ir kartu su gruntiniu vandeniu į Nemuną išplaunami naftos produktai. Todėl įrengtos laikinos priemonės, stabdančios besikartojančią tiesioginę Nemuno taršą naftos produktais. Įrengta keturių lygių Nemuno upės apsaugos nuo teršalų (naftos produktų) sistema (Taršos..., 2020):

1. Esamos drenažo sistemos nuolatinė priežiūra ir eksploatavimas (D1 ir D2 šuliniai).
2. Filtracinių-sorbuojančių gręžinių zonos įrengimas ir eksploatavimas.
3. Teršalų išsiveržimo zonoje sorbuojančio kilimėlio įrengimas, nuolatinė priežiūra ir eksploatavimas.
4. Sorbuojančios bonos įrengimas Nemuno upėje ties teršalų išsiveržimo zona, nuolatinė priežiūra ir eksploatavimas.

Nemuno upės apsaugos nuo teršalų surinkimo sistema pateikta 1 paveiksle.



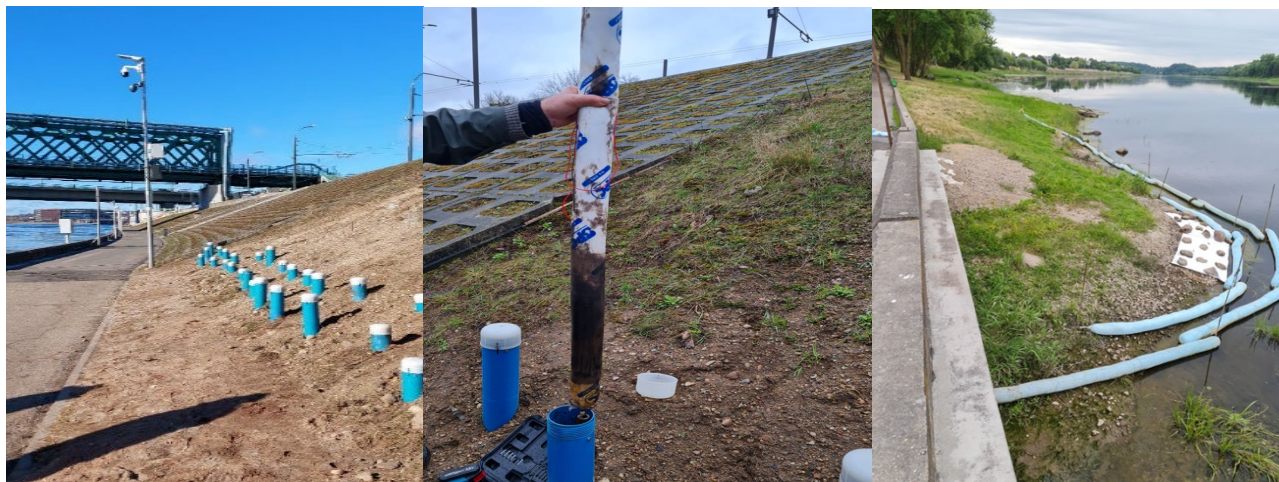
1	2	Vandens ėminių vietos <i>Locations of water samples</i>		Absorbuojanti bona <i>Absorbent bona</i>
		Filtruojančių-absorbuojančių gręžinių įrengimo zona <i>Filtering-absorbing well installation area</i>		Absorbuojantis kilimėlis <i>Absorbent mat</i>
		Naftos gaudyklė <i>The oil trap</i>		Absorbuojančios bonos tvirtinimo vietos <i>Absorbent beam attachment points</i>
		Drenažo šulinys prieš naftos gaudyklę <i>Drainage well, before the oil trap</i>		Vandens tekėjimo kryptis <i>Water flow direction</i>
		Išleistuvas į aplinką po naftos gaudyklės <i>Discharge into the environment after the oil trap</i>		

1 pav. Taršos naftos produktais į Nemuno upę stabdymo techninių priemonių įrengimo schema

Fig.1. Scheme of installation of technical measures to prevent pollution of the Nemunas River with oil products

Atsižvelgus į naftos angliavandenių paplitimą gilesnių sluoksnių grunte bei gruntinio vandens tekėjimo kryptį į Nemuną, buvo įrengta 52 filtracinių-sorbuojančių gręžinių eilė G 1-1; G 12-32 ir G33-52 (1 pav.). Gręžinių įrengimo vieta parinkta atsižvelgus į Nemuno vandens lygio vidutinius maksimalius ir minimalius pastarojo dešimtmečio svyravimus. Absorbuojančių gręžinių gylis siekia nuo 1,2 iki 3 m gylio tam, kad užtikrintų taršos surinkimą atsižvelgiant į sezoninius gruntinio vandens ir Nemuno vandens lygių svyravimus. Gręžinio viršutinė dalis (apie 1 m ilgio) yra be filtro, jos užvamzdinė dalis tamponuota moliu arba betonuota, užkertant paviršinio vandens patekimą į gręžinius (2 pav.). Kiekviename gręžinyje sumontuotas naftos teršalus absorbuojantis apie 1,2 m aukščio ir 7–8 cm skersmens elementas (vertikali bona), su galimybe reguliuoti jo padėtį (aukštį) gręžinyje, įvertinant gruntinio vandens lygio pokyčius ir pačio elemento užterštumą (1 pav.).

Papildomam taršos į Nemuną stabdymui įrengtas ir kas 2 savaites prižiūrimas (esant poreikiui – užterštumui ar fiziniams defektams keičiamas) 90–100 cm pločio ir 1 500 cm ilgio absorbuojantis kilimėlis (1 pav.) ir naftos teršalams sulaikyti Nemuno krante ant vandens paviršiaus įrengta absorbuojančios bonos užtvara (2 pav.).



2 pav. Taršos naftos produktais į Nemuno upę stabdymo techninės priemonės

Fig. 2. Technical measures to prevent pollution of the Nemunas River with oil products

Nemuno upė ties Juozapavičiaus pr. 118 ir 120 Kaune tyrimui pasirinkta dėl to, kad čia seni teršalai, susikaupę dėl geležinkelio pabėgių gaminimo įmonės vykdytos ūkinės veiklos iki 1989 m. Nuo minėtos teritorijos tarša naftos produktais patenka į Nemuno upę, kur pagrindinis grunto ir gruntinio vandens teršalas yra skalūnų alyva arba krezotazas. Skalūnų alyvos ir (arba) krezotazoto patekimas į gruntą ir gruntinį vandenį sąlygoja jų užterštumą daugiacykliais (policikliais) aromatiniais angliavandeniliais, sunkiaisiais metalais ir fenoliais.

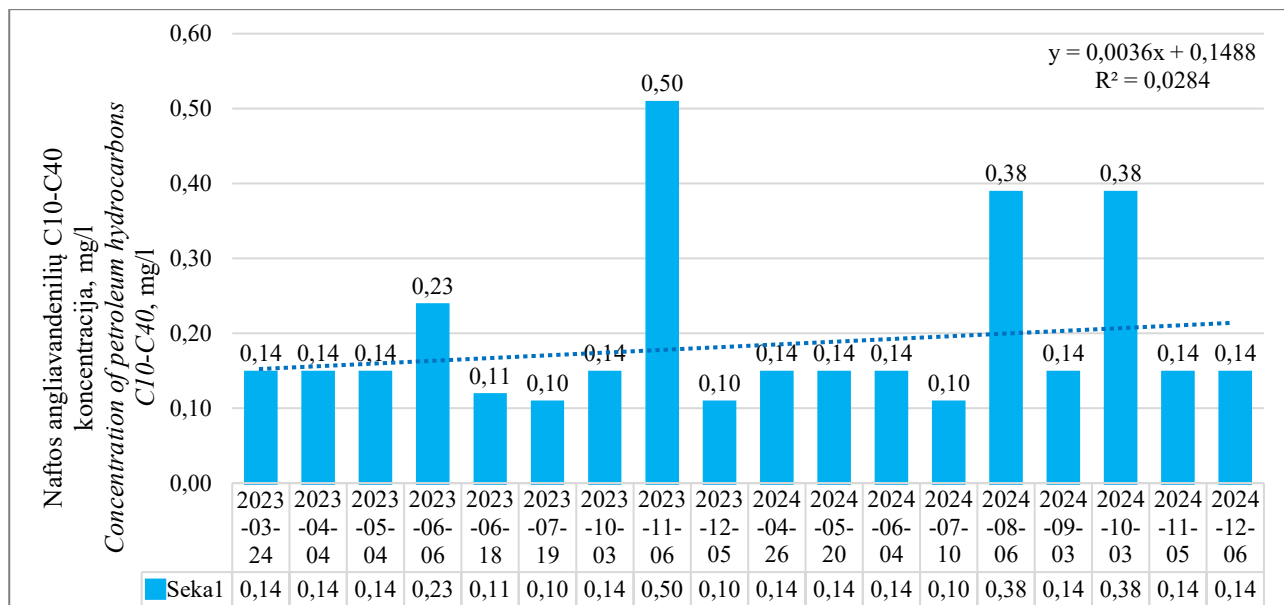
2023 m. kovo mėnesį buvo įrengtos laikinosios keturių lygių priemonės, stabdančios besikartojančią tiesioginę Nemuno upės taršą naftos produktais nuo minėtos užterštos teritorijos.

Tyrimo vietos pasirinktos aukščiau įrengtų taršos stabdymo priemonių ir ties įrengtomis taršos stabdymo priemonėmis Nemuno upėje, taikant naftos produktų (naftos angliavandenilių C10-C40 indeksas) tyrimo metodiką paviršinio vandens telkiniuose.

Siekiant nustatyti įrengtų taršos stabdymo priemonių efektyvumą Nemuno upėje per tiriamąjį laikotarpį buvo nustatomas naftos produktų (naftos angliavandenilių C10-C40 indeksas) paviršiniame vandenyje parametrų koncentracijų vertės. Tyrimai buvo atliekami nuo 2023 m. sausio iki 2024 m. gruodžio, paimta 18 paviršinio vandens mėginių ties įrengtomis taršos stabdymo priemonėmis ir 18 paviršinio vandens mėginių aukščiau įrengtų taršos stabdymo priemonių. Tyrimo metu kiekvieną mėnesį buvo paimta po vieną paviršinio vandens mėginį aukščiau (vietos koordinatės LKS 495446, 6082438) ir ties įrengtomis taršos stabdymo priemonėmis (vietos koordinatės LKS 6082893, 495308) Nemuno upėje. Nemuno upės paviršinio vandens mėginiai buvo paimti ties įrengtomis taršos stabdymo priemonėmis (1 vieta) ir aukščiau įrengtų taršos stabdymo priemonių (2 vieta). Nemuno paviršinio vandens ėminių ėmimo vietos pateiktos 1 paveiksle.

Rezultatai ir aptarimas

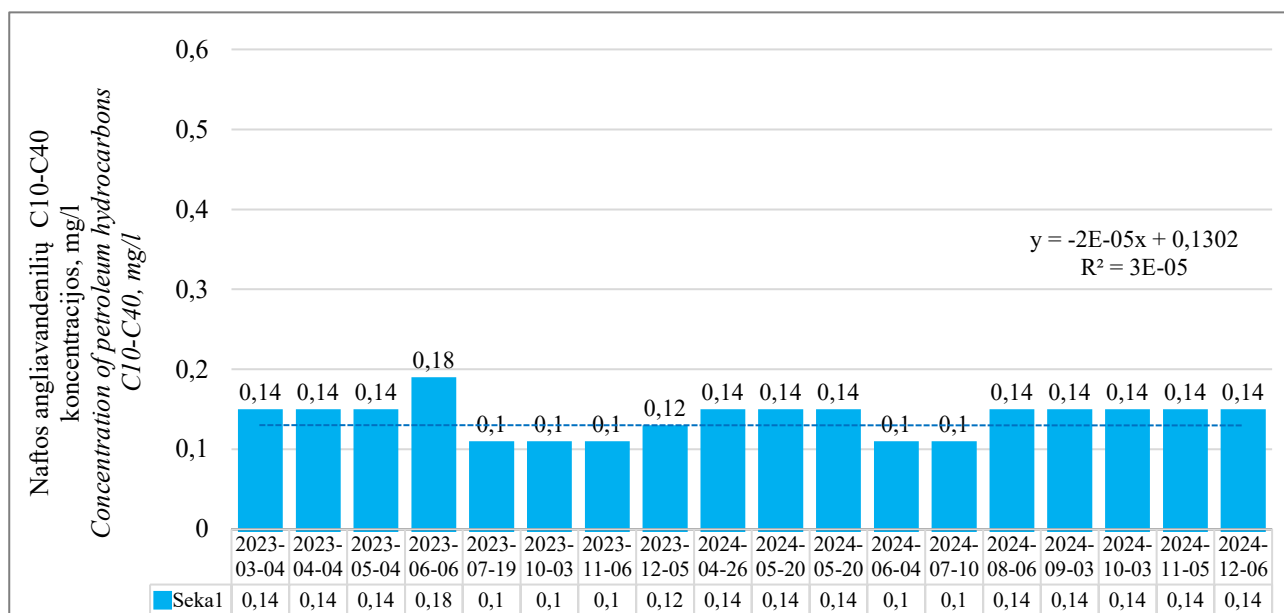
Nemuno upėje įrengtų taršos stabdymo priemonių efektyvumas vertinamas pagal aptiktas naftos angliavandenilių C10-C40 koncentracijas paviršiniame vandenyje. Nemuno upės paviršinio vandens tyrimų rezultatai ties įrengtomis taršos stabdymo priemonėmis (1 vieta) pateikti 3 paveiksle.



3 pav. Nemuno upės paviršinio vandens tyrimų rezultatai ties įrengtomis taršos stabdymo priemonėmis (1 vieta)

Fig. 3. Results of surface water tests of the Nemunas River near installed pollution control measures (1st place)

Tyrimų rezultatai ties įrengtomis taršos stabdymo priemonėmis (1 vieta) rodo, kad didžiausia naftos angliavandenilių C10-C40 koncentracija nustatyta 2023 m. lapkričio mėnesį ir siekė 0,5 mg/l. 2024 m. rugpjūčio ir spalio mėnesių nustatytos didžiausios naftos angliavandenilių C10-C40 koncentracijos – 0,38 mg/l. Atliekant tyrimus dažniausiai pasikartojanti naftos angliavandenilių C10-C40 vertė buvo 0,14 mg/l. Nemuno upės paviršinio vandens tyrimai aukščiau taršos šaltinio (2 vieta) pateikti 4 paveiksle.

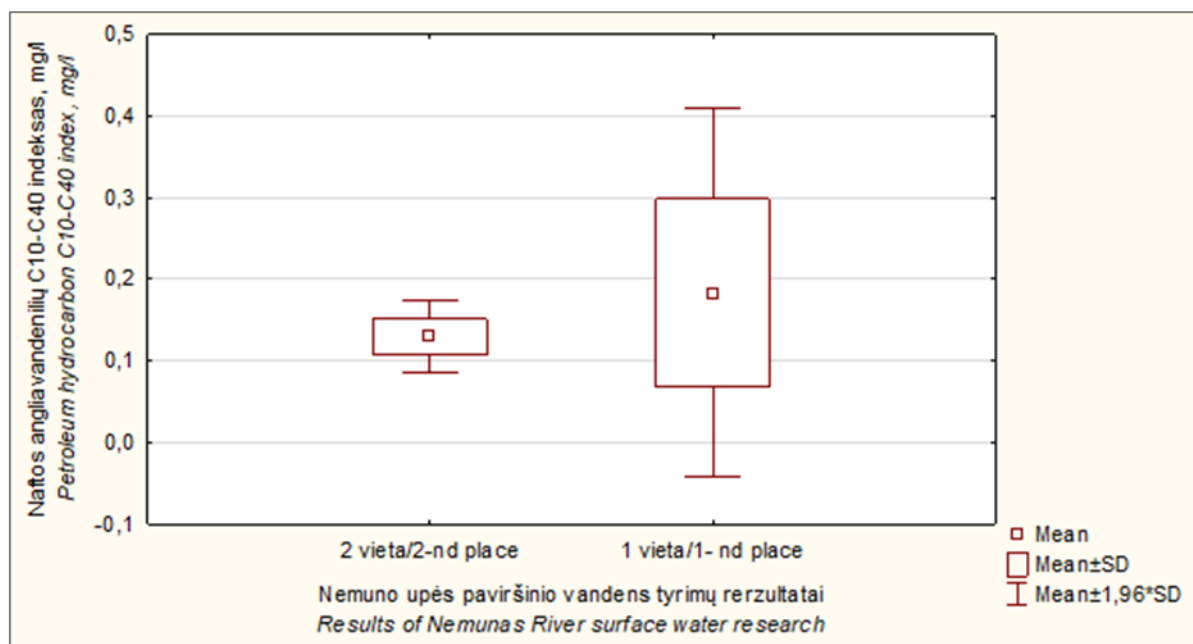


4 pav. Nemuno upės paviršinio vandens tyrimai aukščiau taršos šaltinio (2 vieta)

Fig. 4. Nemunas River surface water studies upstream of the pollution source (2nd place)

Įrengus taršos stabdymo priemones Nemuno upės paviršinio vandens tyrimų rezultatai aukščiau taršos šaltinio (2 vieta) rodo, kad dažniausiai per analizuojamą laikotarpį nuo 2023 m. kovo iki 2024 m. gruodžio naftos angliavandenilių C10-C40 koncentracija nustatyta 0,14 mg/l. Didžiausia naftos angliavandenilių C10-C40 koncentracija stebima 2023 m. birželį, kai siekė 0,18 mg/l.

Skirtumas tarp naftos angliavandenilių C10-C40 koncentracijų Nemuno upėje aukščiau taršos šaltinio (2 vieta) ir ties įrengtomis taršos stabdymo priemonėmis (1 vieta) pateiktas 5 paveiksle.

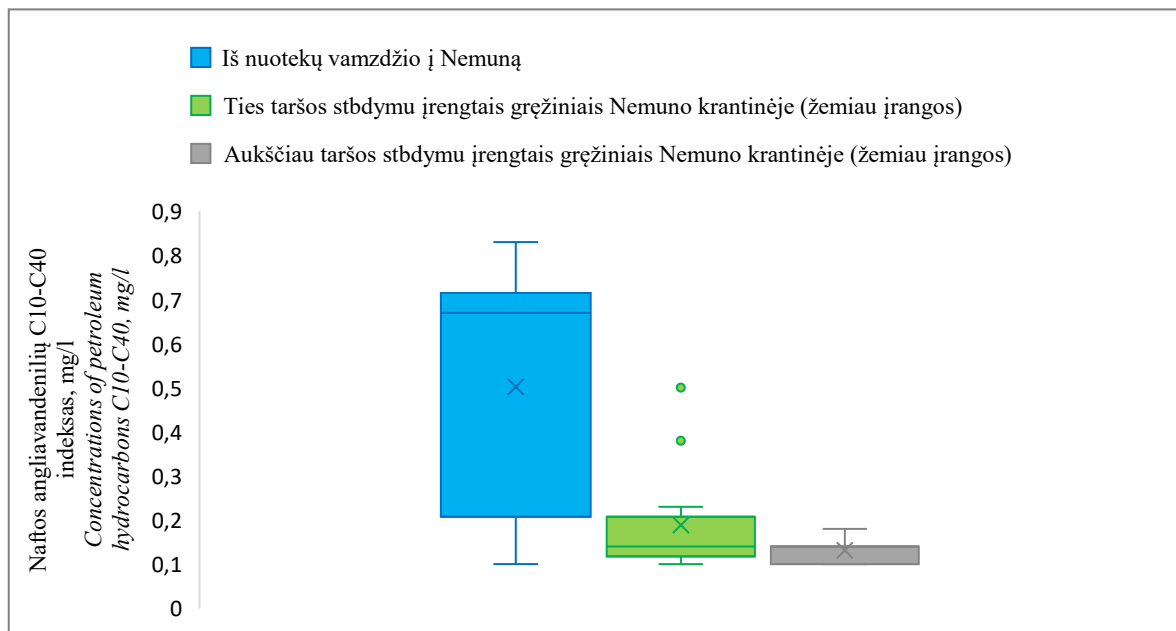


5 pav. Skirtumas tarp naftos angliavandenilių C10-C40 koncentracijų Nemuno upėje aukščiau taršos šaltinio (2 vieta) ir ties įrengtomis taršos stabdymo priemonėmis (1 vieta)

Fig.5. The difference between the concentrations of petroleum hydrocarbons C10-C40 in the Nemunas River upstream of the pollution source (2nd place) and at the installed pollution control measures (1st place)

Nustatyta, kad naftos angliavandenilių C10-C40 koncentracijos ženkliai mažesnės Nemuno upės vandenyje aukščiau taršos šaltinio, nustatytas statistiškai reikšmingas skirtumas tarp naftos angliavandenilių C10-C40 koncentracijų Nemuno upės vandenyje aukščiau taršos šaltinio (2 vieta) ir ties įrengtomis taršos stabdymo priemonėmis (1 vieta) – $t=25,11$; $p=0,000$.

Naftos angliavandenilių C10-C40 koncentracijos iš nuotekų vamzdžio į Nemuną, Nemuno upėje aukščiau taršos šaltinio (2 vieta) ir ties įrengtomis taršos stabdymo priemonėmis (1 vieta) pateiktos 6 paveiksle.



6 pav. Naftos angliavandenilių C10-C40 koncentracijos

Fig. 6. Concentrations of petroleum hydrocarbons C10-C40

Rezultatai parodė, kad ėminių mažiausios naftos angliavandenilių C10-C40 koncentracijos nustatytos aukščiau taršos šaltinio (2 vieta), didesnės naftos angliavandenilių C10-C40 koncentracijos fiksuotos ties įrengtomis taršos stabdymo priemonėmis (1 vieta), o didžiausios fiksuotos iš paviršinių nuotekų išleistuvo į Nemuną. Rezultatai rodo, kad įrengtos taršos stabdymo priemonės sulaiko taršą naftos produktais į Nemuno upę.

Nuo 2023 m. kovo mėn. iki 2024 m. gruodžio mėn. iš D1 ir D2 šulinių buvo surinkta 3,186 tonos susikaupusių naftos produktų, kurie nuo užterštos teritorijos drenažine sistema sutekėjo į minėtus šulinius. Daugiausia, apie 95 proc., naftos produktų teršalų surinkta iš šulinio D1 prieš naftos gaudyklę.

Išvados

1. Įvertinus naftos angliavandenilių C10-C40 koncentracijų vertes nustatyta, kad į Nemuno upę patenka teršalai iš užterštos teritorijos. Nustatytas statistiškai reikšmingas skirtumas tarp naftos angliavandenilių C10-C40 koncentracijų Nemuno upės vandenyje aukščiau taršos šaltinio (2 vieta) ir ties įrengtomis taršos stabdymo priemonėmis (1 vieta) – $t=25,11$; $p=0,000$.
2. Nemuno paviršinio vandens nustatytos didžiausios naftos angliavandenilių C10-C40 koncentracijos. Nustatyta, kad 2021 m. balandžio mėnesį didžiausia nustatyta naftos angliavandenilių C10-C40 koncentracija siekė 1 100 mg/l iš išleistuvo į aplinką – Nemuną po naftos gaudyklės.

Literatūra

1. Alther, G. (2008). Cleaning wastewater: Removing oil from water with organoclays. *Filtration–Separation*, 45(3), 22–24.
2. Baltrėnas, P., Vaišis, V. (2007). *Naftos produktų sorbentai aplinkosaugoje*. Monografija. Vilnius: Technika.
3. Brózda, K., Selejdak, J. (2015). The issue of wooden and concrete railway sleepers utilization. *Production Engineering Archives*, 9, 35–37.
4. Ghaly, E. A., Zhang, B., Dave, D. (2012). Stability and maturity of composted creosote treated wood waste with an aerobic mixed culture augmented with the Thermophilic Actinomycete *hermomonospora curvata*. *International Journal of Environmental Protection*, 2, 1–13.
5. Gkogkou, D., Rizogianni, S., Tziasiou, C., Gouma, V., Pournara, A. D., Tsoukleris, D., Giokas, D. L., Mano, M. J. (2021). Highly efficient removal of crude oil and dissolved hydrocarbons from water using superhydrophobic cotton filters. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(5), 106–170.
6. Hsia, K. F., Chen, C. C., Ou, J. H., Lo, K. H., Sheu, Y. T., Kao, C. M. (2021). Treatment of petroleum hydrocarbon-polluted groundwater with innovative in situ sulfate-releasing biobarrier. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 295. doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126424
7. Kohler, M., Künniger, T. (2003). Emissions of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) from creosoted railroad ties and their relevance for life cycle assessment (LCA). *Holz als Rohund Werkstoff*, 61, 117–124.
8. Kukulska-Zajak, E.; Krol, A.; Krasinska, A. (2014). Legal aspects of waste railway sleepers management. *Chemik*, 68, 979–982.
9. Lehto, K. M., Lemmetyinen, H., Puhakka, J. (2000). Biodegradation of photoirradiated polycyclic aromatic hydrocarbon constituents of creosote oil. *Environmental Technology*, 21(8), 901–907.
10. Rubežius, M. (2021). *Mokslininkai rado būdą, kaip išvalyti užterštą dirvožemį: pasitelkiamos unikalios augalų savybės*. <https://www.delfi.lt/grynas/aplinka/mokslininkai-rado-buda-kaip-isvalyti-uztersta-dirvozemis-pasitelkiamos-unikalios-augalu-savybes-88533811>
11. *Taršos stabdymo techninių sprendinių ir priemonių, užtikrinančių taršos nepatekimą į Nemuno upę, projektas*. (2023). Užsakovai: AB „LTG Infra“ ir Aplinkos apsaugos departamentas prie Aplinkos ministerijos. Vykdytojas UAB „VentEko Lietuva“. Vilnius.
12. Vilniškis, R., Vaiškūnaitė, R. (2017). *Kreozotu impregnuotų medinių geležinkelio pabėgių utilizavimo technologijų analizė ir vertinimas*. Vilnius: VGTU. <http://jmk.aainz.vgtu.lt/index.php/aplinka/2017/paper/viewFile/44/38>
13. Wu, P., Zhou, Y. S. (2009). Simultaneous removal of coexisting heavy metals from simulated urban stormwater using four sorbents: A porous iron sorbent and its mixtures with zeolite and crystal gravel. *Journal of Hazardous Materials*, 168, 674–680.
14. Zhu, H., Qiu, S., Jiang, W., Wu, D., Zhang, C. (2011). Evaluation of Electrospun Polyvinyl Chloride/Polystyrene Fibers as Sorbent Materials for Oil Spill Cleanup. *Environmental Science and Technology*, 45(10), 4527–4531.

Jurgita Sadauskaitė, Laima Česonienė, Midona Dapkienė

Assessing the Effectiveness of Technical Measures to Stop Oil Pollution

The problem of historical oil pollution in the Nemunas River at 120 Juozapavičiaus Ave., Kaunas is analysed. The aim of the work is to evaluate the effectiveness of technical measures to stop the pollution, ensuring that oil pollution does not enter the Nemunas River. In order to assess the effectiveness of the installed technical measures to stop pollution in the Nemunas River, the surface water was assessed in terms of chemical indicators. The surface water of the River

Nemunas was sampled at two locations (upstream and downstream of the installed pollution control measures) once a month. The concentrations of the petroleum hydrocarbon C10-C40 index were analysed and compared with the concentrations of the petroleum hydrocarbon C10-C40 index in the surface water of the River Nemunas before the installation of the pollution control measures. It was found that the concentrations of petroleum hydrocarbons C10-C40 index at the time of the installation of the pollution control measures were within the limit values and significantly lower compared to the results of the surface water tests prior to the installation of the oil pollution control measures. The results of the analyses show that the installed pollution control measures ensure the retention of free oil products in the River Nemunas.

Keywords: Pollution, oil products, river Nemunas.

Gauta 2025 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2025 m. balandžio mėn.

Jurgita SADAUSKAITĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Miškų ir ekologijos fakulteto Ekologijos ir klimato kaitos studijų programos magistrantė. Adresas: Studentų g. 15a, LT-53362 Akademija, Kauno r., tel.: +370 377 52224, +370 607 28740, el. paštas: jurgita.sadauskaite@vdu.lt

Jurgita SADAUSKAITĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Forest Sciences and Ecology, Master student in Ecology and Climate Change. Address: Studentų str. 15a, LT-53362 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 377 52224, +370 607 28740, e-mail: jurgita.sadauskaite@vdu.lt

Laima ČESONIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Miškų ir ekologijos fakulteto Aplinkos ir ekologijos katedros vedėja, prof. dr. Adresas: Studentų g. 11-518, LT-53361 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52224, el. paštas: laima.cesonienel@vdu.lt

Laima ČESONIENĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Forest Sciences and Ecology, Department of Environment and Ecology, prof. dr. Address: Studentų str. 11-518, LT-53361 Academy, Kaunas dist. Phone: +370 377 52224, e-mail: laima.cesonienel@vdu.lt

Midona DAPKIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Inžinerijos fakulteto Vandens inžinerijos katedros docentė, dr. Adresas: Universiteto g. 10-329, LT-53361 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52337, el. paštas: midona.dapkiene@vdu.lt

Midona DAPKIENĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Water Engineering, assoc. prof. dr. Address: Universiteto str. 10-329, LT-53361 Academy, Kaunas dist. Phone: +370 377 52337, e-mail: midona.dapkiene@vdu.lt

NEVĖŽIO UPĖS BŪKLĖ KĖDAINIŲ RAJONE

Akvilė Gustė, Anželika Dautartė

Vytauto Didžiojo universitetas

Lietuvoje kuriama ir tobulinama teisinė bazė, siekiant sumažinti paviršinių vandens telkinių taršą. Tačiau, nepaisant pastangų gerinti situaciją, kai kurių vandens telkinių būklė vis dar neatitinka geros ekologinės būklės kriterijų. Vienas iš tokių telkinių – Nevėžio upė. Straipsnyje aptariama Nevėžio upės būklė Kėdainių rajone, remiantis 2020–2024 m. atliktais paviršinio vandens tyrimais. Mėginiai buvo imami iš dviejų ėminių ėmimo vietų 18 kartų. Upės ekologinė būklė vertinta pagal fizikinius-cheminius kokybės rodiklius. Tyrimo rezultatai parodė, kad Nevėžio upės ekologinė būklė prastėjo pagal nitratų azoto, amonio azoto, bendro azoto, bendro fosforo ir BDS7 koncentracijas, tačiau gerėjo pagal prisotinimo deguonimi rodiklius. Tyrimo duomenys rodo, kad, nepriklausomai nuo vietos, Nevėžio upės vandens kokybė vertinama kaip vidutinė (DUFI indekso vertė – 4, faunos klasė – 3).

Raktiniai žodžiai: rodikliai, vandens kokybė, koncentracija, kitimo dinamika.

Įvadas

Vanduo turi didelę įtaką tiek pavieniams žmonėms, tiek visai valstybei. Vanduo labai svarbus biologinės įvairovės išsaugojimui, transportui ir rekreacijai, visuomenės sveikatos ir aplinkos kokybės užtikrinimui. Vanduo tenkina ekologinius, ekonominius ir socialinius visuomenės poreikius (Vandenų srities plėtros 2022–2027 metų programa, 2022).

Maistinių medžiagų patekimas į upes ir pakrančių zonas dėl žmonių veiklos yra pagrindinė upių baseinų ir pakrančių jūrų ekosistemų problema. Intensyvesnis antropogeninis maistinių medžiagų, ypač fosforo ir azoto, patekimas į aplinką iš sutelktųjų ir pasklidusių šaltinių lėmė upių maistinių medžiagų erdvinis pokyčius, kurie buvo pastebėti visame pasaulyje. Antropogeniniai teršalai pagal jų patekimo kelius skirstomi į dvi grupes: sutelktieji šaltiniai – skleidžia teršalus, kurie į vandens kelią patenka iš vieno, identifikuojamo šaltinio, pavyzdžiui, vamzdžio ar griovio, išmetimai iš nuotekų valymo įrenginių, gamyklų ar miesto paviršinių nuotekų kolektorių, buitinės nuotekos ir pramonės tarša bei pasklidieji šaltiniai – kur vanduo patenka iš žemės ūkio aplinkos ir atmosferos kritulių (Kiedrzyńska et al., 2014).

Miesto upių tarša laikoma „neišvengiamu blogiu“ dėl neproporcingos plėtros didmiesčiuose. Beprecedentė plėtra ir antropogeninė veikla sukelia miestų upių „užspringimą“ komunalinėmis ir pramoninėmis nuotekomis. Miestų upės miršta laukdamos gelbėjimo, nepaisant didelių pilietinės valdžios pastangų, daugiausia tam įtakos turi upių valdžios ir suinteresuotųjų šalių koordinavimo stoka, pagrindiniai konfliktai, apimantys visus lygius, patikimų techninių duomenų trūkumas ir finansiniai suvaržymai (Sekharan et al., 2022).

Įvykdžius Lietuvos vandens telkinių būklės vertinimą, buvo išsiaiškinta, kad mūsų šalyje 63 % upių bei 64 % ežerų priskiriami rizikos vandens telkiniams ir neatitinka geros būklės kriterijų. Būtent dėl to 2022–2027 m. UBR priemonių programa gerai vandens telkinių būklei pasiekti ir išlaikyti numatyta 15 pagrindinių priemonių, kurios padalintos į smulkesnius tikslus (UBR priemonių programa 2022–2027 m., 2021).

Tyrimo tikslas – įvertinti Nevėžio upės būklę Kėdainių rajone.

Tyrimų metodika

Paviršinio vandens tyrimai buvo atliekami nuo 2020 m. rugsėjo iki 2024 m. rugsėjo. Buvo pasirinktos 2 ėminių ėmimo vietos, o ėminiai paimti iš abiejų tyrimo vietų 18 kartų. Vandens ėminių ėmimo taškų koordinatės pateiktos 1 lentelėje.

1 lentelė. Ėminių ėmimo vietos

Table 1. Sampling sites

Numeris	Vietovė	Koordinatės	
		x	y
I	Kėdainių miesto pabaiga. Nevėžio atkarpa aukščiau įmonės UAB „Kėdainių vandenys“ nuotekų išleistuvų.	6125709	497003
II	Pašilių kaimo pabaiga. Nevėžio atkarpa žemiau įmonės UAB „Kėdainių vandenys“ nuotekų išleistuvų.	6120656	495255

Tyrimai buvo atliekami VDU ŽŪA Aplinkotyros laboratorijoje.

Pagal paviršinių vandens telkinių būklės nustatymo metodiką upių ekologinė būklė buvo vertinama pagal fizikinius-cheminius kokybės rodiklius: nitratų azotą ($\text{NO}_3\text{-N}$), amonio azotą ($\text{NH}_4\text{-N}$), bendrą azotą (N_b),

bendrą fosforą (P_b), biocheminį deguonies suvartojimą per 7 paras (BDS_7) ir ištirpusio deguonies kiekį vandenyje (O_2).

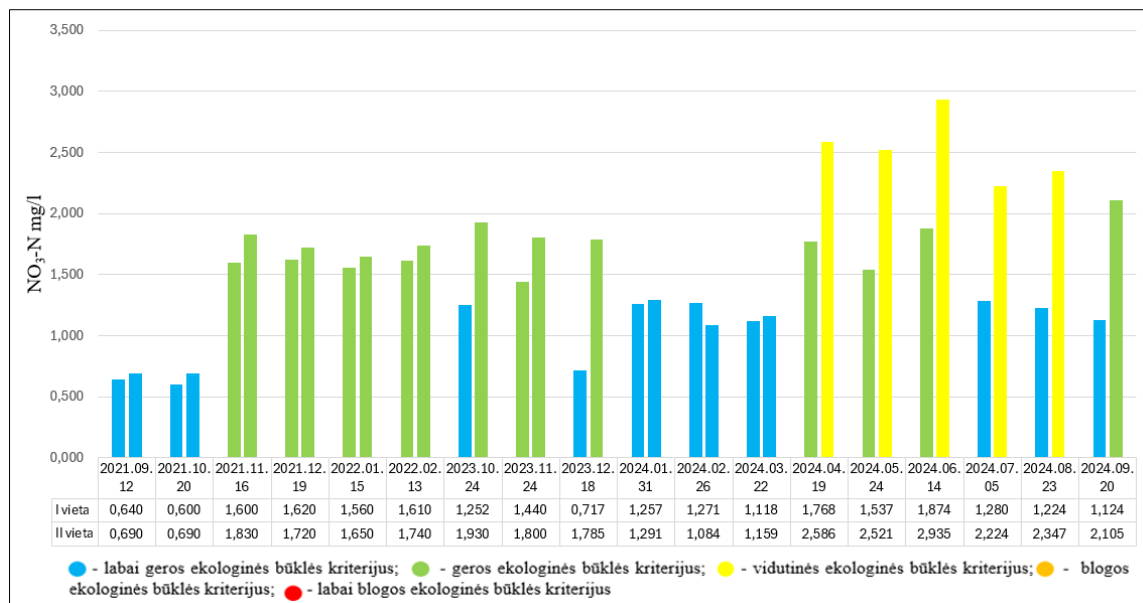
Makrozoobentosos ėminiai buvo imti iš tų pačių ėminių ėmimo vietų tris kartus – 2024 m. liepos, rugpjūčio ir rugsėjo mėnesiais. Ėminiai imti remiantis LAND 57-2003 normatyviniu dokumentu. Vandens telkinio būklė apskaičiuota naudojant Danijos upių faunos indekso (DIUF) metodą. Nustačius DUFI indekso vertę nustatoma faunos klasė.

Gauti duomenys buvo lyginami su vertėmis, kurios nustatytos paviršinių vandens telkinių būklės nustatymo metodikoje.

Rezultatai ir aptarimas

Surinkus paviršinio vandens ėminius ir juos ištyrus laboratorijoje, gauti duomenys buvo lyginami su ribinėmis vertėmis.

Nitratų azoto koncentracijos paimtuose upės paviršinio vandens ėminiuose pateiktos 1 paveiksle.

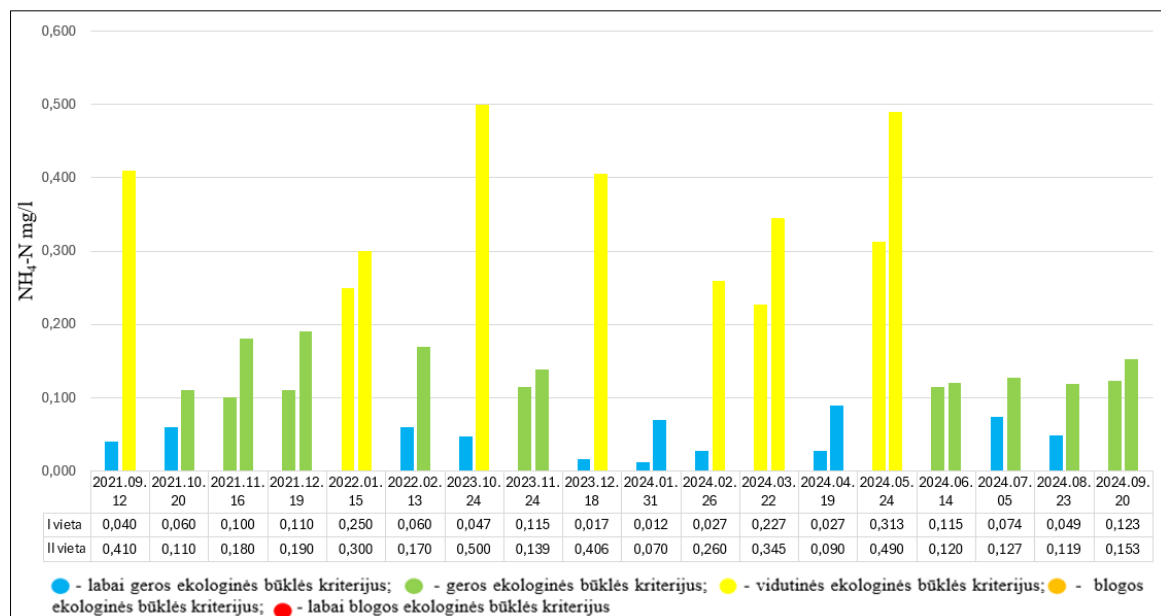


1 pav. Nitratų azoto koncentracijų pasiskirstymas

Fig. 1. Distribution of nitrate-nitrogen concentrations

Vertinant visų ėminių rezultatus matyti, kad didžiausia nitratų azoto koncentracija buvo nustatyta 2024 m. liepos mėnesį: I ėminio ėmimo vietoje – 1,874 mg/l, II ėminio ėmimo vietoje – 2,935 mg/l. Vertinant vidutinės nitratų azoto upių ekologinės būklės fizikinių-cheminių kokybės elementų rodiklių vertes, nustatyta, kad tiriamuoju laikotarpiu tyrimo vietos svyravo tarp labai geros ir vidutinės būklės kriterijų.

Amonio azoto koncentracijos paimtuose upės paviršinio vandens ėminiuose pateiktos 2 paveiksle.

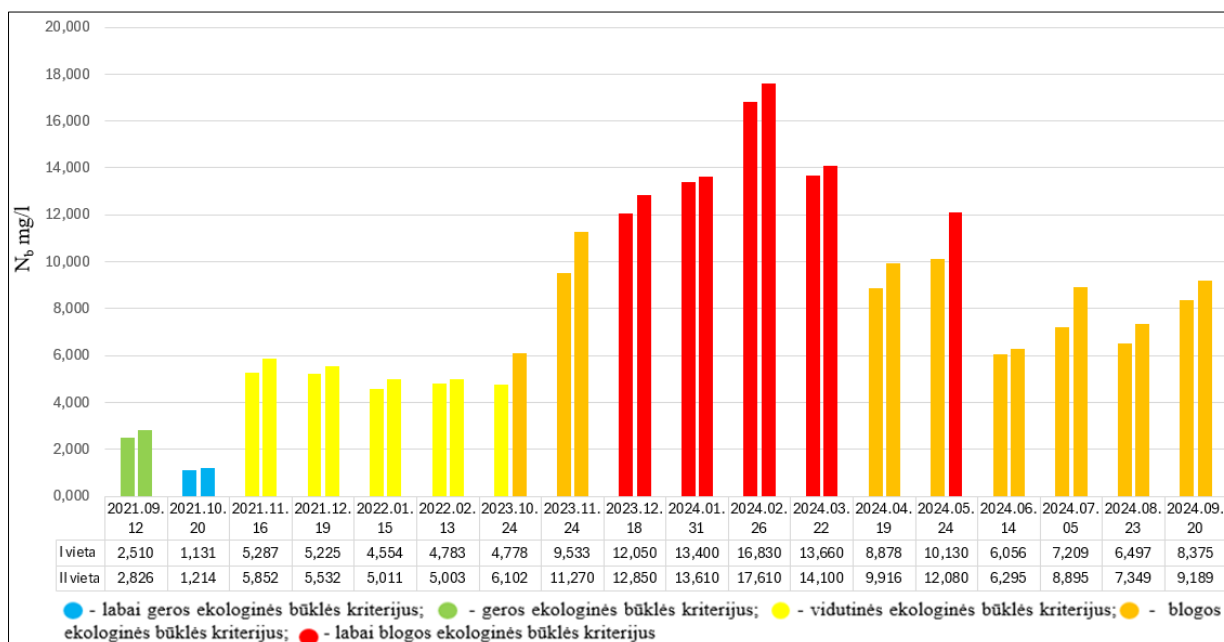


2 pav. Amonio azoto koncentracijų pasiskirstymas

Fig. 2. Distribution of ammonium nitrogen concentrations

Vertinant visų ėminių rezultatus matyti, kad didžiausia amonio azoto koncentracija buvo nustatyta 2023 m. spalio mėnesį: II ėminio ėmimo vietoje – 0,500 mg/l. Vertinant vidutinės amonio azoto upių ekologinės būklės fizikinių-cheminių kokybės elementų rodiklių vertes, nustatyta, kad tiriamuoju laikotarpiu tyrimo vietos svyravo tarp labai geros ir vidutinės būklės kriterijų.

Bendro azoto koncentracijos paimtuose upės paviršinio vandens ėminiuose pateiktos 3 paveiksle.

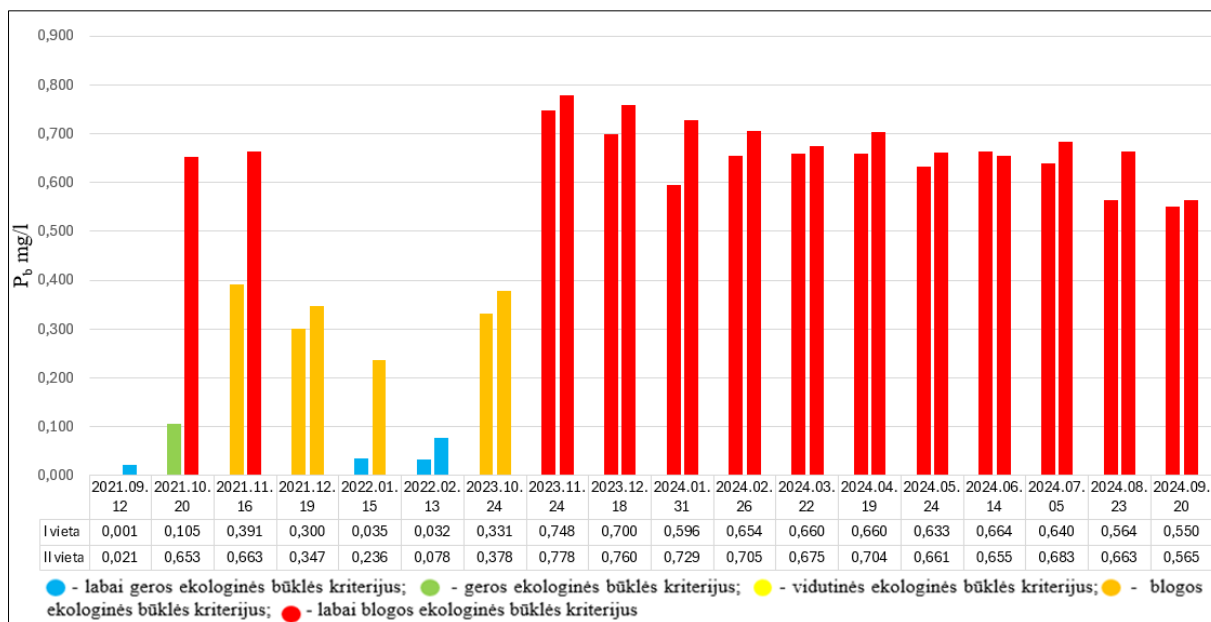


3 pav. Bendro azoto koncentracijų pasiskirstymas

Fig. 3. Distribution of total nitrogen concentrations

Vertinant visų ėminių rezultatus matyti, kad didžiausia bendro azoto koncentracija buvo nustatyta 2024 m. vasario mėnesį: I ėminio ėmimo vietoje – 16,830 mg/l, II ėminio ėmimo vietoje – 17,610 mg/l. Vertinant vidutinės bendro azoto upių ekologinės būklės fizikinių-cheminių kokybės elementų rodiklių vertes nustatyta, kad tiriamuoju laikotarpiu tyrimo vietos svyravo tarp labai geros ir labai blogos būklės kriterijų. Tiriamuoju laikotarpiu daugiausia vyravo blogos ir labai blogos būklės kriterijai.

Bendro fosforo koncentracijos paimtuose upės paviršinio vandens ėminiuose pateiktos 4 paveiksle.

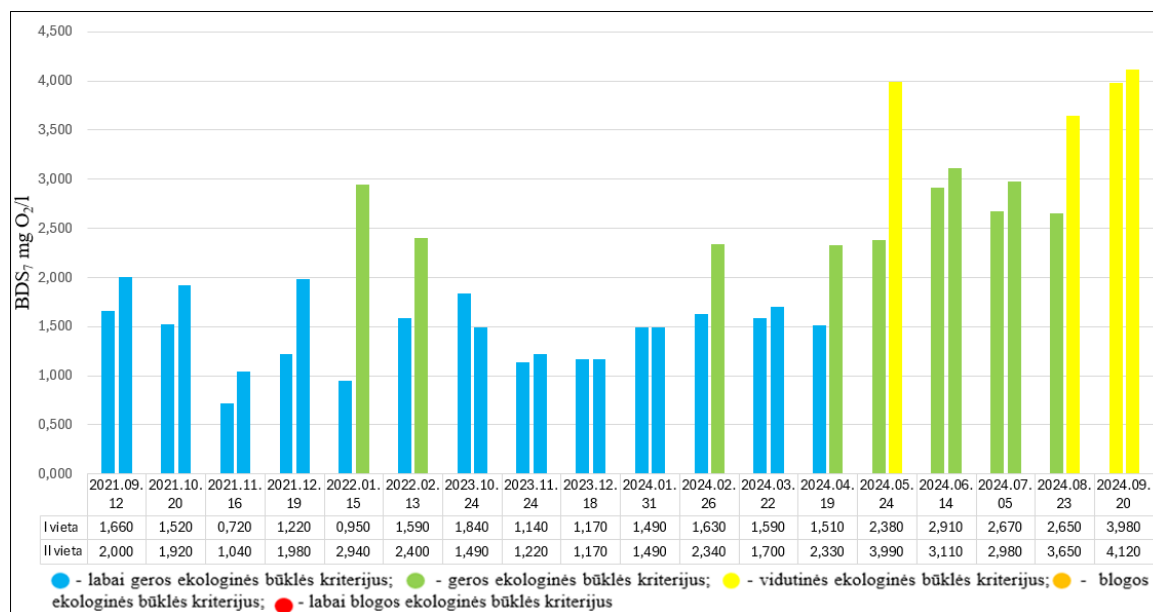


4 pav. Bendro fosforo koncentracijų pasiskirstymas

Fig. 4. Distribution of total phosphorus concentrations

Vertinant visų ėminių rezultatus matyti, kad didžiausia bendro fosforo koncentracija buvo nustatyta 2023 m. lapkričio mėnesį: I ėminio ėmimo vietoje – 0,748 mg/l, II ėminio ėmimo vietoje – 0,778 mg/l. Vertinant vidutinės bendro fosforo upių ekologinės būklės fizikinių-cheminių kokybės elementų rodiklių vertes nustatyta, kad tiriamuoju laikotarpiu tyrimo vietos svyravo tarp labai geros ir labai blogos būklės kriterijų. Tiriamuoju laikotarpiu daugiausia vyravo labai blogos būklės kriterijus.

Biocheminio deguonies suvartojimo per 7 paras koncentracijos paimtuose upės paviršinio vandens ėminiuose pateiktos 5 paveiksle.

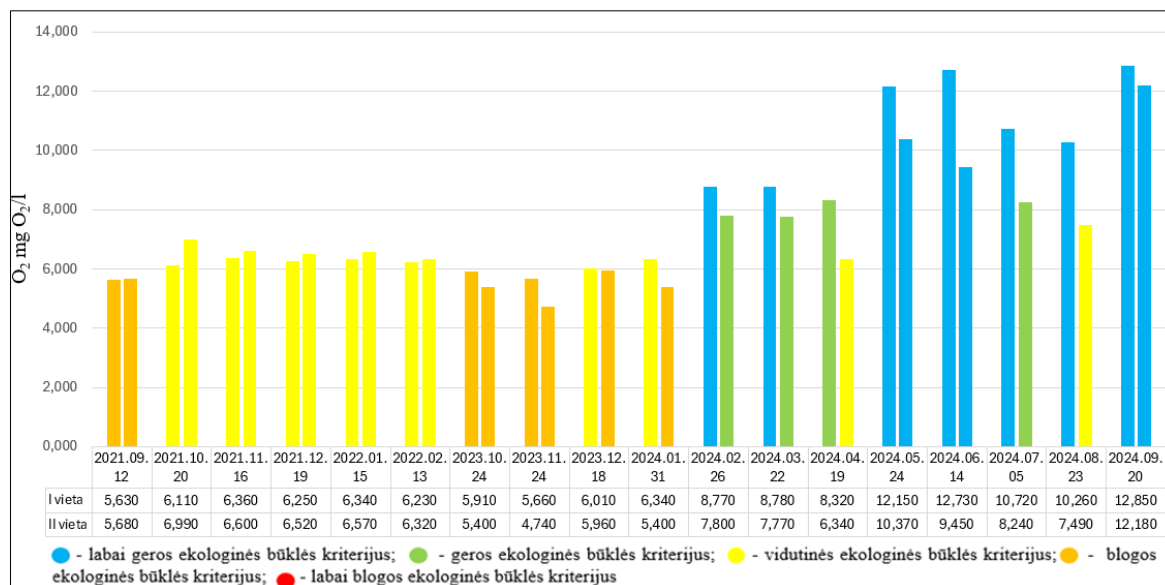


5 pav. Biocheminio deguonies suvartojimo per 7 paras koncentracijų pasiskirstymas

Fig. 5. Distribution of BOD7 concentrations

Vertinant visų ėminių rezultatus matyti, kad didžiausia BDS₇ koncentracija buvo nustatyta 2024 m. rugsėjo mėnesį: I ėminio ėmimo vietoje – 3,980 mg O₂/l, II ėminio ėmimo vietoje – 4,120 mg O₂/l. Vertinant vidutinės BDS₇ upių ekologinės būklės fizikinių-cheminių kokybės elementų rodiklių vertes, nustatyta, kad tiriamuoju laikotarpiu tyrimo vietos svyravo tarp labai geros ir vidutinės būklės kriterijų. Tiriamuoju laikotarpiu daugiausia vyravo labai geros būklės kriterijus.

Prisotinimo deguonimi koncentracijos paimtuose upės paviršinio vandens ėminiuose pateiktos 6 paveiksle.



6 pav. Prisotinimo deguonimi koncentracijų pasiskirstymas

Fig. 6. Distribution of oxygen saturation concentrations

Vertinant visų ėminių rezultatus matyti, kad didžiausia prisotinimo deguonimi koncentracija buvo nustatyta 2024 m. rugsėjo mėnesį: I ėminio ėmimo vietoje – 12,850 mg O₂/l, II ėminio ėmimo vietoje – 12,180 mg O₂/l. Vertinant vidutinės prisotinimo deguonimi upių ekologinės būklės fizikinių-cheminių kokybės elementų rodiklių vertes, nustatyta, kad tiriamuoju laikotarpiu tyrimo vietos svyravo tarp labai geros ir blogos būklės kriterijų.

Pagal imtus ėminius iš Nevėžio upės I ėminio ėmimo vietoje nustatyta 2 indikatorinė grupė, kuri nustato 4 DUFI indeksą ir III (vidutinę) faunos klasę. Duomenys pateikti 2 lentelėje.

2 lentelė. Danijos upių faunos indeksas ir faunos klasė Nevėžio upėje I vietovėje

Table 2. Danish river fauna index and fauna class in the Nevezis River at Site I

Indikatorinės grupės (IG) rasti organizmai	Rastų organizmų skaičius	DUFI indekso vertė ir faunos klasė
Indikatorinė grupė (IG2): <i>Ephemera</i> ; <i>Heptagenia</i>	33; 4	4 (III – vidutinė)

Pagal imtus ėminius iš Nevėžio upės II ėminio ėmimo vietoje nustatyta 2 indikatorinė grupė, kuri nustato 4 DUFI indeksą ir III (vidutinę) faunos klasę. Duomenys pateikti 3 lentelėje.

3 lentelė. Danijos upių faunos indeksas ir faunos klasė Nevėžio upėje II vietovėje

Table 3. Danish river fauna index and fauna class in the Nevezis River at Site II

Indikatorinės grupės (IG) rasti organizmai	Rastų organizmų skaičius	DUFI indekso vertė ir faunos klasė
Indikatorinė grupė (IG2): <i>Ephemera</i> ; <i>Leptophlebiidae</i>	13; 76	4 (III – vidutinė)

Išvados

- Įvertinus Nevėžio upės ties Kėdainiais būklę pagal fizikinius-cheminius rodiklius laikotarpiu nuo 2021 m. rugsėjo mėnesio iki 2024 m. rugsėjo mėnesio nustatyta, kad Nevėžio upės ekologinės būklės kriterijų rodikliai prastėjo pagal nitratų azoto, amonio azoto, bendro azoto, bendro fosforo ir BDS₇ koncentracijas, gerėjo pagal prisotinimo deguonimi koncentracijas. Vertinant visų ėminių rezultatus matyti, kad ėminių ėmimo vietoje II vertės yra didesnės nei vietoje I. Galima teigti, kad šioje atkarpoje esantys taršos šaltiniai daro neigiamą įtaką vandens kokybei.
- Nevėžio upėje, nepriklausomai nuo tyrimo vietos, vandens kokybė yra vidutinė (DUFI indekso vertė yra 4, o faunos klasė – 3).

Literatūra

- Aplinkos apsaugos agentūra. (2021). UBR priemonių programa 2022–2027 m. <https://aaa.lrv.lt/uploads/aaa/documents/files/UBR%20priemoniu%20programa.pdf>

2. Kiedrzyńska, E., Kiedrzyński, M., Urbaniak, M., Magnuszewski, A., Skłodowski, M., Wyrwicka, A., Zalewski, M. (2014). Point sources of nutrient pollution in the lowland river catchment in the context of the Baltic Sea eutrophication. *Ecological Engineering*, Vol. 70. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925857414002638>
3. Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2007 m. balandžio 12 d. įsakymo Nr. D1-210 patvirtinta Paviršinių vandens telkinių būklės nustatymo metodika (suvestinė redakcija nuo 2021 m. lapkričio 5 d.). <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.296626/asr>
4. Sekharan, S., Samal, D. R., Phuleria, H. C., Chandel, M. K., Gedam, S., Kumar, R., Sethi, V., Supate, A. R., Karmakar, S. (2022). River pollution monitoring over an industrial catchment in urban ecosystem: Challenges and proposed geospatial framework. *Environmental Challenges*, Vol. 7. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667010022000567>
5. Vandenių srities plėtros 2022–2027 metų programa. (2022). <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/394a366681fc11edbdcebd68a7a0df7e>

Akvilė Gustė, Anželika Dautartė

The State of the Nevėžis River in the Kėdainiai District

Legislation has been introduced in Lithuania to reduce surface water pollution. However, despite ongoing efforts, some water bodies have not yet reached a good ecological status, including the Nevėžis River. This study examines the ecological state of the Nevėžis River in the Kėdainiai district. Surface water monitoring was conducted from September 2020 to September 2024 at two sampling sites, with 18 samples collected from each site. The river's ecological status was assessed based on physicochemical quality indicators. The results indicate a deterioration in nitrate-nitrogen, ammonium-nitrogen, total nitrogen, total phosphorus, and BOD₇ concentrations, while oxygen saturation levels improved. Overall, the Nevėžis River is classified as having moderate water quality, with a DUFI index value of 4 and a fauna class of 3, regardless of the sampling location.

Keywords: Indicators, water quality, concentration, dynamics of change.

Gauta 2025 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2025 m. balandžio mėn.

Akvilė GUSTĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Miškų ir ekologijos fakulteto Aplinkos ir ekologijos katedros magistrantė. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r., tel. +370 681 35844, el. paštas: akvile.guste@vdu.lt

Akvilė GUSTĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Master's student at the Department of Environment and Ecology, Faculty of Forest Sciences and Ecology. Address: Studentų str. 11, LT-53361 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 681 35844, e-mail: akvile.guste@vdu.lt

Anželika DAUTARTĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Miškų ir ekologijos fakulteto Aplinkos ir ekologijos katedros docentė. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r., tel. +370 610 13741, el. paštas: anzelika.dautarte@vdu.lt

Anželika DAUTARTĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Associate Professor, Department of Environment and Ecology, Faculty of Forest Sciences and Ecology. Address: Studentų str. 11, LT-53361 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 610 13741, e-mail: anzelika.dautarte@vdu.lt

KRŪMINIŲ TVENKINIO EKOLOGINĖS BŪKLĖS VERTINIMAS

Dovilė Petraškaitė, Anželika Dautartė

Vytauto Didžiojo universitetas

Tyrimo objektas – dirbtinis vandens telkinys, Krūminių tvenkinys, esantis Varėnos rajone. Tyrimo tikslas – įvertinti tvenkinio ekologinę būklę pagal biologinius duomenis. Tyrimo metu buvo siekiama nustatyti makrofitų rūšinę sudėtį ir jų gausumą. Tyrimas atliktas remiantis Makrofitų tyrimų ežeruose ir tvenkiniuose metodika, patvirtinta Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2013 m. gruodžio 16 d. įsakymu Nr. D1-934. 2024 m. surinkti duomenys iš aštuonių tvenkinio tyrimo vietų parodė, kad jame aptiktos 22 makrofitų rūšys. Vyraujanti ekologinė-morfologinė grupė – helofitai, kuriems priskiriama 16 rūšių, tarp jų dažniausiai pasitaikė gyslotinis dumblialaiškis (*Alisma plantago-aquatica*), paprastoji nendrė (*Phragmites australis*) ir plačialapis švendras (*Typha latifolia*). Plūdurlapių ir plūduriuojančių augalų grupę sudarė keturios rūšys, pavyzdžiui, paprastoji lūgnė (*Nuphar lutea*) ir mažoji plūdena (*Lemna minor*), o panirusių augalų grupę – dvi rūšys, permautalapė plūdė (*Potamogeton perfoliatus*) ir paprastoji nertis (*Ceratophyllum demersum*). Makrofitų gausumas buvo didžiausias sekliuose vandenyse, mažesniame nei vieno metro gylyje, kur aptiktos visos 22 rūšys. Šioje zonoje gausiausiai pasitaikė paprastoji vandens lelija (*Nymphaea alba*), mažoji plūdena (*L. minor*) ir plačialapis švendras (*T. latifolia*). 1–2 metrų gylio zonoje aptiktos penkios makrofitų rūšys, tarp kurių dominavo paprastoji vandens lelija (*N. alba*) ir paprastoji lūgnė (*N. lutea*). Apibendrinant, Krūminių tvenkinio makrofitų tyrimas atskleidė, kad tvenkinyje vyrauja helofitų grupė, o didžiausias rūšių gausumas pastebimas sekliose, mažesnio nei 1 metro gylio, zonose. Šioje zonoje makrofitų rūšių įvairovė ir skaičius reikšmingai priklauso nuo tyrimo vietos ($p < 0,05$). Tačiau 1–2 m gylyje skirtumai tarp tyrimo vietų nėra statistškai reikšmingi, todėl šioje zonoje vietos pasirinkimas neturi esminės įtakos makrofitų įvairovei ir gausumui. Tai rodo, kad tvenkinio augalų bendrijoms būdingas pakrančių zonos dominavimas, o augalų pasiskirstymą lemia gylis ir ekologinės sąlygos.

Raktiniai žodžiai: makrofitai, helofitai, tvenkinys.

Įvadas

Tvaraus vystymosi vaidmuo išskiriamas trimis dimensijomis – ekonominiu, socialiniu ir aplinkosauginiu, kurių pagrindas yra bendradarbiavimas tarp žmonių ir planetos. Galutinis tikslas yra sumažinti ir įveikti klimato kaitos sukeltus padarinius (G20 Rio de Janeiro Leaders' Declaration, 2024). Pažanga įgyvendinant nacionalinės klimato politikos tikslus tebėra nepakankama (OECD, 2024). Lėtą klimato kaitos politikos veiksmų pažangą lemia įvairūs politiniai pokyčiai įvairiuose sektoriuose ir skirtingos politikos priemonių rūšys bei jų įgyvendinimo tempas skirtinguose sektoriuose. Siekdamas mažinti klimato kaitos poveikį, vis daugiau šalių kuria nacionalines prisitaikymo prie klimato kaitos strategijas (OECD, 2024). Vienas iš pagrindinių klimato kaitos mažinimo tikslų yra sukurti veiksmingas valdymo ir kontrolės strategijas, kurios padėtų sušvelninti klimato kaitą ir jos padarinius (Rodríguez-Merino et al., 2018). Klimato kaita ir toliau sparčiai progresuoja, o naujausi stebėjimai rodo vis spartėjantį atšilimą. Kai kuriuose regionuose klimato kaita progresuoja daug greičiau ir šie pokyčiai gali dar labiau paspartinti bei padidinti riziką, susijusią su klimato kaitos padarinių suvaldymu (European Environment Agency, 2024).

Viena iš klimato kaitos priežasčių yra antropogeninė veikla, tai medžiagų, preparatų paskleidimas į aplinką kaip žmonių veiklos rezultatas, savo pasekmėmis neigiamai veikiantis žmogaus gyvenimo kokybę, ekosistemas ir įtakojantis neigiamus aplinkos pokyčius (pavyzdžiui, vandens būklės blogėjimą). Antropogeninis aplinkos užterštumas yra žmogaus veiklos padarinys, kuris sukelia aplinkoje neigiamus biologinius, cheminius, fizikinius reiškinius, kurie trikdo nuoseklią ir natūralią vandens ekosistemų vyksmų tėkmę (European Environment Agency, 2024).

Paviršinių vandens telkinių naudojimas ūkinėms reikmėms, rekreacijai ir kitais tikslais, taip pat šalia jų vykdoma žemdirbystė, iš esmės keičia paviršinio vandens telkinio augalijos struktūrą ir bendrą ekologinę būklę. Tai lemia antropogeninės kilmės taršą, kuri veikia hidrocheminį režimą, keičia pakrančių augalijos rūšinę sudėtį ir paplitimą. Vandens ekosistemų biologinė įvairovė, jų gausumas ir pasiskirstymas kinta dėl žmogaus veiklos, o tai gali sukelti hidrobiontų nykimą ar dirbtinės ekosistemų transformacijas.

Krūminių tvenkinio pakrantės yra veikiamos antropogeninės veiklos, o tai daro įtaką ir pakrančių makrofitų juostoms. Žemdirbystė, urbanizacija, žvejyba, rekreacija ir kitos žmogaus veiklos formos keičia natūralias augalų augimo sąlygas, lemia rūšinės sudėties pokyčius. Dėl didėjančios taršos kai kurios augalų rūšys palaipsniui išnyksta arba yra išstumiamos iš natūralių buveinių, užleisdamos vietą mažiau reiklioms rūšims, kurios lengviau prisitaiko prie pakitusių aplinkos sąlygų.

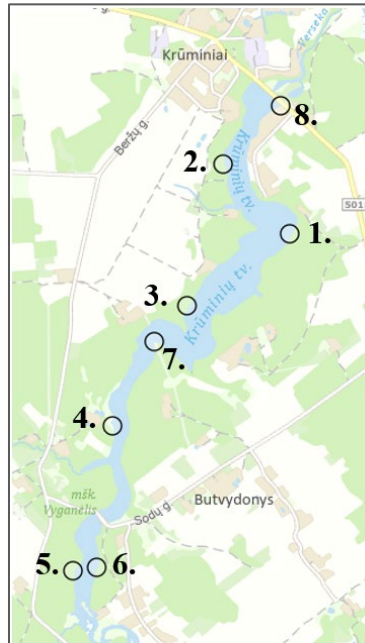
Krūminių tvenkinio pakrantę supa miškai, dirbamos žemės plotai, urbanizuotos teritorijos, todėl dėl antropogeninio poveikio buvo siekiama apžvelgti, tirti ir įvertinti Krūminių tvenkinio pakrantėse augančių makrofitų gausą, nustatyti jų rūšių įvairovę. Europos Parlamento ir Tarybos direktyvoje, nustatančioje bendrijos veiksmų vandens politikos srityje pagrindus, nurodyta, kad šia direktyva suteikiamas pagrindas

sukurti vandens aplinkos apsaugos ir atkūrimo sistemą. Makrofitai yra viena iš organizmų grupių, lemiančių paviršinių vandens telkinių ekologinę būklę (Good-quality water in Europe (EU water directive)).

Tyrimo tikslas – įvertinti Krūminių tvenkinio ekologinę būklę pagal biologinius rodiklius.

Tyrimų metodika

Krūminių tvenkinys yra dirbtinis vandens telkinys, esantis Pietų Lietuvoje, Varėnos rajone (1 pav.). Krūminių tvenkinys – Merkio ichtiologiniame draustinyje, kuris susidaręs užtvėnkus Versekos upę (Merkio intakas), 8,2 km nuo jos žiočių.



1 pav. Tyrimo vietų išsidėstymas Krūminių tvenkinyje

Fig. 1. Location of research sites in Krūminiai pond

Krūminių tvenkinys kartu su Versekos upe priklauso Merkio pabaseiniui, Nemuno upės baseinui. Krūminių tvenkinio plotas – 51 ha (0,51 km²), o kranto linijos ilgis 9,4 km. Fiksuojamas didžiausias gylis siekia iki 5 m, o vidutinis gylis yra ~ 1,55 m, tūris – 918 tūkst.

Krūminių tvenkinys yra apsuptas miškų, šiek tiek toliau – žemės ūkio paskirties žemė ir tankiai gyvenama teritorija, Krūminiai šiaurėje. Didžioji dalis kranto yra natūralaus tipo, prie užtvankos krantas betonuotas, dalis pakrantės privatizuota.

Tyrimo rezultatų įvairiapusiškumui įvertinti parinktos įvairesnės Krūminių tvenkinio pakrantės. Tyrimui pasirinkti 8 taškai. Tyrimai buvo atlikti 2024 m. vasaros laikotarpiu. Vietos parinktos pagal galimybę pasiekti pakrantę, daugelis vietų ganėtinai sudėtingos privažiuoti, nes apaugusios tankiais krūmynais, miškais arba privatizuotos gyventojų.

Tyrimas buvo atliekamas remiantis Makrofitų tyrimų ežeruose ir tvenkiniuose metodika, patvirtinta Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2013 m. gruodžio 16 d. įsakymu Nr. D1-934 „Dėl makrofitų tyrimų ežeruose ir tvenkiniuose metodikos patvirtinimo“, kuri nustato ežerų ir tvenkinių makrofitų tyrimų, atliekamų paviršinių vandens telkinių ekologinei būklei ir ekologiniam potencialui vertinti, tvarką. Tyrimui buvo naudojamos matavimo juostos, GPS imtuvas, ruletė, brydbačiai, fotoaparatas, literatūros šaltiniai (vadovėliai, žinynai).

Pagal metodiką ir atsižvelgiant į tvenkinio paviršiaus plotą apibrėžiamas rekomenduojamas tirti tyrimo vietų skaičius, t. y. nurodyta 0,5–2 km² – 4–8 transektų (Krūminių tvenkinio dydis – 0,51 km²). Kiekvienai tyrimo vietai pildoma anketa ir detalai aprašomi duomenys. Pagal metodiką tyrimai atliekami vieną kartą per metus, liepos–rugpjūčio mėnesiais. Siekiant išvengti tyrimo duomenų iškrypimo, tyrimams vietos parenkamos išlaikant atstumą ne mažiau kaip 50 m nuo vandens telkinio intakų ir ištakų. Pasirinktoje vietoje tyrimai buvo vykdomi dviejose transektos gylio zonose (< 1 m, 1–2 m) nuo kranto linijos. Krūminių tvenkinyje kiekviena surasta ir nustatyta makrofitų rūšis priskiriama vienai iš ekologinių-morfologinių grupių (panirė – potameidai ir limneidai), plūdurlapiai (nimfeidai ir lemnidai), laisvai plūduriuojantys augalai bei helofitai. Kadangi skirtingose vandens augalijos zonose gali augti tos pačios rūšies augalai, tyrimų anketoje rasta rūšis žymima tiek kartų, kiek ji buvo rasta skirtingose gylio zonose. Pagal vizualinius stebėjimus nustatomas ir įvertinamas

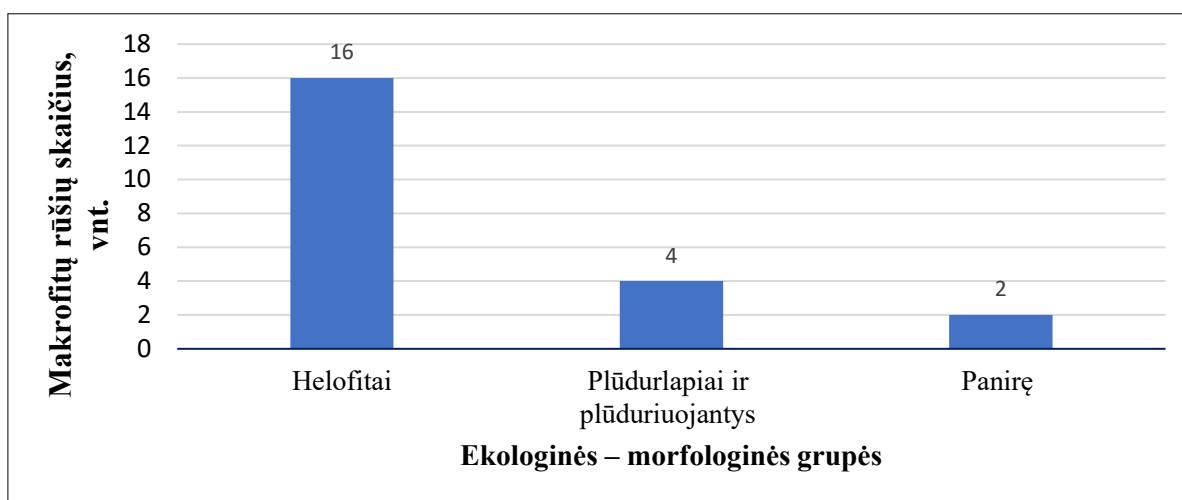
kiekvieno vandens augalo rūšies gausumas, kiekvienoje transektos gylio zonoje (< 1 m, 1–2 m), atsižvelgiant į 5 balų skalę (1 – labai reta, 2 – reta, 3 – nereta, 4 – dažna, 5 – labai dažna / vyraujanti).

Pagal metodiką buvo aprašoma tyrimo vieta: vandens telkinio pavadinimas, transektos numeris, tikslus GPS imtuvo rodoma vieta, kranto tipas (natūralus ar žmogaus pakeistas), kranto augalija ties transekta ir kiti duomenys. Pateikiami duomenys apie augalų rūšių skaičių. Pažymima, ar kranto tipas išlikęs natūralus, ar žmogaus pakeistas. Aprašomi detalūs tyrimo vietos ir makrofitų duomenys. Išskirtose gylio zonose (< 1 m, 1–2 m) įvertinamas dugno nuosėdų / substrato (akmenys, žvirgždas, smėlis, dumblas) tipas ir šlaito nuolydis (tolygus, vidutinis, status).

Statistinis vertinimas. Statistinė analizė atlikta naudojant programą „Statistica 8“, Stjudento t testą, reikšmingumo lygis buvo naudojamas $p < 0,05$.

Rezultatai ir aptarimas

Išanalizavus 2024 m. tyrimų duomenis nustatyta, kad daugumoje tirtų Krūminių tvenkinio pakrančių vietų augalijos juostos nėra ryškios, augalų išsidėstymas juostinis-fragmentiškas, jų išsivystymas silpnas. Krūminių tvenkinyje buvo nustatytos 22 makrofitų rūšys. Labiausiai vyraujanti yra helofitų ekologinė-morfologinė grupė, ją sudaro apie 16 vnt. makrofitų rūšių: gyslotinis dumblialaiškis (*Alisma plantago-aquatica*), paprastoji nendrė (*Phragmites australis*), plačialapis švendras (*Typha latifolia*), šluotelinė viksva (*Carex paniculata*), balinis ajeras (*Acorus calamus*), vandeninė mėta (*Mentha aquatica*), pakrantinė viksva (*Carex riparia*), nuodingoji nuokana (*Cicuta virosa*), ežerinis meldas (*Schoenoplectus lacustris*), balinis asiūklis (*Equisetum fluviatile* L.), plaukuotoji ožkarožė (*Epilobium hirsutum*), glaustažiedis vikšris (*Juncus conglomeratus*), pelkinis žinginyš (*Calla palustris*), siauralapė drėgnuolė (*Berula erecta*), pelkinis lakišius (*Bidens cernua*), paprastoji raudoklė (*Lythrum salicaria*) (2 pav.).

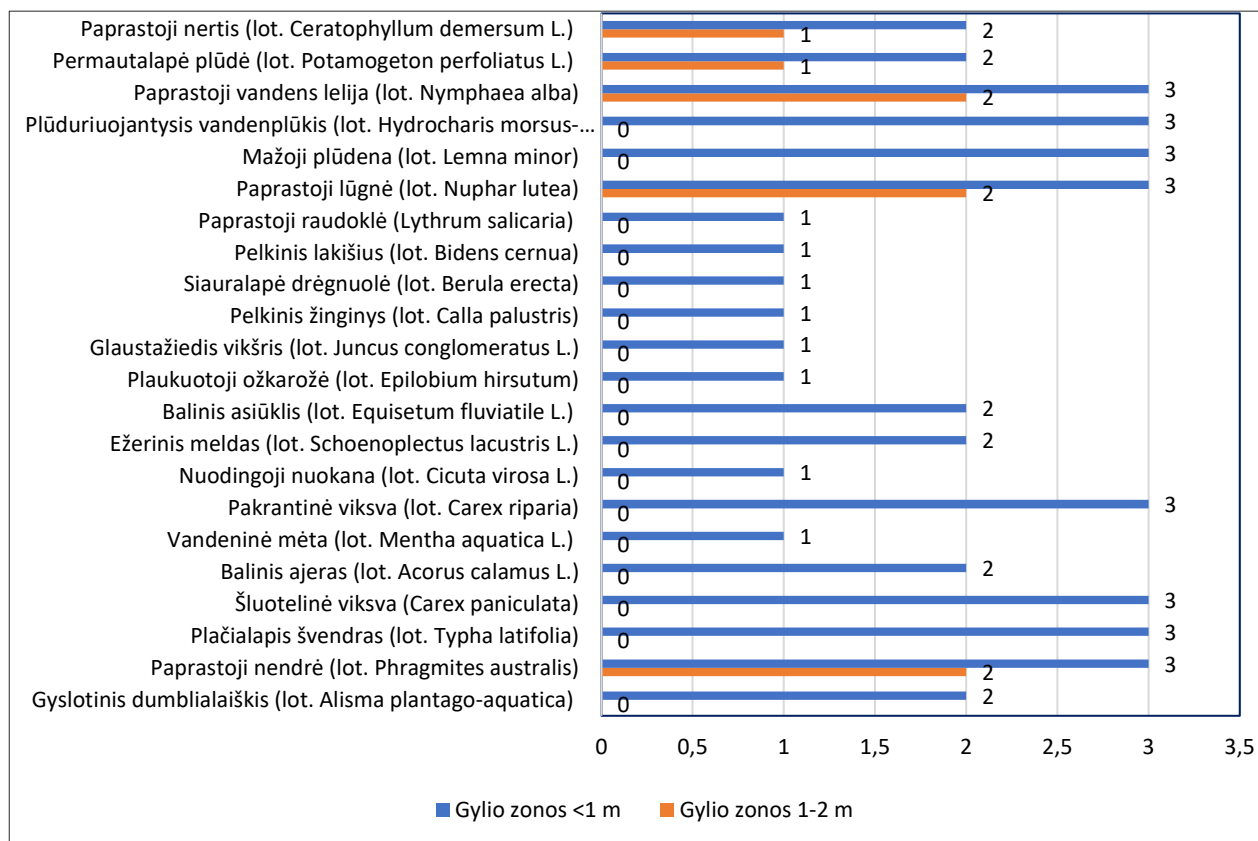


2 pav. Makrofitų rūšių priskyrimas ekologinei-morfologinei grupei

Fig. 2. Assignment of macrophyte species to an ecological-morphological group

Plūdurlapių ir plūduriuojančių ekologinei-morfologinei grupei priskirta 4 makrofitų rūšys. Šiai grupei priklauso paprastoji lūgnė (*Nuphar lutea*), mažoji plūdena (*Lemna minor*), plūduriuojantysis vandenplūkis (*Hydrocharis morsus-ranae* L.) ir paprastoji vandens lelija (*Nymphaea alba*). Krūminių tvenkinyje aptiktos permautalapė plūdė (*Potamogeton perfoliatus*) ir paprastoji nertis (*Ceratophyllum demersum*), kurios priklauso panirusių ekologinei-morfologinei grupei (2 pav.).

Krūminių tvenkinyje didžiausias makrofitų gausumas buvo aptiktas sekliuose vandenyse, mažesniame nei 1 m gylyje, kuriame aptiktos 22 makrofitų rūšys. Šioje gylio zonoje gausiausiai auga paprastoji vandens lelija (*Nymphaea alba*), mažoji plūdena (*Lemna minor*), plačialapis švendras (*Typha latifolia*), plūduriuojantysis vandenplūkis (*Hydrocharis morsus-ranae*), paprastoji lūgnė (*Nuphar lutea*), pakrantinė viksva (*Carex riparia*), šluotelinė viksva (*Carex paniculata*), plačialapis švendras (*Typha latifolia*) ir paprastoji nendrė (*Phragmites australis*) (3 pav.). Krūminių tvenkinyje retai aptinkamos paprastoji raudoklė (*Lythrum salicaria*), pelkinis lakišius (*Bidens cernua*), siauralapė drėgnuolė (*Berula erecta*), pelkinis žinginyš (*Calla palustris*), glaustažiedis vikšris (*Juncus conglomeratus*), plaukuotoji ožkarožė (*Epilobium hirsutum*), nuodingoji nuokana (*Cicuta virosa*), vandeninė mėta (*Mentha aquatica*). Paprastoji lūgnė (*Nuphar lutea*) buvo aptikta plūduriuojančios ir panirusios formos.



3 pav. 2024 m. tyrimų metu užfiksuotų makrofitų rūšių gausumas, atsižvelgiant į 5 balų skalę (1 – labai reta, 2 – reta, 3 – nereta, 4 – dažna, 5 – labai dažna / vyraujanti)

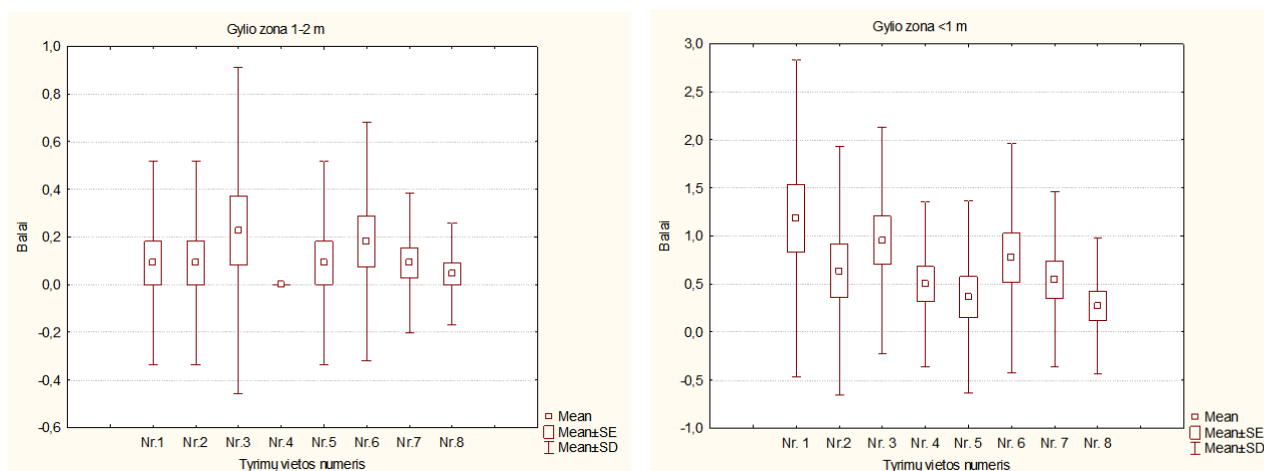
Fig. 3. Abundance of macrophyte species recorded during the 2024 surveys, based on a 5-point scale (1 – very rare, 2 – rare, 3 – not rare, 4 – common, 5 – very common/dominant)

1–2 m gylio zona skurdžiai išsivysčiusi, joje aptiktos 5 makrofitų rūšys: paprastoji nertis (*Ceratophyllum demersum*), permautalapė plūdė (*Potamogeton perfoliatus*), paprastoji vandens lelija (*Nymphaea alba*), paprastoji lūgnė (*Nuphar lutea*), paprastoji nendrė (*Phragmites australis*) (3 pav.). Šioje gylio zonoje dominuoja paprastoji lūgnė (*Nuphar lutea*), paprastoji vandens lelija (*Nymphaea alba*), paprastoji nendrė (*Phragmites australis*), o paprastoji nertis (*Ceratophyllum demersum*) ir permautalapė plūdė (*Potamogeton perfoliatus*) retai aptinkamos. Paprastoji lūgnė (*Nuphar lutea*) buvo aptikta plūduriuojančios ir pasinėrusios formos. 1–2 m gylio zonoje makrofitų gausumas retas.

2015 m. Krūminių tvenkinyje atliktų makrofitų tyrimų duomenimis, buvo identifikuota 14 makrofitų rūšių (Latvijos aplinkosaugos, geologijos ir meteorologijos centras, 2016). Iki metro gylio zonoje aptikta paprastoji nertis (*Ceratophyllum demersum*), trieilė nertvė (*Fontinalis antipyretica*), paprastoji monažolė (*Glyceria fluitans*), mažoji plūdena (*Lemna minor*), paprastoji lūgnė (*Nuphar lutea*), paprastoji vandens lelija (*Nymphaea alba*), paprastoji nendrė (*Phragmites australis*), smailialapė plūdė (*Potamogeton acutifolius*), plokščioji plūdė (*Potamogeton compressus*), permautalapė plūdė (*Potamogeton perfoliatus* L.), ežerinis meldas (*Scirpus lacustris*), paprastasis širpis (*Sparganium emersum*). Krūminių tvenkinyje identifikuotos paprastoji nertis (*Ceratophyllum demersum*), kietasis maurabragis (*Chara tomentosa*), trieilė nertvė (*Fontinalis antipyretica*), paprastoji lūgnė (*Nuphar lutea*), paprastoji vandens lelija (*Nymphaea alba*), paprastoji nendrė (*Phragmites australis*), smailialapė plūdė (*Potamogeton acutifolius*), permautalapė plūdė (*Potamogeton perfoliatus* L.) 1–2 m gylio zonoje (Latvijos aplinkosaugos, geologijos ir meteorologijos centras, 2016). 2015 m. vykdytų tyrimų duomenimis, Krūminių tvenkinyje dominuojanti rūšis yra paprastoji lūgnė (*Nuphar lutea*) bei dažnai aptinkama paprastoji nertis (*Ceratophyllum demersum*) ir permautalapė plūdė (*Potamogeton perfoliatus* L.).

Vandens telkinyje aptiktos mažoji plūdena (*Lemna minor*), plūduriuojantysis vandenplūkis (*Hydrocharis morsus-ranae*), balinis ajeras (*Acorus calamus*), gyslotinis dumblialaiškis (*Alisma plantago-aquatica*) parodo vykstančius eutrofikacijos procesus (1 lentelė). Taip pat balinis ajeras (*Acorus calamus*), mažoji plūdena (*Lemna minor*) yra indikatoriniai vandens augalai, kurie parodo, kad vandens telkinys gali būti užterštas organinėmis medžiagomis. Užterštumą sunkiaisiais metalais vandens telkinyje gali indikuoti gyslotinis dumblialaiškis (*Alisma plantago-aquatica*) ir plūduriuojantysis vandenplūkis (*Hydrocharis morsus-ranae*) (Stravinskienė, 2012).

Atlikus duomenų statistinę analizę nustatyta, kad mažesniame nei 1 m gylyje tarp penkių tyrimo vietų egzistuoja statistiškai reikšmingi skirtumai ($p = 0,0089$, $p = 0,01$, $p = 0,03$, $p = 0,03$, $p = 0,018$), todėl galima teigti, kad makrofitų rūšių įvairovės ir skaičiaus nustatymas priklauso nuo pasirinktos tyrimo vietos. Atlikus duomenų statistinę analizę nustatyta, kad 1–2 m gylio zonoje tarp tyrimo vietų skirtumai yra gana dideli, tačiau nėra statistiškai reikšmingi, todėl galima teigti, kad šioje gylio zonoje tyrimo vietos parinkimas nėra svarbus makrofitų rūšių įvairovei ir skaičiui identifikuoti (4 pav.).



4 pav. Makrofitų tyrimų vietos skirtingose gylio zonose
Fig. 4. Macrophyte research sites in different depth zones

Apibendrinus gautus rezultatus nustatyta, kad Krūminių tvenkinyje vyrauja helofitų grupė, o didžiausias rūšių gausumas pastebimas sekliuose, mažesnio nei 1 m gylio vandenyse. 1–2 m gylio zonoje makrofitų gausa yra nedidelė – čia aptiktos tik penkios rūšys. Krūminių tvenkinyje dominuojančios rūšys yra paprastoji vandens lelija (*Nymphaea alba*), paprastoji lūgnė (*Nuphar lutea*) ir paprastoji nendrė (*Phragmites australis*).

Išvados

- 2024 m. atlikus tyrimus ir apibendrinus surinktus duomenis nustatyta, kad Krūminių tvenkinyje inventorizuoti 22 rūšių makrofitai. Lyginant su 2015 m. vykdytais tyrimais, 2024 m. inventorizuotas didesnis makrofitų rūšių skaičius.
- Apibendrinus atliktų tyrimų duomenis nustatyta, kad Krūminių tvenkinyje vyrauja helofitų grupė, o didžiausias rūšių gausumas pastebimas sekliuose, mažesnio nei 1 m gylio, zonose. 1–2 m gylio zona skurdžiai išsivysčiusi ir retas makrofitų gausumas, aptiktos 5 makrofitų rūšys.
- Mažesniame nei 1 m gylyje makrofitų rūšių įvairovė ir skaičius reikšmingai priklauso nuo tyrimo vietos ($p < 0,05$). 1–2 m gylyje skirtumai tarp vietų nėra statistiškai reikšmingi, todėl šioje zonoje tyrimo vietos pasirinkimas neturi esminės įtakos makrofitų įvairovei ir skaičiui.

Literatūra

- Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy (Good-quality water in Europe (EU water directive)). <http://data.europa.eu/eli/dir/2000/60/2014-11-20>
- European Environment Agency. (2024). *Trends and projections in Europe 2024*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/trends-and-projections-in-europe-2024>
- G20 Rio de Janeiro Leaders' Declaration. (2024). <https://www.consilium.europa.eu/media/111hh2mb/g20-rio-de-janeiro-leaders-declaration-final.pdf>
- Latvijos aplinkosaugos, geologijos ir meteorologijos centras. (2016). *Fitobentosos ir makrofitų tyrimų paviršiniuose vandens telkiniuose ir ekologinės būklės pagal makrofitų etaloninį indeksą įvertinimo ataskaita*. I dalis: ežerai ir tvenkiniai. <https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Ffailai.gamta.lt%2Ffiles%2FI%2520DALIS%2520ATASKAITA.docx&wdOrigin=BROWSELINK>
- Lietuvos Respublikos upių, ežerų ir tvenkinių kadastras. <https://uetk.biip.lt/zemelapis/>

6. Makrofitų tyrimų ežeruose ir tvenkiniuose metodika, patvirtinta Lietuvos Respublikos Aplinkos ministro 2013 m. gruodžio 16 d. įsakymu Nr. D1-934 „Dėl makrofitų tyrimų ežeruose ir tvenkiniuose metodikos patvirtinimo“. <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.463383/asr>;
7. OECD. (2024). The Climate Action Monitor 2024. *OECD Publishing*, Paris. <https://doi.org/10.1787/787786f6-en>
8. Rodríguez-Merino, A., García-Murillo, P., Cirujano, S., Fernández-Zamudio, R. (2018). Predicting the risk of aquatic plant invasions in Europe: How climatic factors and anthropogenic activity influence potential species distributions. *Journal for Nature Conservation*, Vol. 45, 2018, 58–71. ISSN 1617-1381. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2018.08.007>
9. Stravinskienė, V. (2012). *Aplinkos bioindikacijos praktika*. Mokomoji knyga. VDU leidykla.

Dovilė Petraškaitė, Anželika Dautartė

Assessment of the Ecological Status of the Krūminiai Pond

The object of the study is an artificial water body, Krūminiai pond, located in the Varėna district. The study aims to assess the ecological status of the pond according to biological. The study aimed to determine the species composition and abundance of macrophytes. The study was conducted based on the Methodology for Macrophyte Research in Lakes and Ponds, approved by the Order of the Minister of the Environment of the Republic of Lithuania of 16 December 2013 No. D1-934. Data collected in 2024 from eight study sites of the pond showed that 22 macrophyte species were found in it. The dominant ecological-morphological group is helophytes, which include 16 species, among which the most common were the common reed (*Alisma plantago-aquatica*), common reed (*Phragmites australis*) and broad-leaved bulrush (*Typha latifolia*). The group of floating plants consisted of four species, such as the common pondweed (*Nuphar lutea*) and the lesser pondweed (*Lemna minor*), and the group of submerged plants consisted of two species, the perfoliate pondweed (*Potamogeton perfoliatus*) and the common watercress (*Ceratophyllum demersum*). The abundance of macrophytes was highest in shallow waters, less than 1 meter deep, where all 22 species were found. The most abundant species in this zone were the common water lily (*Nymphaea alba*), the lesser pondweed (*L. minor*) and the broad-leaved watercress (*T. latifolia*). Five macrophyte species were found in the 1–2 meter depth zone, among which the common water lily (*N. alba*) and the common pondweed (*N. lutea*) dominated. The study of macrophytes in Krūminiai Pond revealed that helophytes dominate, with the highest species abundance in shallow zones (<1 m). In this depth, macrophyte diversity and abundance significantly depend on the study site ($p < 0.05$). However, at 1–2 m, site selection has no significant impact. This suggests that shoreline zones dominate the pond's plant communities, with depth and ecological conditions shaping their distribution.

Keywords: Macrophytes, helophytes, pond.

Gauta 2025 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2025 m. balandžio mėn.

Dovilė PETRAŠKAITĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Miškų ir ekologijos fakulteto Aplinkos ir ekologijos katedros magistrantė. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52357, el. paštas: dovile.petraskaite@vdu.lt

Dovilė PETRAŠKAITĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Forest Sciences and Ecology, Department of Environment and Ecology, master student. Address: Studentų str. 11, LT-53361 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 377 52357, e-mail: dovile.petraskaite@vdu.lt

Dr. Anželika DAUTARTĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Miškų ir ekologijos fakulteto Aplinkos ir ekologijos katedros docentė. Adresas: Studentų g. 11-519, LT-53361 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52224, el. paštas: anzelika.dautarte@vdu.lt

Dr. Anželika DAUTARTĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Forest Sciences and Ecology, Department of Environment and Ecology, assoc. prof. Address: Studentų str. 11-519, LT-53361 Academy, Kaunas dist. Phone: +370 377 52224, e-mail: anzelika.dautarte@vdu.lt

UTENOS RAJONO PAVIRŠINIO VANDENS BŪKLĖS DINAMIKA 2010–2024 METAIS

Simona Navikaitė, Laima Česonienė

Vytauto Didžiojo universitetas

Vanduo yra ir išliks svarbi gyvenimo dalis. Paviršiniai vandens telkiniai, tokie kaip ežerai, upės ir upeliai, yra būtiniausi gėlo vandens rezervuarai. Požeminio ir paviršinio vandens kokybės pablogėjimas kelia pavojų vandens baseinų gyventojų sveikatai ir saugumui. Vertinant vandens kokybę daugiausia remiamasi jo fizikiniais ir cheminiais komponentais, biologine kokybe ir sunkiųjų metalų koncentracija. Paviršinio vandens būklės dinamika Utenos rajono paviršinio vandens telkiniuose buvo stebima 2010–2024 metais šiuose vandens telkiniuose: Politiškių ežere, Rašės, Vyžuonos ir Šventosios upėse. Išanalizavus pasirinktų metų duomenis buvo vertinama, kokią ekologinės būklės klasę vandens telkinys atitinka. Vertintos šios analizės: bendrasis azotas (N_b mg/l), bendrasis fosforas (P_b mg/l), ištirpęs deguonis mg/lO₂, bendrasis deguonies suvartojimas (BDS₇).

Raktiniai žodžiai: klimato kaita, bendrasis azotas (N_b mg/l), bendrasis fosforas (P_b mg/l), ištirpęs deguonis mg/lO₂, biocheminis deguonies suvartojimas (BDS₇).

Įvadas

Klimato kaita veikia pasaulio vandens išteklius ir yra pati jų paveikta. Tai mažina vandens prieinamumo prognozuojamumą ir daro įtaką vandens kokybei. Be to, klimato kaita sukelia daugiau ekstremalių oro reiškinių, kurie kelia grėsmę tvariam socialiniam ir ekonominiam vystymuisi bei biologinei įvairovei visame pasaulyje. Tai taip pat turi didelę įtaką vandens ištekliams. Dėl šių pokyčių klimato kaita daro vis didesnę spaudimą tvariam vandens valdymui. Kartu vandens valdymo metodai gali paveikti klimato kaitą (Escwa ir kt., 2020). Klimato kaitos nesustabdysime, tačiau galime sulėtinti šiuos procesus ir iš esmės pakeisti ribotų Žemės vandens išteklių naudojimo ir pakartotinio panaudojimo būdą.

Kad ir kaip skambėtų liūdnai, eutrofikacija – viena iš problemų, su kuria susiduria paviršiniai vandens telkiniai, ir su kiekvienais metais ši problema nemažėja, kadangi vis dar yra didelė dalis pramonės įmonių, individualių ūkių, kurie nevalytas nuotekas leidžia tiesiai į paviršinius vandens telkinius. Viena iš priežasčių, kodėl spartėja eutrofikacijos procesas, – su paviršiniais vandenimis sutekantys mineralinių trąšų likučiai. Nemaža dalis ūkininkų vis dar mano, jog jie visiškai neįtakoja klimato kaitos, tačiau, kaip anksčiau minėtoje vienoje iš eutrofikacijos priežasčių, galima teigti, jog didelė dalis ūkininkų siekia vienpusio tikslo, t. y. didesnio derliaus, tačiau nepagalvoja, kaip jų vykdoma veikla, pvz., tręšimas ne laiku, tinkamos trąšų koncentracijos nenustatymas, įtakoja paviršinių vandenų kokybės prastėjimą.

Kita priežastis, kodėl klimato kaita turi neigiamą poveikį vandens ekosistemoms, yra ta, jog keičiantis klimatui didėja paviršinio vandens temperatūra. Tai sukelia intensyvų dumblių žydėjimą, o melsvabakterės, kurios išsivysto šiuo laikotarpiu, sumažina deguonies kiekį vandenyje ir gali pradėti gaminti pavojingus toksinus. Po dumblių žydėjimo mikrobai pradeda skaidyti dumblių, o šis procesas sunaudoja daug deguonies. Dėl to vandenyje stipriai sumažėja deguonies koncentracija, kas lemia ichtiofaunos mažėjimą ir negyvųjų zonų atsiradimą.

Vykstanti klimato kaita didelę grėsmę kelia ir pasaulyje esantiems ežerams. Ežero paviršius yra toks pat kaip ir ledo, todėl paviršiaus temperatūra, vandens lygis itin reaguoja į klimato kaitos grėsmę. Žiemą ledo dangos sumažėjimas arba iš viso jos nebuvimas ir vandens temperatūros padidėjimas keičia ežero vandens maišymosi režimus ir didina garavimo greitį. Ekstremalus kritulių kiekis yra vienas iš klimato kaitos padarinių, todėl gausėjant ekstremaliai kritulių kiekiui tai paveiks ežerų ekosistemas ir pakeis jo kiekį bei kokybę, aprūpinimą maistu. Pasak mokslinių tyrimų, per pastaruosius apytiksliai 150 metų ežerų ledo trukmė trumpėjo ir sutrumpėjo 28 dienomis, o pastaraisiais dešimtmečiais šis kitimo procesas buvo dar didesnis (Sharma ir kt., 2020).

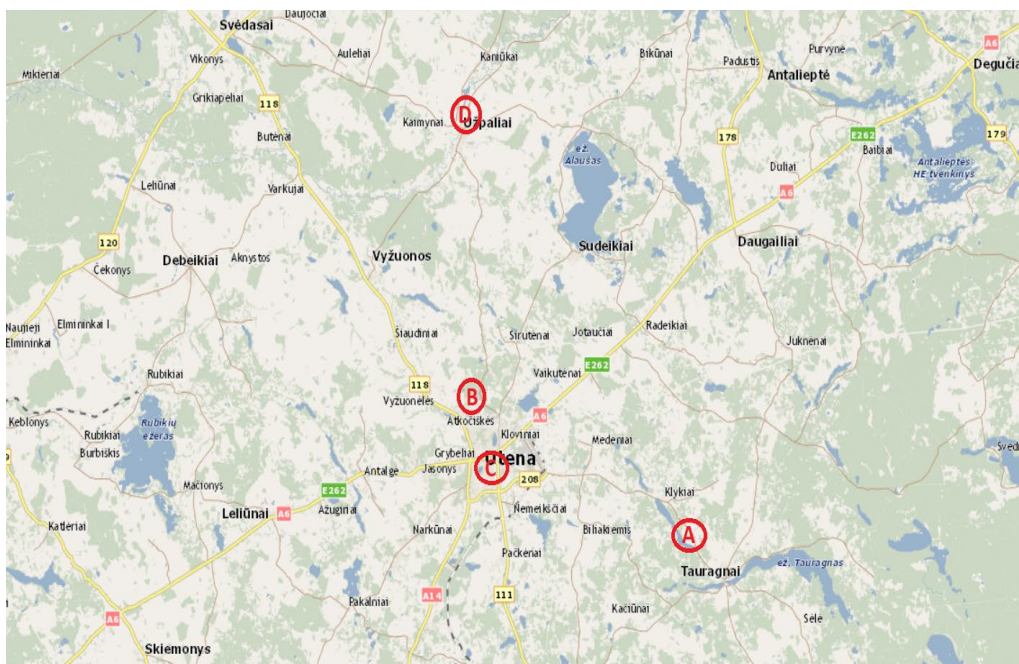
Tyrimų metodika

Utenos rajono paviršinio vandens mėginiai buvo imami 2010–2024 m., skirtingais periodais. Naudoti Utenos rajono savivaldybės aplinkos stebėsenos duomenys.

Paviršinių vandens telkinių būklei įvertinti ėminiai buvo imti Politiškių ežere, Rašės upėje žemiau paviršinių nuotekų išleidimo vietos, Vyžuonos upėje, žiotyse su Krašuonos upe, ir Šventojoje žemiau Užpalių miestelio. Visų įvardytų paviršinių vandens telkinių ėminiai buvo imti tam tikrais periodais: žiemą, pavasarį, vasarą, rudenį. Buvo vertinama, kaip slenkant metams keitėsi fizikinių-cheminių rodiklių vertės tam tikrais

periodais. Paviršinio vandens būklė vertinta pagal šių fizikinių-cheminių rodiklių vertes: bendrasis azotas (N_b mg/l), bendrasis fosforas (P_b mg/l), ištirpęs deguonis mg/lO₂, temperatūra °C.

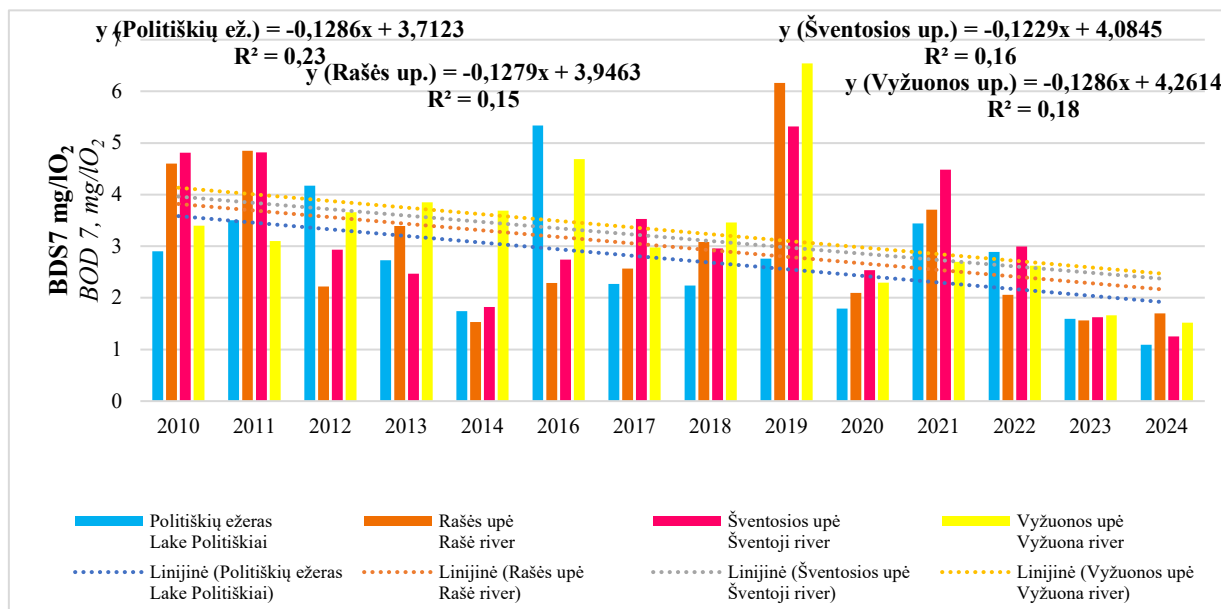
Vandens kokybės rodikliai vertinami palyginus juos su ribinėmis rodiklių vertėmis, ar neviršijamos leistinos normos ir kokią ekologinės būklės klasę atitinka vertinamas vandens telkinys. Rodiklių vertės reglamentuojamos teisinio dokumento „Paviršinių vandens telkinių būklės nustatymo metodika“, kuri patvirtinta Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2021 m. lapkričio 4 d. įsakymo Nr. D1-645 redakcija.



1 pav. Paviršinio vandens mėginių ėmimo vietos: A – Politiškių ež., B – Rašės upė, C – Vyžuonos upė, D – Šventoji
Fig 1. Surface water sampling locations: A – Politiškių Lake, B – Rašė River, C – Vyžuona River, D – Šventoji River.

Rezultatai ir aptarimas

Biocheminio deguonies suvartojimas per 7 dienas analizuotuose Utenos rajono paviršiniuose vandenyse pateiktas 2 paveiksle.



2 pav. Biocheminio deguonies suvartojimo (BDS₇) vertės paviršiniuose vandens telkiniuose

Fig 2. Biochemical oxygen demand (BOD₇) values in surface water bodies

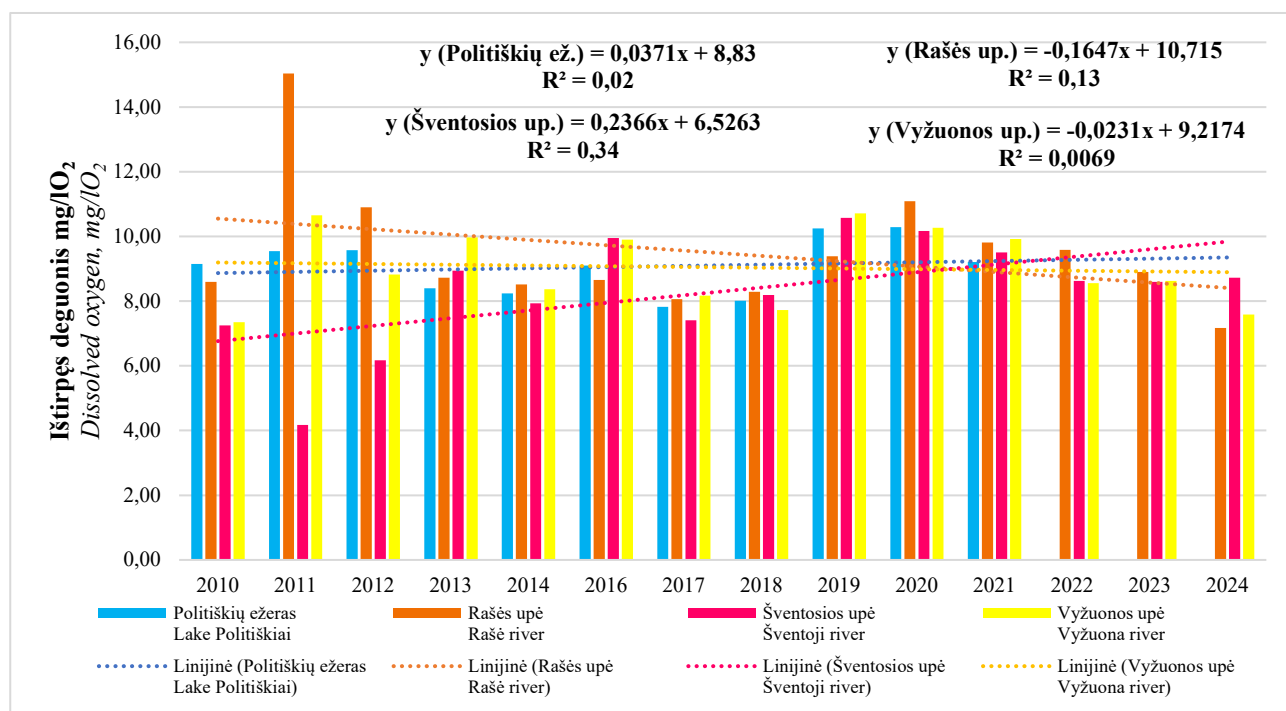
Paviršinių vandens telkinių būklė pagal BDS₇ vertes vertinta pagal upių ekologinės būklės klasės kriterijų rodiklių ribines vertes bei ežerų ekologinės būklės klasės kriterijų rodiklių ribines vertes. Gerai ekologiškai būklės klasei pagal BDS₇ priskiriamos tos upės, kuriose BDS₇ koncentracija yra 2,30–3,30 mg/l O₂ ribose, o

ežerai priskiriami geros ekologinės būklės klasei, kai BDS₇ koncentracija yra 1,8–3,2 mg/l O₂. Rašė ir Šventoji 2010 m. neatitiko geros ekologinės būklės klasės vertės, Vyžuonos upė buvo arti ribos, tačiau ji atitiko tik vidutinę ekologinės būklės klasę. 2011 m. taip pat Rašė ir Šventoji neatitiko geros ekologinės būklės klasės vertės. 2012 m. Vyžuonos upė, 2013 m. Vyžuonos bei Rašės upės, 2014–2016 m. Vyžuonos upė, 2017 m. Šventoji neatitiko geros ekologinės būklės klasės vertės, 2019 m. buvo didelis viršijimas, visos trys tirtos upės atitiko blogos ekologinės būklės klasės kriterijus pagal BDS₇ vertes. 2020 m. visos upės atitiko geros ekologinės būklės klasės vertes, o 2021 m. Rašės ir Šventosios upės atitiko vidutinės ekologinės būklės klasės vertes.

Vertinant Politiškių ežerą matyti, jog geros ekologinės būklės klasės ribas atitiko 2010, 2013–2015, 2017–2020 m., išskyrus 2011, 2012, 2021 m., kai atitiko vidutinės ekologinės būklės klasės vertes pagal BDS₇, o 2016 m. – blogos ekologinės būklės klasę.

Įvertinus analizuotų Utenos rajone esančių paviršinių vandens telkinių BDS₇ verčių dinamiką 2010–2024 m. laikotarpį, nustatyta menka BDS₇ vertės mažėjimo tendencija: Politiškių ežere – $R^2 = 0,23$; Rašės upėje – $R^2 = 0,15$; Šventosios upėje – $R^2 = 0,16$; Vyžuonos upėje – $R^2 = 0,18$.

Ištirpusio deguonies koncentracijos kitimas 2010–2024 m. Utenos rajono paviršiniuose vandens telkiniuose pateiktas 3 paveiksle.



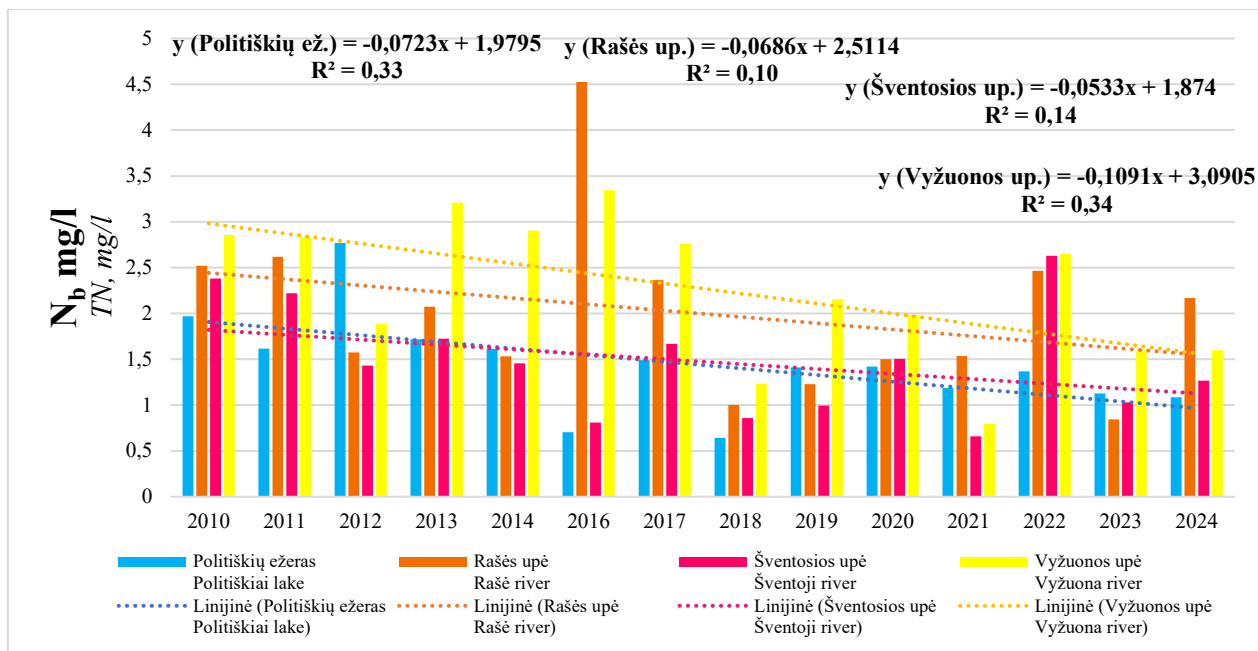
3 pav. Ištirpusio deguonies vertės paviršiniuose vandens telkiniuose

Fig 3. Dissolved oxygen values in surface water bodies

Įvertinus analizuotų Utenos rajone esančių paviršinių vandens telkinių ištirpusio deguonies verčių dinamiką 2010–2024 m. nustatyta visuose vandens telkiniuose menka ištirpusio deguonies kiekio mažėjimo tendencija: Politiškių ežere – $R^2 = 0,02$; Rašės upėje – $R^2 = 0,13$; Šventosios upėje – $R^2 = 0,16$; Vyžuonos upėje – $R^2 = 0,0069$, išskyrus Šventosios upę, kadangi joje nustatyta menka ištirpusio deguonies kiekio didėjimo tendencija – $R^2 = 0,34$.

Išanalizavus viešai prieinamą informaciją nustatyta, jog 2017 m. buvo atliktas tyrimas, kurio metu gauti priešingi rezultatai mano atliktiems, t. y. per ilgą Žemės istoriją vandenynas buvo įvairių oksidacijos būsenų, tačiau vis labiau daugėja įrodymų, jog paviršiniuose vandens telkiniuose esantis deguonies kiekis mažėja. Manoma, kad pasaulinis atšilimas prisideda prie deguonies nykimo. Visame pasaulyje anoksiško vandens (toks vanduo, kuriame nėra pakankamo deguonies kiekio) kiekis padidėjo keturis kartus (Schmidtko ir kt., 2017).

Bendrojo azoto (Nb) koncentracijos kitimas 2010–2024 m. tirtuose paviršiniuose vandens telkiniuose, esančiuose Utenos rajone, pavaizduotas 4 paveiksle.

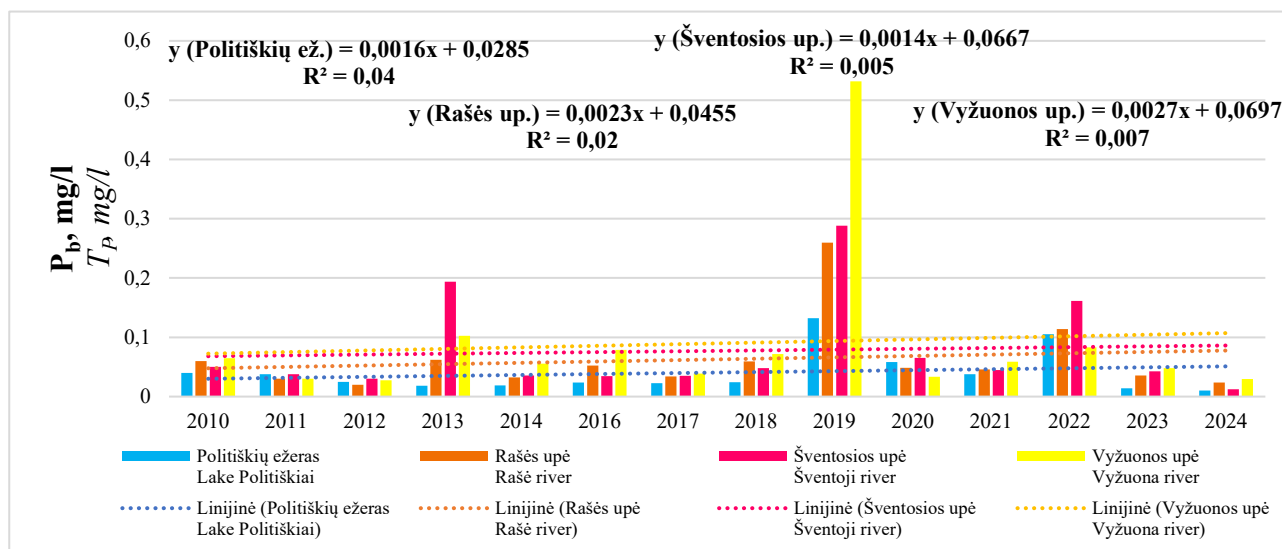


4 pav. Bendrojo azoto vertės paviršiniuose vandens telkiniuose

Fig 4. General nitrogen values in surface water bodies

Paviršinių vandens telkinių būklė pagal bendrojo azoto koncentracijas vertinta pagal upių ekologinės būklės klasės kriterijų rodiklių ribines vertes bei ežerų ekologinės būklės klasės kriterijų rodiklių ribines vertes. Gerai ekologinei būklės klasei priskiriamos tos upės, kuriose N_b koncentracija yra 2,0–3,0 mg/lN ribose, o ežerai gerai ekologinei būklės klasei priskiriami tuomet, kai N_b koncentracija yra 1,0–2,0 mg/lN ribose. Nustatyta, kad Vyžuonos upė 2013 ir 2016 m. atitiko vidutinę ekologinės būklės klasę. Įvertinus Politiškių ežerą matyti, jog tik 2012 m. pagal bendrojo azoto koncentraciją atitiko vidutinės ekologinės būklės klasės vertes.

Įvertinus analizuotų Utenos rajone esančių paviršinių vandens telkinių bendrojo azoto verčių dinamiką 2010–2024 m., nustatyta menka bendrojo azoto vertės mažėjimo tendencija: Politiškių ežere – $R^2 = 0,33$; Rašės upėje – $R^2 = 0,10$; Šventosios upėje – $R^2 = 0,14$; Vyžuonos upėje – $R^2 = 0,34$. Bendrojo fosforo (Pb) koncentracijos kitimas 2010–2024 m. tirtuose paviršiniuose vandens telkiniuose, esančiuose Utenos rajone, pavaizduotas 5 paveiksle.



5 pav. Bendrojo fosforo vertės paviršiniuose vandens telkiniuose

Fig 5. General phosphorus values in surface water bodies

Analizuotų paviršinių vandens telkinių būklė pagal bendrojo fosforo vertes buvo vertinta pagal upių ekologinės būklės klasės kriterijų rodiklių ribines vertes bei ežero ekologinės būklės klasės kriterijų rodiklių ribines vertes. Gerai ekologinei būklės klasei upė priskiriama, kai bendrojo fosforo koncentracija yra 0,100–0,140 mg/lP ribose, o ežeras gerai ekologinei būklės klasei priskiriamas, kuomet bendrojo fosforo

koncentracija yra 0,030–0,050 mg/IP ribose. Išanalizavus rezultatus matyti, jog 2010–2012 m. visi tirti paviršiniai vandens telkiniai atitiko net labai geros ekologinės būklės klasę. Politiškių ežeras 2013–2018, 2021, 2023–2024 m. atitiko taip pat labai geros ekologinės būklės klasę, tačiau 2019 ir 2022 m. buvo labai blogos ekologinės būklės klasės. Kalbant apie upes, 2014–2018, 2020–2021, 2023–2024 m. atitiko labai geros ekologinės būklės klasę, tačiau, kaip ir Politiškių ežere, buvo itin ryškus bendrojo fosforo koncentracijų augimas 2019 m., kuomet visos tirtos upės atitiko blogos arba labai blogos ekologinės būklės klasę.

Įvertinus analizuotų Utenos rajone esančių paviršinių vandens telkinių bendrojo fosforo verčių dinamiką 2010–2024 m. matyti, jog, priešingai nei bendrojo azoto, bendrojo fosforo koncentracija paviršiniuose vandens telkiniuose nežymiai didėjo: Politiškių ežere – $R^2 = 0,04$; Rašės upėje – $R^2 = 0,02$; Šventosios upėje – $R^2 = 0,05$; Vyžuonos upėje – $R^2 = 0,07$.

Išvados

1. Įvertinus paviršinio vandens būklės dinamiką galima teigti, jog 2010–2024 m. Utenos rajone BDS₇, bendrojo azoto koncentracijos mažėjo.
2. Išanalizavus paviršinio vandens telkinius Utenos rajone galima teigti, jog 2010–2024 m. bendrojo fosforo, ištirpusio deguonies koncentracijos augo.

Literatūra

1. Eca, U., Ece, U., Eclac, U., Escap, U., Escwa, U., & World Health Organization (WHO). (2020). *Water and climate change*. UNESCO.
2. Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija. (2019). *Dėl paviršinių vandens telkinių būklės nustatymo metodikos patvirtinimo* Nr. D1-645. <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.296626/asr>
3. Schmidtke, S., Stramma, L., & Visbeck, M. (2017). Decline in global oceanic oxygen content during the past five decades. *Nature*, 542, 335–339.
4. Woolway, R. I., Kraemer, B. M., Lenters, J. D., Merchant, C. J., O'Reilly, C. M., & Sharma, S. (2020). Global lake responses to climate change. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(8), 388–403.

Laima Česonienė, Simona Navikaitė

The Dynamics of Surface Water Conditions in Utena District in 2010–2024

Water will remain an important part of life. Surface water bodies, such as lakes, rivers, and streams, are essential freshwater reservoirs. The deterioration of groundwater and surface water quality poses a threat to the health and safety of the water basin's population. Water quality is mainly assessed based on its physical and chemical components, biological quality, and heavy metal concentrations. The dynamics of surface water conditions in Utena district's water bodies were monitored from 2010 to 2024 in the following water bodies: Lake Politiškiai, and the Rašė, Vyžuona, and Šventoji Rivers. The data from the analysed years were used to assess which ecological status class the water body belongs to. The following parameters were evaluated: total nitrogen (TN mg/l), total phosphorus (TP mg/l), dissolved oxygen (mg/l O₂), and biochemical oxygen demand (BOD₇).

Keywords: Climate change, total nitrogen (TN mg/l), total phosphorus (TP mg/l), dissolved oxygen (mg/l O₂), biochemical oxygen demand (BOD₇).

Gauta 2025 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2025 m. kovo mėn.

Simona NAVIKAITĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Miškų ir ekologijos fakulteto Aplinkos ir ekologijos katedros magistrantė. Adresas: Studentų g. 15a, LT-53362 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52357, el. paštas: simona.navikaite@vdu.lt

Simona NAVIKAITĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Forest Sciences and Ecology, Department of Environment and Ecology, Master student. Address: Studentų str. 15a, LT-53362 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 377 52357, e-mail: simona.navikaite@vdu.lt

Laima ČESONIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Miškų ir ekologijos fakulteto Aplinkos ir ekologijos katedros vedėja, prof. dr. Adresas: Studentų g. 11-511, LT-53361 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52224, el. paštas: laima.cesonienel@vdu.lt

Laima ČESONIENĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Forest Sciences and Ecology, Department of Environment and Ecology, prof. dr. Address: Studentų g. 11-511, LT-53361 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 377 52224, e-mail: laima.cesonienel@vdu.lt

VAITIEKŪNŲ TVENKINIO VANDENS BŪKLĖS DINAMIKA 2021–2024 M.

Ligita Junel, Laima Česonienė

Vytauto Didžiojo universitetas

Straipsnyje aptariama Radviliškio rajone esančio Vaitiekūnų tvenkinio fizikinių-cheminių rodiklių dinamika 2021–2024 metais. Analizuojami rodikliai: bendrojo azoto (N_b mg/l), bendrojo fosforo (P_b mg/l) ir biocheminio deguonies suvartojimas (BDS_7 mg/l O_2). Pagal paviršinio vandens telkinių nustatymo metodiką ir fizikinių-cheminių rodiklių vertes nustatyta, kad Vaitiekūnų tvenkinys 2021–2022 m. atitiko labai gerą ir gerą, 2024 m. – blogą, 2023 m. – labai blogą ekologinio potencialo klasę. Didžiausia bendrojo azoto (N_b) vertė nustatyta 2023 m. – 8,32 mg/l, bendrojo fosforo (P_b) 2022 m. – 0,05 mg/l, biocheminio deguonies suvartojimo (BDS_7 mg/l O_2) 2024 m. – 3,15 mg/l O_2 .

Raktiniai žodžiai: tvenkinys, BDS_7 , fizikiniai-cheminiai rodikliai.

Įvadas

Klimato kaitos neapibrėžtumas ir didelė vandens paklausa daro spaudimą gamtinių vandens išteklių tiekimui. Tam reikia ne tik geresnio supratimo, bet ir raginimo imtis neatidėliotinų intervencijų, švelninimo ir prisitaikymo priemonių (Mwelwa et al., 2024).

Nepaisant plačiai paplitusio susirūpinimo dėl klimato kaitos, dauguma žmonių nevykdo veiksmų dėl klimato kaitos, būtinų siekiant sumažinti pasaulinio atšilimo keliamą riziką (Goldwert et al., 2024).

Vandens kokybė ir vandens ekosistemų būklė vaidina labai svarbų vaidmenį ekonomikai ir žmonių gerovei. Užterštas vanduo tampa netinkamas naudoti gėrimui, žemės ūkio veiklai, pramonei. Dėl augančio ir galimai nesaikingo mineralinių trąšų naudojimo ūkiuose vis didėjantys nitratų kiekiai Lietuvos upėmis nunešami į Kuršių marias ir Baltijos jūrą. Susidariusi nitratų koncentracija yra pagrindinis veiksnys, skatinantis eutrofikaciją – spartų upių vagų, ežerų užžėlimą ir uždumblėjimą, dažnus ežerų, Kauno ir Kuršių marių ir net Baltijos jūros žydėjimo reiškinius, žuvų kritimo atvejus. Šylantis klimatas spartina eutrofikacijos procesus, kurie šalies vandens telkinius gali paversti vis mažiau tinkamus maudytis, žvejybai bei poilsiui, gyvuliams girdyti ir kitoms reikmėms. Svarbiausia – eutrofikacijai pažengus, grąžinti vandens telkinio ekosistemą į ankstesnę stadiją arba neįmanoma, arba pernelyg brangu (Aplinkos..., 2019).

Tvenkiniai yra būdingas daugelio kaimų subtropikuose bruožas ir buvo plačiai naudojami kaip svarbūs vandens šaltiniai žemės ūkiui, akvakultūrai ir požeminiam vandeniui papildyti, taip pat didinant kaimų atsparumą potvyniams ir sausroms (Goyal et al., 2021).

Upių baseinai visada patiria spaudimą dėl vykstančios antropogeninės veiklos šiose srityse, o tai kenkia vandens kokybei (Mahabeer et al., 2021).

Kadangi reikia intensyvuoti žemės ūkį, kad būtų patenkintas augantis maisto poreikis, labai išaugo pesticidų naudojimas siekiant apsaugoti pasėlius, tačiau skirtinguose pasaulio regionuose jis skiriasi (Basu et al., 2024).

Pesticidai paprastai būna kartu žemės ūkio paviršiniuose vandenyse ir gali kelti grėsmę žmonių ir ekosistemų sveikatai. Kadangi pesticidų patikra pasaulio žemės ūkio paviršiniuose vandenyse yra didžiulis analitinis iššūkis, iš esmės trūksta išsamaus pesticidų rizikos pasaulio žemės ūkio paviršiniuose vandenyse vaizdo (Chen et al., 2024).

Šiuo metu pagrindiniai vandens kokybės stebėjimo metodai apima mėginių ėmimą vietoje ir laboratorinę analizę, kurią riboja įvairūs veiksniai, tokie kaip reljefas ir klimatas (Liang et al., 2024).

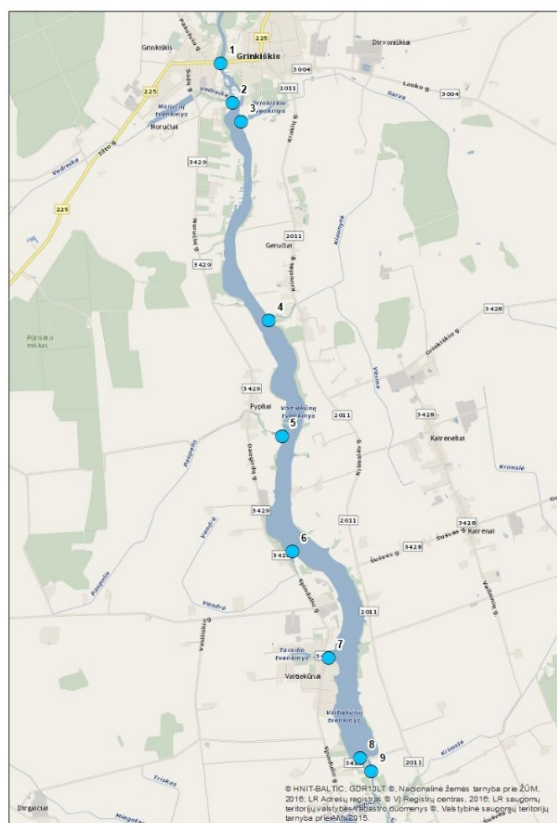
Pagal Upių, ežerų ir tvenkinių kadastro duomenis Vaitiekūnų tvenkinys patenka į Nemuno upės baseiną, Nevėžio upės pabasinį. Vaitiekūnų tvenkinys susidarė patvenkus Šušvės upę. Tvenkinio vandens paviršiaus plotas be salų yra 144,1 ha, o kranto linijos ilgis – 20 km.

Tyrimo tikslas – įvertinti Vaitiekūnų tvenkinio ekologinę būklę pagal fizikinius-cheminius rodiklius.

Tyrimų metodika

Vaitiekūnų tvenkinio vanduo buvo vertinamas 2021–2024 m. 9 jo vietose. Vandens ėminiai imami 4 kartus per metus. Nustatytos fizikinių-cheminių rodiklių vertės: bendrojo azoto (N_b), bendrojo fosforo (P_b) ir biocheminio deguonies suvartojimo per 7 paras (BDS_7). Naudojami 2021 m. (Radviliškio..., 2022) ir 2022 m. (Radviliškio..., 2022) Radviliškio rajono savivaldybės monitoringų duomenys. 2023–2024 m. tyrimai atlikti VDU ŽŪA Miškų ir ekologijos fakulteto Aplinkotyros laboratorijoje. Nustatytos vertės lyginamos su paviršinio vandens telkinių nustatymo metodika, patvirtinta Lietuvos Respublikos aplinkos ministro įsakymu 2007-04-12 Nr. D1-210 „Dėl Paviršinių vandens telkinių nustatymo metodikos patvirtinimo“ (Dėl

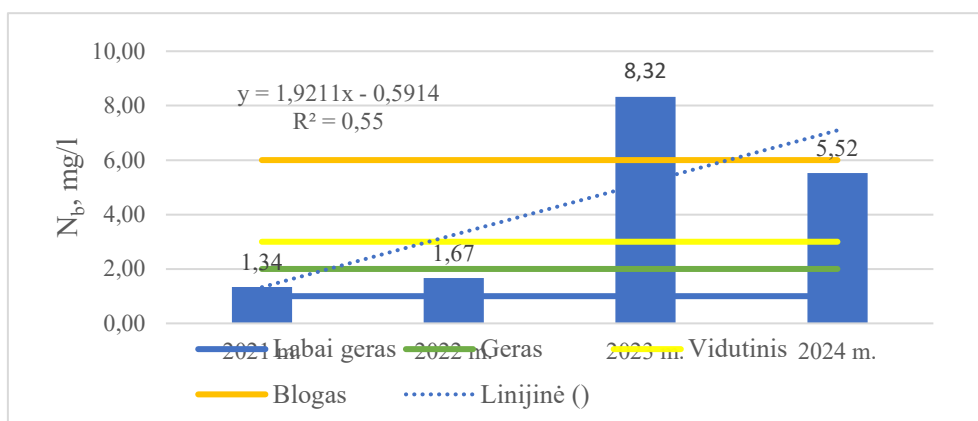
Paviršinių..., 2021). Metodikoje nurodyti dirbtinių ir labai pakeistų telkinių ekologinės būklės vertinimo kriterijai bei nurodytos paviršinių vandens telkinių būklės klasifikavimo taisyklės. Rodiklių verčių dinamikai nustatyti naudojamas trendas. Vandens ėminių vietos Vaitiekūnų tvenkinyje pažymėtos 1 paveiksle.



1 pav. Vandens ėmimo vietos Vaitiekūnų tvenkinyje
Fig. 1. Water sampling location in Vaitiekūnai pond

Rezultatai ir aptarimas

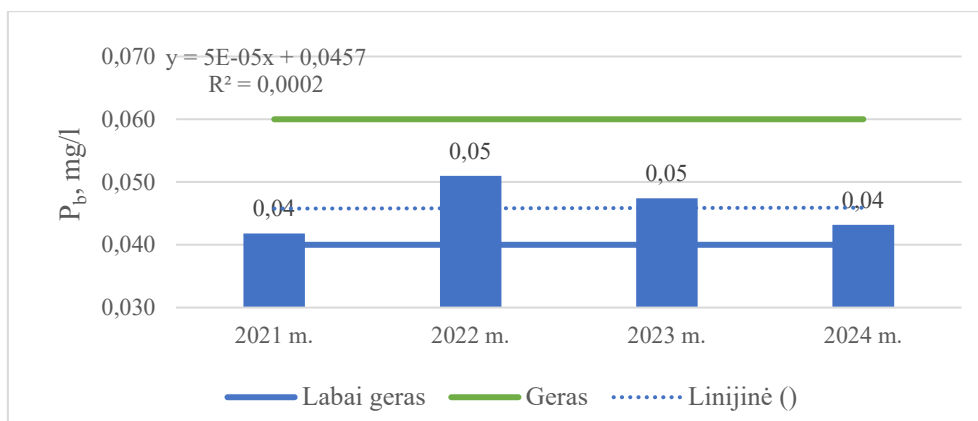
Bendrojo azoto (N_b) 2021–2024 m. verčių vidutinės vertės Vaitiekūnų tvenkinyje pateiktos 2 paveiksle.



2 pav. Bendrojo azoto (N_b) vertės Vaitiekūnų tvenkinyje
Fig. 2. Total nitrogen (N_b) values in Vaitiekūnai pond

2021–2022 m. pagal bendrojo azoto (N_b) verčių vidutinės metų vertės Vaitiekūnų tvenkinys atitinka gerą, 2024 m. – blogą, 2023 m. – labai blogą ekologinio potencialo klasę. Didžiausia vertė nustatyta 2023 m. – 8,32 mg/l. Nustatyta žymi didėjimo tendencija (funkcija teigiama, determinacijos koeficientas $R^2 = 0,55$).

Bendrojo fosforo (P_b) 2021–2024 m. verčių vidutinės vertės Vaitiekūnų tvenkinyje pateiktos 3 paveiksle.

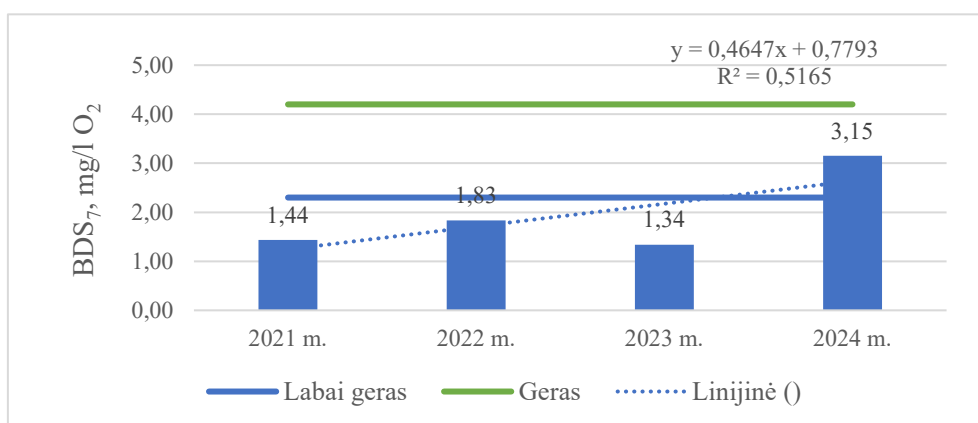


3 pav. Bendrojo fosforo (P_b) vertės Vaitiekūnų tvenkinyje

Fig. 3. Total phosphorus (P_b) values in Vaitiekūnai pond

2021–2024 m. pagal bendrojo fosforo (P_b) verčių vidutines metų vertes Vaitiekūnų tvenkinys atitinka gerą ekologinio potencialo klasę. Didžiausia vertė nustatyta 2022 m. – 0,05 mg/l. Nustatyta labai maža didėjimo tendencija (funkcija teigiama, determinacijos koeficientas $R^2 = 0,0002$).

Biocheminio deguonies suvartojimo (BDS_7) 2021–2024 m. verčių vidutinės vertės Vaitiekūnų tvenkinyje pateiktos 4 paveiksle.



4 pav. Biocheminio deguonies suvartojimo (BDS_7) vertės Vaitiekūnų tvenkinyje

Fig. 4. Biochemical oxygen demand (BOD_7) values in Vaitiekūnai pond

2021–2023 m. pagal biocheminio deguonies suvartojimo (BDS_7) verčių vidutines metų vertes Vaitiekūnų tvenkinys atitinka labai gerą, 2024 m. – gerą ekologinio potencialo klasę. Didžiausia vertė nustatyta 2024 m. – 3,15 mg/l O₂. Nustatyta žymi didėjimo tendencija (funkcija teigiama, determinacijos koeficientas $R^2 = 0,52$).

Išvados

1. Vertinant bendrojo azoto (N_b), bendrojo fosforo (P_b) ir biocheminio deguonies suvartojimo (BDS_7) verčių vidutines vertes nustatyta, kad Vaitiekūnų tvenkinys 2021–2022 m. atitiko labai gerą ir gerą, 2024 m. – blogą, 2023 m. – labai blogą ekologinio potencialo klasę.
2. Nustatyta stipri bendrojo azoto (N_b) (funkcija teigiama, determinacijos koeficientas $R^2 = 0,55$) ir biocheminio deguonies suvartojimo (BDS_7) (funkcija teigiama, determinacijos koeficientas $R^2 = 0,52$) verčių didėjimo tendencija, kas gali lemti Vaitiekūnų tvenkinio ekologinės būklės pablogėjimą. Labai maža didėjimo tendencija (funkcija teigiama, determinacijos koeficientas $R^2 = 0,0002$) nustatyta bendrojo fosforo (P_b) verčių.

Literatūra

1. Basu, P., Ngo, H. T., Aizen, M. A., Garibaldi, L. A., Gemmill-Herren, B., Imperatriz-Fonseca, V., Klein, A. M., Potts, S. G., Seymour, C. L., Vanbergen, A. J. (2024). Pesticide impacts on insect pollinators: Current knowledge and future research challenges. *Science of The Total Environment*, 954.
2. Chen, J., Zhao, L., Wang, B., He, X., Duan, L., Yu, G. (2024). Uncovering global risk to human and ecosystem health from pesticides in agricultural surface water using a machine learning approach. *Environment International*.

3. Goyal, V. C., Singh, O., Singh, R., Chhoden, K., Kumar, J., Yadav, S., Singh, N., Shrivastava, N. G., Carvalho, L. (2021). Ecological health and water quality of village ponds in the subtropics limiting their use for water supply and groundwater recharge. *Journal of Environmental Management*, 277.
4. Goldwert, D., Doell, K., Bavel, J., Vlasceanu, M. (2024). Climate change terminology does not influence willingness to take climate action. *Journal of Environmental Psychology*, 100.
5. Liang, Y., Ding, F., Liu, L., Yin, F., Hao, M., Kang, T., Zhao, C., Wang, Z., Jiang, D. (2024). Monitoring water quality parameters in urban rivers using multi-source data and machine learning approach. *Journal of Hydrology*.
6. Lietuvos Respublikos aplinkos ministro įsakymas „Dėl Paviršinių vandens telkinių būklės nustatymo metodikos patvirtinimo“. <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.296626/asr> [žiūrėta 2024-11-23].
7. Mahabeer, P., Tekere, M. (2021). Anthropogenic pollution influences on the physical and chemical quality of water and sediments of the umdloti river system, Kwazulu-Natal. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 123.
8. Mwelwa, D., Mwaanga, P., Nguvulu, A., Tena, T., Taye, G. (2024). Assessment of catchment water resources allocation under climate change in Luwombwa sub-catchment. *Heliyon*, 10.
9. Radviliškio rajono savivaldybės aplinkos monitoringo ataskaita už 2021 metus. https://www.radviliskiormonitoringas.lt/?vieta=metines_ataskaitos
10. Radviliškio rajono savivaldybės aplinkos monitoringo ataskaita už 2022 metus. https://www.radviliskiormonitoringas.lt/?vieta=metines_ataskaitos

Ligita Junel, Laima Česonienė

Dynamics of Water Condition of Vaitiekūnai Pond 2021–2024

The article discusses the dynamics of the physical-chemical indicators of the Vaitiekūnai pond in the Radviliškis district from 2021 to 2024. The analyzed indicators include total nitrogen (N_b mg/l), total phosphorus (P_b mg/l), and biochemical oxygen demand (BOD_7 mg/l O_2).

According to the methodology for determining surface water bodies and the values of physical-chemical indicators, the Vaitiekūnai pond was classified as having a very good and good ecological potential in 2021-2022, poor in 2024, and very poor in 2023. The highest total nitrogen (N_b) value was recorded in 2023 at 8.32 mg/l, the highest total phosphorus (P_b) value in 2022 at 0.05 mg/l, and the highest biochemical oxygen demand (BOD_7) in 2024 at 3.15 mg/l O_2 .

Keywords: Pond, BDS_7 , the physical-chemical indicators.

Gauta 2025 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2025 m. balandžio mėn.

Ligita JUNEL. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Miškų ir ekologijos fakulteto Aplinkos ir ekologijos instituto studentė. Adresas: Mėtų g. 44, LT-53458 Virbališkiai, Kauno r., tel. +370 606 22190, el. paštas: ligita.junel@vdu.lt

Ligita JUNEL. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Academy Faculty of Forest Sciences and Ecology Environment and Ecology Institute student, researcher. Address: Mėtų str. 44, LT-53458 Virbališkiai, Kaunas dist. Phone: +370 606 22190, e-mail: ligita.junel@vdu.lt

Laima ČESONIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Miškų ir ekologijos fakulteto Aplinkos ir ekologijos instituto profesorė. Adresas: Studentų g. 11-518, LT-53361 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52224, el. paštas: laima.cesonienel@vdu.lt

Laima ČESONIENĖ. Vytautas Magnus University, Faculty of Forestry and Ecology, Institute of Ecology and Environment, prof. Address: Studentu str. 11-518, LT-53361 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 377 52224, e-mail: laima.cesonienel@vdu.lt

SUBSTRATO RŪGŠTINGUMO ĮTAKA MIKROSKOPINIŲ GRYBŲ FERMENTINIAM AKTYVUMUI

Rūta Bugytė, Vita Raudonienė, Danguolė Bridžiuvienė

Valstybinis mokslinių tyrimų institutas Gamtos tyrimų centras

Mikroskopinių grybų pasiskirstymas ir aktyvumas dirvožemyje tiesiogiai priklauso nuo įvairių abiotinių veiksnių. Tyrimu siekiama nustatyti mikroskopinių grybų, išskirtų iš kompostinės žemės, katalizinio potencialo priklausomybę nuo terpės pH. Mikroskopiniams grybams išskirti ir jų kiekiui nustatyti buvo naudojamas suspensijos praskiedimo metodas. Buvo atliktas kokybinis fermentinio (endogliukanazinio, lipazinio, proteazinio, fenoloksidazinio ir amilazinio) aktyvumo nustatymas naudojant selektyvias terpes ir vertinamas pagal aktyvumo zonas (mm). Nustatyta, kad mikroskopinių grybų skaičius kompostinėje žemėje buvo $5,01 \times 10^4$ KSV/g. Tyrimai parodė, jog *Chrysosporium*, *Lecanicillium* ir *Geotrichium* genčių padermių proteazinis aktyvumas buvo didžiausias esant pH 4. *Trichoderma* ir *Penicillium* fermentiniai aktyvumai priklausė ne tik nuo terpės pH, bet ir nuo grybo padermės.

Raktiniai žodžiai: mikroskopiniai grybai, pH reikšmė, fermentinis aktyvumas.

Įvadas

Augalai ir mikroorganizmai sudaro didžiąją dalį visos žemės biomasės (Bar-On, 2018). Kartu jie yra anglies, fosforo, azoto ciklų varikliai, sujungiantys sausumos ir atmosferos resursų srautą. Augalai šiuose cikluose užima organinės anglies kaupimo vaidmenį, o mikroorganizmai – jos perdirbimo. Per didelis mikroorganizmų veiklos aktyvumas sukelia organinės anglies dirvožemyje trūkumą ir klimato kaitą skatinančių dujų kaupimąsi. Dirvožemio irimas yra toks pat svarbus ar net svarbesnis atmosferinio CO₂ pertekliaus veiksnys nei iškastinio kuro deginimas (Blakemore, 2022). Tad šiais laikais sprendžiant globalinio atšilimo problemas itin aktualūs mikrobiologiniai sprendimai (American Society for Microbiology, 2022).

Pagrindiniai mikroorganizmų skaidomi anglies komponentai žemėje yra besikaupiantis augalų ligninas, celiuliozė ir hemiceliuliozė – labiausiai paplitę sausumos organiniai polimerai. Mikroskopiniai grybai vykdo policiklinių aromatinių angliavandenilių, sunkiųjų metalų, žemės ūkio atliekų, pesticidų bei įvairios kilmės polimerinių medžiagų degradaciją. Kiekvieno polimero skaidymo procesas skiriasi, skirtingiems cheminiam ryšiams nutraukti reikia skirtingų fermentų ir sąlygų (Ez-Zahraoui, 2023). Dirvožemio biokatalizatoriai jau seniai naudojami organinių atliekų perdirbimo tikslais, tačiau jų fiziologinės savybės tiesiogiai priklauso nuo juos supančios aplinkos veiksnių.

Viena iš esminių sąlygų yra substrato rūgštingumas, kuris veikia mikroorganizmų pasiskirstymą dirvožemyje, jų augimą, fermentinio aktyvumo ypatumus. Optimalus dirvožemio rūgštingumas yra 6–7 pH. Šiame intervale augalams lengviausia pasisavinti medžiagas, aktyviausiai veikia mikroorganizmai. Rūgštingesnės ar šarminesnės sąlygos trikdo bendrus dirvožemio biodegradacinius pajėgumus: per silpnas organinių medžiagų skaidymas gali skatinti biomasės kaupimąsi, tolesnį substrato rūgštinimą, o per didelis aktyvumas sutrikdo anglies, fosforo, azoto ciklus, prisideda prie šiltnamio efektą sukeliančių dujų kaupimosi (Dewangan, 2023).

Lyginant su įvairiais fizikiniais ir cheminiais sprendimais, taršos mažinimas pasitelkiant dirvožemyje gyvenančius mikroorganizmus daugeliu atvejų yra pigesnis, ekologiškesnis, bet ne toks efektyvus procesas, dėl to vis dar siekiama jį optimizuoti. Tad šio darbo tikslas – nustatyti mikroskopinių grybų, išskirtų iš kompostinės žemės, katalitinio potencialo priklausomybę nuo terpės pH. Šiame darbe gauti rezultatai leis atrinkti pageidaujamu fermentiniu aktyvumu pasižyminčias mikroskopinių grybų padermes.

Tyrimų metodika

Mikroskopiniams grybams išskirti iš kompostinės žemės (6,6–7,5 pH) ir jų kiekiui nustatyti buvo naudojamas suspensijos praskiedimo metodas. 10 g kompostinės žemės buvo įdėta į kolbutę su 90 ml sterilaus vandens ir 60 min. purtyta. Gauta suspensija buvo praskiesta 10^4 ir 10^5 kartų ir išsėta į Petri lėkšteles ant agarizuotos alaus salyklo terpės su 250 mgL^{-1} chloramfenikolio bakterijų augimui užslopinti. Lėkštelės buvo inkubuotos termostate 26 ± 1 °C temperatūroje 7 paras. Išsėjimai atlikti 2 pakartojimais.

Po inkubacijos buvo suskaičiuotos mikroorganizmų kolonijos (kolonijas sudarantys vienetai, KSV) ir apskaičiuotas jų kiekis 1 g absoliučiai sauso dirvožemio pagal formulę (1):

$$x = \frac{a \times b \times c}{d}, \quad (1)$$

čia x – mikroorganizmų pradų skaičius 1 g sauso substrato, KSV/g;

a – kolonijų skaičius, KSV;

- b* – praskiedimo faktorius;
c – praskiedimo tūris, ml;
d – sauso dirvožemio svoris, g.

Vidurkis apskaičiuojamas iš 2 pakartojimų (LST ISO 4833, 1999).

Mikroskopinių grybų identifikacija buvo atlikta klasikiniiais metodais. Identifikuotos penkios dominuojančios mikroskopinių grybų padermės, priklausančios *Chrysosporium*, *Lecanicillium*, *Penicillium*, *Geotrichium* ir *Trichoderma* gentims.

Mikroskopinių grybų identifikacija buvo vykdoma remiantis morfologiniais požymiais (Ellis, 1971; Domsch et al., 2007), naudojant „Leica DM750“ mikroskopą.

Kokybinis mikroskopinių grybų fermentinio aktyvumo nustatymas buvo atliktas naudojant selektyvias agarizuotas terpes, esant skirtingoms pH reikšmėms (4, 5, 6, 7, 8). Mikroskopiniai grybai buvo auginami 26 °C temperatūroje 3–7 paras. Kokybinis fermentinis aktyvumas įvertintas pagal susidariusios zonos (mm) dydį.

Kokybiniam endogliukanazės nustatymui naudota modifikuota Čapeko terpė su 0,5 % natrio karboksimetilceliuliozės druska (Na-CMC) kaip vieninteliu anglies šaltiniu. Apie endogliukanazės išsiskyrimą sprendžiama iš šviesiai oranžinės spalvos zonos, atsiradusios aplink koloniją, po to, kai į lėkštelę įpilamas Kongo raudonasis dažas. Matuojamas atstumas (mm) nuo grybo kolonijos krašto iki susidariusios zonos išorinio krašto.

Kokybiniam proteazių nustatymui buvo naudota modifikuota Čapeko terpė, kurioje kaip anglies šaltinis buvo įdėta 1 % lieso pieno miltelių. Apie proteazių išsiskyrimą sprendžiama iš skaidrios zonos, atsiradusios aplink koloniją.

Kokybiniam amilazių nustatymui naudota modifikuota Čapeko terpė, kurioje kaip anglies šaltinis buvo įdėtas 0,25 % tirpus bulvių krakmolai. Apie amilazių išsiskyrimą sprendžiama iš geltonos spalvos zonos, atsiradusios aplink koloniją, po to, kai į lėkštelę įpilama liugolio tirpalo.

Kokybiniam lipazių nustatymui naudota terpė: 10 g peptono, 5 g NaCl, 0,1 g CaCl₂ (2H₂O), 20 g agaro, 1000 ml H₂O. Į terpę įdėta 1 % polisorbato 20 (Tween 20). Apie lipazių išsiskyrimą sprendžiama iš kalcio druskos kristalų susidarymo aplink koloniją.

Kokybiniam fenoloksidazių nustatymui naudota Čapeko terpė su 0,2 % galine rūgštimi. Apie fenoloksidazių išsiskyrimą sprendžiama iš rudos zonos, atsiradusios aplink koloniją.

Rezultatai ir aptarimas

Atlikus tyrimus nustatyta, kad mikroskopinių grybų skaičius kompostinėje žemėje buvo $5,01 \times 10^4$ KSV/g. Išskirtų mikroskopinių grybų skaičius yra kiek per mažas, lyginant su panašiu tyrimu nustatytais mikroskopinių grybų kiekiais, kur pirktiniame augalų dirvožemyje buvo $1,2 \times 10^5$ – $1,1 \times 10^7$ KSV/g, o kompostinėje žemėje $1,5 \times 10^4$ – $7,4 \times 10^5$ KSV/g (Haas, 2016).

Tyrimų rezultatai parodė, kad iš kompostinės žemės išskirtų mikroskopinių grybų fermentiniai aktyvumai skirtingai reagavo į pH pokyčius, tačiau jų augimas buvo stebimas esant visoms tirtoms pH reikšmėms.

Išgryninti ir iki genties apibūdinti dominuojantys mikroskopiniai grybai buvo išsėti ant selektyvių terpių, buvo įvertintas jų fermentinis aktyvumas (1 pav., 1 lent.).

Daugiausia teigiamų fermentinio aktyvumo rezultatų buvo nustatyta auginant *Lecanicillium* sp. – visose terpėse, išskyrus endogliukanazinį aktyvumą, jis formavo 3 mm aktyvumo zonas. Silpniausiu fermentiniu aktyvumu pasižymėjo *Trichoderma* sp. grybas – tik lipazinio aktyvumo zona buvo 2,0–2,5 mm.

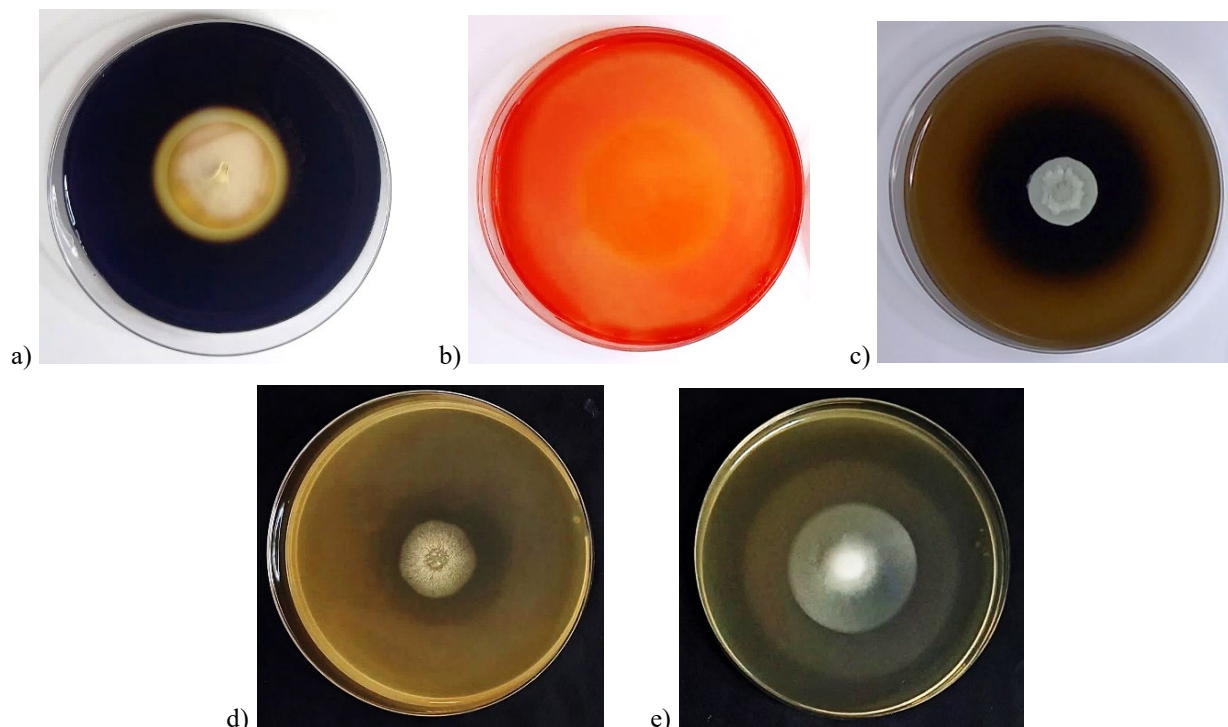
Reikšminga pH įtaka amilaziniam aktyvumui buvo nustatyta po *Penicillium* sp. kultivavimo. Didžiausia zona (7,2 mm) buvo esant pH 4–pH 5, o terpei šarmėjant, fermentinio aktyvumo zonos mažėjo. Panašius rezultatus gavo Aydoğdu ir kt. (2012), kurie nustatė, kad *Penicillium* rūšies grybai didžiausias šio fermento zonas formavo, kai terpės pH buvo 4–5,5.

Optimalus substrato pH *Geotrichium* sp. grybo endogliukanaziniam aktyvumui buvo 7 pH. Šioje terpėje grybas formavo didžiausią, net 10,7 mm, zoną.

Stiprus pH poveikis buvo stebimas *Chrysosporium* sp. grybo fenoloksidaziniam aktyvumui: pH 4 terpėje aktyvumo zona siekė vos 0,7 mm, didinant pH iki 7, zona padidėjo iki 9,0 mm, o pasiekus 8 pH sumažėjo (iki 4,5 mm). Panaši fenoloksidazinio aktyvumo priklausomybė nuo pH nustatyta ir *Penicillium* sp. atveju (terpės pH kylant nuo 4 iki 7, zona didėjo nuo 12,0 mm iki 14,8 mm), tačiau *Lecanicillium* sp. padermės grybas didžiausiu aktyvumu pasižymėjo 5 pH terpėje. Mustafa ir kt. (2023) tyrimais nustatė, kad skirtingų rūšių mikroskopiniai grybai geba aktyviai augti 3–8,5 pH ribose. Skirtumai tarp aktyvumų susiję su mikroskopinio grybo padermės augimo ypatumais. Natūralu, jog ir sintetinio fermento aktyvumo optimalios sąlygos priklauso nuo padermės savybių.

Didinant terpės pH, didėjo *Lecanicillium* sp. lipazinis aktyvumas – 6,7 mm zona esant 4 pH, buvo beveik perpus mažesnė už 13,3 mm zoną esant 8 pH. Kita vertus, *Geotrichium* sp. atveju lipaziniam aktyvumui

palankesnis buvo 4 pH – šioje terpėje aktyvumo zona siekė 5,3 mm, o esant 5 pH sumažėjo iki 3,2 mm ir toliau šarminant terpę reikšmingai nesikeitė iki 8 pH, kuomet zona liko tik po kolonija.



1 pav. Mikroskopiniai grybai ant selektyvių terpių: a) *Lecanicillium* sp. amilazinis aktyvumas, b) *Geotrichum* sp. endogliukanazinis aktyvumas, c) *Penicillium* sp. fenoloksidazinis aktyvumas, d) *Chrysosporium* sp. proteazinis aktyvumas, e) *Lecanicillium* sp. lipazinis aktyvumas

Fig. 1. Fungi on selective media: a) *Lecanicillium* sp. amylase activity, b) *Geotrichum* sp. endoglucanase activity, c) *Penicillium* sp. phenoloxidase activity, d) *Chrysosporium* sp. protease activity, e) *Lecanicillium* sp. lipase activity

1 lentelė. pH įtaka mikroskopinių grybų pirminiam fermentiniam aktyvumui, mm

Table 1. pH effect on primary enzymatic activity of microscopic fungi, mm

a)	<i>Chrysosporium</i> sp.					
	AMI	EGA	FEN	LIP	PRO	
	pH 4	0,0	1,0	0,7	0,0	7,5
	pH 5	0,0	1,0	3,0	0,0	5,7
	pH 6	0,0	1,0	4,2	0,0	6,8
	pH 7	0,0	1,0	9,0	0,0	6,7
	pH 8	0,0	1,0	4,5	0,0	5,0

b)	<i>Penicillium</i> sp.					
	AMI	EGA	FEN	LIP	PRO	
	pH 4	7,2	-	12,0	0,0	2,0
	pH 5	7,2	-	12,3	0,0	1,8
	pH 6	6,5	-	11,8	0,0	0,0
	pH 7	5,3	-	14,8	0,0	0,0
	pH 8	3,8	-	14,5	0,0	0,0

c)	<i>Lecanicillium</i> sp.					
	AMI	EGA	FEN	LIP	PRO	
	pH 4	5,0	-	4,7	6,7	7,8
	pH 5	4,2	-	7,8	8,7	7,0
	pH 6	4,3	-	3,0	9,2	7,2
	pH 7	4,0	-	3,3	10,8	6,2
	pH 8	4,0	-	3,5	13,3	5,3

d)	<i>Geotrichum</i> sp.					
	AMI	EGA	FEN	LIP	PRO	
	pH 4	0,0	2,2	0,0	5,3	7,0
	pH 5	0,0	3,0	0,0	3,2	4,5
	pH 6	0,0	3,2	0,0	3,0	5,0
	pH 7	0,0	10,7	0,0	3,7	5,7
	pH 8	2,7	0,0	0,0	0,0	5,0

e)	<i>Trichoderma</i> sp.					
	AMI	EGA	FEN	LIP	PRO	
	pH 4	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0
	pH 5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	pH 6	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0
	pH 7	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0
	pH 8	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0

Pastaba: AMI – amilazinis aktyvumas, EGA – endogliukanazinis aktyvumas, FEN – fenoloksidazinis aktyvumas, LIP – lipazinis aktyvumas, PRO – proteazinis aktyvumas. 0,0 mm reiškia zoną po kolonija, „-“ žymi neigiamą rezultatą.

Note AMI – amylase activity, EGA – endoglucanase activity, FEN – phenoloxidase activity, LIP – lipase activity, PRO – protease activity. 0.0 mm marks zone under colony, „-“ marks negative result.

Substrato rūgštingumo įtaka proteaziniam *Chrysosporium* sp., *Lecanicillium* sp. ir *Geotrichium* sp. grybų aktyvumui buvo labai panaši: visi šie grybai didžiausias zonas (7–7,8 mm) formavo esant 4 pH, o terpei vis šarmėjant, aktyvumo zonos mažėjo (pasiekė 5–5,3 mm). Kad fermentinis aktyvumas priklausytų nuo grybo padermės, rodo Rajamani ir kt. (1975) atlikti proteolizinio aktyvumo tyrimai, kuriuose *Penicillium* sp., o ir dauguma kitų mikroskopinių grybų šarminėje aplinkoje formavo didesnes zonas nei neutraliomis sąlygomis, nors mūsų tirtas *Penicillium* sp. zoną formavo terpėje, kurios pH 4–5.

Išvados

1. Substrato rūgštingumo pokyčiai reikšmingai veikė amilazinį, endoglikanazinį, fenoloksidazinį, lipazinį ir proteazinį tirtų mikroskopinių grybų fermentinį aktyvumą, o konkretus poveikis priklausė nuo fermento ir jį sintetinančio grybo padermės.
2. Nustatyta, kad rūgštinis terpės pH buvo palankiausias visų tyrime naudotų mikroskopinių grybų proteaziniui aktyvumui, išskyrus *Trichoderma* sp., kurio šis aktyvumas esant visoms tirtoms pH (4, 5, 6, 7, 8) reikšmėms buvo tik po kolonija.
3. Iš visų tirtų mikroskopinių grybų *Lecanicillium* sp. pasižymėjo beveik visais fermentiniais aktyvumais esant visoms tirtoms pH reikšmėms, išskyrus endoglikanazinį aktyvumą.

Literatūra

1. Aydoğdu, H., Balkan, B., Balkan, S., & Ertan, F. (2012). Amylolytic activities of fungi species on the screening medium adjusted to different pH. *Eüfbed – Journal of the Institute of Science*.
2. American Society for Microbiology. (2022). Microbes and Climate Change – Science, People & Impacts: Report on an American Academy of Microbiology Virtual Colloquium held on November 5, 2021. *PubMed. American Society for Microbiology*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK580166/>
3. Bar-On, Y. M., Phillips, R., & Milo, R. (2018). The biomass distribution on Earth. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(25), 6506–6511. <https://doi.org/10.1073/pnas.1711842115>
4. Bilai, V. I. (1982). *Methods of Experimental Mycology*. Kiev, Naukovadumka, 175–224.
5. Blakemore, R. (2022). Biotic Soil Organic Carbon (SOC) Stock: What We Had & What We Lost. *Veop*, 6, 1–59. <https://doi.org/10.20944/preprints202212.0258.v1>
6. Dewangan, S. K., Shrivastava, S. K., Kumari, L., & Sahu, R. (2023). The Effects of Soil pH on Soil Health and Environmental Sustainability: a Review. *ResearchGate*, 10(6), 611–616. https://www.researchgate.net/publication/371539445_THE_EFFECTS_OF_SOIL_PH_ON_SOIL_HEALTH_AND_ENVIRONMENTAL_SUSTAINABILITY_A_REVIEW
7. Domsch, K. H., Gams, W., Anderson, T. H. (2007). *Compendium of soil fungi*. IHW-Verlag, Eching.
8. Ellis, M. B. (1971). *Dematiaceous hyphomycetes*. Commonwealth mycological institute, Kew.
9. Ez-Zahraoui, S., Hassani, F. Z. S. A., Achaby, M., Qaiss, A. K. & Bouhfid, R. (2023). Natural fiber reinforcements: classification, extraction, treatment, and properties. *Elsevier EBooks*, 3–29. <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-95329-0.00004-1>
10. Haas, D., Lesch, S., Buzina, W., Galler, H., Gutschi, A. M., Habib, J., Pfeifer, B., Luxner, J., & Reinthaler, F. F. (2016). Culturable fungi in potting soils and compost. *Medical Mycology*, 54(8), 825–834. <https://doi.org/10.1093/mmy/myw047>
11. Lietuvos standartas LST ISO 4833. (1999). *Mikrobiologija. Mikroorganizmų skaičiavimas. Bendrieji nurodymai. Kolonijų skaičiavimo 30 °C temperatūroje metodas*. LSD. Vilnius.
12. Mustafa, H. K., Anwer, S. S., & Zrari, T. J. (2023). Influence of pH, agitation speed, and temperature on growth of fungi isolated from Koya, Iraq. *Kuwait Journal of Science*, 50(4). <https://doi.org/10.1016/j.kjs.2023.02.036>
13. Rajamani, S., & Hilda, A. (1987). Plate assay to screen fungi for proteolytic activity. *Current Science*, 56(22), 1179–1181. <http://www.jstor.org/stable/24090840>
14. Ravin, H. A., Harward, M. D. (1965). *Rapid test for hepatolenticular degeneration* *The Lancet*. 726–727.

Rūta Bugytė, Vita Raudonienė, Danguolė Bridžiuvienė

Influence of Substrate Acidity on the Enzymatic Activity of Microscopic Fungi

The distribution and activity of microscopic fungi in the soil directly depends on various abiotic factors. This study aims to determine the dependence of pH of the medium on the catalytic potential of fungi isolated from compost soil. The suspension dilution method was used to isolate and quantify fungi. Qualitative determination of enzymatic (endoglucanase, lipase, protease, phenoloxidase and amylase) activity was performed using selective media and evaluated based on activity zones (mm). The study showed that the number of microscopic fungi in the compost soil was 5.01×10^4 CFU/g. It was found that the protease activity of strains of the genera *Chrysosporium*, *Lecanicillium* and

Geotrichium was highest at pH 4. *Trichoderma* and *Penicillium* enzymatic activity depended on the pH of the medium as well as on the fungal strain.

Keywords: Microscopic fungi, pH value, enzymatic activity.

Gauta 2025 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2025 m. balandžio mėn.

Rūta BUGYTĖ. Vilniaus universiteto Gyvybės mokslų centro Mikrobiologijos studentė. Adresas: Saulėtekio al. 7, LT08412 Vilnius, el. paštas: ruta.bugyte@gamtc.lt

Rūta BUGYTĖ. Vilnius University Life Sciences Center Microbiology student. Address: Akademijos str. 2-2, LT08412 Vilnius, e-mail: ruta.bugyte@gamtc.lt

Vita RAUDONIENĖ. Valstybinio mokslinių tyrimų instituto Gamtos tyrimų centro Biodestruktorių tyrimo laboratorijos biomedicinos mokslų daktarė. Adresas: Akademijos g. 2-2, LT08412 Vilnius, tel. +370 527 96640, el. paštas: vita.raudoniene@gamtc.lt

Vita RAUDONIENĖ. Nature Research Centre Laboratory of Biodeterioration Research, doctor of biomedicine sciences. Address: Akademijos str. 2-2, LT08412 Vilnius. Phone: +370 527 96640, e-mail: vita.raudoniene@gamtc.lt

Danguolė BRIDŽIUVIENĖ. Valstybinio mokslinių tyrimų instituto Gamtos tyrimų centro Botanikos instituto Biodestruktorių tyrimo laboratorijos (biomedicinos) mokslų daktarė. Adresas: Akademijos g. 2-2, LT08412 Vilnius, tel. +370 527 96640, el. paštas: danguole.bridziuviene@gamtc.lt

Danguolė BRIDŽIUVIENĖ. Nature Research Centre Institute of Botany Laboratory of Biodeterioration Research, doctor of biomedicine sciences. Address: Akademijos str. 2-2, LT08412 Vilnius. Phone: +370 527 96640, e-mail: danguole.bridziuviene@gamtc.lt

GEGUŽRAIBINIŲ (*ORCHIDACEAE*) ŠEIMOS AUGALŲ RŪŠIŲ BUVEINĖMS SVARBIŲ PARAMETRŲ NUSTATYMAS

Aistina Kriščiūnaitė, Žydrūnas Preikša

Vytauto Didžiojo universitetas

Tyrimai buvo atliekami Kurtuvėnų regioninio parko teritorijoje 2023 m. nuo gegužės mėn. iki rugsėjo mėn. Tyrimo tikslas – nustatyti gegužraibinių (*Orchidaceae*) šeimos augalų rūšių buveinėms svarbius parametrus. Duomenys imti iš Saugomų rūšių informacinės sistemos (SRIS) duomenų bazės, dalis duomenų surinkti lauko tyrimo metu ir nustatyti buveinėms svarbius parametrus bei rastų augalų gausa. Tyrimų bareliai buveinėse pasirinkti reprezentatyviose vietose. Individai skaičiuoti vienetais 1 m² barelyje. Vertinti parametrai: vietos apšviestumas, medžių lajos susivėrimas A1 ir A2 arduose, žolių bei samanų ardų padengimas procentais. Duomenys apdoroti STATISTICA ir MS EXCEL kompiuterinėmis programomis. Atlikto tyrimo metu nustatyta, kad didėjant lajos susivėrimui nuo 35 % iki 60 % ir sumažėjus žolių padengimui nuo 75 % iki 55 % gegužraibinių šeimos augalų rūšių gausa padidėja apie 4 kartus. Tačiau mažesnis negu 55 % ir didesnis negu 75 % žolių padengimas reikšmingos įtakos gegužraibinių augalų gausai neturi. Sumažėjus samanų padengimui nuo 40 % iki 25 % gegužraibinių šeimos augalų rūšių pagausėja apie 4 kartus. Vertinant apšviestumo įtaką rūšių gausai, nustatyta, kad mažesnis nei 45 % apšviestumas reikšmingos įtakos gegužraibinių šeimos augalų gausai neturi.

Raktiniai žodžiai: *orchidaceae*, buveinės, lauko tyrimai, augalų gausa, parametrai.

Įvadas

Lietuvoje aptinkami 38 rūšių gegužraibinių šeimos augalai, augantys pievose, pelkėse ir miškuose. Remiantis išlikusiais herbariumo rinkiniais, duomenys apie aptinkamas rūšis Lietuvoje pradėti fiksuoti maždaug nuo 1900 m. Dažniausios mūsų šalyje augančios rūšys: baltijinė gegūnė *Dactylorhiza baltica*, aukštoji gegūnė *Dactylorhiza fuchsii*, raudonoji gegūnė *Dactylorhiza incarnata*, šliaužiančioji sidabriukė *Goodyera repens*, kiaušininė dviguonė *Listera ovata*, pelkinis skiautalūpis *Epipactis palustris*, plačialapis skiautalūpis *Epipactis helleborine* (Šablevičius, 2020). Likusių rūšių aptinkama negausiai tik tam tikruose regionuose arba tik pavieniai individai. Vykdam plynuosius miškų kirtimus, apleidžiant natūralias pievas, pavojų kelia natūrali ir antropogeninė buveinių sukcesija, verčiant pievas kultūrinėmis, dalį jų apsodinant medžiais bei sausinant pelkes ir miškus, mažėja tinkamų buveinių plotai (Krenova ir kt., 2023).

Gegužraibinių šeimos augalų rūšių retumą lemia ir jų ekologiniai poreikiai, kai kurių rūšių individai gali subręsti ir pražysti tik po 10–16 metų. Pavyzdžiui, siauralapės gegūnės *Dactylorhiza traunsteineri* auga iš šarmingų žemapelkių susidariusiose tarpinėse pelkėse arba šarmingose šaltiniuose šlaitų pelkėse. Šios rūšies augalams tinkamos buveinės yra retos ir užima nedidelius plotus (Šablevičius, 2022). Siauralapės gegūnės yra palyginti smulkios, nepakelia kitų žolinių augalų konkurencijos, todėl auga tik ten, kur žolių nedaug ir jų projekcinis padengimas yra maždaug 50 %. Tačiau Lietuvoje aptinkami plačialapiai skiautalūpiai *Epipactis helleborine* gali augti labai įvairiose buveinėse.

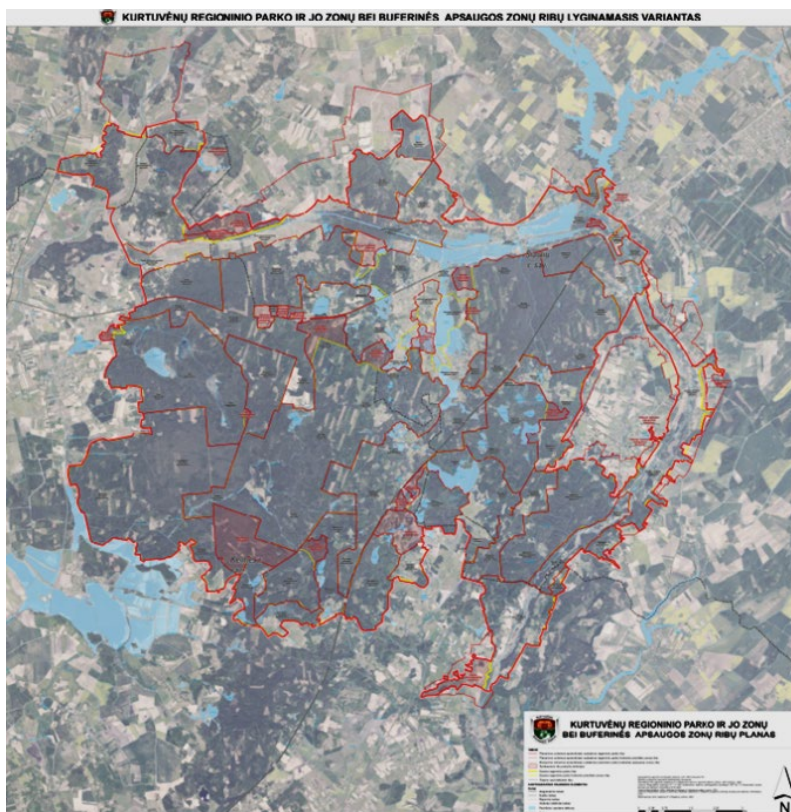
Manoma, kad pirminės jų buveinės yra lapuočių ir mišrūs miškai. Šie augalai paprastai įsikuria miško aikštelėse, laukymėse ar parkuose, nors neretai pasitaiko gana ūksmingose vietose (Claessens, Kleynen, 2016).

Gegužraibinių šeimos augalai konkurencijos išvengia įsikurdami tokiose buveinėse, kuriose stambiems žoliniam augalams augti sąlygos yra nepalankios, o kiti augalai sudaro gana retus žolynus. Šios šeimos augalai paprastai įsikuria mažai azoto junginių ir humuso, bet daug karbonatų turinčiame dirvožemyje arba gausiai drėkinamose buveinėse – žemapelkėse, tarpinėse pelkėse. Nemažai dirvožemyje augančių gegužraibinių konkurencijos su kitais žoliniais augalais išvengia dėl to, kad jų vegetacijos laikotarpis yra palyginti trumpas. Jie žydi pavasarį ar vasaros pradžioje, o kai suveši kitos žolės, brandina vaisius (Gudžinskas, Ryla, 2006).

Nykstančių rūšių apsaugai steigiamos saugomos teritorijos. Įsteigtoms specialioms saugomoms teritorijoms rengiami buveinių tvarkymo planai, pagal kuriuos vykdomi gamtotvarkos darbai, siekiant išsaugoti ir palaikyti palankią buveinių būklę. Didžiausia gegužraibinių šeimos augalų gausa aptinkama Europos Bendrijos svarbos natūraliose buveinėse: 9010 Vakarų taigoje, kurią sudaro natūralūs seni spygliuočių ir mišrūs miškai, taip pat gaisravietėse besiformuojantys pakaitiniai spygliuočių ir lapuočių medžių jaunuolynai. Vakarų taigos medynuose vyrauja pušys, eglės, įsiterpia karpotųjų beržų ir drebulių, rečiau kitų rūšių lapuočių medžių. 7140 Tarpinės pelkės ir liūnai – tai buveinės, kuriose vyrauja pelkių augalų bendrijos, susiformavusios oligotrofinių ar mezotrofinių vandenų, dažniausiai labai pakilusių aukščiau substrato, paviršiuje. 91D0 Pelkiniai miškai – tai spygliuočių bei mišrūs miškai drėgnuose ir šlapiuose durpiniuose dirvožemiuose, kurių gruntinio vandens lygis aukštas (Lietuvos Respublikos aplinkos ministro įsakymas, 2001).

Tyrimų metodika

Gegužraibinių šeimos augalų rūšių inventORIZACIJA atlikta Kurtuvėnų regioninio parko teritorijoje 2023 m. nuo gegužės mėn. iki rugsėjo mėn. maršrutiniu metodu. Duomenys imti iš Saugomų rūšių informacinės sistemos (SRIS) duomenų bazės, dalis duomenų surinkti lauko tyrimo metu. Tyrimų metu nustatyti gegužraibinių augalų buveinėms svarbūs parametrai bei rastų augalų gausa. Tyrimai atlikti tyrimų bareliuose, kurie buvo pažymėti GPS prietaiso pagalba WGS-84 koordinatų sistemoje. Tyrimų bareliai buveinėse pasirinkti reprezentatyviose vietose. Augalų individai skaičiuoti vienetais 1 m² barelyje. Buvo vertinami šie buveinės parametrai: vietos apšviestumas, medžių lajos susivėrimas A1 ir A2 arduose, žolių bei samanų ardu padengimas procentais.



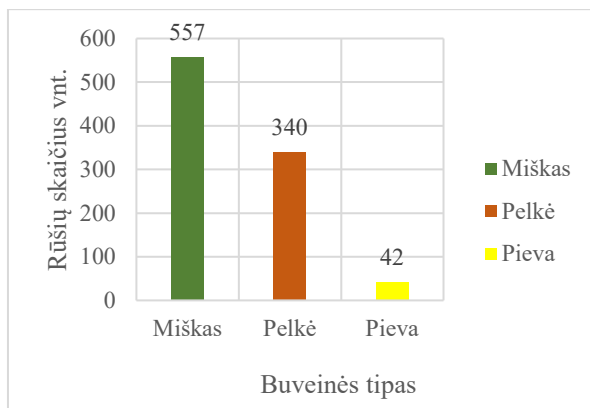
1 pav. Kurtuvėnų regioninio parko teritorijos ribos

Fig. 1. Kurtuvėnai Regional Park territory boundaries

Tyrimo metu išskirta 317 barelių. Miškuose jų buvo 149, iš jų Europos Bendrijos svarbos miškų buveinėse 9010 Vakarų taigoje – 28 bareliai, 9050 Žolių turtinguose eglynuose – 1 barelis, 9080 Pelkėtuose lapuočių miškuose – 2 bareliai, 91D0 Pelkiniuose miškuose – 25 bareliai, 91E0 Aliuviniuose miškuose – 4 bareliai, 89 bareliai nepatenka į Europos Bendrijos svarbos buveines. Pelkinėse buveinėse buvo išskirti 145 bareliai, iš jų Europos Bendrijos svarbos 7140 Tarpinėse pelkėse ir liūnuose – 75 bareliai, 7160 Nekalkingose šaltiniuose ar šaltiniuose pelkėse – 2 bareliai, 7230 Šarmingose žemapelkėse – 11 barelių, 57 bareliai nepatenka į Europos Bendrijos svarbos buveines. Dar 23 bareliai buvo pievų buveinėse, iš jų Europos Bendrijos svarbos – 6450 Aliuvinėse pievose – 2 bareliai, 6510 Šienaujamose mezofitų pievose – 8 bareliai, o 13 likusių barelių nepatenka į Europos Bendrijos svarbos buveines. Projekciniam augalijos padengimui nustatyti buvo naudojama Braun-Blanquet skalė. Duomenys apdoroti „Statistica“ kompiuterine programa, dispersinės analizės metodu (ANOVA). „MS Excel“ programa naudota pirminiam duomenų apdorojimui. Reikšmingumo lygmuo: skirtumai statistškai reikšmingi, jei $p \leq 0,05$.

Rezultatai ir aptarimas

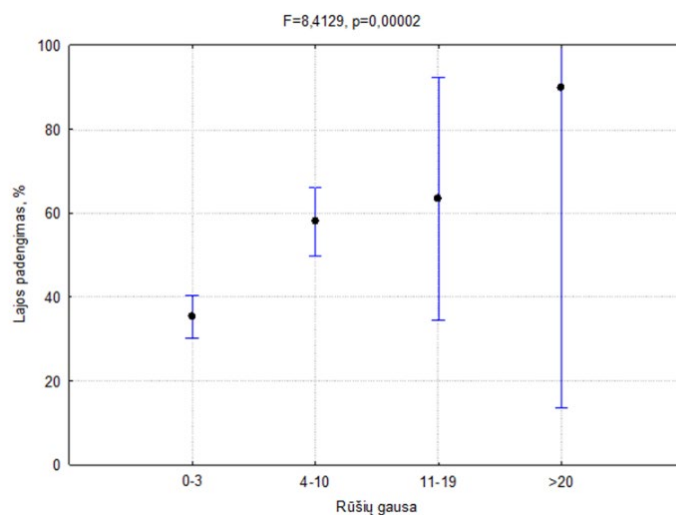
Gegužraibinių šeimos augalų rūšių 2023 m. Kurtuvėnų regioninio parko teritorijoje iš 38 žinomų rūšių surasta 17. Didžiausia įvairovė aptikta 7140 Tarpinėse pelkėse ir liūnuose (9 rūšys) bei 91D0* Pelkiniuose miškuose (7 rūšys), mažiausia įvairovė rasta 9050 Žolių turtinguose eglynuose (1 rūšis) ir 6450 Aliuvinėse pievose (1 rūšis). Didžiausias rūšių kiekis nustatytas miškų buveinėse (557 vnt.) – 13,3 karto daugiau negu pievų buveinėse (42 vnt.). Lyginant pelkių buveines su pievų, pelkių buveinėse (340 vnt.) nustatytas 8 kartus didesnis rūšių kiekis negu pievų (42 vnt.). Mažiausias rūšių kiekio skirtumas nustatytas tarp miško ir pelkių buveinių – 1,6 karto miško buveinėse rūšių kiekis didesnis negu pelkių (2 pav.).



2 pav. Gegužraibinių šeimos augalų pasiskirstymas buveinėse

Fig. 2. *Orchidaceae family of plants distribution in habitats*

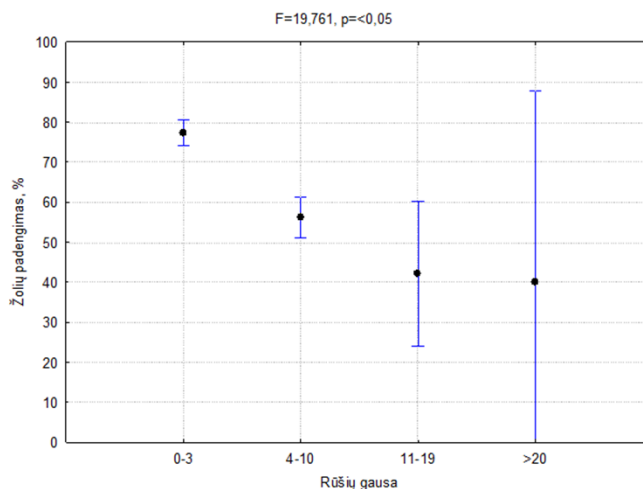
Nustatyta, kad lajos susivėrimas turi reikšmingą teigiamą įtaką rūšių skaičiaus padidėjimui iki tam tikro lygio: padaugėjus lajos susivėrimui nuo 35 % iki 60 %, rūšių pagausėja apie 4 kartus ($p = 0,00002$). Toliau didėjant lajos susivėrimui, reikšmingos įtakos jau nesimato (3 pav.).



3 pav. Rūšių gausos pasiskirstymo priklausomybė nuo lajos susivėrimo

Fig. 3. *Dependence of species abundance distribution on canopy density*

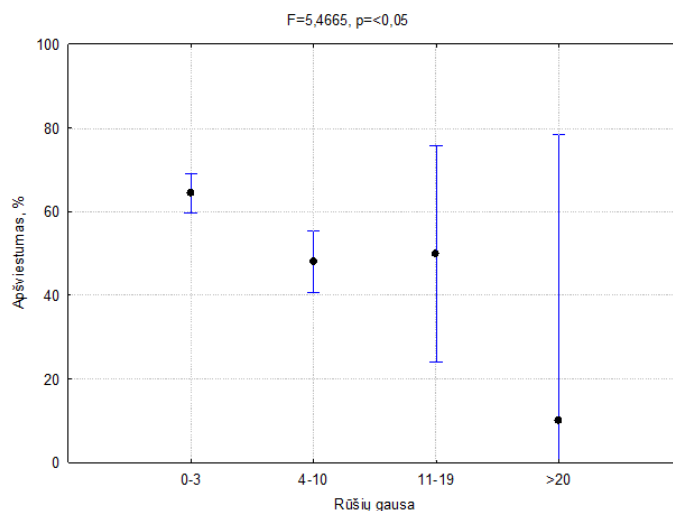
Nustatyta, kad žolių padengimas turi reikšmingą neigiamą įtaką rūšių skaičiaus sumažėjimui: sumažėjus žolių padengimui nuo 75 % iki 55 %, rūšių padaugėja apie 4 kartus ($p = < 0,05$). Vertinant žolių padengimo įtaką rūšių gausai, nustatyta, kad mažesnis negu 55 % ir didesnis negu 75 % žolių padengimas reikšmingos įtakos neturi (4 pav.).



4 pav. Rūšių gausos pasiskirstymo priklausomybė nuo žolių padengimo

Fig. 4. *Dependence of species abundance distribution on grass cover*

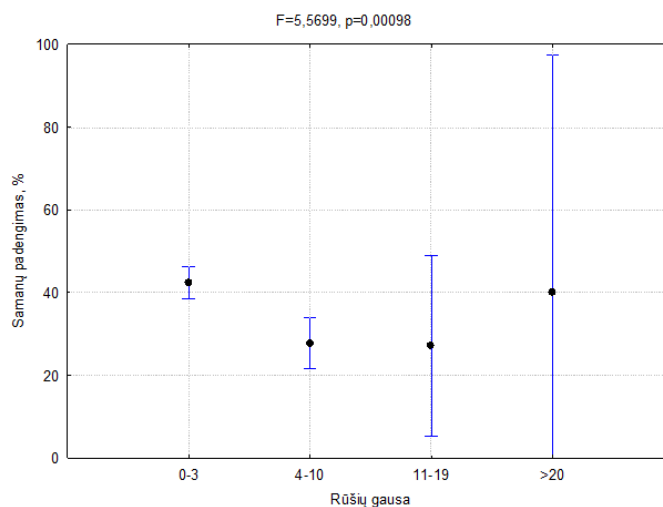
Nustatyta, kad apšviestumas turi reikšmingą neigiamą įtaką rūšių skaičiaus sumažėjimui: sumažėjus apšviestumui nuo 65 % iki 45 %, rūšių padaugėja apie 4 kartus ($p = < 0,05$). Vertinant apšviestumo įtaką rūšių gausai, nustatyta, kad mažesnis nei 45 % apšviestumas reikšmingos įtakos jau neturi (5 pav.).



5 pav. Rūšių gausos pasiskirstymo priklausomybė nuo apšviestumo

Fig. 5. *Dependence of species abundance distribution on illumination*

Nustatyta, kad samanų padengimas turi reikšmingą neigiamą įtaką rūšių skaičiaus sumažėjimui ($p = < 0,05$): sumažėjus samanų padengimui nuo 40 % iki 25 %, rūšių padaugėja apie 4 kartus. Vertinant samanų padengimo įtaką rūšių gausai nustatyta, kad mažesnis nei 25 % samanų padengimas reikšmingos įtakos jau neturi (6 pav.).



6 pav. Rūšių gausos pasiskirstymo priklausomybė nuo samanų padengimo

Fig. 6. *Dependence of species abundance distribution on moss cover*

Išvados

1. Didėjant lajos susivėrimui nuo 35 % iki 60 % ir sumažėjus žolių padengimui nuo 75 % iki 55 %, gegužraibinių šeimos augalų rūšių padaugėja apie 4 kartus.
2. Mažesnis negu 55 % ir didesnis negu 75 % žolių padengimas reikšmingos įtakos gegužraibinių augalų gausai neturi.
3. Sumažėjus samanų padengimui nuo 40 % iki 25 %, gegužraibinių šeimos augalų rūšių padaugėja apie 4 kartus.
4. Vertinant apšviestumo įtaką rūšių gausai, nustatyta, kad mažesnis nei 45 % apšviestumas reikšmingos įtakos gegužraibinių šeimos augalų gausai neturi.

Literatūra

1. Claessens, J., Kleynen, J. (2016). Many Ways to Get Happy: pollination modes of European *Epipactis* species. *Orchid Digest*, 80(3), 144–152.
2. Gudžinskas, Z. ir Ryla, M. (2006). *Lietuvos gegužraibiniai (Orchidaceae)*. Vilnius: Botanikos instituto leidykla.
3. Krenova, Z., Lustyk, P., Kindlmann, P., Vosmikova, A. (2023). Forest Disturbances Threatening *Cypripedium calceolus* Populations Can Improve Its Habitat Conditions. *Journal Diversity*, Vol. 15(3), 319.
4. *Lietuvos Respublikos aplinkos ministro įsakymas Nr. 219 „Dėl Buveinių apsaugai svarbių teritorijų atrankos kriterijų aprašo patvirtinimo 2001“*.
5. Šablevičius, B. (2022). *Lietuvos pievų, pelkių ir miškų orchidėjos*. Kaunas: Lututė.
6. Šablevičius, B. (2020). *Per orchidėjų pievas ir miškus*. Kaunas: Lututė.
7. Těšitelova, T., Těšitel, J., Jersákova, J., Říhova, G., & Selosse, M-A. (2012). Symbiotic germination capability of four *Epipactis* species (Orchidaceae) is broader than expected from adult ecology. *American Journal of Botany*, Vol. 99(6), 1020–1032.

Aistina Kriščiūnaitė, Žydrūnas Preikša

***Orchidaceae* Family of Plants Determination of Habitat-Relevant Parameters**

The research was conducted in the territory of Kurtuvėnai Regional Park in 2023 from May to September. The aim of the research was to determine the parameters important for the habitats of orchid species (*Orchidaceae*). Data were taken from the Protected Species Information System (SRIS) database, part of the data was collected during a field study and the parameters important for the habitats and the abundance of plants found were determined. The research plots were selected in the most promising representative locations in the habitats. Individuals were counted in units per 1 m² plot. The parameters assessed were: local illumination, tree canopy density in A1 and A2 plots, percentage coverage of grasses and moss plots. The data were processed using STATISTICA and MS EXCEL computer programs. During the research, it was determined that with an increase in canopy density from 35% to 60% and a decrease in grass cover from 75% to 55%, the number of species increases by about 4 times. However, grass cover of less than 55% and more than 75% does not significantly affect the abundance of the orchid family species. When moss cover decreases from 40% to 25%, the number of the orchid family species increases by about 4 times. When assessing the influence of illumination on the abundance of species, it was found that illumination of less than 45% does not significantly affect the abundance of the orchid family species.

Keywords: *Orchidaceae*, habitats, field studies, plant abundance, parameters.

Gauta 2025 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2025 m. balandžio mėn.

Aistina KRIŠČIŪNAITĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Miškų ir ekologijos fakulteto Aplinkos ir ekologijos katedros magistrantė. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r., tel. +370 648 20710, el. paštas: aistina.krisciunaite@vdu.lt

Aistina KRIŠČIŪNAITĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, Master student. Address: Studentų str. 11, LT-53361 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 648 20710, e-mail: aistina.krisciunaite@vdu.lt

Žydrūnas PREIKŠA. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Miškų ir ekologijos fakulteto Aplinkos ir ekologijos katedros lektorius, daktaras. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52224, el. paštas: zydrunas.preiksa@vdu.lt

Žydrūnas PREIKŠA. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Forestry and Ecology, Department of Environment and Ecology, lecturer, dr. Address: Studentų str. 11, LT-53361 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 377 52224, e-mail: zydrunas.preiksa@vdu.lt

PIKTŽOLIŲ RŪŠINĖS SUDĖTIES IR GAUSOS SKIRTINGO ŪKININKAVIMO INTENSIVUMO ŽEMĖS ŪKIO PLOTUOSE ĮVERTINIMAS

Laura Vingevičiūtė, Žydrūnas Preikša

Vytauto Didžiojo universitetas

Darbe lyginamos dvi skirtingos ūkininkavimo sistemos: ekologinė ir intensyvi. Lyginama piktžolių rūšinė sudėtis ir gausa skirtingo ūkininkavimo intensyvumo žemės ūkio plotuose. Buvo pasirinkti 4 intensyvaus ir 6 ekologinio ūkininkavimo laukai. Tyrimai atlikti maršrutiniu būdu, einant ilgiausia lauko atkarpa, kuri skaidoma į barelius. Tyrimai buvo atliekami 2023–2024 stebėjimo metais, vegetacijos pradžioje ir prieš derliaus nuėmimą. Gauti duomenys analizuojami programa „Statistica8“. Ekologiniame ūkyje rastos 43 piktžolių rūšys, o intensyviame – 45. Lyginant vidutinį piktžolių rūšių skaičių tyrimų bareliuose, ekologiniame ūkyje įvairovė buvo apie 1,8 karto didesnė nei intensyviame, kuriame vidutiniškai rasta po 7,4 piktžolių rūšių. Viena dažniausių segetalinės floros rūšių intensyviame ir ekologiniame ūkiuose buvo bekvapis šunramunis (*Tripleurospermum perforatum*). Lyginant gausą skirtingais vegetacijos periodais, ekologiniame ir intensyviame ūkyje nustatyta, jog gausa vegetacijos pradžioje reikšmingo skirtumo neturi, tačiau prieš derliaus nuėmimą ekologiškai auginamuose pasėliuose piktžolių gausa jau buvo apie 2,9 karto didesnė nei vegetacijos pradžioje.

Raktiniai žodžiai: intensyvus ūkininkavimas, ekologinis ūkininkavimas, piktžolės.

Įvadas

Per pastaruosius 35 metus, Lietuvai atgavus nepriklausomybę, šalyje daug kas pasikeitė, keitėsi ir požiūris į žemės ūkį. Lietuvoje iki šių dienų vyrauja agrarinis ir agrarizuotas miškingas kraštovaizdis. Apie 55 proc. Lietuvos teritorijos žemės naudojama agrariniais tikslais (Aplinkos apsaugos politikos centras, 2022).

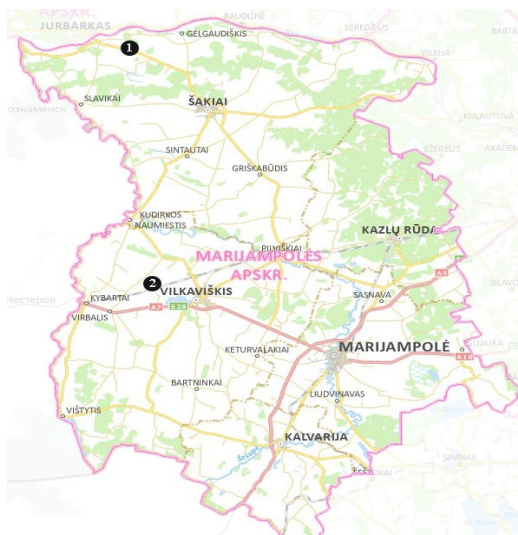
Gamtoje nuolatos vyksta konkurencija dėl drėgmės, šviesos, mineralinių medžiagų, rūšys veikia viena kitą. Ypač ryški konkurencija tarp žemės ūkio augalų ir piktžolių. Piktžolėms (segetalinei florai) priskiriami žoliniai augalai, kurie savaime auga dirbamosiose žemėse ar kitose žemės ūkio naudmenose. Piktžolėms taip pat priskiriami žemės ūkio augalai, augantys kitų augalų pasėliuose (pvz., nuimant pupų derlių, dalis jo išbyrėjo ir kitais metais sudygo žirniuose) (Velička ir kt., 1995). Piktžolių biologinis ciklas labai panašus į kultūrinių augalų ciklą, piktžolės prisitaikė taip, jog galėtų klestėti javų laukuose (Chakkour ir kt., 2024). Norint užtikrinti pasėlio konkurencingumą kitų augalų atžvilgiu, svarbu pasirinkti tinkamas technologijas, atsižvelgiant į pasirinktą pasėlio veislę, dirvos savybes ir ūkininkavimo sistemą (Špokienė ir kt. 2009). Piktžolės atsirado daug seniau nei žemės ūkio augalai, tad jos daug pranašesnės (Čiuberkis ir kt., 2013).

Intensyvėjant žemės ūkiui, dalis Europos dirbamųjų laukų augalų rūšių tapo retos, kai kurios net įtrauktos į IUCN (Pasaulinė gamtos apsaugos organizacija) sąrašus, tad, norint jas išsaugoti, svarbu nustatyti ir įvertinti, kaip tam tikros ūkininkavimo sistemos jas veikia (Fonderlick ir kt., 2020). Lietuvoje plačiausiai paplitusi ūkininkavimo sistema – intensyvi (tradicinė), kai įprastai gausiai naudojamos sintetinės trąšos bei įvairios augalų apsaugos priemonės. Intensyviai ūkininkaujant galima gauti kur kas didesnę ekonominę naudą nei alternatyviose sistemose, tačiau tokiu būdu išauginti produktai kelia grėsmę maisto produktų užterštumui: randama fungicidų, herbicidų ir kitų apsaugos priemonių likučių. Pastaruoju metu pastebėta, jog klimato kaita gali daryti įtaką pesticidų likimui dirvožemyje ir vandenyje, o tai gali sukelti aplinkos taršą ir neigiamai paveikti žmonių bei ekosistemų sveikatą (Perezas-Lucasas ir kt., 2024). Šių laikų žemės ūkis turėtų būti ne tik konkurencingas kitų ūkių atžvilgiu, bet ir būti saugus aplinkai, užauginti produktai neturėtų kelti grėsmės jų vartotojams. Šiuo požiūriu viena vertingiausių ūkininkavimo sistemų – ekologinis žemės ūkis. Lietuvoje ekologinių ūkių skaičius nepastovus. Pavyzdžiui, 2023 m. buvo 2 949, o 2024 m. jau 3 132 veiklos vykdytojai (Jagaitė, 2025). Ekologinis ūkininkavimas – toks ūkininkavimo metodas, kurio metu auginant derlių nenaudojamos sintetinės trąšos ir pesticidai. Siekiama atsižvelgti į gamtos ciklus, atkurti / palaikyti dirvožemio, vandens išteklius, teikti aukštos kokybės maisto produktus (Elvinger ir kt., 2024). Norint, kad ekologinis ūkininkavimas duotų realios naudos, pirmiausia reikia, jog vartotojai pasitikėtų šių produktų gamintojais. Europos Sąjungoje nustatytos griežtos taisyklės ekologiniams ūkiams. Šiuo darbu siekiama nustatyti, kaip skirtingos ūkininkavimo sistemos veikia žemės ūkio naudmenų segetalinės floros rūšinę įvairovę ir gausą.

Tyrimų metodika

Tyrimui atlikti buvo pasirinktos dvi priešingos ūkininkavimo sistemos, kuriose tirta piktžolių rūšinė sudėtis ir gausa. Tyrimui atlikti buvo pasirinktos intensyvaus (tradicinio) ūkininkavimo žemės ūkio

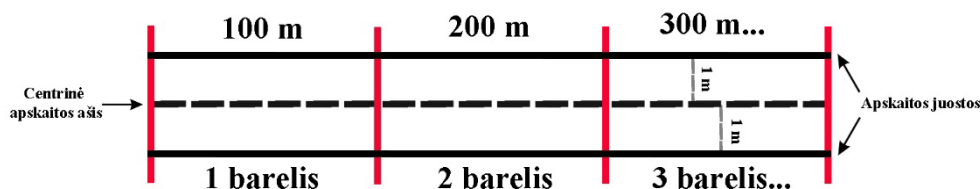
naudmenos, esančios Vilkaviškio rajone ir ekologinio ūkininkavimo žemės ūkio naudmenos Šakių rajone (1 pav.).



1 pav. Tirtų ūkių vietos Marijampolės apskrityje: 1 – ekologinis; 2 – intensyvus (<https://www.geoportal.lt/map/>)

Fig. 1. Location of the studied farms in Marijampolė region. 1- organic (extensive); 2- traditional (intensive)

Siekiant ištirti augalų paplitimą ir gausą skirtingo ūkininkavimo intensyvumo žemės naudmenose, buvo tiriami 4 intensyvaus ir 6 ekologinio ūkininkavimo laukai, kiekvienos ūkininkavimo sistemos po 60 barelių. Lyginti reikia laukus, kuriuose auginami tokie patys žemės ūkio augalai, nes nuo to priklauso kokios piktžolės plinta. Tyrimai atlikti maršrutiniu būdu, einant ilgiausia esama lauko atkarpa. Buvo fiksuojamos visos piktžolių rūšys, aptiktos einant centrine ašimi bei tiriant į abi puses po 1 m. Visa atkarpa skaidoma į barelius po 100 m, vieno barelio dydis – 200 m² (2 pav.). Kiekviename barelyje piktžolės aprašomos atskirai naudojant Bruno-Blanke gausos ir padengimo skalę (1 lentelė).



2 pav. Tyrimo schema

Fig. 2. Research scheme

1 lentelė. Bruno-Blanke augalijos gausos ir padengimo skalė

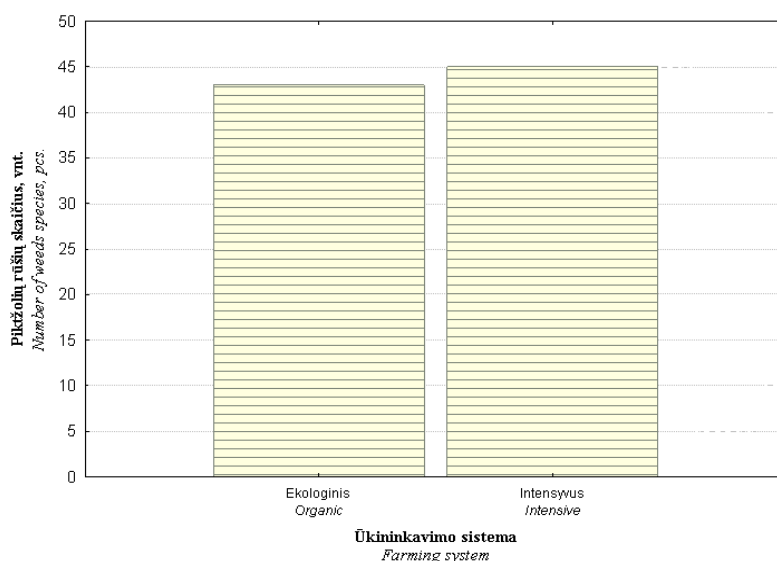
Table 1. Braun-Blanquet vegetation abundance estimation scale

Bruno-Blanke skalė	Reikšmė	Dangos padengimas proc.
r	augalų labai reta, padengimas labai neryškus	< 0,1
+	augalai pavieniai, padengimas labai nedidelis	0,1–1
1	augalų gana gausu, padengimas labai mažas arba jie auga pakrikai ir padengimas didesnis, bet užima mažiau kaip 1/20 ploto	1–5
2	augalų gausu, padengimas neryškus arba nuo 1/20 iki 1/4 ploto	2–25
3	padengia nuo 1/4 iki 1/2 ploto, individų skaičius nenustatomas	25–50
4	padengia nuo 1/2 iki 3/4 ploto, individų skaičius nevertinamas	50–75
5	padengia daugiau kaip 3/4 ploto, individų kiekis nevertinamas	75–100

Laukų augalų monitoringo tyrimai buvo atlikti 2023–2024 m. žemės ūkio augalų vegetacijos pradžioje ir vegetacijos pabaigoje. Žemės ūkio naudmenose buvo auginami žieminiai ir vasariniai kviečiai, žieminiai rapsai, pupos, avižos ir avižų-žirnių mišinys, žieminiai miežiai, dobilų-motiejukų mišinys.

Rezultatai ir aptarimas

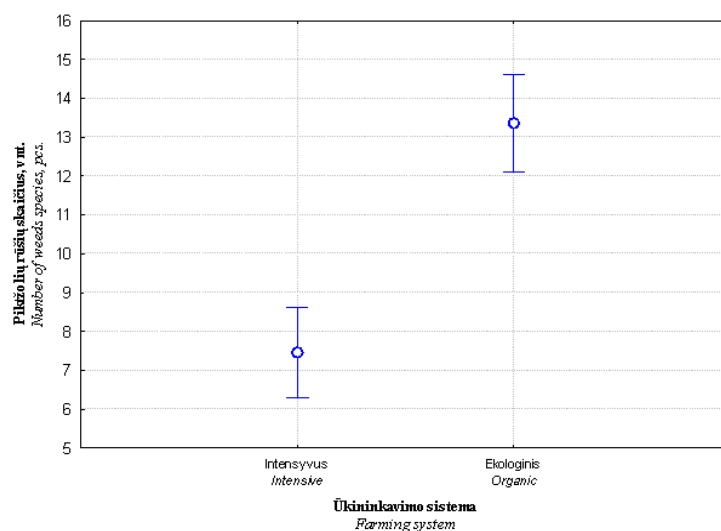
2023–2024 m. atlikus segetalinės floros tyrimus ekologiniame bei intensyviame ūkyje, iš viso rastos 54 piktžolių rūšys, iš kurių labiausiai paplitęs bekvapis šunramunis (*Tripleurospermum perforatum*) ir vienmetė miglė (*Poa annua*). Palyginus ekologinį ūkį su intensyviu, segetalinės floros rūšinė įvairovė buvo gana panaši: ekologiniame ūkyje bendras piktžolių rūšių skaičius buvo 43, o intensyviame – 45 (3 pav.).



3 pav. Bendras piktžolių rūšių skaičius skirtingose ūkininkavimo sistemose

Fig. 3. Total number of weed species in different farming systems

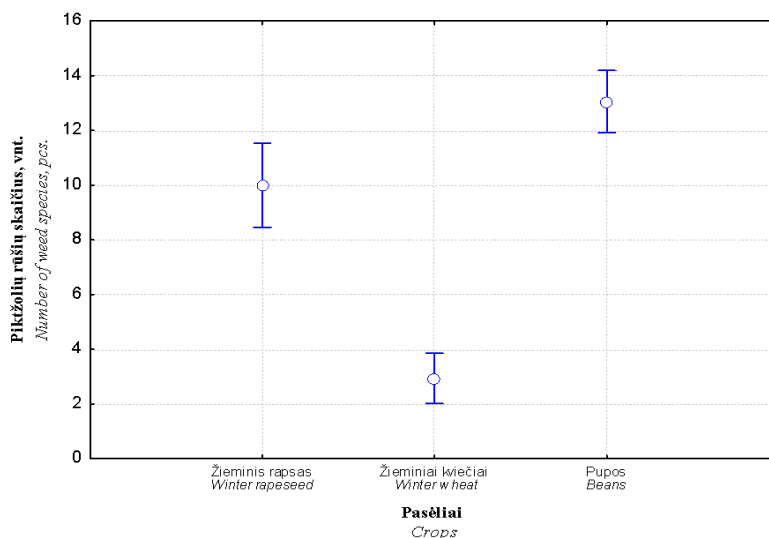
Vertinant pagal tai kiek vidutiniškai rūšių yra viename barelyje, rezultatai pasikeičia. Intensyviame ūkyje vidutiniškai buvo randama po 7,4 skirtingų piktžolių rūšių viename barelyje, o ekologiniame ūkininkaujamaame ūkyje apie 1,8 karto daugiau – 13,3 segetalinės floros augalų rūšių. Vadinasi, intensyviai ūkininkaujamuose laukuose dalis rastų rūšių yra pavienės, o ekologiniame – dažnesnės. Ūkininkavimo intensyvumas, turi reikšmingą įtaką piktžolių rūšių skaičiui ($p = 0,000$; $F = 47,4$).



4 pav. Vidutinis piktžolių rūšių skaičius skirtingose ūkininkavimo sistemose

Fig. 4. Average number of weed species in different farming systems

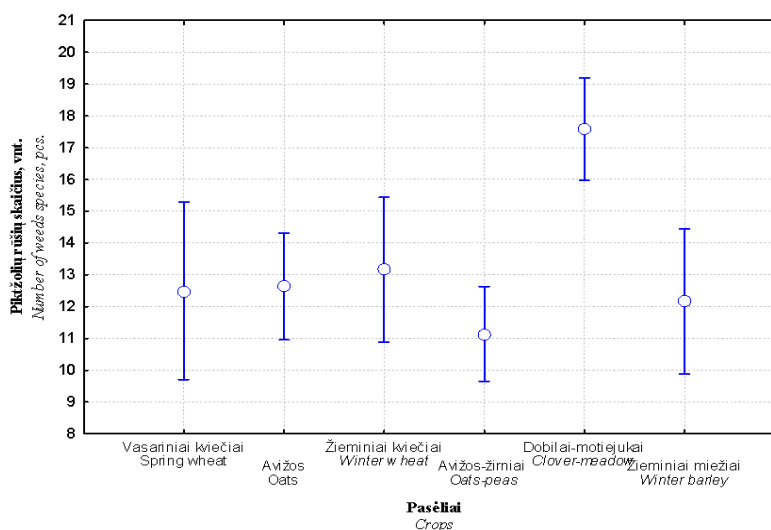
Atskirai analizuojant piktžolėtumo įvairovę, nustatyta, kad intensyviai auginamuose pasėliuose, didžiausia įvairovė buvo pupose, kur vidurkis siekė 13 rūšių. Pupose labiausiai paplitę augalai buvo dirvinė čiužutė (*Thlaspi arvense*) ir baltoji balanda (*Chenopodium album*). Žieminiuose kviečiuose įvairovė mažiausia – vidutiniškai po 3 rūšis, iš jų labiausiai paplitę bekvapis šunramunis (*Tripleurospermum perforatum*) ir dirvinė usnis (*Cirsium arvense*). Žieminiuose rapsuose augalų rūšinė įvairovė siekė apie 10 rūšių viename barelyje (5 pav.). Čia labiausiai paplitusi dirvinė čiužutė (*Thlaspi arvense*) ir dirvinė našlaitė (*Viola arvensis*). Rūšinė įvairovė tarp intensyviai auginamų žemės ūkio pasėlių gana ženkliai skiriasi, todėl šis pasirinkimas turi įtakos piktžolių rūšių skaičiui ($p < 0,05$; $F = 102,53$).



5 pav. Rūšių skaičius intensyviai auginamuose pasėliuose

Fig. 5. Number of species in intensively grown crops

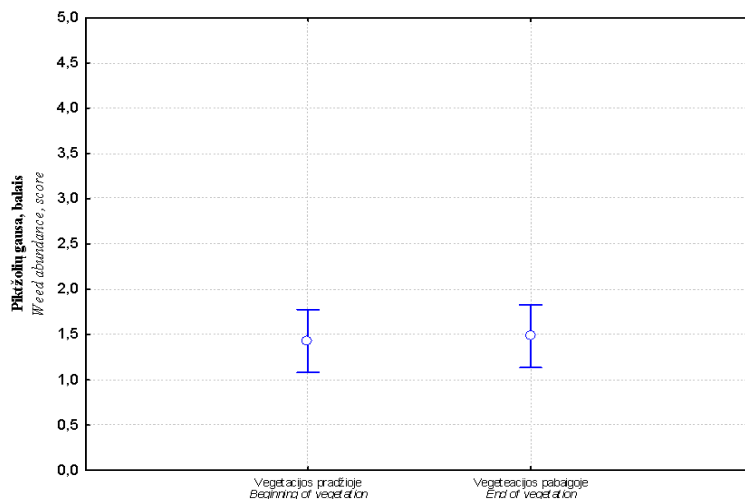
Analogiškai analizuojant ekologiškai auginamas kultūras, nustatyta, jog didžiausia įvairovė išsiskyrė dobilų-motiejukų mišinys, kur viename barelyje vidutiniškai rasta po 17,6 rūšių, tarp kurių labiausiai paplitusi dirvinė neužmirštuolė (*Myosotis arvensis*) ir dirvinė usnis (*Cirsium arvense*). Mažiausia rūšinė įvairovė pasižymėjo avižų-žirnių mišinys, kur vidutiniškai buvo randama po 11,1 piktžolių rūšių. Viena dažniausiai randamų rūšių buvo kibasis lipikas (*Galium aparine*). Kitose kultūrose segetalinės floros augalų rūšinė įvairovė buvo gana panaši – vidutiniškai augo 12,1–13,1 augalų rūšių (6 pav.). Ekologiniame ūkyje auginami augalai taip pat daro įtaką piktžolėtumo skaičiui ($p = 0,00002$; $F = 7,8024$), tačiau įtaka šiek tiek mažesnė nei intensyviame ūkyje.



6 pav. Rūšių skaičius ekologiškai auginamuose pasėliuose

Fig. 6. Number of species in extensively cultivated crops

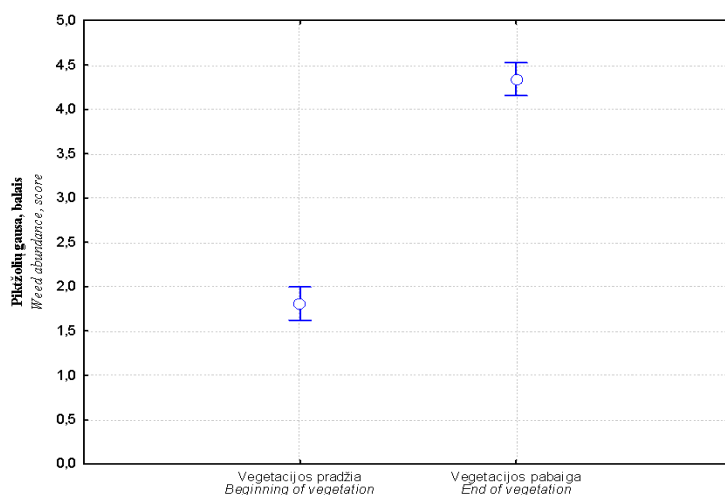
Analizuojant piktžolių gausą intensyviame ūkyje, nustatyta, jog vegetacijos pradžioje jų gausa buvo apie 1,4 balo, o vegetacijos pabaigoje apie 1,5 (7 pav.). Vegetacijos pradžioje ir vegetacijos pabaigoje piktžolių gausa intensyviame ūkyje skiriasi neženkiai. Vegetacijos periodas neturi reikšmingos įtakos piktžolių gausai intensyviai auginamiems augalams ($p = 0,83035$; $F = 0,05$).



7 pav. Piktžolių gausa intensyviame ūkyje skirtingais vegetacijos periodais

Fig. 7. Weed abundance in intensive farming, during different vegetation periods

Analizuojant gausą ekologiniame ūkyje, nustatyta, jog vegetacijos pradžioje piktžolių gausa buvo apie 1,8 balo, o vegetacijos pabaigoje jau siekė 4,3. Per visą periodą gausa padidėjo apie 2,8 karto (8 pav.). Tad vegetacijos periodas labai reikšmingas segetalinės floros gausai ekologiniame ūkyje ($p = 0,0000$; $F = 260,35$).



8 pav. Piktžolių gausa ekologiniame ūkyje skirtingais vegetacijos periodais

Fig. 8. Weed abundance on an organic farm, during different vegetation periods

Lyginant skirtingose ūkininkavimo sistemas, nustatyta, jog vegetacijos pradžioje piktžolių gausą ūkiuose buvo labai panaši – skirtumas 0,4 balo. Tačiau vegetacijos pabaigoje skirtumas jau buvo reikšmingas (apie 2,9 karto) ekologiškai auginamuose pasėliuose, kur piktžolių gausa siekė 4,3 balo, o intensyvaus ūkininkavimo – 1,5.

Išvados

1. Piktžolių rūšinė įvairovė intensyvaus ūkininkavimo ūkyje, kuriame rasta 45 rūšys, buvo didesnė nei ekologiniame, su 43 rūšimis.
2. Vidutinis piktžolių skaičius ekologiniame ūkyje buvo 1,8 karto didesnis nei intensyviame (atitinkamai 13,3 ir 7,4).
3. Intensyviai auginamose pasėliuose didžiausia rūšinė įvairovė buvo pupose – vidutiniškai po 13 piktžolių rūšių, mažiausia žieminiuose kviečiuose – 3. O ekologiškai – didžiausia rūšinė įvairovė dobilų-motiejukų mišinyje – 17,6, o mažiausia avižų-žirnių mišinyje – 11,1.
4. Vegetacijos periodas piktžolių gausai intensyviai auginamuose pasėliuose neturi didelės įtakos: vegetacijos pradžioje gausa siekė 1,4 balo, o vegetacijos pabaigoje apie 1,5 balo. Tuo tarpu vegetacijos periodas piktžolių gausai ekologiškai auginamuose pasėliuose turėjo ypač reikšmingą įtaką, kai vegetacijos pradžioje gausa siekė apie 1,8 balo, o vegetacijos pabaigoje jau net 4,3, t. y. 2,4 karto daugiau.

Literatūra

1. Aplinkos apsaugos politikos centras. (2022). *Lietuvos žemės ūkio ir kaimo plėtros 2023–2027 m. strateginio plano strateginio pasekmių aplinkai vertinimo ataskaita (galutinės ataskaitos projektas)*.
2. Chakkour, S., Bergmeier, E., Meyer, S., Houssni, M., Kadaoui, K., ... Ater, M. (2024). Arid agroecosystem plant diversity results from habitat-specific traditional management. *Flora*, 313. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0367253024000288>
3. Čiuberkis, S., Vilkonis, K. K. (2013). *Piktžolės Lietuvos agroekosistemose*. Monografija. ŠU, LAMMC.
4. Elvinger, J., Pentus-Rosimannus, K., Lamp, J., Bochar, D., Bortnowschi, R., ... Minich, M. (2024). *Ekologinis ūkininkavimas Europos Sąjungoje*.
5. Fonderflick, J., Besnard, A., Chardès, M. C., Lanuzel, L., Thill, C., ir Pointereau, P. (2020). Impacts of agricultural intensification on arable plants in extensive mixed crop-livestock systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 290. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880919303949>
6. Jagaitė, R. (2025). *Ekologinis ūkininkavimas: kas trukdo plėtrai?* <https://www.manoukis.lt/naujienos/ukis/ekologinis-ukininkavimas-kas-trukdo-pletrai>
7. Pérez-Lucas, G., Navarro, G., Navarro, S. (2024). Adapting agriculture and pesticide use in Mediterranean regions under climate change scenarios: A comprehensive review. *European Journal of Agronomy*, 161. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1161030124002582>
8. Špokienė, N., Jodaugienė, D. (2009). *Piktžolės ir jų naikinimas*. Akademija, 11.
9. Velička, R., Bogužas, V. (1995). *Piktžolių klasifikacija ir atpažinimas*. Metodiniai patarimai agronomijos fakulteto studentams. Kaunas, Akademija, 23.

Laura Vingevičiūtė, Žydrūnas Preikša

Comparison of Weeds Species Composition and Abundance in Agricultural Areas with Different Farming Intensity

This study compares two distinct farming systems: organic and intensive. The species composition and abundance of plants were assessed in agricultural fields with varying levels of management intensity. A total of four intensively managed and six organically managed fields were selected for analysis. The surveys were conducted using a transect method, following the longest diagonal of each field, which was subdivided into sampling segments. Data collection took place during the 2023–2024 growing seasons, at both the beginning of the vegetation period and prior to harvest. The collected data were analyzed using the software “STATISTICA8.” In the organically managed fields, 43 weed species were identified, whereas 45 species were recorded in the intensively managed fields. However, when comparing the average number of weed species per sampling segment, species diversity in organic fields was approximately 1.8 times higher than in intensive fields, where an average of 7.4 weed species per segment was observed. One of the most frequently occurring species in both systems was scentless mayweed (*Tripleurospermum perforatum*), a common component of segetal flora. When comparing weed abundance across different stages of the vegetation period, no significant differences were observed between the systems at the beginning of the growing season. However, prior to harvest, weed abundance in organically managed crops was approximately 2.9 times higher than at the start of the vegetation period.

Keywords: Intensive farming, organic farming, weeds.

Gauta 2025 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2025 m. kovo mėn.

Laura VINGEVIČIŪTĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Miškų ir ekologijos fakulteto Aplinkos ir ekologijos katedros magistrantė. Adresas: Studentų g. 15A, LT-53362 Akademija, Kauno r., tel. +370 635 89953, el. paštas: laura.vingeviciute@vdu.lt

Laura VINGEVIČIŪTĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, Master student. Address: Studentų str. 15A, LT-53362 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 635 89953, e-mail: laura.vingeviciute@vdu.lt

Žydrūnas PREIKŠA. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Miškų ir ekologijos fakulteto Aplinkos ir ekologijos katedros lektorius, daktaras. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r., tel. +370 37 752224, el. paštas: zydrunas.preiksa@vdu.lt

Žydrūnas PREIKŠA. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Forestry and Ecology, Department of Environment and Ecology, lecturer, dr. Address: Studentų str. 11, LT-53361 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 37 752224, e-mail: zydrunas.preiksa@vdu.lt

ASSESSING NITROGEN ACQUISITION OF *VACCINIUM MYRTILLUS* L. (EUROPEAN BLUEBERRY): A PILOT EXPERIMENT

Aistė Tuzinaitė^{1,2}, Anita Elizabeth Clarke¹, Andrius Garbaras², Radvilė Rimgailė-Voicik¹

¹Vilnius University Life Sciences Center Institute of Biosciences, ²Center for Physical Sciences and Technology

European blueberry (*Vaccinium myrtillus* L.) shrubs are key components of forest understory, contributing to habitat stability. They are widespread in hemi-boreal forests and are a common species in Lithuania. Given their ecological significance, understanding the nitrogen acquisition strategies of *V. myrtillus* is crucial. Studies with ¹⁵N-labeled compounds provide valuable insights into plant nitrogen uptake. However, such research on blueberry remains scarce. To address this research gap, a pilot experiment was conducted in August and September of 2024 in Nemenčinė Forest, Vilnius District, to assess *V. myrtillus* nitrogen uptake dynamics. Three study plots were established: a control plot, one treated with unlabeled ammonium nitrate, and another with ¹⁵N-labeled ammonium nitrate (60 mg N/m²). Solutions were injected into the soil, and plant samples were collected at four different time points. Plant specimens were analyzed using elemental analysis–isotope ratio mass spectrometry (EA-IRMS). Results showed that *V. myrtillus* effectively assimilates ammonium nitrate, with the highest overall uptake occurring one week and three weeks post-injection. The highest $\delta^{15}N$ values in blueberry shrubs treated with labeled ammonium nitrate was observed in roots, the lowest – in leaves. This pilot study provides new insights into blueberry ecophysiology and nitrogen dynamics, highlighting its role in forest nutrient cycling.

Keywords: ¹⁵N-labeled ammonium nitrate, understory shrubs, isotope ratio mass spectrometry, IRMS, isotope labelling.

Introduction

Plants in the genus *Vaccinium* L. belong to *Ericaceae* Juss. family which is widely distributed in all continents except Antarctica (Vohnik et al., 2012). *Vaccinium* genus currently has more than 500 species (Vander Kloet, 2004), four of which are native to Lithuania: *V. uliginosum* L., *V. oxycoccos* L., *V. vitis-idaea* L. and *V. myrtillus* L. (Gudžinskas, 1999). The last one is the focus of this research. European blueberry is a common species in Lithuanian forests. Research shows that *Vaccinium* shrubs, including *V. myrtillus*, have some unique characteristics such as tolerance to grow in acidic soil environments (Stackpoole et al., 2008) and the ability to form ericoid mycorrhizal symbiosis which improves these plants' nitrogen acquisition, allowing them to grow under harsh environmental conditions such as poor nutrient soils or cold temperatures (Pearson, Read, 1973; Read et al., 2000; Vohnik et al., 2012). Due to these adaptations, *V. myrtillus* shrubs are key components of forest understory, contributing to habitat stability, soil formation and are often found in habitats of mature successional stage and climax (McCullough, 1948).

Nitrogen compounds labeled with heavier isotopes (¹⁵N) are used to improve our understanding of nitrogen utilization in various organisms, including the role of fungi in plant nitrogen acquisition (Vallano, Sparks, 2013; Zhang et al., 2019), interactions between neighbouring plants (Buchmann et al., 1996) and plant nitrogen sourcing (Gundale et al., 2012). Such studies use organic (amino acids) and inorganic (nitrate, ammonium) nitrogen sources (Buchmann et al., 1996; Ashton et al., 2010; Alt et al., 2017). There are several approaches for supplying ¹⁵N tracers to plants, such as injections into soil (Ashton et al., 2010), foliar applications (Chester & Oechel, 1986), spraying over the study area (Buchmann et al., 1996) or adding cut plant stems directly into solutions (Alt et al., 2017). Even though there are a number of field and laboratory studies employing ¹⁵N tracers (Ingestad, 1976; Buchmann et al., 1996; Emmerton et al., 2001; Gundale et al., 2012; Alt et al., 2017), to our knowledge, nitrogen acquisition of *V. myrtillus* shrubs across different organs has never been investigated by using stable nitrogen isotopes as tracers. Therefore, the aim of our research was to carry out a primary analysis of nitrogen gain in *V. myrtillus* found in situ. Our objectives were as follows: 1) to test whether our ¹⁵N-labeling method of choice is suitable for studying nitrogen uptake in blueberry shrubs, 2) to assess whether *V. myrtillus* prefers ammonium over nitrate as a nitrogen source, 3) to determine the rate of nitrogen uptake of *V. myrtillus* from ammonium nitrate, 4) to infer overall nitrogen gain in different organs of *V. myrtillus* using ¹⁵N/¹⁴N ratios and N%.

Materials and methods

Study area. The study site was in a coniferous forest near Nemenčinė in Vilnius District. Annual solar irradiance in the experimental area is around 3300–3400 MJ/m². Mean annual temperature is +6 °C, with an absolute maximum of +34.9 °C and an absolute minimum of -32.2 °C. Soil temperature in 10 cm depth in July is about 19.5–20.0 °C. Mean annual precipitation is 650 mm. During the cold season (November – March) precipitation is 200–250 mm and during the warm season (April–October) precipitation is around 400–

450 mm. Soil moisture in the upper 1 m of soil is 210 mm in the 3rd decade of April and 141 mm in the 3rd decade of May. Snow cover duration is about 90 days per year and thickness is 20–25 mm (National Land Service under the Ministry of Agriculture of the Republic of Lithuania, 2014).

Experimental design. The field work was conducted in August–September of 2024. Three 50 cm × 50 cm study plots were established approx. 5 meters apart: the 1st plot was a control plot, the 2nd plot was treated with unlabeled ammonium nitrate (NH_4NO_3), and the 3rd plot was treated with ^{15}N -labeled ammonium nitrate ($\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$). The solutions of NH_4NO_3 and $\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$ were prepared according to Buchmann et al. (1993) with slight modification. The total amount of nitrogen applied to the plots was equal to 60 mg of N/m². The volume of the solution resembled a precipitation event of 0.5 L/m². The solutions were applied according to Ma et al. (2021). 5 ml of solution was injected with a syringe into 25 points (a total of 125 mL per plot) on August 13, 2024, between 10:00 and 11:00 AM. Plant specimens were collected at four different time points: after 24 hours, after 1 week, after 3 weeks and after 1 month. Collected specimens of blueberry plants included leaves, stems, and about 10 cm of root fragments. Underground and above-ground parts of blueberry were immediately separated and placed into individual sealed plastic bags and were taken to the laboratory for further processing.

Sample preparation. The lab work was conducted in August – November of the same year. Specimens of *V. myrtillus* were washed using tap water to remove soil and other debris, then washed with deionized water. Additionally, following the methods of Ashton et al. (2010), roots that were taken from plots affected with unlabeled and labeled ammonium nitrate were immersed in 0.5 mmol/L CaCl_2 + 1.0 mmol/L KCl solution for 2 minutes to remove adsorbed ^{15}N , and rinsed with deionized water. Washed samples were placed in paper envelopes labeled with identification codes and dried in a thermostat (BINDER GmbH, Tuttlingen, Germany) at 70°C for 24 hours. Dried samples were divided into four parts: roots, green stems (the above-ground parts of stems), dry stems (the below-ground parts of stems), and leaves. Separated blueberry parts were ground into powder fractions using a MICCRA MiniBatch D-1 electric homogenizer (MICCRA GmbH, Heitersheim, Germany) and stored in sealed plastic bags.

Nitrogen isotope and elemental analysis. Preparation for isotope analysis was done in the Center of Physical Sciences and Technology Nuclear Research Department laboratory. The prepared samples were weighed using Mettler Toledo XP105 DeltaRange laboratory scales (Columbus, Ohio, USA; accuracy ±0.01 mg) and packed into 6 mm × 4 mm standard clean tin capsules (OEA Labs, Exeter, UK) following the IAEA (2019) guidelines. The mass of each sample was approximately 4.5 mg. Nitrogen content (N%) and nitrogen stable isotope ratios ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) in plant material were determined by using isotope ratio mass spectrometry coupled with elemental analysis (EA-IRMS). The EA-IRMS system consisted of a Delta V Advantage isotope ratio mass spectrometer coupled with a Flash EA1112 elemental analyzer via a Finnigan ConFlo III interface (Thermo Electron Corporation, Bremen, Germany). $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ratios were expressed as $\delta^{15}\text{N}$ values (‰) in relation to N-AIR standard.

Statistical analysis. R (version 4.3.1) (R Core Team, 2023a) and RStudio (version 2023.6.2.561) were used for statistical analysis. Statistical analysis involved the following R packages: *tidyverse* (Wickham et al., 2019), *rstatix* (Kassambara, 2023), *stats* (R Core Team, 2023b), *forcats* (Wickham, 2023) *ggplot2* (Wickham et al., 2016), *onewaytests* (Dag et al., 2018), *ggfortify* (Horikoshi, Tang, 2016), *dplyr* (Wickham et al., 2023) and *stringr* (Wickham, 2023). The assumption of normality was assessed using Shapiro-Wilk test ($\alpha = 0.05$) and homoscedasticity of our data was evaluated using Brown-Forsythe test ($\alpha = 0.05$). $\delta^{15}\text{N}$ data from all organs of *V. myrtillus* violated the assumption of normality (Shapiro-Wilk, $p < 0.05$). $\delta^{15}\text{N}$ data from the 1st and 2nd plots met the assumption of normality (Shapiro-Wilk, $p > 0.05$), but $\delta^{15}\text{N}$ data from the 3rd plot did not meet the normality assumption (Shapiro-Wilk, $p < 0.05$). $\delta^{15}\text{N}$ data from different collection times violated the assumption of normality (Shapiro-Wilk, $p < 0.05$). $\delta^{15}\text{N}$ data variances from all organs and material collected at different time points were equal (Brown-Forsythe, $p > 0.05$), except in the 1st plot (Brown-Forsythe, $p < 0.05$), $\delta^{15}\text{N}$ data from different plots also did not meet the assumption of homoscedasticity (Brown-Forsythe, $p < 0.05$). N% data from all organs of *V. myrtillus* were normally distributed (Shapiro-Wilk, $p > 0.05$). N% data from the 2nd plot violated the normality assumption (Shapiro-Wilk, $p < 0.05$). N% data from from all organs and material collected at different time points meet the assumption of normality (Shapiro-Wilk, $p > 0.05$). N% data from different plots and times of collection met the homoscedasticity assumption (Brown-Forsythe, $p > 0.05$) while all N% data from different *V. myrtillus* organs violated the assumption of equal variances (Brown-Forsythe, $p < 0.05$). Therefore, Kruskal-Wallis rank sum test was used to evaluate differences between medians ($\alpha = 0.05$). Post-hoc analysis was done with Conover-Iman test ($\alpha = 0.05$). Non-parametric Spearman's rank correlation test was used to evaluate the relationship between two variables ($\delta^{15}\text{N}$ and N%).

Results and discussion

Overall and inter-organ variations $\delta^{15}\text{N}$ between plots. Significant variations of $\delta^{15}\text{N}$ values were detected in *V. myrtillus* specimens collected from different plots. There were statistically significant variations of $\delta^{15}\text{N}$ in *V. myrtillus* across plots (Kruskal-Wallis, $\chi^2 = 34.75$, $\text{df} = 2$, $p < 0,05$). The highest overall $\delta^{15}\text{N}$ values were in plants collected from the 3rd plot ($\delta^{15}\text{N}_{\text{mean}} = 219.70\text{‰}$) while the lowest overall $\delta^{15}\text{N}$ values were in the 2nd plot ($\delta^{15}\text{N}_{\text{mean}} = -9.14\text{‰}$). No statistically significant variations of $\delta^{15}\text{N}$ in different organs of *V. myrtillus* were found (Kruskal-Wallis, $\chi^2 = 2.55$, $\text{df} = 3$, $p > 0,05$). $\delta^{15}\text{N}$ values in different organs of *V. myrtillus* (Fig. 1) showed that the highest overall acquisition of ^{15}N were in roots ($\delta^{15}\text{N} = 865.18\text{‰}$) and decreased going up to dry stems ($\delta^{15}\text{N} = 510.57\text{‰}$), stems ($\delta^{15}\text{N} = 245.72\text{‰}$), and leaves ($\delta^{15}\text{N} = 76.80\text{‰}$). $\delta^{15}\text{N}$ values in unlabeled ammonium nitrate and control groups were nearly identical in all blueberry organs, indicating that the source ammonium nitrate was not enriched in ^{15}N . Ammonium is believed to be the primary nitrogen source for plants in the genus *Vaccinium* and is immediately distributed through the whole plant after acquisition (Alt *et al.*, 2017). In the case of *V. vitis-idaea*, a shrub from the same genus, ericoid mycorrhiza has significant influence in maintaining relatively low $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ratios in roots (Emmert *et al.*, 2001). However, our results contradict these findings. Even though the acquired ^{15}N is transported in the plant, most of it still stays in *V. myrtillus* roots. This could be due to the possibility that concentrations of $\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$ were too high. Moreover, as we injected the $\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$ solution into the soil, some of it might have directly contacted with blueberry roots and may have remained after washing procedures as undesired residue. On the other hand, nitrate can be stored in the roots (Alt *et al.*, 2017), which partially supports our findings. Therefore, in order to gain more valuable insights, this experiment should be repeated with reduced amounts of total applied nitrogen.

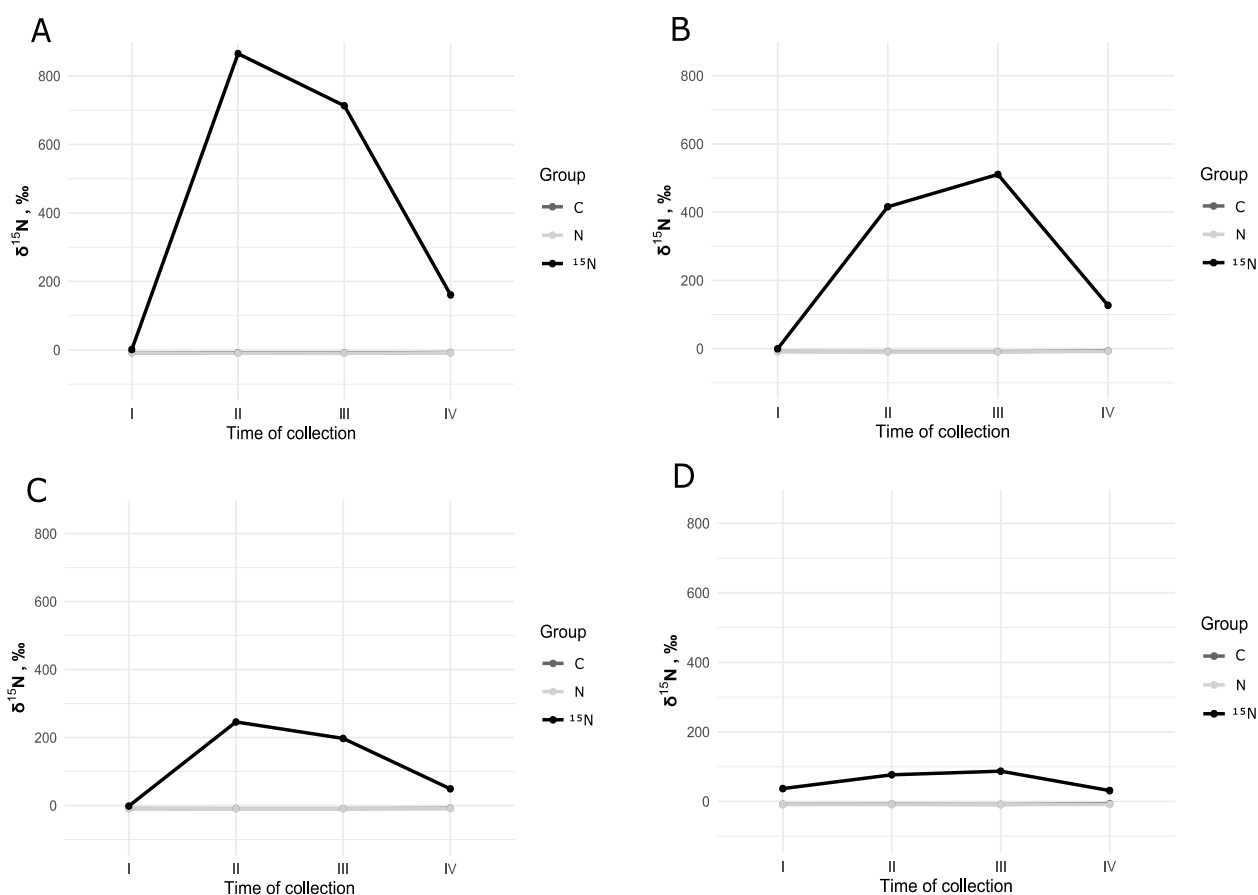


Fig 1. Changes of $\delta^{15}\text{N}$ values in different organs of *Vaccinium myrtillus* L. A – roots, B – dry stems, C – green stems and D – leaves. X axis represents time of specimen collection: I – one day post-injection, II – after one week, III – after three weeks, IV – after one month. Sample size (number of *V. myrtillus* specimens used for analysis) $N = 12$. Line colors mark treatment groups: C – control group; N – unlabeled ammonium nitrate; ^{15}N – ^{15}N -labeled ammonium nitrate

$\delta^{15}\text{N}$ trends across time. Significant variations of $\delta^{15}\text{N}$ were detected in *V. myrtillus* specimens gathered at different points in time. Statistically significant differences were detected in $\delta^{15}\text{N}$ between *V. myrtillus* collected at different time points in the 1st plot (Kruskal-Wallis $\chi^2 = 8.49$, $\text{df} = 3$, $p < 0,05$) and the 3rd plot (Kruskal-Wallis $\chi^2 = 10.43$, $\text{df} = 3$, $p < 0,05$). The overall highest $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ratios were in the IInd time of

collection point in the 3rd plot (one week after fertilization) ($\delta^{15}N_{mean} = 127.57\text{‰}$), while the lowest were in the 1st collection point (one day after fertilization) in the 1st plot ($\delta^{15}N_{mean} = -2.78\text{‰}$). One day after ammonium nitrate solution injection, relatively low $\delta^{15}N$ values were detected in all plant parts except the leaves, where significantly higher $\delta^{15}N$ value of 36.87‰ was immediately observed. In roots and green stems the highest $\delta^{15}N$ values were observed one week after solution injection, a slight decrease in values after three weeks and a significant decrease after one month. In dry stems and leaves $\delta^{15}N$ values continued to increase up to three weeks after fertilization and, as well as in other organs, $\delta^{15}N$ values decreased after one month post solution injection.

Overall N% and organ-specific N% in different plots. No clear variations of N% were detected in *V. myrtillus* specimens from different plots. Statistically significant differences were detected in N% between different organs of *V. myrtillus* (Kruskal-Wallis, $\chi^2 = 39.61$, $df = 3$, $p < 0.05$). The highest N% was in leaves from the 3rd plot (N% = 1.29%) while the lowest N% was in dry stems from the 2nd plot (N% = 0.4%).

N% shifts on a temporal scale. No clear variations of N% were detected in *V. myrtillus* specimens gathered at different points in time. The control group (1st plot) maintained relatively stable nitrogen levels across all plant parts except leaves which decreased in the span of the experiment starting at the highest overall values of 1.5% and dropping to 1.07%. Such values at the beginning of our experiment correspond to the previously determined natural nitrogen content in blueberry leaves (Gundale *et al.*, 2012). The highest N% in leaves of *V. myrtillus* suggest that leaves function as nitrogen sinks at the whole-plant level when no additional nitrogen source is supplied or available. Leaves from the 3rd plot also showed generally decreasing nitrogen content with the highest N% at the beginning of the experiment (N% = 1.44%) and the lowest at the end of material collection (N% = 1.09%). Roots, dry stems, and green stems in the 3rd plot show an increase in N% but neither of them reached the amount of N in leaves. Roots and green stems from the 2nd plot also show an increase in N% but dry stems and leaves showed a decrease in N% up to three weeks after fertilizer injection.

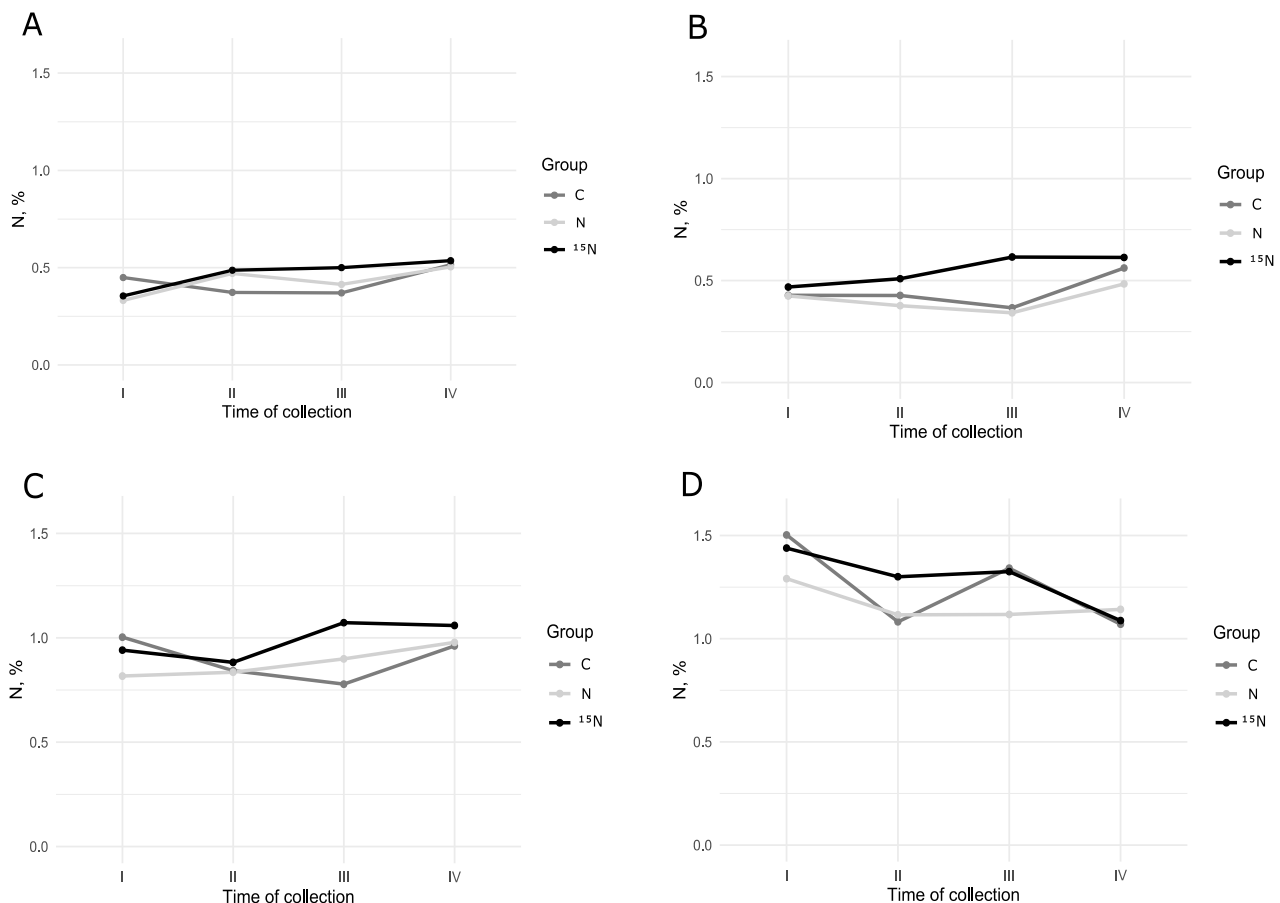


Fig 2. Changes of N content (%) in different organs of *Vaccinium myrtillus* L. A – roots, B – dry stems, C – green stems and D – leaves. X axis represents time of specimen collection: I – one day post-injection, II – after one week, III – after three weeks, IV – after one month. Sample size (number of *V. myrtillus* specimens used for analysis) N = 12. Line colors mark treatment groups: C – control group; N – unlabeled ammonium nitrate; ¹⁵N – ¹⁵N labeled ammonium nitrate

Relationships between $\delta^{15}N$ and N%. Spearman's rank correlation showed no statistically significant relationships between $\delta^{15}N$ values and N% in all experimental groups ($p > 0.05$), indicating that these parameters are independent from each other and serve as proxies for different processes.

Conclusions

1. While our ^{15}N -labeling method is suitable for studying nitrogen uptake in *V. myrtillus*, the experiment should be repeated with less ammonium nitrate, as the amount of nitrogen should be less than 60 mg N/m^2 .
2. Our preliminary results indicate that *V. myrtillus* prefers nitrate over ammonium, contradicting findings about other species in the genus *Vaccinium*, yet more experiments are needed in order to determine the primary nitrogen source of *V. myrtillus*.
3. Generally, the highest uptake of ^{15}N from ammonium nitrate in *V. myrtillus* was observed after one and three weeks post-treatment, indicating that nitrogen uptake rates do not increase immediately after supplemented with nitrogen sources.
4. $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ratios were the highest in *V. myrtillus* roots and the lowest were in leaves, while the highest N% was in leaves and the lowest was in dry stems, implying that nitrogen in above-ground parts of *V. myrtillus* may significantly contribute to the overall nitrogen supply in *V. myrtillus*.

References

1. Alt, D. S., Doyle, J. W., & Malladi, A. (2017). Nitrogen-source preference in blueberry (*Vaccinium* sp.): Enhanced shoot nitrogen assimilation in response to direct supply of nitrate. *Journal of plant physiology*, 216, 79–87.
2. Ashton, I. W., Miller, A. E., Bowman, W. D., & Suding, K. N. (2010). Niche complementarity due to plasticity in resource use: Plant partitioning of chemical N forms. *Ecology*, 91(11), 3252–3260.
3. Buchmann, N., Gebauer, G., & Schulze, E.-D. (1996). Partitioning of ^{15}N -labelled ammonium and nitrate among soil, litter, below- and above-ground biomass of trees and understory in a 15-year-old *Picea abies* plantation. *Biogeochemistry*, 33(1), 1–23. <https://doi.org/10.1007/BF00000967>
4. Chester, A. L., & Oechel, W. C. (1986). Effects of leaf nitrogen availability and leaf position on nitrogen allocation patterns in *Vaccinium vitis-idaea* and *Vaccinium uliginosum*. *Oecologia*, 69, 121–125.
5. Dag, O., Dolgun, A., & Konar, N. (2018). Onewaytests: An R Package for One-Way Tests in Independent Groups Designs. *The R Journal*, 10(1), 175–199. <https://doi.org/10.32614/RJ-2018-022>
6. Emmerton, K. S., Callaghan, T. V., Jones, H. E., Leake, J. R., Michelsen, A., & Read, D. (2001). Assimilation and isotopic fractionation of nitrogen by mycorrhizal and nonmycorrhizal subarctic plants. *New Phytologist*, 151(2), 513–524.
7. Gudžinskas, Z. (1999). *Lietuvos induočiai augalai*. Vilnius: Botanikos instituto leidykla.
8. Gundale, M. J., Hyodo, F., Nilsson, M. C., & Wardle, D. A. (2012). Nitrogen niches revealed through species and functional group removal in a boreal shrub community. *Ecology*, 93(7), 1695–1706.
9. Horikoshi, M., & Tang, Y. (2016). *ggfortify: Data Visualization Tools for Statistical Analysis Results*. <https://CRAN.R-project.org/package=ggfortify>
10. Ingestad, T. (1976). Nitrogen and cation nutrition of three ecologically different plant species. *Physiologia Plantarum*, 38(1), 29–34.
11. Joint F. A. O. (2019). Sample Preparation of Soil and Plant Material for Isotope Ratio Mass Spectrometry (No. IAEA-TECDOC–1870). *Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture*.
12. Kassambara, A. (2023). *rstatix: Pipe-Friendly Framework for Basic Statistical Tests (versija 0.7.2)*. <https://CRAN.R-project.org/package=rstatix>
13. Ma, L., Xu, X., Zhang, C., Lv, Y., Liu, G., Zhang, Q., Feng, J., & Wang, R. (2021). Strong non-growing season N uptake by deciduous trees in a temperate forest: A ^{15}N isotopic experiment. *Journal of Ecology*, 109(11), 3752–3766. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13754>
14. McCullough, H. A. (1948). Plant succession on fallen logs in a virgin spruce-fir forest. *Ecology*, 29(4), 508–513.
15. National Land Service under the Ministry of Agriculture of the Republic of Lithuania. (2014). *Lithuanian National Atlas*, Vol. I, Vilnius, National Land Service under the Ministry of Agriculture of the Republic of Lithuania, 286.
16. Pearson, V., & Read, D. J. (1973). The biology of mycorrhiza in the Ericaceae: I. The isolation of the endophyte and synthesis of mycorrhizas in aseptic culture. *New Phytologist*, 72(2), 371–379.
17. R Core Team. (2023a). R: A language and environment for statistical computing. *R Foundation for Statistical Computing*, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
18. R Core Team. (2023b). *The R Stats Package*. <https://search.r-project.org/R/refmans/stats/html/stats-package.html>
19. Read, D. J., Duckett, J. G., Francis, R., Ligrone, R., & Russell, A. (2000). Symbiotic fungal associations in 'lower' land plants. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 355(1398), 815–831.

20. Stackpoole, S. M., Workmaster, B. A. A., Jackson, R. D., & Kosola, K. R. (2008). Nitrogen conservation strategies of cranberry plants and ericoid mycorrhizal fungi in an agroecosystem. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(11), 2736–2742.
21. Vallano, D. M., Sparks, J. P. (2013). Foliar $\delta^{15}N$ is affected by foliar nitrogen uptake, soil nitrogen, and mycorrhizae along a nitrogen deposition gradient. *Oecologia*, 172(1), 47–58.
22. Vander Kloet, S. P. (2004). *Vaccinia gloriosa*. *Small Fruits Review*, 3, 221–227.
23. Vohnik, M., Sadowsky, J. J., Kohout, P., Lhotakova, Z., Nestby, R., & Kolařík, M. (2012). Novel root-fungus symbiosis in Ericaceae: sheathed ericoid mycorrhiza formed by a hitherto undescribed basidiomycete with affinities to Trechisporales. *PLoS one*, 7(6), e39524.
24. Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York.
25. Wickham, H. (2023). *forcats: Tools for Working with Categorical Variables (Factors) (versija 1.0.0)*. <https://CRAN.R-project.org/package=forcats>
26. Wickham, H. (2023). *stringr: Simple, Consistent Wrappers for Common String Operations. R package version 1.5.1*. <https://github.com/tidyverse/stringr>, <https://stringr.tidyverse.org>
27. Wickham, H., Averick, M., Bryan, J., Chang, W., McGowan, L. D., François, R., ... Yutani, H. (2019). Welcome to the tidyverse. *Journal of Open Source Software*, 4(43), 1686. <https://doi.org/10.21105/joss.01686>
28. Wickham, H., François, R., Henry, L., Müller, K., & Vaughan, D. (2023). *dplyr: A Grammar of Data Manipulation (versija project.org/package=dplyr)*.
29. Zhang, Z., Yuan, Y., Liu, Q., Yin, H. (2019). Plant nitrogen acquisition from inorganic and organic sources via root and mycelia pathways in ectomycorrhizal alpine forests. 136, 107517.

Aistė Tuzinaitė, Anita Elizabeth Clarke, Andrius Garbaras, Radvilė Rimgailė-Voicik

Paprastosis mėlynės (*Vaccinium myrtillus* L.) azoto įsisavinimo įvertinimas: pilotinis eksperimentas

Mėlynių (*Vaccinium myrtillus* L.) krūmokšniai yra svarbūs miškų žolių-krūmokšnių ardo komponentai vertinant bendrųjų stabilumą. Šie krūmokšniai plačiai paplitę vidutinio klimato juostoje ir yra dažna rūšis Lietuvoje, todėl aktualu plačiau ištirti *V. myrtillus* ekologinę nišą ir šių krūmokšnių azoto pasisavinimą. Tyrimai su žymėto azoto ^{15}N junginiais šiam tikslui yra labai vertingi, tačiau tokio tipo tyrimų su mėlynėmis ypač stinga.

2024 metų rugpjūčio–rugsėjo mėn. Vilniaus r., Nemenčinės miške, buvo atliktas pilotinis eksperimentas, siekiant įvertinti mėlynių savybę įsisavinti azotą. Buvo parinkti trys skirtingų grupių tyrimo laukeliai: kontrolinės grupės, nežymėto (angl. *unlabeled*) amonio nitrato tirpalu ir ^{15}N žymėto (angl. *^{15}N -labeled*) amonio nitrato tirpalu veikiami plotai (60 mg N/m²). Trąšos buvo švirkštu suleistos į dirvožemį. Mėlynių pavyzdžiai buvo renkami keturis kartus po poveikio. Augalinė medžiaga buvo apdorota, po to ištirta elementinės analizės ir izotopų santykių masių spektrometrijos (angl. *elemental analysis coupled with isotope ratio mass spectrometry*, EA-IRMS) sistema. Rezultatai rodo, kad mėlynės gali įsisavinti amonio nitrata. Bendras didžiausias trąšų įsisavinimas stebėtas po vienos ir trijų savaičių nuo tręšimo. Paveiktų žymėtu amonio nitratu mėlynių krūmokšnių aukščiausios $\delta^{15}N$ vertės buvo šaknyse, žemiausios – lapuose. Šis pilotinis eksperimentas suteikia naujų įžvalgų apie mėlynių ekofiziologiją ir funkcionavimą miškų ekosistemose.

Raktiniai žodžiai: ^{15}N žymėtas amonio nitratas, krūmai, izotopų santykio masės spektrometrija, IRMS, izotopų žymėjimas.

Gauta 2025 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2025 m. balandžio mėn.

Aistė TUZINAITĖ. Vilnius University Life Sciences Center, undergraduate student in Biology. Address: Saulėtekio av. 7, LT-10257 Vilnius, Lithuania. E-mail: tuzinaitea@gmail.com

Anita Elizabeth CLARKE. Vilnius University Life Sciences Center Institute of Biosciences, PhD student. Address: Saulėtekio av. 7, LT-10257 Vilnius, Lithuania. E-mail: anita.clarke@gmc.vu.lt

Andrius GARBARAS. State Research Institute Center for Physical Sciences and Technology, Department of Nuclear Research, Head of Isotopic Research Laboratory, Senior Researcher. Address: Saulėtekio av. 3, LT-10257 Vilnius, Lithuania; e-mail: andrius.garbaras@ftmc.lt

Radvilė RIMGAILĖ-VOICIK. Vilnius University, Life Sciences Center, Institute of Biosciences, Associate Professor. Address: Saulėtekio av. 7, LT-10257 Vilnius. E-mail: radvile.rimgaile-voicik@gmc.vu.lt

AGURKŲ (*CUCUMIS SATIVUS* L.) PRODUKTYVUMO IR SKONINIŲ SAVYBIŲ VERTINIMAS

Regina Vasiliauskienė, Daiva Šileikienė, Marija Jankauskaitė

Vytauto Didžiojo universitetas

Pasaulyje sparčiai daugėjant žmonių, daugėja ir suvartojamų daržovių kiekiai, tarp jų ir agurkų (*Cucumis sativus* L.). Mokslinė problema – kaip optimizuoti agurkų auginimo technologiją, siekiant padidinti derlių ir išlaikyti aukštą vaisių kokybę, kartu mažinant cheminių trąšų naudojimą ir neigiamą poveikį aplinkai. Eksperimentas atliktas Lietuvos agrarinių ir daržininkystės tyrimų centre, auginant agurkus nešildomame šiltnamyje. Tiriamieji variantai skyrėsi mineralinių trąšų (NPK) ir biologinio tirpalo santykiais. Nustatyta, kad didžiausias vidutinis prekybinis derlius (13,3 kg m²) ir geriausias tinkamumas parduoti (93,2 %) pasiektas II variante, kuriame buvo naudojamos NPK trąšos su biologiniu tirpalu (1:10). Mažiausi rodikliai fiksuoti IV variante (atitinkamai 6,8 kg m² ir 83,9 %). Skoninių savybių analizė parodė, kad II variante dominuoja saldus skonis, o V variante – neutralus. Statistinė analizė patvirtino reikšmingus skirtumus tarp skirtingų auginimo variantų ($p < 0,05$). Tyrimo rezultatai rodo, kad biologinių preparatų naudojimas gali būti efektyvi alternatyva daliniam sintetinių trąšų pakeitimui, taip prisidedant prie tvaresnės žemdirbystės.

Raktiniai žodžiai: agurkai, auginimo variantai, produktyvumas, skoninės savybės.

Įvadas

Klimato kaita yra vienas didžiausių iššūkių visame pasaulyje. Yra tvirtų mokslinių tyrimų įrodymų, kad klimato kaita paveiks kelis su maisto grandine susijusius elementus, tokius kaip žemės ūkio produkcija, galimybė gauti maistą, maisto kokybė ir maisto sauga (Tchoukouang et al., 2024). Žemės ūkis užima unikalią vietą, kaip Europos Sąjungos visuomenės, aplinkos ir ekonomikos šerdis. Dėl klimato kaitos žemės ūkio sektorius susiduria su precedento neturinčiais iššūkiais. Toliau kylant temperatūrai ir keičiantis oro sąlygoms, augalų ir virusų sąveikos dinamika labai pasikeičia, todėl reikia novatoriškų sprendimų, užtikrinančių pasaulinį maisto saugumą. Svarbiausias žemės ūkio bruožas yra tas, kad gamyba organiškai susijusi su pagrindinėmis gamybos priemonėmis – žemės naudojimu ir gamtine aplinka. Žemės ūkio produktų gamyboje dalyvauja biologiniai, gamtiniai, techniniai ir technologiniai procesai, kurie lemia produkcijos derlingumą ir produktyvumą (Sahu et al., 2024). Užsiimant tradiciniu ūkininkavimu naudojamos įvairios augalų apsaugos priemonės, pavyzdžiui pesticidai augalams apsaugoti ir trąšos jų augimui ir derlingumui skatinti. Kadangi žemės ūkio sektoriaus ryšys su aplinka yra itin sudėtingas, aplinkosauginių problemų išvengti neįmanoma. Naudojant augalų apsaugos priemones gali iškilti rizikos požeminio ir paviršinio vandens kokybei, dirvožemio kokybei, biologinei įvairovei, ekosistemoms bei, žinoma, žmonių sveikatai, kas šiais laikais tampa vis aktualesne problema (Rani et al., 2021). Todėl žmonių sveikatai kylantiems pavojams skiriamas dėmesys progresyviai auga, ypač susijusiems su įvairių cheminių medžiagų naudojimu (Bettiol et al., 2004). Tampa itin svarbu kurti novatoriškas technologijas, kurios pagerintų tvarią žemės ūkio gamybos sistemą ir sumažintų sintetinių agrocheminių medžiagų, tokių kaip trąšos ir augalų apsaugos produktai, naudojimą (El Sheikh et al., 2022). Tinkamų augalų auginimo technologijų parinkimas yra labai svarbus, siekiant optimaliausio aukštus kokybinius rodiklius atitinkančios produkcijos prieaugio bei žalingo poveikio aplinkai minimalizavimo. Pastaraisiais metais populiarėja dirvožemį tausojantis ūkininkavimas. Taikant ES struktūrinių fondų išmokas dėl tausojamosios žemdirbystės, ūkininkai tampa sąmoningesni, supranta, kad intensyvi žemdirbystė alina dirvožemį. Dėl to ūkininkai augina daugiau žaliųjų trąšų ir įvairesnių augalų, įskaitant azotą fiksuojančius augalus. Viena iš alternatyvų tradicinėms augalų apsaugoms priemonėms galėtų būti bakterinių preparatų naudojimo pritaikymas. Bakteriniais preparatais galima pagerinti dirvožemio fitosanitarines savybes ir padidinti augalų atsparumą ligoms. Taip pat padidėtų augalų atsparumas abiotiniams aplinkos stresoriams, išaugtų auginamos kultūros produktyvumas ir kokybė. Tyrimo tikslas – įvertinti bioaktyvių organinių medžiagų poveikį agurkų 'Roliai' H produktyvumui ir skoninėms savybėms.

Tyrimų metodika

Tyrimo objektas – E. Dambrausko sukurtas savidulkis (partenokarpinis) agurkų hibridas 'Roliai' H. Agurkai pasižymi intensyviu derėjimu auginimo pradžioje. Augalai kompaktiški, vidutinio augumo. Žydi piesteliniais žiedais. Mezga be apdulkinimo. Vaisiai 9–11 cm ilgio, odelė intensyviai žalios spalvos su baltomis juostelėmis. 'Roliai' H pasižymi geromis skonio savybėmis – vaisiai nekartūs, sultingi su plona odele. Tinkamas auginti nešildomuose šiltnamiuose pavasario-vasaros laikotarpiu lauke, sėjant sėklas dirvoje arba sodinant daigais.

Agurkų produktyvumo tyrimas atliktas Lietuvos agrarinių ir daržininkystės tyrimų centro Sodininkystės ir daržininkystės institute, Kauno rajono savivaldybės Babtų miestelyje, koordinatės 55.081908, 23.798374.

Agurkai buvo auginami nešildomame šiltnamyje su polimerine uždanga. Eksperimentinės vietos dirvožemis *Calcic Endogleyic Luvisol (LV-gl-n-cc)* lengvas priemolis (WRB, 2014). Agurkų sėklos pasėtos 2023 m. balandžio 10 d. Daigai persodinti į šiltnamį gegužės 29 d. Persodinti daigai buvo 25 cm aukščio su 4–5 tikraisiais lapais. Vienaame sklype auginti 4 augalai. Atstumas tarp augalų buvo 30 cm ir 85 cm tarp eilių (4 augalai m^{-2}). Tyrimas atliktas trimis pakartojimais pagal institute priimtas auginimo technologijas (Sasnauskas ir kt., 2013). Vienetinio tiriamo sklypo plotas 3,0 m^2 . Agurkų derliaus nuėmimo pradžia buvo liepos 24 d., o vegetacijos pabaiga – rugsėjo 18 d. Eksperimento metu šiltnamyje augalai buvo laistomi kas 3–4 dienas ir šiltnamiai buvo vėdinamas. Agurkų vegetacija truko 85 dienas, skaičiuojant nuo sodinukų persodinimo iki vegetacijos pabaigos. 1 lentelėje pateikta biologinių preparatų taikymo metodika.

1 lentelė. Apdorojimo biologiniais preparatais metodika

Table 1. Methodology for treatment with biological agents

Variantas	NPK (15:15:15) + mikroelementai (40g m^{-2})	Bio. tirpalas	Paiškinimas
I var. (kontrolė)	+	-	NPK + mikroelementai buvo įterpti į dirvą prieš sodinukų sodinimą. Augalų vegetacijos metu lapų purškimas NPK (6:16:31) + mikroelementais (20g 5l H_2O) atliktas du kartus
II var.	+	1:10	NPK + mikroelementai buvo įterpti į dirvą prieš sodinukų sodinimą. Po to, kai agurkų sodinukai išaugo, dirvožemis buvo laistomas du kartus per 10 dienų, o agurkų augalai du kartus apdorojami paruoštu biologiniu tirpalu
III var.	-	1:10	Išaugus agurkų daigams, dirvožemis buvo laistomas du kartus per 10 dienų, o agurkų augalai du kartus apdoroti paruoštu biologiniu tirpalu
IV var.	+	2:10	NPK + mikroelementai buvo įterpti į dirvą prieš sodinukų sodinimą. Po to, kai agurkų sodinukai išaugo, dirvožemis buvo laistomas du kartus per 10 dienų, o agurkų augalai du kartus apdoroti paruoštu biologiniu tirpalu
V var.	-	2:10	Išaugus agurkų daigams, dirvožemis buvo laistomas du kartus per 10 dienų, o agurkų augalai du kartus apdoroti paruoštu biologiniu tirpalu

Biologinio tirpalo paruošimas: pagamintas biologinis tirpalas: Pro bakterijų (33 %), *Firmicutes* (18 %) ir *Actinobacterium* (8 %) tirpalas buvo skiedžiamas santykiu 1:10 ir 2:10 ir inkubuojamas 24 valandas 22–23 °C temperatūroje.

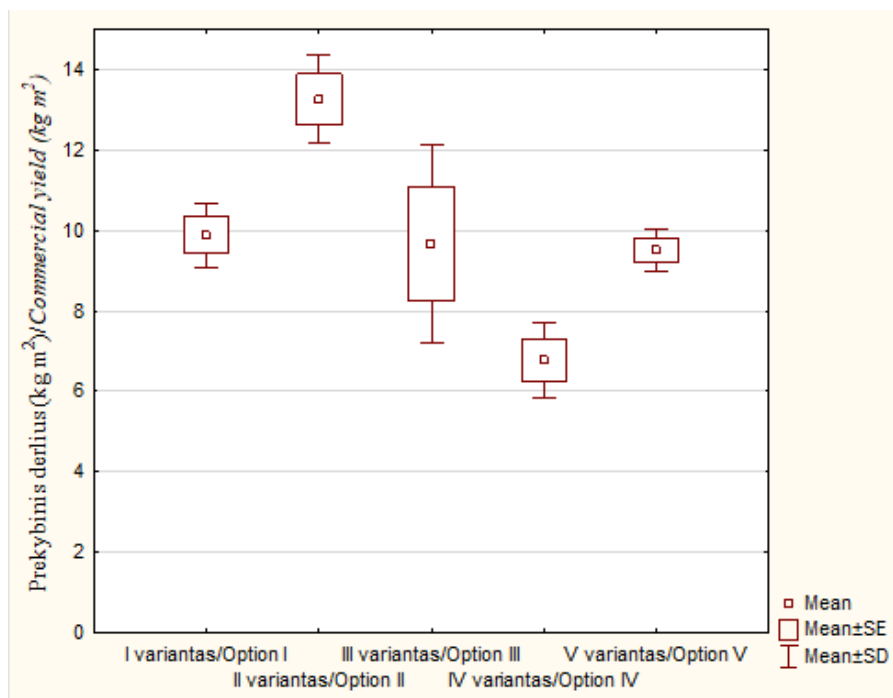
Tyrimas buvo atliktas siekiant nustatyti agurkų produktyvumą taikant skirtingas tręšimo ir biologinių preparatų naudojimo santykius. Tyrimo metu buvo vertinami agurkų prekybinis derliaus, tinkamumo parduoti ir skoninių savybių rodikliai. Tyrimo naudoti penki skirtingi auginimo variantai (I, II, III, IV, V), kurių sąlygos aprašytos 1 lentelėje. Vidutinis vaisių skaičius buvo nustatomas skaičiuojant visus užaugintus vaisius vienetais, tyrimo metu kiekviename skirtingų auginimo variantų plotuose. Vidutinis vaisių svoris buvo matuojamas naudojant laboratorines svarstyklės (tikslumas – 0,01 g). Vaisių svorio rezultatai buvo reikalingi nustatant bendrojo prekybinio derliaus rezultatams. Įvertintas bendras vidutinis agurkų prekybinis derlius, kuris apskaičiuojamas pagal auginamą plotą m^2 , kuriame išauginamas bendras prekybinis derlius kg, bei vidutinis tinkamumas parduoti (kokybinis rodiklis, nusakantis, ar produktas atitinka reikalavimus prekybai, nustatant vizualiai pagal ES standartus: įvertintos deformacijos, spalva, dydis, ligų pažeidimai).

Skoninių savybių vertinimas atliktas trimis pakartojimais. Skirtingų auginimo sąlygų agurkų variantai su luobelėmis atskiriant mažus ir didelius į dvi vertinimo kategorijas. Agurkai tiriami trijų vertintojų, įvertinti sensorinės analizės suskirstymo tyrimo metodu pagal keturis skonų tipus: saldumas, rūgštumas, kartumas ir neutralus skonis. Pagal gautas skaitines išraiškas išvestos vidutinės skonų vertės. Skoninės savybės išreikštos balais: 1 – saldumas, 2 – rūgštumas, 3 – kartumas, 4 – neutralus.

Duomenys buvo apdorojami naudojant programą „MS Excel“. Gautų rezultatų vertės buvo išreikštos kaip vidurkis $\pm$ SD ($n = 3$) ($p < 0,05$). Skirtumai tarp skirtingų agurkų auginimo variantų (I, II, III, IV, V) įvertinti programa STATISTICA, apskaičiuota t vertė. T testas buvo naudojamas nepriklausomas, pagal kintamuosius. Reikšmingumo lygmuo: skirtumai statistiškai reikšmingi, jei $p \leq 0,05$. T testo duomenys pateikti tyrimų rezultatuose.

Tyrimų rezultatai

Vidutinis agurkų prekybinis derlius nustatytas II variante – 13,3 kg m⁻², kur agurkų auginimui buvo naudotos NPK trąšos kartu su biologiniu tirpalu santykiu 1:10. Mažiausias vidutinis agurkų prekybinis derlius nustatytas IV variante – 6,8 kg m⁻², kur agurkų auginimui buvo naudotos NPK trąšos kartu su biologiniu tirpalu santykiu 2:10. Atlikus duomenų statistinę analizę, nustatyta, kad II agurkų auginimo variantas, kuriame buvo naudojamos NPK trąšos ir biologinis tirpalas santykiu 1:10, išsiskiria reikšmingai didesniu derliumi nei dauguma kitų variantų. II variantas ir I variantas turi reikšmingą skirtumą ($p < 0,0006$, $t = 6,4167$), II variantas ir III variantas taip pat turi reikšmingą skirtumą ($p < 0,0009$, $t = 5,9219$), II variantas ir IV variantas ($p < 0,0001$, $t = 9,0987$), bei II variantas ir V variantas ($p < 0,0003$, $t = 6,9321$). I variantas ir IV variantas turi reikšmingą skirtumą ($p < 0,0245$, $t = 2,3238$), taip pat III variantas ir IV variantas ($p < 0,0002$, $t = 7,2155$), bei IV variantas ir V variantas ($p < 0,0001$, $t = 7,6489$) (1 pav.).

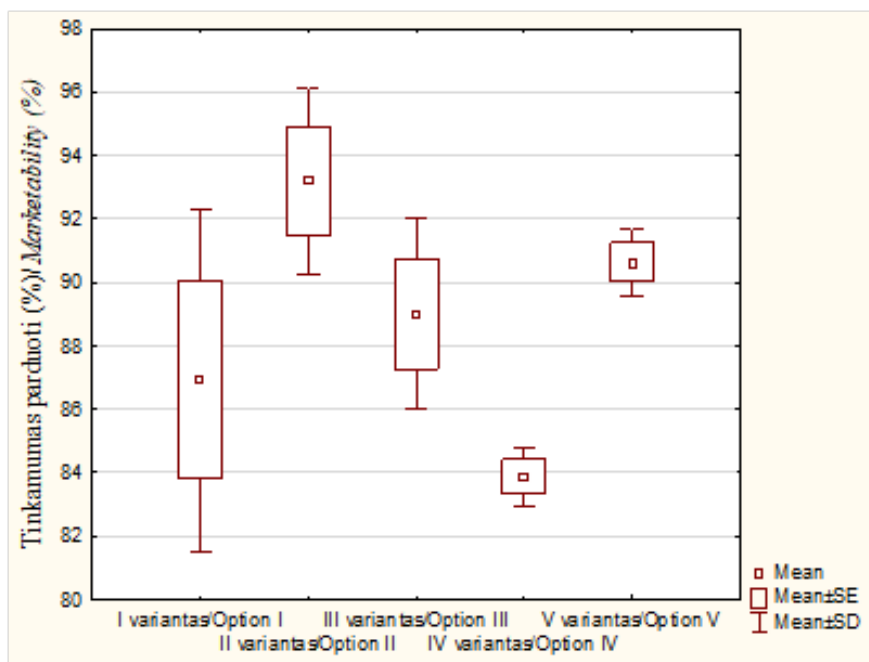


1 pav. Agurkų produktyvumo vidurkio (prekybinio derliaus) skaitinės vertės

Fig. 1. Numerical values of average productivity (commercial yield) of cucumbers

Didžiausias vidutinis agurkų tinkamumas parduoti nustatytas II variante – 93,2 %, kur agurkų auginimui buvo naudotos NPK trąšos kartu su biologiniu tirpalu santykiu 1:10. Mažiausias vidutinis agurkų tinkamumas parduoti nustatytas IV variante – 83,9 %, kur agurkų auginimui buvo naudotos NPK trąšos kartu su biologiniu tirpalu santykiu 2:10. Atlikus statistinę analizę, nustatyta, kad II variantas išsiskiria reikšmingai didesniu tinkamumu parduoti nei dauguma kitų variantų. II variantas ir IV variantas turi reikšmingą skirtumą ($p < 0,006454$, $t = 5,21387$), III variantas ir IV variantas taip pat skiriasi reikšmingai ($p < 0,047570$, $t = 2,82533$), taip pat reikšmingas skirtumas nustatytas tarp IV ir V varianto ($p < 0,001209$, $t = 8,19241$) (2 pav.).

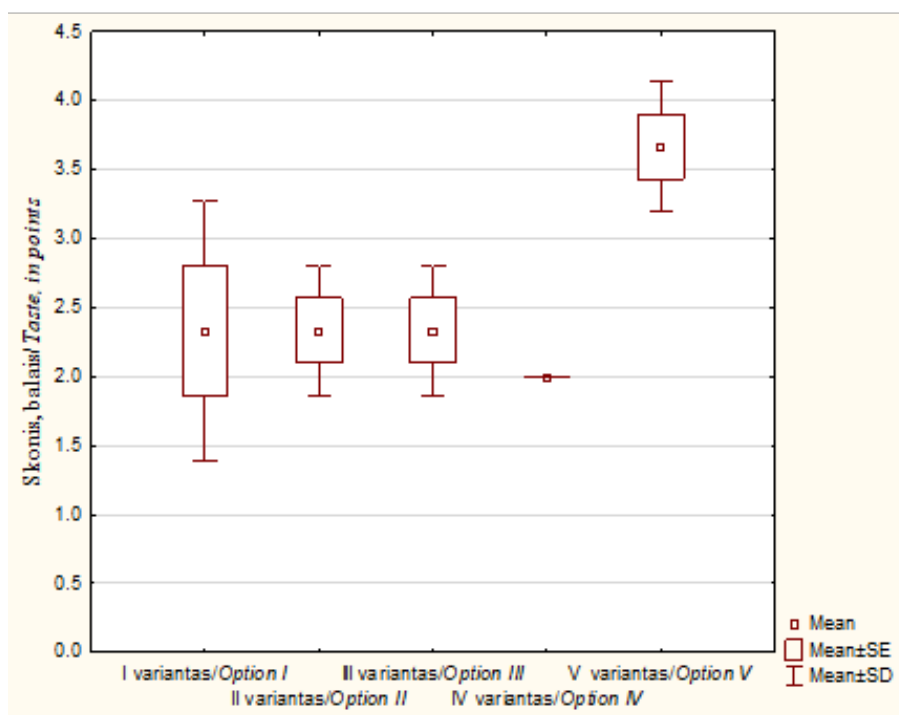
Produktyvumo vertinimo metu nustatyta, kad II variantas, kur agurkų auginimui buvo naudotos NPK trąšos kartu su biologiniu tirpalu santykiu 1:10, pasiekė produktyviausius rezultatus. Mažiausius produktyvumo kriterijus atitiko IV variantas, kuriame buvo naudojamos NPK trąšos kartu su biologiniu tirpalu santykiu 2:10.



2 pav. Agurkų tinkamumo parduoti skaitinės vertės

Fig. 2. Numerical values for the marketability of cucumbers

Didelių agurkų su luobele skoninių savybių tyrimo rezultatai parodė, kad V auginimo variante, kuriame nebuvo naudojamos NPK trąšos, o biologinis tirpalas 2:10, nustatytas dominuojantis neutralus agurkų skonis. Skoninių savybių statistškai atlikti tyrimai pademonstravo reikšmingą santykį didelių agurkų su luobele V auginimo variante, kuriame nebuvo naudojamos NPK trąšos, o biologinis tirpalas naudojamas santykiu 2:10. Statistiškai reikšmingi skirtumai nustatyti didelių agurkų su luobele tarp V auginimo varianto ir II varianto ($p < 0,047421$, $t = 2,82843$). Taip pat statistškai reikšmingas skirtumas nustatytas tarp didelių agurkų su luobele V varianto ir III varianto ($p < 0,047421$, $t = 2,82843$), taip pat statistškai reikšmingas skirtumas yra tarp V varianto ir IV varianto ($p < 0,007490$, $t = 5,00000$) (3 pav.).

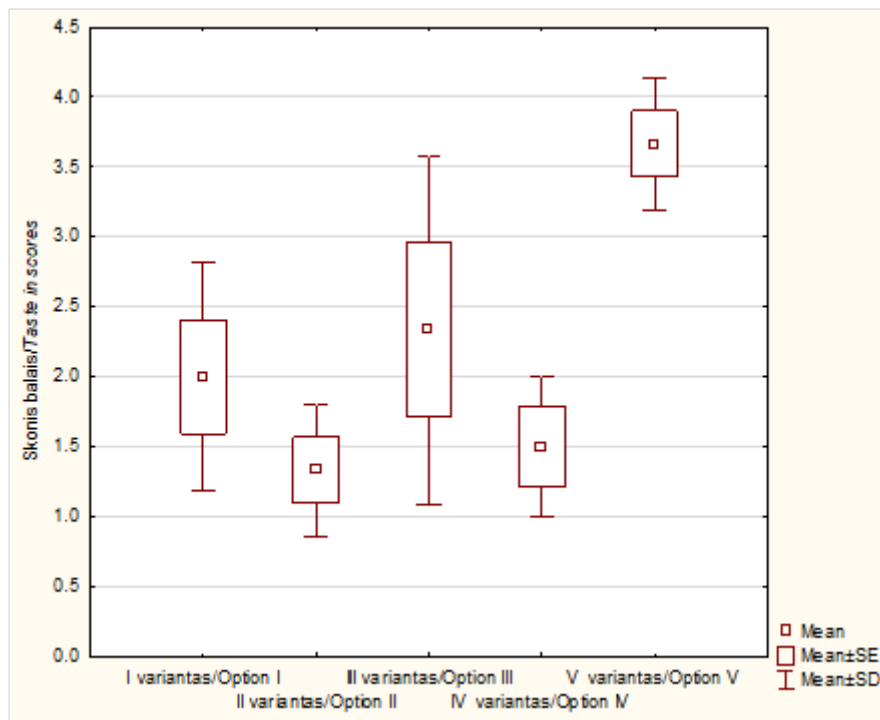


3 pav. Didelių agurkų skoninių savybių skaitinės vertės

Fig. 3. Numerical values of taste characteristics of large cucumbers

Mažų agurkų su luobele skoninių savybių tyrimo rezultatai parodė, kad V auginimo variante, kuriame nebuvo naudojamos NPK trąšos, o biologinis tirpalas naudotas santykiu 2:10, nustatytas dominuojantis neutralus agurkų skonis. Mažų su luobele agurkų II auginimo variante, kuriame buvo naudojamos NPK trąšos,

o biologinio tirpalo santykis buvo 1:10, nustatytas dominuojantis saldumas. Mažų agurkų su luobele statistiškai reikšmingi skirtumai nustatyti tarp V varianto ir II varianto ($p < 0,007763$, $t = 4,94975$), taip pat skirtumai statistiškai reikšmingi nustatyti tarp V varianto ir IV varianto ($p < 0,007763$, $t = 4,94975$) (4 pav.).



4 pav. Mažų agurkų skoninių savybių skaitinės vertės

Fig. 4. Numerical values of taste characteristics of small cucumbers

Išvados

1. Agurkų produktyvumo tyrimo metu nustatyta, kad didžiausias vidutinis prekybinis derlius ($13,3 \text{ kg/m}^2$) buvo II variante, kuriame naudotos NPK trąšos kartu su biologiniu tirpalu santykiu 1:10. Mažiausias prekybinis derlius ($6,8 \text{ kg/m}^2$) nustatytas IV variante, kuriame naudotos NPK trąšos kartu su biologiniu tirpalu santykiu 2:10. Didžiausias vidutinis tinkamumas parduoti ($93,2 \%$) buvo II variante, o mažiausias ($83,9 \%$) – IV variante, kas rodo, kad per didelė biologinių preparatų koncentracija gali turėti neigiamą poveikį prekybinei produkcijos kokybei.
2. II varianto mažų agurkų su luobele dominuojantis skonis nustatytas saldus, o V varianto didelių agurkų su luobele – neutralus. Tai rodo, kad agurkų dydis turėjo įtakos jų skoninėms savybėms, o skirtingi auginimo variantai sukėlė reikšmingus skonio skirtumus tarp mažų ir didelių agurkų. II variante buvo naudojamos NPK trąšos kartu su biologiniu tirpalu santykiu 1:10, o V variante NPK trąšos nebuvo naudojamos, bet buvo taikomas biologinis tirpalas santykiu 2:10.

Padėka

Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centras Instituto Sodininkystės ir daržininkystės instituto daržo augalų selekcijos ir technologijų skyriui už užaugintus agurkus.

Literatūra

1. Danilčenko, H. et al. (2011) *Instrumentinė ir juslinė maisto produktų analizė: mokomoji knyga*. Akademija (Kauno r.): Aleksandro Stulginskio universiteto Leidybos centras.
2. Bettiol, W., Ghini, R., Galvao, J. A. H., Siloto, R. C. 2004. Ekologiškos ir tradicinės pomidorų auginimo sistemos. *Sci. Agric.* 61(3), 253–259.
file:///C:/Users/regin/Downloads/Bettiol_et_al_Sc_Agr_Comparacao_Sist_2006.pdf
3. El Sheikha, A. F., Levin, R. E., & Xu, J. (2022). Sustainable agriculture and food security: Novel approaches for enhancing soil and plant health. *Sustainable Agriculture Reviews*, 58, 23–41.
<https://doi.org/10.3390/app12020776>

4. Rani, L., Thapa, K., Kanojia, N., Sharma, N., Singh, S., Grewal, A. S., ... Nagpal, R. (2021). An extensive review on the consequences of chemical pesticides on human health and environment. *Journal of Cleaner Production*, 283, 124657. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620347016>
5. Resh, H. M. (2022). *Hydroponic food production: A definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower (8th ed.)*. CRC Press. [https://books.tarbaweya.org/static/documents/uploads/pdf/Hydroponic%20Food%20Production%20A%20Definitive%20Guidebook%20for%20the%20Advanced%20Home%20Gardener%20and%20the%20Commercial%20Hydroponic%20Grower%20by%20Howard%20M.%20Resh%20\(z-lib.org\).pdf](https://books.tarbaweya.org/static/documents/uploads/pdf/Hydroponic%20Food%20Production%20A%20Definitive%20Guidebook%20for%20the%20Advanced%20Home%20Gardener%20and%20the%20Commercial%20Hydroponic%20Grower%20by%20Howard%20M.%20Resh%20(z-lib.org).pdf)
6. Sahu, H., Patel, D., & Sharma, R. (2024). Climate change and its impact on agriculture: Challenges and adaptation strategies. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 22(1), 45–67. <https://www.notulaeobotanicae.ro/index.php/nbha/article/view/13020/9553>
7. Tchonkouang, J. C., Smith, L. M., & Patel, K. (2024). Climate change effects on global food security: A systematic review. *Environmental Science & Policy*, 150, 12–27. https://www.researchgate.net/publication/382303877_Reviewing_the_impact_of_climate_change_on_global_food_security_Challenges_and_solutions
8. *Valstybės duomenų agentūra, oficialiosios statistikos portalas*. (2023). <https://osp.stat.gov.lt/>

Regina Vasiliauskienė, Daiva Šileikienė, Marija Jankauskaitė

Evaluation of Productivity and Taste Characteristics of Cucumber (*Cucumis Sativus* L)

With the rapid increase in human population worldwide, the consumption of vegetables, including cucumbers (*Cucumis Sativus* L), is also increasing. The aim of this study was to evaluate the effect of bioactive organic substances on the productivity and palatability of cucumber 'Rolai' H. The scientific problem is how to optimise cucumber cultivation technology in order to increase yields and maintain high fruit quality, while minimising the use of chemical fertilisers and the negative environmental impact. The experiment was carried out at the Lithuanian Research Centre for Agrarian and Horticultural Research, growing cucumbers in an unheated greenhouse. The treatments differed in the ratio of mineral fertiliser (NPK) to biological solution. The highest average marketable yield (13,3 kg m²) and the best marketability (93,2 %) were found in Variant II, which used NPK fertiliser with a biological solution (1:10). The lowest yields were recorded in variant IV (6,8 kg m² and 83,9% respectively). The analysis of the taste characteristics showed that in Variant II a sweet taste predominated, while in Variant V a neutral taste was observed. Statistical analysis confirmed significant differences between the different cultivation variants ($p < 0,05$). The results of the study show that the use of bio-preparations can be an effective alternative to the partial replacement of synthetic fertilisers, thus contributing to more sustainable agriculture.

Keywords: Cucumbers, cultivation variations, productivity, flavour characteristics.

Gauta 2025 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2024 m. balandžio mėn.

Regina VASILIAUSKIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Miškų ir ekologijos fakulteto Aplinkos ir ekologijos katedros magistrantė. Adresas: Studentų g. 15a, LT-53362 Akademija, Kauno r., tel. +370 605 85280, el. paštas: reginavasiliauskiene91@gmail.com

Regina VASILIAUSKIENĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Forest Sciences and Ecology, Department of Environment and Ecology, postgraduate. Address: Studentų str. 15a, LT-53362 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 605 85280, e-mail: reginavasiliauskiene91@gmail.com

Daiva ŠILEIKIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Miškų ir ekologijos fakulteto Aplinkos ir ekologijos katedros docentė. Adresas: Studentų g. 11-511, LT-53361, Akademija, Kauno r., tel. +370 652 55443, el. paštas: daiva.sileikiene@vdu.lt

Daiva ŠILEIKIENĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Forest Sciences and Ecology, Department of Environment and Ecology, assoc. prof. Address: Student street 11-511, LT-53361, Academy, Kaunas dist. Phone: +370 652 55443, e-mail: daiva.sileikiene@vdu.lt

Marija JANKAUSKAITĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Miškų ir ekologijos fakulteto Aplinkos ir ekologijos katedros magistrantė. Adresas: Studentų g. 15a, LT-53362 Akademija, Kauno r., tel. +370 605 85280, el. paštas: marijajank123@gmail.com

Marija JANKAUSKAITĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Forest Sciences and Ecology, Department of Environment and Ecology, postgraduate. Address: Studentų str. 15a, LT-53362 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 605 85280, e-mail: marijajank123@gmail.com

BIOPREPARATO GTC/GVT 2021 IR ORGANINIŲ PRIEDŲ POVEIKIS NAFTOS PRODUKTAIS UŽTERŠTO DIRVOŽEMIO VALYMUI

Jurgita Švedienė¹, Algimantas Paškevičius¹, Jonas Žvirgždas¹,
Ieva Paunksnytė-Markevičienė², Irma Galginienė², Konstantinas Iljasevičius²

¹Valstybinis mokslinių tyrimų institutas Gamtos tyrimų centras, ²UAB „Toksika“

Nafta yra natūralus, lipnus, tamsus, sudarytas iš įvairių angliavandenilių junginių skystis, degus, savotiško kvapo, lengvesnis už vandenį ir jame netirpsta. Perdirbant naftą ir naudojant naftos produktus į aplinką patenka daug įvairių teršalų, darančių neigiamą poveikį dirvožemiui, paviršiniam ir požeminiam vandeniui. Darbo tikslas – naftos produktais užteršto dirvožemio modelinis biologinis valymas, naudojant organinius priedus ir biopreparatą (GTC/GVT 2021) laboratorinėmis sąlygomis. Organinis substratas (augalų lapai) naftos produktais užterštame dirvožemyje sudarė 5 % ir 10 %. Biopreparatas (GTC/GVT 2021) įnešamas bandymo pradžioje ir po mėnesio. Bandymo trukmė – 3 mėnesiai. Naftos produktų kiekis dirvožemyje buvo nustatomas kiekvieną mėnesį. Praėjus 3 mėnesiams naftos produktų kiekis dirvožemyje sumažėjo nuo 2,6 iki 2,8 karto. Naftą oksiduojančių bakterijų skaičius viso bandymo metu išliko stabilus, o mikroskopinių grybų skaičius nežymiai sumažėjo.

Raktiniai žodžiai: nafta, dirvožemis, mikroorganizmai, bioremediacija.

Įvadas

Nafta sudaryta iš įvairių angliavandenilių bei kitų organinių junginių ir būtent naftos angliavandeniliai yra labiausiai paplitę organiniai teršalai gamtoje. Naftos produktais užterštas dirvožemis kelia pavojų žmonių sveikatai ir įvairias aplinkosaugos problemas (Yuniati, 2018). Dirvožemyje esantys naftos angliavandeniliai gali turėti įtakos tiek fizikinėms, tiek cheminėms dirvožemio savybėms (Ossai ir kt. 2020). Perdirbant naftą į aplinką patenka daug įvairių teršalų, darančių poveikį dirvožemiui, paviršiniam ir požeminiam vandeniui. Literatūroje esama duomenų, kad dirvožemio mikroorganizmai naudodami organinius junginius, kaip vienintelį anglies šaltinį per 150–270 dienų gali suardyti nuo 62 iki 75 % naftos angliavandenilių (Sui ir kt., 2021). Mikroorganizmų arba mikrobiologinių procesų taikymas šalinant arba skaidant teršalus dirvožemyje, vadinamas bioremediacija. Bioremediacija yra vienas veiksmingiausių, dirvožemyje esančių teršalų šalinimo būdų. Mikroorganizmai, dalyvaujantys bioremediacijoje, ypač organinių teršalų mineralizacijoje, turi įtakos dirvožemio struktūros ir funkcijų atkūrimui (Mekonnen ir kt., 2024). Bioremediacijoje dažniausiai dalyvauja bakterijos ir mikroskopiniai grybai, kurie atlieka natūralių skaidytojų funkciją. Mikroorganizmai geba savo gyvybiniame cikle panaudoti tiek natūralias, tiek sintetines medžiagas.

Darbo tikslas – naftos produktais užteršto dirvožemio modelinis biologinis valymas, naudojant organinius priedus ir biopreparatą (GTC/GVT 2021) laboratorinėmis sąlygomis.

Tyrimų metodika

Tirtas biopreparatas (GTC/GVT 2021), kurio sudėtyje yra bakterijos: *Acinetobacter baumannii*, *Klebsiella oxytoca*, *Pseudomonas brassicacearum*, *P. koreensis*, *Rhodococcus fascians*. Mikroskopiniai grybai: *Acremonium kiliense* (*Sarocladium kiliense*), *Penicillium dierckxii*, *Trichoderma longibrachiatum*, Mielės: *Sporobolomyces roseus*, *Rhodotorula diobovata*, *R. mucilaginosa*, *Yarrowia lipolytica*.

Naftos produktais užterštas dirvožemis (naftos produktų kiekis 18,5 g/kg) buvo patalpintas į stiklinius eksikatorius po 4 kg. Sudaryti variantai: K1 – kontrolė be organinio priedo, be biopreparato, K2 – kontrolė be organinio priedo su biopreparatu, 1 variantas – 5 % organinio substrato (lapai, šiaudai ir pan.), 2 variantas – 10 % organinio substrato (lapai, šiaudai ir pan.). Biopreparatas (GVT/GTC 2021) į užterštą dirvožemį įnešamas (1,65 ml/kg, mikroorganizmų koncentracija 10⁹ ksv/ml), bandymo pradžioje ir praėjus mėnesiui. Bandymo trukmė – 3 mėnesiai. Eksperimento metu patalpoje palaikoma 24 ± 1 °C temperatūra. Naftos produktai dirvožemyje nustatomi pagal LAND 89-2010 Naftos angliavandenilių C10–C40 kiekis, mg/kg.

Kiekvieną mėnesį vertinamas bendras mikroorganizmų (bakterijų, mikroskopinių grybų ir mielių) ir naftą oksiduojančių (bakterijų, mikroskopinių grybų ir mielių) skaičius. Bendram bakterijų skaičiui dirvožemyje nustatyti buvo naudojama triptono sojos agarizuota terpė (Liofilchem, Italija), bendram mikroskopinių grybų ir mielių skaičiui Bengalo rožinio agarizuota terpė (Liofilchem, Italija). Naftą oksiduojančių bakterijų išskyrimo terpė (g/L): NH₄Cl – 2,0, NaCl – 5,0, Na₂HPO₄ – 3,0, KH₂PO₄ – 0,1, MgSO₄ × 7H₂O – 2,0, CaCl₂ × 6H₂O – 0,01, MnSO₄ × 5H₂O – 0,02, FeSO₄ × 7H₂O – 0,01, naftos produktas – 10 ml/L, Tween 80 – 1 ml/L, agaras – 25,0. Naftą oksiduojančių mielių ir mikroskopinių grybų išskyrimo terpė (g/L): (NH₄)₂SO₄ – 5,0, K₂HPO₄ – 0,15, KH₂PO₄ – 0,85, MgSO₄ × 7H₂O – 0,5, NaCl – 0,1, CaCl₂ – 0,1, naftos produktas – 10 ml/L, „Tween 80“ – 1 ml/L, chloramfenikolis – 0,5, agaras – 25,0. Petri lėkštelės su pasėliais inkubuojamos

termostate, bakterijos 2–3 paras 30 °C temperatūroje, mikroskopiniai grybai ir mielės 3–5 paras 26 ± 2 °C temperatūroje. Naftą oksiduojančios bakterijos, mikroskopiniai grybai ir mielės inkubuojamos 5–7 paras 26 ± 2 °C temperatūroje. Mikroorganizmų skaičius išreiškiamas kolonijas sudarančiais vienetais (ksv) 1 g absoliučiai sauso dirvožemio.

Rezultatai ir aptarimas

Bandymo pradžioje buvo įvertinta naftos produktais užteršto dirvožemio mikrobiologinė būklė. Nustatyta, kad dirvožemyje bendras bakterijų skaičius užterštame dirvožemyje siekė 10^8 ksv/g, mikroskopinių grybų skaičius 10^5 ksv/g, naftą oksiduojančių mielių bandymo pradžioje buvo mažiau negu 10^2 ksv/g, naftą oksiduojančių bakterijų skaičius siekė 10^6 ksv/g, naftą oksiduojančių mikroskopinių grybų 10^4 ksv/g. Literatūroje esama duomenų, kad nafta užterštame dirvožemyje bakterijų skaičius siekia nuo $9,5 \times 10^5$ iki $237,5 \times 10^5$ ksv/g (Saadoun, 2002). Iš visų mikroorganizmų dalyvaujančių naftos produktų skaidyme, būtent bakterijos yra įvardijamos kaip pagrindinės naftos skaidytojos. Jos yra išskiriamos ir geba išgyventi ekstremaliomis sąlygomis bei gali būti naudojamos įvairiuose naftos perdirbimo etapuose. Pagrindiniai atstovai galintys skaidyti naftos produktus yra aptinkami *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Rhodococcus*, *Klebsiella* gentyse (Chunyan ir kt., 2023). Bandymo metu nustatytas bendras ir naftą oksiduojančių bakterijų skaičius pateikiamas 1 lentelėje. Naftą oksiduojančių bakterijų skaičius variantuose su organiniu priedu (augalų lapais) bandymo metu išliko stabilus ir siekė 10^6 ksv/g, kontroliniuose variantuose bakterijų skaičius nežymiai didėjo. Eze ir kt. (2014) atliktame tyrime nurodo, jog naftą oksiduojančių bakterijų skaičius siekia nuo $3,8 \times 10^6$ iki $7,8 \times 10^6$ ksv/g, o bendras bakterijų skaičius naftos produktais užterštame dirvožemyje svyruoja nuo $1,6 \times 10^7$ iki $1,9 \times 10^8$ ksv/g.

1 lentelė. Bendras ir naftą oksiduojančių bakterijų skaičius bandymo eigoje

Table 1. Amounts of total and petroleum-degrading bacteria during the test

Variantas Variant	Bendras bakterijų skaičius, ksv/1 g s. d. Total amount of bacteria, cfu/g			Naftą oksiduojančių bakterijų skaičius, ksv/1 g s. d. Amount of petroleum-degrading bacteria, cfu/g		
	1 mėn.	2 mėn.	3 mėn.	1 mėn.	2 mėn.	3 mėn.
K1	$(1,9 \pm 0,6) \times 10^8$	$(5,6 \pm 0,6) \times 10^6$	$(1,1 \pm 0,4) \times 10^8$	$(6,4 \pm 0,1) \times 10^6$	$(6,8 \pm 0,2) \times 10^5$	$(2,9 \pm 0,2) \times 10^7$
K2	$(3,6 \pm 0,6) \times 10^8$	$(6,6 \pm 0,2) \times 10^6$	$(1,3 \pm 0,3) \times 10^8$	$(9,8 \pm 0,1) \times 10^6$	$(3,0 \pm 0,7) \times 10^6$	$(4,3 \pm 0,1) \times 10^7$
1	$(2,6 \pm 0,7) \times 10^8$	$(2,3 \pm 0,5) \times 10^7$	$(4,3 \pm 0,7) \times 10^7$	$(8,2 \pm 0,2) \times 10^6$	$(7,7 \pm 0,3) \times 10^6$	$(9,8 \pm 0,4) \times 10^6$
2	$(1,2 \pm 0,1) \times 10^8$	$(3,8 \pm 0,2) \times 10^6$	$(1,2 \pm 0,2) \times 10^8$	$(6,1 \pm 0,2) \times 10^6$	$(8,4 \pm 0,1) \times 10^6$	$(2,5 \pm 0,5) \times 10^7$

Mikroskopiniai grybai dėka savo fiziologinių ir biocheminių savybių geba išgyventi ir augti naftos produktais užterštame dirvožemyje. Grybų išskiriami fermentai, tokie kaip lakazė, nespecifinė mangano peroksidazė, lignino peroksidazė ir kt. yra svarbūs įvairiuose naftos produktų skaidymo etapuose (Chunyan ir kt., 2023). Bendras mikroskopinių grybų skaičius visuose variantuose bandymo metu išliko stabilus ir siekė 10^5 ksv/g, naftą oksiduojančių mikroskopinių grybų skaičius siekė 10^4 ksv/1 g s. d. (2 lentelė). Literatūroje esama duomenų, kad po trijų bandymo mėnesių, dirvožemyje užterštame variklių kuru mikroskopinių grybų skaičius siekė $4,1 \times 10^6$ ksv/g (Benguenab ir Chibani, 2021).

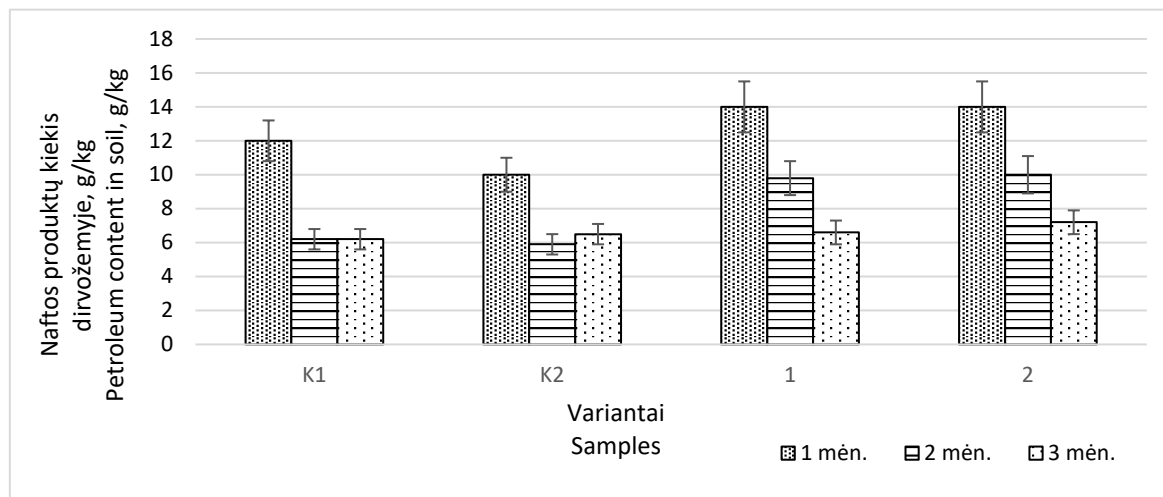
2 lentelė. Bendras ir naftą oksiduojančių mikroskopinių grybų skaičius bandymo eigoje

Table 2. Amounts of total and petroleum-degrading microscopic fungi during the test

Variantas Variant	Bendras mikroskopinių grybų skaičius, ksv/1 g s. d. Total amount of microscopic fungi, cfu/g			Naftą oksiduojančių mikroskopinių grybų skaičius, ksv/1 g s. d. Amount of petroleum-degrading microscopic fungi, cfu/g		
	1 mėn.	2 mėn.	3 mėn.	1 mėn.	2 mėn.	3 mėn.
K1	$(2,8 \pm 0,1) \times 10^5$	$(1,5 \pm 0,4) \times 10^5$	$(5,4 \pm 0,1) \times 10^5$	$(1,6 \pm 0,4) \times 10^5$	$(2,5 \pm 0,2) \times 10^4$	$(4,4 \pm 0,8) \times 10^4$
K2	$(5,7 \pm 0,5) \times 10^4$	$(3,0 \pm 0,5) \times 10^5$	$(4,2 \pm 0,2) \times 10^5$	$(2,0 \pm 0,4) \times 10^4$	$(3,0 \pm 0,3) \times 10^4$	$(6,7 \pm 0,2) \times 10^4$
1	$(2,3 \pm 0,8) \times 10^5$	$(2,1 \pm 0,4) \times 10^5$	$(3,0 \pm 0,2) \times 10^5$	$(1,0 \pm 0,6) \times 10^5$	$(3,1 \pm 0,2) \times 10^4$	$(4,3 \pm 0,6) \times 10^4$
2	$(2,2 \pm 0,4) \times 10^5$	$(1,9 \pm 0,5) \times 10^5$	$(3,7 \pm 0,2) \times 10^5$	$(4,9 \pm 0,1) \times 10^5$	$(2,6 \pm 0,6) \times 10^4$	$(6,0 \pm 0,2) \times 10^4$

Naftos produktų kiekio kaita 3 mėnesių bandymo laikotarpyje pateikiama 1 paveiksle. Organinis priedas (augalų lapai) lyginant su kontrolėmis įtakos naftos produktų kiekio mažėjimui neturėjo. Po dviejų bandymo

mėnesių kontroliniame variante – K2 naftos produktų kiekis siekė 5,9 g/kg, o su variante 2 su 10 % organinio priedo naftos produktų buvo 1,7 karto daugiau.



1 pav. Naftos produktų kiekio kaita bandymo eigoje

Fig. 1. Petroleum content in soil during the test

Literatūroje esama duomenų apie organinio priedo (karvių mėšlo) pridėjimą į angliavandeniliais užterštą dirvožemį, mikroorganizmų skaičius siekė nuo 69×10^7 iki 122×10^7 ksv/g, fiksuotas biodegradacijos greitis 0,2086 per dieną (Agamuthu ir kt, 2013).

Išvados

1. Nustatyta, kad po 3 mėnesių bandymo laboratorinėmis sąlygomis naftos produktų kiekis dirvožemyje sumažėjo nuo 2,6 iki 2,9 karto.
2. Naftą oksiduojančių bakterijų skaičius visuose variantuose bandymo metu išliko stabilus ir siekė 10^7 – 10^8 ksv/g, naftą oksiduojančių mikroskopinių grybų skaičius siekė 10^4 – 10^5 ksv/g.
3. Naftos produktų kiekio dirvožemyje mažėjimui organiniai priedai (augalų lapai) įtakos neturėjo.

Literatūra

1. Agamuthu, P., Tan, Y.S., Fauziah, S. H. (2013). Bioremediation of hydrocarbon contaminated soil using selected organic wastes. *Procedia Environmental Sciences*, 18, 694–702.
2. Benguenab, A., Chibani, A. (2021). Biodegradation of petroleum hydrocarbons by filamentous fungi (*Aspergillus ustus* and *Purpureocillium lilacinum*) isolated from used engine oil contaminated soil. *Acta Ecologica Sinica*, 41(5), 416–423.
3. Chunyan, X., Qaria, M. A., Qi, X., Daochen, Z. (2023). The role of microorganisms in petroleum degradation: current development and prospects. *Science of the total environment*, 865, 161112.
4. Eze, V. C., Onwuakor, C. E., Orok, F. E. (2014). Microbiological and physicochemical characteristics of soil contaminated with used petroleum products in Umuahia, Abia state, Nigeria. *Journal of Applied and Environmental Microbiology*, 2(6), 281–286.
5. Yuniati, M. D. (2018). Bioremediation of petroleum-contaminated soil: A Review. *Global Colloquium on GeoSciences and Engineering*, 118, 012063.
6. Mekonnen, B. A., Aragaw, T. A., Genet, M. B. (2024). Bioremediation of petroleum hydrocarbon contaminated soil: a review on principles, degradation mechanisms, and advancements. *Frontiers in Environmental Science*, 12, 1354422.
7. Ossai, I. C., Ahmed, A., Hassan, A., Hamid, F. S. (2020). Remediation of soil and water contaminated with petroleum hydrocarbon: A review. *Environmental Technology & Innovation*, 17, 100526.
8. Saadoun, I. (2002). Isolation and characterization of bacteria from crude petroleum oil contaminated soil and their potential to degrade diesel fuel. *Journal of Basic Microbiology*, 42(6), 420–428.
9. Sui, X., Wang, X., Ji, H. (2021). Remediation of Petroleum-Contaminated Soils with Microbial and Microbial Combined Methods: Advances, Mechanisms, and Challenges. *Sustainability*, 13, 9267.

Jurgita Švedienė, Algimantas Paškevičius, Jonas Žvirgždas, Ieva Paunksnytė–Markevičienė, Irma Galginienė, Konstantinas Iljasevičius

Effect of the Biopreparation GTC/GVT 2021 and Organic Additives on Petroleum-Contaminated Soils

Petroleum is an oil-like liquid, flammable, usually dark in colour, with a peculiar smell, lighter than water and insoluble in water. Petroleum refining releases a wide range of pollutants into the environment, affecting soil, surface water and groundwater. The aim of this work is the model bioremediation of petroleum contaminated soil using organic additives and a bioremediation agent (GTC/GVT 2021) under laboratory conditions. The organic substrate (plant leaves) in the petroleum contaminated soil was 5% and 10%. The bio-agent (GTC/GVT 2021) was applied at the beginning of the test and after one month. The duration of the test was 3 months. The content of petroleum products in the soil was determined every month. After 3 months, the amount of petroleum products in the soil decreased by a factor of 2.6 to 2.8. The number of oil-oxidising bacteria remained stable throughout the test, while the number of microscopic fungi decreased slightly.

Keywords: Oil, soil, microorganisms, bioremediation.

Gauta 2025 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2025 m. balandžio mėn.

Jurgita ŠVEDIENĖ. Valstybinio mokslinių tyrimų instituto Gamtos tyrimų centro Biodestruktorių tyrimo laboratorijos biomedicinos mokslų daktarė. Adresas: Akademijos g. 2, LT-08412, Vilnius, tel. +370 527 96640, el. paštas: jurgita.svediene@gamtc.lt

Jurgita ŠVEDIENĖ. Nature Research Centre, Laboratory of Biodeterioration Research, doctor of biomedicine sciences. Address: Akademijos str. 2, LT-08412 Vilnius. Phone: +370 527 96640, e-mail: jurgita.svediene@gamtc.lt

Algimantas PAŠKEVIČIUS. Valstybinio mokslinių tyrimų instituto Gamtos tyrimų centro Biodestruktorių tyrimo laboratorijos biomedicinos mokslų daktaras. Adresas: Akademijos g. 2, LT-08412, Vilnius, tel. +370 527 11723, el. paštas: algimantas.paskevicius@gamtc.lt

Algimantas PAŠKEVIČIUS. Nature Research Centre, Laboratory of Biodeterioration Research, doctor of biomedicine sciences. Address: Akademijos str. 2, LT-08412 Vilnius. Phone: +370 527 11723, e-mail: algimantas.paskevicius@gamtc.lt

Jonas ŽVIRGŽDAS. Valstybinio mokslinių tyrimų instituto Gamtos tyrimų centro Biodestruktorių tyrimo laboratorijos doktorantas. Adresas: Akademijos g. 2, LT-08412, Vilnius, tel. +370 527 966 40, el. paštas: jonas.zvirgzdas@gamtc.lt

Jonas ŽVIRGŽDAS. Nature Research Centre, Laboratory of Biodeterioration Research, PhD student. Address: Akademijos str. 2, LT-08412 Vilnius. Phone: +370 527 966 40, e-mail: jonas.zvirgzdas@gamtc.lt

Ieva PAUNKSNYTĖ-MARKEVIČIENĖ. UAB „Toksika“ projektų vadovė. Adresas: Kuro g. 15, LT-02300, Vilnius, tel. +370 604 45408, el. paštas: i.paunksnyte@toksika.lt

Ieva PAUNKSNYTĖ-MARKEVIČIENĖ. UAB „Toksika“, project manager. Address: Kuro str. 15, LT-02300, Vilnius. Phone: +370 604 45408, e-mail: i.paunksnyte@toksika.lt

Irma GALGINIENĖ. UAB „Toksika“ chemikė. Adresas: Birbinčių g. 59, Kiškėnų k., Dvilų sen., LT-96223, Klaipėdos r. Tel. +370 671 20845, el.paštas: i.galginiene@toksika.lt

Irma GALGINIENĖ. UAB „Toksika“ chemist. Address: Birbinčių g. 59, Kiškėnų k., Dvilų sen., LT-96223, Klaipėdos dist. Phone: +370 671 20845, e-mail: i.galginiene@toksika.lt

Konstantinas ILJASEVIČIUS. UAB „Toksika“ grunto valymo technologijų vadovas. Adresas: Kuro g. 15, LT-02300, Vilnius. Tel. +370 699 05519, el. paštas: k.iljasevicius@toksika.lt

Konstantinas ILJASEVIČIUS. UAB „Toksika“ soil treatment technology manager. Address: Kuro str. 15, LT-02300, Vilnius. Phone: +370 699 05519, e-mail: k.iljasevicius@toksika.lt

AR DAUGIAFUNKCINIAI RUDENINIAI IR PAVASARINIAI ĮSĖLIAI ĮTAKOJA ŽIEMINIŲ KVIEČIŲ PRODUKTYVUMO IR KOKYBĖS RODIKLIUS?

Kęstutis Stravinskas, Rokas Jonaitis, Jovita Balandaitė, Austėja Švereikaitė,
Rasa Kimbirauskienė, Aušra Sinkevičienė, Lina Juodytė, Kęstutis Romanecas

Vytauto Didžiojo universitetas

Tyrimas atliktas 2023–2024 metais VDU ŽŪA bandymų stotyje. Bandymo lauko dirvožemis yra giliau glėjiškas prisotintas palvažemis. Tyrimo tikslas – nustatyti įsėlių įtaką žieminių kviečių produktyvumo ir kokybiniais rodikliais: chlorofilo koncentracijai, derlingumui, 1000 grūdų masei, grūdų baltymingumui. Tyrimo variantai: Veiksnys A: Rudeniniai įsėliai 1. Be įsėlio, 2. Baltosios garstyčios, 3. Žirnių ir avižų mišinys, 4. Grikiai. Veiksnys B: Pavasariniai įsėliai 1. Be įsėlio, 2. Baltieji dobilai, 3. Raudonieji dobilai, 4. Ruginiai vikiai. Chlorofilo koncentracija kito neesmingai. Grūdų derlingumas buvo didžiausias po baltųjų ir raudonųjų dobilų įsėjimo, tačiau šie skirtumai lyginant su kontrole buvo neesmingi. 1000 grūdų masė beveik visais atvejais kontrolėje buvo didesnė, nei tirtuose kitų variantų laukeliuose, skirtumai buvo neesmingi. Grūdų baltymingumas buvo dauguma atvejų didesnis po azotą kaupiančių augalų, tačiau šie skirtumai nebuvo esminiai.

Raktiniai žodžiai: įsėliai, žieminiai kviečiai, vystymasis ir produktyvumas.

Įvadas

Kviečiai viena iš pagrindinių žemės ūkio kultūrų, kuri paplitusi beveik visuose žemynuose. Plačiausiai paplitę minkštieji ir kietieji kviečiai. būdingas visoms rūšims būdingas požymis yra specifinės struktūros varpos. Dažniausiai produktyvių varpų tiek pat kiek produktyvių stiebų (Lazauskas, Dapkus, 2012). Gamtinis krakmolas – agrokultūrinė maisto pramonės žaliava ir pastaruoju metu vis plačiau technikoje naudojamų produktų sudėtinė dalis. Pasaulyje glitimas yra svarbus mitybinis baltymas tiek patiekaluose iš grūdų produktų, tiek kaip baltyminis maisto priedas maisto produktuose, kuriuose stinga baltymų. Kviečiai yra pagrindinė krakmolo ir glitimo gamybos žaliava visame pasaulyje. Norint pagaminti aukštos kokybės produkciją, žaliavos turi atitikti aukštus kokybės reikalavimus, ne išimtis ir grūdai. Todėl vis dažniau iškyla problemų gauti aukštus kokybės reikalavimus atitinkančios pagrindinės krakmolo ir glitimo gamybos žaliavos – kviečių (Bogvilaitė, 2018; Woźniak, Rachoń, 2020). 2023 m. Lietuvoje deklaruotas žieminių kviečių pasėlių plotas – 838 122 tūkst. ha (Statistikos departamentas, 2025).

Norint užauginti kokybišką ir gerą kviečių derlių, reikia imtis alternatyvių priemonių (Ageghehu et al., 2008). Lietuva yra priskiriama borealinio klimato juostai, kur vidutinė metinė oro temperatūra siekia 6–7 °C, o vegetacijos trukmė – 140–160 dienų (Kabat et al., 2002). Kritulių kiekis per augalų vegetaciją siekia apie 300–500 mm. Jei yra pakankamai drėgmės, tarpiniai augalai greit sudygs ir tuoj pat uždengia viršutinę dirvos sluoksnį. Tarpinius pasėlius galima auginti, kaip posėlinius arba įsėlinius. Įsėliniams dažniausiai naudojamos daugiametės žolės, vienmetės ankštinės ir varpinės žolės ar jų mišiniai. Lengvesnėse dirvose, siekiant išvengti maisto medžiagų, ypač nitratų išsiplovimo, patariama auginti žieminius tarpinius pasėlius (Kinderienė ir kt., 2013).

Daugiafunkciniai pasėliai žinomi ir auginami nuo seno, dažniausiai toki pasėliai auginami pašarui arba žalinimo programai. Pakankamai mažai Lietuvoje ir kitose pasaulio šalyse tyrinėta posėliniai ir įsėliniai augalai žieminių kviečių pasėlyje. Tyrimo tikslas – nustatyti įsėlinius augalus, kurie labiausiai gerina produktyvumo ir vystymosi rodiklius auginant žieminius kviečius ekologiškai.

Tyrimų metodika

Eksperimento įrengimo vieta ir dirvožemio charakteristika. Lauko eksperimentas buvo vykdomas 2023–2024 m. VDU ŽŪA Bandymų stotyje (54°53'N + 23°50'E). Bandymo lauko dirvožemis yra giliau glėjiškas pasotintasis palvažemis (*Endohypogleyic-Eutric Planosol-Ple-gln-w*) (Motuzas ir kt., 2009). Lauko eksperimento dirvožemio (0–25 cm) sudėtis: pH_{KCL} nuo 7,2 iki 7,6, suminio azoto N_{sum} nuo 0,128 iki 0,136 %, humuso – nuo 1,5 iki 1,7 %, judriojo fosforo – nuo 224 iki 268 mg kg⁻¹, judriojo kalio – nuo 120 iki 133 mg kg⁻¹, magnio – nuo 938 iki 1370 mg kg⁻¹. Dirvožemio ariamasis sluoksnis svyruoja nuo 27–30 cm storio.

Eksperimento variantai. 2023–2024 m. buvo atliekamas dviejų veiksmų lauko eksperimentas. Pagrindinis eksperimento augalas – žieminiai kviečiai, o į juos įsėjami rudeniniai ir pavasariniai įsėliai („kompanionai“).

Veiksnys A: Rudeniniai įsėliai

1. Be įsėlio.

2. Baltosios garstyčios.
3. Žirnių ir avižų mišinys.
4. Grikiai.

Veiksnybės B: Pavasariniai įsėliai

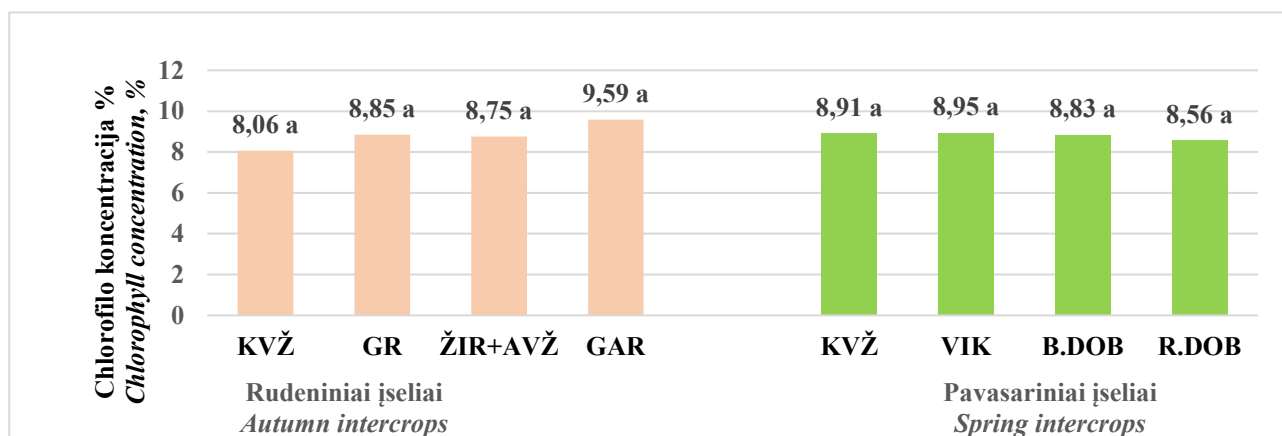
1. Be įsėlio.
2. Baltieji dobilai.
3. Raudonieji dobilai.
4. Ruginiai vikiai.

Ekspimente buvo auginami: paprastasis kvietys (*Triticum aestivum* L.) (žieminė veislė – „Skagen“). Rudeniniai įsėliai: baltoji garstyčia (*Sinapsis alba* L.) (veislė – „Sirene“), sėjamoji aviža (*Avena sativa* L.) (veislė – „Delfin“) ir sėjamas žirnis (*Pisum sativum*) (veislė – „Respect“) 50:50 mišinys, sėjamasis grikis (*Fagopyrum esculentum*) (veislė – „VB Nojai“).

Tyrimų analizės ir metodai. Augalų lapų chlorofilo koncentracija buvo nustatoma chlorofilo kiekio matuokliu MC-100 („Apogee Instruments“). Matuojama ne mažiau 10 augalų lapų. Derlingumas apskaičiuotas nukūlus laukelį eksperimentams skirtu kombainu. 1 000-čio grūdų masė nustatyta iš kiekvieno varianto sudarytų vidutinių mėginių imant tris kartus po 500 vienetų grūdų ir, išvedus vidurkius, padauginus iš dviejų. Kviečių grūdų baltymingumo rodikliai nustatyti LAMMC Agrocheminių tyrimų centre. Tyrimo duomenys statistškai įvertinti naudojant kompiuterinę programą ANOVA, nustatyta veiksnių įtaka ir jų sąveika pagal F kriterijų, esminiai skirtumai, pagal R_{05} ir R_{01} (Raudonius, 2017). Esant esminiams skirtumams tarp pasirinktų variantų (95 % tikimybės lygiui) jie žymimi skirtingomis raidėmis (a, b, c, ...) pažymėti variantai yra esminiai – $P < 0,05$.

Rezultatai ir aptarimas

Chlorofilo koncentracija. Atlikus chlorofilo matavimus, nustatyta, kad didžiausia neesminė chlorofilo koncentracija kviečiuose, kurie augo kartu su garstyčių įsėliu (9,59 %). Kaip ir tikėtasi, mažiausia chlorofilo koncentracija nustatyta kontrolinio varianto laukeliuose (kviečiai be įsėlio) ir siekė 8,06 %. Kitų variantų laukeliuose chlorofilo koncentracija svyravo nuo 8,56 iki 8,95 % (1 pav.).



1 pav. Rudeninių ir pavasariinių įsėlių įtaka kviečių lapų chlorofilo koncentracijai

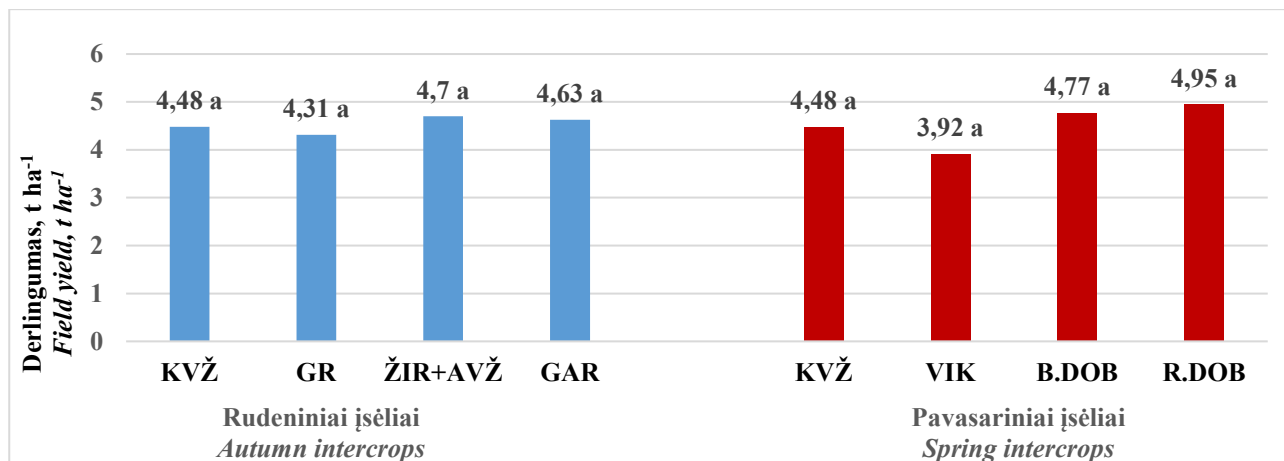
Fig.1. Effect of fall and spring inter-crops on winter wheat leaves chlorophyll concentration

Pastaba: KVŽ – kviečiai, GR – grikiai, ŽIR+AVŽ – žirniai + avižos, GAR – baltosios garstyčios, VIK – ruginiai vikiai, B.DOB – baltieji dobilai, R.DOB – raudonieji dobilai. Tarp variantų vidurkių, pažymėtų ne ta pačia raide (a, b, c), skirtumai yra esminiai ($P < 0,05$).

Note: KVŽ – wheat, GR – buckwheat, ŽIR+AVŽ – mixture of peas and oats, GAR – white mustard, VIK – Rye vetch, B.DOB – white clover, R.DOB – red clover. Differences between the averages of treatments marked with different letters (a, b, c) are significant ($P < 0.05$).

Tarp visų tirtų variantų laukelių, tiek su rudeniniais, tiek su pavasariniais įsėliais, esminių skirtumų nenustatyta.

Derlingumas. Atlikus žieminių kviečių grūdų derlingumo tyrimus buvo nustatyta, kad didžiausi derliaus priedai gauti po baltųjų ir raudonųjų dobilų, atitinkamai 4,77 ir 4,95 t ha⁻¹. Taip pat pastebėta, kad mažesnis derlingumas negu kontrolėje buvo kviečiuose su grikių įsėliu ir vikių įsėliu ir atitinkamai siekė 4,31 t ha⁻¹ ir 3,92 t ha⁻¹. Kviečiuose su žirnių ir avižų įsėliu bei kviečiuose su garstyčių įsėliu derlingumas buvo artimas kviečių įsėliui su baltaisiais dobilais ir atitinkamai siekė 4,7 t ha⁻¹ ir 4,63 t ha⁻¹ (2 pav.). Užsienio mokslininkai nustatė, kad auginant kviečius su medvilnės įsėliu galima pasiekti nuo 4,6 iki 5,2 t ha⁻¹ kviečių derlingumą ir iš to pačio lauko dar gauti medvilnės derlių nuo 590 kg ha⁻¹ iki 740 kg ha⁻¹ (Zhang et al., 2007).



2 pav. Rudeninių ir pavasariinių įsėlių įtaka kviečių derlingumui t ha⁻¹

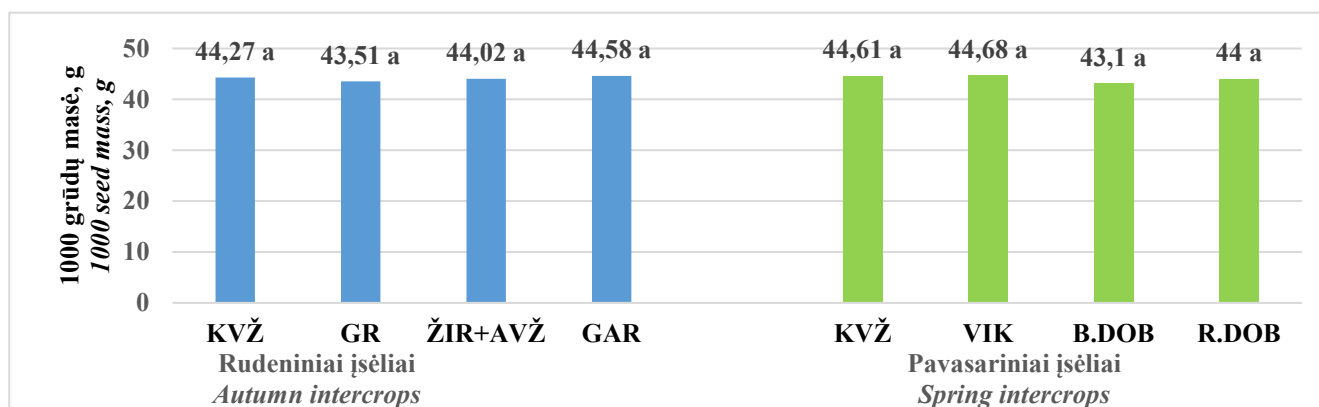
Fig.2. Effect of fall and spring inter-crops on winter wheat yield, t ha⁻¹

Pastaba: KVŽ – kviečiai, GR – gričiai, ŽIR+AVŽ – žirniai+avižos, GAR – baltosios garstyčios, VIK – ruginiai vikiai, B.DOB – baltieji dobilai, R.DOB – raudonieji dobilai. Tarp variantų vidurkių, pažymėtų ne ta pačia raide (a, b, c), skirtumai yra esminiai ($P < 0,05$).

Note: KVŽ – wheat, GR – buckwheat, ŽIR+AVŽ – mixture of peas and oats, GAR – white mustard, VIK – Rye vetch, B.DOB – white clover, R.DOB – red clover. Differences between the averages of treatments marked with different letters (a, b, c) are significant ($P < 0.05$).

Atlikus tyrimą, matyti, kad įsėlio parinkimas turėjo įtakos derlingumui, tačiau skirtumai neesminiai.

1 000 grūdų masė. Išanalizavus 1 000 grūdų masę nustatyta, kad kviečiuose su rudeniniais įsėliais ji svyravo nuo 43,51 iki 44,58 g. Taip pat pastebėta, kad didesnė už kontrolinio varianto laukelių 1 000 grūdų masė užauginta tik kviečiuose su garstyčių įsėliu (44,58 g), mažiausia 1000 grūdų masė buvo kviečiuose su gričių įsėliu (43,51 g). Kviečiuose su pavasariniais įsėliais tik kviečiuose su vikių įsėliu gauta didesnė 1 000 grūdų masė negu kontrolinio varianto laukeliuose (44,68 g). Kitų variantų laukeliuose 1 000 grūdų masė buvo mažesnė negu kontrolinio varianto laukeliuose ir nesiekė netgi 44,61 g. O tuo tarpu kviečiuose su baltųjų dobilų įsėliu 1 000 grūdų masė buvo mažiausia (43,1 g) (3 pav.).



3 pav. Rudeninių ir pavasariinių įsėlių įtaka kviečių 1 000 grūdų masei, g

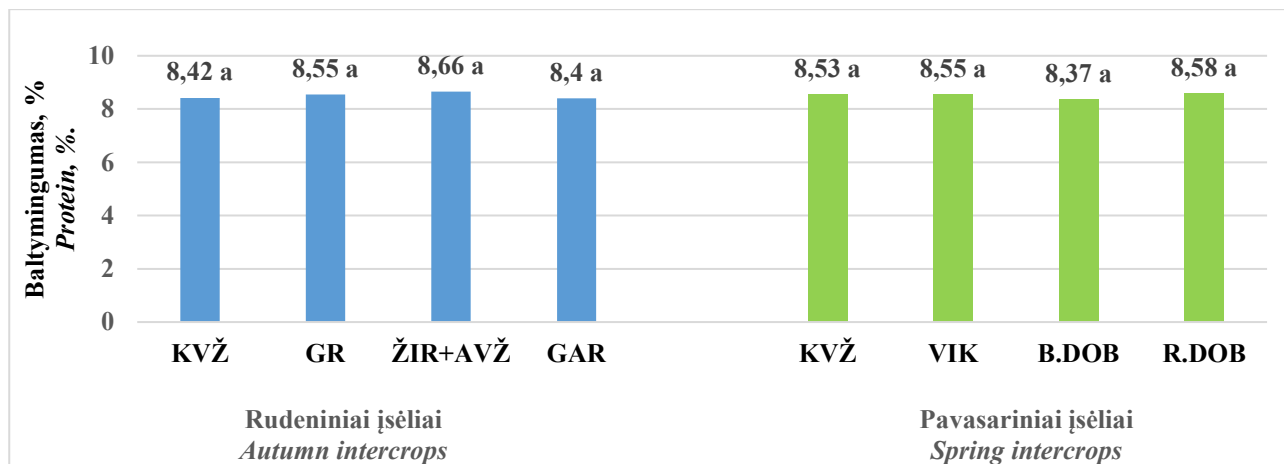
Fig.3. Effect of fall and spring inter-crops on winter wheat 1000 seed mass, g

Pastaba: KVŽ – kviečiai, GR – gričiai, ŽIR+AVŽ – žirniai+avižos, GAR – baltosios garstyčios, VIK – ruginiai vikiai, B.DOB – baltieji dobilai, R.DOB – raudonieji dobilai. Tarp variantų vidurkių, pažymėtų ne ta pačia raide (a, b, c), skirtumai yra esminiai ($P < 0,05$).

Note: KVŽ – wheat, GR – buckwheat, ŽIR+AVŽ – mixture of peas and oats, GAR – white mustard, VIK – Rye vetch, B.DOB – white clover, R.DOB – red clover. Differences between the averages of treatments marked with different letters (a, b, c) are significant ($P < 0.05$).

Taigi, atlikus 1 000 grūdų masės skaičiavimus galima teigti, kad 1 000 grūdų masės pokyčiai buvo neįdomūs ir tai rodo, kad įsėlis neturėjo esminės įtakos 1 000 grūdų masei. Užsienio mokslininkai atlikę bandymą su įsėliniais augalais pastebėjo, kad kviečių 1 000 grūdų masė buvo mažesnė kviečiuose su įsėliais (Eskandari et al., 2010).

Baltymingumas. Nustatėme, kad kviečiuose su rudeniniais įsėliais grūdų baltymingumas svyravo nuo 8,40 iki 8,66 %. Didžiausias baltymingumas nustatytas kviečiuose su žirnių ir avižų įsėliu (8,66 %), taip pat kviečiuose su gričių įsėliu (8,55 %). Kviečiuose su pavasariniais įsėliais baltymingumas buvo labai panašus ir svyravo nuo 8,37 iki 8,58 %. Didesnis baltymingumas nei kontrolinio varianto laukeliuose buvo tik kviečiuose su vikių įsėliu (8,55 %) ir kviečiuose su raudonųjų dobilų įsėliu (8,58 %). Pastebėta, kad dauguma atvejų kviečiuose su azotą kaupiančiais įsėliais baltymingumas buvo šiek tiek didesnis, išskyrus kviečiuose su baltųjų dobilų įsėliu (8,37 %) (4 pav.).



4 pav. Rudeninių ir pavasarių įsėlių įtaka kviečių grūdų baltymingumui, %

Fig. 4. Effect of fall and spring inter-crops on winter wheat protein, %

Pastaba: KVŽ – kviečiai, GR – grikliai, ŽIR+AVŽ – žirniai+avižos, GAR – baltosios garstyčios, VIK – ruginiai vikiai, B.DOB – baltieji dobilai, R.DOB – raudonieji dobilai. Tarp variantų vidurkių, pažymėtų ne ta pačia raide (a, b, c), skirtumai yra esminiai ($P < 0,05$).

Note: KVŽ – wheat, GR – buckwheat, ŽIR+AVŽ – mixture of peas and oats, GAR – white mustard, VIK – Rye vetch, B.DOB – white clover, R.DOB – red clover. Differences between the averages of treatments marked with different letters (a, b, c) are significant ($P < 0.05$).

Gauti rezultatai rodo, kad nors baltymingumo rodikliai kito priklausomai nuo įsėlių, tačiau tarp variantų esminių skirtumų nenustatyta. Užsienio mokslininkai atlikę panašų tyrimą nustatė, kad grūdų baltymingumas buvo didesnis negu kontrolėje kviečiuose su persinių dobilų įsėliu (Pellegrini et al., 2021).

Išvados

1. Kviečiuose su rudeniniais įsėliais chlorofilo koncentracija kito nuo 8,06 iki 9,59 %. Chlorofilo koncentracijai įtakos turėjo visi įsėliniai augalai. Tiriant kviečius su pavasariniais įsėliais, nustatyta, kad chlorofilo koncentracija kito nuo 8,56 iki 8,95 %. Už kontrolę didesnė chlorofilo koncentracija nustatyta tik kviečiuose su vikių įsėliu.
2. Grūdų derlingumas svyravo nuo 3,92 t ha⁻¹ iki 4,95 t ha⁻¹. Didžiausi derlingumai gauti pasėliuose su baltaisiais ir raudonaisiais dobilais – 4,77 t ha⁻¹ ir 4,95 t ha⁻¹, mažiausias derlingumas – su vikių įsėliu – 3,92 t ha⁻¹.
3. 1000 grūdų masė svyravo nuo 43,1 iki 44,68 g. Didesnė 1 000 g grūdų masė nustatyta tik kviečiuose su garstyčių įsėliu (44,58 g) ir kviečiuose su vikių įsėliu (44,68 g).
4. Grūdų baltymingumas kito nuo 8,37 iki 8,66 %. Didžiausi baltymų priedai gauti kviečių pasėliuose, kurie augo su azotą kaupiančių augalų įsėliais, išskirtinis atvejis buvo kviečiai su vikių įsėliu, čia gautas mažiausias baltymingumas – 8,37 %.

Literatūra

1. Agegnehu G. (2008). Yield potential and land-use efficiency of wheat and faba bean mixed intercropping. *Agronomy for Sustainable Development*, Vol. 28, 257–263. https://www.researchgate.net/publication/237007876_Yield_potential_and_land-use_efficiency_of_wheat_and_faba_bean_mixed_intercropping_Agronomy_for_Sustainable_Development_28_257-263
2. Motuzas, A., Buivydaite, V., Vaisvalavičius, R. (2009). *Dirvotyra*. Vilnius.
3. Bogvilaitė, V. (2018). Kviečių grūdų kokybės rodiklių įtaka perdirbimo produktų (krakmolo, glitimo) savybėms. *Jaunasis mokslininkas*, 77(89), 85.
4. Kinderienė, I., Šlepetienė, A. (2013). Tarpinių pasėlių nauda – daugialypė. *Mano ūkis*. <https://www.manoukis.lt/mano-ukis-zurnalas/2013/10/tarpiniu-paseliu-nauda-daugialype/>
5. Lazauskas, J., Dapkus, R. (2012). *Lauko augalų selekcija Lietuvoje*. Vilnius.
6. Raudonius, S. (2017). Application of statistics in plant and crop research: important issues. *Žemdirbystė = Agriculture / Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centras, Aleksandro Stulginskio universitetas, Akademija*, t. 104, Nr. 4, 377–382.
7. *Statistikos departamentas*. [Žiūrėta 2025-02-10]. <https://osp.stat.gov.lt/statistiniu-rodikliu-analize?indicator=S9R089#/>

8. Zhang, L. Z., Van der Werf, W., Zhang, S. P., Li, B., & Spiertz, J. H. J. (2007). Growth, yield and quality of wheat and cotton in relay strip intercropping systems. *Field Crops Research*, 103(3), 178–188. doi:10.1016/j.fcr.2007.06.002
9. Romanekas, K. (2016). *Agronomijos pagrindai. Laboratorinių darbų ir pratybų aprašas*. Akademija, 24–33.
10. Pellegrini, F., Carlesi, S., Nardi, G., & Barberi, P. (2021). Wheat–clover temporary intercropping under Mediterranean conditions affects wheat biomass, plant nitrogen dynamics and grain quality. *European Journal of Agronomy*, 130, 126347. doi:10.1016/j.eja.2021.126347
11. Eskandari, H., & Ghanbari, A. (2010). Effect of different planting pattern of wheat (*Triticum aestivum*) and bean (*Vicia faba*) on grain yield, dry matter production and weed biomass. *Notulae Scientiae Biologicae*, 2(4), 111–115. doi:10.15835/nsb244824
12. Woźniak, A., & Rachoń, L. (2020). Effect of tillage systems on the yield and quality of winter wheat grain and soil properties. *Agriculture*, 10(9), 405. doi:10.3390/agriculture10090405
13. Kabat, P., Claussen, M., Dirmeyer, J. H. C., Gash, L., Guenni, M., Meybeck, R. A., Pielke, C. J., Vorosmarty, R. W. A., Hjutes, S., Lutkemeier, S. (2002). *The Boreal Climate. Vegetation, Water, Humans and the Climate: A New Perspective on an Interactive System*. 93–155, chapter 7. https://www.researchgate.net/publication/280530183_The_Boreal_Climate

Kęstutis Stravinskas, Rokas Jonaitis, Jovita Balandaitė, Austėja Švereikaitė, Rasa Kimbirauskienė, Aušra Sinkevičienė, Lina Juodytė, Kęstutis Romanekas

Is an Effective Low-Input and Environmentally Friendly Winter Wheat Agroecosystem Based on Multifunctional Autumn and Spring Inter-Cropping Possible?

Our research was conducted in 2023–2024 at the VDU ŽŪA Test Station. The soil of the test field is a deeper clayey saturated soil. The aim of the research is to determine the influence of fallow on winter wheat productivity and quality indicators: chlorophyll concentration, yield, weight of 1000 seeds, grain protein content. Test options: Factor A: Fall inter-crops 1. Without inter-crops, 2. White mustard, 3. Pea and oat mixture, 4. Buckwheat. Factor B: Spring inter-crops 1. Without intercrops, 2. White clover, 3. Red clover, 4. Rye vetch. Chlorophyll concentration varied irregularly. Grain yield was highest after sowing white and red clover, but these differences compared to the control were not significant. The weights of 1000 seeds were almost always higher in control than in the tested fields of other variants, the differences were not significant. Grain protein content was in most cases higher after nitrogen-accumulating plants.

Keywords: Inter-crops, winter wheat, development, productivity.

Gauta 2025 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2025 m. balandžio mėn.

Kęstutis STRAVINSKAS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Agronomijos fakulteto Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedros studentas. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r., el. paštas: kestutis.stravinskas@stud.vdu.lt

Kęstutis STRAVINSKAS. Vytautas Magnus University, Agriculture Academy, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Sciences, student. Address: Studentų str. 11, LT-53361 Akademija, Kaunas dist., e-mail: kestutis.stravinskas@stud.vdu.lt

Rokas JONAITIS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Agronomijos fakulteto Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedros doktorantas. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r., el. paštas: rokas.jonaitis@vdu.lt

Rokas JONAITIS. Vytautas Magnus University, Agriculture Academy, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Sciences, PhD student. Address: Studentų str. 11, LT-53361 Akademija, Kaunas dist., e-mail: rokas.jonaitis@vdu.lt

Jovita BALANDAITĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Bioekonomikos tyrimų instituto jaunesnioji mokslo darbuotoja. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r., el. paštas: jovita.balandaite@vdu.lt

Jovita BALANDAITĖ. Vytautas Magnus University, Institute of Bioeconomy Research, junior researcher. Address: Studentų str. 11, LT-53361, Akademija, Kaunas dist., e-mail: jovita.balandaite@vdu.lt

Austėja ŠVEREIKAITĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Agronomijos fakulteto Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedros doktorantė. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r., el. paštas: austėja.svereikaite@vdu.lt

Austėja ŠVEREIKAITĖ. Vytautas Magnus University, Agriculture Academy, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Sciences, PhD student. Address: Studentų str. 11, LT-53361 Akademija, Kaunas dist., e-mail: austėja.svereikaite@vdu.lt

Rasa KIMBIRAUSKIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Agronomijos fakulteto Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedros lektorė. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r., el. paštas: rasa.kimbirauskiene@vdu.lt

Rasa KIMBIRAUSKIENĖ. Vytautas Magnus University, Agriculture Academy, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Sciences, lecturer. Address: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kaunas dist., e-mail: rasa.kimbirauskiene@vdu.lt

Aušra SINKEVIČIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Agronomijos fakulteto Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedros docentė. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r., el. paštas: ausra.sinkeviciene@vdu.lt

Aušra SINKEVIČIENĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Sciences, assoc. prof. Address: Studentų str. 11, LT-53361, Akademija Kaunas dist., e-mail: ausra.sinkeviciene@vdu.lt

Lina JUODYTĖ Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Agronomijos fakulteto Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedros doktorantė. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r., el. paštas: lina.juodyte@vdu.lt

Lina JUODYTĖ Vytautas Magnus University, Agriculture Academy, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Sciences, PhD student. Address: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kaunas dist., e-mail: lina.juodyte@vdu.lt

Kęstutis ROMANECKAS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Agronomijos fakulteto Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedros profesorius. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r., el. paštas: kestutis.romaneckas@vdu.lt

Kęstutis ROMANECKAS. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Sciences, professor. Address: Studentų str. 11, LT-53361 Akademija, Kaunas dist., e-mail: kestutis.romaneckas@vdu.lt

TARPINIŲ PASĖLIŲ MIŠINIŲ POVEIKIS SĖJAMOSIOS AVIŽOS (*AVENA SATIVA* L.) PASĖLIO PIKTŽOLĖTUMUI IR PRODUKTYVUMUI

Aušra Marcinkevičienė, Lina Marija Butkevičienė, Lina Skinulienė, Aušra Rudinskienė, Donatas Samaitis

Vytauto Didžiojo universitetas

Lauko eksperimentas atliktas 2023 ir 2024 m. Česlovo Tallat-Kelpšos ūkyje Kauno r. Tyrimų tikslas – įvertinti tarpinių pasėlių mišinių antžeminės dalies biomasę ir nustatyti jų poveikį sėjamosios avižos (*Avena sativa* L.) pasėlio piktžolėtumui ir produktyvumui. Skirtingos botaninės sudėties tarpinių pasėlių mišinių antžeminės dalies biomasė esmingai nesiskyrė ir kito nuo 2,33 iki 2,62 t ha⁻¹. Avižas auginant po įvairių tarpinių pasėlių mišinių piktžolių skaičius esmingai nesiskyrė, o piktžolių masė nustatyta esmingai nuo 2,6 iki 4,4 karto mažesnė. Tarpinių pasėlių mišiniai nedarė esminės įtakos avižų pasėlio tankumui, aukščiui, šluotelės grūdų masei ir 1 000 grūdų masei, o chlorofilo koncentracija lapuose nustatyta esmingai nuo 1,7 iki 2,1 karto didesnė. Avižų masė (23,6 ir 32,9 %), grūdų skaičių šluotelėje (24,4 ir 32,4 %) ir biologinį grūdų derlingumą (54,3 ir 56,3 %) esmingai didino įsėlinis ir posėlis tarpinio pasėlio mišinys, sudarytas iš 9 trumpaamžių augalų rūšių.

Raktiniai žodžiai: avižos, tarpinių pasėlių mišiniai, piktžolės, produktyvumas.

Įvadas

Avižos (*Avena sativa* L.) yra visame pasaulyje auginami miglinių (*Poaceae*) šeimos grūdiniai javai, o žmonėms vartoti skirtų avižų auginimas pastaraisiais dešimtmečiais išaugo dėl pripažintos naudos sveikatai (Ma et al., 2017). 2024 m. Lietuvoje buvo auginama apie 110,5 tūkst. ha avižų. Vidutinis jų grūdų derlingumas buvo 2,19 t ha⁻¹ (Oficialios statistikos portalas, 2024). Piktžolės neigiamai veikia avižų augimą ir derlingumą, konkuruodamos su jomis dėl maisto medžiagų, saulės šviesos, erdvės ir vandens (Popa et al., 2024). Piktžolių plitimas avižų pasėliuose priklauso nuo pasirinktos auginti veislės (Popa et al., 2024), suformuoto pasėlio tankumo (Li et al., 2018), auginimo technologijos (Barikzai et al., 2021). Avižos pasižymi alelopatinėmis savybėmis, nes per šaknis išskiria piktžolių augimą slopinančius junginius. Be to, suformuotas tankus avižų pasėlis gerai stelbia piktžoles, užstodamas joms saulės šviesą (Döring et al., 2012). Intensyvios žemdirbystės sąlygomis piktžolės naikinamos herbicidais. Tačiau vis labiau išreiškiamas susirūpinimas dėl didelio herbicidų naudojimo, išsivystančio piktžolių atsparumo herbicidams, piktžolių populiacijos pokyčių, augančių herbicidų kaštų, paviršinio vandens taršos ir poveikio naudingiems organizmams (Chauhan, Johnson, 2010).

Tarpiniai pasėliai teikia daug pagrįstos naudos agroekosistemai: didina biologinę įvairovę, mažina žaladarių plitimą ir maisto medžiagų išplovimą, gerina dirvožemio kokybę (Baraibar et al., 2018; Lavergne et al., 2021). Tyrimais nustatyta, kad tarpinių pasėlių mišiniai turi daugiau privalumų negu vienos rūšies pasėliai: suformuoja daugiau biomasės, joje sukaupia daugiau maisto medžiagų, efektyviau stelbia piktžoles, pertraukia ligų ir kenkėjų vystymosi ciklus, skatina dirvožemio biologinius procesus, gerina dirvožemio agrofizikines, agrochemines ir biologines savybes, didina po jų auginamų augalų derlingumą ir lemia didesnį gamybos stabilumą (Schipanski et al., 2014; Groff, 2015; Moreno-Cadena et al., 2024). Dong ir Zeng (2024) teigia, kad tarpinių pasėlių mišiniai yra perspektyvi alternatyva įprastiniam žemės dirbimui ir herbicidų naudojimui piktžolėms naikinti žemės ūkio sistemose. Tarpinių pasėlių mišiniuose piktžolių biomasė sumažėja 62,6 %. Rouge ir kt. (2022) tyrimų rezultatai parodė, kad konkurencinius santykius tarp tarpinių pasėlių mišinių ir piktžolių rūšių lemia sudėtinga aplinkos išteklių prieinamumo ir rūšių savybių sąveika. Løes ir kt. (2011) duomenimis, žaliajai trąšai įterpti tarpiniai pasėliai padidina javų grūdų derlingumą vidutiniškai 30 %.

Tyrimų tikslas – įvertinti tarpinių pasėlių mišinių antžeminės dalies biomasę ir nustatyti jų poveikį sėjamosios avižos pasėlio piktžolėtumui ir produktyvumui.

Tyrimų metodika

Lauko eksperimentas atliktas 2023 ir 2024 m. Česlovo Tallat-Kelpšos ūkyje Kauno r., Vilkijos sen., Saulėtekio k. Ūkininko ūkyje vyrauja išplautžemių (*Luvisols*) ir rudžemių (*Cambisols*) grupių dirvožemiai (WRB, 2022). Dirvožemio agrocheminės savybės: mineralinio azoto – 6,88–9,71 mg kg⁻¹, judriųjų maisto medžiagų dirvožemyje: P₂O₅ – 136,3–238,2 mg kg⁻¹, K₂O – 140,3–162,3 mg kg⁻¹, organinės anglies – 1,76–2,18 %.

Eksperimento variantai: 1) be tarpinio pasėlio mišinio, 2) įsėlinis tarpinio pasėlio mišinys TGS BIOM 1 (gausiažiedė svidrė (*Lolium multiflorum* L.) 70 %, egiptinis dobilas (*Trifolium alexandrinum* L.) 15 %, persinis dobilas (*Trifolium resupinatum* L.) 15 %), 3) posėlinis tarpinio pasėlio mišinys TGS D STRUKT 1 (aviža netikšė (*Avena strigosa* Schreb.) 20 %, sėjamasis grikiis (*Fagopyrum esculentum* Moench.) 15 %, sėjamasis

linas (*Linum usitatissimum* L.) 15 %, egiptinis dobilas 15 %, valgomasis šakninis ridikas (*Raphanus sativus* var. *longipinnatus* L.) 10 %, paprastoji saulėgrąža (*Helianthus annuus* L.) 10 %, persinis dobilas 5 %, bitinė facelija (*Phacelia tanacetifolia* Benth.) 5 %, sėjamoji seradėlė (*Ornithopus sativus* Brot.) 5 %), 4) posėlinis tarpinio pasėlio mišinys TGS GYVA 365 (raudonasis dobilas (*Trifolium pratense* L.) 25 %, daugiametė svidrė (*Lolium perenne* L.) 20 %, baltoji garstyčia (*Sinapis alba* L.) 10 %, sėjamasis linas 10 %, pašarinis žirnis (*Pisum sativum* L.) 10 %, šiurkštusis dobilas (*Trifolium squarrosum* L.) 5 %, sėjamoji judra (*Camelina sativa* L.) 5 %, sėjamasis grikis 5 %, valgomasis šakninis ridikas 5 %, pašarinis ridikas (*Raphanus sativus* L.) 5 %). 2023 m. įsėlinis tarpinio pasėlio mišinys įsėtas į žieminius kviečius (*Triticum aestivum* L.) 'Skagen' (Nordic Seed A/S, Danija) balandžio 24 d. sėjamąja „Horsch Pronto“. Posėliniai tarpinių pasėlių mišiniai po žieminių kviečių derliaus nuėmimo sėti tiesiai į ražienas rugpjūčio 15 d. sėjamąja „Horsch Pronto“. Tarpinių pasėlių mišiniai palikti augti iki kitų metų pavasario.

2024 m. pavasarį tarpinių pasėlių mišiniai palikti mulčiui dirvos paviršiuje ir purkšti glifosatu (2,5 l ha⁻¹). Balandžio mėn. pasėtos vasarinės avižos (*Avena sativa* L.) 'Scorpion' („Nordsaat Saat-zucht GmbH“, Vokietija) (190 kg ha⁻¹), 12,5 cm tarpueiliais. Avižos tręštos kompleksinėmis NPK trąšomis (200 kg ha⁻¹) ir purkštos mikroelementais: manganu (1,0 l ha⁻¹), cinku (1,0 l ha⁻¹), variu (0,7 l ha⁻¹), augimo reguliatoriumi chlormekvatchloridu (2,0 l ha⁻¹), herbicidais florasulamu ir fluoksipiru (0,35 l ha⁻¹), tribenuron metilu (0,02 kg ha⁻¹), fungicidais protiokonazolu du kartus (0,3 ir 0,25 l ha⁻¹), benzovindiflupiru ir protiokonazolu (0,5 l ha⁻¹). Avižų derlius nuimtas rugpjūčio mėn.

Tyrimai atlikti 3 pakartojimais. Pradinių laukelių plotas – 100 m², apskaitinių – 72 m².

Avižų pasėlio piktžolėtumas įvertintas jų žydėjimo tarpsniu (BBCH 65). Kiekviename laukelyje atsitiktinai pasirinktuose keturiuose 0,25 m² apskaitos ploteliuose buvo nustatyta piktžolių rūšinė sudėtis, piktžolių skaičius ir masė. Surinktų piktžolių ėminiai buvo išdžiovinti laboratorijoje ir jų kiekis perskaiciuotas vnt. m⁻², o sausųjų medžiagų masė – g m². Tarpinių pasėlių mišinių antžeminės dalies biomasė nustatyta augalų vegetacijos pabaigoje ir atsinaujinus augalų vegetacijai pavasarį, o avižų – žydėjimo tarpsniu. Kiekviename eksperimento laukelyje atsitiktinai pasirinktuose keturiuose 0,25 m² apskaitos ploteliuose išpjauta ir pasverta augalų biomasė, paimti du apie 20 g ėminiai ir išdžiovinti parą laiko 105 °C temperatūroje džiovinimo spintoje (LST ISO 751:2000). Tarpinių pasėlių mišinių ir avižų antžeminės dalies biomasė perskaiciuota absoliučiai sausųjų medžiagų (SM) biomasė t ha⁻¹. Avižų pasėlio tankumas (vnt. m⁻²) nustatytas prieš jų derliaus nuėmimą skaičiuojant produktyvius stiebus metre iš abiejų pusių kiekviename laukelyje keturiuose vietose. Chlorofilo koncentracija avižų lapuose nustatyta su mobiliu matuokliu „MC-100“ („Apogee Instrumens“, JAV). Avižų biometriniai ir derliaus struktūros rodikliai nustatyti prieš nuimant derlių. Kiekviename eksperimento laukelyje išpjauta po 30 avižų produktyvių stiebų. Nustatyti kiekvieno produktyvaus stiebo biometriniai (aukštis (cm), masė (g)) ir derliaus struktūros rodikliai (grūdų skaičius šluotelėje (vnt.), šluotelės grūdų masė (g)). Avižų 1 000 grūdų masė (g) nustatyta su tiksliąja sėklų skaičiuokle „Elmor“ („Elmor Corporation AG“, Šveicarija). Avižų grūdų derlingumas apskaičiuotas standartinio 14 % drėgnio ir absoliučiai švarių grūdų kiekiu (t ha⁻¹).

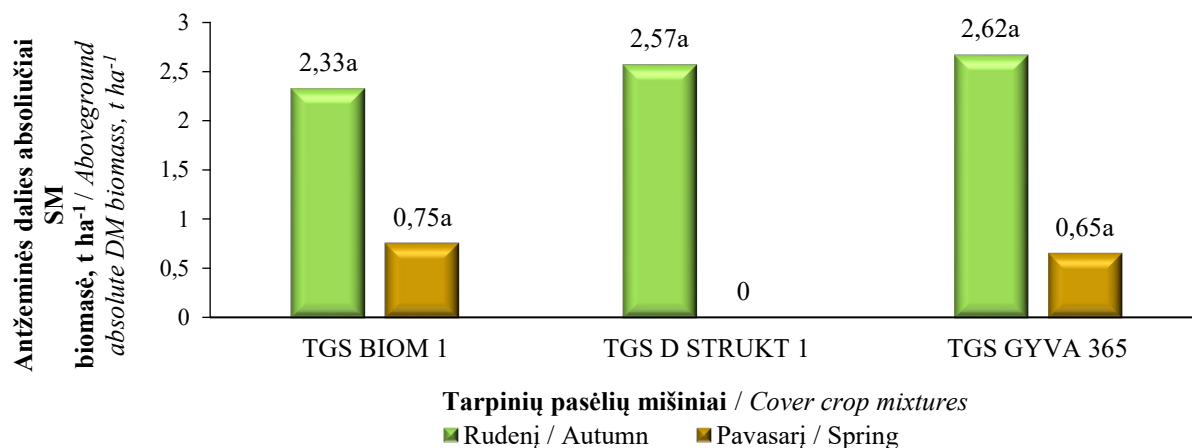
Skirtumų tarp variantų vidurkių esmingumas įvertintas naudojant t kriterijų (Raudonius, 2017). Požymių tarpusavio ryšiai įvertinti koreliacijos ir regresijos metodais. Tyrimų duomenų statistinė analizė atlikta naudojantis kompiuterine programa STAT iš programų paketo SELEKCIJA.

2024 m. augalų vegetacija atsinaujino kovo mėn. trečiajame dešimtadienyje. Balandžio, gegužės, birželio, liepos ir rugpjūčio mėn. buvo šiltesni negu įprasta. Gegužės, birželio ir rugpjūčio mėn. kritulių iškrito mažiau, o balandžio ir liepos mėn. daugiau, palyginti su daugiamete kritulių suma.

Rezultatai ir aptarimas

Atlikus tyrimus nustatyta, kad vegetacijos pabaigoje skirtingos botaninės sudėties tarpinių pasėlių mišinių antžeminės dalies biomasė kito nuo 2,33 iki 2,62 t ha⁻¹ (1 pav.). Įsėlinio ir visų posėlinių tarpinių pasėlių mišinių antžeminės dalies biomasė esmingai nesiskyrė. Esant pavieniams 2023 ir 2024 m. žiemos atšalimams, TGS BIOM 1 tarpiniame pasėlyje gausiažiedė svidrė peržiemojo ir jos masė sudarė 0,75 t ha⁻¹, o TGS GYVA 365 tarpiniame pasėlyje peržiemojusių raudonųjų dobilų ir daugiamečių svidrių antžeminės dalies biomasė sudarė 0,65 t ha⁻¹.

Prieš derliaus nuėmimą avižų pasėlyje nustatyta 21 piktžolių rūšis. Vyravo trumpaamžės piktžolės, jų nustatyta 13 rūšių, o daugiamečių rūšių rasta 8 rūšys. Visuose avižų pasėliuose gausiai plito trumpaamžės piktžolės: dirvinė našlaitė (*Viola arvensis* Murray), paprastoji takazolė (*Polygonum aviculare* L.), trikertė žvaginė (*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik.), vienametė miglė (*Poa annua* L.), vijoklinis pelėvirkštis (*Fallopia convolvulus* (L.) Å. Löve). Vienametė miglė gausiai plito laukeliuose be tarpinio pasėlio. Daugiamečių piktžolės avižų pasėlyje plito negausiai. Popa ir kt. (2024) duomenimis, avižų pasėlyje labiausiai plito šerytės (*Setaria* sp.), paprastoji takazolė ir kibisis lipikas (*Galium aparine* L.).



1 pav. Tarpinių pasėlių mišinių antžeminės dalies biomasė, 2023 m.

Fig. 1. Aboveground dry biomass of cover crop mixtures, 2023

Pastaba: esminių skirtumų nenustatyta ($P > 0,05$).

Note: no significant differences were found ($P > 0.05$).

Avižas auginant po įvairių tarpinių pasėlių mišinių nustatyta piktžolių skaičiaus mažėjimo tendencija, tačiau esminių skirtumų nebuvo (1 lentelė). Piktžolių masė po tarpinių pasėlių mišinių auginimo buvo esmingai nuo 2,6 iki 4,4 karto mažesnė negu laukeliuose be tarpinio pasėlio.

1 lentelė. Avižų pasėlio piktžolėtumas, 2024 m.

Table 1. Weediness of common oat crop, 2024

Tarpinių pasėlių mišiniai Cover crop mixtures	Piktžolių skaičius, vnt. m ⁻² Number of weed, psc. m ⁻²	Piktžolių masė, g m ⁻² Biomass of weed, g m ⁻²
1. Be tarpinio pasėlio / Without cover crop	65,7a	25,1a
2. Įsėlinis / Undersown TGS BIOM 1	27,7a	7,66b
3. Posėlinis / Post-harvest TGS D STRUKT 1	41,3a	5,76b
4. Posėlinis / Post-harvest TGS GYVA 365	35,3a	9,66b

Pastaba: tarp variantų vidurkių, pažymėtų ne tomis pačiomis raidėmis (a, b), skirtumai yra esminiai ($P < 0,05$).

Note: differences between the averages of treatments, marked with different letters (a, b), are significant ($P < 0.05$).

Pittman et al. (2020) teigia, kad mulčiui dirvos paviršiuje palikti tarpinių pasėlių mišiniai mažina piktžolių plitimą. Malaspina et al. (2024) nurodo, kad tarpinių pasėlių mišiniai piktžolių masei darė didesnę įtaką negu jų skaičiui. Li et al. (2018) duomenimis, suformavus avižų pasėlio tankumą 480 augalų m⁻² piktžolių masė sumažėjo nuo 56 iki 59 %, palyginti su mažu tankumu (120 augalų m⁻²).

Avižas auginant po tarpinių pasėlių mišinių nustatyta esmingai nuo 1,7 iki 2,1 karto didesnė chlorofilo koncentracija lapuose, palyginti su laukeliais be tarpinio pasėlio (2 lentelė). Avižų antžeminės dalies biomasė žydėjimo tarpsniu nustatyta esmingai 34,6 % didesnė, palygint su laukeliais be tarpinio pasėlio, jas auginant po posėlinio tarpinio pasėlio mišinio, sudaryto iš 9 trumpaamžių augalų rūšių (TGS D STRUKT 1). Kiti tirti tarpinių pasėlių mišiniai neturėjo esminės įtakos avižų antžeminės dalies biomasei.

2 lentelė. Avižų chlorofilo koncentracija lapuose, antžeminės dalies biomasė, pasėlio tankumas, 2024 m.

Table 2. Chlorophyll concentration in the leaves, aboveground dry biomass and crop density of oat, 2024

Tarpinių pasėlių mišiniai Cover crop mixtures	Chlorofilo koncentracija avižų lapuose, $\mu\text{mol m}^{-2}$ Chlorophyll concentration in the oat leaves, $\mu\text{mol m}^{-2}$	Antžeminės dalies absoliučiai SM biomasė žydėjimo tarpsniu, t ha ⁻¹ Aboveground absolute DM biomass at the flowering stage, t ha ⁻¹	Pasėlio tankumas, vnt. m ⁻² Crop density, psc. m ⁻²
1. Be tarpinio pasėlio Without cover crop	267,8b	9,66b	427a
2. Įsėlinis / undersown TGS BIOM 1	553,1a	11,7ab	516a
3. Posėlinis / Post-harvest TGS D STRUKT 1	474,5a	13,0a	506a
4. Posėlinis / Post-harvest TGS GYVA 365	465,9a	10,6ab	479a

Pastaba: tarp variantų vidurkių, pažymėtų ne tomis pačiomis raidėmis (a, b), skirtumai yra esminiai ($P < 0,05$).

Note: differences between the averages of treatments, marked with different letters (a, b), are significant ($P < 0.05$).

Avižas auginant po tarpinių pasėlių mišinių nustatyta pasėlio tankumo didėjimo tendencija, tačiau esminių skirtumų nebuvo. Avižų pasėlio tankumas priklausė nuo piktžolių masės ($r = -0,96$, $y = 533,8 - 4,30x$, $P < 0,05$).

Tarpinių pasėlių mišiniai nedarė esminės įtakos avižų aukščiui, šluotelės grūdų masei ir 1 000 grūdų masei (3 lentelė). Avižų masę (23,6 ir 32,9 %), vidutinį grūdų skaičių šluotelėje (24,4 ir 32,4 %) ir biologinį grūdų derlingumą (54,3 ir 56,3 %) esmingai didino įsėlinis TGS BIOM 1 ir posėlis TGS D STRUKT 1 tarpinių pasėlių mišiniai, palyginti su laukeliais be tarpinio pasėlio.

3 lentelė. Avižų biometriniai, derliaus struktūros rodikliai ir grūdų derlingumas, 2024 m.

Table 3. Biometric, yield structure parameters and grain yield of oat, 2024

Rodikliai Parameters	Tarpinių pasėlių mišiniai / Cover crop mixtures			
	1. Be tarpinio pasėlio Without cover crop	2. Įsėlinis / Undersown TGS BIOM 1	3. Posėlinis / Post-harvest TGS D STRUKT 1	4. Posėlinis / Post-harvest TGS GYVA 365
1. Augalo aukštis, cm Plant height, cm	66,4a	80,8a	80,3a	74,1a
2. Augalo masė, SM g Plant biomass, DM g	2,80b	3,46a	3,72a	2,91ab
3. Grūdų skaičius šluotelėje, vnt. Number of grains per panicle, psc.	23,8b	29,6a	31,5a	24,3b
4. Šluotelės grūdų masė, g Mass of grains per panicle, g	0,82a	1,05a	1,08a	0,88a
5. 1000 grūdų masė, g Mass of 1000 grains, g	34,3a	35,1a	34,3a	36,3a
6. Biologinis grūdų derlingumas, t ha ⁻¹ Biological grain yield, t ha ⁻¹	3,50b	5,40a	5,47a	4,16ab

Pastaba: tarp variantų vidurkių, pažymėtų ne tomis pačiomis raidėmis (a, b), skirtumai yra esminiai ($P < 0,05$).

Note: differences between the averages of treatments, marked with different letters (a, b), are significant ($P < 0.05$).

Avižų grūdų derlingumas priklausė nuo pasėlio tankumo ($r = 0,95$, $y = -6,48 + 0,02x$, $P < 0,05$), augalų aukščio ($r = 0,98$, $y = -5394 + 0,14x$, $P < 0,05$), masės ($r = 0,96$, $y = -2,17 + 2,11x$, $P < 0,05$), grūdų skaičiaus šluotelėje ($r = 0,96$, $y = -1,96 + 0,24x$, $P < 0,05$) ir šluotelės grūdų masės ($r = 0,99$, $y = -2,60 + 7,55x$, $P < 0,01$). Panašius koreliacinius priklausomumus nustatė ir Güngör et al. (2023).

Išvados

1. Skirtingos botaninės sudėties tarpinių pasėlių mišinių antžeminės dalies biomasė esmingai nesiskyrė ir kito nuo 2,33 iki 2,62 t ha⁻¹.
2. Avižas auginant po įvairių tarpinių pasėlių mišinių piktžolių skaičius esmingai nesiskyrė, o piktžolių masė nustatyta esmingai nuo 2,6 iki 4,4 karto mažesnė.
3. Tarpinių pasėlių mišiniai nedarė esminės įtakos avižų pasėlio tankumui, aukščiui, šluotelės grūdų masei ir 1 000 grūdų masei, o chlorofilo koncentracija lapuose nustatyta esmingai nuo 1,7 iki 2,1 karto didesnė. Avižų masę (23,6 ir 32,9 %), grūdų skaičių šluotelėje (24,4 ir 32,4 %) ir biologinį grūdų derlingumą (54,3 ir 56,3 %) esmingai didino įsėlinis ir posėlis tarpinio pasėlio mišinys, sudarytas iš 9 trumpaamžių augalų rūšių.

Padėka

Tyrimai buvo finansuojami EIP projekto „Tarpinių pasėlių diversifikavimas ir daigafunkčių savybių panaudojimas dirvožemio tvarumo ir anglies sekvestracijos potencialo didinimui bei trąšų poreikio mažinimui“ (Nr. JVS/2020/042) lėšomis.

Literatūra

1. Baraibar, B., Hunter, M. C., Schipanski, M. E., Hamilton, A., Mortensen, D. A. (2018). Weed suppression in cover crop monocultures and mixtures. *Weed Science*, 66(1), 121–133.
2. Barikzai, A. B. (2021). Quality response of oats *Avena sativa* L. to integrated weed management. *Journal of Soil Science & Plant Health*, 5(3), 1–4.
3. Chauhan, B. S., Johnson, D. E. (2010). The Role of seed ecology in improving weed management strategies in the tropics. *Advances in Agronomy*, 105, 221–262.
4. Dong, F., Zeng, W. (2024). Effects of fall and winter cover crops on weed suppression in the United States: A Meta-analysis. *Sustainability*, 16(8), 3192.

5. Döring, L., Winkler, L., Fradgley, N. (2012). Oat variety characteristics for suppressing weeds. *ORC Bulletin*, 111, 6–7.
6. Groff, S. (2015). The past, present, and future of the cover crop industry. *Journal of Soil and Water Conservation*, 70(6), 130–133.
7. Güngör, H., Çakır, M. F., Kantar, B. H., Gedik, B., Dumlupinar, Z. (2023). Evaluation of some oat cultivars for grain yield, yield components and quality traits in Düzce ecological conditions. *Journal of Agricultural Sciences*, 7(4), 718–729.
8. IUSS Working Group WRB. (2022). *World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria.
9. Lavergne, S., Vanasse, A., Thivierge, M.-N., Halde, C. (2021). Using fall-seeded cover crop mixtures to enhance agroecosystem services: A review. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 4, 1–18.
10. Li, P., Mo, F., Li, D., Ma, B.-L., Yan, W., Xiong, Y. (2018). Exploring agronomic strategies to improve oat productivity and control weeds: leaf type, row spacing, and planting density. *Canadian Journal of Plant Science*, 98(5), 1–20.
11. Løes, A. K., Henriksen, T. M., Eltun, R., Sjørnsen, H. (2011). Repeated use of green-manure catch crops in organic cereal production – grain yields and nitrogen supply. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science*, 61(2), 164–175.
12. Ma, B. L., Zheng, Z. M., Pageau, D., Vera, C., Fregeau-Reid, J., Xue, A., Yan, W. (2017). Nitrogen and phosphorus uptake, yield and agronomic traits of oat cultivars as affected by fertilizer N rates under diverse environments. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 108, 245–265.
13. Malaspina, M., Chantre, G. R., Yannicari, M. (2024). Effect of cover crops mixtures on weed suppression capacity in a dry sub-humid environment of Argentina. *Frontiers in Agronomy*, 5, 1330073.
14. Moreno-Cadena, P., Salmeron, M., Canisares, L. P., Poffenbarger, H. J. (2024). Productivity benefits of cereal-legume cover crop mixtures under variable soil nitrogen and termination times. *European Journal of Agronomy*, 155, 127114.
15. Oficialios statistikos portalas. (2024). <<https://osp.stat.gov.lt/statistiniu-rodikliu-analize?hash=1c60de45-f3c7-4cb1-95db-4b5e4ca4d976#/>>
16. Pittman, K. B., Barney, J. N., Flessner, M. L. (2020). Cover crop residue components and their effect on summer annual weed suppression in corn and soybean. *Weed Science*, 68, 301–310.
17. Popa, A., Zală, C. R., Gîdea, M. (2024). Research on weed control in an oat crop. *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*, 24(2), 763–768.
18. Raudonius, S. (2017). Application of statistics in plant and crop research: important issues. *Zemdirbyste-Agriculture*, 104(4), 377–382.
19. Rouge, A., Adeux, G., Busset, H., Hugard, R., Martin, J., Matejcek, A., Moreau, D., Guillemin, J. -P., Cordeau, S. (2022). Weed suppression in cover crop mixtures under contrasted levels of resource availability. *European Journal of Agronomy*, 136, 126499.
20. Schipanski, M. E., Barbercheck, M., Douglas, M. R., Finney, D. M., Haider, K., Kaye, J. P., Kemanian, A. R., Mortensen, D. A., Ryan, M. R., Tooker, J., White, C. (2014). A framework for evaluating ecosystem services provided by cover crops in agroecosystems. *Agricultural Systems*, 125, 12–22.

Aušra Marcinkevičienė, Lina Marija Butkevičienė, Lina Skinulienė, Aušra Rudinskienė, Donatas Samaitis

Effect of Cover Crop Mixture on Common Oat (*Avena Sativa* L.) Crop Weediness and Productivity

The field experiment was carried out in 2023 and 2024 at the Česlovas Tallat-Kelpša farm in Kaunas district. The aim of the research was to assess the aboveground dry biomass of cover crop mixtures and determine their impact on the weediness and productivity of the common oat (*Avena sativa* L.) crop. The aboveground dry biomass of cover crop mixtures of different botanical composition did not differ significantly and ranged from 2.33 to 2.62 t ha⁻¹. When growing oats after various cover crop mixtures, the number of weeds did not differ significantly, and the biomass of weed was found to be significantly from 2.6 to 4.4 times lower. Cover crop mixtures did not significantly affect the crop density, height, mass of grains per panicle and mass of 1000 grains of the oat, while chlorophyll concentration in the leaves was found from 1.7 to 2.1 times higher. Oat mass (23.6 and 32.9%), number of grains per panicle (24.4 and 32.4%), and biological grain yield (54.3 and 56.3%) were significantly increased by the undersown and post-harvest cover crop mixture, consisting of 9 annual plant species.

Keywords: Oat, cover crop mixtures, weed, productivity.

Gauta 2025 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2025 m. balandžio mėn.

Aušra MARCINKEVIČIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Agronomijos fakulteto Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedros biomedicinos mokslų daktarė, profesorė, Bioekonomikos tyrimų instituto vyr. mokslo darbuotoja. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 88165, el. paštas: ausra.marcinkeviciene@vdu.lt

Aušra MARCINKEVIČIENĖ. Agriculture Academy of Vytautas Magnus University, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Sciences, Doctor of Biomedical Sciences, Professor, Chief Researcher of Bioeconomy Research Institute. Address: Studentu str. 11, LT-53361 Akademija, Kauno dist. Phone: +370 377 88165, e-mail: ausra.marcinkeviciene@vdu.lt

Lina Marija BUTKEVIČIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos, Agronomijos fakulteto, Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedros biomedicinos mokslų daktarė, docentė, Bioekonomikos tyrimų instituto vyresn. mokslo darbuotoja. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r., el. paštas: lina.butkeviciene@vdu.lt

Lina Marija BUTKEVIČIENĖ. Agriculture Academy of Vytautas Magnus University, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Sciences, Doctor of Biomedical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher of Bioeconomy Research Institute. Address: Studentu str. 11, LT-53361 Akademija, Kauno dist., e-mail: lina.butkeviciene@vdu.lt

Lina SKINULIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Agronomijos fakulteto Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedros žemės ūkio mokslų daktarė, Bioekonomikos tyrimų instituto mokslo darbuotoja. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r., el. paštas: lina.skinuliene@vdu.lt

Lina SKINULIENĖ. Agriculture Academy of Vytautas Magnus University, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Sciences, Doctor of Agriculture Science, Researcher of Bioeconomy Research Institute. Address: Studentų str. 11, LT-53361 Akademija, Kauno dist., e-mail: lina.skinuliene@vdu.lt

Aušra RUDINSKIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos, Agronomijos fakulteto Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedros žemės ūkio mokslų daktarė, Bioekonomikos tyrimų instituto mokslo darbuotoja. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r., el. paštas: ausra.rudinskiene@vdu.lt

Aušra RUDINSKIENĖ. Agriculture Academy of Vytautas Magnus University, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Sciences, Doctor of Agriculture Science, Researcher of Bioeconomy Research Institute. Address: Studentų str. 11, LT-53361 Akademija, Kauno distr., e-mail: ausra.rudinskiene@vdu.lt

Donatas SAMAITIS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos, Agronomijos fakulteto, Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedros, žemės ūkio mokslų magistras. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r., el. paštas: donatas.samaitis@gmail.com

Donatas SAMAITIS. Agriculture Academy of Vytautas Magnus University, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Sciences, Master of Agriculture Sciences. Address: Studentu str. 11, LT-53361 Akademija, Kauno dist., e-mail: donatas.samaitis@gmail.com

AKTINOBAKTERIJŲ GEBĖJIMAS PRODUKUOTI PEKTINAZES IR CELIULIAZES

Eglė Nenartovičiūtė, Jurgita Švedienė

Gamtos tyrimų centro Biodestruktorių tyrimo laboratorija

Aktinobakterijos – gramteigiamos bakterijos, kurių DNR sudėtyje yra didelė guanino ir citozino koncentracija, kuri suteikia joms atsparumą įvairioms aplinkos sąlygoms. Šios bakterijos yra seniai pripažintos perspektyviais natūralių biologiškai aktyvių junginių, tokių kaip antibiotikai, įvairūs fermentai ir naudingi antriniai metabolitai, gamintojais. Minėti produktai naudojami biotechnologijos, maisto, aplinkosaugos ir medicinos pramonėse. Šiame tyrime analizuojamas aktinobakterijų, išskirtų iš įvairių Lietuvos vietovių dirvožemio, gebėjimas produkuoti pektinazę ir celiuliazę. Pektinazė katalizuoja glikozidinius ryšius pektino polimeruose, o celiuliazė – veikia polimerinę celiuliozę ir hidrolizuoja β -1,4 jungtis, taip paversdama celiuliozę į cukrų. Tyrimo metu nustatytas aktinobakterijų produkuojamų fermentų kokybinis aktyvumas, kaip substratą naudojant pektiną – pektinaziniam aktyvumui ir karboksimetilceliuliozę (KMC) – celiuliaziniam aktyvumui tirti. Fermentinio aktyvumo matavimams atitinkamai naudojami Liugolio ir Kongo raudonio (0,1 %) tirpalai. Nustatyta, kad 83 % tirtų aktinobakterijų pasižymi pektinaziniu kokybiniu aktyvumu iš jų: 20 % – dideliu, 51 % – vidutiniu, 16 % – mažu. Celiuliazinis kokybinis aktyvumas nustatytas 69 % tirtų aktinobakterijų iš kurių: 13 % – didelis, 52 % – vidutinis, 4 % – mažas. Rezultatai rodo, jog aktinobakterijos ne tik geba produkuoti fermentus, tačiau produkuojamų fermentų aktyvumas skiriasi. Dideliu kokybiniu fermentiniu aktyvumu pasižymintys aktinobakterijos gali būti pritaikytos bioaktyvių junginių gamybai.

Raktiniai žodžiai: aktinobakterijos, celiuliazės, pektinazės, kokybinis fermentinis aktyvumas.

Įvadas

Aktinobakterijos yra filamentinės gramteigiamos bakterijos, kurios yra svarbiausia prokariotų grupė produkuojanti maždaug pusę – 45 % atrastų bioaktyvių medžiagų, tokių kaip antriniai metabolitai, antibiotikai, įvairūs fermentai ir priešvėžiniai preparatai (Janatiningrum ir Lestari, 2022). Dauguma aktinobakterijų yra laisvai gyvenantys organizmai, kurie plačiai paplitę tiek sausumos, tiek vandens ekosistemose (Barka ir kt., 2016). Aktinobakterijos produkuoja svarbius ekstraląstelinius fermentus, kurie yra naudojami įvairiose pramonės šakose, tokiose kaip žemės ūkio, maisto bei medicinos (Topatan ir Kati, 2022). Fermentai – tai medžiagos, kurių yra visų gyvų organizmų ląstelėse, jos geba modifikuoti įvairias chemines reakcijas (Haile ir Ayele, 2022). Lyginant su cheminiais katalizatoriais fermentai turi daug pranašumų: pasižymi specifiskumu, aukštu kataliziniu efektyvumu bei reguliuojamu aktyvumu (Haile ir Ayele, 2022). Aktinobakterijos geba produkuoti įvairius fermentus. Celiuliazė – fermentas, kuris skaido celiuliozės glikozidinius ryšius, taip išskiriant oligosacharidus ir gliukozę, o pektinazė skaido pektiną, struktūrinį heteropolisacharidą, esantį pirminėse augalų ląstelių sienelėse (Rodrigues, 2016).

Celiuliazės yra moduliniai fermentai sudaryti iš struktūriškai ir funkciškai atskirų vienetų vadinamų domenais (Kuhad ir kt., 2011). Šių fermentų pagrindinė paskirtis yra celiuliozės biomasę paversti į paprastuosius cukrus, kurie toliau gali būti naudojami kaip naudingi energijos šaltiniai (Leo ir kt., 2019). Dirvožemyje esančių bakterijų substratų šaltinis yra augalai, todėl jos geba greitai ir lengvai gaminti celiuliazes (Leo ir kt., 2019). Dauguma komerciškai prieinamų celiuliazžių yra aerobinės mikrobiologinės kilmės (Leo ir kt., 2019). Šie fermentai naudojami maisto, gyvulinių pašarų, fermentacijos, celiuliozės, tekstilės ir popieriaus perdirbimo pramonėje, žemės ūkyje (Kuhad ir kt., 2011).

Pektinazės yra klasifikuojamos kaip mišrūs fermentai, katalizuojantys pektiną, kurie dažniausiai randami mikroorganizmuose ir augaluose (Haile ir Ayele, 2022). Pektinazė dalyvauja ląstelių sienelių metabolizme, taip pat ląstelių augime, jų senėjime, patogenezės ir abscesijos procesuose (Haile ir Ayele, 2022). Pektinazės katalizuojamas substratas pektinas yra sudėtingas koloidinis rūgštinis polisacharidas su ilga galakturono rūgšties grandine, kuri yra sujungta glikozidiniais ryšiais (Haile ir Ayele, 2022). Jis yra svarbi augalų struktūros dalis (Topatan ir Kati, 2022). Pektinas yra vidurinės plokštelės ir pirminės ląstelės sienelės matricoje, kurioje yra celiuliozės ir hemiceliuliozės tinklas (Haile ir Ayele, 2022). Pramonėje pektinazės yra naudojamos tekstilės apdorojime, vaisių ir daržovių perdirbime, kavos bei arbatos fermentacijoje, naftos gamyboje, popieriaus ir jo atliekų pramonėje, taip pat celiuliozės pramonėje, nuotekų valyme (Haile ir Ayele, 2022). Šio darbo tikslas – ištirti kai kurių aktinobakterijų gebėjimą produkuoti fermentus: pektinazę ir celiuliazę.

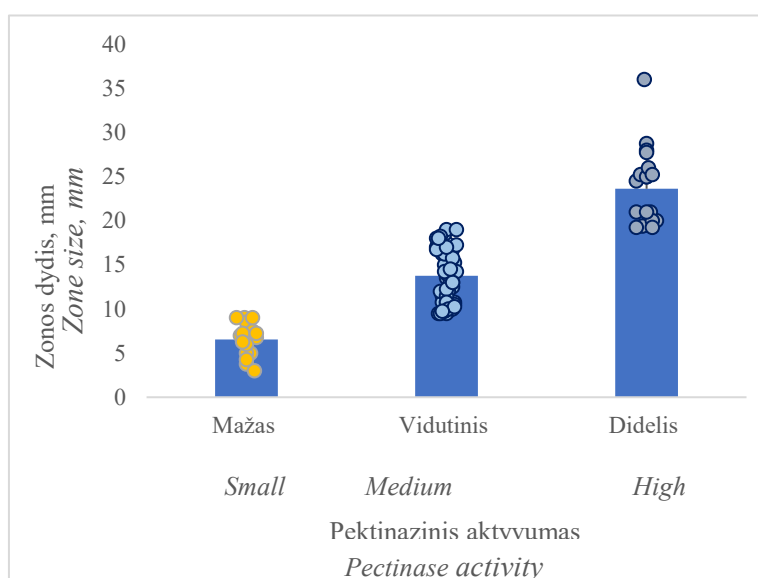
Tyrimų metodika

Šio tyrimo objektas yra 100 aktinobakterijų kultūrų, išskirtų iš įvairių Lietuvos vietovių dirvožemio (Alytaus rajono, Vilniaus miesto ir rajono, Mažeikių, Klaipėdos rajonų). Aktinobakterijų kultūros palaikomos Gamtos tyrimų centro Biodestruktorių tyrimo laboratorijos mikroorganizmų kolekcijoje. Aktinobakterijų

fermentiniam aktyvumui tirti kaip pagrindas naudojama krakmolo-kazeino-agaro (KKA) terpė: 10 g krakmolas, 0,3 g kazeino hidrolizatas, 2 g KNO₃, 2 g NaCl, 2 g K₂HPO₄, 0,05 g MgSO₄ x 7H₂O, 0,01 g FeSO₄ x 7H₂O, 18 g agaras, 1 L dist. H₂O (Topatan ir Kati, 2022). Priklausomai nuo tiriamo fermento, vietoj krakmolo kaip substratas naudojamas pektinas (5 % w/v) arba karboksimetilceliuliozė (1 % w/v). Aktinobakterijų kultūros ant terpės su tiriamu substratu sėjamos lygiagrečiai brūkšniu. Kultūros inkubuojamos 26 ± 1 °C temperatūroje 7 dienas. Po inkubacijos aktinobakterijų pektinaziniame kokybiniam aktyvumui stebėti naudojamas Liugolio (jodo ir kalio jodido tirpalas), o celiuliaziniame kokybiniam aktyvumui yra naudojamas 0,1 % Kongo raudonio tirpalas. Praėjus 15 minučių stebima išryškėjusi zona. Aktinobakterijų fermentinis aktyvumas yra matuojamas nuo kolonijos krašto iki fermentinio aktyvumo zonos pabaigos po keletą kartų. Iš gautų duomenų yra vedamas vidurkis, kuris nurodo kultūros fermentinio aktyvumo dydį. Fermentinis kokybinis aktyvumas pagal vidurkius skirstomas į tris grupes: didelis fermentinis aktyvumas > 19 mm; vidutinis – nuo 10 mm iki 19 mm; mažas – < 10 mm. Šis tyrimas fermentiniam kokybiniam aktyvumui įvertinti atliktas dviem pakartojimais.

Rezultatai ir aptarimas

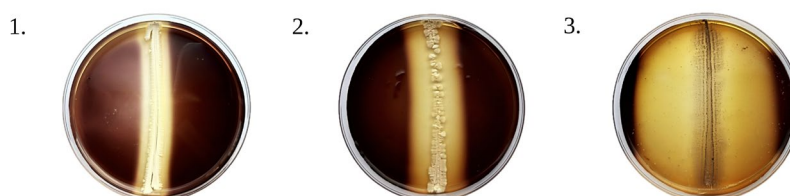
Ištirus 100 aktinobakterijų kultūrų iš jų 87 % pasižymėjo pektinaziniu aktyvumu. Mažu aktyvumu pasižymėjo 16 % kultūrų, vidutiniu aktyvumu pasižymėjo 51 % kultūrų, dideliu aktyvumu pasižymėjo 20 % kultūrų (1 pav.). Topatan ir Kati (2022) atliktame tyrime su 73 aktinobakterijomis 94,5 % kultūrų pasižymėjo pektinaziniu aktyvumu, didžioji dalis – pasižymėjo dideliu pektinaziniu aktyvumu.



1 pav. Kokybinis pektinazės aktyvumas

Fig. 1. Qualitative pectinase activity

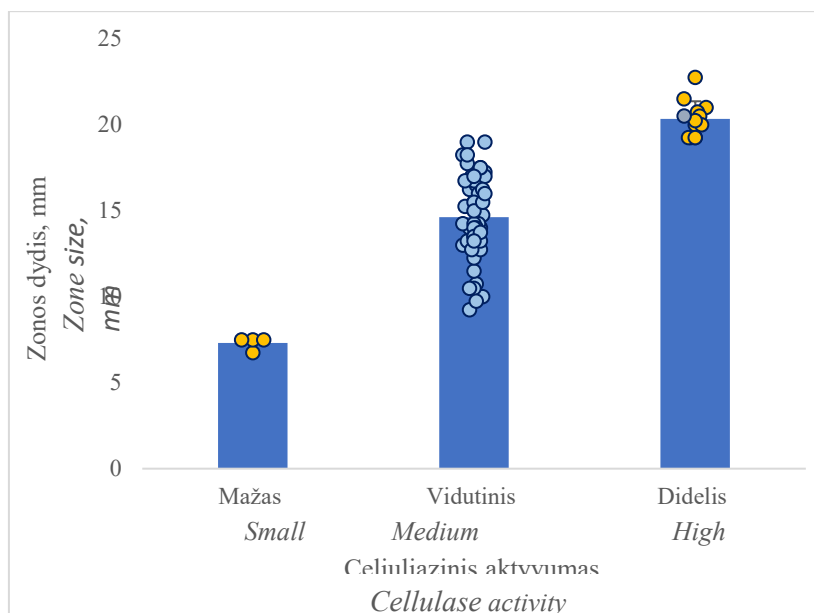
2 paveiksle vaizduojamas tirtų aktinobakterijų išskiriamų ekstraląstelinių fermentų kokybinis tyrimas Petri lėkštelėje. Mažu pektinaziniu aktyvumu pasižymi pirmoji kultūra, zonos dydis siekia 3,75 mm (2 pav., 1). Antroji kultūra pasižymi vidutiniu pektinaziniu aktyvumu, zonos dydis lygus 10,50 mm (2 pav., 2). Trečioji kultūra pasižymi dideliu pektinaziniu aktyvumu, zonos dydis – 27,75 mm (2 pav., 3).



2 pav. Iš skirtingų vietovių išskirtų aktinobakterijų kokybinis pektinazės aktyvumas

Fig. 2. Qualitative pectinase activity of actinobacteria isolated from different localities

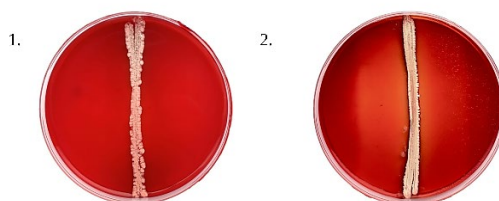
Iš tirtų aktinobakterijų kultūrų 69 % kultūrų pasižymėjo celiuliaziniu aktyvumu, iš jų 4 % kultūrų pasižymėjo mažu celiuliaziniu aktyvumu. 52 % kultūrų pasižymėjo vidutiniu celiuliaziniu aktyvumu, o dideliu aktyvumu pasižymėjo 13 % kultūrų (3 pav.). 31 % kultūrų nepasižymėjo jokių aktyvumu. Topatan ir Kati (2022) atliktame tyrime su 73 aktinobakterijomis celiuliaziniu aktyvumu pasižymėjo visos tirtos kultūros.



3 pav. Kokybinis celiuliazės aktyvumas

Fig. 3. Qualitative cellulase activity

4 paveiksle vaizduojamos kultūros, kurios buvo tirtos dėl celiuliazės produkavimo ir jos aktyvumo. Pirmoji aktinobakterijų kultūra celiuliazinio aktyvumo neturi (4 pav., 1). Antroji kultūra pasižymi dideliu fermentiniu aktyvumu, zonos dydis siekia 19,25 mm (4 pav., 2).



4 pav. Iš skirtingų vietovių išskirtų aktinobakterijų kokybinis celiuliazės aktyvumas

Fig. 4. Qualitative cellulase activity of actinobacteria isolated from different localities

Atlikus tyrimus ir įvertinus rezultatus išsiaiškinta, jog tiriamos aktinobakterijos geba produkuoti tiek celiuliazes, tiek pektinazes, kurių aktyvumas skiriasi. Aktinobakterijų kultūros, kurios pasižymi dideliu pektinaziniu ar celiuliaziniu aktyvumu gali būti pritaikomos įvairiose pramonės srityse, tokiose kaip žemės ūkio, popieriaus, maisto bei medicinos.

Išvados

1. Nustatyta, kad dideliu pektinaziniu aktyvumu pasižymėjo 20 %, o celiuliaziniu – 13 % tirtų aktinobakterijų kultūrų. Kokybinis pektinaziniu aktyvumu nepasižymėjo 13 %, o celiuliaziniu – 31 % tirtų aktinobakterijų kultūrų.
2. Vidutiniu pektinaziniu aktyvumu pasižymėjo 51 %, o celiuliaziniu – 52 % tirtų aktinobakterijų kultūrų. Mažu pektinaziniu aktyvumu pasižymėjo 16 % tirtų aktinobakterijų kultūrų, celiuliaziniu – 4 %.

Literatūra

1. Barka, E. A., Vatsa, P., Sanchez, L., Gaveau-Vaillant, N., Jacquard, C., Klenk, H. P., Clément, C., Ouhdouch, Y., & Van Wezel, G. P. (2016). Taxonomy, Physiology, and Natural Products of Actinobacteria. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 80(1), 1–43. <https://doi.org/10.1128/MMBR.00019-15>
2. Haile, S., & Ayele, A. (2022). Pectinase from Microorganisms and Its Industrial Applications. *The Scientific World Journal*, 1–15. <https://doi.org/10.1155/2022/1881305>
3. Janatiningrum, I., & Lestari, Y. (2022). Enzyme production, antibacterial and antifungal activities of actinobacteria isolated from Ficus deltoidea rhizosphere. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 23(4). <https://doi.org/10.13057/biodiv/d230429>

4. Kuhad, R. C., Gupta, R., & Singh, A. (2011). Microbial Cellulases and Their Industrial Applications. *Enzyme Research*, 1–10. <https://doi.org/10.4061/2011/280696>
5. Leo, V. V., Zothanpuia, Lalthafala, Ramesh, N., & Singh, B. P. (2019). Microorganisms as an Efficient Tool for Cellulase Production: Availability, Diversity, and Efficiency. New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering (p. 45–61). *Elsevier*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64223-3.00004-7>
6. Rodrigues, A. G. (2016). Secondary Metabolism and Antimicrobial Metabolites of *Aspergillus*. New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering (p. 81–93). *Elsevier*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63505-1.00006-3>
7. Topatan, Z. Ş., & Kati, H. (2022). Screening of Actinomycetes from *Cystoseira Barbata* (Stackhouse) c. Agardh Compost for Their Enzyme and Antibacterial Activities. *Trakya University Journal of Natural Sciences*, 23(2), 113–124. <https://doi.org/10.23902/trkjnat.1059974>

Eglė Nenartovičiūtė, Jurgita Švedienė

Ability of Actinobacteria to Produce Pectinases and Cellulases

Actinobacteria are Gram-positive bacteria whose DNA contains high concentrations of guanine and cytosine, making them resistant to a wide range of environmental conditions. These bacteria have long been recognised as promising producers of natural bioactive compounds such as antibiotics, various enzymes and useful secondary metabolites. These products are used in the biotechnology, food, environmental and medical industries. In this study, the ability of actinobacteria isolated from soil in different areas of Lithuania to produce pectinase and cellulase is analysed. Pectinase catalyses glycosidic linkages in pectin polymers, while cellulase acts on polymeric cellulose and hydrolyses β -1,4 bonds, thus converting cellulose into sugars. The qualitative activity of the enzymes produced by actinobacteria was determined using pectin as a substrate for pectinase activity and carboxymethyl cellulose (CMC) as a substrate for cellulase activity. Liugol and Congo red (0,1%) solutions were used for enzyme activity measurements, respectively. It was found that 83% of the actinobacteria tested had pectinase activity, of which 20% had high, 51% medium and 16% low pectinase activity. Cellulase qualitative activity was found in 69% of the actinobacteria studied, of which: 13% – high, 52% – medium, 4% – low. The results show that actinobacteria are not only able to produce enzymes, but the activity of the enzymes produced varies. Actinobacteria with high qualitative enzymatic activity can be applied for the production of bioactive compounds.

Keywords: Actinobacteria, cellulases, pectinases, qualitative enzymatic activity.

Gauta 2025 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2025 m. balandžio mėn.

Eglė NENARTOVIČIŪTĖ. Vilniaus universiteto molekulinės biotechnologijos IV kurso studentė. Adresas: Saulėtekio al. 7, LT-10257 Vilnius, tel. +370 668 60822, el. paštas: enenartoviciute@gmail.com

Eglė NENARTOVIČIŪTĖ. Student of Molecular Biotechnology IV year at Vilnius University. Address: Saulėtekio av. 7, LT-10257 Vilnius. Phone: +370 668 60822, e-mail: enenartoviciute@gmail.com

Jurgita ŠVEDIENĖ. Gamtos tyrimų centro Biodestruktorių tyrimo laboratorijos biomedicinos mokslų daktarė. Adresas: Akademijos g. 2, LT-08412 Vilnius, tel. +370 527 96640, el. paštas: jurgita.svediene@gamtc.lt.

Jurgita ŠVEDIENĖ. Nature Research Centre, Laboratory of Biodeterioration Research, doctor of biomedicine sciences. Address: Akademijos str. 2, LT-08412 Vilnius. Phone: +370 527 96640, e-mail: jurgita.svediene@gamtc.lt.

ĮVAIRIŲ RŪŠIŲ AVIŽŲ BIOLOGINIAI YPATUMAI IR PRODUKTYVUMAS LIETUVOS KLIMATO SĄLYGOMIS

Danuta Romanovskaja, Almantas Ražukas

Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centro Žemdirbystės instituto Vokės filialas

Pastaruoju metu susidomėjimas produktais, kurių pagrindą sudaro avižos, turinčios žmonių sveikatai įvairių naudingų medžiagų, vis didėja. Lietuvos rinkoje yra naujų avižų veislių, sukurtų užsienio šalyse, kurių auginimo galimybės ir tinkamumas mūsų klimato sąlygomis buvo ištirtos. Tyrimų tikslas – nustatyti sėjamosios avižos (*Avena sativa* L.), plikosios avižos (*Avena nuda* L.) ir avižos netikšės (*Avena strigosa* Schreb.) įvairių genotipų ūkiškai naudingas savybes ir derlingumą auginant Lietuvos klimato sąlygomis. Tyrimai atlikti LAMMC ŽI Vokės filiale. Lauko eksperimente buvo tirta trijų skirtingų rūšių avižų 13 genotipų. Atlikus tyrimus nustatyta, kad sėjamosios avižos genotipai suformavo mažiau produktyvių stiebų ir mažiau grūdų šluotelėje nei plikosios avižos ir avižos netikšės genotipai. Tačiau 1 000 grūdų masės įvertinimas parodė, kad sėjamosios avižos genotipų šis rodiklis buvo nuo 25 iki 50 % didesnis nei kitų rūšių avižų genotipų. Nustatyta, kad derlingesni sėjamosios avižos genotipai. Palyginti su sėjamosios avižos genotipų vidutiniu derliumi, plikosios avižos genotipų vidutinis derlius buvo 1,8 karto mažesnis, o avižos netikšės genotipų – 1,2 karto mažesnis.

Raktiniai žodžiai: avižų rūšys, savybės, produktyvumas.

Įvadas

Avižos (*Avena*) yra svarbūs ir ypač vertingi žemės ūkio augalai, pasaulyje užimantys šeštąją vietą po kviečių, kukurūzų, ryžių, miežių ir sorgo ir auginami daugelyje pasaulio šalių žmonių maistui ir gyvulių pašarui (Brindzová et al., 2008; Rivera-Reyes, 2008; Danytė, 2009; Capouchová et al., 2020; Jan et al., 2020). Pastaruoju metu susidomėjimas produktais, kurių pagrindą sudaro avižos, turinčios žmonių sveikatai įvairių naudingų medžiagų, vis didėja (Rosane et al., 2015; Kouřimská et al., 2018; Gu et al., 2021). Teigiama, kad žmonių maistui vartojamų avižų kiekis padidėjo dėl dietinės naudos ir funkcinio maisto poreikio (Tiwari ir Cummins, 2009). Pažymėtina, kad žmonių maistui reikalingos avižų kruopos, kuriose yra daug baltymų, skaidulų, β-gliukano ir mažai riebalų, o daug riebalų ir mažai β-gliukano bei didelis baltymų kiekis avižų kruopose reikalingas pašarams (Dougherty ir kt., 2001; Martínez-Villaluenga ir Peñas 2017; Peterson ir kt., 2005; Zhou ir kt., 1998). Avižų grūduose gausu polifenolių ir fenolinių rūgščių, todėl avižos pasižymi aukštu antioksidaciniu aktyvumu. Šios teigiamos savybės yra svari priežastis jas auginti ir panaudoti maisto pramonėje (Capouchová et al., 2020). Didėjantis susidomėjimas avižų gamyba susijęs ir su mažesnėmis sąnaudomis jų auginimui palyginti su kitais javais. Taip pat svarbus teigiamas avižų poveikis dirvožemio savybėms sėjomainoje, o tai gali būti dar viena platesnio naudojimo priežastis (Strychar, 2011). Lietuvos rinkoje atsiranda naujų avižų veislių, sukurtų užsienio šalyse, kurių auginimo galimybės ir tinkamumą mūsų klimato sąlygomis būtina įvertinti.

Tyrimų tikslas – nustatyti sėjamosios avižos (*Avena sativa* L.), plikosios avižos (*Avena nuda* L.) ir avižos netikšės (*Avena strigosa* Schreb.) įvairių genotipų ūkiškai naudingas savybes ir derlingumą auginant Lietuvos klimato sąlygomis.

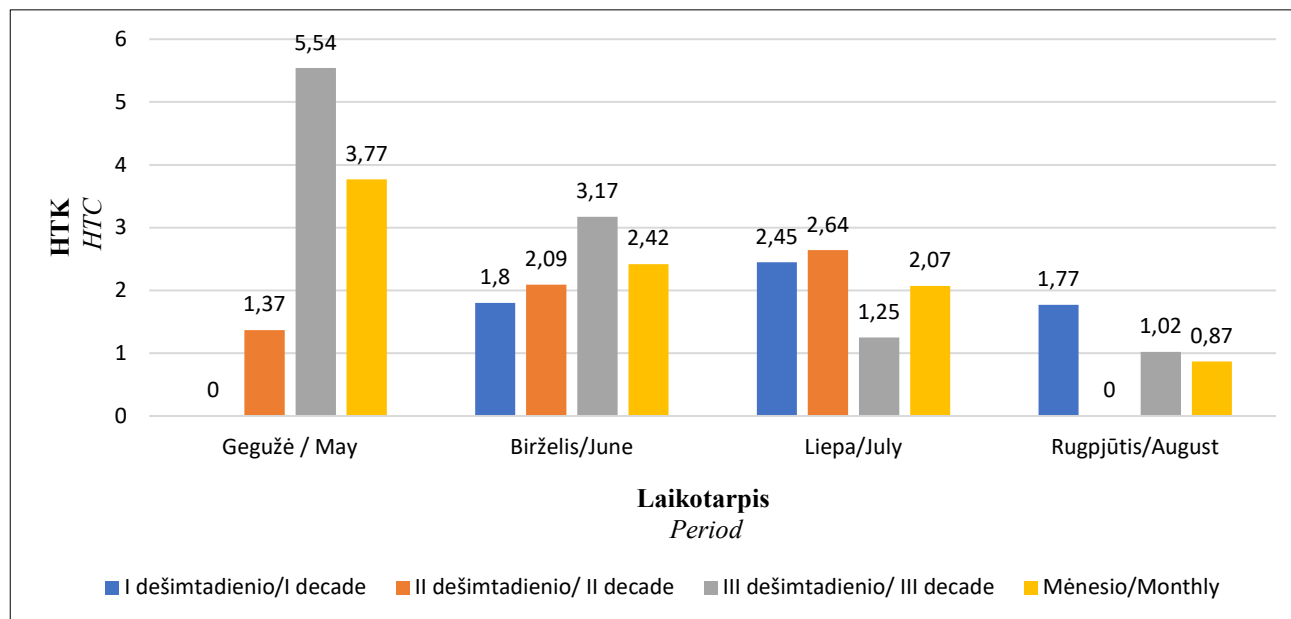
Tyrimų metodika

Lauko eksperimentas buvo atliktas LAMMC ŽI Vokės filialo bandymų laukuose priesmėlio paprastajame išplautžemyje. Eksperimento apimtis: užsienyje sukurti, bet Lietuvoje į Nacionalinį augalų veislių sąrašą neįtraukti 9 genotipai sėjamosios avižos (*Avena sativa* L.), 2 genotipai plikosios avižos (*Avena nuda* L.) ir 2 genotipai avižos netikšės (*Avena strigosa* Schreb.). Pavasarį eksperimentui skirtas laukas iki avižų sėjos buvo kultivuotas – akėtas. Prieš kultivavimą buvo išbertos mineralinės trąšos: norma N60P60K60 į hektarą. Tręšimui naudotos kompleksinės NPK 15-15-15+11S trąšos. Avižos pasėtos balandžio III dešimtadienį. Laukelių forma pailga, jų dydis ir išdėstymas parinktas, atsižvelgus į agronominių tyrimų atlikimo reikalavimus. Sėklų išsėjimo norma 4,0 mln. ha⁻¹. Sėjos gylis – 3–4 cm, tarpueilių plotis – 20 cm. Grūdų derliaus nuėmimas atliktas, subrendus grūdams, tiesioginiu kombainavimu kombainu „Sampo 150“.

Biometrinį rodiklį ir grūdų kokybės bei technologinių savybių nustatymas buvo atliktas vegetacijos metu: augalų aukštis (cm), grūdų kiekis šluotelėje (vnt. ir g), produktyvių stiebų kiekis (vnt.) ir po derliaus nuėmimo: 1 000 grūdų masė (g), hektolitro masė (g l⁻¹), grūdų lukštingumas (%). Derliaus nuėmimo metu nustatytas grūdų drėgnumas (%). Cheminės analizės atliktos LAMMC ŽI agrochemijos laboratorijoje, kur buvo nustatytas baltymų kiekis grūduose (%). Tyrimų rezultatai įvertinti statistiškai dispersinės analizės

metodais kompiuterine programa „Anova“, vidutinė standartinė paklaida ($\pm S_x$), variacijos koeficientas (V , %) ir koreliacijos koeficientai – naudojant „Excel“ programą.

Meteorologinės sąlygos buvo įvertintos pagal hidroterminį koeficientą (HTK). Optimalios hidroterminės sąlygos žemės ūkio augalams esti, kai HTK 1,0–1,5. Tyrimų metu gegužės, birželio ir liepos mėnesiai buvo labai šlapi (HTK atitinkamai 3,77, 2,42 ir 2,07), o rugpjūčio mėnuo nepakankamai drėgnas (HTK 0,87).



1 pav. Meteorologinės sąlygos vegetacijos laikotarpiu

Fig. 1. Meteorological conditions during the growing seasons

Rezultatai ir aptarimas

Tirtų trijų rūšių avižų genotipai buvo įvertinti pagal ūkiškai naudingas savybes. Vienas iš rodiklių – avižų aukštis. Dažniausiai juo žemesni augalai, tuo mažiau jie linkę išgulti, todėl selekcininkai stengiasi sukurti kuo žemesnių augalų veisles. Ekologiniams ūkiams, priešingai, augalai gali būti aukšti ir vešlūs, kad stelbtų piktžoles, o išgulimas ekologiniuose ūkiuose sumažėja dėl riboto maisto medžiagų, ypač azoto, kiekio. Tirtų sėjamosios avižos genotipų vidutinis aukštis buvo 90,6 cm, tačiau plikiosios avižos ir avižos netikšės rūšių augalų vidutinis aukštis buvo 5,4–10,9 % didesnis (1 lentelė). Tačiau tokio aukščio avižos, nepriklausomai nuo rūšies ir genotipo antroje vegetacijos pusėje, ypač artėjant derliaus nuėmimui, buvo linkusios išgulti.

Visų javų derlingumas priklauso nuo krūmijimosi ir suformuotų produktyvių stiebų kiekio. Sėjamosios avižos rūšies genotipai suformavo vidutiniškai 427 vnt. produktyvių stiebų 1 m². Palyginti su sėjamosios avižos, plikiosios avižos genotipai suformavo vidutiniškai 488 vnt. produktyvių stiebų 1 m², t. y. 14 % daugiau. Dar didesnis suformuotų produktyvių stiebų kiekis buvo avižos netikšės rūšies genotipų – skyrėsi nuo sėjamosios avižos 28 % (1 lentelė).

Dar vienas rodiklis, kuris parodo derliaus formavimosi potencialą, yra avižų grūdų kiekis šluotelėje. Nustatyta, kad sėjamosios avižos rūšies genotipai suformavo vidutiniškai 77 vnt. grūdų šluotelėje. Kitų rūšių avižų grūdų skaičius šluotelėje skyrėsi: 17 % daugiau grūdų šluotelėje suformavo plikiosios avižos genotipai (vidutiniškai 90 vnt.), o 27 % mažiau – avižos netikšės genotipai (vidutiniškai 56 vnt.) (1 lentelė). Avižų grūdai priklausomai nuo rūšies skyrėsi dydžiu, todėl avižų grūdų kiekio šluotelėje svoris nebuvo proporcingas jų kiekiui vienetais. Tyrimų duomenys parodė, kad didesnis avižų grūdų šluotelėje svoris buvo sėjamosios avižos genotipų – vidutiniškai 2,0 g. Plikiosios avižos genotipai pagal grūdų kiekį šluotelėje vienetais viršijo kitų rūšių avižų genotipus, tačiau grūdai svėrė 30,5 % mažiau nei sėjamosios avižos veislių. Avižos netikšės rūšies genotipų grūdų kiekis šluotelėse vienetais buvo gerokai mažesnis. Pastebėta, kad ir vidutinis grūdų svoris šluotelėje dėl smulkesnių grūdų taip pat buvo mažesnis nei kitų dviejų rūšių avižų genotipų.

Vienas iš svarbių grūdų kokybės rodiklių yra 1 000 grūdų masė, kuri parodo grūdų stambumą. Palyginti skirtingų avižų rūšių šį rodiklį, stambesni grūdai buvo sėjamosios avižos genotipų. Jų 1 000 grūdų masė siekė vidutiniškai 38,2 g. Plikiosios avižos genotipų šis rodiklis buvo mažesnis – vidutiniškai 28,7 g, o avižos netikšės genotipų – 19,4 g. Todėl sėjamosios avižos rūšies genotipų grūdai buvo 25 % stambesni už plikiosios avižos rūšies genotipų ir 50 % stambesni už avižos netikšės rūšies genotipų.

1 lentelė. Skirtingų avižų rūšių genotipų vidutiniai kiekybiniai rodikliai
Table 1. Average quantitative indicators of genotypes of different oat species

Rodikliai <i>Indicators</i>	Avižų rūšys <i>Types of oats</i>		
	Sėjamoji aviža <i>Common oat</i> (<i>Avena sativa</i> L.)	Plikoji aviža <i>Naked oat</i> (<i>Avena nuda</i> L.)	Aviža netikšė <i>Black oat</i> (<i>Avena strigosa</i> Schreb.)
Augalų aukštis, cm <i>Plant height, cm</i>	$90,6 \pm 1,2^*$ 3,9**	$95,5 \pm 3,5$ 5,2	$100,5 \pm 4,5$ 6,3
Produktyvių stiebų kiekis, vnt. <i>Number of productive stems, in units</i>	427 ± 29 20,2	488 ± 16 4,6	548 ± 26 6,7
Grūdų kiekis šluotelėje, vnt. <i>Amount of grains in a whisk, in units</i>	$77 \pm 2,8$ 10,8	$90 \pm 2,0$ 3,1	$56 \pm 4,0$ 10,1
Grūdų kiekis šluotelėje, g <i>Amount of grains in a whisk, g</i>	$2,0 \pm 0,1$ 10,5	$1,39 \pm 0,1$ 14,2	$0,89 \pm 0,2$ 33,4
1 000 grūdų masė, g <i>1000 grain weight</i>	$38,2 \pm 1,0$ 7,9	$28,7 \pm 0,9$ 4,4	$19,4 \pm 0,4$ 2,9
Hektolitro masė, g l ⁻¹ <i>Hectoliter mass, , g l⁻¹</i>	545 ± 14 7,9	757 ± 17 3,2	503 ± 57 16,0
Grūdų lukštingumas, % <i>Grain hulliness, %</i>	$22,9 \pm 0,8$ 11,0	0	$20,3 \pm 1,4$ 9,4
Grūdų drėgnumas, % <i>Grain moisture, %</i>	$16,0 \pm 0,30$ 5,6	$16,6 \pm 0,2$ 1,3	$17,4 \pm 2$ 12,6
Grūdų derlius, g m ⁻² <i>Grain yield, g m⁻²</i>	312 ± 24 23,0	174 ± 36 29,3	255 ± 52 28,8
Grūdų baltymingumas, % <i>Grain protein content, %</i>	$10,3 \pm 0,52$ 15,2	$13,28 \pm 0,7$ 7,5	$11,07 \pm 0,9$ 10,6

Pastaba: * skaitiklyje paklaida $\pm S_x$, ** vardiklyje variacijos koeficientas V, %.

Note: * error in the numerator $\pm S_x$, ** in the denominator the coefficient of variation V, %.

Grūdų natūrinis svoris, arba kitaip hektolitras, nustatomas pagal standartą LST ISO 7971–2:2000 Grūdai. Natūrinis svoris – tai grūdų masės ir tūrio, kurį jie užima pripildžius tiksliai nustatytais sąlygomis matavimo cilindrą santykis ir išreiškiamas kilogramais hektolitre. Grūdų hektolitro svoris kg hl⁻¹ (arba g l⁻¹) yra pagrindinis rodiklis, į kurį atsižvelgia grūdų supirkėjai. Šis rodiklis padeda nustatyti grūdų kokybės klasę. Kuo didesnė grūdų hektolitro masė, tuo didesnė būtų produkcijos (pavyzdžiui, miltų) išeiga. Iš tirtų avižų rūšių didesnis natūrinis svoris buvo plikiosios avižos genotipų (757 g l⁻¹). Kadangi lukštas sumažina natūrinį svorį, sėjamosios avižos genotipų grūdų natūrinis svoris buvo 28 % mažesnis (siektė 545 g l⁻¹) nei plikiosios avižos genotipų. Avižos netikšės genotipų grūdų natūrinis svoris buvo dar mažesnis nei sėjamosios avižos genotipų (skyrėsi 33,5 %).

Avižos pagal grūdo sandarą skirstomos į lukštagrūdes – tai sėjamosios avižos (*Avena sativa* L.), avižos netikšės (*Avena strigosa* Schreb.) ir belukštes – tai plikiosios avižos (*Avena nuda* L.). Vienas iš tradicinių avižų grūdų trūkumų yra grūdų lukštingumas, kuris sudaro iki 25 %, o kartais ir didesnę dalį. Naudojant avižas pašarui, lukštai sumažina jų energines savybes, iš technologinių savybių lukštai sumažina grūdų natūrinį svorį, todėl padidėja sandėliavimo ir transportavimo išlaidos. Belukštės avižos tokių problemų nesudaro. Be to, jos gerai prisitaiko prie įvairių augimo sąlygų todėl reikia mažiau investicijų jų auginimui ir produkcijos perdirbimui. Plikiosios avižos tampa labai svarbios populiarėjant viso grūdo maisto produktams, kadangi jas perdirbant nereikia atskirti lukštų, o tai apčiuopiamai sumažina sąnaudas (Maikštėnienė, 2017). Tačiau plikiosios avižos jautresnės sandėliavimo sąlygoms dėl glaudesnio grūdų sąlyčio suprastėjusios aeracijos. Rečiau auginama avižų rūšių yra avižos netikšės. Tačiau ir šios avižos palaipsniui įgauna populiarumą dėl įvairesnių alternatyvių panaudojimo galimybių. Plikoji aviža maistiniu požiūriu yra pranašesnė nei įprasta lukštagrūdė aviža. Plikiosios avižos grūdas turi ploną nelnigifikuotą luobelę, kuri nukrenta nuimant derlių, dėl to gaunamas didesnis energijos, baltymų ir lipidų bei mažesnis skaidulų kiekis, palyginti su lukštagrūdėmis avižomis (Givens ir Brunnen, 1987; Bhatti, 1995; Tiwari ir Cummins, 2009). Tyrimuose tirtų plikiosios avižos genotipų grūdai buvo be lukštų (jų lukštingumas 0 %). Kitų rūšių avižų lukštingumas buvo nuo 18,9 iki 27,8 %. Avižos netikšės rūšies genotipai, palyginti su sėjamosios avižos, buvo 11,4 % mažesnio lukštingumo.

Derliaus nuėmimo metu avižų grūdų drėgnumas buvo nežymiai didesnis nei sausų grūdų (15 %) ir vidutiniškai siekė nuo 16,0 iki 17,4 %, tačiau skyrėsi tarp avižų rūšių. Drėgnesni grūdai buvo avižos netikšės rūšies genotipų, tačiau skirtumas palyginti su kitų rūšių avižų grūdų drėgnumu buvo ne didesnis nei 3,1 proc.

Avižų grūdų derlius ženkliai skyrėsi priklausomai nuo rūšies. Didesnio derlingumo buvo sėjamosios avižos genotipai: vidutinis derlius buvo 312 g m⁻². Plikosios avižos genotipai nebuvo derlingi palyginti su sėjamosios avižos genotipais – jų vidutinis grūdų derlius buvo 44,2 % mažesnis. Avižos netikšės rūšies genotipai pagal subrandintą grūdų derlių skyrėsi tiek nuo sėjamosios avižos, tiek nuo plikosios avižos genotipų. Palyginti su sėjamosios avižos vidutiniu grūdų derliumi, avižos netikšės grūdų derlius buvo 1,2 karto mažesnis. Tačiau šios avižų rūšies vidutinis grūdų derlius buvo 1,5 karto didesnis nei plikosios avižos rūšies.

Vienas iš svarbesnių avižų grūdų kokybės rodiklių yra jų baltymingumas. Vidutiniškai baltymų kiekis avižų grūduose siekia 9–13 %, tik retais atvejais kai kurių veislių būna iki 20 % (Kulikauskas, 2010). Šiuose tyrimuose tirtų avižų rūšių baltymų kiekis grūduose buvo nuo 10,3 iki 13,28 %. Didesniu baltymų kiekiu grūduose išsiskyrė plikosios avižos ir avižos netikšės genotipai. Plikosios avižos rūšies grūdai išsiskyrė iš kitų rūšių avižų maistine verte. Jų grūdų sudėtyje daugiau baltymų, dėl plono lukšto lengvesnis grūdų apdorojimas, jie lengviau valomi. Sėjamosios avižos rūšies genotipų grūdų baltymingumas buvo vidutinis (10,30 %), palyginti su plikosios avižos ir avižos netikšės rūšių grūdų baltymingumu.

Statistiniais metodais buvo įvertinta, kaip koreliuoja kai kurie biometriniai rodikliai ir grūdų derlius skirtingų rūšių avižose. Tyrimų duomenimis, tarp grūdų kiekio šluotelėje avižų grūdų derlius ne visada priklausė. Sėjamosios ir plikosios avižų rūšių koreliaciniai ryšiai tarp šių rodiklių buvo silpni ($r = 0,34 - 0,35^*$). Stiprus koreliacinis ryšys buvo nustatytas avižos netikšės rūšies tarp grūdų kiekio šluotelėje (gramais) ir grūdų derliaus ($r = 0,82^*$) (2 lentelė).

2 lentelė. Koreliacijos koeficientai tarp įvairių rūšių avižų biometrinių rodiklių ir grūdų derliaus

Table 2. Correlation coefficients between biometric indicators and grain yield of various types of oats

Koreliacijos poros <i>Correlation pairs</i>	Koreliacijos koeficientai <i>Correlation coefficients</i>		
	Sėjamoji aviža <i>Common oat</i> (<i>Avena sativa</i> L.) (n = 36)	Plikoji aviža <i>Naked oat</i> (<i>Avena nuda</i> L.) (n = 8)	Aviža netikšė <i>Black oat</i> (<i>Avena strigosa</i> Schreb.) (n = 8)
Grūdų kiekis šluotelėje g x grūdų derlius <i>Grain quantity in the whisk g x grain yield</i>	0,35*	0,34	0,82*
1 000 grūdų masė x grūdų derlius <i>1000 grain weight x grain yield</i>	0,71**	-0,90**	0,84**
Produktyvių stiebų kiekis x grūdų derlius <i>Number of productive stems x grain yield</i>	0,55**	-0,46	-0,47

Pastaba: * statistiškai reikšmingi $p < 0,05$; ** statistiškai reikšmingi $p < 0,01$.

Note: * significant values $p < 0.05$; ** significant values $p < 0.01$.

Avižų 1 000 grūdų masė yra vienas iš svarbių rodiklių, leidžiančių prognozuoti galimą derlių. 1000-čio grūdų masės ir grūdų derliaus ryšys buvo stiprus ir patikimas esant 99 % tikimybės lygiui visose tirtose avižų rūšyse. Todėl galima būtų teigti, kad esant didesnei 1000-čio grūdų masei avižų grūdų derlius bus didesnis. Produktyvių stiebų kiekis labiausiai įtakojo grūdų derliaus dydį tik sėjamosios avižos genotipų ($r = 0,55^{**}$). Todėl sėjamosios avižos genotipų suformuotų produktyvių stiebų didesnis kiekis nulemia didesnį grūdų derlių. Plikosios avižos ir avižos netikšės koreliacijos koeficientai, apskaičiuoti tarp suformuotų produktyvių stiebų kiekio ir grūdų derliaus, parodė priešingas tendencijas.

Išvados

1. Sėjamosios avižos genotipai suformavo vidutiniškai 14–28 % mažiau produktyvių stiebų nei kitų avižų rūšių genotipai, tačiau tik sėjamosios avižos rūšies suformuotų produktyvių stiebų kiekis teigiamai ir statistiškai patikimai koreliavo su grūdų derliumi.
2. Plikosios avižos genotipai suformavo nuo 16 iki 34 vnt. daugiau grūdų šluotelėje nei sėjamosios avižos ar avižos netikšės genotipai. Tačiau avižų grūdų kiekis šluotelėje vienetais ir gramais nebuvo proporcingi. Vienoje šluotelėje suformuotų plikosios avižos rūšies grūdų vidutinis svoris, priešingai, buvo mažesnis palyginti su sėjamosios avižos ir didesnis, palyginti su avižos netikšės. Avižų kiekis šluotelėje (gramais) silpnai, bet statistiškai patikimai koreliavo su grūdų derliumi.
3. Nustatyta, kad sėjamosios avižos rūšies genotipų grūdai buvo vidutiniškai 25 % stambesni už plikosios avižos ir 50 % stambesni už avižos netikšės. Nustatyta stipri koreliacija tarp 1 000 grūdų masės ir grūdų derliaus.
4. Iš trijų tirtų avižų rūšių derlingesni buvo sėjamosios avižos genotipai: vidutinis derlius buvo 312 g m⁻². Palyginti su sėjamosios avižos genotipų vidutiniu derliumi, plikosios avižos genotipų vidutinis grūdų derlius buvo 1,8 karto, o avižos netikšės genotipų – 1,2 karto mažesnis.

Padėka

Padėka skirta UAB „Agrolitpa“ už suteiktas tyrimams įvairių avižų genotipų sėklas ir finansinę paramą.

Literatūra

1. Brindzová, L., Čertík, M., Rapta, P., Zalibera, M., Mikulajová, A., Takácsová, M. (2008). Antioxidant activity, β -glucans and lipid contents of oat varieties. *Czech Journal of Food Science*, 26, 163–173.
2. Capouchová, I., Burešová, B., Paznocht, L., Eliášová, M., Pazderů, K., Konvalina, P., Satranský, M., Dvořáček, V. (2020). Antioxidant activity and content of selected antioxidant compounds in grain of different oat cultivars. *Plant, Soil and Environment*, 66(7), 327–333.
3. Danytė, V. (2012). Comparison of advanced oat breeding lines in Lithuania. Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. *Section B*, Vol. 66, No. 4/5 (679/680), 172–176.
4. Doehlert, D. C., McMullen, M. S., Hammond, J. J. (2001). Genotypic and environmental effects on grain yield and quality of oat grown in North Dakota. *Crop Science*, 41, 1066–1072.
5. Gu, Y., Qian, X., Sun, B., Ma, S., Tian, X., Wang, X. (2021). Nutritional composition and physicochemical properties of oat flour sieving fractions with different particle size. *LWT*, 154, 112757.
6. Jackson E.W. (27 April 2027). *High Protein Oat Species*. W.I.P.O. Patent Application WO 2017/070104 A1.
7. Jan, S. F., Khan, M. R., Iqbal, A., Khan, F. U., Ali, S. (2020). Genetic diversity in exotic oat germplasm & resistance against barley yellow dwarf virus. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 27, 2622–2631.
8. Kouřimská, L., Sabolová, M., Horčíčka, P., Rys, S., Božik, M. (2018). Lipid content, fatty acid profile, and nutritional value of new oat cultivars. *Journal of Cereal Science*, 84, 44–48.
9. Maikštėnienė S. (2017/07). Sėjamųjų ir plikųjų avižų auginimas. *Mano ūkis*.
10. Martínez-Villaluenga, C., Peñas, E. (2017). Health benefits of oat: current evidence and molecular mechanisms. *Current Opinion in Food Science*, 14, 26–31.
11. Rasane, P., Jha A., Sabikhi, L., Kumar, A., Unnikrishnan, V. S. (2025). Nutritional advantages of oats and opportunities for its processing as value added foods – A review. *Journal of Food Science and Technology*, 52, 662–675.
12. Peterson, D. M., Wesenberg, D. M., Burrup, D. E., Erickson, C. A. (2005). Relationships among agronomic traits and grain composition in oat genotypes grown in different environments. *Crop Science*, 45, 1249–1255.
13. Rivera-Reyes, J. G., Cortez-Bheza, E., Peraza-Luna, F. A., Serratos-Arévalo, J. C., Posos-Ponce, P., Guevara-González, R. G., Torres-Pchecho, I., Guzmán-Maldonado, S. H. (2008). Agronomic traits associated to yield and quality in oat seeds. *Asian Journal of Plant Sciences*, 7, 767–770.
14. Strychar, R. (2011). Chapter 1: World oat production, trade and usage. In F. H. Webster, P. J. Wood (eds.), *Oats: Chemistry and Technology*. St. Paul, American Association of Cereal Chemists, 1–10.
15. Tiwari, U., Cummins, E. (2009). Simulation of the factors affecting β -glucan levels during the cultivation of oats. *Journal of Cereal Science*, 50, 175–183.

Danuta Romanovskaja, Almantas Ražukas

Biological Characteristics and Productivity of Various Types of Oats in Lithuanian Climatic Conditions

Recently, interest in products based on oats, which contain various substances beneficial to human health, has been increasing. There are new oat varieties on the Lithuanian market, developed in foreign countries, the cultivation possibilities and suitability of which in our climatic conditions have been studied. The aim of the research was to determine the economically useful properties and yield of various genotypes of seed oats (*Avena sativa* L.), naked oats (*Avena nuda* L.) and wild oats (*Avena strigosa* Schreb.) when grown in Lithuanian climatic conditions. The research was conducted at the Voke Branch of the Institute of Agriculture of Lithuanian Research Centre of Agriculture and Forestry. 13 genotypes of three different types of oats were studied in a field experiment. The research found that seed oat genotypes formed fewer productive stems and fewer grains per panicle than naked oats and wild oats genotypes. However, the assessment of the 1000-grain weight showed that this indicator for seed oat genotypes was 25 to 50% higher than for other types of oat genotypes. It was found that the seed oat genotypes were more productive. Compared to the average yield of the seed oat genotypes, the average yield of the bare oat genotypes was 1.8 times lower, and that of the non-seed oat genotypes was 1.2 times lower.

Keywords: Oat types, properties, productivity.

Gauta 2025 m. vasario mėn., atiduota spaudai 2025 m. balandžio mėn.

Danuta ROMANOVSKAJA. Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centro Žemdirbystės instituto Vokės filialo biomedicinos mokslų daktarė, agronomė. Adresas: Žalioji a. 2, LT-02232 Vilnius, tel. +370 526 45439, el. paštas: danuta.romanovskaja@lammc.lt.

Danuta ROMANOVSKAJA. Voke Branch of Institute of Agriculture of Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry, doctor of biomedicine sciences, agronomist. Address: Žalioji a. 2, LT-02232 Vilnius. Phone: +370 5 2645439, e-mail: danuta.romanovskaja@lammc.lt.

Almantas RAŽUKAS. Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centro Žemdirbystės instituto Vokės filialo vadovas, žemės ūkio mokslų daktaras (HP), vyriausiasis mokslo darbuotojas. Adresas: Žalioji a. 2, LT-02232 Vilnius, tel. +370 526 45439, el. paštas: almantas.razukas@lammc.lt.

Almantas RAŽUKAS. Voke Branch of Institute of Agriculture of Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry, doctor of agrarian sciences (HP), head, chief researcher. Address: Žalioji a. 2, LT-02232 Vilnius. Phone: +370 5 2645439, e-mail: almantas.razukas@lammc.lt

SKIRTINGŲ ŽEMĖS DIRBIMO IR SĖJOS TECHNOLOGIJŲ POVEIKIS ŽIEMINIŲ RAPSŲ PASĖLIUI

Darija Jodaugienė, Justas Blockis, Edita Mažuolytė-Miškinė, Gabrielė Antanavičienė, Aida Adamavičienė

Vytauto Didžiojo universitetas

Pastaruoju metu vis labiau plinta aplinką tausojančios žemės dirbimo sistemos. Viena iš jų juostinis žemės dirbimas, kai yra sėjama tiesiai į įdirbtas juostas, o tarpueiliai lieka neįdirbti. Ši technologija ženkliai sumažina sėklos guoliavietės paruošimo, kuro ir laiko sąnaudas. Dirvos paviršiuje likusios augalinės liekanos apsaugo dirvą nuo vėjo ir vandens erozijos, dirvožemio struktūros ardymo, drėgmės nuostolių bei kito neigiamo poveikio. Atlikus juostinio žemės dirbimo ir sėjos palyginimo su įprastine-arimine technologija tyrimus 2023–2024 m. VDU mokomojo ūkio laukuose paaiškėjo, kad taikant juostinį žemės dirbimą ir sėją žieminių rapsų augalai buvo smulkesni ir prasčiau pasiruošę žiemoti nei artame lauke. Ariminės technologijos laukuose augalai buvo aukštesni, intensyviau vykdė fotosintezę, sukaupė daugiau azoto, fosforo ir kalio butonizacijos tarpsniu ir derlius buvo didesnis.

Raktiniai žodžiai: žieminiai rapsai, ariminė technologija, juostinis žemės dirbimas, pasiruošimas žiemojimui, NPK kaupimas.

Ivadas

Visame pasaulyje populiarėja juostinis žemės dirbimas ir sėja kaip tvari žemdirbystės praktika, subalansuojanti dirvožemio apsaugą ir pasėlių produktyvumą. Taikant šį metodą, dirva pažeidžiama minimaliai, įdirbant siauras juostas – tik apie trečdalį žemės, o tarpueiliai paliekami nesuardyti. Tyrimai rodo, kad juostinis žemės dirbimas žymiai pagerina dirvožemio maistinių medžiagų prieinamumą ir drėgmės sulaikymą. Szczepanek ir kt. (2024) nustatė, kad juostinis žemės dirbimas padidino azoto ir kalio kiekį viršutiniuose dirvožemio sluoksniuose, palyginti su įprasta arimine technologija, o tai labai svarbu augalų augimui ir derliui. Panašūs tyrimai parodė, kad juostinis žemės dirbimas gali padidinti dirvožemio fermentų aktyvumą (He et al., 2019), padeda išlaikyti dirvožemio struktūrą, kuri yra gyvybiškai svarbi šaknų vystymuisi ir vandens įsiskverbimui (Arlauskienė et al., 2021; Rothore et al., 2021).

Juostinis žemės dirbimas ir sėja gali optimizuoti dirvožemio drėgmės ir temperatūros sąlygas, kurios yra labai svarbios pasėlių augimui, ypač sausringuose regionuose (Chen et al., 2021; Wang et al., 2015; Wang et al., 2024). Jaskulski ir Jaskulski (2021) nurodo, kad dirvožemio temperatūra juostose gali būti 2–3 °C aukštesnė nei neįdirbtame dirvožemyje, kas skatina greitesnį ir vienodesnį augalų sudygimą.

Europoje juostinio žemės dirbimo plėtra ypač pastebima tose šalyse, kuriose vykdoma intensyvi žemės ūkio praktika. Tradicinis arimas siejamas su padidėjusia dirvožemio erozija ir maistinių medžiagų praradimu, dirvožemio degradavimu bei didesnėmis energijos ir kuro sąnaudomis. Nustatyta, kad juostinis žemės dirbimas sumažina degalų sąnaudas iki 70 %, palyginti su įprastiniais žemės dirbimo būdais, todėl ūkininkams tai yra ekonomiškai perspektyvus pasirinkimas (Weyers et al., 2017; Kovács et al., 2024). Be to, juostinis žemės dirbimas gali padėti sumažinti trąšų naudojimą. Jaskulski ir kt. (2023) tyrime nustatė, kad naudojant juostinį žemės dirbimo ir sėjos technologiją su granuliuotomis trąšomis, galima pasiekti panašius ar net didesnius derlius su mažesnėmis išlaidomis. Tai ypač svarbu, atsižvelgiant į augančias trąšų kainas ir ekologinius reikalavimus, susijusius su dirvožemio sveikata.

Moksliniai tyrimai rodo, kad juostinis žemės dirbimas gali veiksmingai sumažinti dirvožemio sutankinimą ir sustiprinti mikrobiologinį aktyvumą, o tai būtina dirvožemio sveikatai (Arlauskienė ir kt., 2021). Be to, juostinis žemės dirbimas kartu su augalinių liekanų danga duoda daug žadančių rezultatų, didinant dirvožemio organinių medžiagų kiekį ir stabdant CO₂ emisiją, o tai dar labiau prisideda prie tvaraus ūkininkavimo praktikos (Gegner-Kazmierczak, Hatterman-Valenti, 2016; Weyers et al., 2017).

Juostinis žemės dirbimas ir sėja yra moderni technologija, naudojama žemės ūkyje siekiant sumažinti dirvožemio eroziją, padidinti derlingumą ir pagerinti bendrą dirvožemio būklę, tačiau šios technologijos taikymas yra susijęs ir su tam tikrais trūkumais bei iššūkiais. Balandaitė ir kt. (2022) nurodė, kad juostinis žemės dirbimas ir sėja reikalauja specifinės technikos ir naujų žemės ūkio technologijų, kurios gali būti brangios ūkininkams, ypač mažesnio dydžio ūkiuose.

Dar vienas svarbus aspektas, kuris gali tapti iššūkiu, yra piktžolių valdymas. Juchnevičienė ir kt. (2015) nurodė, kad juostinis žemės dirbimas ir sėja gali būti mažiau veiksmingas kontroliuojant piktžoles, ypač tuomet, kai žemė nėra tinkamai paruošta. Teisingas tręšimo ir piktžolių kontrolės balansas yra būtinas, kad juostinis žemės dirbimas ir sėja būtų sėkminga (Gawęda, Haliniarz, 2022).

Tyrimai rodo, kad juostinis žemės dirbimas gali lemti šaknų vystymosi ir biomasės kaupimosi skirtumus, palyginti su įprastomis žemės dirbimo sistemomis. Bečka ir kt. (2021) nustatė, kad žieminių rapsų pradinis

augimas, taikant juostinį žemės dirbimą ir sėją buvo lėtesnis, jiems būdingas plonesnis šaknų kaklelis ir trumpesnės šaknys bei mažesnis lapų kiekis ankstyvosiose vegetacijos stadijose. Šis lėtesnis augimas gali turėti įtakos augalo gebėjimui pasiekti maistines medžiagas, įskaitant NPK, dirvožemyje. Tačiau tame pačiame tyrime taip pat buvo pastebėta, kad nepaisant šių pradinių trūkumų juostinis žemės dirbimas ir sėja gali pagerinti maistinių medžiagų sulaikymą dirvožemyje, o tai labai svarbu vėlesniuose augimo etapuose.

Tačiau būtina pažymėti, kad perėjimas prie juostinio žemės dirbimo gali būti ne visuomet naudingas. Kai kurie tyrimai rodo, kad nors juostinis žemės dirbimas gali pagerinti tam tikras dirvožemio savybes, jis taip pat gali sumažinti augalų derlingumą tam tikrose situacijose, palyginti su įprastomis žemės dirbimo sistemomis (Orzech et al., 2021; Bojarszczuk, Księżak, 2023). Šis derliaus kintamumas pabrėžia, kaip svarbu atsižvelgti į vietines dirvožemio sąlygas, klimatą ir pasėlių valdymo praktiką, kai žieminiams rapsams taikomas juostinis žemės dirbimas ir sėja.

Atsižvelgiant į šiuos aspektus, juostinio žemės dirbimo ir sėjos diegimas yra kompleksinis procesas, turintis tiek teigiamų, tiek neigiamų savybių ir iššūkių. Svarbu, kad ūkiai atidžiai planuotų ir vertintų savo poreikius, dirvožemio būklę bei klimatinės sąlygas, kad galėtų pasinaudoti šios technologijos privalumais, kartu kompensuojant galimus trūkumus.

Tyrimo tikslas – nustatyti skirtingų žemės dirbimo ir sėjos technologijų poveikį rapsų pasėliui.

Tyrimų metodika

2023–2024 m. VDU Žemės ūkio akademijos mokomajame ūkyje buvo atlikti tyrimai, lyginant juostinį žemės dirbimą ir sėją su tradicine arimine technologija. Po žieminių kviečių derliaus nuėmimo ariminės technologijos laukeliuose dirva suarta 22 cm gyliu, prieš žieminių rapsų sėją kultivuota ir lyginta. Žieminiai rapsai pasėti 2 cm gyliu, kartu lokaliai įterpiant kompleksines NPK 5-15-30 trąšas, norma 150 kg ha⁻¹, tarpueilių plotis 12,5 cm. Juostinio žemės dirbimo laukeliuose dirva įdirbta juostomis kartu sėjant žieminius rapsus ir lokaliai įterpiant kompleksinių trąšų tokią pačią normą, kaip ir ariminėje technologijoje, tačiau tarpueilių plotis buvo 35 cm. Sėta žieminių rapsų veislė 'Desperado', sėklos norma 0,4 mln. ha⁻¹. Kiti žieminių rapsų technologiniai elementai – pesticidų naudojimas, tręšimas ir kt. buvo taikomi abiejose technologijose tokie patys.

Žieminių rapsų pasiruošimas žiemoti buvo nustatytas spalio pabaigoje, atvėsus orams. Įvertintas augalų lapų skaičius, augimo kūgelis, viršutinės dalies masė, šaknies ilgis, skersmuo ir šaknų masė. Žieminių rapsų pasėlis buvo įvertintas prieš žydėjimą rapsų butonizacijos tarpsnio pabaigoje. Nustatytas augalų aukštis, šaknų, stiebų ir lapų masė, sukaupytų maisto medžiagų (NPK) kiekis, chlorofilo koncentracija lapuose. Rapsams subrendus, įvertintas augalų derlingumas. Tyrimų duomenys įvertinti, taikant vieno veiksnio dispersinę analizę. Esminiams skirtumams nustatyti taikytas LSD testas.

Rezultatai ir aptarimas

Žieminių rapsų pasiruošimas žiemojimui yra itin svarbus procesas, kuris tiesiogiai lemia derliaus sėkmę ir augalų atsparumą nepalankioms oro sąlygoms. Rapsų pasiruošimas žiemojimui susijęs su įvairiais agronominiais aspektais, apimančiais ne tik augalų genetines savybes, ligų kontrolę, bet ir dirvos paruošimą, t. y. žemės dirbimą (Marcinkevičienė et al., 2018).

Nustačius žieminių rapsų pasiruošimą žiemojimui, naudojant skirtingas sėjos technologijas paaiškėjo, kad rapsai buvo stambesni ir geriau pasiruošę žiemoti, taikant ariminę technologiją (1 lentelė). Pakankamas lapų skaičius suteikia galimybę augalui efektyviau vykdyti fotosintezę, kas yra būtina maistingųjų medžiagų kaupimui prieš žiemą (Marcinkevičienė et al., 2018). Vidutinis lapų skaičius svyravo nuo 6,2 vnt. ariminėje iki 4,4 vnt. juostinio žemės dirbimo laukeliuose. Augimo kūgelis nebuvo pakilęs daugiau nei 30 mm, kas dažnu atveju nurodoma kaip neigiamas veiksnys.

Juostinio žemės dirbimo ir sėjos laukeliuose žieminių rapsų augalų antžeminės dalies masė buvo esmingai 44,7 proc. mažesnė nei ariminės technologijos laukeliuose. Taikant juostinį žemės dirbimą ir sėją, taip pat prasčiau vystėsi augalų šaknys. Nustatyta, kad žieminių rapsų šaknys buvo 9,4 proc., šaknies kaklelio skersmuo – 20,1 proc., o šaknų masė – 42,0 proc. mažesnė nei artuose laukeliuose. Pagrindinė priežastis prastesniam žieminių rapsų vystymuisi ir pasiruošimui žiemoti galėjo būti didesnis išlikusių pabirų kiekis, taikant neariminę technologiją, t. y. juostinį žemės dirbimą, ir sėją. Dar viena priežastis, kuri galėjo lemti prastesnius rezultatus, tai, kad augalai labiau konkuravo vieni su kitais, nes buvo sėta ta pati sėklos norma tik platesniais tarpueiliais.

Žieminių rapsų butonizacijos tarpsniu buvo įvertintas sukauptas maisto medžiagų kiekis atskirose rapsų dalyse (2 lentelė). Nustatyta, kad didžiausias azoto kiekis buvo sukauptas rapsų lapuose, kiek mažesnė dalis stiebuose ir mažiausiai susikaupė šaknyse. Palyginus skirtingas rapsų sėjos technologijas matyti, kad visose augalų dalyse susikaupė daugiau azoto juos auginant ariminės technologijos laukeliuose, atitinkamai

263,5 kg ha⁻¹. Bendras azoto kiekis nustatytas esmingai (26,5 proc.) didesnis, lyginant su juostiniu žemės dirbimu.

1 lentelė. Žieminių rapsų pasiruošimas žiemojimui

Table 1. Preparing winter rapeseed for wintering

Žieminių rapsų parametrai <i>Characteristics of winter rapeseed</i>	Ariminė technologija <i>Conventional technology</i>	Juostinis žemės dirbimas <i>Strip-till technology</i>
Lapų skaičius, vnt. <i>Leaf number per plant</i>	6,2	4,4**
Augimo kūgelio aukštis, mm <i>Height of the apical bud, mm</i>	19,4	21,1
Augalo antžeminės dalies masė, g <i>Above-ground mass of the plant, g</i>	26,5	14,6**
Pagrindinės šaknies ilgis, cm <i>Length of the primary root, cm</i>	14,0	12,6*
Šaknies kaklelio skersmuo mm <i>Diameter of the root crown, mm</i>	7,4	5,9*
Augalo šaknies masė g <i>Root mass per plant, g</i>	4,3	2,5**

Pastaba: * esminis skirtumas 95 % tikimybės lygiui; ** esminis skirtumas 99 % tikimybės lygiui.

Note. * significant difference at the 95 % confidence level; ** significant difference at the 99 % confidence level.

Fosforo taip pat buvo sukauptas didesnis kiekis rapsų lapuose, atitinkamai 14,6 ir 12,0 kg ha⁻¹, o šaknyse – tik 1,54 ir 1,49 kg ha⁻¹. Pažymėtina, kad bendras fosforo kiekis sukauptas rapsų augaluose, taikant skirtingas sėjos technologijas esmingai nesiskyrė ir siekė 25,7 kg ha⁻¹ – ariminėje ir 22,6 kg ha⁻¹ – neariminėje, t. y. juostinio žemės dirbimo, ir sėjos laukeliuose.

Kalis, skirtingai nei azotas ir fosforas, labiau kaupėsi rapsų stiebuose, po to rapsų lapuose ir mažiausias kiekis nustatytas šaknyse. Bendras kalio kiekis buvo esmingai (16,2 proc.) didesnis ariminės technologijos laukeliuose.

2 lentelė. Maisto medžiagų sukaupimas kg ha⁻¹ skirtingose žieminių rapsų dalyse

Table 2. Accumulation of nutrients kg ha⁻¹ in different parts of winter rape

Augalų maisto medžiagos <i>Plants nutrients</i>	Technologija <i>Technology</i>	Augalo dalis <i>Part of plant</i>			
		Šaknys <i>Roots</i>	Stiebai <i>Stems</i>	Lapai <i>Leaves</i>	Iš viso <i>Total</i>
Azoto kiekis <i>Amount of nitrogen</i>	Ariminė technologija <i>Conventional technology</i>	14,5	68,5	180,5	263,5
	Juostinis žemės dirbimas <i>Strip-till technology</i>	11,3*	51,2*	131,1*	193,6*
Fosforo kiekis <i>Amount of phosphorus</i>	Ariminė technologija <i>Conventional technology</i>	1,54	9,54	14,6	25,7
	Juostinis žemės dirbimas <i>Strip-till technology</i>	1,49	9,17	12,0	22,6
Kalio kiekis <i>Amount of potassium</i>	Ariminė technologija <i>Conventional technology</i>	21,9	112,7	102,7	237,2
	Juostinis žemės dirbimas <i>Strip-till technology</i>	17,6*	99,2	81,9*	198,7*

Pastaba: * esminis skirtumas 95 % tikimybės lygiui.

Note. * significant difference at the 95 % confidence level.

Žemės dirbimas, kuris užtikrina tinkamą drėgmės ir maistingųjų medžiagų prieinamumą, taip pat užtikrina optimalų chlorofilo kiekį, leidžiant augalams efektyviai vykdyti fotosintezę ir išlaikyti stiprią augimo dinamiką. Chlorofilo koncentracija lapuose yra tiesiogiai susijusi su bendra augalų sveikata ir produktyvumu (Masilionytė, Maikštenienė, 2015; Velička et al., 2015).

Chlorofilo koncentracija žieminių rapsų BBCH 55–59 tarpsniu svyravo nuo 334,7 μmol m⁻² – juostinio žemės dirbimo iki 370,9 μmol m⁻² – ariminės technologijos laukeliuose (3 lentelė). BBCH 61–63 tarpsniu chlorofilo koncentracija žieminių rapsų lapuose buvo didžiausia ir svyravo nuo 426,3 iki 460,8 μmol m⁻².

BBCH 65–69 tarpsniu chlorofilo koncentracija žieminių rapsų lapuose nustatyta mažesnė ir siekė 380,5–418,0 μmol m⁻². Visu tyrimo laikotarpiu esmingai (7,5–9 proc.) didesnė chlorofilo koncentracija žieminių rapsų lapuose nustatyta ariminės technologijos laukeliuose.

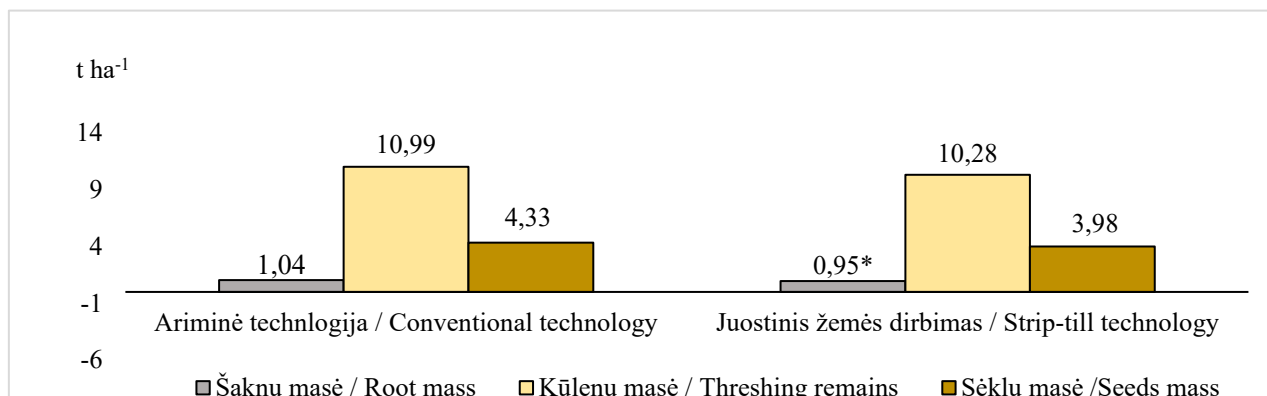
3 lentelė. Chlorofilo koncentracija $\mu\text{mol m}^{-2}$ žieminių rapsų lapuose**Table 3.** Chlorophyll concentration $\mu\text{mol m}^{-2}$ in the leaves of winter rapeseed

Augalų augimo tarpsnis <i>Plant growth stage</i>	Ariminė technologija <i>Conventional technology</i>	Juostinis žemės dirbimas <i>Strip-till technology</i>
BBCH 55–59	370,9	334,7*
BBCH 61–63	460,8	426,3*
BBCH 67–69	418,0	380,5**

Pastaba: * esminis skirtumas 95 % tikimybės lygiui; ** esminis skirtumas 99 % tikimybės lygiui.

Note. * significant difference at the 95 % confidence level; ** significant difference at the 99 % confidence level

Kai kuriais atvejais juostinis žemės dirbimas ir sėja gali sumažinti augalų derlingumą, jeigu dirvožemio sąlygos nėra optimalios (Jaskulski et al., 2021). Įvertinus žieminių rapsų derlingumą nustatyta, kad didesnė sėklų masė buvo laukeliuose, kuriuose taikyta ariminė technologija (1 pav.). Žieminių rapsų sėklų masė skyrėsi $0,35 \text{ t ha}^{-1}$ arba 8,1 proc., tačiau šis skirtumas nebuvo esminis.

**1 pav.** Žieminių rapsų atskirų dalių masė derliaus nuėmimo metu**Fig. 1.** Mass of different parts of winter rapeseed at harvest

Pastaba: * esminis skirtumas 95 % tikimybės lygiui.

Note. * significant difference at the 95 % confidence level.

Rapsų kūlenų masė taip pat esmingai nesiskyrė, nors galima pastebėti mažėjimo tendenciją juostinio žemės dirbimo laukeliuose. Žieminių rapsų šaknų masė nustatyta esmingai (8,7 proc.) mažesnė, taikant juostinį žemės dirbimą ir sėją.

Jaskulski ir Jaskulski (2021) nurodo, kad juostinis žemės dirbimas ir rapsų derlingumas yra glaudžiai susiję, remiasi ne tik techniniais aspektais, bet ir aplinkos sąlygų raida. Žemės ūkiui siekiant atitikti šiuolaikines ekologines ir ekonomines tendencijas, rapsų auginimas juostiniu būdu gali reikalaoti specializuotos įrangos ir žinių, siekiant užtikrinti, kad procesas būtų vykdomas efektyviai.

Išvados

1. Žieminių rapsų pasirengimas žiemojimui buvo prastesnis juostinio žemės dirbimo ir sėjos laukeliuose. Taikant juostinio žemės dirbimo technologiją, esant didesniai tarpueilių pločiui, augalai auga tankiau ir konkuruoja tarpusavyje labiau nei naudojant įprastą ariminę technologiją.
2. Azoto kaupimas nustatytas esmingai mažesnis (22,1–27,4 proc.) visose žieminių rapsų dalyse, o kalio kaupimas esmingai mažesnis rapsų šaknyse (19,6 proc.) ir lapuose (20,3 proc.), lyginant su arimine technologija.
3. Visu tyrimo laikotarpiu esmingai (7,5–9,0 proc.) didesnė chlorofilo koncentracija žieminių rapsų lapuose nustatyta ariminės technologijos laukeliuose.
4. Žieminių rapsų sėklų ir kūlenų masė naudojant skirtingas technologijas esmingai nesiskyrė, tačiau žieminių rapsų šaknų masė nustatyta esmingai (8,7 proc.) mažesnė, taikant juostinį žemės dirbimą ir sėją.

Literatūra

1. Arlauskienė, A., Gecaitė, V., Toleikienė, M., Šarūnaitė, L., & Kadžiulienė, Ž. (2021). Soil nitrate nitrogen content and grain yields of organically grown cereals as affected by a strip tillage and forage legume intercropping. *Plants*, 10(7), 1453. <https://doi.org/10.3390/plants10071453>

2. Balandaitė, J., Ginelevičius, U., Švereikaitė, A., & Romanekas, K. (2022). Phytosanitary conditions of differently biodiverse maize, hemp and faba bean crops. *Žemės ūkio mokslai*, 29(1). <https://doi.org/10.6001/zemesukiomokslai.v29i1.4757>
3. Bečka, D., Bečková, L., Kuchtová, P., Cihlár, P., Pazderů, K., Mikšík, V., ... & Vašák, J. (2021). Growth and yield of winter oilseed rape under strip-tillage compared to conventional tillage. *Plant Soil and Environment*, 67(2), 85–91. <https://doi.org/10.17221/492/2020-pse>
4. Bojarszczuk, J. & Księżak, J. (2023). Economic efficiency of soybean production depending on soil tillage system. *Annals of the Polish Association of Agricultural and Agribusiness Economists*, XXV(4), 26–34. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0053.9739>
5. Chen, Q., Zhang, X., Sun, L., Ren, J., Yuan, Y., & Zang, S. (2021). Influence of tillage on the mollisols physicochemical properties, seed emergence and yield of maize in northeast china. *Agriculture*, 11(10), 939. <https://doi.org/10.3390/agriculture11100939>
6. Gawęda, D. & Haliniarz, M. (2022). The yield and weed infestation of winter oilseed rape (*Brassica napus* L. ssp. *oleifera* Metzg) in two tillage systems. *Agriculture*, 12(4), 563. <https://doi.org/10.3390/agriculture12040563>
7. Gegner-Kazmierczak, S. & Hatterman-Valenti, H. (2016). Strip tillage and early-season broadleaf weed control in seeded onion (*allium cepa*). *Agriculture*, 6(2), 11. <https://doi.org/10.3390/agriculture6020011>
8. He, J., Yu, Z., & Shi, Y. (2019). Effects of strip rotary tillage with subsoiling on soil enzyme activity, soil fertility, and wheat yield. *Plant Soil and Environment*, 65(9), 449–455. <https://doi.org/10.17221/240/2019-pse>
9. Jaskulska, I. & Jaskulski, D. (2021). Winter wheat and spring barley canopies under strip-till one-pass technology. *Agronomy*, 11(3), 426. <https://doi.org/10.3390/agronomy11030426>
10. Jaskulski, D., Jaskulska, I., Różniak, E., Radziemska, M., & Brtnický, M. (2023). Cultivation of crops in strip-till technology and microgranulated fertilisers containing a gelling agent as a farming response to climate change. *Agriculture*, 13(10), 1981. <https://doi.org/10.3390/agriculture13101981>
11. Juchnevičienė, A., Vagusevičienė, I., Kaminskaitė, A., Brazaitytė, A., & Duchovskis, P. (2015). Azoto trąšų poveikis skirtingų žieminių kviečių veislių fotosintetiniams rodikliams. *Žemės ūkio mokslai*, 22(1). <https://doi.org/10.6001/zemesukiomokslai.v22i1.3062>
12. Kovács, A., Juhász, E., Béni, Á., Kincses, I., Tállai, M., Sándor, Z., ... & Krempner, R. (2024). Changes in microbial community and activity of chernozem soil under different management systems in a long-term field experiment in hungary. *Agronomy*, 14(4), 745. <https://doi.org/10.3390/agronomy14040745>
13. Marcinkevičienė, A., Velička, R., Keidan, M., Butkevičienė, L., Kriauciūnienė, Z., Kosteckas, R., ... & Čekanauskas, S. (2018). The impact of non-chemical weed control methods and biopreparations on winter oilseed rape preparation for over-wintering and productivity. *Žemės ūkio mokslai*, 24(4). <https://doi.org/10.6001/zemesukiomokslai.v24i4.3588>
14. Masilionytė, L., Maikštėnienė, S. (2015). Palankios augalų mitybinės terpės sukūrimas taikant alternatyvias žemdirbystės sistemas. *Žemės ūkio mokslai*. <https://doi.org/10.6001/zemesukiomokslai.v22i1.3064>
15. Orzech, K., Wanic, M., & Załuski, D. (2021). The effects of soil compaction and different tillage systems on the bulk density and moisture content of soil and the yields of winter oilseed rape and cereals. *Agriculture*, 11(7), 666. <https://doi.org/10.3390/agriculture11070666>
16. Rathore, R., Dowling, D., Forristal, P., Spink, J., Cotter, P., & Germaine, K. (2021). Conservation strip tillage leads to persistent alterations in the rhizosphere microbiota of *Brassica napus* crops. *Frontiers in Soil Science*, 1. <https://doi.org/10.3389/fsoil.2021.659454>
17. Szczepanek, M. and Siwik-Ziomek, A. (2019). P and K accumulation by rapeseed as affected by biostimulant under different NPK and S fertilization doses. *Agronomy*, 9(9), 477. <https://doi.org/10.3390/agronomy9090477>
18. Velička, R., Mockevičienė, R., Marcinkevičienė, A., Pupalienė, R., Butkevičienė, L., Kriauciūnienė, Z., ... & Čekanauskas, S. (2015). Necheminių piktžolių kontrolės būdų efektyvumo palyginimas vasarinių rapsų pasėlyje ekologinės žemdirbystės sąlygomis. *Žemės ūkio mokslai*, 22(4). <https://doi.org/10.6001/zemesukiomokslai.v22i4.3213>
19. Wang, Y., Liu, T., Li, X., Ren, T., Cong, R., & Lü, J. (2015). Nutrient deficiency limits population development, yield formation, and nutrient uptake of direct sown winter oilseed rape. *Journal of Integrative Agriculture*, 14(4), 670–680. [https://doi.org/10.1016/s2095-3119\(14\)60798-x](https://doi.org/10.1016/s2095-3119(14)60798-x)

Darija Jodaugienė, Justas Blockis, Edita Mažuolytė-Miškinė, Gabrielė Antanavičienė, Aida Adamavičienė

The Effect of Different Soil Tillage Technologies on Winter Rapeseed Crop

Recently, environmentally friendly tillage systems have been increasingly popular. One of them is strip-till, when sowing is done directly into the stubble, cultivating only a third of the land, and the inter-row areas remain uncultivated. This technology significantly reduces the cost of preparing the seedbed, fuel and time. Plant residues remaining on the soil surface protect the soil from wind and water erosion, soil structure destruction, moisture loss and other negative effects. Studies comparing strip-till with conventional tillage technology in 2023–2024 in the fields of the VMU Teaching Farm showed that when using strip tillage and sowing, winter rapeseed plants were smaller and less prepared for winter than in a ploughed field. In the plowing technology, the plants were taller, accumulated more nitrogen, phosphorus and potassium both during the budding stage and before harvest.

Keywords: Winter rapeseed, plowing technology, strip tillage, preparation for wintering, NPK accumulation.

Gauta 2025 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2025 m. balandžio mėn.

Darija JODAUGIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Agronomijos fakulteto Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedros docentė. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52229, el. paštas: darija.jodaugiene@vdu.lt

Darija JODAUGIENĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Science, assoc. prof. Address: Studentų str. 11, LT-53361 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 377 52229, e-mail: darija.jodaugiene@vdu.lt

Justas BLOCKIS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Agronomijos fakulteto Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedros Agronomijos studijų programos magistrantas. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52229, el. paštas: justas.blockis@vdu.lt

Justas BLOCKIS. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Science, Master student of Agronomy. Address: Studentų str. 11, LT-53361 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 377 52229, e-mail: justas.blockis@vdu.lt

Edita MAŽUOLYTĖ-MIŠKINĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Agronomijos fakulteto Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedra. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52229, el. paštas: edita.mazuolyte-miskine@vdu.lt

Edita MAŽUOLYTĖ-MIŠKINĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Science. Address: Studentų str. 11, LT-53361 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 377 52229, e-mail: edita.mazuolyte-miskine@vdu.lt

Gabrielė ANTANAVIČIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Agronomijos fakulteto Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedros doktorantė. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52229, el. paštas: gabriele.antanaviciene@vdu.lt

Gabrielė ANTANAVIČIENĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Science, PhD student. Address: Studentų str. 11, LT-53361 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 377 52229, e-mail: gabriele.antanaviciene@vdu.lt

Aida ADAMAVIČIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Agronomijos fakulteto Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedros docentė. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52293, el. paštas: aida.adamaviciene@vdu.lt

Aida ADAMAVIČIENĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Science, assoc. prof. Address: Studentų str. 11, LT-53361 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 377 52293, e-mail: aida.adamaviciene@vdu.lt

KUKURŪZŲ IR ĮSĖLINIŲ TARPINIŲ AUGALŲ DAUGIANARIŲ PASĖLIŲ POVEIKIS DIRVOŽEMIO SAVYBĖMS

Ugnius Ginelevičius, Austėja Švereikaitė, Rasa Kimbirauskienė, Jovita Balandaitė, Aušra Sinkevičienė, Kęstutis Romaneckas

Vytauto Didžiojo universitetas

Taikant intensyvias agrotechnologijas sunaudojama daug energijos bei padaroma nemaža žala aplinkai. Integruojant įsėlinius tarpinius pasėlius į dažniausiai auginamų kultūrinių augalų pasėlius, galima stabilizuoti ir sustiprinti agroekosistemas klimato kaitos kontekste. Tyrimai atlikti 2023–2024 m. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos bandymų stotyje. Eksperimente buvo tiriamas pupinių ir miglinių įsėlių poveikis kukurūzų agroecozės dirvožemiui. Palyginimui kukurūzų laukeliai buvo purenami arba mulčiuojami piktžolėmis. Nustatyta, kad įsėliniai tarpiniai pasėliai dažniausiai neturėjo esminės įtakos dirvožemio patvarumui. Vis dėlto galima pastebėti tendenciją, kad sėjamosios avižos ir mėlynziedės liucernos turėjo teigiamos įtakos dirvožemio struktūros patvarumui (+3,6 proc. vnt. pokytis). Per dvejus metus dirvožemio azotingumas ir kalingumas kito mažai, judriojo fosforo kiekis padidėjo nuo 20,5 iki 45,2 proc.

Raktiniai žodžiai: *Zea mays* L., pupiniai ir migliniai įsėliai, dirvožemis.

Įvadas

Kukurūzai vartojami labai įvairiose srityse, pavyzdžiui, maisto bei pašarų gamyboje, chemijos pramonėje, biokuro gamyboje, medicinoje ir kt. (García-Lara et al., 2019). Aplinkosauginiame kontekste kukurūzai yra svarbūs, nes priskiriami prie augalų, kurie CO₂ sunaudoja žymiai daugiau nei išskiria (Béziat et al., 2009). Kukurūzai yra C4 tipo augalai, o tai lemia mažesnę kvėpavimo intensyvumą bei didesnę sukaupytų sausųjų medžiagų kiekį net ir esant aukštesnei aplinkos temperatūrai bei mažesniai drėgmės kiekiui (Wang et al., 2014).

Dirvožemio degradacija yra viena iš svarbiausių problemų moderniajame žemės ūkyje. Dirvožemio kokybė kiekvienais metais blogėja, o tai lemia vis intensyvesnės auginimo technologijos, dėl kurių didėja dirvožemio erozijos rizika bei dirvožemio suspaudimas, mažėja organinės anglies ir maisto medžiagų kiekiai (Liu et al., 2010). Žmonių populiacija bei didesnis kokybiško maisto poreikis kiekvienais metais tik didėja, ir panašu, jog ši tendencija nepasikeis (Cleland, 2013). Dėl to būtina rasti būdą, kaip galima kuo dažniau auginti paklausiausius kultūrinius augalus padarant kuo mažiau žalos gamtos ištekliams. Kiekvienais metais atsėliuojant žemės ūkyje auginamus augalus tampa sudėtinga didinti biologinę įvairovę, mažinti dirvožemio degradaciją bei tuo pat metu sumažinti mineralinių trąšų bei pesticidų kiekį. Vis dėlto naudojant įsėlinius tarpinius pasėlius gali tapti įmanoma dažniau rotacijoje auginti reikšmingiausius kultūrinius augalus ir nedaryti neigiamos įtakos dirvožemiui bei biologinei įvairovei (Gebru, 2015). Šie tikslai glaudžiai susiję su bendrosios žemės ūkio politikos (BŽŪP) 2023–2027 m. „Nuo lauko iki stalo“ ir biologinės įvairovės didinimo strategijomis.

Tarpinių pasėlių tikslas – už dengti dirvožemį ten, kur tuo metu neauga kultūriniai augalai, taip siekiant sumažinti dirvožemio eroziją bei gerinti jo kokybę (Kaspar et al., 2011). Mokslininkai nustatė, jog augalai, turintys negilą (iki 15 cm) kuokštinę šaknų sistemą, didina dirvožemio poringumą, gerina struktūros patvarumą, mažina vėjo erozijos riziką bei padidina deguonies kiekį dirvožemyje. Tokią paskirtį atlieka rugiai, avižos, grikliai ir kt. (Hudek et al., 2022). Pupinių šeimos augalų šaknys gali sudaryti simbiozinius ryšius su azotą fiksuojančiomis bakterijomis, kurios praturtina dirvožemį augalams prieinamu biologiniu azotu. Tai ypač aktualu, kai siekiama sumažinti azotinių trąšų kiekį bei jų išsiplovimą (Jensen et al., 2010).

Eksperimentų su tarpiniais pasėliais atlikta nemažai, tačiau netirtos „endogeninės“ (vidinės, dalinės) jų rotacijos antsėlyje. Tai leistų net atsėliuoti žemės ūkio prekinis augalus ir peržiūrėti nemažai egzistuojančių ekoschemų. Tyrimų hipotezė – tikėtina, kad įsėliniai tarpiniai augalai ir jų kaita kukurūzų pasėlyje kompensuos toje pačioje vietoje auginamo pasėlio neigiamą poveikį dirvožemio struktūrai ir cheminei sudėčiai.

Tyrimų metodika

Stacionarus lauko eksperimentas buvo vykdytas 2023–2024 metais VDU ŽŪA Bandymų stotyje (54°53N + 23°50'E). Eksperimento lauko dirvožemis – giliau glėžiškas pasotintas palvažemis (*Endohypogleyic-Eutric Planosol-Ple-gln-w*) (World Soil Res., 2014). Dirvožemio pH HCl – nuo 7,3 iki 7,8, suminio azoto kiekis – nuo 0,08 iki 0,13 proc., humuso – nuo 1,5 iki 1,7 proc., judriojo fosforo – nuo 189 iki 280 mg kg⁻¹, judriojo kalio – nuo 97 iki 118 mg kg⁻¹, judriosios sieros – nuo 1,2 iki 2,6 mg kg⁻¹, magnio – nuo 436 iki 790 mg kg⁻¹.

Vandens režimas sureguliuotas uždaru drenažu, mikroreljefas išlygintas. Dirvožemio ariamasis sluoksnis 27–30 cm storio.

Stacionarus lauko eksperimentas sudarytas iš 6 variantų (1 lentelė). Pirmaisiais (2023 m.) eksperimento metais kukurūzai auginami su pupinių (*Fabaceae*), o antraisiais (2024 m.) – varpinių šeimos augalais (*Poaceae*).

1 lentelė. Eksperimento variantai. VDU ŽŪA Bandymų stotis, 2023–2024 m.

Table 1. Treatments of an experiment. VMU AA Experimental Station, 2023–2024 m.

Metai Year	Variantas Treatment	Įvairinimo lygis Biodiversity level	Pasėliai Crops	Santrumpa Abbreviation
2023–2024	1	Vienanaris <i>Mono-crop</i>	Tarpueilių purenimas (kontrolė 1) (<i>inter-row loosening</i>)	K1
	2		Tarpueilių mulčiavimas piktžolėmis (kontrolė 2) (<i>inter-row cutting and mulching with weeds</i>)	K2
2023	3	Dvinaris <i>Binary-crop</i>	Lauko pupos (<i>Faba bean</i>)	LUP
	4		Purpuriniai dobilai (<i>Crimson clover</i>)	PUD
	5		Persiniai dobilai (<i>Persian clover</i>)	PED
	6		Mėlynžiedė liucerna (<i>Blue-flowered alfalfa</i>)	MEL
2024	3	Dvinaris <i>Binary-crop</i>	Žieminiai rugiai (<i>Winter rye</i>)	RUG
	4		Vienametės svidrės (<i>Annual ryegrass</i>)	SVD
	5		Vasariniai miežiai (<i>Spring barley</i>)	MEŽ
	6		Sėjamosios avižos (<i>Common oat</i>)	AVŽ

Lauko eksperimentas atliekamas 4 pakartojimais. Laukeliai išdėstyti randomizuotu būdu. Pradinis laukelių dydis – 16,4 m², apskaitomasis – 16 m². Iš viso eksperimente – 24 laukeliai. Laukelio apsauginė juosta – 0,5 m pločio, o tarp pakartojimų ir variantų – 3 m pločio. Eksperimento įrengimo metais priešsėlis – juodasis pūdymas. Kiekvienais tyrimų metais kukurūzai atsėliuojami, o tarpueiliuose įsėjami skirtingi įsėliniai augalai.

Tiek 2023 m., tiek 2024 m. meteorologinės sąlygos nebuvo optimalios visos kukurūzų vegetacijos metu. Pirmaisiais eksperimento metais vegetacijos pradžioje drėgmės trūko, o tai lėmė lėtesnį pagrindinio pasėlio bei įsėlio vystymąsi. Tokios sąlygos trukdė augalams užauginti tvirtesnę šaknų sistemą bei geriau įsitvirtinti dirvoje.

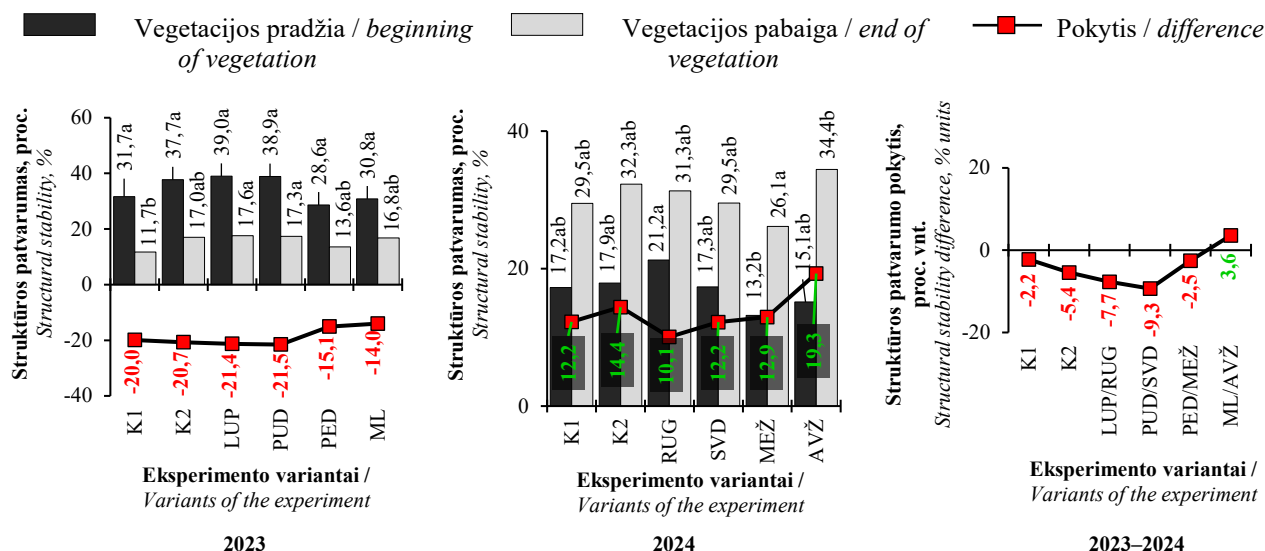
Beveik visos kukurūzų vegetacijos metu buvo pastebimas drėgmės trūkumas, o tai turėjo neigiamos įtakos maisto medžiagų įsisavinimui. Antrieji eksperimento metai taip pat buvo ganėtinai sausi. Iškritusių kritulių kiekis buvo panašus į 2023 m., tačiau netolygus pasiskirstymas turėjo neigiamos įtakos pasėlio produktyvumui. Nors liepos mėnuo buvo išskirtinai drėgnas, tačiau šis kritulių kiekis negalėjo kompensuoti jau padarytos žalos dėl ankstesniais mėnesiais buvusio drėgmės deficito.

Dirvožemio struktūros patvarumo analizei mėginiai buvo imami po sėjos prieš tarpueilių purenimą ir prieš derliaus nuėmimą 0–25 cm dirvožemio sluoksnyje ne mažiau kaip 4–5 kiekvieno laukelio vietose. Sudarytas vidutinis ėminys. Tyrimams atlikti naudotas „Retsch“ („Retsch Lab Equipment, VERDER Group“, Nyderlandai) šlapiojo sijojimo aparatas ir sietų komplektas. Nustatant struktūros patvarumą naudojome 1–2 mm dirvožemio frakciją. Šios frakcijos naudojimas nurodomas metodikoje, nes jos labiausiai kinta skirtingų agrotechnologijų taikymo sąlygomis, ir nustatomi esminiai skirtumai. Plačiau metodas aprašytas Romaneckas ir kt. (2016) knygoje. Agrocheminiams tyrimams dirvožemio ėminiai buvo imami iš 0–25 cm dirvožemio sluoksnio ne mažiau kaip iš 10 eksperimento laukelio vietų, sudarytas vidutinis mėginys. Lietuvos agrarinių ir miškų mokslo centro Agrocheminių tyrimų laboratorijoje buvo nustatyti suminio azoto, judriojo fosforo bei kalio kiekiai. Tyrimo metodai: P₂O₅ ir K₂O – AL metodas (P – spektrometrinis, K – atomų emisijos spektrometrinis); N_{sum} – ISO 11261 (Kjeldalio). Tyrimų duomenys statistškai įvertinami vieno veiksnio dispersinės analizės metodu. Tyrimų duomenų dispersinė analizė atlikta naudojantis kompiuterine programa ANOVA iš programų paketo SELEKCIJA. Skirtumų esmingumui vertinti naudojamas F kriterijus.

Rezultatai ir aptarimas

Dirvožemio struktūros patvarumas. Dirvožemio struktūros patvarumas 2023 m. (1 pav.) vegetacijos pradžioje svyravo nuo 28,6 iki 39 proc. Vegetacijos pabaigoje pastebėtas stiprus šio rodiklio suprastėjimas visuose laukelių dirvožemiuose. Mažiausias neigiamas pokytis nustatytas dirvožemyje, kuriame kartu su kukurūzais augo mėlynžiedės liucernos (14 proc. vnt.). 2024 m. struktūros patvarumas visuose tirtuose variantuose stipriai išaugo. Esmingai didžiausia šio rodiklio reikšmė nustatyta dirvožemyje, kuriame kukurūzai

augo kartu su sėjamosiomis avižomis (34,4 proc.). Panašius rezultatus gavo ir užsienio mokslininkai, kurie nustatė, kad sėjamosios avižos sukaupia beveik 2 kartus daugiau organinės anglies nei piktžolės. Šis rodiklis glaudžiai susijęs ir su dirvožemio struktūros patvarumu (Mukumbareza et al., 2016). Po dviejų tyrimų metų teigiama tapo sėjamosios grandis, kurioje kaip išėliai pirmaisiais metais buvo sėjamos mėlynžiedės liucernos, o antraisiais metais – avižos.



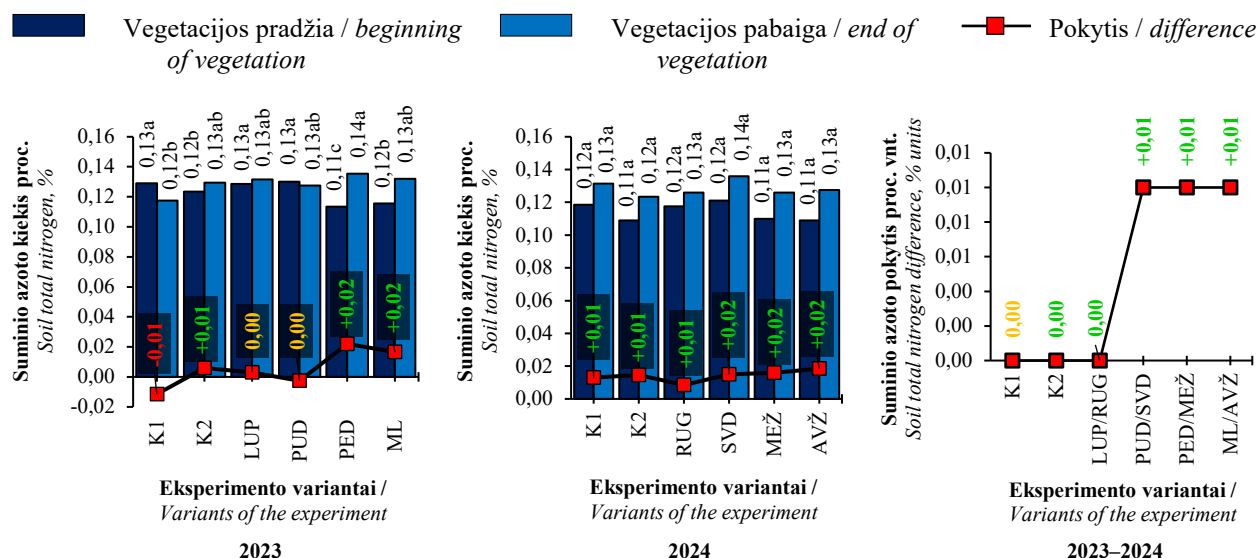
1 pav. Išėlinių tarpinių pasėlių poveikis dirvožemio struktūros patvarumui, VDU ŽŪA Bandymų stotis, 2023–2024 m.

Fig. 1. The effect of maize intercropping on the soil structural stability VMU AA Experimental Station, 2023–2024

Pastaba: K1 – tarpueilių purenimas (kontrolė 1); K2 – tarpueilių mulčiavimas piktžolėmis (kontrolė 2); LUP – įsėti lauko pupos; PUD – įsėti purpuriniai dobilai; PED – įsėti persiniai dobilai; MEL – įsėti mėlynžiedės liucernos; RUG – įsėti žieminiai rugiai; SVD – įsėti vienametės svirdrės; MEŽ – įsėti vasariniai miežiai; AVŽ – įsėti sėjamosios avižos. Tarp variantų vidurkių, pažymėtų skirtinga raide (a, b, c), skirtumai yra esminiai ($P < 0,05$).

Note: K1 – inter-row loosening (control 1); K2 – inter-row cutting and mulching with weeds (control 2); LUP – faba bean; PUD – crimson clover; PED – Persian clover; MEL – blue-flowered alfalfa; RUG – winter rye; SVD – annual ryegrass; MEŽ – spring barley; AVŽ – common oat. Differences between the averages of treatments marked with different letters (a, b, c) are significant ($P < 0.05$).

Dirvožemio azotingumas. Išėliniai tarpiniai pasėliai dažniausiai neturėjo esminio poveikio suminio azoto kiekiui dirvožemyje (2 pav.). Po dviejų tyrimų metų šis rodiklis išliko beveik toks pat visuose tirtuose dirvožemiuose. A. Adamavičienė nustatė N kiekio padidėjimą tik trečiaisiais eksperimento metais (2013).



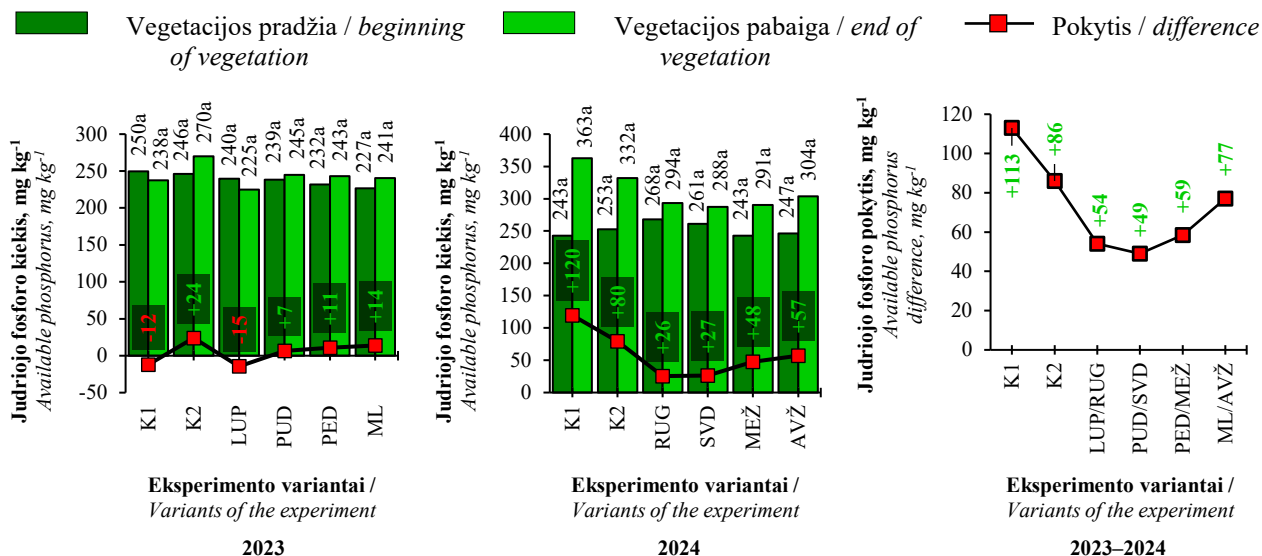
2 pav. Išėlinių tarpinių pasėlių poveikis suminio azoto kiekiui dirvožemyje, VDU ŽŪA Bandymų stotis, 2023–2024 m.

Fig. 2 The effect of maize intercropping on the soil total nitrogen VMU AA Experimental Station, 2023–2024

Pastabos tos pačios, kaip ir 1 pav.

Notes the same as in Fig. 1.

Dirvožemio fosforingumas. Įsėliniai tarpiniai pasėliai turėjo teigiamos įtakos judriojo fosforo kiekiui (3 pav.). Užsienio mokslininkai nustatė, jog mėlynžiedės liucernos kaip išėlio naudojimas padidina fosforo įsisavinimą iš dirvožemio, lyginant su vienanariu kukurūzų pasėliu (Ma et al., 2023). Tokie rezultatai gauti ir šiame eksperimente.

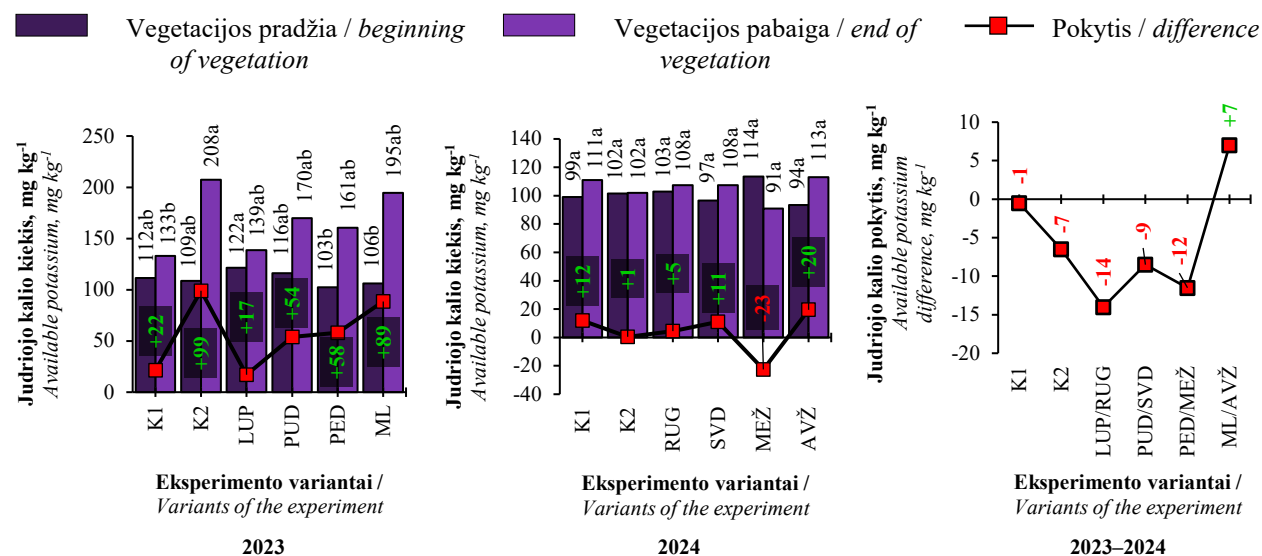


Pastabos tos pačios, kaip ir 1 pav.
Notes the same as in Fig. 1.

3 pav. Įsėlinių tarpinių pasėlių poveikis judriojo fosforo kiekiui dirvožemyje, VDU ŽŪA Bandymų stotis, 2023–2024 m.

Fig. 3. The effect of maize intercropping on the soil available phosphorus VMU AA Experimental Station, 2023–2024

Dirvožemio kalingumas. Įsėliniai tarpiniai pasėliai dažniausiai neturėjo esminės įtakos judriojo kalio kiekiui dirvožemyje (4 pav.). Pirmaisiais eksperimento metais kai kurie pupinių šeimos išėliai (purpuriniai ir persiniai dobilai, mėlynžiedės liucernos) vegetacijos metu padidino judriojo kalio kiekį dirvožemyje.



Pastabos tos pačios, kaip ir 1 pav.
Notes the same as in Fig. 1.

4 pav. Įsėlinių tarpinių pasėlių poveikis judriojo kalio kiekiui dirvožemyje, VDU ŽŪA Bandymų stotis, 2023–2024 m.

Fig. 4. The effect of maize intercropping on the soil available potassium VMU AA Experimental Station, 2023–2024

Labai panašias išvadas pateikė ir kiti mokslininkai, kurie taip pat pastebėjo judriojo kalio padidėjimą dirvožemyje naudojant pupinių šeimos išėlius (Dahmardeh et al., 2010).

Išvados

1. Įsėliniai tarpiniai pasėliai dažniausiai neturėjo esminės įtakos dirvožemio patvarumui. Vis dėlto galima pastebėti tendenciją, jog sėjamosios avižos ir mėlynžiedės liucernos turėjo teigiamos įtakos dirvožemio struktūros patvarumui. Likusiuose tirtuose dirvožemiuose nustatytas struktūros patvarumo sumažėjimas nuo 2,2 iki 9,3 proc. vnt.
2. Per 2023–2024 m. suminio azoto pokytis dirvožemyje variavo nuo 0,00 iki 0,01 proc. vnt. Judriojo fosforo kiekis visuose tirtuose dirvožemiuose padidėjo nuo 20,5 iki 45,2 proc., o judriojo kalio kiekis išliko panašus arba daugiausiai sumažėjo 11,5 proc.
3. Po dvejų kukurūzų daigianario pasėlio auginimo metų nebuvo nustatytas didesnis maisto medžiagų nuostolis tirtuose dirvožemiuose.

Literatūra

1. Adamavičienė, A. (2013). *Living mulch and weed competitiveness in maize crop*. Doctoral dissertation, Aleksandras Stulginskis University.
2. Adamavičienė, A., Buragienė, S., Kosteckas, R., Marcinkevičienė, A., Romanekas, K. (2016). *Agromijos pagrindai. Laboratorinių darbų ir pratybų aprašas*. Akademija, 127. <https://hdl.handle.net/20.500.12259/89422>
3. Béziat, P., Ceschia, E., & Dedieu, G. (2009). Carbon balance of a three crop succession over two cropland sites in South West France. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149(10), 1628–1645. doi:10.1016/j.agrformet.2009.05.004
4. Cleland, J. (2013). World population growth; past, present and future. *Environmental and Resource Economics*, 55, 543–554. doi: 10.1007/s10640-013-9675-6
5. Dahmardeh, M., Ghanbari, A., Syahsar, B. A., & Ramrodi, M. (2010). The role of intercropping maize (*Zea mays* L.) and cowpea (*Vigna unguiculata* L.) on yield and soil chemical properties. *African Journal of Agricultural Research*, 5(8), 631–636. https://academicjournals.org/article/article1380963386_Dahmardeh%20et%20al.pdf
6. García-Lara, S., & Serna-Saldivar, S. O. (2019). Corn history and culture. *Corn*, 1–18. doi:10.1016/B978-0-12-811971-6.00001-2
7. Gebru, H. (2015). A review on the comparative advantages of intercropping to mono-cropping system. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 5(9), 1–13. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20153225849>
8. Hudek, C., Putinica, C., Otten, W., & De Baets, S. (2022). Functional root trait-based classification of cover crops to improve soil physical properties. *European Journal of Soil Science*, 73(1), e13147. doi:10.1111/ejss.13147
9. IUSS working group WRB. (2022). World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. *International Union of Soil Sciences (IUSS)*, Vienna, Austria. https://www.isric.org/sites/default/files/WRB_fourth_edition_2022-12-18.pdf
10. Jensen, E. S., Peoples, M. B., & Hauggaard-Nielsen, H. (2010). Faba bean in cropping systems. *Field crops research*, 115(3), 203–216. doi:10.1016/j.fcr.2009.10.008
11. Kaspar, T. C., & Singer, J. W. (2011). The use of cover crops to manage soil. *Soil management: Building a stable base for agriculture*, 321–337. doi:10.2136/2011.soilmanagement.c21
12. Liu, X. B., Zhang, X. Y., Wang, Y. X., Sui, Y. Y., Zhang, S. L., Herbert, S. J., & Ding, G. (2010). Soil degradation: a problem threatening the sustainable development of agriculture in Northeast China. *Plant, Soil and Environment*, 56(2), 87–97. <https://pse.agriculturejournals.cz/pdfs/pse/2010/02/06.pdf>
13. Ma, H., Yu, X., Yu, Q., Wu, H., Zhang, H., Pang, J., & Gao, Y. (2023). Maize/alfalfa intercropping enhances yield and phosphorus acquisition. *Field Crops Research*, 303, 109136. doi:10.1016/j.fcr.2023.109136
14. Mukumbareza, C., Muchaonyerwa, P., & Chiduzza, C. (2016). Bicultures of oat (*Avena sativa* L.) and grazing vetch (*Vicia dasycarpa* L.) cover crops increase contents of carbon pools and activities of selected enzymes in a loam soil under warm temperate conditions. *Soil Science and Plant Nutrition*, 62(5–6), 447–455. doi:10.1080/00380768.2016.1206833
15. Wang, L., Czedik-Eysenberg, A., Mertz, R. A., Si, Y., Tohge, T., Nunes-Nesi, A., ... & Brutnell, T. P. (2014). Comparative analyses of C4 and C3 photosynthesis in developing leaves of maize and rice. *Nature biotechnology*, 32(11), 1158–1165. doi:10.1038/nbt.3019

Ugnius Ginelevičius, Austėja Švereikaitė, Rasa Kimbirauskienė, Jovita Balandaitė, Aušra Sinkevičienė, Kęstutis Romaneckas

The Effect of Maize Inter-Cropping on The Soil Properties

The use of intensive crop production technologies to maximize plant productivity requires high energy and causes significant environmental damage. Integrating cover crops into commonly grown crops helps stabilize and strengthen agroecosystems amid climate change. The research was conducted in 2023–2024 at the Experimental Station of the Agriculture Academy of Vytautas Magnus University. The experiment examined the effects of *Fabaceae* and *Poaceae* crops on the soil of a maize agroecosystem. For comparison, maize inter-rows were either tilled or mulched with weeds. It was found that intercrops generally had no significant effect on soil stability. However, sowing oats and blue alfalfa had a positive effect on soil structural stability, as a positive change of 3.6% units was recorded after two years. In the remaining soils studied, structural stability decreased by 2.2% to 9.3%. The total nitrogen changes in 2023–2024 varied only from 0.00% to 0.01%. The amount of available phosphorus increased in all studied soils by 20.5% to 45.2%, while the amount of available potassium remained nearly the same or decreased by a maximum of 11.5%.

Keywords: *Zea mays* L., *Fabaceae* and *Poaceae* intercrops, soil.

Gauta 2025 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2025 m. balandžio mėn.

Ugnius GINELEVIČIUS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Agronomijos fakulteto Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedros studentas. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r., el. paštas: ugnius.ginelevicius@stud.vdu.lt

Ugnius GINELEVIČIUS. Vytautas Magnus University, Agriculture Academy, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Sciences, student. Address: Studentų str. 11, LT-53361 Akademija, Kaunas dist., e-mail: ugnius.ginelevicius@stud.vdu.lt

Austėja ŠVEREIKAITĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Agronomijos fakulteto Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedros doktorantė. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r., el. paštas: austeja.svereikaite@vdu.lt

Austėja ŠVEREIKAITĖ. Vytautas Magnus University, Agriculture Academy, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Sciences, PhD student. Address: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kaunas dist., e-mail: austeja.svereikaite@vdu.lt

Rasa KIMBIRAUSKIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Agronomijos fakulteto Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedros lektorė. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r., el. paštas: rasa.kimbirauskiene@vdu.lt

Rasa KIMBIRAUSKIENĖ. Vytautas Magnus University, Agriculture Academy, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Sciences, lecturer. Address: Studentų str. 11, LT-53361 Akademija, Kaunas dist., e-mail: rasa.kimbirauskiene@vdu.lt

Jovita BALANDAITĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Bioekonomikos tyrimų instituto jaunesnioji mokslo darbuotoja. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r., el. paštas: jovita.balandaite@vdu.lt

Jovita BALANDAITĖ. Vytautas Magnus University, Institute of Bioeconomy Research, junior researcher. Address: Studentų str. 11, LT-53361 Akademija, Kaunas dist., e-mail: jovita.balandaite@vdu.lt

Aušra SINKEVIČIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Agronomijos fakulteto Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedros docentė. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r., el. paštas: ausra.sinkeviciene@vdu.lt

Aušra SINKEVIČIENĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Sciences, assoc. prof. Address: Studentų str. 11, LT-53361 Akademija, Kaunas dist., e-mail: ausra.sinkeviciene@vdu.lt

Kęstutis ROMANECKAS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Agronomijos fakulteto Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedros profesorius. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r., el. paštas: kestutis.romaneckas@vdu.lt

Kęstutis ROMANECKAS. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Sciences, professor. Address: Studentų str. 11, LT-53361 Akademija, Kaunas dist., e-mail: kestutis.romaneckas@vdu.lt

MIKROELEMENTINIŲ TRĄŠŲ IR SĖJOS LAIKO ĮTAKA ŽIEMINIŲ KVIEČIŲ DERLINGUMUI

Ilona Vagusevičienė, Gintarė Sujetovienė, Arvydas Kanapickas, Darija Jodaugienė

Vytauto Didžiojo universitetas

Siekiant padidinti žieminių kviečių produktyvumą, būtina užtikrinti tinkamą augalų mitybą ir suformuoti optimalaus tankumo pasėlį. Tam tikslui 2022–2023 metais Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Bandymų stotyje atliktas eksperimentas. Dviejų veiksnių eksperimente tirta sėjos laiko ir tręšimo mikroelementinėmis trąšomis įtaka žieminių kviečių produktyvumui. A veiksnys – sėjos laikas: rugsėjo 6 d., rugsėjo 13 d., rugsėjo 20 d., rugsėjo 27 d. B veiksnys – papildomas tręšimas mikroelementinėmis trąšomis (Mn – 0,3 kg ha⁻¹, Cu – 0,05 kg ha⁻¹, Zn – 0,2 kg ha⁻¹). Kviečiai papildomai tręšti du kartus – BBCH 30–31 ir BBCH 32–33 tarpsniais. Išanalizavę tyrimo rezultatus, galime teigti, kad augalus papildomai tręšiant mikroelementinėmis trąšomis žieminiai kviečiai formavo tankesnę paselį, daugiau grūdų varpose bei didesnę 1 000 grūdų masę. Daugiausia produktyvių stiebų (596 vnt. m⁻²) bei grūdų varpoje (66 vnt.) nustatyta vėliausiai (rugsėjo 27 d.) pasėtų ir mikroelementinėmis trąšomis patręštų žieminių kviečių laukeliuose. Papildomas tręšimas reikšmingai padidino (0,4 t ha⁻¹) žieminių kviečių, pasėtų rugsėjo 6 d., derlingumą.

Raktiniai žodžiai: žieminiai kviečiai, derliaus struktūros elementai, derlingumas.

Įvadas

Normaliam augimui ir vystymuisi augalams reikia mineralinės mitybos elementų, kurie padeda maksimaliai išnaudoti genetinį potencialą ir padidina derlių. Tręšimas per lapus veiksmingai pašalina maisto medžiagų trūkumą, pagerina augalų mitybą ir padeda įveikti stresinius laikotarpius (Iancu et al., 2024). Augalų auginimo technologijose vis dažniau taikomas mikroelementų naudojimas, atsižvelgiant į besikeičiančias dirvožemio savybes ir būtinybę efektyviau naudoti trąšas, mažinant jų neigiamą poveikį aplinkai (Ahmed et al., 2024). Šiuolaikinės žemdirbystės sąlygomis, kai dirvožemiai neretai yra alinami intensyvaus ūkininkavimo, mikroelementų trūkumo problema tampa vis aktualesnė. Siekiant optimalaus žieminių kviečių derliaus, būtina užtikrinti ne tik tinkamą makroelementų naudojimą, bet ir palaikyti mikroelementų balansą. Taikant subalansuotą tręšimą mikroelementais galima padidinti derliaus kiekį, pagerinti grūdų kokybę, o tai ypač svarbu maisto ir pašarų pramonei (Sobolewska et al., 2020; Reynolds, Braun, 2022). Cinkas (Zn) yra būtinas fermentų veiklai, reguliuoja auksinų ir baltymų biosintezę, angliavandenių paskirstymą augale, mitybos elementų įsisavinimą, skatina grūdų mezgimąsi ir didina augalų atsparumą stresui. Vienas iš pagrindinių mikroelementų, manganas (Mn), svarbus fotosintezei ir angliavandenių apykaitai. Trūkstant šio elemento, sutrinka šaknų sistemos vystymasis ir antžeminės dalies augimas, trumpėja derliaus brandimo laikas, todėl jo stygius gali lemti mažesnį derlingumą. Tuo tarpu varis (Cu) svarbus augalų derliaus struktūrinių elementų (ypač grūdų skaičiaus varpoje) formavimuisi, žiedadulkių gyvybingumo užtikrinimui, azoto junginių apykaitai, o jo trūkumas gali sumažinti augalų atsparumą ligoms (Stepien, Wojtkowiak, 2016; Dimkpa, Bindraban, 2016; Reynolds, Braun, 2022).

Optimalus sėjos laikas turi įtakos greitam ir tolygiam grūdų sudygimui, nuo kurio priklauso maksimalus žieminių kviečių pasėlio tankumo suformavimas ir būsimas derlingumas (Shah et al., 2020). Per ankstyva sėja gali lemti pernelyg intensyvų vegetatyvinį augimą prieš žiemą, padidinant augalų jautrumą šalčiams, o per vėlyva sėja gali lemti nepakankamą krūmijimąsi ir silpną augalų vystymąsi (Fazily, 2021). Verta pabrėžti, kad sėjos laikas kiekvienam regionui skiriasi dėl nevienodų aplinkos sąlygų. Javų dygimo trukmė priklausys nuo tuo metu vyraujančių oro sąlygų, nuo dirvos paruošimo sąlygų ir sėklinių grūdų kokybės. Moksliniais tyrimais pagrįsta, kad vėlinant sėją ūkininkas patirs didesnius nuostolius, nei ją paankstinant (Šiuliauskas, 2015).

Tyrimų objektas – skirtingu laiku pasėtas veislės 'Skagen' žieminių kviečių pasėlis.

Tyrimų tikslas – įvertinti mikroelementinių trąšų bei sėjos laiko įtaką žieminių kviečių derliaus struktūros elementams ir produktyvumui.

Tyrimų metodika

Lauko eksperimentas atliktas 2022–2023 m. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Bandymų stotyje. Eksperimento dirvožemis – karbonatingas stagniškas išplautžemis (*Endocalcaric Amphistagnic Luvisol*) (IUSS Working Group WRB, 2022). Lauko dirvožemio ariamasis sluoksnis prieš eksperimento įrengimą buvo neutralios reakcijos (pH 7,1), vidutinio humusingumo (2,25 %), didelio fosforingumo (234 mg kg⁻¹) ir vidutinio kalingumo (126 mg kg⁻¹).

Dviejų veiksnių eksperimente tirta sėjos laiko ir tręšimo mikroelementinėmis trąšomis įtaka žieminių kviečių derliaus struktūros elementams ir derlingumui. A veiksnys – sėjos laikas: rugsėjo 6 d., rugsėjo 13 d.,

rugsėjo 20 d., rugsėjo 27 d. B veiksnys – papildomas tręšimas mikroelementinėmis trąšomis (Mn – 0,3 kg ha⁻¹, Cu – 0,05 kg ha⁻¹, Zn – 0,2 kg ha⁻¹). Kviečiai papildomai tręšti du kartus – BBCH 30–31 ir BBCH 32–33 tarpsniais. Pradinis laukelio dydis – 48 m² (12 x 4 m), o apskaitomasis – 20 m² (10 x 2 m). Tyrimai atlikti 6 pakartojimais.

Pavasari, vegetacijai atsinaujinus (kovo 28 d.), žieminiai kviečiai tręšti amonio salietra (N₅₆). Vėliau tręšta amonio salietra balandžio 13 d. N₆₈ ir gegužės 20 d. N₄₀. Auginti 'Skagen' veislės žieminiai kviečiai. Agrocheminės dirvožemio savybės nustatytos prieš eksperimentą. Dirvožemio agrocheminių analizių metodai: dirvožemio pH_{KCl} – potenciometrinis, 1 N KCl ištraukoje (LST ISO 10390:2005); organinė anglis (C), % – Tiurino (LST EN 13037:2012); humusas, % – apskaičiuotas anglies kiekį padauginus iš koeficiento 1,724; judrieji fosforas (P₂O₅) ir kalis (K₂O), mg kg⁻¹ – Egnerio–Rimo–Domingo (A–L) (LST EN ISO 6878:2004; LST EN ISO 9964:3:1998). Tyrimai atlikti Lietuvos agrarinių ir miškų mokslo centro (LAMMC) Agrocheminių tyrimų laboratorijoje.

Pasėlio tankumas. Kiekviename žieminių kviečių laukelyje atsitiktine tvarka pasirinktos keturios vietos, kuriose buvo suskaičiuojami stiebai 1 m eilėje. Po to, gautą kiekį padauginus iš 8 (tarpueilių plotis 12,5 cm), apskaičiuotas 1 m² augalų tankumas. 1 000 grūdų masė, g. Iš ėminio išrinkus grūdines ir šiukšlines priemaišas, grūdai buvo paskleidžiami lygia kvadrato forma ir padalijami į keturis trikampus (pagal įstrižainę). Iš kiekvieno trikampio be atrankos buvo suskaičiuota po 250 grūdų. Grūdai, atrinkti iš dviejų priešingų trikampių, sumaišyti ir taip gauti du ėminiai po 500 grūdų. Kiekvienas 500 grūdų ėminys buvo pasvertas atskirai ± 0,01 g tikslumu. Suminė dviejų ėminių po 500 grūdų masė ir buvo 1 000 grūdų masė. Grūdų skaičius varpoje nustatytas tiesioginio skaičiavimo būdu: iš kiekvieno kviečių laukelio atsitiktinai pasirinktų vietų išrovus po 10 augalų.

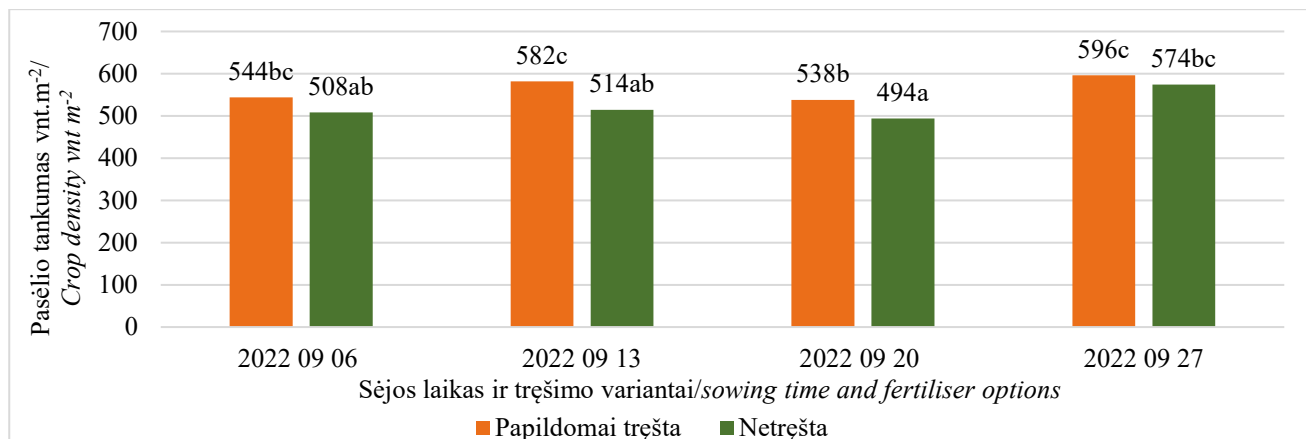
Grūdų derlingumo, (t ha⁻¹) nustatymas. Kiekvieno laukelio grūdų derlius apskaičiuotas kombaine esančia kompiuterizuota svėrimo sistema. Derlingumas perskaičiuotas į 14 % drėgmės lygį, naudojant absoliučiai svorią grūdų masę.

Statistinė analizė. Tyrimų duomenų statistinė analizė atlikta naudojant kompiuterinę programą ANOVA iš programų paketo SELEKCIJA. Duomenų statistinis patikimumas įvertintas mažiausia esminio skirtumo absoliutine riba R_{05} (esminiai skirtumai ($P < 0,05$) tarp vidurkių pažymėti skirtingomis mažosiomis abėcėlės raidėmis) (Tarakanovas, Raudonius, 2003).

Rezultatai ir aptarimas

Augalų auginimas neapsiriboja tik produktyvumo didinimu. Svarbu atsižvelgti ir į tvarumo principus, užtikrinant derliaus didinimą be papildomo žalingo poveikio aplinkai. Vienas iš pagrindinių būdų, užtikrinančių tvarų žemės ūkio vystymąsi, – pasitelkti pažangias technologijas, skirtas derliaus kokybės gerinimui ir kiekio didinimui (Klavins et al., 2021). Tręšimas per lapus mikroelementinėmis trąšomis veiksmingai pagerina augalų mitybos būklę ir padeda augalams įveikti stresinius laikotarpius (Iancu et al., 2024). Tinkamai suformuotas pasėlio tankumas turi įtaką kviečių derlingumui (Lollato et al., 2019). Optimalaus tankumo pasėlyje augalai suformuoja stiprius pagrindinius stiebus bei šalutinius ūglius, todėl didėja jų žiemkentiškumas, sudaromos tinkamos sąlygos augimui ir vystymuisi bei tarpusavio konkurencijai (Luo et al., 2020, Moghimi et al., 2022).

Žieminiams kviečiams esant pieninės brandos tarpsniui nustatyta, kad atliktas papildomas tręšimas mikroelementinėmis trąšomis, neesmingai (22–36 vnt. m⁻²) didino stiebų skaičių rugsėjo 6 d. ir rugsėjo 27 d. sėjos pasėliuose, o rugsėjo 13 ir 20 d. sėjos pasėliuose stiebų skaičių didino esmingai (nuo 44 iki 68 vnt. m⁻²) (1 pav.). Didžiausias stiebų skaičius (596 vnt. m⁻²) nustatytas vėlyviausios (rugsėjo 27 d.) sėjos, mikroelementais patręštame kviečių pasėlyje. Mažiausias stiebų skaičius (494 vnt. m⁻²) nustatytas rugsėjo 27 d. sėjos, papildomai mikroelementais netręštame, žieminių kviečių pasėlyje. Apibendrinant eksperimento rezultatus (1 pav.) galima teigti, kad tręšimas mikroelementinėmis trąšomis didino stiebų skaičių, tačiau atskirais atvejais trąšų įtaka nebuvo esminė.



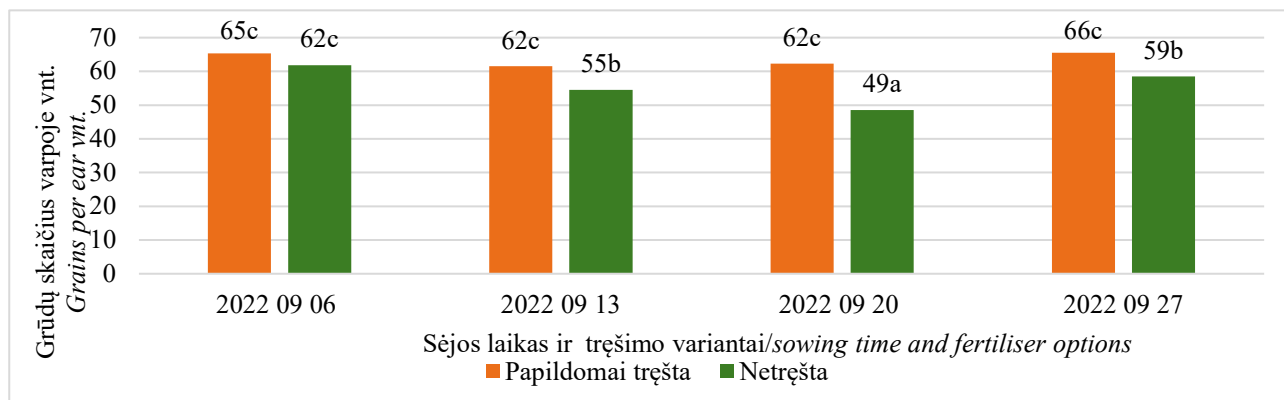
1 pav. Mikroelementinių trąšų ir sėjos laiko įtaka žieminių kviečių pasėlio tankumui (BBCH 71-78)

Fig. 1. Influence of sowing time and additional micronutrient fertilization on the crop density

Pastaba. Variantų vidurkiai, pažymėti skirtingomis raidėmis (a, b, c), yra esminiai ($P < 0,05$).

Note. Differences between the averages of treatments marked with different letters (a, b, c) are significant ($P < 0.05$).

Žieminių kviečių grūdų skaičius varpose svyravo nuo 49 iki 66 vnt. (2 pav.). Ankstyvos sėjos (rugsėjo 6 d.), mikroelementinėmis trąšomis tręštų kviečių pasėlyje, varpose nustatytas neesmingai (3 vnt.) didesnis grūdų skaičius, lyginant su papildomai netręštais kviečiais. Rugsėjo 13, 20 ir 27 d. pasėtų kviečių, kurie papildomai patręšti mikroelementinėmis trąšomis, grūdų skaičius varpose buvo esmingai didesnis (7–13 vnt.). Didžiausias grūdų skaičius varpoje (66 ir 65 vnt.) nustatytas vėlyviausios (rugsėjo 27 d.) ir ankstyviausios (rugsėjo 6 d.) sėjos, papildomai tręštų kviečių varpose. Esmingai mažiausias grūdų skaičius (49 vnt.) nustatytas rugsėjo 20 d. pasėtame, papildomai netręštame pasėlyje. Apibendrinant gautus rezultatus, galime daryti prielaidą, kad tręšimas mikroelementinėmis trąšomis didina grūdų skaičių varpoje, tačiau šis poveikis buvo mažesnis ankstyvos sėjos kviečių pasėlyje.



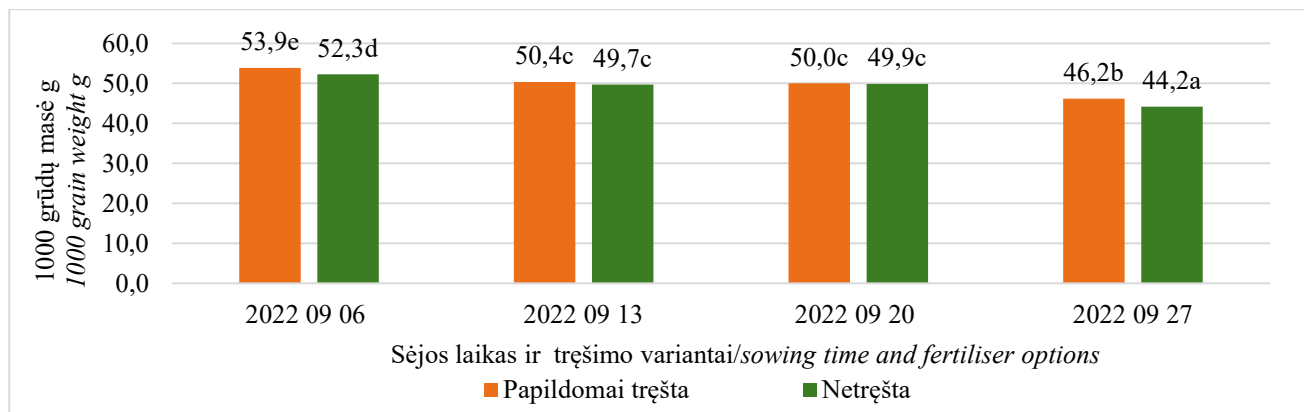
2 pav. Skirtingo sėjos laiko ir papildomo tręšimo mikroelementinėmis trąšomis įtaka grūdų skaičiui varpoje

Fig. 2. Influence of sowing time and additional micronutrient fertilization on the number of grains per ear

Pastaba. Variantų vidurkiai, pažymėti skirtingomis raidėmis (a, b, c), yra esminiai ($P < 0,05$).

Note. Differences between the averages of treatments marked with different letters (a, b, c) are significant ($P < 0.05$).

Papildomas tręšimas mikroelementinėmis trąšomis turėjo reikšmingos įtakos 1 000 grūdų masei (1,6 g ir 2,0 g) tiek vėlyvos, tiek ankstyvos sėjos laukeliuose, lyginant su papildomai netręštais kviečiais (3 pav.). Rugsėjo 13 d. ir 20 d. pasėtų kviečių laukeliuose esminių 1 000 grūdų masės skirtumų tarp papildomai tręštų ir netręštų kviečių 1 000 grūdų masės nenustatyta. Didžiausia 1 000 grūdų masė (53,9 g) nustatyta papildomai patręštuose, ankstyvos sėjos (rugsėjo 6 d.) kviečiuose. Vėlinant sėjos laiką, 1000 grūdų masė mažėjo, esmingai mažiausia 1 000 grūdų masė (44,2 g) nustatyta vėliausiai sėtame (rugsėjo 27 d.) žieminių kviečių pasėlyje.



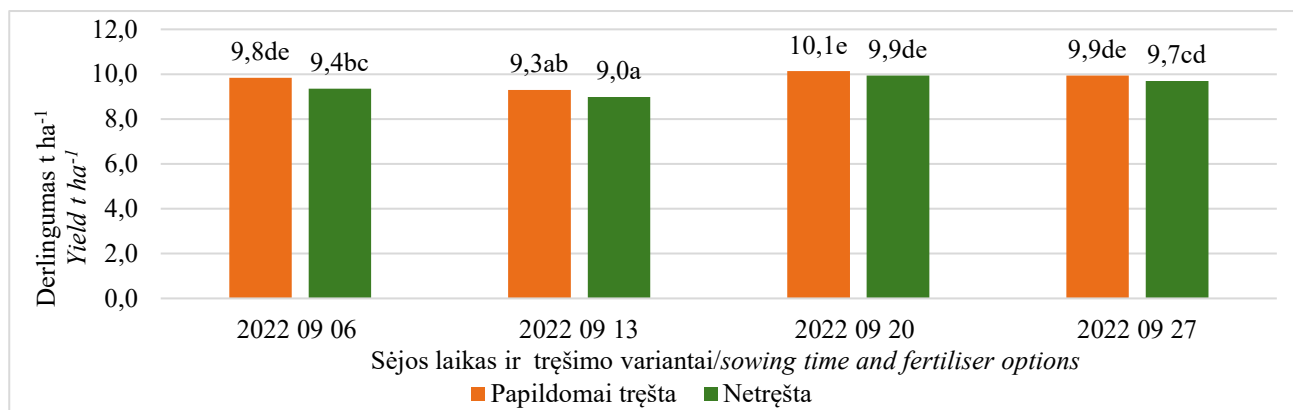
3 pav. Skirtingo sėjos laiko ir papildomo tręšimo mikroelementinėmis trąšomis įtaka žieminių kviečių 1 000 grūdų masei

Fig. 2 Influence of sowing times and additional micronutrient fertilization on the weight of 1000 grains of winter wheat

Pastaba. Variantų vidurkiai, pažymėti skirtingomis raidėmis (a, b...), yra esminiai ($P < 0,05$).

Note. Differences between the averages of treatments marked with different letters (a, b...) are significant ($P < 0.05$).

Tinkamas sėjos laikas svarbus, siekiant visiškai išnaudoti teigiamų temperatūrų išteklius prieš žiemą, užauginti stiprius daigus ir pagerinti kviečių produktyvumą (Ma et al., 2018). Mokslininkai Tsvey, Ivanina ir Senchuk (2021) teigia, kad papildomas tręšimas mikroelementinėmis trąšomis gali lemti nemažą žieminių kviečių derliaus padidėjimą dėl geresnio augalo aprūpinimo mineralinės mitybos elementais. Išanalizavę tyrimo rezultatus (4 pav.), galime teigti, kad augalus papildomai tręšiant mikroelementinėmis trąšomis, grūdų derlingumas padidėjo, lyginant su papildomai netręštais. Esmingai mažiausias derlingumas ($9,0 \text{ t ha}^{-1}$) nustatytas laukeliuose, kuriuose žieminiai kviečiai buvo pasėti rugsėjo 13 d. ir papildomas tręšimas nebuvo atliktas. Šios sėjos kviečius patręšus mikroelementinėmis trąšomis, gautas neesmingas ($0,3 \text{ t ha}^{-1}$) derlingumo priedas.



4 pav. Skirtingo sėjos laiko ir papildomo tręšimo mikroelementinėmis trąšomis įtaka žieminių kviečių derlingumui

Fig. 4. Influence of sowing time and additional micronutrient fertilization on winter wheat yield

Pastaba. Variantų vidurkiai, pažymėti skirtingomis raidėmis (a, b...), yra esminiai ($P < 0,05$).

Note. Differences between the averages of treatments marked with different letters (a, b...) are significant ($P < 0.05$).

Didžiausi derlingumai ($9,9$ ir $10,1 \text{ t ha}^{-1}$) nustatyti rugsėjo 20 d. pasėtų, papildomai netręštų ir mikroelementinėmis trąšomis patręštų kviečių laukeliuose. Papildomai patręšus, nustatytas $0,2 \text{ t ha}^{-1}$ neesmingai didesnis derlingumas. Priklausomai nuo sėjos laiko, grūdų derlingumas vėlinant sėjos laiką turėjo tendenciją didėti.

Išvados

1. Papildomai mikroelementinėmis trąšomis patręšti žieminiai kviečiai formavo tankesnę pasėlį, daugiau grūdų varpose ir didesnę 1 000 grūdų masę. Daugiausia produktyvių stiebų (596 vnt. m^{-2}) ir grūdų varpoje (66 vnt.) nustatyta vėliausiai pasėtų (rugsėjo 27 d.) ir patręštų žieminių kviečių laukeliuose.
2. Papildomas tręšimas mikroelementinėmis trąšomis reikšmingai padidino ($0,4 \text{ t ha}^{-1}$) žieminių kviečių, pasėtų rugsėjo 6 d., derlingumą. Sėjos laikas esminės įtakos derlingumui neturėjo: vėlinant sėjos laiką grūdų derlingumas turėjo tendenciją didėti.

Literatūra

1. Ahmed, N., Zhang, B., Chachar, Z., Li, J., Xiao, G., Wang, Q., ... & Tu, P. (2024). Micronutrients and their effects on horticultural crop quality, productivity and sustainability. *Scientia Horticulturae*, 323, 112512.
2. Dimkpa, C. O., & Bindraban, P. S. (2016). Fortification of micronutrients for efficient agronomic production: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 36(1), 7.
3. Iancu, P., Soare, M., & Păniță, O. F. (2024). Effect of micronutrients applied to winter wheat. Scientific Papers. Series A. *Agronomy*, 67(1), 429–436.
4. IUSS Working Group WRB. (2022). World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. *International Union of Soil Sciences (IUSS)*, Vienna, Austria.
5. Fazily, T. (2021). Effect of sowing dates and seed rates on growth and yield of different wheat varieties: a review. *International Journal of Advances in Agricultural Science and Technology*, 8(3), 10–26. <https://doi.org/10.47856/ijaast.2021.v08i3.002>
6. Klavins, M., Santa, G., Vaira, O., Gederts, I. (2021). Comparative Study of Biostimulant Properties of Industrially and Experimentally Produced Humic Substances. *Agronomy*, 11(6): 1250. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061250>
7. Lollato, R. P., Ruiz Diaz, D. A., DeWolf, E., Knapp, M., Peterson, D. E., & Fritz, A. K. (2019). Agronomic practices for reducing wheat yield gaps: a quantitative appraisal of progressive producers. *Crop Science*, 59(1), 333–350. <https://doi.org/10.2135/cropsci2018.04.0249>
8. Luo, C. L., Zhang, X. F., Duan, H. X., Mburu, D. M., Kavagi, L., Naseer, M., Dai, Z. D., Nyende, A. B., Batool, A., Xiong, Y. C. (2020). Allometric relationship and yield formation in response to planting density under ridge-furrow plastic mulching in rainfed wheat. *Field crops research*, 251, 107785. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107785>
9. Ma, S. C., Wang, T. C., Guan, W. K., Zhang X. (2018). Effect of sowing time and seeding rate on yield components and water use efficiency of winter wheat by regulating the growth redundancy and physiological traits of root and shoot. *Field Crops Research*, Vol. 221, 166–174, <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.02.028>
10. Moghimi, M. M., Shamshiri, G., Shabani, A., Kamgar-Haghighi, A. A., Fateh, M., & Mahmoudi, M. R. (2022). Determining optimum applied water and seeding rates for winter wheat by using AquaCrop and mathematical-economic analysis. *Irrigation and Drainage*, 71(2), 349–364. <https://doi.org/10.1002/ird.2657>
11. Reynolds, M. P., & Braun, H. J. (2022). Wheat improvement: food security in a changing climate. *Springer Nature*, 629.
12. Tarakanovas, P., Raudonius, S. (2003). *Agronominių tyrimų duomenų statistinė analizė taikant kompiuterines programas ANOVA, STAT, SPLIT-PLOT iš paketo SELEKCIJA ir IRRISTAT*. Akademija, 58.
13. Shah, F., Coulter, J. A., Ye, C., Wu, W. (2020). Yield penalty due to delayed sowing of winter wheat and the mitigatory role of increased seeding rate. *European Journal of Agronomy*, 119, 126120. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126120>
14. Sobolewska, M., Wenda-Piesik, A., Jaroszewska, A., & Stankowski, S. (2020). Effect of habitat and foliar fertilization with K, Zn and Mn on winter wheat grain and baking qualities. *Agronomy*, 10(2), 276.
15. Stepień, A., & Wojtkowiak, K. (2016). Effect of foliar application of Cu, Zn, and Mn on yield and quality indicators of winter wheat grain. *Chilean journal of agricultural research*, 76(2), 220–227.
16. Šiuliauskas, A. A. (2015). *Praktinė augalininkystė. Javai ir rapsai*. Vilnius: Eugrimas, 95–172.
17. Tsvey, Y., Ivanina, R., Ivanina, V., Senchuk, S. (2021). Yield and quality of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) grain in relation to nitrogen fertilization. *Revista Facultad Nacional Agronomia Medellin*, Vol. 74, 9413–9422. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v74n1.88835>

Ilona Vagusevičienė, Gintarė Sujetovienė, Arvydas Kanapickas, Darija Jodaugienė

Influence of Micronutrient Fertilisers and Sowing Time on Winter Wheat Yield

The experiment was conducted between 2022 and 2023 at the Experimental Station of the Academy of Agriculture of Vytautas Magnus University. The two-factor experiment investigated the effect of sowing time and micronutrient fertiliser application on the productivity of winter wheat. Factor A: sowing time: 6 September; 13 September; 20 September; 27 September. Factor B: additional microelement fertilisation (Mn – 0.3 kg ha⁻¹, Cu – 0.05 kg ha⁻¹, Zn – 0.2 kg ha⁻¹). The wheat was additionally fertilised twice at BBCH 30–31 and BBCH 32–33. After analysing the study results, we can state that when the plants were additionally fertilised with trace element fertilisers, the winter wheat produced a denser crop,

with more grains in the ears and a higher weight of 1000 grains. The highest number of productive stems (596 units m⁻²) and grains per ear (66 units) were found in the winter wheat fields sown at the latest (27 September) and fertilised with micronutrients. The additional fertilisation significantly increased (0,4 t ha⁻¹) the yield of winter wheat sown on 6 September. The timing of sowing did not have a significant effect on yield: delaying the sowing time tended to increase the grain yield.

Keywords: Winter wheat, yield structure elements, yield.

Gauta 2025 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2025 m. balandžio mėn.

Ilona VAGUSEVIČIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Agronomijos fakulteto Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedros biomedicinos mokslų daktarė, docentė. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52236, el. paštas: ilona.vaguseviciene@vdu.lt

Ilona VAGUSEVIČIENĖ. Agriculture Academy of Vytautas Magnus University, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Science, Doctor of Biomedical (Agriculture) Sciences, Assoc. Prof. Address: Studentų str. 11, LT-53361 Akademija, Kauno dist. Phone: +370 377 52236, e-mail: ilona.vaguseviciene@vdu.lt

Gintarė SUJETOVIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Gamtos mokslų fakulteto Aplinkotyros katedros biomedicinos mokslų daktarė, docentė. Adresas: Universiteto g. 10, LT-53361 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52236, el. paštas: gintare.sujetoviene@vdu.lt

Gintarė SUJETOVIENĖ. Vytautas Magnus University, Faculty of Natural Sciences, Department of Environmental Sciences, Doctor of Biomedical Sciences, Assoc. Prof., Address: Universiteto str. 10, LT-53361 Akademija, Kauno dist. Phone: +370 37 752 236, e-mail: gintare.sujetoviene@vdu.lt

Arvydas KANAPICKAS. Vytauto Didžiojo universiteto Gamtos mokslų fakulteto Fizikos katedros fizinių mokslų daktaras, docentas. Adresas: Universiteto g. 10, LT-53361 Akademija, Kauno r., tel. +370 373 27910, el. paštas: arvydas.kanapickas@vdu.lt

Arvydas KANAPICKAS. Vytautas Magnus University, Faculty of Natural Sciences, Department of Physics, Doctor of physical Sciences, Assoc. Prof., Address: Universiteto str. 10, LT-53361 Akademija, Kauno dist. Phone: +370 373 27910, e-mail: arvydas.kanapickas@vdu.lt

Darija JODAUGIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Agronomijos fakulteto Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedros biomedicinos (žemės ūkio) mokslų daktarė, docentė. Adresas: Studentų g. 15, LT-53361 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52229, el. paštas: darija.jodaugiene@vdu.lt

Darija JODAUGIENĖ. Agriculture Academy of Vytautas Magnus University, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Science, Doctor of Biomedical (Agriculture) Sciences, Assoc. Prof. Address: Studentų str. 11, LT-53361 Akademija, Kauno dist. Phone: +370 377 52229, e-mail: darija.jodaugiene@vdu.lt

MIKROMICETŲ, IŠSKIRTŲ NUO SĖMENŲ ALIEJAUS POLIMERŲ KOMPOZITŲ SU ORGANINIAIS GAMYBOS ATLIEKŲ UŽPILDAIS, FIZIOLOGINĖS SAVYBĖS

Vaineta Vainalavičiūtė¹, Eglė Malachovskienė¹, Danguolė Bridžiuviene¹, Jolita Ostrauskaitė²

¹Valstybinis mokslinių tyrimų institutas Gamtos tyrimų centras, ²Kauno technologijos universitetas

Didėjantis antropogeninių atliekų kaupimasis ženkliai prisideda prie aplinkos apsaugos problemų: ozono sluoksnį ardančių dujų emisijos, dirvožemio ir vandens taršos. Mikromicetai, gebantys skaidyti sintetinius polimerus, potencialiai galėtų būti naudojami žmonių veiklos generuojamoms atliekoms skaidyti. Tyrimo tikslas – nustatyti *Alternaria* sp. 0 8-2, *Aspergillus* sp. 0 7-1, *Aspergillus* sp. 0 8-4, *Fusarium* sp. S 20-7, *Marquandomyces* sp. S 15-5, *Purpureocillium* sp. F 5-1, *Talaromyces* sp. R 10-4, *Trichoderma* sp. M 5 ir *Trichoderma* sp. R 15-1 mikromicetų, išskirtų nuo linų sėmenų aliejaus polimerų kompozitų su organiniais gamybos atliekų užpildais, fermentinį aktyvumą ir atrinkti aktyviausius iš jų. Tyrimo metu atliktas kokybinis mikromicetų endogliukanazinio, fenoloksidazinio, ksilanazinio, lipazinio, amilazinio ir proteazinio aktyvumo nustatymas. Matuotas fermentinio aktyvumo zonos ir grybų kolonijos skersmuo, pagal kurių santykį nustatytas fermentinio aktyvumo indeksas. *Aspergillus* sp. 0 7-1, *Marquandomyces* sp. S 15-5 ir *Purpureocillium* sp. F 5-1 mikromicetai pasižymėjo kaip visų tirtų fermentų ir vieninteliai proteazių producentai. Endogliukanaziniu aktyvumu pasižymėjo visos tirtos padėmės. Siauriausią fermentų spektrą lyginant su kitais mikromicetais produkavo *Fusarium* sp. S 20-7, *Aspergillus* sp. 0 8-4 ir *Talaromyces* sp. R 10-4. Nustatytas augimo slopinimo indeksas: selektyvios terpės neslopino arba beveik neslopino mikromicetų augimo, o terpė su polisorbato 20 slopinė visų tirtų mikromicetų augimą. Kokybinė fermentinio aktyvumo analizė leido atrinkti mikromicetus tolimesniems tyrimams.

Raktiniai žodžiai: fermentinio aktyvumo indeksas, mikromicetai, polimerų skaidymas.

Įvadas

Plečiantis pramonei, kasmet vis didėja generuojamų atliekų kiekis, daugelis jų – iš neatsinaujinančių energijos šaltinių gaminami plastikai (polietilenas (PE), polietileno tereftalatas (PET), polipropilenas (PP)). Šie kelis šimtus metų gamtoje yrantys sintetiniai polimerai mechaninių ir fotocheminių procesų metu fragmentuojasi į mikro- ir nanoplastikus, galinčius užteršti vandenį ir dirvožemį, kauptis mitybos grandinėje, išskirti ligas sukeliančias kenksmingas medžiagas (Issac ir Kandasubramanian, 2021; Yuan ir kt., 2022). Dėl šios priežasties sintetinės naujos polimerinės medžiagos ar jų kompozitai, kurie pasižymi didesniu bioskaidumu ir yra mažiau kenksmingi aplinkai. Tačiau ne visi bioplastikai yra visiškai suyrantys, taip pat dalis jų (polibutileno adipato tereftalatas (PBAT), polikaprolaktonas (PCL)) yra gaminami iš naftos produktų ir prisideda prie neatsinaujinančių energijos išteklių sekimo problemos (Singh ir kt., 2022). Aplinkos tarša sintetinėmis polimerinėmis medžiagomis gali būti sprendžiama ne tik kuriant bioskaidžias polimerines medžiagas, tačiau ir pasitelkiant šias medžiagas skaidančius mikroorganizmus. Žinoma, kad polimerinių medžiagų skaidyme dalyvauja grybai, bakterijos ir dumbliai, tačiau grybai išsiskiria savo gebėjimu prisitaikyti prie nepalankių aplinkos sąlygų, produkuoti platų fermentų spektrą ir formuoti hifus, galinčius prasiskverbti į plastiko paviršiaus įtrūkimus (Kotova ir kt., 2021). Polimerinių medžiagų bioskaidymas – tai sudėtingas procesas, kurio metu ilgos polimerų grandinės skaidomos iki mažesnės molekulinės masės junginių (Wu ir kt., 2024). Mikromicetai taip pat pasižymi gebėjimu skaidyti įvairius organinius junginius ir yra naudojami naftos produktų (Veliev ir kt., 2008), sunkiųjų metalų, pesticidų ir sintetinių dažų taršos mažinimui (Efremenko ir kt., 2024).

Mikromicetai yra pagrindiniai polimerinių medžiagų skaidytojai, todėl svarbu pažinti jų įvairovę ir išaiškinti jų biologines ir fiziologines savybes bei veikimo mechanizmus. Šio tyrimo tikslas – nustatyti nuo linų sėmenų aliejaus polimerų kompozitų išskirtų *Alternaria* sp. 0 8-2, *Aspergillus* sp. 0 7-1, *Aspergillus* sp. 0 8-4, *Fusarium* sp. S 20-7, *Marquandomyces* sp. S 15-5, *Purpureocillium* sp. F 5-1, *Talaromyces* sp. R 10-4, *Trichoderma* sp. M 5 ir *Trichoderma* sp. R 15-1 mikromicetų fermentinį aktyvumą. O didžiausią biodestrukcinį potencialą turinčius mikromicetus atrinkti tolimesniems tyrimams.

Tyrimų metodika

Tyrimams buvo panaudotos Valstybinio mokslinių tyrimų instituto Gamtos tyrimų centro, Biodestruktorių tyrimo laboratorijos kolekcijoje saugomos mikromicetų kultūros: *Alternaria* sp. 0 8-2, *Aspergillus* sp. 0 7-1, *Aspergillus* sp. 0 8-4, *Fusarium* sp. S 20-7, *Marquandomyces* sp. S 15-5, *Purpureocillium* sp. F 5-1, *Talaromyces* sp. R 10-4, *Trichoderma* sp. M 5 ir *Trichoderma* sp. R 15-1. Mikromicetai buvo išskirti nuo linų sėmenų aliejaus polimerų kompozitų, pagamintų Kauno technologijos universiteto Polimerų chemijos ir technologijos katedroje. Polimerinio kompozito matrica (0) buvo suformuota iš epoksidinto linų sėmenų

aliejaus ir 1-hidroksietano-1,1-difosfono rūgšties (mol. santykis 2:1, 25°C), o kaip užpildas panaudotos šios organinės gamybos atliekos: fosfogipsas (F), grūdų išvalų ir piktžolių mišinys (M), rapsų išspaudos (R) ir pušies spygliai (S). Užpildo kiekis polimeriniame kompozite siekė 5, 10, 15 arba 20 procentų. Detalesnę informaciją apie polimerinių kompozitų gamybą ir jų savybių tyrimus galima rasti Vaicekauskaitės ir bendraautorių darbe (2019).

Siekiant atrinkti aktyviausias mikromicetų padermes, buvo vykdoma pirminė kokybinė fermentinio aktyvumo analizė. Mikromicetai buvo auginami Petri lėkštelėse ant selektyvių terpių, inokuliuotų iš grybo kolonijos išpjautu agarų blokeliu ($\varnothing$ 0,7 cm), 26 °C temperatūroje 2–5 paras. Tyrimai atlikti trimis pakartojimais. Fermentinio aktyvumo indeksas (angl. *Enzymatic Index*) apskaičiuotas pagal formulę (Saroj ir kt., 2018):

$$\text{Fermentinio aktyvumo indeksas} = \frac{\text{Fermentinio aktyvumo zonos skersmuo (cm)}}{\text{Kolonijos skersmuo (cm)}}$$

Siekiant nustatyti selektyvių terpių įtaką kolonijos augimui buvo apskaičiuotas augimo slopinimo indeksas (angl. *Inhibition Index*):

$$\text{Augimo slopinimo indeksas} = \frac{\text{Kolonijos skersmuo (cm)}}{\text{Kolonijos skersmuo ant kontrolinio agarų (cm)}}$$

Augimo slopinimo indekso reikšmė, mažesnė už 1, reiškia, kad selektyvi terpė slopina mikroorganizmų augimą, reikšmė, didesnė už 1, – selektyvi terpė skatina augimą.

Fenoloksidazinio aktyvumo vertinimui naudota Čapeko terpė (sacharozė 30 g/L, NaNO₃ 3 g/L, K₂HPO₄ 1 g/L, KCl 0,5 g/L, MgSO₄×7H₂O 0,5 g/L, FeSO₄ 0,01 g/L, agaras 20 g/L). Po autoklavavimo terpė sumaišyta su galine rūgštimi (0,2 %). Apie fenoloksidazių išsiskyrimą sprendžiama iš rudos spalvos zonos atsiradusios aplink koloniją (Pointing, 1999). Kontrolė – Čapeko terpė.

Endogliukanaziniam aktyvumui nustatyti naudota modifikuota Čapeko terpė be sacharozės. Kaip anglies šaltinis panaudota natrio karboksimetilceliuliozės druska (0,5 %) (Pointing, 1999). Apie endogliukanazių išsiskyrimą sprendžiama iš gelsvos spalvos zonos atsiradusios aplink koloniją, kai į lėkštelę įpilamas Kongo raudonasis dažas (0,1 %). Kontrolė – Čapeko terpė.

Lipazinio aktyvumo vertinimui naudota tokios sudėties terpė: peptonas 10 g/L, NaCl 5 g/L, CaCl₂×2H₂O 0,1 g/L ir agaras 20 g/L. Kaip anglies šaltinis panaudotas polisorbato 20 (1 %) (Rice ir Currah, 2005). Hidrolizės zonoje susidaro kalcio druskų kristalai, o terpė nuskaidrėja. Kontrolė – tos pačios sudėties terpė, tačiau anglies šaltinis pakeistas gliukoze (10 g/L).

Amilaziniam aktyvumui nustatyti naudota modifikuota Čapeko terpė be sacharozės, o kaip anglies šaltinis panaudotas bulvių krakmolai (0,25 %). Apie amilazių išsiskyrimą sprendžiama iš gelsvos zonos, atsiradusios aplink koloniją, kai likusi terpė, užpylus liugolio tirpalu, nusidažo mėlyna spalva (Hankin ir Anagnostakis, 1975). Kontrolė – Čapeko terpė.

Ksilanaziniam aktyvumui vertinti naudota modifikuota Čapeko terpė be sacharozės, į kurią įdėta 3 % ksilano. Ksilanazinis aktyvumas nustatomas iš gelsvos spalvos zonos, kuri išryškėja, kai į lėkštelę įlašinamas liugolio tirpalas (Pointing, 1999). Kontrolė – Čapeko terpė.

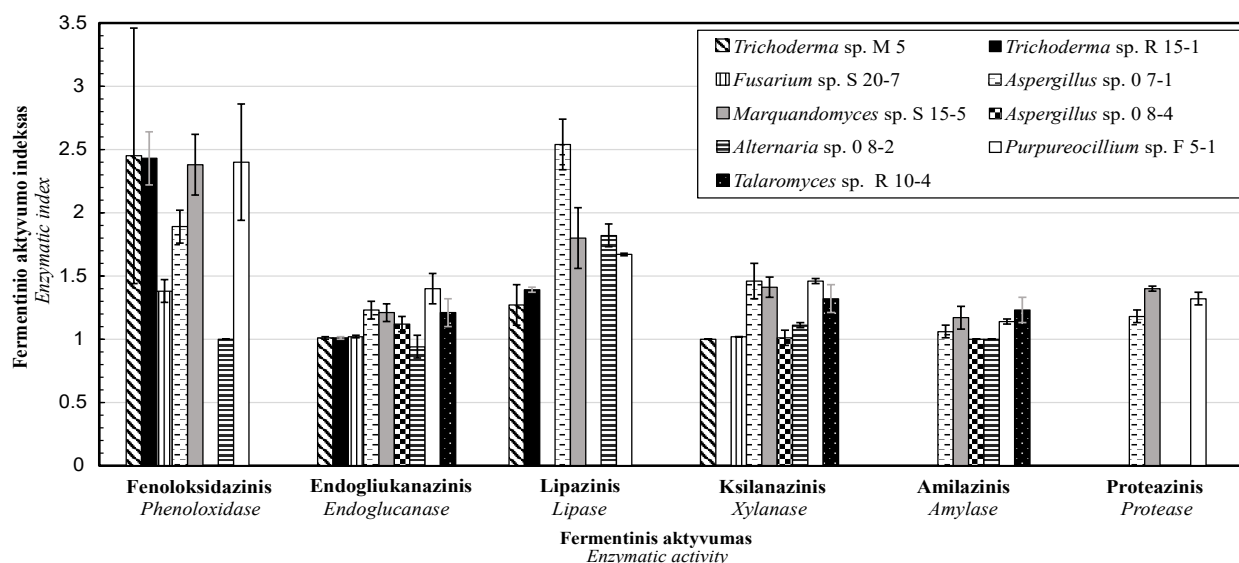
Proteazinis aktyvumas vertintas naudojant lieso pieno miltelius (angl. *Skim Milk Powder*) (1 %) ir modifikuotą Čapeko terpę be sacharozės. Apie proteazių išsiskyrimą sprendžiama iš terpės nuskaidrėjimo aplink koloniją (Abdelmoteleb ir kt., 2017). Kontrolė – Čapeko terpė.

Rezultatai ir aptarimas

Atlikta kokybinė fermentinio aktyvumo analizė, kurios metu ant selektyvių terpių buvo auginamos tiriamų mikromicetų kolonijos. Įvertintas fermentinio aktyvumo (1 pav.) ir augimo slopinimo (1 lentelė) indeksas.

Tyrimų rezultatai parodė, kad didžiausiu (~2,4) fenoloksidaziniu aktyvumu pasižymėjo *Marquandomyces* sp. S 15-5, *Purpureocillium* sp. F 5-1, *Trichoderma* sp. M 5 ir *Trichoderma* sp. R 15-1 mikromicetai. Score ir bendraautorių (1997) tyrime *Trichoderma* genties mikromicetai nepasižymėjo lakaziniu aktyvumu, tačiau pasižymėjo tirozinaziniu ir peroksidaziniu aktyvumu. Visi šiame darbe tirti mikromicetai pasižymėjo endogliukanaziniu aktyvumu, tačiau fermentinio aktyvumo indeksas neviršijo 1,5. Ksilanazinio aktyvumo indeksas tarp tirtų mikromicetų buvo mažesnis nei 1,5, juo nepasižymėjo tik *Trichoderma* sp. R 15-1. Saroj ir bendraautorių (2018) atlikti tyrimai parodė, kad *Fusarium* ir *Aspergillus* gentims priklausančios mikromicetai pasižymi celiuliaziniu ir ksilanaziniu aktyvumu. Šiame darbe gauti mikromicetų *Aspergillus* sp. 0 7-1, *Aspergillus* sp. 0 8-4 ir *Fusarium* sp. S 20-7 kokybiniai fermentinio (endogliukanazių ir ksilanazių) aktyvumo rezultatai koreliuoja su Saroj ir bendraautorių (2018) pateiktais duomenimis. Pažymėtina, kad selektyvi terpė endogliukanaziniam aktyvumui nustatyti neslopino (augimo slopinimo indeksas >1) arba

nežymiai slopino mikromicetų augimą (*Fusarium* sp. S 20-7, *Aspergillus* sp. 0 8-4), o mitybinė terpė su ksilanu skatino *Trichoderma* sp. M 5 ir *Trichoderma* sp. R 15-5 augimą. Didžiausiu lipaziniu aktyvumu pasižymėjo *Aspergillus* sp. 0 7-1 padermė, kurios fermentinio aktyvumo indeksas siekė 2,54. Alabdall ir bendraautorių (2020) darbe nustatyta, kad *Aspergillus* genties grybai yra vieni aktyviausių fermento lipazės producentų. Lipazinio aktyvumo nustatymui naudotas polisorbatas 20 slopino visų tirtų mikromicetų kolonijų augimą, jo augimo slopinimo indeksas buvo ~0,78.



1 pav. Mikromicetų fermentinio aktyvumo indeksas, auginant ant selektyvių terpių

Fig. 1. Enzymatic index of fungi grown on selective media

1 lentelė. Mikromicetų augimo slopinimo indeksas, auginant ant selektyvių terpių

Table 1. Inhibition index of fungi grown on selective media

Mikromicetai <i>Fungi</i>	Fenoloksidazinis aktyvumas <i>Phenoloxydase activity</i>	Endogliukanazinis aktyvumas <i>Endoglucanase activity</i>	Ksilanazinis aktyvumas <i>Xylanase activity</i>
<i>Trichoderma</i> sp. M 5	0,62 ± 0,23	1,07 ± 0,07	1,38 ± 0,17
<i>Trichoderma</i> sp. R 15-5	0,65 ± 0,04	0,98 ± 0,09	1,67 ± 0,16
<i>Fusarium</i> sp. S 20-7	0,62 ± 0,05	0,83 ± 0,04	0,92 ± 0,09
<i>Aspergillus</i> sp. 0 7-1	1,07 ± 0,12	1,07 ± 0,17	0,9 ± 0,11
<i>Aspergillus</i> sp. 0 8-4	1,0 ± 0,06	0,77 ± 0,03	1,02 ± 0,08
<i>Alternaria</i> sp. 0 8-2	1,07 ± 0,12	0,96 ± 0,12	0,94 ± 0,02
<i>Purpureocillium</i> sp. F 5-1	0,81 ± 0,08	1,09 ± 0,03	1,1 ± 0,06
<i>Talaromyces</i> sp. R 10-4	1,07 ± 0,13	0,94 ± 0,16	1,14 ± 0,15
<i>Marquandomyces</i> sp. S 15-5	0,92 ± 0,09	1,06 ± 0,06	1,21 ± 0,16

Mikromicetai <i>Fungi</i>	Lipazinis aktyvumas <i>Lipase activity</i>	Amilazinis aktyvumas <i>Amylase activity</i>	Proteazinis aktyvumas <i>Protease activity</i>
<i>Trichoderma</i> sp. M 5	0,76 ± 0,03	1,09 ± 0,13	1,23 ± 0,12
<i>Trichoderma</i> sp. R 15-5	0,61 ± 0,09	1,09 ± 0,16	1,31 ± 0,03
<i>Fusarium</i> sp. S 20-7	0,72 ± 0,01	0,84 ± 0,22	1,23 ± 0,04
<i>Aspergillus</i> sp. 0 7-1	0,84 ± 0,0	0,95 ± 0,01	0,96 ± 0,0
<i>Aspergillus</i> sp. 0 8-4	0,75 ± 0,02	0,78 ± 0,25	0,99 ± 0,08
<i>Alternaria</i> sp. 0 8-2	0,97 ± 0,07	1,03 ± 0,16	0,92 ± 0,04
<i>Purpureocillium</i> sp. F 5-1	0,78 ± 0,03	1,03 ± 0,18	1,0 ± 0,04
<i>Talaromyces</i> sp. R 10-4	0,77 ± 0,07	0,98 ± 0,19	1,09 ± 0,34
<i>Marquandomyces</i> sp. S 15-5	0,85 ± 0,04	1,17 ± 0,06	1,08 ± 0,11

Amilaziniu aktyvumu pasižymėjo *Aspergillus* sp. 0 7-1 (1,06), *Aspergillus* sp. 0 8-4 (1), *Alternaria* sp. 0 8-2 (1), *Marquandomyces* sp. S 15-5 (1,17), *Purpureocillium* sp. F 5-1 (1,14) ir *Talaromyces* sp. R 10-4

(1,23) mikromicetai. Balkan ir bendraautorių (2012) darbe skirtingomis pH sąlygomis buvo tirtas *Alternaria* ir *Aspergillus* gentims priklausančių mikromicetų kokybinis amilazinis aktyvumas. *Alternaria* genties grybų amilazinis fermentinio aktyvumo indeksas buvo panašus kaip ir šiame darbe (~ 1), o *Aspergillus* genties grybai pasižymėjo šiek tiek didesniu fermentiniu aktyvumu (1.19–2.63) nei šiame darbe tirti *Aspergillus* genties atstovai. Iš visų tirtų mikromicetų padermių proteaziniu aktyvumu pasižymėjo *Aspergillus* sp. 0 7-1, *Marquandomyces* sp. S 15-5, *Purpureocillium* sp. F 5-1, tačiau jų fermentinio aktyvumo indeksas buvo mažesnis nei 1,5. De Marco ir Felix (2002) darbe atliekant tyrimus su *Trichoderma* genties mikromicetais išgrynintos proteazės, skaidančios kazeino baltymą, tačiau šiame darbe tirtos *Trichoderma* sp. M 5 ir *Trichoderma* sp. R 15-5 mikromicetų padermės nepasižymėjo proteaziniu aktyvumu. Tolimesniems tyrimams atrinktos mikromicetų padermės, kurių fermentinio aktyvumo indeksas buvo $\geq 1,5$. Kiekybiniam endogliukanazinio aktyvumo vertinimui toliau bus naudojamos visos tirtos mikromicetų padermės.

Išvados

1. Nustatyta, kad *Aspergillus* sp. 0 7-1, *Marquandomyces* sp. S 15-5 ir *Purpureocillium* sp. F 5-1 pasižymėjo kaip fenoloksidazių, endogliukanazių, lipazių, ksilanazių, amilazių ir proteazių producentai.
2. Išaiškinta, kad siauriausią fermentų spektrą lyginant su kitais mikromicetais produkavo *Fusarium* sp. S 20-7, *Aspergillus* sp. 0 8-4 ir *Talaromyces* sp. R 10-4.
3. Įvertinus mikromicetų augimo slopinimo indeksus nustatyta, kad polisorbato 20 slopino visų tirtų mikromicetų augimą. Kitos selektyvios terpės mikromicetų augimo neslopino, arba slopino nežymiai.

Literatūra

1. Abdelmoteleb, A., Troncoso-Rojas, R., Gonzalez-Soto, T., & González-Mendoza, D. (2017). Antifungal Activity of Autochthonous *Bacillus subtilis* Isolated from *Prosopis juliflora* against Phytopathogenic Fungi. *Mycobiology*, 45(4), 385–391. <https://doi.org/10.5941/MYCO.2017.45.4.385>
2. Alabdalall, A. H., ALanazi, N. A., A. Aldakeel, S., AbdulAzeez, S., & Borgio, J. F. (2020). Molecular, physiological, and biochemical characterization of extracellular lipase production by *Aspergillus niger* using submerged fermentation. *PeerJ*, 8, e9425. <https://doi.org/10.7717/peerj.9425>
3. Balkan, B., Aydoğdu, H., Balkan, S., Ertan, F. (2012). Amylolytic activities of fungi species on the screening medium adjusted to different pH.
4. Balkan, B., Aydoğdu, H., Balkan, S., Ertan, F. (2014). Amylolytic Activities of Fungi Species on the Screening Medium Adjusted to Different pH. *Erzincan University Journal of Science and Technology*, 5(1), 1–12.
5. De Marco, J. L., & Felix, C. R. (2002). Characterization of a protease produced by a *Trichoderma harzianum* isolate which controls cocoa plant witches' broom disease. *BMC Biochemistry*, 3(1), 3. <https://doi.org/10.1186/1471-2091-3-3>
6. Efremenko, E., Stepanov, N., Senko, O., Aslanli, A., Maslova, O., & Lyagin, I. (2024). Using Fungi in Artificial Microbial Consortia to Solve Bioremediation Problems. *Microorganisms*, 12(3), 470. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12030470>
7. Hankin, L., & Anagnostakis, S. L. (1975). The Use of Solid Media for Detection of Enzyme Production by Fungi. *Mycologia*, 67(3), 597–607. <https://doi.org/10.1080/00275514.1975.12019782>
8. Issac, M. N., & Kandasubramanian, B. (2021). Effect of microplastics in water and aquatic systems. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(16), 19544–19562. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13184-2>
9. Kotova, I. B., Taktarova, Yu. V., Tsavkelova, E. A., Egorova, M. A., Bubnov, I. A., Malakhova, D. V., Shirinkina, L. I., Sokolova, T. G., & Bonch-Osmolovskaya, E. A. (2021). Microbial Degradation of Plastics and Approaches to Make it More Efficient. *Microbiology*, 90(6), 671–701. <https://doi.org/10.1134/S0026261721060084>
10. Pointing, S. (1999). Qualitative methods for the determination of lignocellulolytic enzyme production by tropical fungi. *Fungal Diversity*, 2.
11. Rice, A. V., & Currah, R. S. (2005). Oidiodendron: A survey of the named species and related anamorphs of Myxotrichum. *Studies in Mycology*, 53, 83–120. <https://doi.org/10.3114/sim.53.1.83>
12. Saroj, P., P. M., & Narasimhulu, K. (2018). Characterization of thermophilic fungi producing extracellular lignocellulolytic enzymes for lignocellulosic hydrolysis under solid-state fermentation. *Bioresources and Bioprocessing*, 5(1), 31. <https://doi.org/10.1186/s40643-018-0216-6>
13. Score, A. J., Palfreyman, J. W., & White, N. A. (1997). Extracellular phenoloxidase and peroxidase enzyme production during interspecific fungal interactions. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 39(2–3), 225–233. [https://doi.org/10.1016/S0964-8305\(97\)00012-7](https://doi.org/10.1016/S0964-8305(97)00012-7)

14. Singh, N., Ogunseitan, O. A., Wong, M. H., & Tang, Y. (2022). Sustainable materials alternative to petrochemical plastics pollution: A review analysis. *Sustainable Horizons*, 2, 100016. <https://doi.org/10.1016/j.horiz.2022.100016>
15. Vaicekauskaitė, J., Ostrauskaitė, J., Treinyte, J., Grazuleviciene, V., Bridziuvienė, D., & Rainosalo, E. (2019). Biodegradable Linseed Oil-Based Cross-Linked Polymer Composites Filled with Industrial Waste Materials for Mulching Coatings. *Journal of Polymers and the Environment*, 27(2), 395–404. <https://doi.org/10.1007/s10924-018-1360-y>
16. Veliev, M. G., Danielsson, B., Salmanov, M. A., Alieva, S. R., & Bektashi, N. R. (2008). Biodegradation of Baku oil and hydrocarbons by micromycetes. *Petroleum Chemistry*, 48(1), 56–62. <https://doi.org/10.1134/S0965544108010118>
17. Wu, J., Wang, J., Zeng, Y., Sun, X., Yuan, Q., Liu, L., & Shen, X. (2024). Biodegradation: The best solution to the world problem of discarded polymers. *Bioresources and Bioprocessing*, 11(1), 79. <https://doi.org/10.1186/s40643-024-00793-1>
18. Yuan, Z., Nag, R., & Cummins, E. (2022). Human health concerns regarding microplastics in the aquatic environment—From marine to food systems. *Science of The Total Environment*, 823, 153730. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153730>

Vaineta Vainalavičiūtė, Eglė Malachovskienė, Danguolė Bridžiuvienė, Jolita Ostrauskaitė

Some Physiological Properties of Fungi Isolated From Linseed Oil-Based Cross-Linked Polymer Composites Filled with Industrial Waste Materials

The increasing accumulation of anthropogenic waste contributes to significant environmental issues: ozone layer-depleting gas emissions, soil, and water pollution. Fungi are known to degrade synthetic polymers and may contribute to plastic waste management. This study aimed to evaluate the enzymatic activity of *Alternaria* sp. 0 8-2, *Aspergillus* sp. 0 7-1, *Aspergillus* sp. 0 8-4, *Fusarium* sp. S 20-7, *Marquandomyces* sp. S 15-5, *Purpureocillium* sp. F 5-1, *Talaromyces* sp. R 10-4, *Trichoderma* sp. M 5, and *Trichoderma* sp. R 15-1 – isolated from linseed oil-based polymer composites filled with industrial waste materials – and to select those with the highest biodegradation potential for further studies. The experiment was based on qualitative endoglucanase, phenoloxidase, xylanase, lipase, amylase, and protease activity assessment of tested fungi. Enzymatic index was determined based on the ratio of the diameter of the enzymatic activity zone and colony. *Aspergillus* sp. 0 7-1, *Marquandomyces* sp. S 15-5, and *Purpureocillium* sp. F 5-1 were enzymatically active in all assays performed in this study and were the only ones with proteolytic activity. Endoglucanase activity was observed in all strains. *Fusarium* sp. S 20-7, *Aspergillus* sp. 0 8-4, and *Talaromyces* sp. R 10-4 exhibited the least diverse range of enzymes. The inhibition index showed that medium with polysorbate 20 inhibited growth of all tested fungi, whereas other selective media had little to no inhibitory effect. This study provided information for the selection and further analysis of these strains.

Keywords: Enzymatic index, fungi, polymer degradation.

Gauta 2025 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2025 m. balandžio mėn.

Vaineta VAINALAVIČIŪTĖ. Vilniaus universitetas Gyvybės mokslų centras. Adresas: Saulėtekio al. 7, LT-10257 Vilnius, tel. +370 66 386154, el. paštas: vaineta.vainalaviciute@gmc.stud.vu.lt

Vaineta VAINALAVICIUTE. Vilnius University Life Sciences Centre. Address: Saulėtekio av. 7, LT-10257 Vilnius. Phone: +370 66 386154, e-mail: vaineta.vainalaviciute@gmc.stud.vu.lt

Eglė MALACHOVSKIENĖ. Valstybinio mokslinių tyrimų instituto Gamtos tyrimų centro Biodestruktorių tyrimo laboratorija. Adresas: Akademijos g. 2, LT-08412 Vilnius, tel. +370 52 796640, el. paštas: egle.malachovskiene@gamtc.lt

Egle MALACHOVSKIENE. State Scientific Research Institute Nature Research Centre Laboratory of Biodeterioration Research. Address: Akademijos str. 2, LT-08412 Vilnius. Phone: +370 52 796640, e-mail: egle.malachovskiene@gamtc.lt

Danguolė BRIDŽIUVIENĖ. Valstybinio mokslinių tyrimų instituto Gamtos tyrimų centro Biodestruktorių tyrimo laboratorija. Adresas: Akademijos g. 2, LT-08412 Vilnius, tel. +370 52 796640, el. paštas: danguole.bridziuviene@gamtc.lt

Danguole BRIDZIUVIENE. State Scientific Research Institute Nature Research Centre Laboratory of Biodeterioration Research. Address: Akademijos str. 2, LT-08412 Vilnius. Phone: +370 52 796640, e-mail: danguole.bridziuviene@gamtc.lt

Jolita OSTRAUSKAITĖ. Kauno technologijos universiteto Polimerų chemijos ir technologijos katedra. Adresas: Radvilėnų pl. 19, LT-50254 Kaunas, tel. +370 37 300150, el. paštas: jolita.ostrauskaite@ktu.lt

Jolita OSTRAUSKAITE. Kaunas University of Technology Department of Polymer Chemistry and Technology. Address: Radvilėnų pl. 19, LT-50254 Kaunas. Phone: +370 37 300150, e-mail: jolita.ostrauskaite@ktu.lt

HERBICIDŲ PANAUDOJIMO LAIKO IR AKĖJIMO POVEIKIS ŽIEMINIŲ KVIEČIŲ PASĖLIUI

Lukas Aukselis, Darija Jodaugienė

Vytauto Didžiojo universitetas

Keičiantis klimatui susidaro palankesnės sąlygos piktžolių dygimui rudenį ir pavasarį sunkiau jas kontroliuoti, be to piktžolės naikinant herbicidais, ilgainiui daugelis jų įgyja atsparumą. Ieškant tvarių sprendimų, viena iš efektyvių priemonių pasėlių piktžolėtumui mažinti gali būti pasėlių akėjimas. 2023–2024 m. buvo atliktas tyrimas ūkininko Algirdo Aukselio ūkyje Joniškio r. Buvo įrengtas dviejų veiksmų eksperimentas: A veiksnys – herbicidų panaudojimo laikas: 1) nenaudota, 2) rudenį, 3) pavasarį, 4) rudenį ir pavasarį bei B veiksnys – pasėlio akėjimas: 1) neakėta ir 2) akėta. Tyrimais nustatyta, kad herbicidų naudojimo laikas neturėjo esminės įtakos pasėlio tankumui, tačiau esmingai keitė, kaip ir akėjimas, pasėlio piktžolėtumą. Didžiausias žieminių kviečių derlingumas gautas pasėlius purškiant rudenį ir pavasarį ($8,1 \text{ t ha}^{-1}$) arba tik pavasarį ($8,3 \text{ t ha}^{-1}$). Tų pačių variantų laukelius papildomai akėjant gautas derlingumas buvo dar didesnis – atitinkamai siekė $9,2$ ir $8,8 \text{ t ha}^{-1}$.

Raktiniai žodžiai: *Triticum aestivum* L., herbicidai, pasėlių akėjimas, piktžolėtumas, produktyvumas.

Įvadas

Piktžolės žemės ūkyje laikomos nepageidaujamais augalais, nes jos konkuruoja su pasėliais dėl tų pačių išteklių: drėgmės, šviesos, maistinių medžiagų, erdvės ir anglies dioksido, taip sumažindamos kultūrinių augalų derlingumą (Roslim et al., 2021). JAV mokslininkų tyrimai rodo, kad žieminių kviečių derliaus nuostoliai dėl piktžolių gali svyruoti nuo 3 iki 34 proc. Dėl šios priežasties piktžolės dažnai sukelia didesnę ar mažesnę ekonominę žalą (Flessner et al., 2021). Paprastai jų kontrolei naudojami herbicidai, tačiau ilgalaikis šių cheminių medžiagų naudojimas lemia daugelio piktžolių atsparumą (Sanbagavalli et al., 2020). Todėl siekiant didesnio kultūrinių augalų derlingumo ir mažesnio neigiamo poveikio aplinkai bei ekosistemai, žemdirbiai turėtų ieškoti tvarių piktžolių valdymo sprendimų.

Viena iš efektyvių priemonių pasėlio piktžolėtumui valdyti gali būti akėjimas. Pasėlių akėjimas dažniausiai taikomas ekologinėje žemdirbystėje, tačiau pastaruoju metu plačiai plinta ir tradicinėje žemdirbystėje kaip alternatyva herbicidams (Berge et al., 2023). Akėjimas – mechaninė piktžolių kontrolės priemonė, vertinama dėl savo veiksmingumo ir teigiamo poveikio pasėlių derlingumui, kaip ir herbicidai. Esant optimalioms sąlygoms, tokioms kaip akėjimo laikas, palankios aplinkos sąlygos ir lygus dirvos paviršius, akėjimo metu gali būti pasiektas lygiavertis efektas, kaip ir herbicidų naudojimas. Žinoma, esant nepalankioms aplinkos sąlygomis, akėjimas dažnu atveju neužtikrina tokio veiksmingumo kaip herbicidų panaudojimas. Todėl siekiant didesnio efektyvumo, svarbu derinti piktžolių kontrolės priemones, pasitelkiant tiek mechaninius, tiek cheminius metodus (Naruhn et al., 2021).

Tyrimo tikslas – nustatyti herbicidų naudojimo laiko ir akėjimo poveikį žieminių kviečių pasėlio piktžolėtumui ir produktyvumui.

Tyrimų metodika

Lauko eksperimentas atliktas 2023–2024 m. ūkininko Algirdo Aukselio ūkyje, esančiame Joniškio rajone. Eksperimento metu tirtas žieminių kviečių pasėlis, kuris pavasarį buvo akėtas, tačiau taip pat pasėlio piktžolėtumui sumažinti skirtingu laiku buvo purkšta herbicidais.

Rudeniniam purškimui buvo naudotas herbicidas DIFLANIL 500 SC (v. m. diflufenikanas). Pavasarį naudotas HERBISTAR 200 EC (v. m. fluroksipiras) ir AXIAL 50 EC (v. m. pinoksadenas) herbicidų mišinys. Pasėliai buvo akėjami tik pavasarį žieminių kviečių krūmijimosi tarpsniu. Eksperimente taikyti šie variantai: A veiksnys – herbicidų panaudojimo laikas: 1) nenaudota, 2) rudenį, 3) pavasarį, 4) rudenį ir pavasarį bei B veiksnys – pasėlio akėjimas: 1) neakėta ir 2) akėta. Vieno laukelio pradinis plotas – 350 m^2 ($14 \times 25 \text{ m}$), apskaitinio laukelio plotas – 200 m^2 ($10 \times 20 \text{ m}$).

Prieš įrengiant žieminių kviečių eksperimentą buvo nuimtas priešsėlis – žieminiai rapsai. Priešsėlis kitą dieną buvo skustas lėkštiniu skutikliu „Unia“ 5 cm gyliu. Rapsų pabiroms ir piktžolėms sudygus, laukas buvo nupurkštas sisteminiu visuotino veikimo herbicidu, turinčio glifosato veikliąją medžiagą. Po kelių savaičių prieš sėją žemė buvo įdirbta lėkštiniu skutikliu apie 5–6 cm gyliu. Visame eksperimento plote buvo sėta žieminių kviečių veislė 'Etana', išsėjant po $3,7 \text{ mln. ha}^{-1}$ sėklos normą. Sėta „Väderstad Super Rapid 400 C“ sėjamąja $12,5 \text{ cm}$ tarpueiliais 3 cm gyliu. Sėjos metu lokaliai buvo įterptos $\text{N}_{14}\text{P}_{14}\text{K}_{21}$ trąšos, 160 kg ha^{-1} norma. Pavasarį atsinaujinus vegetacijai visuose laukeliuose buvo išpurkštos skystos KAS trąšos 200 L ha^{-1} norma. Po savaitės kviečių pasėlis buvo akėtas ekologinėmis akėčiomis. Intensyviai dygstant piktžolėms, purkšta

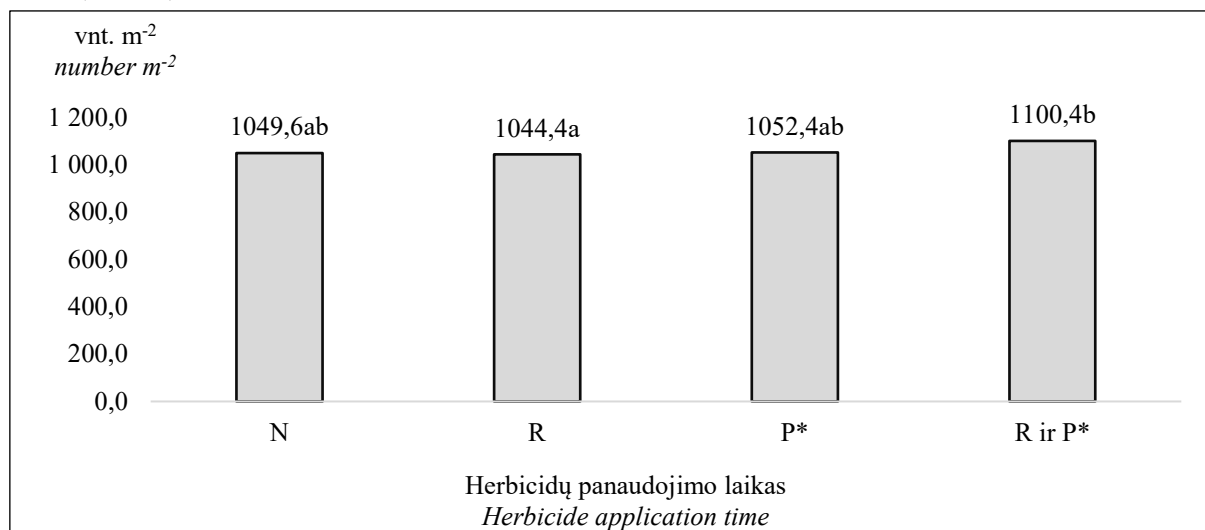
herbicidų mišiniu pagal tyrimų schemą. Po keleto dienų buvo tręšta amonio sulfatu – 120 kg ha⁻¹ fizine mase. Pieninės brandos pradžioje pasėlis purkštas karbamido tirpalu (25 kg ha⁻¹).

Atliktame lauko eksperimente nustatytas žieminių kviečių pasėlio tankumas, piktžolėtumas bei grūdų derlingumas. Apskaitos atliktos 5-iose kiekvieno apskaitinio laukelio pastoviose vietose. Eksperimento duomenų statistiniam vertinimui taikytas pasikliautinas intervalas (angl. *Confidence interval* 95 %), naudojant „Basic Statistics“ analizės modulį iš programinės įrangos paketo „SELEKCIJA“.

Rezultatai ir aptarimas

Sėkmingam pasėlio peržiemojimui reikėtų suformuoti tokį pasėlio tankumą, kad rudens vegetacijos pabaigoje žieminių kviečių tankumas neviršytų 1200 ūglių skaičiaus m⁻², kiekvienas augalas būtų suformavęs po 3–4 šoninius ūglius bei sukaupę 300–350 aktyvių temperatūrų sumą (Šiuliauskas, 2015; Duchovskis ir kt., 2024).

Eksperimento laukeliuose atlikus apskaitą rudens vegetacijos pabaigoje žieminių kviečių pasėlio tankumas esmingai skyrėsi ir svyravo nuo 1044,4 iki 1100,4 vnt. m⁻² (1 pav.). Didžiausias žieminių kviečių tankumas 1100,4 vnt. m⁻² nustatytas laukeliuose, kurie buvo purkšti iš rudens ir planuojamas purškimas pavasarį (R ir P*).



1 pav. Herbicidų panaudojimo įtaka žieminių kviečių tankumui rudenį, vegetacijos pabaigoje, vnt. m⁻²

Fig. 1. The influence of herbicide application on winter wheat density in autumn at the end of the growing season, number m⁻²

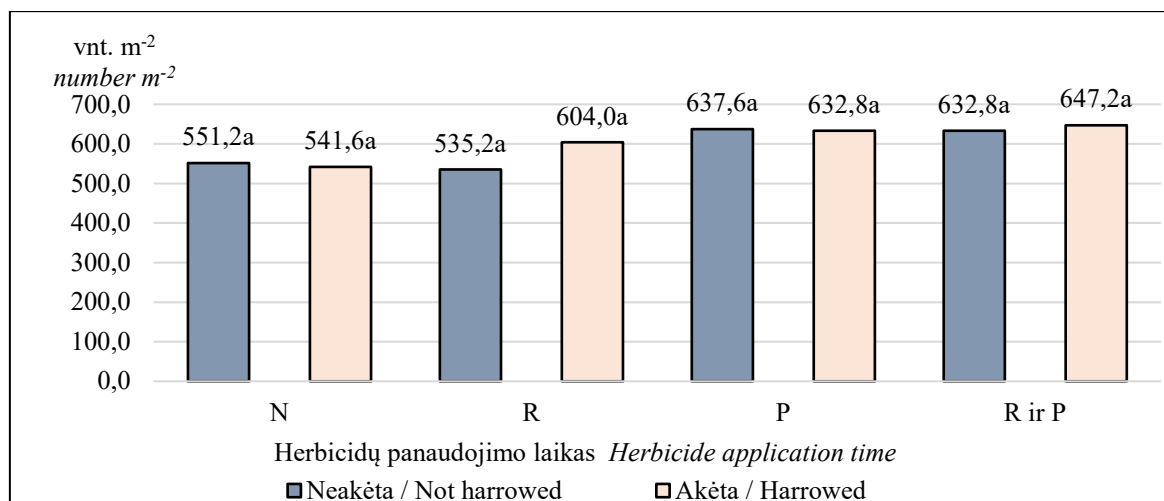
Pastaba: variantų vidurkiai, neturintys bendrų raidžių, esmingai skiriasi prie 95 % tikimybės lygmens. Variantai: N – nenaudoti herbicidai; R – purkšta rudenį; P – purkšta pavasarį; R ir P – purkšta rudenį ir pavasarį. Variantai, kurie pažymėti žvaigždute (*), reiškia, kad herbicidai tuo metu nebuvo naudoti.

Note: Means of treatments that do not have letters in common are significantly different at the 95% probability level. Treatments: N – no herbicides used; R – spray in fall; P – spray in spring; R and P – spray in fall and spring. Variants marked with an asterisk (*) mean that herbicides were not used at that time.

Taigi, remiantis anksčiau išvardytomis rekomendacijomis galima teigti, kad pasėlio tankumas rudenį buvo suformuotas optimalus.

Žieminių kviečių produktyvių stiebų skaičius prieš derliaus nuėmimą yra vienas iš derliaus struktūros elementų, kuris nulemia derlingumą. Eksperimente prieš derliaus nuėmimą buvo atlikta pasėlio tankumo apskaita. Visų variantų laukeliuose buvo apskaičiuotas produktyvių stiebų skaičius kvadratiniam metre. Kaip matyti laukeliuose, produktyvių stiebų skaičius prieš derliaus nuėmimą svyravo nuo 535,2 iki 647,2 vnt. m⁻² (2 pav.). Nors pasėlių tankumas laukeliuose skyrėsi, tačiau dėl didesnės variacijos pakartojimuose esminių skirtumų nenustatyta. Galima pastebėti, kad nepurkštuose ir iš rudens purkštuose, bet pavasarį neakėtuose laukeliuose, žieminių kviečių pasėlyje susiformavo mažiausias kiekis produktyvių stiebų ir svyravo 535,2–551,2 vnt. m⁻² ribose. Kituose laukeliuose žieminių kviečių produktyvių stiebų kiekis buvo didesnis ir svyravo 604,0–647,2 vnt. m⁻² ribose.

Panašus tyrimas buvo atliktas Kanadoje, kurio rezultatai panašūs į šio eksperimento duomenis. Nustatyta, kad purškiant herbicidus tik iš rudens, žieminių kviečių produktyvių stiebų skaičius buvo mažesnis ir siekė 652 vnt. m⁻², o purškiant rudenį ir pavasarį esmingai didesnis ir siekė 687 vnt. m⁻² (Beres et al., 2010).



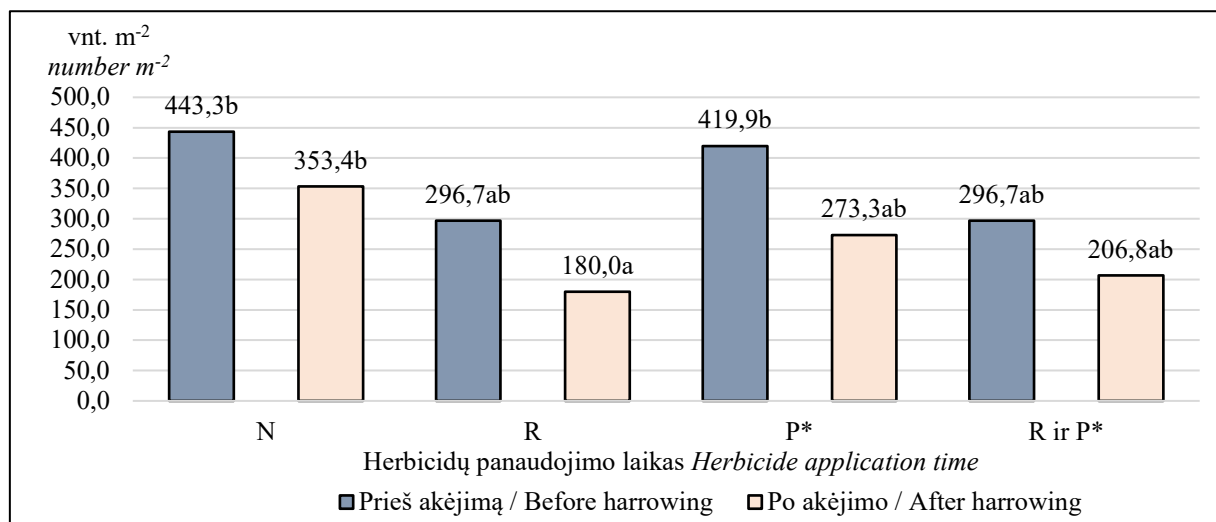
2 pav. Herbicidų panaudojimo įtaka žieminių kviečių produktyvių stiebų skaičiui prieš derliaus nuėmimą, vnt. m⁻²

Fig. 2. The influence of herbicide application on number of productive stems of winter wheat before harvest, number m⁻²

Pastaba: variantų vidurkiai, neturintys bendrų raidžių, esmingai skiriasi prie 95 % tikimybės lygmens. Variantai: N – nenaudoti herbicidai; R – purkšta rudenį; P – purkšta pavasarį; R ir P – purkšta rudenį ir pavasarį.

Note: Means of treatments that do not have letters in common are significantly different at the 95% probability level. Treatments: N – no herbicides used; R – spray in fall; P – spray in spring; R and P – spray in fall and spring.

Įvertinus bendrą pasėlio piktžolėtumą prieš ir po pasėlio akėjimo, laukeliuose nustatyti žymesni skirtumai (3 pav.). Paaiškėjo, kad akėjimas žieminių kviečių piktžolėtumą nepurkštuose (N) laukeliuose sumažino 1,3 karto, rudenį (R) purkštuose laukeliuose – 1,7 karto, pavasarinio (P) purškimo laukeliuose – 1,5, o laukeliuose, kuriuose purkšta rudenį ir buvo numatomas purškimas pavasarį (R ir P) – 1,4 karto. Taigi, įvertinus pasėlio piktžolėtumą pavasarį, galima pastebėti, kad geriausiai sukontroliuotos piktžolės laukeliuose, kuriuose buvo atliktas herbicidų purškimas rudenį (R; R ir P*), papildomai laukelius akėjant pavasarį.



3 pav. Herbicidų panaudojimo įtaka žieminių kviečių piktžolėtumui pavasarį, po pasėlių akėjimo, vnt. m⁻²

Fig. 3. Effect of herbicide application on weediness of winter wheat in the spring after crop harrowing, number m⁻²

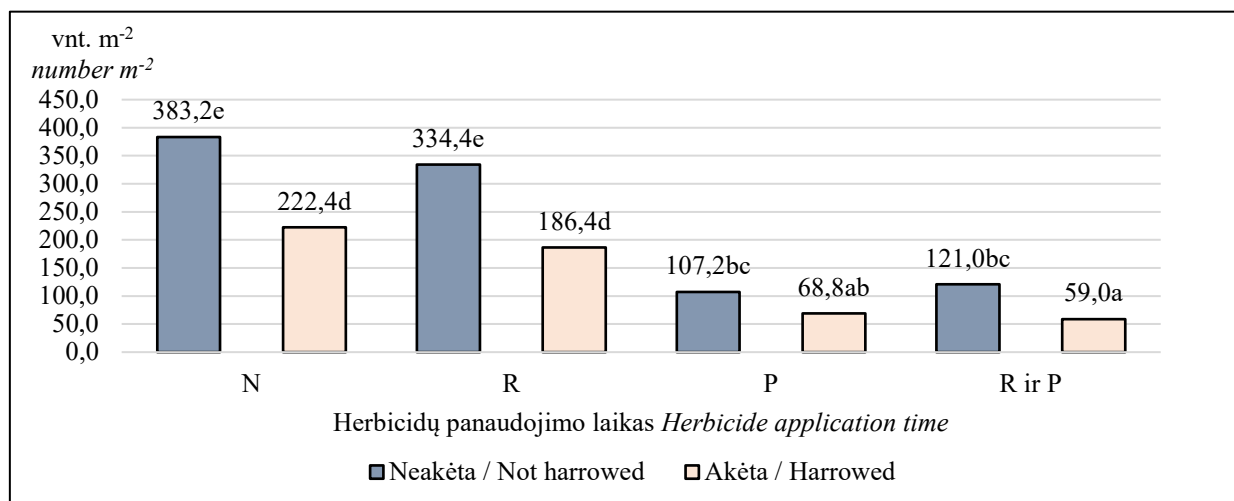
Pastaba: variantų vidurkiai, neturintys bendrų raidžių, esmingai skiriasi prie 95 % tikimybės lygmens. Variantai: N – nenaudoti herbicidai; R – purkšta rudenį; P – purkšta pavasarį; R ir P – purkšta rudenį ir pavasarį. Variantai, kurie pažymėti žvaigždute (*), reiškia, kad herbicidai tuo metu nebuvo naudoti.

Note: Means of treatments that do not have letters in common are significantly different at the 95% probability level. Treatments: N – no herbicides used; R – spray in fall; P – spray in spring; R and P – spray in fall and spring. Variants marked with an asterisk (*) mean that herbicides were not used at that time.

Remiantis Pannacci et al. (2017) 2007–2008 m. tyrimo duomenimis, net ir vienkartinis akėjimas turėjo reikšmingos įtakos pasėlio piktžolėtumo sumažėjimui, kuris sumažėjo nuo 46,0 iki 29,7 vnt. m⁻² arba 1,6 karto, lyginant su kontrole.

Įvertinus bendrą žieminių kviečių pasėlio piktžolėtumą prieš derliaus nuėmimą, buvo nustatyta esminių skirtumų (4 pav.). Esmingai didžiausias pasėlio piktžolėtumas nustatytas nepurkštuose bei tik rudenį herbicidais purkštuose laukeliuose, o esmingai mažiausias laukeliuose, kuriuose buvo naudojami herbicidai tik pavasarį (P) bei rudenį ir pavasarį (R ir P). Tai tiesioginės įtakos turėjo išplitusi dirvinė smilguolė, kadangi

rudeniui buvo naudojamas herbicidas, kuris kontroliavo tik dviskiltes piktžoles, o akėjimas sunaikino tik dalį piktžolių.



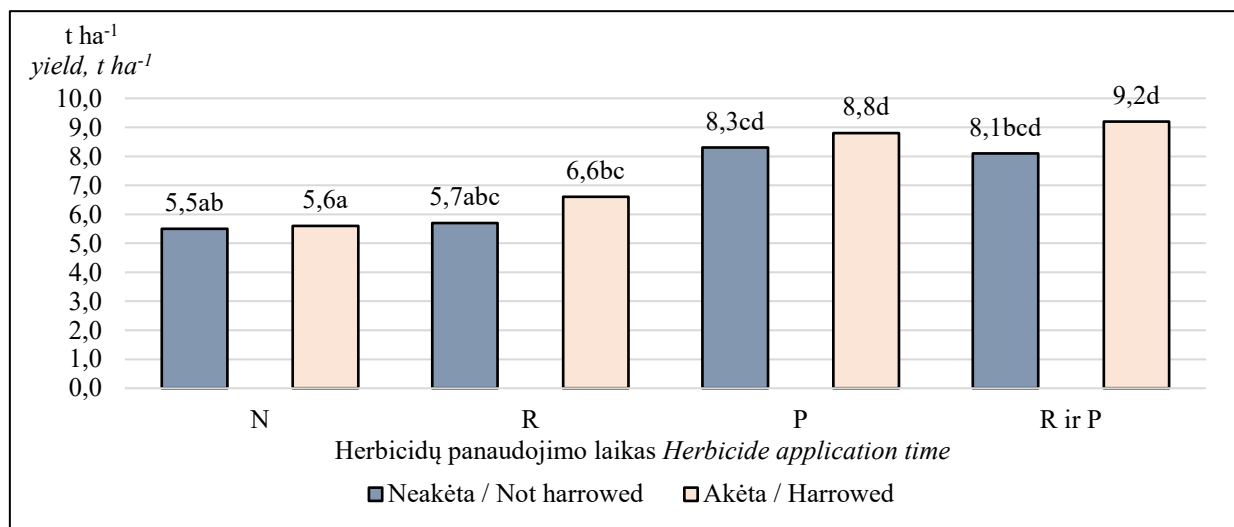
4 pav. Herbicidų panaudojimo laiko ir akėjimo įtaka žieminių kviečių pasėlio piktžolėtumui prieš derliaus nuėmimą, vnt. m⁻²

Fig. 4. Effect of herbicide application time and harrowing on weediness of winter wheat crop before harvest, number m⁻²

Pastaba: variantų vidurkiai, neturintys bendrų raidžių, esmingai skiriasi prie 95 % tikimybės lygmens. Variantai: N – nenaudoti herbicidai; R – purkšta rudeni; P – purkšta pavasari; R ir P – purkšta rudeni ir pavasari.

Note: Means of treatments that do not have letters in common are significantly different at the 95% probability level. Treatments: N – no herbicides used; R – spray in fall; P – spray in spring; R and P – spray in fall and spring

Analizuojant derlingumo rezultatus nustatyta, kad esmingai didesnis žieminių kviečių derlingumas gautas, kai pasėliai buvo purkšti herbicidais rudeni ir pavasari (8,1 t ha⁻¹) arba tik pavasari (8,3 t ha⁻¹) (5 pav.). Tų pačių variantų laukelius papildomai akėjant gautas derlingumas buvo dar didesnis – atitinkamai 9,2 ir 8,8 t ha⁻¹.



5 pav. Herbicidų panaudojimo laiko ir akėjimo įtaka žieminių kviečių grūdų derlingumui

Fig. 5. The influence of herbicide application timing and harrowing on winter wheat grain yield

Pastaba: variantų vidurkiai, neturintys bendrų raidžių, esmingai skiriasi prie 95 % tikimybės lygmens. Variantai: N – nenaudoti herbicidai; R – purkšta rudeni; P – purkšta pavasari; R ir P – purkšta rudeni ir pavasari.

Note: Means of treatments that do not have letters in common are significantly different at the 95% probability level. Treatments: N – no herbicides used; R – spray in fall; P – spray in spring; R and P – spray in fall and spring

Esmingai mažiausias žieminių kviečių grūdų derlingumas gautas pasėlius nepurškiant arba purškiant iš rudens ir naikinant tik dviskiltes piktžoles, atitinkamai 5,5 ir 5,7 t ha⁻¹. Remiantis Lacroix ir kt. (2022) tyrimo duomenimis, kontrolinio varianto laukeliuose, kuriuose nebuvo purkšta herbicidais ir neakėta, žieminių kviečių derlingumas siekė 8,0 t ha⁻¹. Tuo tarpu laukeliuose, nepurkštuose herbicidais, bet akėtuose vieną kartą, kviečių derlingumas siekė 8,3 t ha⁻¹, tačiau esminio skirtumo, lyginant su kontrole nenustatyta. Laukeliuose, kuriuose buvo naudoti herbicidai pavasari bei akėti vieną kartą, kviečių derlingumas buvo esmingai didesnis ir siekė 9,5 t ha⁻¹.

Priešingai nei šio tyrimo duomenys, Naruhn ir kt. (2021) atliko tyrimus 2018 m. Reningene ir 2019 m. Odenheime, Vokietijoje. Kontroliniuose laukeliuose, kurie nebuvo akėti ir nepurškšti herbicidais, kviečių derlingumas siekė 4,1–6,0 Mg ha⁻¹ (t. y. 4,1–6,0 t ha⁻¹). Tuo tarpu laukeliuose, kurie buvo akėti, kviečių derlingumas svyravo nuo 4,8 iki 6,3 t ha⁻¹, o purškiant tik herbicidus – 5,8–6,0 t ha⁻¹. Tačiau, lyginant su kontrole, tarp šių taikytų priemonių esminių skirtumų nenustatyta.

Išvados

1. Didžiausias žieminių kviečių tankumas 1100,4 vnt. m⁻² nustatytas laukeliuose, kurie buvo purškšti iš rudens ir planuojamas purškimas pavasarį (R ir P*). Tačiau pasėlio tankumas prieš derliaus nuėmimą esmingai nesiskyrė. Nustatyta, kad nepurkštuose ir iš rudens purkštuose, bet pavasarį neakėtuose laukeliuose žieminių kviečių pasėlyje susiformavo mažiausias kiekis produktyvių stiebų ir svyravo 535,2–551,2 vnt. m⁻² ribose. Kituose laukeliuose žieminių kviečių produktyvių stiebų kiekis buvo didesnis ir svyravo 604,0–647,2 vnt. m⁻² ribose.
2. Žieminių kviečių pasėlio piktžolėtumas pavasarį nustatytas mažiausias laukeliuose, kuriuose buvo atliktas herbicidų purškimas rudenį (R; R ir P*), papildomai juos akėjant pavasarį. Herbicidų panaudojimo laikas turėjo esminės įtakos pasėlio piktžolėtumui. Efektyviausia naudoti herbicidus pavasarį arba rudenį ir pavasarį. Žymiai mažesnį efektyvumą pasėlio piktžolėtumui turi herbicidų naudojimas tik rudenį, kai kontroliuojamos tik dviskiltės piktžolės.
3. Esmingai didesnis žieminių kviečių derlingumas gautas, pasėlius purškiant herbicidais rudenį ir pavasarį (8,1 t ha⁻¹) arba tik pavasarį (8,3 t ha⁻¹). Šių variantų laukelius papildomai akėjant gautas derlingumas buvo esmingai didžiausias – atitinkamai 9,2 ir 8,8 t ha⁻¹. Esmingai mažiausias žieminių kviečių grūdų derlingumas gautas pasėlius nepurškiant arba purškiant tik iš rudens ir naikinant tik dviskiltes piktžoles, atitinkamai 5,5 ir 5,7 t ha⁻¹.

Literatūra

1. Beres, B. L., Clayton, G. W., Harker, K. N., Stevenson, F. C., Blackshaw, R. E., Graf, R. J. (2010). A sustainable management package to improve winter wheat production and competition with weeds. *Agronomy Journal*, Vol. 102(2), 649–657. <https://doi.org/10.2134/agronj2009.0336>
2. Berge, T. W., Urdal, F., Torp, T., Andreassen, C. (2023). A Sensor-Based Decision Model for Precision Weed Harrowing. *Agronomy*, Vol. 14(1), 88. <https://doi.org/10.3390/agronomy14010088>
3. Duchovskis, P., Vagusevičienė, I., Romanecas, K., Liakas, V., Uselis, N., Kriauciūnienė, Z., Kadžiulienė, Ž., Jankauskienė, J. (2024). *Augalų produktyvumas*. Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centras, VDU Žemės ūkio akademija. https://lammc.lt/data/public/uploads/2025/01/2024_augalu_produktyvumas.pdf
4. Flessner, M. L., Burke, I. C., Dille, J. A., Everman, W. J., Vangessel, M. J., Tidemann, B., Manuchehri, M. R., Soltani, N., Sikkema, P. H. (2021). Potential wheat yield loss due to weeds in the United States and Canada. *Weed Technology*, Vol. 35(6), 916–923. <https://doi.org/10.1017/wet.2021.78>
5. Lacroix, C., Vandenbergh, C., Pierreux, J., Gêruset, G., Dumont, B. (2022). *Combining chemical and mechanical weeding in wheat*. In 19th European Weed Research Society Symposium, 23 June 2022, Athènes, Greece. <https://hdl.handle.net/2268/301390>
6. Naruhn, G. P., Peteinatos, G. G., Butz, A. F., Möller, K., Gerhards, R. (2021). Efficacy of various mechanical weeding methods – single and in combination – in terms of different field conditions and weed densities. *Agronomy*, Vol. 11(10), 2084. <https://doi.org/10.3390/agronomy11102084>
7. Pannacci, E., Tei, F., Guiducci, M. (2017). Mechanical weed control in organic winter wheat. *Italian Journal of Agronomy*, Vol. 12(4), 900. <https://doi.org/10.4081/ija.2017.900>
8. Roslim, M. H. M., Juraimi, A. S., Che'Ya, N. N., Sulaiman, N., Manaf, M. N. H. A., Ramli, Z., and Motmainna, M. (2021). Using remote sensing and an unmanned aerial system for weed management in agricultural crops: A review. *Agronomy*, 11(9), 1809. <https://doi.org/10.3390/agronomy11091809>
9. Sanbagavalli, S., Jeeva, M., Somasundaram, E. (2020). Eco-friendly weed management options for organic farming: A review. *Pharma Innovation*, Vol. 9(11), 15–18. <https://doi.org/10.22271/tpi.2020.v9.i11Sa.5350>
10. Šiuliauskas, A. A. (2015). *Praktinė augalininkystė. Javai ir rapsai*. Vilnius.

Lukas Aukselis, Darija Jodaugienė

Effect of Herbicide Application Time and Harrowing on Winter Wheat Crop

As the climate changes, weed conditions become more favorable in the fall and spring, making it more difficult to control them, and many weeds eventually become resistant to herbicides. In search of sustainable solutions, one of the effective measures to reduce crop weediness can be crop harrowing. In 2023–2024, research was carried out on the farm of farmer Algirdas Aukselis, Joniškis district. A two-factor experiment was set up: Factor A – timing of herbicide application: 1) not

used 2) fall 3) spring 4) fall and spring and factor B – crop harrowing: 1) not harrowed and 2) harrowed. Research has shown that the timing of herbicide application did not have a significant effect on crop density, but it significantly affected weediness, similar to harrowing. The highest winter wheat yields were obtained when crops were sprayed in fall and spring (8.1 t ha^{-1}) or only in spring (8.3 t ha^{-1}). When the fields of the same treatments were additionally harrowed, the yield was even higher - 9.2 and 8.8 t ha^{-1} , respectively.

Keywords: *Triticum aestivum* L., herbicide, crop harrowing, productivity, weediness.

Gauta 2025 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2025 m. balandžio mėn.

Lukas AUKSELIS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Agronomijos fakulteto Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedra, II studijų pakopos studentas. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r., el. paštas: lukas.aukselis@vdu.lt

Lukas AUKSELIS. Vytautas Magnus University, Agriculture Academy, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Sciences, Msc. student. Address: Studentų str. 11, LT-53361 Akademija, Kaunas dist., e-mail: lukas.aukselis@vdu.lt

Darija JODAUGIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Agronomijos fakulteto Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedra, docentė. Adresas: Studentų g. 11, LT-53362 Akademija, Kauno r., el. paštas: darija.jodaugiene@vdu.lt

Darija JODAUGIENĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Sciences, assoc. prof. Address: Studentų str. 11, LT-53361 Akademija, Kaunas dist., e-mail: darija.jodaugiene@vdu.lt

FUSARIUM GENTIES GRYBAI, IŠSKIRTI IŠ LIETUVOS VANDENS TELKINIuose GYVENANČIŲ VĖŽIŲ

Simas Kasputis^{1,2}, Jurgita Švedienė², Vita Raudonienė², Algimantas Paškevičius², Gintautas Vaitonis²

¹Vilniaus universiteto Gyvybės mokslų centras, ²Valstybinis mokslinių tyrimų institutas Gamtos tyrimų centras

Grybai yra viena iš pagrindinių daugelio ekosistemų dalių, tačiau jų vaidmuo vandens ekosistemose vis dar menkai ištirtas. Naujausi tyrimai rodo, kad kai kurios mikroskopinių vandens grybų rūšys gali turėti tiek teigiamą, tiek neigiamą poveikį ekosistemų organizmams. Todėl mikroskopiniai grybai, susidarius tam tikroms sąlygoms, gali tapti oportunistiniais patogenais ir kelti grėsmę vandens gyvūnų, įskaitant vėžių, populiacijoms. *Fusarium* Link 1809, genties grybai plačiai paplitę dirvožemyje, augaluose, taip pat yra aptinkami ir vandens telkiniuose. Šios genties grybai gamina mikotoksinus, kurie gali pažeisti kepenis, raumenis ir kitas gyvybiškai svarbias organų sistemas. *Fusarium* spp. gebėjimas sukelti ligas gyvūnams, įskaitant vandenį gyvenančius, rodo potencialią jų riziką vandens ekosistemoms, tačiau jų įtaka vėžiams nėra išsamiai ištirta. Šio tyrimo metu analizuojami *Fusarium* spp. genties grybai, galintys sukelti ligas Lietuvos gėlavandeniuose vandens telkiniuose gyvenantiems vėžiams: *Astacus astacus* (plačiažnypliui vėžiui), *Pontastacus leptodactylus* (siauriažnypliui vėžiui) ir invazinėms rūšims – *Faxonius limosus* (rainuotajam vėžiui) bei *Pacifastacus leniusculus* (žymėtajam vėžiui). Tyrimas svarbus, nes duomenų apie mikroskopinių grybų sukeltas ligas Lietuvoje gyvenantiems vėžiams yra nedaug. Taip pat šie rezultatai galėtų prisidėti prie naujų žinių apie mikroskopinių grybų įvairovę ir paplitimą bei galimą jų poveikį vėžių populiacijoms.

Raktiniai žodžiai: *Fusarium*, vėžiai, mikroskopiniai grybai, bioįvairovė.

Įvadas

Mikroskopiniai grybai labai įvairūs tiek filogenetine prasme, tiek savo funkcinio vaidmeniu daugelyje ekosistemų – nuo alpių ežerų iki gilių vandenynų. Tačiau vandens ekosistemos retai pastebimos kaip galimos mikroskopinių grybų buveinės, nors grybai atlieka svarbų vaidmenį organinių medžiagų cikle ir maisto grandinėse (Grossart et al., 2019). Grybai gali sukelti ligas įvairiems gyvūnams esant tam tikroms sąlygoms: organizmui nusilpus, susilpnėjus imuniniam atsakui ar patiriant stresą. Ne išimtis ir vėžiagyviai. Literatūroje esama duomenų, jog vėžiams susirgus, susilpnėjus jų imunitetui, dažniausiai pažeidžiami organai yra kepenys ir raumenys (Noga, 2021). Iki šiol atlikta daugybė tyrimų, tiriančių galimai patogeninius mikroorganizmus vėžiuose (Bateman & Stentiford, 2017; Longshaw, 2011), tačiau tyrimų, susijusių su mikroskopiniais grybais, palyginti nedaug (Svoboda et al., 2017; Jussila et al., 2014). Remiantis literatūros duomenimis, daugelis mikroorganizmų, kurie buvo išskiriami iš vėžių, nebuvo nuodugnai tiriami. Nustačius vėžiams ligas sukeliančias mikroskopinių grybų rūšis, būtų galima lengviau įvertinti jų poveikį populiacijoms ir taikyti prevencines priemones jų apsaugai.

Fusarium (Nectriaceae, Hypocreales, Ascomycota) yra svarbi ir gerai žinoma grybų gentis, kurią sudaro daug filogenetiškai įvairių ir plačiai paplitusių grybų rūšių, kurių taksonomija yra sudėtinga ir neišspręsta. Šiuo metu žinoma daugiau nei 300 filogenetiškai skirtingų *Fusarium* genties rūšių, kurių, manoma, dar bent pusė nėra oficialiai aprašyta (O'Donnell et al., 2018). Šie grybai formuoja micelį, mikro- ir makrokonidijas, taip pat sudaro ir chlamidosporas, o kai kurios *Fusarium* rūšys turi teleomorfinę stadiją (Booth, 1971). Dažniausiai aptinkamos rūšys yra *Fusarium solani*, *F. oxysporum*, *F. equiseti* ir *F. chlamydosporum* (Chimbekujwo, 2000). Daugelis *Fusarium* genties grybų žinomi kaip augalų patogenai arba / ir mikotoksinų gamintojai (Leslie & Summerel, 2013; Lombard et al., 2019). Priklausomai nuo ekologinio konteksto, *Fusarium* genties rūšys gali būti endofitai, latentiniai augalų patogenai, dirvožemio saprofitai (Aoki et al., 2014) arba susiję su gyvūnų ir žmonių, ligomis (O'Donnell et al., 2010). Literatūroje esama duomenų, kad *Fusarium* spp. mikroskopiniai grybai gali sukelti melanizaciją ant vėžių egzoskeleto. Laukinėje gamtoje vėžių epidemijos retai tiriamos, tačiau akvakultūros stebėjimai rodo, kad infekcijos, kurias sukelia *Fusarium* spp., gali turėti įtakos ir laukinėms populiacijoms. Kadangi šiuo metu duomenų nėra daug, manoma, kad *Fusarium* spp., taip pat ir kiti grybai galimai gali kelti pavojų europiniams gėlavandeniams vėžiams (Evans, 2002). Literatūroje esama duomenų, jog *F. solani* sukelia krevečių (Lightner et al., 1975), dygliuotųjų omarų (McAleer, 1983) ir omarų (Alderman, 1985) ligas. Taip pat žinoma, kad *F. solani* sukelia infekcijas žmonėms – fuzariozes (Lugauskas ir kt., 2002; O'Donnell et al., 2010). Šio darbo tikslas – išskirti ir identifikuoti *Fusarium* genties grybus iš Lietuvos gėluosiuose vandenyse aptinkamų vėžių kepenų ir raumenų audinių.

Tyrimų metodika

Bendradarbiaujant su Hidrobiontų evoliucinės ekologijos laboratorija (Valstybinis mokslinių tyrimų institutas Gamtos tyrimų centras, Vilnius), tirti vėžiai buvo sugauti įvairiuose Lietuvos regionuose esančiuose vandens telkiniuose. Iš viso pagauti 27 vėžiai.

Mikroskopiniams grybams išskirti buvo naudojama PG-1 terpė: 1 g/L mielių ekstrakto, 5 g/L gliukozės, 10 mg/L oksolinės rūgšties, 1 g/L penicilino G, 12,0 g/L agarų, 1 litras vandens (Makkonen et al., 2013). Vanduo terpei gaminti buvo naudojamas iš vandens telkinių, kuriuose buvo pagauti vėžiai. Prieš preparuojant vėžiai buvo šaldomi -20 °C temperatūroje 1 valandą. Mikroskopiniai grybai buvo išskiriami iš plačiažnyplių, rainuotųjų, siauražnyplių, žymėtųjų vėžių kepenų ir raumenų audinių (visi vėžiai turėjo po 3 audinių pakartojimus). Kepenų ir raumenų audiniai, kurių dydis 0,5 × 0,5 cm, buvo dedami ant agarizuotos terpės (PG-1). Lėkštelės su pasėliais buvo laikomos termostate 16 °C temperatūroje 14 dienų. Grynų kultūrų mėginiai buvo kultivuojami ant agarizuotos bulvių dektrozės (PDA) terpės 5–7 dienas, esant 26 ± 1 °C temperatūrai termostate. Mikroskopinių grybų kultūros buvo identifikuojamos, fiksuojami makroskopiniai ir mikroskopiniai vaizdai.

Rezultatai ir aptarimas

Atlikus mikroskopinių grybų išskyrimą iš Lietuvos vandens telkiniuose gyvenančių vėžių (*Astacus astacus*, *Pacifastacus leniusculus*, *Pontastacus leptodactylus* ir *Faxonius limosus*) raumenų bei kepenų audinių nustatyta, kad *Fusarium* genties grybai buvo aptikti *A. astacus* ir *P. leniusculus* audiniuose.



A



B

1 pav. Mikroskopinių grybai, išskirti iš vėžių raumens audinio; A – *Astacus astacus*, B – *Pacifastacus leniusculus*

Fig. 1. Isolation of microscopic fungi of crayfish muscle tissue; A – *Astacus astacus*, B – *Pacifastacus leniusculus*

A. astacus raumenyse aptiktos dvi galimai skirtingos *Fusarium* genties rūšys, o kepenyse – viena rūšis. Tuo tarpu *P. leniusculus* raumenyse ir kepenyse identifikuota galimai po vieną *Fusarium* genties grybų rūšį. *A. leptodactylus* ir *F. limosus* tirtuose raumenų ir kepenų audiniuose *Fusarium* genties grybų nebuvo aptikta (2 pav.).



2 pav. *Fusarium* genties grybų rūšių skaičius tirtuose vėžių audiniuose

Fig. 2. *Fusarium* genus species number in the examined crayfish tissues

Literatūroje esama duomenų, kad *Fusarium* spp. mikroskopiniai grybai gali sukelti melanizacijas ant egzoskeleto tiek gėlavandenyse, tiek jūriniuose vėžiagyviuose (Makkonen et al., 2013). Žinoma, kad dėl šios priežasties gali atsirasti infekcijos, kurios dažniausiai pažeidžia žiaunas ir egzoskeletą (Chinain & Vey, 1988).

Tyrimo metu buvo įdentifikuotos dvi *Fusarium* genties rūšys – *F. oxysporum* ir *F. sporotrichioides*. *F. oxysporum* buvo išskirtas iš *A. astacus* raumens audinių ir *F. sporotrichioides*, kuris buvo išskirtas iš *P. leniusculus* raumens audinių. Kiti *Fusarium* genties grybai, išskirti iš tirtų vėžių kepenų ir raumenų audinių, remiantis mikromorfologinėmis savybėmis, kol kas jokiai rūšiai nėra priskirti.

F. oxysporum grybai yra plačiai paplitę pasaulyje. Kai kurie šios genties grybų atstovai gali būti žmonių ir gyvūnų patogenai (Fourie et al., 2010). Grybų kolonijos ant bulvių dekstozės terpės, esant 25 °C, per 4 dienas pasiekia 30–55 mm dydį. Micelis orinis, vatos pavidalo, spalva balkšva arba persiko spalvos, dažniausiai su purpuriniu, rožiniu atspalviu (3 pav., A). Šis grybas formuoja mikro ir makro konidijas, makrokonidijos septuotos, lenktos (3 pav., B).

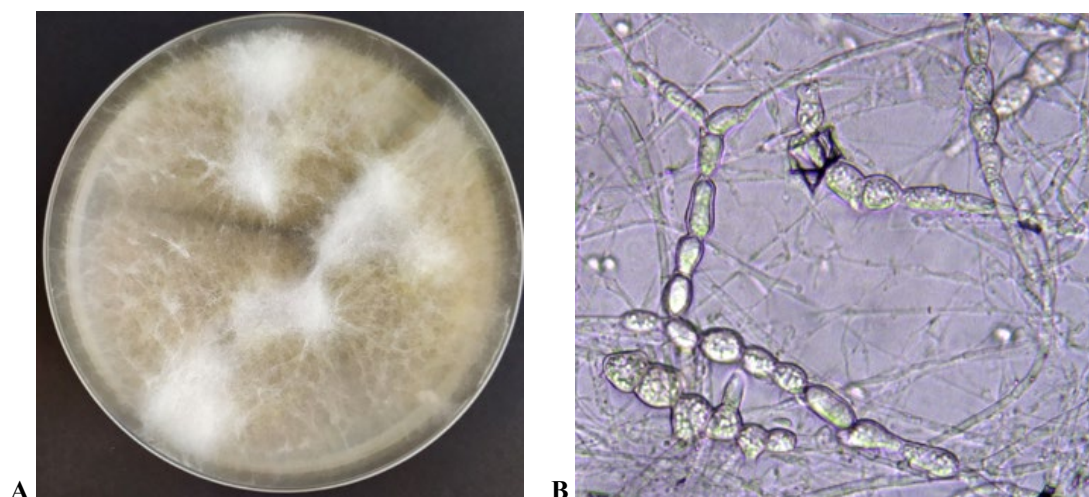


3 pav. *Fusarium oxysporum* kolonijų makro- (A) ir mikrovaizdas (B)

Fig. 3. Macro (A) and micro (B) view of the *Fusarium oxysporum* colonies

Pastebėta, kad *F. oxysporum* išskiria mikotoksinus, geba augti ir anaerobinėmis sąlygomis (Samson et al., 2019). Žinoma, kad *F. oxysporum* gali sukelti „black gill disease“ ligą ir taip mažinti vėžių populiacijas Turkijoje esančiuose ežeruose (Tastan & Çağatay, 2022).

F. sporotrichioides rūšies grybai yra paplitę tropiniuose ir vidutinio klimato regionuose, žinomi dėl savo patogeniškumo augalams ir gebėjimo gaminti toksiškus antrinius metabolitus (Leslie, 2013). Grybų micelis orinis, kolonijos augimo pradžioje dažnai būna baltos, tačiau vėliau tampa geltonos, raudonai rudos, rožinės ar violetinės spalvos (4 pav., A). Šie mikroskopiniai grybai formuoja mikro ar makro konidijas, taip pat ir chalmidosporas (4 pav., B).



4 pav. *Fusarium sporotrichioides* kolonijų makro- (A) ir mikropaizdas (B)

Fig. 4. Macro (A) and micro (B) view of the *Fusarium sporotrichioides* colonies

F. sporotrichioides gamina mikotoksinus, tokius kaip T-2 ir HT-2, kurie yra toksiški žmonėms ir gyvūnams. Šie toksinai silpnina imuninę sistemą, gali sukelti įvairius sveikatos sutrikimus, įskaitant pykinimą ir kraujotakos sutrikimus (Chelkowski, 2014; Leslie et al., 2013).

Tyrimo metu buvo išskirtos dar 3 *Fusarium* genčiai priklausančios grybų rūšys, tačiau nustatyti tikslų rūšių kol kas nepavyko, todėl bus atliekami detalesni molekuliniai tyrimai.

Išvados

1. Iš Lietuvos vandens telkiniuose gyvenančių vėžių *A. astacus* ir *P. leniusculus* kepenų ir raumenų audinių buvo išskirti 5 *Fusarium* genties grybai.
2. Identifikuotos dvi *Fusarium* genties rūšys □ *F. oxysporum* rastas *A. astacus* raumens audinyje bei *F. sporotrichioides* □ *P. leniusculus* raumens audinyje.
3. Tyrimo metu buvo išskirtos dar 3 *Fusarium* genčiai priklausančios grybų rūšys, tačiau nustatyti tikslų rūšių nepavyko, todėl bus atliekami molekuliniai detalesni tyrimai.

Literatūra

1. Alderman, D. J., & Polglase, J. L. (1985). Disinfection for crayfish plague. *Aquaculture Research*, 16, 203–205. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.1985.tb00307.x>
2. Aoki, T., O'Donnell, K., & Geiser, D. M. (2014). Systematics of key phytopathogenic *Fusarium* species: current status and future challenges. *Journal of General Plant Pathology*, 80, 189–201.
3. Bateman, K. S., & Stentiford, G. D. (2017). A taxonomic review of viruses infecting crustaceans with an emphasis on wild hosts. *Journal of Invertebrate Pathology*, 147, 86–110. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2017.01.010>
4. Booth, C. (1971). *The genus Fusarium*. Kew, UK: Commonwealth Mycological Institute, 237.
5. Chelkowski, J. (ed.). (2014). *Fusarium: Mycotoxins, Taxonomy, Pathogenicity* (Vol. 2). Elsevier.
6. Chimbekujwo, I. B. (2000). Frequency and pathogenicity of fusarium wilts (*Fusarium solani* and *Fusarium equiseti*) of cotton (*Gossypium hirsutum*) in Adamawa in Nigeria. *Revista de Biología Tropical*, 48(1), 01–05.
7. Chinain, M., & Vey, A. (1988). Experimental study of *Fusarium solani*: infections in *Astacus leptodactylus* and *Pacifastacus leniusculus* (Crustacea, Decapoda). *Diseases of Aquatic Organisms*, 5(3), 215–223.
8. Evans, L. H., & Edgerton, B. F. (2002). Pathogens, parasites and commensals. In D. M. Holdich (ed.), *Biology of freshwater crayfish* (pp. 377–438). Blackwell Science.
9. Fourie, G., Steenkamp, E. T., Ploetz, R. C., Gordon, T. R., & Viljoen, A. (2011). Current status of the taxonomic position of *Fusarium oxysporum* formae specialis cubense within the *Fusarium oxysporum* complex. *Infection, Genetics and Evolution*, 11(3), 533–542.
10. Grossart, H. P., Van den Wyngaert, S., Kagami, M., Wurzbacher, C., Cunliffe, M., Rojas-Jimenez, K. (2019). Fungi in aquatic ecosystems. *Nature Reviews Microbiology*, 17(6), 339–354.
11. Jussila, J., Makkonen, J., Vainikka, A., Kortet, R., & Kokko, H. (2014). Crayfish plague dilemma: How to be a courteous killer? *Boreal Env. Philosophy and Phenomenological Research*, 19, 235–244.
12. Leslie, J. F., & Summerell, B. A. (2013). *An overview of Fusarium*. *Fusarium*, 1.

13. Lightner, D. V., Fontaine, C. T., & Hanks, K. (1975). March. Some Forms of Gill Disease in Penaeid Shrimp 1. In *Proceedings of the annual meeting-World Mariculture Society*, Vol. 6, No. 1–4, 347–365. Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd.
14. Lombard, L., Sandoval-Denis, M., Lamprecht, S. C., & Crous, P. W. (2019). Epitypification of *Fusarium oxysporum*—clearing the taxonomic chaos. *Persoonia-Molecular Phylogeny and Evolution of Fungi*, 43(1), 1–47.
15. Longshaw, M. (2011). Diseases of crayfish: A review. *Journal of Invertebrate*.
16. Lugauskas, A., Paškevičius, A., Repečkienė, J. (2002). *Patogeniški ir toksiški mikroorganizmai žmogaus aplinkoje*. Vilnius: Aldorija, 168–180.
17. Makkonen, J., Jussila, J., Koistinen, L., Paaver, T., Hurt, M., & Kokko, H. (2013). *Fusarium avenaceum* causes burn spot disease syndrome in noble crayfish (*Astacus astacus*). *Journal of invertebrate pathology*, 113(2), 184–190.
18. Makkonen, J., Jussila, J., Koistinen, L., Paaver, T., Hurt, M., & Kokko, H. (2013). *Fusarium avenaceum* causes burn spot disease syndrome in noble crayfish (*Astacus astacus*). *Journal of invertebrate pathology*, 113(2), 184–190.
19. McAleer, R. (1983). *Black shell disease of the western rock lobster caused by Fusarium solani*.
20. Noga, E. J. (2021). Fungal diseases of marine and estuarine fishes. In *Pathobiology of marine and estuarine organisms*. CRC Press, 85–10.
21. O'Donnell, K., McCormick, S. P., Busman, M., Proctor, R. H., Ward, T. J., Doehring, G., ... & Rheeder, J. P. (2018). Marasas et al. 1984 “Toxigenic *Fusarium* species: identity and mycotoxicology” revisited. *Mycologia*, 110(6), 1058–1080.
22. O'Donnell, K., Sutton, D. A., Rinaldi, M. G., Sarver, B. A., Balajee, S. A., Schroers, H. J., ... & Geiser, D. M. (2010). Internet-accessible DNA sequence database for identifying fusaria from human and animal infections. *Journal of Clinical Microbiology*, 48(10), 3708–3718.
23. Samson, R. A., Houbbraken, J., Thrane, U., Frisvad, J. C., & Andersen, B. (2019). *Food and indoor fungi*. Westerdijk Fungal Biodiversity Institute.
24. Svoboda, J., Mrugała, A., Kozubíková-Balcarová, E., & Petrusek, A. (2017). Hosts and transmission of the crayfish plague pathogen *Aphanomyces astaci*: A review. *Journal of Fish Diseases*, 40(1), 127–140. <https://doi.org/10.1111/jfd.12472>
25. Taştan, Y., & Çağatay, İ. T. (2022). *Fusarium oxysporum* causes black gill disease in narrow-clawed crayfish *Pontastacus leptodactylus*. *Diseases of aquatic organisms*, 148, 19–27.

Simas Kasputis, Jurgita Švedienė, Vita Raudonienė, Algimantas Paškevičius, Gintautas Vaitonis

***Fusarium* Genus Fungi Isolated from Crayfishes Living in Lithuanian Water Bodies**

Fungi are a key part of ecosystems, but their role in aquatic ecosystems is still poorly understood. Recent studies suggest that some species of microscopic aquatic fungi can have both positive and negative effects on ecosystem organisms. Therefore, under certain conditions, microscopic fungi can become opportunistic pathogens and pose a threat to aquatic animal populations, including crayfish. *Fusarium* Link 1809, a genus of fungi widely distributed in soil and plants, is also found in water bodies. Fungi of this genus produce mycotoxins that can damage the liver, muscles and other vital organ systems. The ability of *Fusarium* spp. to cause infections in animals, including fish, demonstrates their potential risk to aquatic ecosystems, but their impact on crayfish has not yet been fully studied. This study analyzed microscopic *Fusarium* spp. fungi of the genus that can potentially cause diseases in Lithuanian freshwater crayfish: European crayfish (*Astacus astacus*), narrow-clawed crayfish (*Pontastacus leptodactylus*), and invasive species – spinycheek crayfish (*Faxonius limosus*) and signal crayfish (*Pacifastacus leniusculus*). The study is important because there is little data on diseases caused by microscopic fungi in crayfish living in Lithuania. These results could contribute to new knowledge about the diversity of microscopic fungi and their potential impact on crayfish populations.

Keywords: *Fusarium*, crayfish, microscopic fungi, biodiversity.

Gauta 2024 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2024 m. balandžio mėn.

Simas KASPUTIS. Vilniaus universiteto Gyvybės mokslų centro Biomokslų instituto magistrantas. Adresas: Saulėtekio al. 7, LT10257 Vilnius, tel. +370 527 96640, el. paštas: kasputis.simas@gmail.com.

Simas KASPUTIS. Vilnius university Life Science Center Bioscience institute, master. Address: Saulėtekio al. 7, LT10257 Vilnius. Phone: +370 527 96640, e-mail: kasputis.simas@gmail.com.

Jurgita ŠVEDIENĖ. Valstybinis mokslinių tyrimų instituto Gamtos tyrimų centro Biodestruktorių tyrimo laboratorijos biomedicinos mokslų daktarė. Adresas: Akademijos g. 2, LT-08412 Vilnius, tel. +370 527 96640, el. paštas: jurgita.svediene@gamtc.lt.

Jurgita ŠVEDIENĖ. Nature Research Centre, Laboratory of Biodeterioration Research, doctor of biomedicine sciences. Address: Akademijos str. 2, LT-08412 Vilnius. Phone: +370 527 96640, e-mail: jurgita.svediene@gamtc.lt.

Vita RAUDONIENĖ. Valstybinis mokslinių tyrimų instituto Gamtos tyrimų centro Biodestruktorių tyrimo laboratorijos biomedicinos mokslų daktarė. Adresas: Akademijos g. 2, LT-08412 Vilnius, tel. +370 527 96640, el. pastas: vita.raudoniene@gamtc.lt

Vita RAUDONIENĖ. Nature Research Centre Laboratory of Biodeterioration Research, doctor of biomedicine sciences. Address: Akademijos str. 2-2, LT-08412 Vilnius. Phone: +370 527 96640, e-mail: vita.raudoniene@gamtc.lt

Algimantas PAŠKEVIČIUS. Valstybinis mokslinių tyrimų instituto Gamtos tyrimų centro Biodestruktorių tyrimo laboratorijos biomedicinos mokslų daktaras. Adresas: Akademijos g. 2, LT-08412 Vilnius, tel. +370 527 11723, el. paštas: algimantas.paskevicius@gamtc.lt.

Algimantas PAŠKEVIČIUS. Nature Research Centre, Laboratory of Biodeterioration Research, doctor of biomedicine sciences. Address: Akademijos str. 2, LT-08412 Vilnius. Phone: +370 527 11723, e-mail: algimantas.paskevicius@gamtc.lt.

Gintautas VAITONIS. Valstybinis mokslinių tyrimų instituto Gamtos tyrimų centro Hidrobiotų evoliucinės ekologijos laboratorija, biomedicinos mokslų daktaras. Adresas: Akademijos g. 2, LT-08412 Vilnius, tel. +370 699 58301, el. paštas: gintautas.vaitonis@gamtc.lt

Gintautas VAITONIS. Nature Research Centre Laboratory of evolutionary ecology of hydrobionts. Address: Akademijos str. 2, LT-08412 Vilnius. Phone: +370 699 58301, e-mail: gintautas.vaitonis@gamtc.lt

SKIRTINGO ŽEMĖS DIRBIMO POVEIKIS ŽIEMINIŲ KVIEČIŲ PASĖLIUI

Ieva Banytė, Darija Jodaugienė, Vaclovas Bogužas

Vytauto Didžiojo universitetas

Skirtingo žemės dirbimo (gilaus ir seklaus arimo, gilaus ir seklaus purenimo ir tiesioginės sėjos į neįdirbtą dirvą) tyrimai atlikti 2024 m. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Bandymų stoties laukuose ilgalaikiame eksperimente, siekiant nustatyti jo poveikį žieminių kviečių pasėliui. Atlikti tyrimai parodė, kad gilų arimą pakeitus tiesiogine sėja į neįdirbtą dirvą esmingai sumažėjo žieminių kviečių sudygimas, pasėlio tankumas augalų vegetacijos pabaigoje rudenį, taip pat antžeminės dalies bei šaknų žalioji masė. Žieminių kviečių antžeminės dalies sausųjų medžiagų masė nustatyta esmingai mažesnė taikant gilų ir seklių purenimą bei tiesioginę sėją, o šaknų sausųjų medžiagų masė – taikant gilų purenimą ir tiesioginę sėją. Tuo tarpu sekliai artoje dirvoje augalų šaknų sausųjų medžiagų masė nustatyta esmingai (20,7 proc.) didesnė. Žemės dirbimo supaprastinimas ir tiesioginės sėjos taikymas turėjo esminės įtakos azoto kiekiui žieminių kviečių lapuose ir NDGI.

Raktiniai žodžiai: žieminiai kviečiai, skirtingas žemės dirbimas, tiesioginė sėja į neįdirbtą dirvą, pasėlio tankumas, NDGI.

Įvadas

Kviečiai (*Triticum* L.) yra vieni iš labiausiai paplitusių grūdinių augalų pasaulyje ir prognozuojama, kad jų auginimas iki 2026 m. išaugs dar 11 proc. (Romano et al., 2023). Kviečių auginimas užima trečią vietą po ryžių ir kukurūzų. Kviečiai pasižymi aukšta maistine verte ir ekonominiu prieinamumu, todėl jie sudaro svarbią daugelio žmonių mitybos dalį (Miransari, Smith, 2019). Dirvožemis yra svarbiausias aplinkos veiksnys, darantis įtaką kviečių augimui. Tinkamas dirvožemio, vandens, trąšų, oro, temperatūros lygis ir tam tikros savybės yra labai svarbios siekiant didelio kviečių derliaus. Būtent šiems veiksniams didelį poveikį turi skirtingi žemės dirbimo būdai (Liu et al., 2025).

Žemės dirbimas yra pagrindinė agrotechninė priemonė, kurios tikslas yra sudaryti optimalias sąlygas sėklų dygimui ir šaknų vystymuisi, augalų daigų augimui ir augalų vystymuisi (Bogužas, 2014; Angon et al., 2023). Žemės dirbimu siekiama įterpti organines bei mineralines trąšas ir augalines liekanas, pagerinti dirvožemio aeraciją, išlyginti arba sutankinti dirvos paviršių ir suformuoti gerą dirvožemio struktūrą, sudaryti palankų drėgmės ir šilumos režimą, pagyvinti mikrofloros veiklą, sumažinti kenkėjų ir ligų gausumą, sunaikinti piktžolės ir suformuoti sėklos guolį (Sinkevičienė, 2022).

Gilus arimas verstuviniu plūgu yra pats sunkiausias ir brangiausias žemės dirbimo būdas. Ariant 1 hektarą neskustos dirvos 25 cm gyliu reikia apversti apie 3 500 tonų žemės. Šio darbo atlikimui verstuvininiais plūgais 1 ha sunaudojami 166 megadžauliai (MJ) energijos. Tuo tarpu supaprastinus žemės dirbimą ir dirvą purenant, reikia 93 MJ (sutaupoma net 73 MJ energijos). Taikant tiesioginę sėją energijos sąnaudos dar labiau sumažėja iki 53 MJ. Taigi ariant sunaudojama daugiau energijos nei kartu sudėjus supaprastintą žemės dirbimą ir tiesioginę sėją (Špokienė, Jodaugienė, 2009). Taip pat naudojant įprastinį gilųjį arimą daugelis dirvožemio savybių veikiamos neigiamai bei skatinamas sutankėjusio dirvožemio sluoksnio armens ir poarmenio sandūroje susidarymas. Taikant supaprastintą žemės dirbimą, labiau atsiperka realizuota produkcija bei daroma mažesnė žala aplinkai ir pačiam dirvožemiui (Juchnevičienė ir kt., 2012).

Taikant tausojamąjį žemės dirbimą paviršiniame dirvožemio sluoksnyje (0–20 cm) gali padidėti augalams prieinamo fosforo, kalio kiekiai bei organinės medžiagos kiekis. Taip pat paliekant augalų liekanas dirvožemio paviršiuje, galima sumažinti dirvožemio eroziją ir pagerinti drėgmės išlaikymą (Tahat et al., 2020). Dirvožemiai, kuriuose taikoma tiesioginė sėja į neįdirbtą dirvą, pasižymi didesne biologine įvairove ir aktyvumu viršutiniame sluoksnyje dėl palankių sąlygų mikroorganizmų populiacijoms. Tokie dirvožemiai gali sukaupti daugiau organinių medžiagų ir taupiau atpalaiduoti maisto medžiagas (Cesevičius, Janušauskaitė, 2006). Feizienės ir kt. (2006) atliktų tyrimų duomenimis, per trijų metų laikotarpį, taikant tiesioginę sėją 0–10 cm dirvos sluoksnyje fosforingumas padidėjo 11 proc., o 10–20 cm sluoksnyje sumažėjo 10 proc. Dirvožemio kalingumas 0–10 cm sluoksnyje padidėjo 12 proc., tuo tarpu gilesniame 10–20 cm sluoksnyje sumažėjo 17 proc. Melero et al. (2011) atlikto tyrimo metu buvo analizuojamas skirtingų žemės būdų poveikis dirvožemio savybėms. Nustatyta, kad tiesioginė sėja išlaikė didžiausią organinės anglies kiekį, mikrobiologinį aktyvumą bei fermentų veiklą, tačiau ilginiui gali sukelti dirvožemio suspaudimą. Supaprastintas žemės dirbimas taikant sunkųjį kultivatorių nesumažino organinės anglies kiekio ir palaikė mikrobiologinį aktyvumą kartu pagerindamas dirvožemio purumą. Tuo tarpu tradicinis žemės dirbimas, naudojant verstuvinį plūgą, reikšmingai (23 proc.) sumažino organinės anglies kiekį, fermentų aktyvumą, ypač viršutiniame 0–5 cm sluoksnyje.

Tiesioginė sėja, nors ir laikoma tvari ir mažiau invaziniu žemės naudojimo metodu, gali turėti neigiamų pasekmių žieminių kviečių dygimui ir vystymuisi. Tyrimai rodo, kad tiesioginės sėjos taikymas gali lemti blogesnę sėklų dygimą ir žieminių kviečių augalų vystymąsi, palyginti su tradiciniu žemės dirbimo metodu, tokiu kaip gilus arimas (Juchnevičienė ir kt., 2012).

Tyrimai rodo, kad tausojamasis žemės dirbimas, įskaitant supaprastintą žemės dirbimą, gali pagerinti NDGI, nes pagerina dirvožemio drėgmės išsaugojimą ir sumažina dirvožemio eroziją. Šis pagerėjimas atsiranda dėl geresnio drėgmės sulaikymo dirvožemyje, o tai labai svarbu vegetacijos laikotarpiu, kai žieminiai kviečiai ypač pažeidžiami sausros streso (Houssou et al., 2016; Ye et al., 2019).

Tyrimo tikslas – ištirti skirtingo žemės dirbimo poveikį žieminių kviečių pasėliui.

Tyrimų metodika

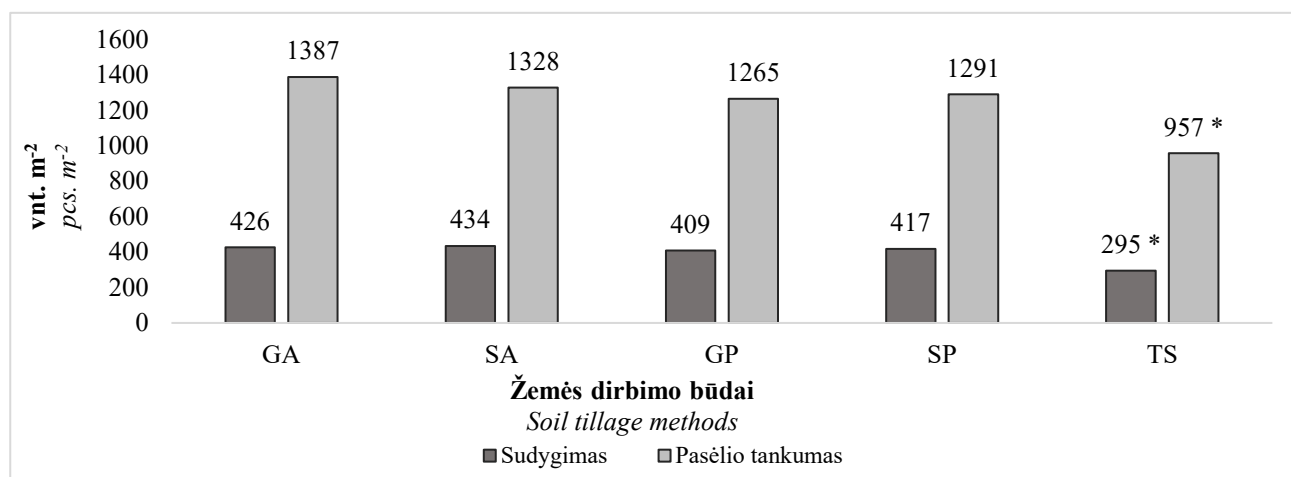
Eksperimentas atliktas 2024 m. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Bandymų stotyje esančiame ilgamečiame stacionariame lauko eksperimente, kuris įrengtas 1988 m. prof. dr. A. Stancevičiaus sumanymu. 2000 m. eksperimentas buvo modifikuotas įtraukiant tiesioginės sėjos į neįdirbtą dirvą variantą. Eksperimento variantai – skirtingi žemės dirbimo būdai: 1. Gilusis arimas 23–25 cm; 2. Seklusis arimas 12–14 cm; 3. Gilusis purenimas 23–25 cm; 4. Seklusis purenimas 12–14 cm; 5. Tiesioginė sėja į neįdirbtą dirvą. Pradinis laukelių plotas – 126 m², apskaitinio – 70 m². Variantai pakartojimuose išdėstyti randomizuotai.

Žieminių kviečių sudygimas įvertintas 10-ą dygimo dieną viename ilginiame metre skaičiuojant dvi eilutes dešimtyje atsitiktinai pasirinktų laukelio vietų. Daigų skaičius perskaiciuotas vienetais į kvadratinį metrą. Rudenį krūmijimosi tarpsnio pabaigoje paimti augalai iš kiekvieno varianto laukelio ir atlikti šie tyrimai: apskaičiuotas pasėlio tankumas; nustatytas išsikrūmijimo lygis; nustatyta chlorofilo koncentracija, naudojantis prietaisu PSI's PlantPen; azoto kiekis % ir NDGI (normalizuotas augmenijos žaliasis indeksas) matuotas Apogee prietaisu MC-100. Žalia masė gauta pasvėrus augalų šaknis ir antžeminę dalį, o sausų medžiagų masė – augalus džiovinant 105 °C temperatūroje iki pastovios masės. Gauti rezultatai perskaiciuoti į žaliosios masės bei sausųjų medžiagų kiekį kvadratiname metre ir sausų medžiagų procentinę dalį. Taip pat apskaičiuotas azoto kiekis sausojoje medžiagoje kg ha⁻¹.

Duomenys statistškai įvertinti dispersinės analizės metodu, naudojant programą ANOVA iš programinio paketo SELEKCIJA. Duomenų statistinis patikimumas įvertintas 95 proc. tikimybės lygiui (esminiai skirtumai ($p < 0,05$) tarp vidurkių pažymėti žvaigždutėmis „*“) (Raudonius, 2017).

Rezultatai ir aptarimas

Eksperimente nustatytas skirtingo žemės dirbimo poveikis žieminių kviečių sudygimui ir pasėlio tankumui (1 pav.). Atlikus žieminių kviečių pasėlio apskaitą nustatyta, jog daigų skaičius svyravo nuo 295 vnt. m⁻² iki 434 vnt. m⁻².



1 pav. Skirtingo žemės dirbimo poveikis žieminių kviečių sudygimui ir pasėlio tankumui

Fig. 1. Effect of different soil tillage on germination and stem density of winter wheat

Pastaba: GA – gilusis arimas, SA – seklausis arimas, GP – gilusis purenimas, SP – seklausis purenimas, TS – tiesioginė sėja. * esminis skirtumas 95 % tikimybės lygiui.

Note. GA – deep ploughing, SA – shallow ploughing, GP – deep loosening, SP – shallow loosening, TS – direct sowing. * significant difference at the 95% confidence level.

Mažiausiai augalų sudygo laukeliuose, kuriuose buvo taikyta tiesioginė sėja į neįdirbtą dirvą (295 vnt. m⁻²). Šis skirtumas buvo esminis, t. y. daigų skaičius buvo 44,4 proc. mažesnis, lyginant su giliuoju arimu. Gilų arimą

pakeitus sekliu arimu (434 vnt. m⁻²), giliu purenimu (409 vnt. m⁻²) ir sekliu purenimu (417 vnt. m⁻²), esminių skirtumų nenustatyti ($p > 0,05$). Kitų mokslininkų atliktame tyrime pastebėta tokia pati tendencija, jog vietoj įprastinio gilaus arimo taikant tiesioginę sėją į neįdirbtą dirvą, esmingai mažėja augalų sudygis (Rieger et al., 2008).

Žieminių kviečių pasėlio tankumas rudenį, baigiantis augalų vegetacijai, svyravo nuo 957 iki 1387 vnt. m⁻². Gilų arimą pakeitus supaprastintu žemės dirbimu ir tiesiogine sėją, pasėlio tankumas turėjo tendenciją mažėti. Mažiausias stiebų skaičius (957 vnt. m⁻²) nustatytas tiesioginės sėjos laukeliuose, kur pasėlio tankumas buvo esmingai (430 vnt. m⁻² arba 1,4 karto) mažesnis nei giliai artuose. Žieminių kviečių krūmijimosi koeficientas svyravo nuo 3,1 iki 3,3 ūglių augale. Geriausiai išsikrūmijo žieminiai kviečiai tiesiogiai pasėti į neįdirbtą dirvą, tačiau palyginus su giliuoju arimu, esminis skirtumas nenustatytas. Kitų mokslininkų teigimu, žieminiai kviečiai geriau krūmijasi taikant tiesioginę sėją į neįdirbtą dirvą dėl to, kad dirvožemyje būna daugiau drėgmės, lyginant su įprastiniu žemės dirbimu. Tai sukuria palankesnes sąlygas augalų fiziologiniams procesams (Ahmad et al., 2013).

Beariminis žemės dirbimas, palyginus su ariminiu dirbimu, keičia dirvožemio agrochemines savybes, kurių pokyčiai gali turėti įtakos lėtesniam augalų augimui ir vystymuisi bei sumažinti derlių (Feizienė ir kt., 2006). Kiti mokslininkai teigia, kad taikant supaprastintą žemės dirbimą ir tiesioginę sėją augalai kaip tik vystosi geriau, nes dirvožemyje būna daugiau maistinių medžiagų ir drėgmės (Ahmad et al., 2013). Analizuojant gautus eksperimento duomenis nustatyta, kad žieminių kviečių antžeminės dalies žalioji masė svyravo nuo 548,9 iki 784,2 g m⁻² (1 lentelė). Didžiausia kviečių antžeminės dalies žalioji masė buvo nustatyta gilaus arimo laukeliuose (784,2 g m⁻²). Gilų arimą pakeitus supaprastintu žemės dirbimu, žalioji masė turėjo tendenciją mažėti, o pakeitus tiesiogine sėją (548,9 g m⁻²) – ji buvo esmingai (42,6 proc.) mažesnė. Sausųjų medžiagų kiekis antžeminėje dalyje svyravo nuo 16,7 iki 17,2 proc. ir esmingai nesiskyrė. Didžiausia žieminių kviečių antžeminės dalies sausųjų medžiagų masė buvo įprastinio arimo laukeliuose (130,6 g m⁻²). Esmingai mažesnė masė buvo įprastinį arimą pakeitus giliu purenimu (116,8 g m⁻²), sekliu purenimu (113,5 g m⁻²) ir tiesiogine sėją į neįdirbtą dirvą (91,6 g m⁻²). Tuo tarpu taikant seklią arimą, sausųjų medžiagų masė sumažėjo neesmingai.

1 lentelė. Skirtingo žemės dirbimo poveikis antžeminės dalies ir šaknų žaliajai masei, sausajai medžiagai

Table 1. Effect of different soil tillage on the green mass and dry matter of the aboveground part and the roots

Žemės dirbimo būdai <i>Soil tillage methods</i>	Antžeminė dalis <i>Aboveground part</i>			Šaknys <i>Roots</i>		
	Žalia masė, g m ⁻² <i>Green mass, g m⁻²</i>	Sausoji medžiaga, % <i>Dry mass, %</i>	Sausoji medžiaga, g m ⁻² <i>Dry mass, g m⁻²</i>	Žalia masė, g m ⁻² <i>Green mass, g m⁻²</i>	Sausoji medžiaga, % <i>Dry mass, %</i>	Sausoji medžiaga, g m ⁻² <i>Dry mass, g m⁻²</i>
Gilus arimas <i>Deep ploughing</i>	784,2	16,8	130,6	105,5	16,4	16,9
Seklus arimas <i>Shallow ploughing</i>	747,1	16,7	125,0	116,0	17,7	20,4 *
Gilus purenimas <i>Deep loosening</i>	694,9	16,8	116,8 *	97,3	15,6	15,1 *
Seklus purenimas <i>Shallow loosening</i>	666,1	17,2	113,5 *	104,3	16,6	17,3
Tiesioginė sėja <i>Direct sowing</i>	548,9 *	16,7	91,6 *	76,6 *	16,5	12,5 *

Pastaba: * esminis skirtumas 95 % tikimybės lygiui.

Note: * significant difference at the 95 % confidence level.

Didžiausia šaknų žalioji masė nustatyta taikant seklią arimą (116,0 g m⁻²). Tai 10,5 g m⁻² daugiau nei giliai artuose laukeliuose (105,5 g m⁻²), tačiau skirtumas nebuvo esminis ($p > 0,05$). Gilusis purenimas ir sekliusis purenimas turėjo tendenciją mažinti kviečių šaknų žaliąją masę, bet sumažėjimas nebuvo esminis. Tradicinį gilų arimą pakeitus tiesiogine sėją į neįdirbtą dirvą žalioji šaknų masė buvo esmingai (37,7 proc.) mažesnė. Vertinant žemės dirbimo poveikį sausųjų medžiagų kiekiui (proc.) žieminių kviečių šaknyse, esminiai skirtumai nenustatyti, tačiau galima pastebėti, kad taikant seklią arimą, seklią purenimą ir tiesioginę

sėją į neįdirbtą dirvą sausųjų medžiagų dalis šaknyse buvo didesnė, lyginant su tradiciniu arimu. Mažiausia sausųjų medžiagų masė nustatyta gilaus purenimo ($15,1 \text{ g m}^{-2}$) ir tiesioginės sėjos į neįdirbtą dirvą ($12,5 \text{ g m}^{-2}$) laukeliuose. Šie sumažėjimai buvo esminiai, lyginant su giliuoju arimu ($16,9 \text{ g m}^{-2}$). Žieminių kviečių šaknų sausųjų medžiagų masė buvo esmingai didesnė gilųjį arimą pakeitus sekliuoju arimu ($20,4 \text{ g m}^{-2}$).

Skirtingi žemės dirbimo būdai turėjo įtakos žieminių kviečių fiziologiniams rodikliams (2 lentelė). Didžiausias azoto kiekis nustatytas kviečiuose, kurie buvo sėti tiesiogiai į neįdirbtą dirvą (3,66 proc.), tačiau šis skirtumas nebuvo esminis ($p > 0,05$). Supaprastinus žemės dirbimą azoto kaupimas nustatytas mažesnis, lyginant su giliuoju arimu. Mažiausias ir esminis azoto kiekis gautas gilųjį arimą pakeitus sekliuoju arimu (2,92 proc.). Skirtingas žemės dirbimas neturėjo esminės įtakos chlorofilo koncentracijai žieminių kviečių lapuose. Chlorofilo koncentracija svyravo nuo $48,9 \mu\text{mol m}^{-2}$ taikant seklią purenimą, iki $60,3 \mu\text{mol m}^{-2}$ taikant tiesioginę sėją į neįdirbtą dirvą. Nustatyta, kad gilųjį arimą pakeitus supaprastintu žemės dirbimu, chlorofilo koncentracija turi tendenciją mažėti, o pakeitus tiesiogine sėja – didėti. Lenkijos mokslininkų atliktas tyrimas, vertinantis skirtingo žemės dirbimo poveikį žieminių kviečių fotosintezės rodikliams, atskleidė panašią tendenciją. Supaprastinto žemės dirbimo ir tiesioginės sėjos laukeliuose chlorofilo koncentracija nustatyta esmingai mažesnė, lyginant su tradicinio arimo laukeliais (Buczek et al., 2021). Tyrimo metu nustatytas normalizuotas žalumo skirtumo indeksas (NDGI). Tai yra naujesnis augmenijos dinamikos vertinimo indeksas, kuris užtikrina standartizuotus ir jautresnius mažiems augmenijos pokyčiams matavimus (Nedkov, 2017). Mažiausia NDGI reikšmė (0,51) nustatyta augaluose, kurie augo seklaus arimo laukeliuose. Tai yra esmingai mažesnis indeksas, lyginant su gilaus arimo laukeliais (0,56). Gilųjį arimą pakeitus giliuoju purenimu (0,55), sekliuoju purenimu (0,54) ir tiesiogine sėja į neįdirbtą dirvą (0,57), esminiai skirtumai nenustatyti.

2 lentelė. Skirtingo žemės dirbimo poveikis žieminių kviečių fiziologiniams rodikliams

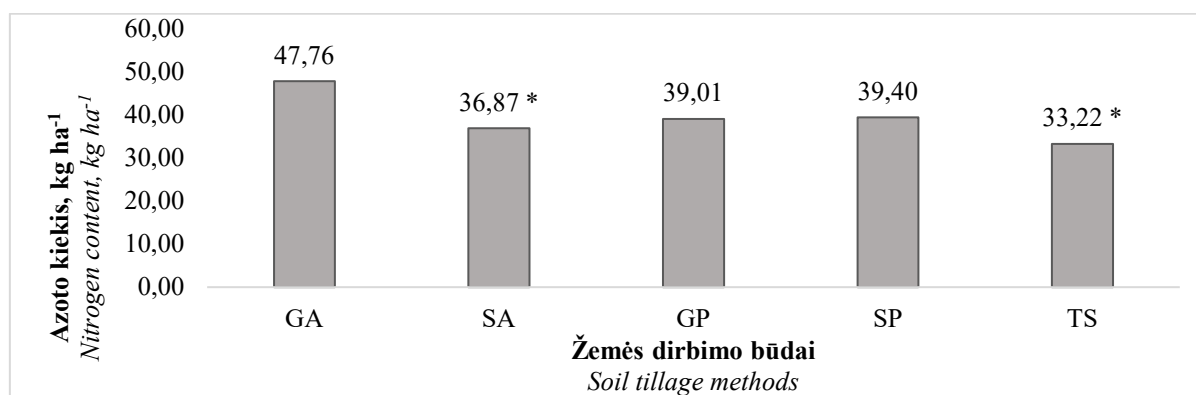
Table 2. Effect of different soil tillage on the physiological indicators of winter wheat

Žemės dirbimo būdai <i>Soil tillage methods</i>	Azotas, % <i>Nitrogen, %</i>	Chlorofilo koncentracija, $\mu\text{mol m}^{-2}$ <i>Chlorophyll concentration, $\mu\text{mol m}^{-2}$</i>	NDGI <i>NDGI</i>
Gilus arimas <i>Deep ploughing</i>	3,59	57,0	0,56
Seklus arimas <i>Shallow ploughing</i>	2,92 *	50,5	0,51 *
Gilus purenimas <i>Deep loosening</i>	3,33	51,5	0,55
Seklus purenimas <i>Shallow loosening</i>	3,37	48,9	0,54
Tiesioginė sėja <i>Direct sowing</i>	3,66	60,3	0,57

Pastaba: * esminis skirtumas prie 95 % tikimybės lygiui.

Note: * significant difference at the 95 % confidence level.

Apskaičiavus azoto kiekį, sukaupą žieminių kviečių pasėlio antžeminėje masėje, nustatyta, kad azoto kiekis sausojoje medžiagoje svyravo nuo $33,22 \text{ kg ha}^{-1}$ iki $47,76 \text{ kg ha}^{-1}$ (2 pav.).



2 pav. Skirtingo žemės dirbimo poveikis azoto kiekiui

Fig. 2. Effect of different soil tillage on nitrogen content

Pastaba: GA – gilusis arimas, SA – sekliasis arimas, GP – gilusis purenimas, SP – sekliasis purenimas, TS – tiesioginė sėja. * esminis skirtumas prie 95 % tikimybės lygiui.

Note: GA – deep ploughing, SA – shallow ploughing, GP – deep loosening, SP – shallow loosening, TS – direct sowing. * significant difference at the 95 % confidence level.

Supaprastinus žemės dirbimą ar tiesiogiai pasėjus į neįdirbtą dirvą sukaupiamas azoto kiekis žieminių kviečių sausojoje medžiagoje turėjo tendenciją mažėti. Gilųjį arimą pakeitus sekliu arimu ir tiesiogine sėja azoto kiekis sausojoje medžiagoje esmingai sumažėjo, atitinkamai 29,5 ir 43,8 proc.

Išvados

1. Gilųjį arimą pakeitus neariminiu žemės dirbimu ir tiesiogine sėja į neįdirbtą dirvą, žieminių kviečių sudygimas ir pasėlio tankumas, rudenį, baigiantis augalų vegetacijai, nustatytas mažesnis. Tiesioginė sėja esmingai mažino tiek augalų sudygimą, tiek pasėlio tankumą (atitinkamai 44,4 ir 44,9 proc.).
2. Taikant tiesioginę sėja, kviečių antžeminės dalies ir šaknų žalioji masė esmingai sumažėjo (atitinkamai 42,9 ir 37,7 proc.), lyginant su tradiciniu arimu. Antžeminės dalies sausųjų medžiagų masė nustatyta esmingai mažesnė (11,8–42,6 proc.) gilų arimą pakeitus neariminiu žemės dirbimu ir tiesiogine sėja į neįdirbtą dirvą. Žieminių kviečių šaknų sausųjų medžiagų masė esmingai mažėjo (11,9–35,2 proc.), taikant gilų purenimą bei tiesioginę sėja, ir esmingai didėjo (20,7 proc.), taikant sekli arimą, lyginant su tradiciniu giliu arimu.
3. Gilų arimą pakeitus sekliu arimu, esmingai mažėjo azoto koncentracija žieminių kviečių lapuose (22,9 proc.), NDGI (9,8 proc.) bei sukaupto azoto kiekis (29,5 proc.), o tiesioginės sėjos taikymas esmingai mažino sukaupto azoto kiekį (43,8 proc.).

Literatūra

1. Ahmad, P., Hussain, M., Ahmad, S., Tabassam, M. A. R. & Shabbir, I. (2013). Comparison of Different Tillage practices among various Wheat Varieties. *Applied Science Reports*, 4(2). https://www.researchgate.net/publication/286142759_Comparison_of_different_tillage_practices_among_various_wheat_varieties
2. Angon, P. B., Anjum, N., Akter, M., KC, S., Suma, R. P. & Jannat, S. (2023). An Overview of the Impact of Tillage and Cropping Systems on Soil Health in Agricultural Practices. *Advances in Agriculture*, 1–14. <https://doi.org/10.1155/2023/8861216>
3. Bogužas, V. (2014). *Žemės dirbimo sistemos moderniam ūkyje: metodinė medžiaga*. Technologija.
4. Buczek, J., Migut, D., & Jańczak-Pieniżek, M. (2021). Effect of Soil Tillage Practice on Photosynthesis, Grain Yield and Quality of Hybrid Winter Wheat. *Agriculture*, 11(6). <https://doi.org/10.3390/agriculture11060479>
5. Cesevičius, G. ir Janušauskaitė, D. 2006. Dirvožemio mikrobiologinės ir fizikinės savybės įvairiose žemės dirbimo sistemose. *Žemdirbystė*, 93(3), 18–34. [https://zemdirbyste-agriculture.lt/93\(3\)tomas/93\(3\)_18_34.pdf](https://zemdirbyste-agriculture.lt/93(3)tomas/93(3)_18_34.pdf)
6. Feizienė, D., Feiza, V. ir Deveikytė, I. (2006) Supaprastintas žemės dirbimas pavasarį: 2. Įtaka dirvožemio agrocheminėms savybėms. *Žemdirbystė*, 93(3), 56–74. [https://zemdirbyste-agriculture.lt/93\(3\)tomas/93\(3\)_56_74.pdf](https://zemdirbyste-agriculture.lt/93(3)tomas/93(3)_56_74.pdf)
7. Houssou, A., Liang, G., Gao, L., Li, J., Wu, X., Wu, H., ... & Wang, X. (2016). Effect of conservation tillage on soil respiration rate and water content under wheat/maize system in north china plain. *Journal of Soil Science and Environmental Management*, 7(2), 10–22. <https://doi.org/10.5897/jssem15.0522>
8. Ye, X., Ye, Y., Chai, R., Li, J., Ma, C., Li, H., ... & Gao, H. (2019). The influence of a year-round tillage and residue management model on soil n fractions in a wheat-maize cropping system in central china. *Scientific Reports*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41409-5>
9. Juchnevičienė, A., Raudonius, S., Avižienytė, D., Romanekas, K. ir Bogužas, V. (2012). Ilgalaikio supaprastinto žemės dirbimo ir tiesioginės sėjos įtaka žieminių kviečių pasėliui. *Žemės ūkio mokslai*, 3, 139–150. <https://doi.org/10.6001/zemesukiomokslai.v19i3.2501>
10. Liu, D., Tian, B., Zhang, M., Jiang, L., Li, C., Qin, X. & Ma, J. (2025). Meta-analysis of the effects of different tillage methods on wheat yields under various conditions in China. *Soil and Tillage Research*, 248. <https://doi.org/10.1016/j.still.2025.106449>
11. Melero, S., Panettieri, M., Madejón, E., Macpherson, H. G., Moreno, F. & Murillo, J. M. (2011). Implementation of chiselling and mouldboard ploughing in soil after 8 years of no-till management in SW, Spain: Effect on soil quality. *Soil and Tillage Research*, 112(2), 107–113. <https://doi.org/10.1016/j.still.2010.12.001>
12. Miransari, M. & Smith, D. (2019). Sustainable wheat (*Triticum aestivum* L.) production in saline fields: a review. *Critical Reviews in Biotechnology*, (39)8. <https://doi.org/10.1080/07388551.2019.1654973>
13. Nedkov, R. (2017). Normalised differential greenness index for vegetation dynamics assessment. *Comptes rendus de l'Académie des sciences. La vie des sciences*, 70.

https://www.researchgate.net/publication/319141286_Normalized_differential_greenness_index_for_vegetation_dynamics_assessment

14. Raudonius, S. (2017). Application of statistics in plant and crop research: important issues. *Zemdirbyste-Agriculture*, 104(4), 377–382. https://zemdirbyste-agriculture.test.deimantinis.lm.lt/wp-content/uploads/2017/11/104_4_str48.pdf
15. Rieger, S., Richner, W., Streit, B., Frossard, E. & Liedgens, M. (2008). Growth, yield, and yield components of winter wheat and the effects of tillage intensity, preceding crops, and N fertilisation. *European Journal of Agronomy*, 28(3), 405–411. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2007.11.006>
16. Romano, I., Bodenhausen, N., Basch, G., Soares, M., Faist, H., Trognitz, F., ... Symanczik, S. (2023). Impact of conservation tillage on wheat performance and its microbiome. *Frontiers in Plant Science*, 14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1211758>
17. Sinkevičienė, J. (2022). *Augalų apsauga: mokomoji knyga*. Vytauto Didžiojo universitetas.
18. Špokienė, N. ir Jodaugienė, D. (2009). *Piktžolės ir jų naikinimas: mokomoji knyga*. Akademija.
19. Tahat, M. M., Alananbeh, K. M., Othman, Y. A. & Leskovar, D. I. (2020). Soil Health and Sustainable Agriculture. *Sustainability*, 12(12). <https://doi.org/10.3390/su12124859>

Ieva Banytė, Darija Jodaugienė, Vaclovas Bogužas

Effect of Different Soil Tillage on Winter Wheat Crop

Studies on different tillage methods (deep and shallow ploughing, deep and shallow loosening and direct sowing into uncultivated soil) were carried out in a long-term experiment in 2024 in fields of the Experimental Station of the VMU, Academy of Agriculture, in order to determine its effect on the winter wheat crop. The studies showed that replacement of deep ploughing by direct sowing significantly reduced winter wheat germination, stem density at the end of growing season in autumn, as well as green mass of the aboveground part of plant and of the roots. Dry matter of the aboveground part was found to be significantly lower with deep and shallow loosening and direct sowing, while that of the roots was significantly lower with deep loosening and direct sowing. However, in shallow ploughed soil root dry matter was found to be significantly (20.7%) higher. Reduced soil tillage and direct sowing had a significant effect on the nitrogen content of winter wheat leaves and NDGI.

Keywords: Winter wheat, different soil tillage, direct sowing into uncultivated soil, stem density, NDGI.

Gauta 2025 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2025 m. balandžio mėn.

Ieva BANYTĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Agronomijos fakulteto Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedros Agronomijos studijų programos magistrantė. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52229, el. paštas: ieva.banyte@vdu.lt

Ieva BANYTĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Science, Master student of Agronomy. Address: Studentų str. 11, LT-53361, Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 377 52229, e-mail: ieva.banyte@vdu.lt

Darija JODAUGIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Agronomijos fakulteto Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedros docentė. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361, Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52229, el. paštas: darija.jodaugiene@vdu.lt

Darija JODAUGIENĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Science, assoc. prof. Address: Studentų str. 11, LT-53361 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 377 52229, e-mail: darija.jodaugiene@vdu.lt

Vaclovas BOGUŽAS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Agronomijos fakulteto Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedros profesorius. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52233, el. paštas: vaclovas.bogužas@vdu.lt

Vaclovas BOGUŽAS. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Science, prof. Address: Studentų str. 11, LT-53361 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 377 52233, e-mail: vaclovas.bogužas@vdu.lt

ŽMOGAUS IR GAMTOS SAUGA 2025
HUMAN AND NATURE SAFETY 2025

Mokslo straipsnių rinkinys
Selected papers

Korektorė Aukšė Matiukė
Leidinį maketavo Rasa Švobaitė

2025 04 15. Tiražas 20 egz. Užsakymo Nr. K25-012

Išleido:
Vytauto Didžiojo universitetas
K. Donelaičio g. 58, LT-44248, Kaunas
www.vdu.lt | leidyba@vdu.lt

Spausdino:
UAB „Vita Litera“
Savanorių pr. 137, LT-44146, Kaunas
www.tuka.lt | info@tuka.lt