



ISSN 2538-9122 (Online)

ISSN 1822-1823 (Print)

<https://doi.org/10.7220/2538-9122.2026>

ŽMOGAUS IR GAMTOS SAUGA

HUMAN AND NATURE SAFETY

2026

VYTAUTO DIDŽIOJO UNIVERSITETAS
Vytautas Magnus University

ŽMOGAUS IR GAMTOS SAUGA 2026

Mokslo straipsnių rinkinys

HUMAN AND NATURE SAFETY 2026

Selected papers



Kaunas, 2026

Apie leidinį

ŽMOGAUS IR GAMTOS SAUGA

ISSN 1822-1823 (spausdintas)

ISSN 2538-9122 (internetinis)

<https://doi.org/10.7220/2538-9122.2026>

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.

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/10.7220/2538-9122.2026>

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).

*Bibliographic information is available on the Lithuanian Integral Library Information System (LIBIS) portal *ibiblioteka.lt*.*

Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademija,
Gamtos mokslų fakultetas, Botanikos sodas
Tel: +370 37 75 23 57,
El. paštas 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 2026“

mokslo straipsnių rinkinio

REDAKCINĖ KOLEGIJA

EDITORIAL BOARD

of the Selected Papers

"Human and Nature Safety 2026"

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

Editor-in-chief

Redakatoriaus pavaduotojas doc. dr. **Ramūnas Mieldažys** (Lithuania)

Vice editor-in-chief

Nariai Members

Dr. **Jolita Abraitienė** (Lithuania)

Dr. **Aivars Aboltins** (Latvia)

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

Assoc. prof. **Anželika Dautartė** (Lithuania)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Straipsnių rinkinio „ŽMOGAUS IR GAMTOS
SAUGA 2026“ išleidimą rėmė:

VDU Žemės ūkio akademijos Inžinerijos
fakultetas

VDU Žemės ūkio akademijos Miškų ir
ekologijos fakultetas

*The release of the Selected papers “HUMAN AND
NATURE SAFETY 2026” supported by:*

*Faculty of Engineering of VMU Agriculture
Academy*

*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/>

Mokslo straipsnių recenzentai / *Reviewers of the articles*

Dr. J. Abraitienė	Vytauto Didžiojo universitetas	<i>Vytautas Magnus University</i>
Doc. dr. A. Adamavičienė	Vytauto Didžiojo universitetas	<i>Vytautas Magnus University</i>
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. R. Čingienė	Vytauto Didžiojo universitetas	<i>Vytautas Magnus University</i>
Doc. dr. A. Dautartė	Vytauto Didžiojo universitetas	<i>Vytautas Magnus University</i>
Akad. prof. dr. A. Dėdelė	Vytauto Didžiojo universitetas	<i>Vytautas Magnus University</i>
Doc. dr. V. Gurskienė	Vytauto Didžiojo universitetas	<i>Vytautas Magnus University</i>
Prof. dr. E. Jarienė	Vytauto Didžiojo universitetas	<i>Vytautas Magnus University</i>
Prof. dr. A. Jasinskas	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>
Dr. R. Kimbirauskienė	Vytauto Didžiojo universitetas	<i>Vytautas Magnus University</i>
Prof. dr. Z. Kriauciūnienė	Vytauto Didžiojo universitetas	<i>Vytautas Magnus University</i>
Doc. dr. K. Lekavičienė	Vytauto Didžiojo universitetas	<i>Vytautas Magnus University</i>
Prof. dr. A. Marcinkevičienė	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>
Doc. dr. P. Mulerčikas	Vytauto Didžiojo universitetas	<i>Vytautas Magnus University</i>
Prof. dr. A. Paulauskas	Vytauto Didžiojo universitetas	<i>Vytautas Magnus University</i>
Dr. J. Pekarskas	Vytauto Didžiojo universitetas	<i>Vytautas Magnus University</i>
Doc. dr. S. Petkevičius	Vytauto Didžiojo universitetas	<i>Vytautas Magnus University</i>
Prof. dr. N. Petraitytė	Vytauto Didžiojo universitetas	<i>Vytautas Magnus University</i>
Prof. dr. A. Radzevičius	Vytauto Didžiojo universitetas	<i>Vytautas Magnus University</i>
Prof. habil. dr. O. Ragažinskienė	Vytauto Didžiojo universitetas	<i>Vytautas Magnus University</i>
Prof. dr. K. Romaneckas	Vytauto Didžiojo universitetas	<i>Vytautas Magnus University</i>
Doc. 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>
Prof. dr. S. Trumbeckaitė	Lietuvos sveikatos mokslų universitetas	<i>Lithuanian University of Health Sciences</i>
Dr. D. Urbonavičienė	Vytauto Didžiojo universitetas	<i>Vytautas Magnus University</i>
Doc. dr. R. Vaisvalavičius	Vytauto Didžiojo universitetas	<i>Vytautas Magnus University</i>
Doc. dr. E. Zaleckas	Vytauto Didžiojo universitetas	<i>Vytautas Magnus University</i>
Dr. R. Zinkevičienė	Vytauto Didžiojo universitetas	<i>Vytautas Magnus University</i>
Lekt. A. Žibas	Vytauto Didžiojo universitetas	<i>Vytautas Magnus University</i>

TURINYS

CONTENT

BIOSISTEMŲ INŽINERIJA <i>BIOSYSTEM ENGINEERING</i>	9
Agrocheminiai dirvožemio parametrai ir jų ryšys su anglies kiekiu Žygimantas Kidikas, Gediminas Zdanavičius, Vilma Naujokienė, Rytis Skominas, Egidijus Šarauskis	10
Šoninio vėjo greičio įtaka dronu barstomų sėklų sklaidos tolygumui Mantas Petrulis, Jonas Balčiūnas, Simas Sokas, Dainius Steponavičius	15
Diskinio skutiko darbo parametų įtaka traktoriaus degalų sąnaudoms Rytis Šiugždinis, Dainius Steponavičius, Dainius Savickas	23
Meteorologinių sąlygų variabilumo poveikis dirvožemio anglies atsargoms ir šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų dinamikai žemės ūkio sistemose Gediminas Zdanavičius, Vilma Naujokienė, Žygimantas Kidikas, Rytis Skominas, Zita Kriaučiūnienė	30
Tradicinio ir minimalaus žemės dirbimo įtaka dirvožemiui ir aplinkai Lukas Kmelnickas, Simas Sokas, Egidijus Šarauskis, Sidona Buragienė	36
Kombaino kūlimo būgno guolių būklės įvertinimas vibroanalizės metodu Almantas Bernotas, Eglė Jotautienė	43
Kintamo trąšų srauto išcentrinėje barstomojoje įtakos trąšų granulių sklaidai tyrimai Rimvydas Janušauskas, Edvardas Vaiciukevičius, Eglė Jotautienė	49
Medienos skiedrų paruošimo kokybės ir tvaraus naudojimo biokuro katilinėse įvertinimas Tadas Džervus, Algirdas Jasinskas, Edvardas Vaiciukevičius	55
Medienos smulkinimo būgniniu smulkintuvu tyrimai Kipras Karpinas, Edvardas Vaiciukevičius, Algirdas Jasinskas	62
Eksperimentinių trąšų, pagamintų naudojant bioanglį, fizikinių-mechaninių savybių tyrimai Agnė Kralikienė, Eglė Jotautienė, Ramūnas Miedažys, Edvardas Vaiciukevičius	68
A Sustainable Pathway to Wood Waste for Fertilizer Production and Environmental Safety Siva Teja Sowrya Yannana, Eglė Jotautienė, Raimonda Zinkevičienė	74
Tvartos kompostavimo technologijos su organinės kilmės biopriedais poveikis pagrindiniams parametrams Sidona Buragienė, Brigita Senkienė	80
Falsifikavimo valdymo programos taikymas pieno produktų gamyboje Aušra Steponavičienė, Svajūnė Garmuvienė, Sidona Buragienė	86
Varškės pakavimo modifikuotoje atmosferoje proceso analizė Monika Minickaitė-Dimšlienė, Sigitas Petkevičius	92
Cheminio rūko pagrindu veikiančios oro dezinfekcijos efektyvumo analizė gamybiniame ceche Martyna Kmitienė, Sigitas Petkevičius	98
Skirtingų tipų kelių transporto priemonių keliamo triukšmo tyrimas Titas Minelga, Eglė Jotautienė	104
Darbuotojų saugos ir sveikatos sertifikavimo efektyvumas žemės ūkio gamyboje Justė Vičytė, Kristina Lekavičienė	110
Radioaktyviųjų šaltinių lokalizavimo metodologinis modelis taikant bepiločius orlaivius Jonas Misiūnas, Dainius Jasaitis	115
Transporto srauto tyrimas ir modeliavimas Alytaus mieste Lukas Gedeikis, Tomas Mickevičius	121
Lengvojo automobilio priekinės deformacinės zonos tyrimas Mantas Leonavičius, Tomas Mickevičius	127

Aplinkos temperatūros įtaka elektromobilio baterijos įkrovimo efektyvumui Mykolas Blėda, Tomas Mickevičius	134
Nuotekų valymo technologijų prioritetiniams teršalams valyti analizė Tadas Derkintas, Algirdas Radzevičius	140
Ketvirtinio nuotekų valymo technologijų efektyvumo, šalinant ftalatus, analizė Tadas Drabavičius, Algirdas Radzevičius	147
APLINKA IR SVEIKATA <i>ENVIRONMENT AND HEALTH</i>	152
Vaistininkas prof. dr. Kazimieras Grybauskas – tarpdisciplininės vaistinių augalų mokslo ir studijų veiklos pradininkas VDU botanikos sode ir Medicinos fakultete Ona Ragažinskienė, Sonata Trumbeckaitė, Tauras Antanas Mekas	153
Extraction of Biologically Active Compounds From Black Walnut (<i>Juglans Nigra</i> L.) Using Supercritical CO ₂ : Advantages and Limitations Dalia Urbonavičienė, Ona Ragažinskienė, Marina Sidorenko, Saulius Mickevičius, Nerijus Jurkonis	157
Vaistinių augalų introdukcijos tarpdisciplininiai tyrimai Vytauto Didžiojo universitete 2000–2026 Ona Ragažinskienė, Audrius Sigitas Maruška, Vilma Kaškonienė, Erika Šeinauskienė, Karolina Jackevičienė	163
Biologiškai aktyviais komponentais praturtintų pusiau kietų formuluočių dermoprotekcinio potencialo vertinimas Jokūbas Ramanauskas, Urtė Daunoraitė, Asta Marija Inkėnienė, Aidas Grigonis, Kristina Ramanauskienė	169
Smart Berry Orchard Systems: Integrating Biodiversity and Digital Monitoring for Sustainable Production Audrone Ispiryan, Rasa Pakeltiene	175
Nature-Based Solutions and the Bioeconomy as Pillars of Human and Ecosystem Safety Alina Butu, Izabela Stancu, Steliana Rodino, Marian Butu	180
Advancing Human and Nature Safety Through Agroecological Living Labs Marian Butu, Audrone Ispiryan, Alina Butu, Steliana Rodino	186
Perspectives on the Pollination of Fruits and Berries Marie Charlotte Anstett	192
Can Treated Wastewater be Used for Irrigation Without Compromising Vegetable Quality? Tina Smrke, Uros Kavkler, Blaz Germsek, Borut Solina, Branko Lah, Katja Kuzmic, Matjaz Fras, Antoaneta Kuhar, Andreja Zibrat Gasparic, Nika Cvelbar Weber	198
The Role of Gram-Negative Bacterial Outer Membrane Vesicles in Plant-Pathogen Interactions Giedrė Valdonė Sakalauskienė, Daniele Bellucci	203
Bacteriophages as Regulators of Plant-Associated Bacterial Communities Giedrė Valdonė Sakalauskienė, Daniele Bellucci	208
Shifts in Environmental Risk Perception and Recovery Potential in Green Spaces Kadri Maikov	213
Vėjo žalos rizikos vertinimas Lietuvos miškuose taikant GIS technologijas Audrius Dėdelė, Greta Rekšytė	219
Darbo aplinkos triukšmo poveikis darbuotojų sveikatai baldų gamybos įmonėje Rasa Surmilavičienė, Sandra Andrušaitė	224
Mažo alkaloidingumo <i>Lupinus angustifolius</i> L. veislės kaip augalinio baltymo šaltinis Zita Maknickienė, Rita Asakavičiūtė	230
The Impact of Ambient Air Temperature on Mental Health and Cardiovascular Diseases: A Narrative Review Sonata Čerkauskaitė	236
Polichrominius meno kūrinius kolonizuojantys mikroskopiniai grybai ir jų poveikis dailėje naudojamiems pigmentams Gabrielė Butėnaitė, Eglė Malachovskienė, Olga Ščit	240

EKOLOGIJA, DARNI MIŠKININKYSTĖ <i>ECOLOGY, SUSTAINABLE FORESTRY</i>	247
From Awareness to Action: Public Motivation for Biodiversity Conservation and Nature-Based Solutions Anželika Dautartė, Vitas Marozas	248
From Industrial Ruins to Living Systems: Evaluating Nature-Based Solutions in Industrial Site Regeneration Through Case Studies Diana Žmėjauskaitė	254
Blogos melioracinės būklės plotų identifikavimo erdvinį duomenų rinkiniuose palyginimas Jolanta Valčiukienė, Daiva Juknelienė, Giedrius Balevičius, Vilimantas Vaičiukynas	259
Sezoniniai mikroskopinių grybų gausumo svyravimai paprastojo (<i>Quercus robur</i>) ir raudonojo ąžuolo (<i>Q. Rubra</i>) medynų paklotėje ir mineraliniame dirvožemyje Svajūnė Grubinskaitė, Nijolė Petraitytė	266
Nuotekų dumblo komposto panaudojimo tręšimui ilgalaikė įtaka kai kurioms energinėms žolėms ir dirvožemiui Jelena Ankuda, Eugenija Bakšienė, Almantas Ražukas, Diana Sivojienė	272
Non-Target <i>Coleoptera</i> Biodiversity and Species Composition in Lithuanian Forests Revealed by <i>Ips Typographus</i> Trap Monitoring Ashley Vicente, Aurelija Ramanauskaitė, Povilas Mulerčikas	277
Influence of Temperature and Salinity on Nutrient Dynamics in the Southeastern Baltic Sea (2020–2024) Syful Islam, Laima Česonienė	282
Nevėžio upės ties Kėdainiais ekologinė būklė Kristina Boguševičiūtė, Laima Česonienė	287
Biržulio ežero vandens dinamika 2012–2025 m. laikotarpiu Kristina Jankauskienė, Laima Česonienė	292
Biodiesel Synthesis From Pumpkin Seed Oil With Ethanol & Lipase as a Biocatalyst Temiloluwa Daniel Ajayi, Ieva Pinkė	298
Sudotėlio ežero būklės dinamika 2007–2025 metais Rasa Čibirienė, Laima Česonienė	301
Masčio ežero vandens kokybės dinamika 2012–2025 metais Robertas Norkevičienė, Laima Česonienė	307
Comparative Assessment of the Conductivity and P- Energy Value on Moroccan and Lithuanian Honey Quality Sara Aniba, Daiva Šileikienė	312
Meteorologinių sąlygų įtaka grikių (<i>Fagopyrum esculentum</i> Moench) veislės 'VB Nojai' produktyvumui Lietuvoje Danuta Romanovskaja, Almantas Ražukas	318
Medaus kokybiniai holistinių rodiklių skirtumai urbanizuotose miestų teritorijose Jurgita Malažinskienė, Daiva Šileikienė, Paulius Chockevičius	323
Baltijos jūros pakrantės smėlio savitojo aktyvumo tyrimas ir vertinimas Grażina Grigaliūnaitė-Vonsevičienė, Artūras Jukna	329
Ecological Potential of Kaunas Lagoon Nazrin Hajiyeve, Anželika Dautartė	335
Ekologiško kanapių sėklų aliejaus biocheminių rodiklių vertinimas Gabrielė Morkūnienė, Daiva Šileikienė, Linas Kreiza	341
<i>Penicillium</i> Link, 1809 genties grybai pušyno dirvožemyje Simas Kasputis, Jurgita Švedienė	347
Biopreparato GTC/GVT 2021 ir mineralinių priedų įtaka naftos produktais užteršto grunto valymui Jurgita Švedienė, Konstantinas Iljasevičius, Jonas Žvirgždas, Ieva Paunksnytė-Markevičienė, Irma Galginienė, Algimantas Paškevičius	354

Biostimuliacijos ir bioaugmentacijos įtaka dirvožemio fermentiniam aktyvumui bei medienos biodegradacijai Rūta Bugytė, Vita Raudonienė, Danguolė Bridžiuvienė	358
Mielių paplitimas ir bioįvairovė Vilniaus miesto antropogeniniuose dirvožemiuose Jonas Žvirgždas, Algimantas Paškevičius	363
Kovos priemonių su žuvų saprolegnizės sukėlėjais – oomikotais (<i>Oomycota</i>) – paieška Aurelija Žuolytė, Gediminas Staigvila, Svetlana Markovskaja	370
Kalkinimo poveikis dirvožemio rūgštingumui, mainų kalciumui ir magniui bei žieminių javų produktyvumui Romutė Mikučionienė, Sinilga Černulienė, Asta Doftartė	376
Skirtingų sojų veislių produktyvumo palyginimas Aušra Marcinkevičienė, Aušra Sinkevičienė, Egidijus Zvicevičius	382
Aktinobakterijų gebėjimas produkuoti proteazes Eglė Nenartovičiūtė, Jurgita Švedienė	388
Herbicidų poveikis vasarinių miežių pasėliui Darija Jodaugienė, Lukas Juozaitis, Romas Paksas	392
Kukurūzų pasėlio su bastutinių augalų įsėliais vystymasis ir produktyvumas Aušra Armanavičiūtė, Austėja Švereikaitė, Jovita Balandaitė, Rasa Kimbirauskienė, Kęstutis Romanekas	397
<i>Dematiaceae</i> šeimos grybų paplitimas bičių žiedadulkėse Jolanta Sinkevičienė, Ieva Sinkevičiūtė	402
Sėjos laiko ir sėklos normos įtaka žieminių miežių žiemojimui bei derliaus kokybei Lina Marija Butkevičienė, Rimantas Velička, Robertas Kosteckas	406
Sosnovskio barščių alelopatinis poveikis baltosios balandos ir paprastosios rietinės sėklų dygimui Rita Čepulienė, Kęstutis Romanekas, Rita Pupalienė, Aušra Sinkevičienė, Zita Kriaučiūnienė, Rendy Anggriawan, Jovita Balandaitė, Rasa Kimbirauskienė, Austėja Švereikaitė	413
Rudeninio purškimo poveikis žieminių kviečių pasėliui Lukas Juozaitis, Darija Jodaugienė, Gabrielė Pšibišauskienė, Ona Auškalnienė, Edita Mažuolytė-Miškinė, Marija Fausta Rimkevičiūtė	419
Rudeninių ir pavasarinių įsėlių poveikis žieminių kviečių vystymuisi ir produktyvumui Eglė Markevičiūtė, Rokas Jonaitis, Jovita Balandaitė, Austėja Švereikaitė, Aušra Sinkevičienė, Lina Juodytė, Ignas Sujetovas, Kęstutis Romanekas	425
Skirtingų priešėlių įtaka piktžolių sėklų kiekiui žieminių kviečių pasėlyje Jokūbas Tunikas, Rasa Kimbirauskienė, Anicetas Lenkis, Kęstutis Romanekas, Aušra Sinkevičienė	431
Skirtingo žemės dirbimo įtaka piktžolių sėklų kiekiui žieminių kviečių pasėlio dirvožemyje Arvydas Ulpis, Anicetas Lenkis, Augustas Sederevičius, Aušra Sinkevičienė, Rasa Kimbirauskienė	437

BIOSISTEMŲ INŽINERIJA

BIOSYSTEM ENGINEERING

AGROCHEMINIAI DIRVOŽEMIO PARAMETRAI IR JŲ RYŠYS SU ANGLIES KIEKIU

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

Vytauto Didžiojo universitetas

Dirvožemio agrocheminiai parametrai yra svarbūs veiksniai, lemiantys dirvožemio organinės anglies (SOC) dinamiką ir anglies srautus žemės ūkio ekosistemose, todėl tyrimo tikslas buvo įvertinti šių parametru pokyčius ir jų tarpusavio ryšius. Tyrimai parodė, kad dirvožemyje vyksta nuoseklus organinės medžiagos ir anglies kaupimasis, tačiau kartu stebimas dirvožemio rūgštėjimas ir fosforo kiekio mažėjimas, galintys riboti mikrobiologinę veiklą ir augalų mitybą. Nustatyta, kad kalio ir magnio kiekiai išliko stabilūs ir neturėjo esminės įtakos anglies kaupimosi procesams. Rezultatai rodo, kad organinės anglies didėjimas gali vykti net ir esant nepalankiems agrocheminių parametru pokyčiams, tikėtina dėl organinės medžiagos stabilizacijos ir mikrobiologinių procesų, tačiau ilgalaikėje perspektyvoje dirvožemio rūgštėjimas ir maistinių medžiagų disbalansas gali mažinti anglies kaupimosi potencialą. Gauti rezultatai pabrėžia subalansuoto dirvožemio valdymo svarbą, siekiant išlaikyti dirvožemio produktyvumą ir užtikrinti tvarius anglies apykaitos procesus.

Raktiniai žodžiai: dirvožemio dinamika, klimatas, anglis, emisijos.

Įvadas

Dirvožemio agrocheminiai parametrai – įskaitant dirvožemio organinės anglies (SOC) koncentraciją, pH, azoto (N) ir kitų maistinių elementų kiekius – yra esminiai veiksniai, reguliuojantys anglies srautus ir ciklus žemės ūkio ekosistemose (Kuśmierz et al., 2023; Meng et al., 2024). SOC sudaro didžiąją dalį terestriinių organinės anglies atsargų, o mažėjantis SOC dažnai siejamas su didesniu CO₂ išsiskyrimu ir sumažintu anglies sekvestracijos potencialu žemdirbystės dirvožemiuose (Fohrafellner et al., 2023; Nwaogu, 2026).

Dirvožemio pH yra vienas pagrindinių agrocheminių veiksnių, kuris moduliuoja mikrobiologinius procesus, anglies mineralizaciją ir organinių junginių stabilumą. Ankstesni tyrimai parodė, kad padidėjęs dirvožemio pH gali padidinti mikrobino augimo efektyvumą, tačiau tolesnis pH didėjimas neturi tiesioginio poveikio SOC kaupimui, o rūgštimis sąlygomis mikrobiologinis aktyvumas dažnai riboja anglies skilimą (Malik et al., 2018; Kuśmierz et al., 2023). Be to, dirvožemio pH ir tekstūra buvo identifikuoti kaip pagrindiniai veiksniai, lemiantys SOC atsargas ir jų reakciją į tręšimą ar kitus agrocheminius veiksnius (Kuśmierz et al., 2023).

Tręšimo ir dirvožemio valdymo praktikos daro didelį poveikį SOC dinamikai ir anglies srautams. Daugiau nei 900 palyginimų iš 90 mokslinių publikacijų meta-analizėje parodė, kad tam tikros žemdirbystės praktikos – pavyzdžiui, šiaudų grąžinimas (straw return) – gali reikšmingai padidinti SOC (~24 %) ir sumažinti N₂O emisijas (Meng et al., 2024). Be to, organinių medžiagų – organinių trąšų ir augalinių liekanų – įtraukimas į dirvą paprastai skatina SOC kaupimą, o ilgalaikės organinės tręšimo programos didina dirvožemio anglies stabilumą ir mikrobiologinį aktyvumą (Han et al., 2016).

SOC ir N santykis (C:N) dažnai yra svarbus biogeocheminis indikatorius. Jis moduliuoja organinių medžiagų mineralizacijos greitį ir mikrobiologinį aktyvumą – paprastai aukštesnis C:N santykis susijęs su lėtesne dekompozicija ir didesniu anglies išlaikymu, tačiau labai aukšti santykiai gali riboti azoto prieinamumą ir silpninti augalų augimą (Sahu, 2021; openknowledge.fao.org, 2021). Be to, dirvožemio cheminė sudėtis ir mikrobiologinės savybės dar labiau sąveikauja su klimato veiksniais – pavyzdžiui, drėgnumu ir temperatūra – todėl SOC dinamika yra regioniskai heterogeniška ir priklauso nuo įvairių agrocheminių bei ekologinių veiksnių (Azevedo et al., 2024; Sahu, 2021).

Taigi agrocheminiai parametrai – pH, SOC atsargos, N kiekis ir dirvos valdymo praktikos – sąveikauja tarpusavyje ir su biogeocheminiais procesais, formuodami realius anglies srautus žemės ūkio dirvožemiuose. Tokios sąveikos supratimas yra būtinas siekiant optimizuoti tvarias dirvožemio valdymo strategijas, kurios padėtų sumažinti CO₂ emisijas, pagerinti dirvožemio kokybę ir padidinti anglies sekvestracijos potencialą (Meng et al., 2024; Han et al., 2016; Malik et al., 2018).

Tyrimų metodika

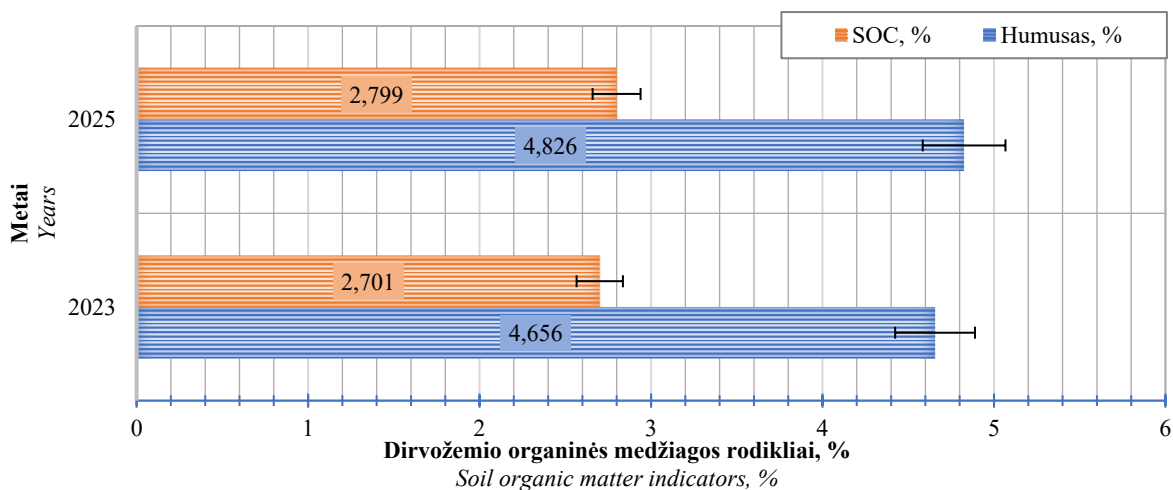
Ekspperimentiniai tyrimai atlikti 2023–2025 m. laikotarpiu Pietryčių Lietuvos žemės ūkio naudmenose, siekiant įvertinti dirvožemio agrocheminių parametru dinamiką ir jų ryšį su organinės anglies (SOC) pokyčiais.

Tyrimų objektu pasirinkti ariami dirvožemiai, kuriuose taikomos įprastos žemdirbystės praktikos, įskaitant augalinių liekanų įterpimą.

Dirvožemio ėminiai buvo imami 2023 ir 2025 metais iš 0–20 cm armens sluoksnio, laikantis standartizuotos ėminių ėmimo metodikos. Kiekvienoje tyrimų vietoje sudaryti jungtiniai ėminiai iš kelių (ne mažiau kaip 5) taškinių ėminių, siekiant sumažinti erdvinį kintamumą. Mėginiai buvo išdžiovinti, išsijoti per 2 mm sietą ir paruošti laboratoriniams tyrimams. Laboratoriniai tyrimai atlikti taikant standartinius agrocheminių analizių metodus. Dirvožemio pH nustatytas potenciometrinio metodu KCl tirpale. Organinės anglies (SOC) koncentracija įvertinta sausojo deginimo metodu, humuso kiekis apskaičiuotas pagal nustatytą organinės anglies kiekį, taikant perskaičiavimo koeficientą, judriojo fosforo (P_2O_5) ir kalio (K_2O) kiekiai nustatyti ekstrakcijos metodu (AL metodika), magnio (Mg) koncentracija nustatyta taikant atominę absorbcinę spektrometriją. Gauti duomenys analizuoti taikant statistinius metodus. Apskaičiuoti vidurkiai, procentiniai pokyčiai ir variacijos rodikliai tarp 2023 ir 2025 metų.

Rezultatai ir aptarimas

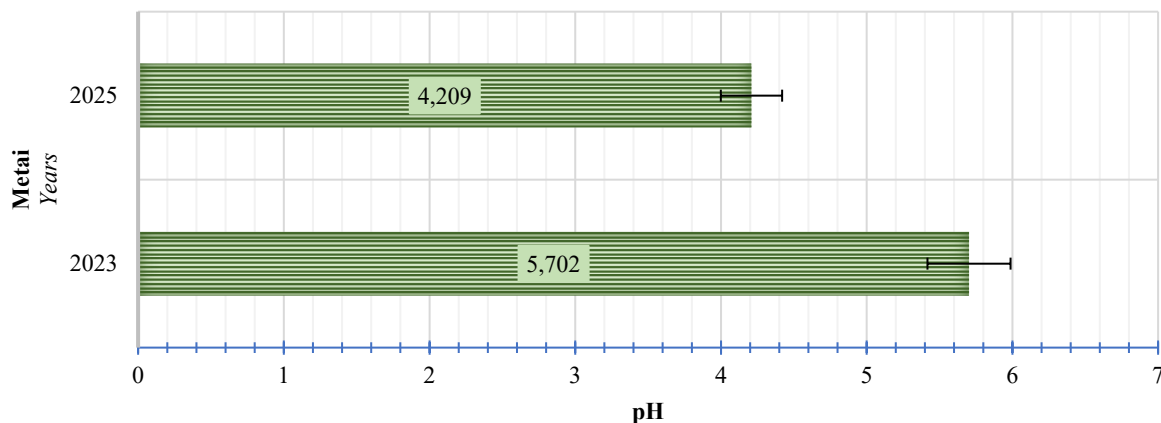
Analizuojant 2023–2025 m. matavimus, nustatyta, kad humuso koncentracija padidėjo nuo 4,656 % iki 4,826 %, t. y. apie 3,51 % (1 pav.). Šis nuoseklus padidėjimas rodo, kad organinės medžiagos kaupimas dirvožemyje vyko stabiliai. Toks efektyvumas pasiekiamas augalinių liekanų įtraukimu į dirvą bei mikrobiologinės apykaitos procesų stabilizacija, leidžiant išsaugoti organinę medžiagą. Humuso padidėjimas atspindi dirvožemio gebėjimą kaupti organinę anglies masę.



1 pav. Dirvožemio humuso ir organinės anglies (SOC) koncentracijos pokytis (%) 2023–2025 m.

Fig. 1. Change in soil humus and organic carbon (SOC) concentration (%) in 2023–2025

SOC padidėjo nuo 2,701 % iki 2,799 %, atitinkamai 3,51 %. Tai rodo efektyvų organinės anglies kaupimąsi per dvejus metus (1 pav.).



2 pav. Dirvožemio pH pokytis 2023–2025 m.

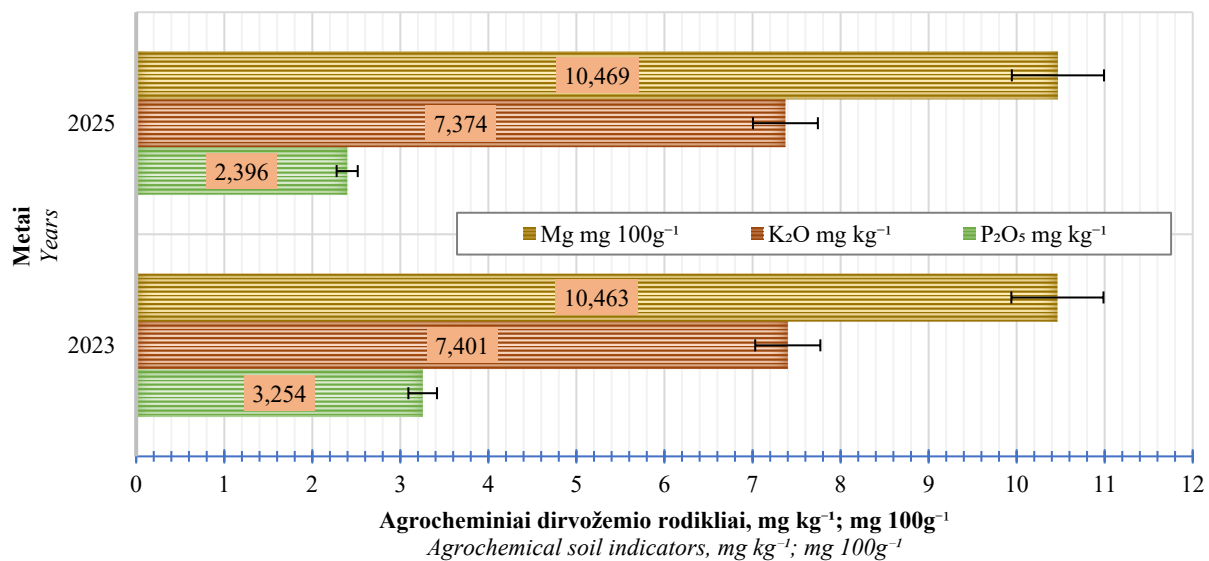
Fig. 2. Soil pH changes in 2023–2025

Dirvožemio rūgštingumas sumažėjo nuo 5,702 iki 4,209 (–35,5 %) (2 pav.). Tyrimų duomenys rodo, kad reikšmingas rūgštingumo didėjimas – pH rodiklio mažėjimas, gali riboti mikrobiologinę apykaitą, sulėtinti organinės medžiagos mineralizaciją ir sumažinti maistinių elementų prieinamumą. Moksliniais tyrimais nustatyta, kad mažėjant pH silpnėja mikrobiologinė apykaita ir lėtėja organinės medžiagos skaidymas bei mineralizacija (Rousk et al., 2010; Paul, 2015). Dirvožemio ar kompostavimo terpės rūgštėjimas gali mažinti maistinių elementų prieinamumą, nes pH pokyčiai daro įtaką maisto medžiagų tirpumui ir jų pasisavinimui biologiniuose procesuose (Brady & Weil, 2016; Marschner, 2012).

P_2O_5 sumažėjo nuo 3,254 mg/kg iki 2,396 mg/kg (–35,8 %). Tai rodo reikšmingą fosforo trūkumą, galintį riboti augalų maistinių elementų prieinamumą ir mikrobiologinę aktyvumą. Kritimas gali būti dėl augalų įsisavinimo, fosforo sorbcijos dirvožemyje.

K_2O koncentracija esminiai nesikeitė – 7,401 mg/kg 2023 m. ir 7,374 mg/kg 2025 m. Šis stabilus kiekis rodo, kad kalio trūkumo 2023–2025 m. nebuvo, todėl šis elementas nebuvo ribojantis veiksnys SOC kaupimui ar augalų augimui.

Mg koncentracija išliko stabili – 10,463 mg/100 g 2023 m. ir 10,469 mg/100 g 2025 m. Tai rodo, kad magnio kiekis nebuvo ribojantis dirvožemio produktyvumą ar organinės anglies kaupimą (3 pav.).



3 pav. Magnio kiekio (Mg, mg/100 g), fosforo kiekio (P_2O_5 , mg/kg), kalio kiekio (K_2O , mg/kg) pokytis 2023–2025 m.

Fig. 3. Change in magnesium content (Mg, mg/100g), phosphorus content (P_2O_5 , mg/kg), potassium content (K_2O , mg/kg) in 2023–2025

Apibendrinant visų tirtų agrocheminių parametrų pokyčius nustatyta, kad per tyrimo laikotarpį padidėjo humuso ir dirvožemio organinės anglies (SOC) kiekis, nors tuo pačiu metu buvo fiksuotas dirvožemio pH ir judriojo fosforo (P_2O_5) sumažėjimas, o kalio ir magnio kiekiai išliko palyginti stabilūs. Gauti rezultatai rodo bendrą organinės anglies kaupimosi tendenciją dirvožemyje per tiriamą laikotarpį. Pastebėtas dirvožemio rūgštėjimas ir mažėjantis fosforo kiekis gali būti svarbūs veiksniai, kurie ilgalaikėje perspektyvoje gali turėti įtakos dirvožemio cheminėms savybėms ir augalų mitybos sąlygoms. Šie rezultatai atitinka kitų tyrimų išvadas, kad dirvožemio pH ir maistinių medžiagų kiekis yra pagrindiniai veiksniai, reguliuojantys anglies srautus ir mikrobiologinį aktyvumą žemės ūkio dirvožemyje (Han et al., 2016; Kuśmierz et al., 2023; Malik et al., 2018).

Išvados

1. Tyrimais įvertinta, kad dirvožemio humuso kiekis nuo 2023 iki 2025 m. padidėjo nuo 4,656 % iki 4,826 %, o dirvožemio organinės anglies (SOC) koncentracija – nuo 2,701 % iki 2,799 %, t. y. apie 3,5 %. Šis pokytis rodo nuoseklų organinės anglies kaupimą.
2. Tyrimų duomenimis, dirvožemio pH sumažėjo nuo 5,702 iki 4,209 (–35,5 %), o P_2O_5 koncentracija – nuo 3,254 mg/kg iki 2,396 mg/kg (–35,8 %). Šie pokyčiai rodo reikšmingą rūgštėjimą ir fosforo trūkumo atsiradimą, kurie gali riboti mikrobiologinę apykaitą, sulėtinti organinės medžiagos mineralizaciją ir sumažinti maistinių elementų prieinamumą augalams.
3. Analizuojant kalio (K_2O) ir magnio (Mg) koncentracijas nustatyta, kad šių elementų kiekis per dvejus metus esminiai nesikeitė (K_2O : 7,401 → 7,374 mg/kg; Mg: 10,463 → 10,469 mg/100 g), todėl jų trūkumas neturėjo įtakos SOC kaupimui ar augalų augimui.

4. Tyrimų analizė rodo, kad SOC ir humuso padidėjimas įvyko nepaisant dirvožemio pH ir P_2O_5 sumažėjimo, dėl organinės medžiagos stabilizacijos dirvožemyje ir natūralaus mikrobiologinio aktyvumo.

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. Azevedo, L. C. B., et al. (2024). Microbial contribution to the carbon flux in the soil: A literature review. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 48, e0230065. <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20230065>
2. Brady, N. C., Weil, R. R. (2016). The nature and properties of soils (15th ed.). *Pearson Education*.
3. Fohrafellner, J., Zechmeister-Boltenstern, S., Murugan, R., & Valkama, E. (2023). Quality assessment of meta-analyses on soil organic carbon. *Soil*, 9, 117–140. <https://doi.org/10.5194/soil-9-117-2023>
4. Han, P., et al. (2016). Changes in soil organic carbon in croplands subjected to different fertilizer managements: A global meta-analysis. *Scientific Reports*, 6, 27199. <https://doi.org/10.1038/srep27199>
5. Kuśmierz, S., Skowrońska, M., Tkaczyk, P. (2023). Soil organic carbon and mineral nitrogen contents as affected by pH, texture and fertilization. *Agronomy*, 13(1), 267. <https://doi.org/10.3390/agronomy13010267>
6. Malik, A. A., et al. (2018). Land use driven change in soil pH affects microbial carbon cycling processes. *Nature Communications*, 9, 3591. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-05980-1>
7. Marschner, P. (2012). *Marschner's mineral nutrition of higher plants* (3rd ed.). Academic Press.
8. Meng, X., et al. (2024). A meta-analysis of conservation tillage management effects on soil organic carbon sequestration and soil greenhouse gas flux. *Science of the Total Environment*, 954, 176315. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176315>
9. Paul, E. A. (2015). *Soil microbiology, ecology and biochemistry* (4th ed.). Academic Press.
10. Rousk, J., Brookes, P. C., Bååth, E. (2010). Investigating the mechanisms for the opposing pH relationships of fungal and bacterial growth in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 42(6), 926–934. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.02.009>
11. Sahu, B. (2021). Sustainable carbon management practices and soil fertility. In *Sustainable carbon management practices*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.97706>
12. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2021). *Soil organic carbon and nitrogen*. <https://www.fao.org>

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

Agrochemical Soil Parameters and Their Relationships with Carbon Fluxes

Vytautas Magnus University, Lithuania

Soil agrochemical parameters are important factors determining the dynamics of soil organic carbon (SOC) and carbon flows in agricultural ecosystems, therefore the aim of the study was to assess the changes in these parameters and their interrelationships. The studies showed that there is a consistent accumulation of organic matter and carbon in the soil, but at the same time, soil acidification and a decrease in phosphorus content are observed, which can limit microbial activity and plant nutrition. It was found that the amounts of potassium and magnesium remained stable and did not significantly affect carbon accumulation processes. The results show that the increase in organic carbon can occur even with unfavorable changes in agrochemical parameters, likely due to organic matter stabilization and microbiological processes, but in the long term, soil acidification and nutrient imbalance can reduce the carbon accumulation potential. The obtained results emphasize the importance of balanced soil management in order to maintain soil productivity and ensure sustainable carbon metabolism processes.

Keywords: Soil dynamics, climate; carbon, emissions, precipitation.

Gauta 2026 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2026 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 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 g. 15a, LT-53362, Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 37 752357, e-mail: zygimantas.kidikas@vdu.lt

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 37 752357, el. paštas: gediminas.zdanavicius@vdu.lt

Gediminas ZDANAVIČIUS. 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 37 752357, e-mail: gediminas.zdanavicius@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 37 752357, 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 g. 15a, LT-53362, Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 37 752357, e-mail: vilma.naujokiene@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 37 752357, el. paštas: rytis.skominas@vdu.lt

Rytis SKOMINAS. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Water Engineering, assoc. prof. Address: Studentų g. 15a, LT-53362, Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 37 752357, e-mail: rytis.skominas@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 37 752357, 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 g. 15a, LT-53362, Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 37 752357, e-mail: egidijus.sarauskis@vdu.lt

ŠONINIO VĖJO GREIČIO ĮTAKA DRONU BARSTOMŲ SĖKLŲ SKLAIDOS TOLYGUMUI

Mantas Petrulis, Jonas Balčiūnas, Simas Sokas, Dainius Steponavičius

Vytauto Didžiojo universitetas

Šiame tyrime eksperimentiškai analizuotas šoninio vėjo poveikis dronais barstomų sėklų sklaidos tolygumui. Tyrimuose naudotas keturių rotorių barstymo dronas XAG XP2020, kuriuo barstytos baltųjų garstyčių (*Sinapis alba* L.) sėklos iš 3 ir 4 m aukščio. Sėklų išbėrimo norma viso tyrimo metu buvo pastovi – 60 kg/ha. Eksperimentų metu, vidutinio stiprumo (6 m/s) šoninio vėjo greitis buvo sukuriamas oro srauto generatoriumi. Palyginamieji tyrimai buvo atlikti kontrolinėmis sąlygomis (be vėjo). Drono skridimo greitis siekė 4 m/s. Jis skrido 3,4 m atstumu nuo oro srauto generatoriaus. Paskleidimo kokybė vertinta kolektoriniu metodu. Ant žemės paviršiaus, 200 × 960 cm plote, buvo išdėstyti rėmeliai prie kurių pritvirtinta 240 sėklų surinkimo maišelių (20 × 20 cm). Dronas virš sėklų surinkimo zonos skrido 20 kartų. Pasvėrus iš maišelių surinktas sėklas, apskaičiuotas variacijos koeficientas (CV) ir nustatytas efektyvus drono darbinis plotis. Nustatyta, kad skrendant žemiau (3 m aukštyje), sėklas šoninis vėjas nuneša mažiau ir didėjantis vėjo greitis daro mažesnį poveikį sklaidos poslinkiui, tačiau pablogėja išbėrimo tolygumas ir sumažėja drono darbinis plotis. Tuomet, nesant šoninio vėjo, 0,8 m darbiniam plotyje, variacijos koeficientas siekia 15,8 %, o 1,2 m plotyje – 36,2%. Pučiant 6 m/s šoniniam vėjui, CV padidėja, atitinkamai, iki 47,3% ir 55,4%. Tyrimo rezultatai parodė, kad drono skridimo aukštis reikšmingai veikia sėklų paskleidimo tolygumo ir šoninio vėjo poveikio tarpusavio santykį. Parenkant skridimo aukštį būtina įvertinti vėjo greitį, nes skirtingi aukščiai daro reikšmingą poveikį sėklų nunešimui ir drono darbinio ploto stabilumui. Nustatyta, kad siekiant užtikrinti tolygų sėklų paskirstymą, būtinas siauras (apie 0,8–1,2 m) atstumas tarp sėjos linijų, tačiau tai mažina darbo efektyvumą.

Raktiniai žodžiai: baltoji garstyčia, tarpiniai augalai, dronai, sėja dronais, išbėrimo tolygumas.

Įvadas

Didėjanti pasaulinė maisto paklausa intensyviai skatina žemės ūkio sektoriaus tobulėjimą. Norint maksimaliai išnaudoti resursus, didinti produktyvumą ir tvarumą vienas efektyviausių būdų yra taikyti tiksliosios žemdirbystės sistemas (Masi et al., 2022). Integruodami pažangias technologijas, tokias kaip GPS, automatizacija, nuotolinis stebėjimas, duomenų analizė ir kita, ūkininkai gali centimetrų tikslumu atlikti sėjos, tręšimo, purškimo ar žemės dirbimo darbus, surinkti išsamią informaciją apie dirvožemio ir pasėlių būklę bei oro sąlygas laukuose (Niedbała et al., 2024). Dronai yra viena iš tiksliosios žemdirbystės technologijų, galinčių palengvinti darbą ūkyje. Jie daugiausiai naudojami nuotolinio pasėlių ir derliaus stebėjimo, pesticidų purškimo, tam tikro derliaus nuėmimo (vaisių), trąšų barstymo, tarpinių pasėlių sėjos ir kitose srityse (Wang et al., 2023). Tarpinių pasėlių auginimas gana plačiai naudojama technologija šiuolaikiniuose ūkiuose. Jie ne tik praturtina dirvožemį maistinėmis ir organinėmis medžiagomis, bet ir teigiamai veikia fizikines, biologines ir chemines jo savybes, užlaiko vandenį ir stabdo eroziją (Sharma et al., 2018). Nors tarpinių pasėlių sėjai plačiausiai naudojami tradiciniai barstytuvai bei sėjamosios, tačiau vienas iš naujausių būdų šiam darbui atlikti yra sėjos dronai. Tai palyginti nauja, mažai ištirta technologija, tačiau galinti užtikrinti aukštą tikslumą ir efektyvumą. Mokslinėje literatūroje galime rasti tyrimų apie skrydžio aukščio, greičio ar išbėrimo normos poveikį sėklų sklaidai (Song et al., 2023; Nordin et al., 2022). Vienas iš didžiausių iššūkių su kuriuo susiduriama naudojant dronus tarpinių pasėlių sėjai, tai išbėrimo tolygumo išlaikymas skrendant skirtingame aukštyje bei esant šoninio vėjo poveikiui. Todėl šio tyrimo tikslas yra įvertinti skrydžio aukščio ir šoninio vėjo poveikį drono sėjos tolygumui ir sėklų dreifui bei nustatyti optimalias skrydžio sąlygas, užtikrinančias tikslų ir efektyvų sėklų išbėrimą.

Tyrimų metodika

Eksperimentiniai tyrimai buvo atliekami 2024–2026 m. VDU Žemės ūkio akademijos Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedroje, naudojant keturių rotorių droną-barstytuvą XAG XP2020 (1 pav.). Šiame drone sumontuota 20 litrų sėklų talpa su „JetSeed“ pneumatine išbėrimo sistema, leidžiančia barstyti 1–10 mm dydžio granules (2 pav.). Dronas valdomas autonomiškai, naudojant RTK tikslumo GNSS sistemą, užtikrinančią centimetro tikslumo skrydžio trajektoriją. Siekiant užtikrinti didžiausią barstymo normą ir mechanizmo stabilumą, tyrimams buvo naudojama stambių sėklų ritė, skirta didesnio skersmens frakcijoms.



1 pav. Dronas XAG XP2020

Fig. 1. Drone XAG XP2020



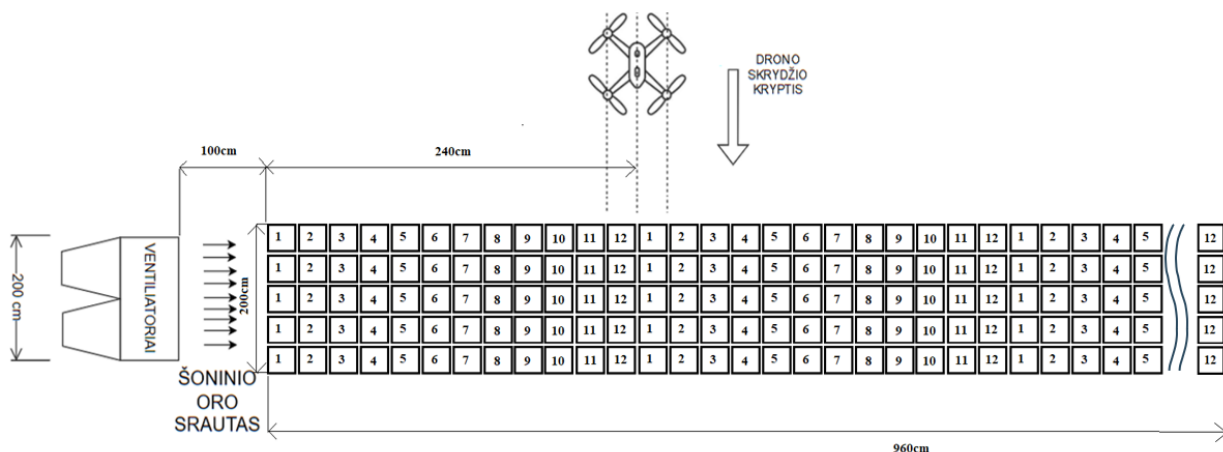
2 pav. Drono XAG XP2020 JetSeed išbarstymo aparato schema

Fig. 2. Scheme of XAG XP2020 drone JetSeed dispensal mechanism

Tyrimuose barstytos baltosios garstyčios ‘Braco’ (*Sinapis alba* L.) – viena dažniausių tarpinių pasėlių rūšių, pasirenkama dėl vienodesnio sėklų dydžio ir aerodinaminių savybių. Prieš bandymus buvo vykdomas drono bėrimo sistemos kalibravimas, užtikrinant, kad pasirinkta ritė tiksliai dozuotų reikiamą normą, o skrydžio ir bėrimo parametrai išliktų stabilūs viso eksperimento metu.

Tyrimo metu droną valdė kvalifikuotas pilotas. Prieš pradėdant darbus, valdymo pulte buvo sukonfigūruota saugi skrydžio zona ir optimali trajektorija, įvertinant kliūtis bei reikiamus saugos atstumus. Dronas buvo paruošiamas patikrinant mechaninę būklę, sparnuočių veikimą ir variklių stabilumą. Visi bandymo parametrai – skrydžio aukštis (3 arba 4 m), greitis (4 m/s) ir išbėrimo norma (60 kg/ha) – buvo palaikomi pastovūs.

Šoninio vėjo poveikiui tirti buvo naudojamas specialiai sukurtas oro srauto generatorius (5a pav.), sudarytas iš dviejų ašinių ventiliatorių (Ø 1000 mm), varomų 15 kW elektros varikliais. Oro greitis reguliuotas įtampos dažnio keitikliais, nustatant skirtingus bandymo lygius: 0 ir 6 m/s. Imti vėjo greičių kraštutiniai, reprezentuojantys vėjo nebuvimą ir vidutinį vėją, kad išsiaiškinti esminius skirtumus. Dronas skrido virš matavimo zonos pavaizduotos 3 paveiksle, kurioje išdėstyta sėklų surinkimo sistema. Visą zoną sudaro 5 eilės surinkimo rėmelių po 4 rėmelius, kad būtų išgaunama surinkimo zona 200 × 960 cm (schema matoma 3 pav., o realus vaizdas 5b pav.). Vienas rėmelis yra 240 cm ilgio, o jame yra sudėta 12 surinkimo maišelių kas 20 cm (4 pav.). Maišeliai išdėstyti be tarpų, kad būtų fiksuota visa bėrimo kreivė.



3 pav. Tyrimo schema su sėklų surinkimo sistema

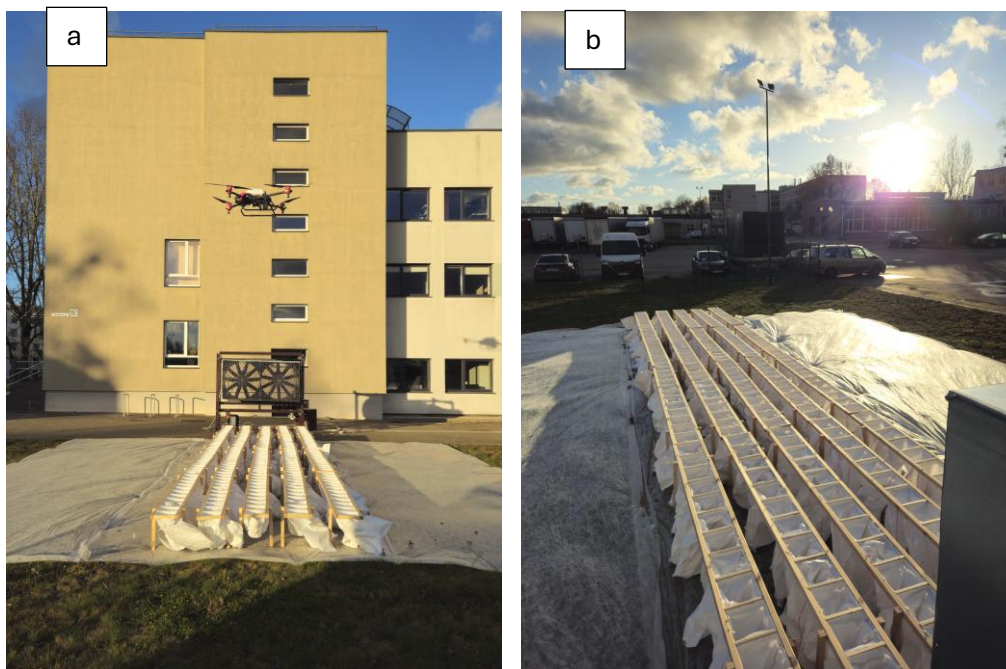
Fig. 3. Experimental layout with the seed collection system



4 pav. Surinkimo sistemos komponentas – rėmelis su maišeliais

Fig. 4. Component of the collection system – frame with bags

Kiekvienam bandymo režimui buvo atliekami mažiausiai 3 pakartojimai, o vienas matavimo ciklas sudarytas iš 20 skrydžių, siekiant sumažinti atsitiktinių veiksnių įtaką ir gauti patikimus rezultatus. Drono trajektorija buvo sukonfigūruota taip, kad sėklos būtų barstomos tiksliai virš matavimo zonos, o į ją įskristų jau esant stabiliam bėrimo režimui. Grįžtančio drono skrydis buvo nustatytas taip, kad skristų šalia matavimo zonos, kad nebūtų paveikti rezultatai.



5 pav. Eksperimentinės metodikos iliustracijos: a) drono veikimas bandymo metu; b) sėklų surinkimo sistemos vaizdas

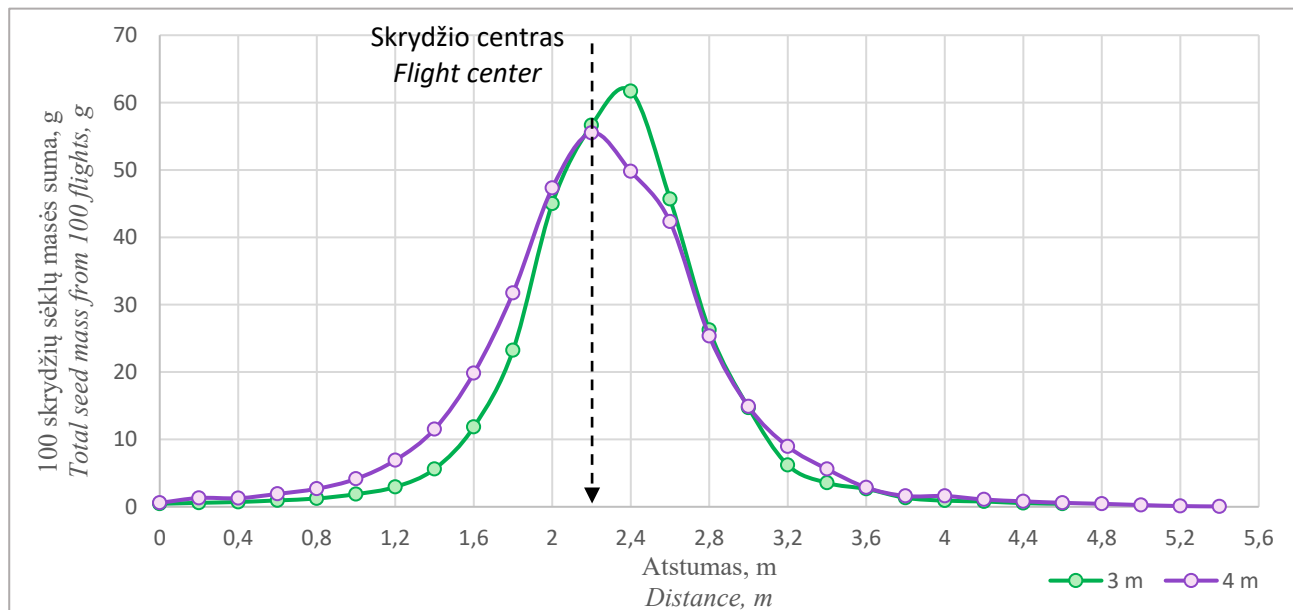
Fig. 5. Illustrations of the experimental methodology: a) drone operation during the test; b) view of the seed collection system

Po kiekvieno skrydžio buvo pasveriami iš kiekvieno maišelio surinkta sėklų masė. Gauti duomenys sisteminami „Excel“ programoje, skaičiuojant kiekvienos pozicijos pakartojimų sumas, vidurkius, bendrą vidurkį ir standartinę nuokrypį. Tolygumui vertinti taikytas variacijos koeficientas (CV, %), nustatytas 0,95 tikimybės lygiu. Taip pat buvo analizuojama efektyvioji bėrimo zona šiam dronui, vertinant masės pokyčius skirtingais vėjo greičiais bei skrydžio aukščiais. Šie rezultatai leidžia nustatyti optimalų drono skridimo aukštį įvertinus šoninio vėjo greitį, užtikrinant efektyvų ir tikslų tarpinių pasėlių išbėrimą.

Rezultatai ir aptarimas

Atlikus eksperimentinių duomenų analizę nustatyta, kad skrydžio aukštis turi reikšmingą įtaką dronu barstomų sėklų sklaidos charakteristikoms net ir esant ramioms oro sąlygoms, kai šoninio vėjo poveikis eliminuojamas. 6 paveiksle pateiktas 100 skrydžių sėklų masė sumų pasiskirstymas išbėrimo zonoje, lyginant 3 ir 4 m skrydžio aukščius, leidžia įvertinti tiek sklaidos pločio, tiek koncentracijos pokyčius. Skrendant 4 metrų aukštyje bendras sėklų paskleidimo plotis buvo šiek tiek didesnis nei skrendant 3 metrų aukštyje, o tai rodo platesnę sklaidos zoną ir didesnę horizontalų sėklų nunešimą. Vertinant kreivių maksimumus, abiem atvejais didžiausia vidutinė sėklų masė fiksuota netoli skrydžio trajektorijos centro, tačiau 3 m aukštyje pikas yra statesnis ir aukštesnis, kas rodo labiau koncentruotą sėklų kaupimąsi siauresnėje zonoje. 4 m aukštyje

maksimumas yra apie 11 % mažesnis o pati kreivė labiau išplatėjusi, tai rodo, kad sėklos pasiskirsto tolygiau didesniame plote. Todėl, galima teigti, kad didėjant skrydžio aukščiui mažėja sėklų koncentracijos intensyvumas, tačiau didėja paskleidimo plotas. Analizuojant sklaidos simetriškumą, matyti, kad abiejų aukščių kreivės iš esmės išlieka artimos simetriškoms skrydžio centro atžvilgiu, kas patvirtina, jog be šoninio vėjo reikšmingo kryptinio poslinkio nenustatyta. Tačiau 4 m aukštyje stebimas šiek tiek tolygesnis sėklų kiekio mažėjimas nuo centro į pakraščius, tuo tarpu 3 m aukštyje sėklų masė nuo centro mažėja staigiau.



6 pav. Aukščio poveikis sėklų išbėrimo tolygumui, vertinant 100 skrydžių sėklų masės sumą maišeliuose

Fig. 6. The effect of height on seed distribution uniformity, based on the total seed mass from 100 flights in bags

1 lentelė. CV ir dreifo priklausomybė nuo drono sėjos pločio skirtinguose skrydžio aukščiuose be šoninio vėjo poveikio

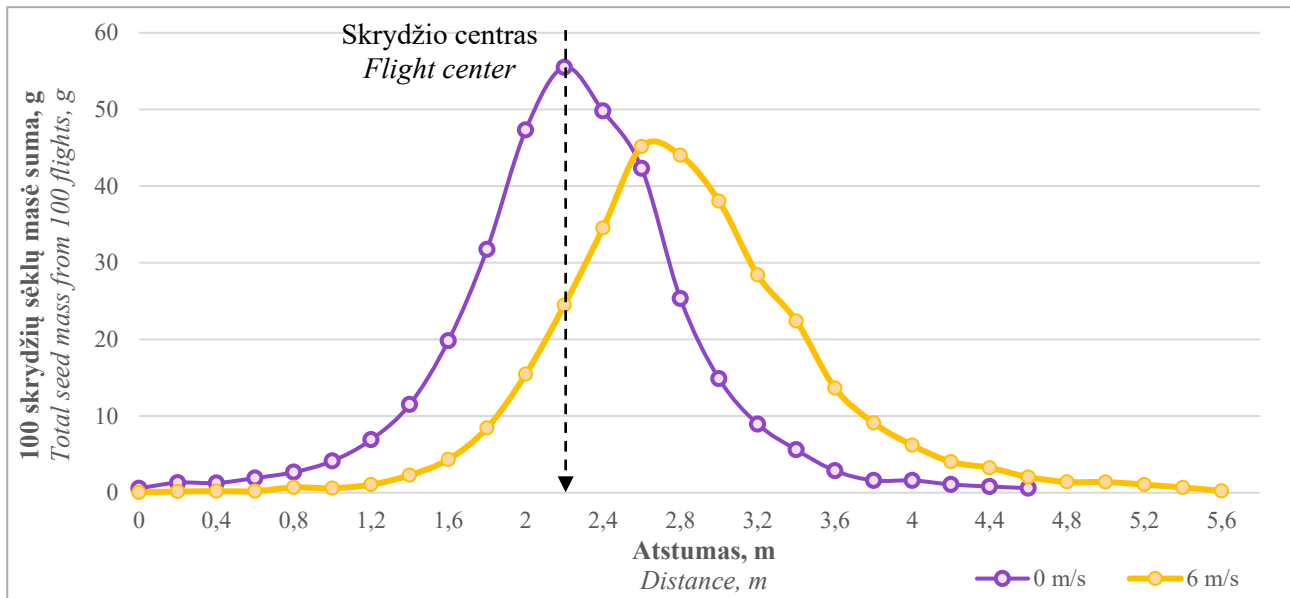
1 Table. CV and drift dependence on drone sowing width at different flight heights without lateral wind influence

Sėjos plotis, m	3 m, 0 m/s					4 m, 0 m/s				
	Vidurkis	CV, %	Masė, g	Dreifas, g	Dreifas, %	Vidurkis	CV, %	Masė, g	Dreifas, g	Dreifas, %
Visas	8,8 ± 5,7	193,2	315,8	-	-	9,5 ± 5,4	168,9	341,0	-	-
2,8	22,0 ± 12,4	98,0	307,9	7,9	2,5	23,3 ± 10,8	80,1	326,7	14,3	4,2
2,4	25,3 ± 13,7	85,5	303,3	12,5	4,0	26,6 ± 11,5	68,2	319,7	21,3	6,2
2	29,7 ± 15,0	70,8	296,8	19,0	6,0	30,7 ± 12,2	55,7	307,2	33,8	9,9
1,6	35,6 ± 16,0	53,6	285,0	30,8	9,7	35,8 ± 12,6	41,9	286,7	54,3	15,9
1,2	43,1 ± 16,4	36,2	258,5	44,8	14,2	42 ± 12,0	27,2	252,0	67,7	19,8
0,8	52,3 ± 13,1	15,8	209,0	87,8	27,8	48,7 ± 8,7	11,2	194,9	112,3	32,9

1 lentelės duomenys rodo aiškią sėjos pločio įtaką paskirstymo tolygumui ir sėklų dreifui abiejuose skrydžio aukščiuose (3 ir 4 m). Mažėjant sėjos pločiui, variacijos koeficientas nuosekliai mažėja, t. y. sėklų pasiskirstymas tampa tolygesnis. 3 m aukštyje CV sumažėja nuo 98,0 % (2,8 m pločio) iki 15,8 % (0,8 m pločio), o 4 m aukštyje – nuo 80,1 % iki 11,2 %. Tai rodo, kad siauresnė sėjos juosta ženkliai pagerina paskleidimo tolygumą. Tuo pačiu metu mažinant sėjos plotį dreifas didėja. 3 m aukštyje sėklų kiekis už sėjos pločio padidėja nuo 7,9 g (2,5 %) esant 2,8 m pločiui iki 87,8 g (27,8 %) esant 0,8 m pločiui. Panaši tendencija stebima ir 4 m aukštyje, kur dreifas didėja nuo 14,3 g (4,2 %) iki 112,3 g (32,9 %). Be to, esant didesniui skrydžio aukščiui (4 m), dreifo kiekis visais sėjos pločiais yra didesnis nei 3 m aukštyje tačiau CV visai atvejais mažesnis. Apibendrinant, siaurinant sėjos plotį gerėja sėklų paskleidimo tolygumas (mažėja CV), tačiau ženkliai didėja sėklų dreifas, o didesnis skrydžio aukštis dar labiau sustiprina dreifo efektą.

7 paveikslas iliustruoja vidutinio stiprumo (6 m/s) šoninio vėjo greičio poveikį sėklų paskleidimo charakteristikoms skrendant 4 m aukštyje, lyginant su kontrolinėmis sąlygomis, kai šoninio vėjo nėra (0 m/s). Analizuojant 100 skrydžių sėklų masių sumų pasiskirstymo kreives matyti, kad 6 m/s šoninis vėjas reikšmingai keičia tiek sklaidos grafiko formą, tiek jo padėtį skrydžio centro atžvilgiu. Kontrolinio skrydžio atveju sėklų pasiskirstymas išlieka artimas simetriškas skrydžio trajektorijos centro atžvilgiu, o didžiausia sėklų masės koncentracija fiksuojama ties centrine zona. Kreivė pasižymi didesniu maksimumu ir santykinai siauresne

sklaidos juosta, kas rodo stabilų ir kryptingą sėklų kritimą esant ramioms oro sąlygoms. Atsiradus 6 m/s šoniniam vėjui stebimas aiškus sklaidos maksimumo poslinkis pavėjui nuo skrydžio centro per 0,4 m. Sėklų masės pikas sumažėjo 18,5%, o pati kreivė išplatėjo. Tuo pačiu padidėjo sėklų kiekis toliau nuo centro, smulkesnių sėklų buvo galima rasti net 1 m toliau nei rezultatuose be šoninio vėjo.



7 pav. Šoninio vėjo poveikis sėklų išbėrimo tolygumui skrendant 4 m aukštyje

Fig. 7. The effect of lateral wind on seed distribution uniformity when flying at a height of 4 m

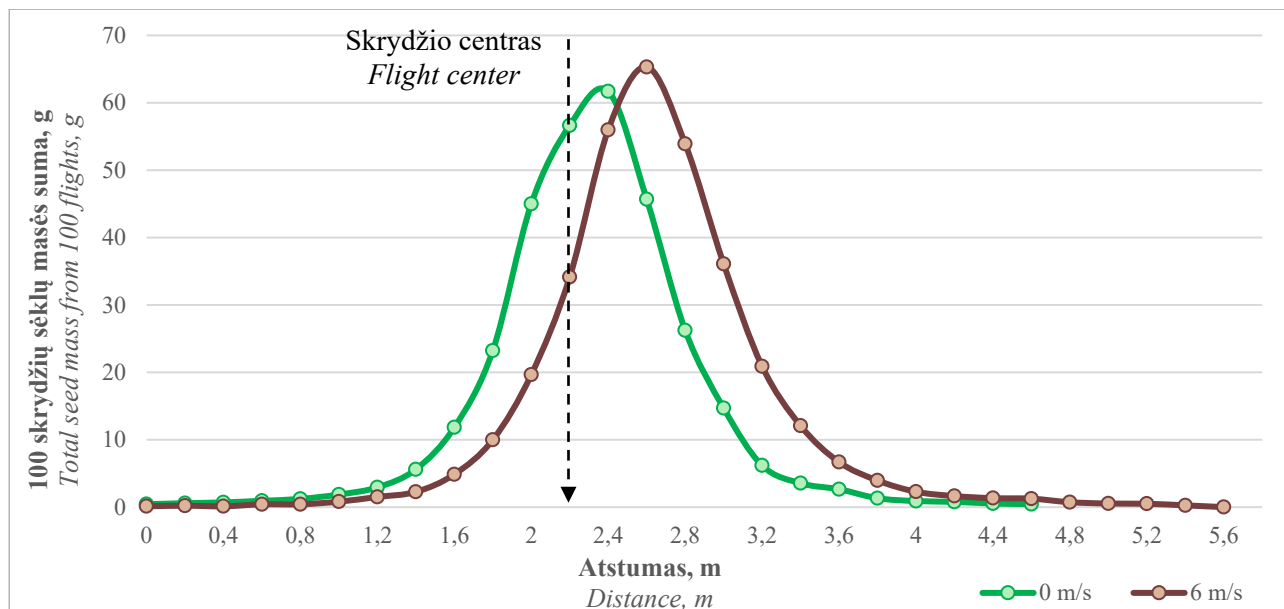
Kaip sėjos pločio keitimas ir šoninis vėjas veikia sėklų pasiskirstymo tolygumą ir dreifą skrendant 4 m aukštyje, galima matyti 2 lentelėje. Esant 0 m/s vėjui, mažėjant sėjos pločiui variacijos koeficientas nuosekliai mažėja – nuo 80,1 % (2,8 m) iki 11,2 % (0,8 m), kas rodo vis tolygesnį sėklų paskirstymą siaurėjant sėjos juostai. Tačiau tuo pat metu stebimas 28,7 % dreifo didėjimas, mažinant sėjos plotį. Pridėjus 6 m/s šoninio vėjo poveikį, išlieka panaši bendra tendencija – siauresnis sėjos plotis lemia mažesnę variacijos koeficientą. CV sumažėja nuo 79,2 % (2,8 m) iki 42,8 % (0,8 m), tačiau visais atvejais jis išlieka didesnis nei be vėjo, o siauriausiame sėjos plotyje jis yra 3,8 karto didesnis nei atveju be vėjo, kas rodo prastesnį ir mažiau tolygų sėklų paskleidimą. Vėjo poveikis ypač ryškus vertinant dreifą: jis padidėja nuo 31,2 g (9,9 %) esant 2,8 m pločiui iki 125,5 g (40,0 %) esant 0,8 m pločiui. Apibendrinant galima teigti, sėklas beriant iš didesnio aukščio išlieka aiški tendencija – šoninis vėjas didina padengimo plotą ir intensyviai keičia sėklų kritimo lokalizaciją. Tuo tarpu vertinant sėjos plotį – siauresnis sėjos plotis pagerina sėklų pasiskirstymo tolygumą, bet padidina dreifo efektą, kuris dar labiau jaučiamas atsiradus šoninio vėjo faktoriui.

2 lentelė. CV ir dreifo priklausomybė nuo drono sėjos pločio ir šoninio vėjo poveikio skrendant 4 metrų aukštyje

2 Table. CV and drift dependence on drone sowing width and lateral wind effect when flying at a height of 4 meters

Sėjos plotis, m	4 m, 0 m/s					4 m, 6 m/s				
	Vidurkis	CV, %	Masė, g	Dreifas, g	Dreifas, %	Vidurkis	CV, %	Masė, g	Dreifas, g	Dreifas, %
Visas	9,5 ± 5,4	168,9	341,0	-	-	8,7 ± 4,6	155,8	314,0	-	-
2,8	23,3 ± 10,8	80,1	326,7	14,3	4,2	20,2 ± 9,2	79,2	282,9	31,2	9,9
2,4	26,6 ± 11,5	68,2	319,7	21,3	6,2	22,4 ± 10,2	71,9	268,6	45,4	14,5
2	30,7 ± 12,2	55,7	307,2	33,8	9,9	24,5 ± 11,6	65,9	245,2	68,9	21,9
1,6	35,8 ± 12,6	41,9	286,7	54,3	15,9	28,7 ± 15,9	52,7	172,1	96,5	30,7
1,2	42,0 ± 12,0	27,2	252,0	67,7	19,8	26,8 ± 13,4	59,7	214,5	99,6	31,7
0,8	48,7 ± 8,7	11,2	194,9	112,3	32,9	29,9 ± 20,4	42,8	119,6	125,5	40,0

Grafike (8 pav.) pateikiamas šoninio vėjo greičio poveikis sėklų išbėrimui skrendant 4 m aukštyje. Kontrolinėmis sąlygomis, kaip ir aptarta prieš tai, sėklų pasiskirstymas išlieka koncentruotas aplink skrydžio trajektorijos centrą, o kreivė pasižymi ryškiu maksimumu bei gana staigiu sėklų kiekio mažėjimu abiejose centro pusėse. Atsiradus 6 m/s šoniniam vėjui fiksuojamas aiškus 0,4 m kreivės poslinkis vėjo kryptimi. Sėklų masės maksimumas padidėjo 5,5 %, paskleidimo zona tampa siauresnė, o sėklų masės mažėjimas nuo maksimumo yra staigesnis lyginant su kontrole. Be to, stebimas išaugęs sėklų kiekis didesniuose atstumuose, sėklų buvo randama iki 1 metro toliau esant šoniniam vėjui. Praktiniu požiūriu, 6 m/s vėjas jau generuoja 0,4 m poslinkį ir iki ~40 % dreifo, todėl tokio stiprumo vėjo sąlygos nėra tinkamos tiksliai tarpinių pasėlių sėjai naudojant 4 m aukštį.



8 pav. Šoninio vėjo poveikis sėklų išbėrimo tolygumui skrendant 3 m aukštyje

Fig. 8. The effect of lateral wind on seed distribution uniformity when flying at a height of 3 m

3 lentelėje pateikti rezultatai rodo sėjos pločio ir šoninio vėjo poveikį sėklų paskleidimo rodikliams skrendant 3 m aukštyje. Vertinant bandymus be šoninio vėjo (0 m/s), matyti aiškus vaizdas: mažėjant sėjos pločiui mažėja variacijos koeficientas, o tai reiškia tolygesnį sėklų paskirstymą. Plačiausiame 2,8 m sėjos pločio variante CV siekia 98,0 %, tuo tarpu siauriausiame 0,8 m pločio variante sumažėja iki 15,8 %. Taip pat, nustatyta, kad siaurinant sėjos plotį didėja dreifas. Kaip ir minėta pirmos lentelės aprašyme. Įvertinus šoninio vėjo poveikį (6 m/s) nustatyta, kad jis neigiamai veikia paskleidimo tolygumą. Visuose sėjos pločiuose variacijos koeficientas yra mažesnis nei be vėjo mažinant plotį, tačiau jo reikšmės išlieka didesnės nei analogiškuose variantuose be vėjo. Pavyzdžiui, esant 2,8 m pločiui CV siekia 95,9 %, o siaurinant iki 0,8 m jis sumažėja iki 47,3 %. Tačiau toks CV yra 3 kartais didesnis nei atveju be vėjo, iš to galima daryti išvadą, kad šoninis vėjas daro žymų poveikį išbarstymo tolygumui. Šoninis vėjas taip pat reikšmingai padidina dreifą. Lyginant su bandymais be vėjo, dreifo kiekis visuose sėjos pločiuose yra didesnis – nuo 13,9 g (4,1 %) esant 2,8 m pločiui iki 128,0 g (37,9 %) esant 0,8 m pločiui. Apibendrinant galima teigti, kad skrendant 3 m aukštyje sėklos yra išberiamos koncentruotiau ir siauriau veikiant šoniniu vėju, o siauresnis sėjos plotis pagerina sėklų paskirstymo tolygumą, tačiau kartu didina dreifą.

3 lentelė. CV ir dreifo priklausomybė nuo drono sėjos pločio ir šoninio vėjo poveikio skrendant 3 metrų aukštyje

3 Table. CV and drift dependence on drone sowing width and lateral wind effect when flying at a height of 3 meters

Sėjos plotis, m	3 m, 0 m/s					3 m, 6 m/s				
	Vidurkis	CV, %	Masė, g	Dreifas, g	Dreifas, %	Vidurkis	CV, %	Masė, g	Dreifas, g	Dreifas, %
Visas	8,8 ± 5,7	193,2	315,8	-	-	9,4 ± 5,9	186,8	338,1	-	-
2,8	22,0 ± 12,4	98,0	307,9	7,9	2,5	23,2 ± 12,8	95,9	324,2	13,9	4,1
2,4	25,3 ± 13,7	85,5	303,3	12,5	4,0	26,4 ± 14,2	84,8	316,7	21,4	6,3
2	29,7 ± 15,0	70,8	296,8	19,0	6,0	30,3 ± 16,1	74,1	303,1	35,0	10,4
1,6	35,6 ± 16,0	53,6	285,0	30,8	9,7	35,0 ± 18,7	63,8	280,0	58,2	17,2
1,2	43,1 ± 16,4	36,2	258,5	44,8	14,2	39,8 ± 23,2	55,4	239,0	77,7	23,0
0,8	52,3 ± 13,1	15,8	209,0	87,8	27,8	43,8 ± 33,0	47,3	175,1	128,0	37,9

Lyginant 3 ir 4 m aukščio skrydžių su vėjo poveikiu rezultatus, matomas skirtingas poveikis. Beriant sėklas iš 4 metrų, jos yra paskleidžiamos plačiau ir daugiau sėklų nunešama toliau, nes ilgėjantis sėklų kritimo laikas sudaro palankesnes sąlygas jų horizontaliam nunešimui. O vykdant bėrimą iš 3 metrų, išberiamos labiau koncentruotai ir su mažesniu dreifu.

Tyrimo rezultatai parodė, kad skrydžio aukštis ir šoninio vėjo greitis reikšmingai veikia dronu barstomų sėklų paskleidimo charakteristikas. Esant ramioms oro sąlygoms iš 3 m aukščio sėklos paskleidžiamos labiau koncentruotai, o iš 4 m aukščio pasiekiamas platesnis, tačiau pakraščiuose mažiau stabilus padengimas. Didėjant šoninio vėjo greičiui nustatytas sistemingas paskleidimo maksimumo poslinkis vėjo kryptimi ir didėjantis sklaidos asimetriškumas. Vėjo poveikis labiau išryškėja skrendant 4 m aukštyje dėl ilgesnio sėklų kritimo laiko, kuris sustiprina horizontalų sėklų nunešimą ir mažina paskleidimo prognozuojamumą.

Nors tyrimo rezultatai parodė aiškias sėklų paskleidimo tendencijas, nustatytas ryškus sėklų išbėrimo netolygumas. Didžiausia sėklų koncentracija fiksuojama išbėrimo centre, o didėjant atstumui nuo centro ji reikšmingai mažėja. Kai kuriais atvejais skirtumai tarp centrinės ir kraštinių zonų siekia iki ~100 %, kas rodo ribotą efektyvų sėjos plotį. Atsižvelgiant į tai, siekiant užtikrinti tolygesnį pasėlio tankį realiomis lauko sąlygomis, būtinas gretimų skrydžių persidengimas. Remiantis gautais duomenimis, sėjos linijų tarpai turėtų būti mažinami iki maždaug 0,8–1,2 m, priklausomai nuo skrydžio aukščio ir vėjo sąlygų. Toks sprendimas leistų kompensuoti netolygų sėklų pasiskirstymą skersine kryptimi. Tačiau siauras sėjos linijų išdėstymas mažina drono XAG XP2020 darbo našumą, nes didėja skrydžių skaičius ir bendros laiko sąnaudos. Tai rodo, kad, nors sėja dronais gali būti taikoma, esama technologija reikalauja tolesnio tobulinimo – ypač siekiant padidinti efektyvų sėjos plotį ir sumažinti priklausomybę nuo persidengimo. Todėl ateities tyrimais būtų tikslinga palyginti tirtą drono XAG XP2020 sėjos mechanizmą su naujesniais, našesniais sėjos mechanizmais galinčiais užtikrinti kokybiškesnį ir tolygesnį sėklų išbėrimą bei didesnę darbinę sėjos plotį.

Išvados

1. Drono skrydžio aukštis turi reikšmingą poveikį sėklų paskleidimo charakteristikoms. Skrendant 3 m aukštyje sėklos paskleidžiamos siauresnėje ir labiau centruotoje zonoje, pasižyminčioje stabilesniu pasiskirstymu, o barstant sėklas iš 4 m aukščio pasiekiamas šiek tiek platesnis padengimas.
2. Šoninis vėjas neigiamai veikia sėklų išbėrimą. 6 m/s greičio vėjas sukelia ~0,4 m paskirstymo maksimumo poslinkį pavėjui, didina sklaidos asimetriją ir ženkliai blogina CV. Barstant sėklas iš 4 m aukščio CV gali padidėti iki 3–4 kartų, o dreifas – iki ~40 %.
3. Dėl netolygaus skersinio sėklų pasiskirstymo nustatytas ribotas efektyvus drono XAG XP2020 sėjos plotis, todėl tolygiam pasėliui užtikrinti būtinas gana siauras (apie 0,8–1,2 m) sėjos juostų persidengimas, kuris didina tolygumą, bet mažina darbo efektyvumą.

Literatūra

1. Masi, M., De Rosa, M., Vecchio, Y., Bartoli, L., Adinolfi, F. (2022). The long way to innovation adoption: insights from precision agriculture. *Agricultural and Food Economics*, 10(1), 27. <https://doi.org/10.1186/s40100-022-00236-5>.
2. Niedbała, G., Kujawa, S., Piekutowska, M., Wojciechowski, T. (2024). Exploring Digital Innovations in Agriculture: A Pathway to Sustainable Food Production and Resource Management. *Agriculture*, 14(9), 1630. <https://doi.org/10.3390/agriculture14091630>.
3. Nordin, M. N., Mat Jusoh, M. S., Mohamad Ghazali, M. S. S., Mat Desa, M. F., Mhd. Bookeri, M. A., Zolkafli, A. K., Ishak, M. K. I. (2022). Study on distribution pattern of drone spreader by different altitude. *International Journal of Agriculture, Forestry and Plantation*, 12(2), 18. Nuoroda: https://ijafp.org/wp-content/uploads/2022/09/IJAFP12.ISU-2_022.pdf.
4. 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.
5. Song, C., Liu, L., Wang, G., Han, J., Zhang, T., Lan, Y. (2023). Particle Deposition Distribution of Multi-Rotor UAV-Based Fertilizer Spreader under Different Height and Speed Parameters. *Drones*, 7(7), 425. <https://doi.org/10.3390/drones7070425>.
6. Wang, X., Jiang, R., Zhou, Z., Huang, J., Lin, J. (2023). Impact of Airflow Rectification on Spreading Uniformity for UAV-Based Multichannel Pneumatic Granular Fertilizer Spreader. *Agronomy*, 13(10), 2661.

Mantas Petrulis, Jonas Balčiūnas, Simas Sokas, Dainius Steponavičius

The Influence of Lateral Wind Speed on the Distribution Uniformity of Seeds Sown by Drone

Vytautas Magnus University, Lithuania

This study provides an experimental analysis of the effect of lateral wind on the uniformity of seed distribution by drones. In this study we used a four-rotor seeding drone XAG XP2020 to spread white mustard (*Sinapis alba* L.) seeds from a height of 3 and 4 m. The seed spread rate remained constant throughout the study at 60 kg/ha. During the experiments, a crosswind of moderate strength (6 m/s) was generated by an airflow generator. Comparative tests were conducted under control conditions (no wind). The drone's flight speed was 4 m/s. The drone flew at 3.4 m from the wind generator. Seed dispersal quality was assessed using the collector method. On the ground surface, within a 200 × 960 cm area, frames were placed with 240 seed collection bags (20 × 20 cm) attached to them. The drone flew over the seed collection zone 20 times. After weighing the seeds collected from the bags, the coefficient of variation (CV) was calculated and the effective working width of the drone was determined. It was found that when flying lower (at a height of 3 m), lateral

winds carry away fewer seeds, and increasing wind speed has a smaller effect on the dispersion offset; however, the uniformity of seed distribution deteriorates, and the drone's effective working width decreases. In the absence of lateral wind, the coefficient of variation (CV) is 15.8% at a 0.8 m working width and 36.2% at a 1.2 m width. With a 6 m/s lateral wind, the CV increases to 47.3% and 55.4%, respectively. The results of the study showed that the drone's flight altitude significantly affects the relationship between seed distribution uniformity and the impact of crosswinds. When selecting the flight altitude, it is essential to consider wind speed, as different altitudes have a significant impact on seed drift and the stability of the drone's working width. It has been found that to ensure uniform seed distribution, a narrow (approximately 0.8–1.2 m) distance between seeding lines is necessary, but this reduces work efficiency.

Keywords: White mustard, cover crops, drones, drone seeding, spreading uniformity.

Gauta 2026 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2026 m. balandžio mėn.

Mantas PETRULIS. 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 37 752 357 el. paštas: mantas.petrulis@stud.vdu.lt

Mantas PETRULIS. 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 37 752357 e-mail: mantas.petrulis@stud.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., tel. +370 37 752 357 el. paštas: jonas.balciunas@vdu.lt

Jonas BALČIŪNAS. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, PhD student. Address: Studentų g. 15a, LT-53362, Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 37 752357 e-mail: jonas.balciunas@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 37 752357 el. paštas: simas.sokas@vdu.lt

Simas SOKAS. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, PhD student. Address: Studentų g. 15a, LT-53362, Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 37 752357 e-mail: simas.sokas@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 g. 15a, LT-53362, Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 674 27721 e-mail: Dainius.Steponavicius@vdu.lt

DISKINIO SKUTIKO DARBO PARAMETRŲ ĮTAKA TRAKTORIAUS DEGALŲ SĄNAUDOMS

Rytis Šiugždinis, Dainius Steponavičius, Dainius Savickas

Vytauto Didžiojo universitetas

Žemės ūkio technikos darbo režimų (ypač greičio ir gylio) pasirinkimas turi reikšmingos įtakos tiek ūkio ekonomiškamui, tiek energijos vartojimo efektyvumui. Šio tyrimo tikslas – realiose lauko sąlygose įvertinti diskinio skutiko darbo parametrų (darbinio greičio ir gylio) poveikį traktoriaus degalų suvartojimui per valandą, variklio apkrovai ir ratų praslydimui (büksavimui). Eksperimentai buvo atliekami keičiant traktoriaus „John Deere 7R 310“ (251 kW) darbinį greitį nuo 10 iki 13 km·h⁻¹, o diskinio skutiko „Bednar Swifterdisc XE_Profi“ (10,4 m pločio) darbinį gylį nuo 3 iki 6 cm. Tiriant greičio poveikį, skutiko gylis buvo išlaikomas pastovus, o tiriant gylio poveikį, pastovus buvo traktoriaus greitis. Siekiant įvertinti lauko nevienalytiškumo įtaką, rezultatai buvo analizuojami dviejose lauko zonose, kurių dirvožemio elektrinis laidumas (EC) buvo 103 mS·m⁻¹ ir 129 mS·m⁻¹.

Remiantis gautais duomenimis, padidinus darbinį greitį nuo 10 iki 13 km·h⁻¹, abiejose lauko zonose degalų suvartojimas padidėjo apie 50 %, o variklio apkrova priartėjo prie maksimalios ribos (maždaug 97–98 %). Padidinus darbinį gylį nuo 3 cm iki 6 cm, degalų suvartojimas taip pat žymiai padidėjo. EC=103 mS·m⁻¹ zonoje jis padidėjo nuo 33,5 iki 49,8 l·h⁻¹, o EC=129 mS·m⁻¹ zonoje – nuo 37,1 iki 53,1 l·h⁻¹. Didinant dirbimo gylį, variklio apkrova padidėjo beveik iki 100 %, o ratų slydimas padidėjo nuo 2,2 % iki 5,3–6,0 %. Šis tyrimas patvirtino, kad eksploatacinių parametrų pasirinkimas tiesiogiai daro įtaką degalų suvartojimui.

Raktiniai žodžiai: diskinis skutikas, darbinis greitis, dirbimo gylis, degalų sąnaudos, variklio apkrova, ratų praslydimas.

Įvadas

Atliekant žemės dirbimą paprastai net nedideli greičio ar gylio pokyčiai gali žymiai pakeisti galios poreikį ir degalų sąnaudas. Empiriniai tyrimai rodo, kad didinant dirbimo gylį traukos pasipriešinimas padidėja labiau nei didinant greitį (Al-Janobi, Al-Suhaibani, 1998). Tačiau dirbant didesniu greičiu atsiranda papildomų nuostolių dėl vibracijos ir didesnio riedėjimo pasipriešinimo, ypač kai darbo procesas yra nestabilus (Damanauskas et al., 2019).

Degalų sąnaudos iš esmės priklauso nuo variklio apkrovos ir darbo režimo. Esant maksimalios apkrovos režimams, ne tik reikalaujama didesnės galios, bet ir variklis rečiau dirba optimalaus ekonomiško zonoje, todėl padidėja degalų sąnaudos. Traktorių degalų sąnaudų prognozavimo modeliai, pagrįsti bandymų stendų duomenimis, rodo, kad sąnaudos gali skirtis net atliekant tą pačią užduotį, priklausomai nuo apkrovos lygio ir važiavimo greičio. Todėl darbo režimo pasirinkimas reikalauja išsamaus įvertinimo (Grisso et al., 2008).

Kitas svarbus veiksnys yra traukos efektyvumas, kurį apibūdina ratų praslydimas arba buksavimas. Pernelyg didelis praslydimas reiškia, kad dalis variklio galios paverčiama neefektyviu darbu. Atvirkščiai, labai mažas slydimas dažnai rodo per didelį balastą, didesnį pasipriešinimą riedėjimui ir galimą išlaidų didėjimą. Traukos jėgų ir traktoriaus veikimo analizė rodo, kad didelė dalis energijos nuostolių atsiranda būtent ratų ir dirvos sąlyčio taške (Al-Dosary et al., 2023).

Pastaraisiais metais telematikos sistemos tapo praktiniais įrankiais ne tik darbų planavimui, bet ir energijos suvartojimo stebėjimui bei techninių režimų optimizavimui. Akademinėje literatūroje telematikos duomenų analizė siejama su galimybe atskirti darbo, transportavimo ir neveikimo režimus, įvertinti degalų „nuostolius“ neproduktyvių režimų metu ir pagrįsti išlaidų mažinimo priemones (Defays, 2017).

Ypatingą dėmesį reikėtų atkreipti į tai, kad dažniausiai dirvožemio pasipriešinimas lauke nėra vienodas. Tekstūra, drėgmės kiekis, organinės medžiagos ir tankis gali skirtis skirtingose zonose. Dirvožemio elektrinio laidumo žemėlapiu yra plačiai naudojami tokioms sritims identifikuoti. Literatūroje EC siejamas su dirvožemio savybėmis, turinčiomis įtakos traukos pasipriešinimui (pvz., molio kiekis, drėgmė) (Sudduth et al., 2003).

Literatūroje pabrėžiama, kad dirvožemio kokybė ir drėgmė tiesiogiai veikia mašinos traukos efektyvumą bei apima atsirandančias pasipriešinimo jėgas dėl dirvožemio ir padargo sąveikos, o tai savo ruožtu turi įtakos degalų suvartojimui ir ratų slydimui.

Tyrimo tikslas – realiomis lauko sąlygomis įvertinti diskinio skutiko darbo parametrų (darbinio greičio ir gylio) poveikį traktoriaus degalų suvartojimui per valandą, variklio apkrovai ir ratų praslydimui (büksavimui).

Tyrimų metodika

Tyrimo objektas John Deere 7R 310 ratinis traktorius ir „Bednar Swifterdisc XE_Profi“ diskinis skutikas. Tyrime naudotas traktorius priskiriamas didelio našumo traktorių kategorijai. Variklio galia yra 341 arklio jėga (251 kW), variklio darbinis tūris yra 9 litrai, cilindrų skaičius – 6, bendras svoris siekia 11400 kg, o ratų bazė –

2,925 m. Diskinis skutikas 10,4 m darbinio pločio, 3 m transportavimo pločio ir 7,5 m transportavimo ilgio. Galimas darbinis gylis 2–14 cm. Jame yra 520 mm skersmens 83 diskai. Skutiko masė siekia 12000 kg. Šis agregatas tinka vertinti, važiavimo greičio ir darbinio gylio poveikį degalų sąnaudoms, variklio apkrovai ir ratų slydimui.



1 pav. Traktorius „John Deere 7R“
Fig. 1. John Deere 7R tractor



2 pav. Diskinis skutikas „Bednar Swifterdisc XE_Profi“
Fig. 2. Disc harrow Bednar Swifterdisc XE_Profi

Eksperimentas buvo atliekamas realiomis lauko sąlygomis 107,5 hektarų ploto rapsų raženos lauke, Kauno rajone. Siekiant sumažinti lauko heterogeniškumo poveikį ir užtikrinti bandymo atkuriamumą, bandymas buvo suskirstytas į mažesnius sklypus, kurių bendras plotas sudarė apie 12 hektarų. Prieš bandymą dirvožemio sąlygos buvo įvertintos naudojant dirvožemio drėgmės, temperatūros ir elektrinio laidumo prietaisą DELTA–T DEVICE HH2. Papildomai naudotasi elektrinio laidumo žemėlapiu iš duomenų bazės „Geoportal“. Lauke vyraavo vidutinio molingumo dirvožemis. Išmatuotas dirvožemio drėgnumas svyravo nuo 10,7 iki 29,5 %, elektrinis laidumas – nuo 89 iki 145 $\text{mS}\cdot\text{m}^{-1}$, o dirvožemio temperatūra – nuo 21,4 iki 23,2 °C. Kadangi lauke buvo pastebėtas platus dirvožemio elektrinio laidumo spektras, rezultatai buvo toliau analizuojami dviem tipinėms zonoms ($\text{EC}\approx 103 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$ ir $\text{EC}\approx 129 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$).

Duomenys buvo renkami naudojant gamintojo integruotą telematikos sistemą JDLink (JDLink R modemai). Ši sistema renka duomenis iš traktoriaus elektroninio valdymo bloko per CAN-BUS ir susieja juos su GNSS padėties informacija. Važiavimo greitis buvo matuojamas remiantis GNSS ir mašinos greičio jutiklio įrašais. Darbinis gylis buvo vertinamas remiantis hidraulinių cilindų padėties signalais (kaip gylis palaikymo rodikliais). Variklio apkrova ir degalų suvartojimas per valandą ($\text{l}\cdot\text{h}^{-1}$) buvo gaunami iš telematikos įrašų variklio valdymo sistemoje. Ratų slydimas (buksavimas) buvo interpretuojamas kaip teorinio ir faktinio važiavimo greičio neatitikimas (praktikoje tai plačiai naudojama traukos tyrimuose, lyginant ratų/transmisijos informaciją su GNSS greičiu).

Tyrimo planas buvo sudarytas remiantis vieno veiksnio kitimo principu. Pirmajame bandyme greitis buvo keičiamas 10–13 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ diapazone, o darbinis skutiko gylis buvo išlaikomas kuo pastovesnis, siekiant įvertinti greičio poveikį mašinos parametrui. Antrajame bandyme buvo vertinamas darbo gylis, keičiant gylį 3–6 cm diapazone, išlaikant pastovų važiavimo greitį. Kiekvienas režimas buvo kartojamas po 10 kartų, o analizėje buvo atrinkti vienodi darbo ruožai (išskyrus posūkius kraštuose ir pereinamuosius režimus), kad rezultatai tiksliai atspindėtų tiriamų parametrų priklausomybę.

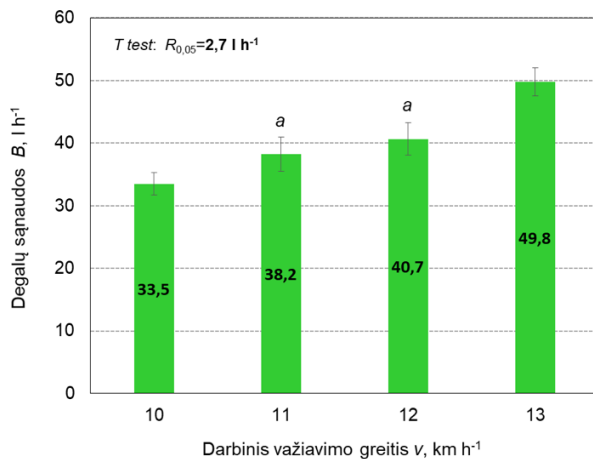
Tyrimo duomenys registruojami realiuoju laiku ir lygiagrečiai siunčiami į JDLink, todėl buvo galimybė atlikti realiu laiku fiksuotų ir gautų JDLink terminale duomenų palyginamąją analizę. Duomenų apdorojimas buvo atliekamas Microsoft Excel programoje. Buvo apskaičiuoti aritmetiniai vidurkiai ir jų pasikliauties intervalai. Taikytas dviejų imčių t-testas, siekiant įvertinti skirtumų reikšmingumą. Grafikuose buvo parodytas mažiausias reikšmingas skirtumas $R_{0,05}$.

Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

Remiantis telematikos duomenimis, energijos suvartojimo rodikliai nėra vienodi net viename lauke, o tai rodo, kad dirvožemio tekstūros, drėgmės kiekio ir tankio skirtumai daro įtaką žemės ūkio technikos traukos jėgos pasipriešinimui. Todėl, siekiant interpretuoti rezultatus, duomenys buvo analizuojami dviejose elektrinio laidumo zonose ($\text{EC}\approx 103 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$ ir $\text{EC}\approx 129 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$), atspindinčiose dirvožemio ir drėgmės sąlygų skirtumus.

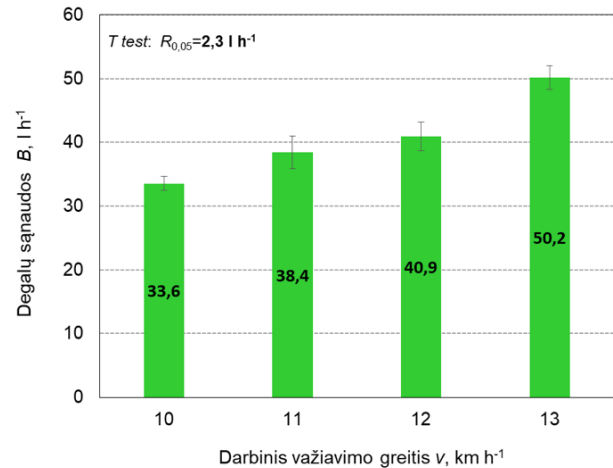
Padidinus darbo greitį 10–13 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ diapazone, abiejose dirvožemio zonose pastebėtas nuolatinis degalų suvartojimo per valandą padidėjimas (3–4 pav.). Esant $\text{EC}\approx 103 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$, degalų suvartojimas padidėjo nuo 33,5 $\text{l}\cdot\text{h}^{-1}$ (10 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$) iki 49,8 $\text{l}\cdot\text{h}^{-1}$ (13 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$), o tai sudaro maždaug 49 % padidėjimą. Esant $\text{EC}\approx 129 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$, panaši tendencija tęsėsi, padidėjimas buvo nuo 33,6 iki 50,2 $\text{l}\cdot\text{h}^{-1}$. Nors padidėjimas buvo

palyginti vienodas $10\text{--}12\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ diapazone, $13\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ buvo užfiksuotas ryškesnis padidėjimas, rodantis režimą, kuriame galios poreikis didėja neproporcingai.



3 pav. Diskinio skutiko darbinio greičio v įtaka valandinėms traktoriaus degalų sąnaudoms B , kai dirvožemio elektrinis laidumas $EC = 103\text{ mS m}^{-1}$

Fig. 3. The effect of the working speed v of a disc harrow on the hourly fuel consumption B of a tractor when the electrical conductivity of the soil $EC = 103\text{ mS m}^{-1}$

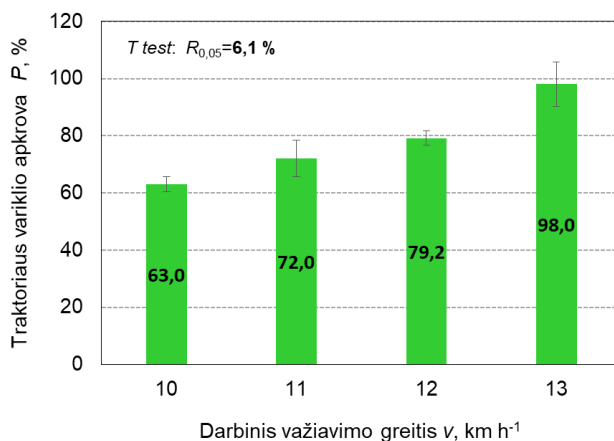


4 pav. Diskinio skutiko darbinio greičio v įtaka valandinėms traktoriaus degalų sąnaudoms B , kai dirvožemio elektrinis laidumas $EC = 129\text{ mS m}^{-1}$

Fig. 4. The effect of the working speed v of a disc harrow on the hourly fuel consumption B of a tractor when the electrical conductivity of the soil $EC = 129\text{ mS m}^{-1}$

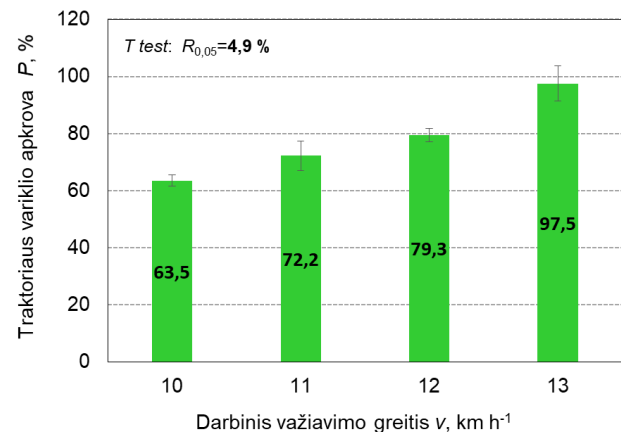
Lyginant zonas, greičio bandymo metu skirtumas tarp $EC \approx 103\text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$ ir $EC \approx 129\text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$ buvo minimalus (maksimalus maždaug $0,4\text{ l}\cdot\text{h}^{-1}$). Todėl šiame bandyme greičio įtaka buvo aiškiau apibrėžta pačiu darbo režimu, t. y. greičiu. Tačiau $R_{0,05}$ vertės (maždaug $2,3\text{--}2,7\text{ l}\cdot\text{h}^{-1}$) rodo, kad lyginant didesnius greičius (10 ir $13\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) atsiranda statistiškai reikšmingi skirtumai. Tarp gretimų režimų (pvz., $11\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ir $12\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) skirtumai kai kuriais atvejais priartėja prie reikšmingumo ribos.

Padidinus greitį nuo $10\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ iki $13\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ variklio apkrova padidėjo nuo $\sim 63\%$ iki $\sim 97\text{--}98\%$ (5–6 pav.). Tai reiškia, kad variklis priartėjo prie beveik maksimalios apkrovos zonos. Ši vieta yra svarbi eksploatacijos požiūriu, nes sumažina galios atsargas, padidina riziką ne išlaikyti stabilaus greičio nelygiame reljefe ir padidina technikos mechaninę apkrovą. Literatūroje pabrėžiama, kad ekonomiškiausia eksploatacija lengviausiai pasiekama, kai variklio apkrova išlaikoma vidutiniame diapazone, o per didelė apkrova didina degalų sąnaudas ir ilgalaikį mašinos nusidėvėjimą (Grisso et al., 2008).



5 pav. Diskinio skutiko darbinio greičio v įtaka traktoriaus variklio apkrovai P , kai dirvožemio elektrinis laidumas $EC = 103\text{ mS m}^{-1}$

Fig. 5. The effect of the working speed v of a disc harrow on the load P of a tractor engine when the electrical conductivity of the soil $EC = 103\text{ mS m}^{-1}$

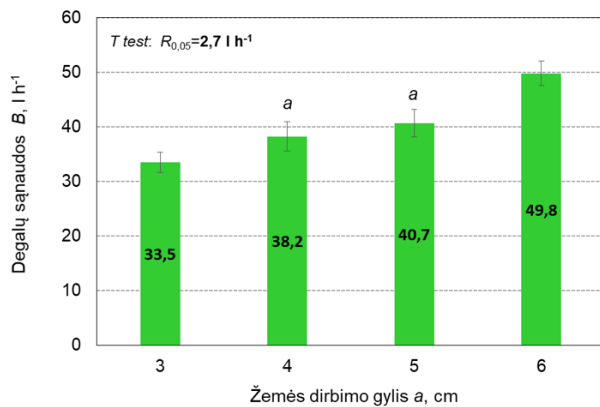


6 pav. Diskinio skutiko darbinio greičio v įtaka traktoriaus variklio apkrovai P , kai dirvožemio elektrinis laidumas $EC = 129\text{ mS m}^{-1}$

Fig. 6. The effect of the working speed v of a disc harrow on the load P of a tractor engine when the electrical conductivity of the soil $EC = 129\text{ mS m}^{-1}$

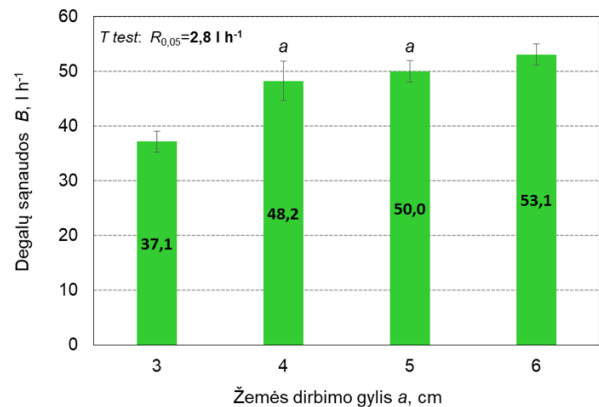
Dirbimo gylio keitimas $3\text{--}6\text{ cm}$ intervalais parodė dar ryškesnį poveikį degalų suvartojimui (7–8 pav.). Esant $EC \approx 103\text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$, degalų suvartojimas padidėjo nuo $33,5\text{ l}\cdot\text{h}^{-1}$ (3 cm) iki $49,8\text{ l}\cdot\text{h}^{-1}$ (6 cm). Esant

$EC \approx 129 \text{ mS} \cdot \text{m}^{-1}$, suvartojimas buvo didesnis visuose gylio intervaluose, padidėdamas nuo 37,1 iki $53,1 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$. Šis rezultatas tiesiogiai priklausomas nuo gylio nustatymų, padidėjus dirbamo dirvožemio skerspjūvio plotui, didėja bendras traukos pasipriešinimas ir dėl to didėja reikalinga galia ir suvartojamas degalų kiekis (Kim et al., 2008).



7 pav. Žemės dirbimo diskiniu skutiku gylio a įtaka valandinėms traktoriaus degalų sąnaudoms B , kai dirvožemio elektrinis laidumas $EC = 103 \text{ mS m}^{-1}$

Fig. 7. The effect of the depth of tillage with a disc harrow on the hourly fuel consumption of a tractor B , when the electrical conductivity of the soil is $EC = 103 \text{ mS m}^{-1}$

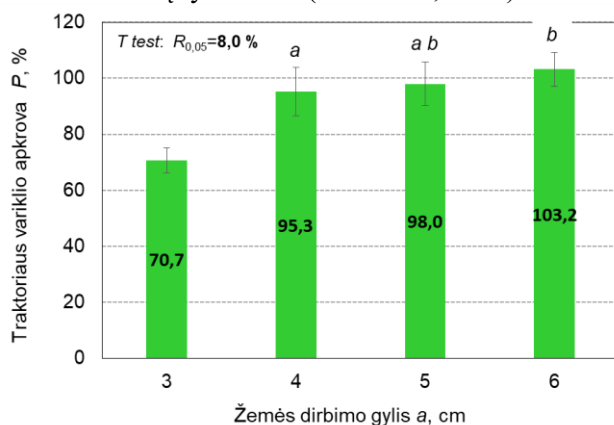


8 pav. Žemės dirbimo diskiniu skutiku gylio a įtaka valandinėms traktoriaus degalų sąnaudoms B , kai dirvožemio elektrinis laidumas $EC = 129 \text{ mS m}^{-1}$

Fig. 8. The effect of the depth of tillage with a disc harrow on the hourly fuel consumption of a tractor B , when the electrical conductivity of the soil is $EC = 129 \text{ mS m}^{-1}$

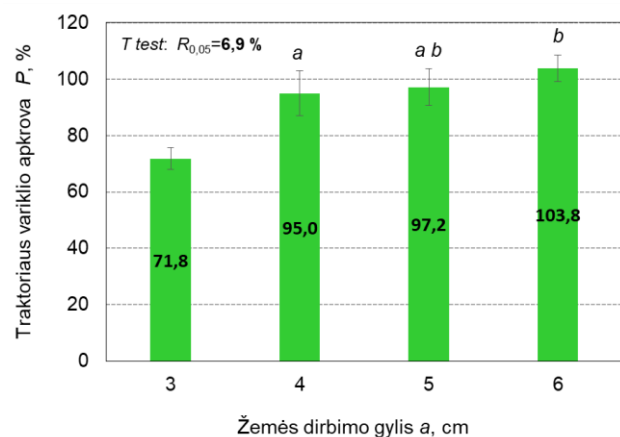
Gylio bandymai $EC \approx 129 \text{ mS m}^{-1}$ zonoje rodo žymų sąnaudų padidėjimą nuo 4 cm gylio (9 pav.). Tai rodo, kad didesniame gylyje padargas susidūrė su didesniu atsparumo sluoksniais arba dirvožemio dalimis, kurių drėgnumas/tankis buvo didesnis, pastarasis variantas yra labiau tikėtinas, atsižvelgiant į drėgnumo ir laidumo skirtumus. Tai galima paaiškinti elektrinio laidumo ir molio kiekio bei drėgmės koreliacija, nes šie veiksniai didina traukos pasipriešinimą ir energijos poreikį.

Didėjant darbo gyliui, variklio apkrova žymiai padidėjo (9–10 pav.). Abiejose zonose gylio padidėjimas nuo 3 cm iki 6 cm lėmė apkrovos padidėjimą nuo ~70–72 % iki ~103–104 %. Apkrovos viršijimas 100 % rodo, kad variklis tam tikrą laiką dirbo viršijant jo nominalią apkrovą, o tai reiškia, kad jis dirbo su labai mažu galios rezervu. Eksploatavimo požiūriu tai reiškia sumažėjusį stabilumą ir padidėjusį jautrumą lauko nevienalytiškumui reikia rinktis tinkamesnę greitį arba sumažinti gylį sudėtingesnėse vietose. Panaši tendencija, t. y. staigus apkrovos ir degalų suvartojimo padidėjimas didėjant gyliui, buvo pastebėta ir kituose lauko matavimų tyrimuose (Kim et al., 2008).



9 pav. Žemės dirbimo diskiniu skutiku gylio a įtaka traktoriaus variklio apkrovai P , kai dirvožemio elektrinis laidumas $EC = 103 \text{ mS m}^{-1}$

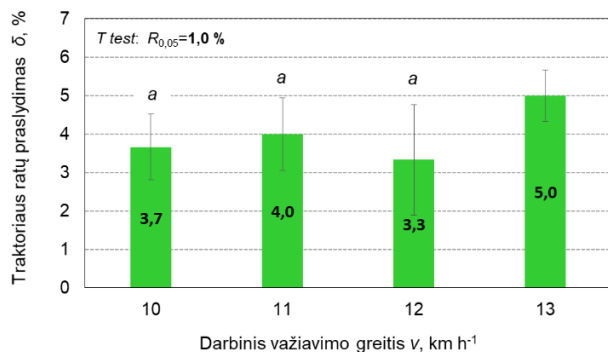
Fig. 9. The effect of the depth of tillage with a disc harrow on the tractor engine load P , when the electrical conductivity of the soil is $EC = 103 \text{ mS m}^{-1}$



10 pav. Žemės dirbimo diskiniu skutiku gylio a įtaka traktoriaus variklio apkrovai P , kai dirvožemio elektrinis laidumas $EC = 129 \text{ mS m}^{-1}$

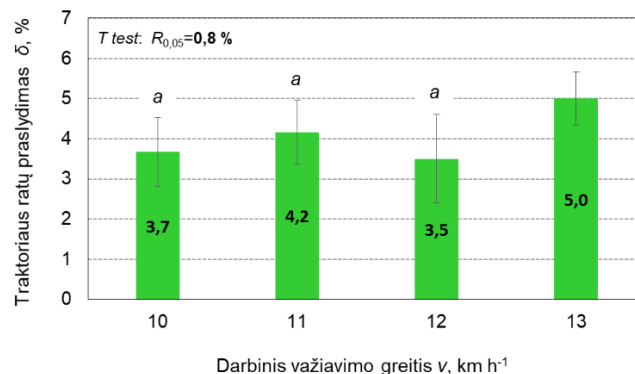
Fig. 10. The effect of the depth of tillage with a disc harrow on the tractor engine load P , when the electrical conductivity of the soil is $EC = 129 \text{ mS m}^{-1}$

Ratų praslydimas keičiant važiavimo greitį išliko palyginti nedidelis (11–12 pav.). Abiejose zonose slydimas svyravo maždaug 3,3–5,0 % diapazone, o didžiausia vertė buvo užfiksuota esant 13 km·h⁻¹ greičiui (5,0 %). Tai rodo, kad bandymo sąlygomis traukos jėga buvo pakankama, o degalų suvartojimo pokyčiai buvo labiau susiję su padidėjusiu galios poreikiu nei su traukos praradimu. Tačiau šis padidėjimas yra nepalankus energijos vartojimo efektyvumo požiūriu, nes ratų slydimas tiesiogiai reiškia energijos praradimą padangos ir dirvos sąlyčio vietoje.



11 pav. Diskinio skutiko darbinio greičio v įtaka traktoriaus ratų praslydimui (bक्सवimui) δ , kai dirvožemio elektrinis laidumas $EC = 103 \text{ mS m}^{-1}$

Fig. 11. The influence of the working speed v of a disc harrow on tractor wheel slip (skidding) δ , when the electrical conductivity of the soil $EC = 103 \text{ mS m}^{-1}$



12 pav. Diskinio skutiko darbinio greičio v įtaka traktoriaus ratų praslydimui (bक्सवimui) δ , kai dirvožemio elektrinis laidumas $EC = 129 \text{ mS m}^{-1}$

Fig. 12. The influence of the working speed v of a disc harrow on tractor wheel slip (skidding) δ , when the electrical conductivity of the soil $EC = 129 \text{ mS m}^{-1}$

Ratų slydimas gylis bandymų metu nuolat didėjo (11–12 pav.). Esant $EC \approx 103$, slydimas padidėjo nuo 2,2 % (3 cm) iki 5,3 % (6 cm), o esant $EC \approx 129$ – nuo 2,2 % iki 6,0 %. Tai rodo, kad gylis didina ne tik galios poreikį, bet ir traukos nuostolius. Taip yra todėl, kad padidėjęs pasipriešinimas reikalauja didesnės traukos jėgos ir lemia padidėjusį padangų slydimą ant dirvos. Kadangi ratų slydimas literatūroje dažnai naudojamas kaip traukos būklės rodiklis, jo padidėjimas patvirtina, kad tyrimo sąlygomis gilesnis dirvos įdirbimas didina energijos suvartojimą ir traukos jėgos poreikį (Al-Dosary et al., 2023).

Apibendrinant, šis tyrimas patvirtino, kad darbinis greitis, o ypač dirbimo gylis, yra kritinis veiksnys diskinio skutiko energijos suvartojimui. Padidinus greitį iki 13 km·h⁻¹ variklis priartėjo prie maksimalios apkrovos zonos, o padidinus gylį iki 6 cm apkrova abiejose zonose priartėjo prie 100 % ir padidėjo ratų praslydimas. Praktiniu požiūriu, greičio bandymų rezultatai rodo, kad mažesnio greičio diapazonas energijos efektyvumui yra 11–12 km·h⁻¹ (variklio apkrova ~72–79 %, slydimas apytikriai 3,3–4,2 %). Gylis turėtų būti reguliuojamas pagal agrotechninius reikalavimus, atsižvelgiant į dirvožemio zonas, vengiant režimų, kuriuose apkrova priartėja prie maksimalių verčių.

Kadangi tyrimo duomenys buvo lygiagrečiai siunčiami ir į JDLink, todėl buvo galimybė atlikti realiu laiku fiksuotų ir gautų JDLink terminale duomenų palyginamąją analizę. Tyrimo metu, telematikos pagalba surinkti duomenys, buvo identiški traktoriaus kabinoje stebėtiems duomenims. Tačiau svarbu įvertinti metodologinius niuansus. JDLink sistemos generuojamose ataskaitose naudojamas 30 minučių ar ilgesnis vidurkio intervalas, o tai reiškia, kad užregistruotos vertės atspindi vidurkius per ilgesnius darbo laikotarpius, o ne momentinius (sekundės ar minutės) pokyčius. Todėl šie duomenys ypač tinka tokioms užduotims kaip tendencijų ar režimų palyginimas ir sprendimų priėmimo optimizavimas. Tačiau trumpalaikių, staigių apkrovos šuolių ar dirvožemio pasipriešinimo pokyčių analizei reikalingi papildomi, didesnio tikslumo matavimai. Tiesioginiam vartotojui šie duomenys yra pakankami ir lengvai suprantami. Tai leidžia objektyviai įvertinti darbo efektyvumą, nustatyti neefektyvius darbo režimus ir pasirinkti racionalesnius parametrus. Todėl telematikos sistemos taikymas prisideda prie aplinkosaugos tikslų įgyvendinimo, mažinant išmetamųjų teršalų kiekį ir optimizuojant degalų sąnaudas.

Išvados

1. Didinant traktoriaus su diskiniu skutiku darbinį važiavimo greitį nuo 10 iki 13 km·h⁻¹, valandinės degalų sąnaudos abiejose dirvožemio zonose padidėjo apie 50 % (kai $EC = 103 \text{ mS m}^{-1}$: nuo 33,5 iki 49,8 l·h⁻¹; kai $EC = 129 \text{ mS m}^{-1}$: nuo 33,6 iki 50,2 l·h⁻¹), o variklio apkrova padidėjo iki ~97–98 %.
2. Didinant dirbimo gylį nuo 3 iki 6 cm, degalų sąnaudos taip pat reikšmingai padidėjo (kai $EC = 103 \text{ mS m}^{-1}$: nuo 33,5 iki 49,8 l·h⁻¹; kai $EC = 129 \text{ mS m}^{-1}$: nuo 37,1 iki 53,1 l·h⁻¹), o variklio apkrova pakilo iki ~100 %.

3. Ratų praslydimas (buktavimas) visuose režimuose išliko nedidelis, tarp 3,4–4,4 %, tačiau didėjant greičiui buvo stebimas nežymus padidėjimas. Didėjant dirbimo gyliui, ratų praslydimas augo nuo 2,17 % iki 6,0 %, o tai rodo, kad gilesnis dirvos įdirbimas mažina traukos efektyvumą.
4. Apibendrinant galima teigti, kad didžiausias agregato efektyvumas pasiektas važiuojant 11–12 km·h⁻¹ greičiu ir ražienas skutant 4–5 cm gyliu. Tuomet degalų sąnaudos siekia 39–41 l·h⁻¹, variklio apkrova – apie 70–75 %, o ratų praslydimas – mažesnis nei 5 %.

Literatūra

1. Al-Janobi, A. A., Al-Suhaibani, S. A. (1998). Draft of primary tillage implements in sandy loam soil. *Applied Engineering in Agriculture*, 14(4), 343–348. DOI: 10.13031/2013.19392.
2. Damanauskas, V., Velykis, A., Satkus, A., et al. (2019). Influence of disc harrow adjustment on tractor performance, fuel consumption and tillage quality. *Biosystems Engineering*, 181, 34–45.
3. Grisso, R. D., Vaughan, D. H., Roberson, G. T. (2008). Fuel Prediction for Specific Tractor Models. *Applied Engineering in Agriculture*, 24(4), 423–428. DOI: 10.13031/2013.25139.
4. Kocher, M. F., Smith, B. J., Hoy, R. M., et al. (2017). *Fuel Consumption Models for Tractor Test Reports*. Nebraska Tractor Test Laboratory / University of Nebraska–Lincoln publication.
5. Sudduth, K. A., Kitchen, N. R., Wiebold, W. J., et al. (2005). Relating apparent electrical conductivity to soil properties across the north-central USA. *Computers and Electronics in Agriculture*, 46(1–3), 263–283.
6. Zoz, F. M., Grisso, R. D. (2003). Traction and Tractor Performance. *ASAE Distinguished Lecture Series*. Publication No. 913C0403.
7. Kim, S. J., et al. (2020). Analysis of Tillage Depth and Gear Selection for Mechanical Load and Fuel Efficiency of an Agricultural Tractor Using an Agricultural Field Measuring System. *Sensors*, 20(9), 2450.
8. Savickas, D., et al. (2021). Analysis of Telematics Data of Combine Harvesters and Evaluation of Potential to Reduce Environmental Pollution. *Atmosphere*, 12(6), 674.
9. Defays, G. (2017). Assessment of the CAN bus technology implemented on modern agricultural tractors to study fuel consumption savings. *Farm Machinery and Processes Management in Sustainable Agriculture (IX Symposium)*. DOI: 10.24326/fmpmsa.2017.18.
10. Goltypin, V., Golubev, I. (2020). Global trends in the development of monitoring systems for mobile agricultural equipment. *E3S Web of Conferences*, 157, 01013.
11. Al-Dosary, N. M. N., Alnajjar, F. M., Aboukarima, A. E. W. M. (2023). Estimation of wheel slip in 2WD mode for an agricultural tractor during ploughing operation using an artificial neural network. *Scientific Reports*, 13, 5975.

Rytis Šiugždinis, Dainius Steponavičius, Dainius Savickas

Effect of Working Parameters of Disc Harrow on Fuel Consumption

Vytautas Magnus University, Lithuania

The choice of agricultural machinery operating modes (especially speed and depth) has a significant impact on both farm profitability and energy efficiency. The aim of this study is to evaluate the impact of disc harrow operating parameters (working speed and depth) on tractor fuel consumption per hour, engine load, and wheel slip (skidding) under real field conditions. The experiments were carried out by changing the working speed of the John Deere 7R 310 (251 kW) tractor from 10 to 13 km·h⁻¹ and the working depth of the Bednar Swifterdisc XE_Profi (10.4 m wide) disc harrow from 3 to 6 cm. When investigating the effect of speed, the depth of the cultivator was kept constant, and when investigating the effect of depth, the speed of the tractor was kept constant. In order to assess the influence of field heterogeneity, the results were analysed in two field areas with soil electrical conductivity (EC) of 103 mS·m⁻¹ and 129 mS·m⁻¹. Based on the data obtained, increasing the working speed from 10 to 13 km·h⁻¹ increased fuel consumption by about 50% in both field areas, and the engine load approached the maximum limit (approximately 97–98%). When the working depth was increased from 3 cm to 6 cm, fuel consumption also increased significantly. In the EC=103 mS·m⁻¹ zone, it increased from 33.5 to 49.8 l·h⁻¹, and in the EC=129 mS·m⁻¹ zone, from 37.1 to 53.1 l·h⁻¹. By increasing the working depth, the engine load increased by almost 100%, and wheel slip increased from 2.2% to 5.3–6.0%. This study confirmed that the choice of operating parameters directly affects fuel consumption.

Keywords: Disc harrow, working speed, working depth, fuel consumption, engine load, wheel slip.

Gauta 2026 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2026 m. balandžio mėn.

Rytis ŠIUGŽDINIS. 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 62810310 el. paštas: rytis.saugzadinis@stud.vdu.lt

Rytis ŠIUGŽDINIS. 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 62810310, e-mail: rytis.siugzdinis@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 g. 15a, LT-53362, Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 67427721 e-mail: Dainius.Steponavicius@vdu.lt

Dainius SAVICKAS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedros docentas. Adresas: Studentų g. 15a, LT-53362, Akademija, Kauno r., +370 63086542, el. paštas: dainius.savickas@vdu.lt

Dainius SAVICKAS. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, professor assoc. Address: Studentų g. 15a, LT-53362, Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 63086542, e-mail: dainius.savickas@vdu.lt

METEOROLOGINIŲ SĄLYGŲ VARIABILUMO POVEIKIS DIRVOŽEMIO ANGLIES ATSARGOMS IR ŠILTNAMIO EFEKTĄ SUKELIANČIŲ DUJŲ EMISIJŲ DINAMIKAI ŽEMĖS ŪKIO SISTEMOSE

Gediminas Zdanavičius, Vilma Naujokienė, Žygimantas Kidikas, Rytis Skominas,
Zita Kriaučiūnienė

Vytauto Didžiojo universitetas

Klimato variacijos veikia dirvožemio anglies atsargas ir šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) emisijas, todėl jų analizė svarbi sprendžiant žemės ūkio sektoriaus emisijų dinamikos neaiškumą ir tikslinant emisijų prognozes. Nustatyta, kad aukštesnė oro temperatūra ir sumažėję krituliai gali būti siejami su didesniu ŠESD emisijų intensyvumu Pietryčių Lietuvos regione, o drėgnesni laikotarpiai palankesni dirvožemio organinės anglies kaupimuisi. Nustatyti sezoniniai svyravimai padeda identifikuoti laikotarpius, kai emisijų rizika yra padidėjusi arba anglies atsargos laikinai mažėja. Išvados pabrėžia, kad oro temperatūros, kritulių kiekio ir sezoninių svyravimų įtaka yra esminė emisijų ir dirvožemio anglies apykaitos procesams, o kiekybinė analizė leidžia tiksliau prognozuoti šių procesų dinamiką.

Raktiniai žodžiai: dirvožemio anglies kaita, klimatas, anglis, emisijos, krituliai.

Įvadas

Klimato kaita ir meteorologinių sąlygų svyravimai yra esminiai veiksniai, lemiantys dirvožemio anglies apykaitą ir šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) emisijas žemės ūkio ekosistemose (Basheer et al., 2024). Dirvožemis, kaip didžiausias sausumos organinės anglies rezervuaras, saugo daugiau anglies nei atmosfera ir augalija kartu, todėl jo dinamikos pokyčiai tiesiogiai veikia globalias klimato kaitos tendencijas (European Environment Agency, 2024; FAO, 2020). Oro temperatūra, kritulių kiekis ir dirvožemio drėgmės režimas moduliuoja mikrobiologinį aktyvumą, organinės medžiagos mineralizaciją ir anglies balansą, todėl šių veiksnių stebėjimas yra būtinas siekiant įvertinti regionines ŠESD emisijas (Li ir kt., 2024; Li ir kt., 2025; Li ir kt., 2026).

Padidėjusi oro temperatūra skatina heterotrofinę respiraciją, pagreitina organinės anglies mineralizaciją ir didina CO₂ emisijas, ypač intensyviai naudojamuose ar drenuotuose dirvožemiuose (Bārdulė ir kt., 2025; Petaja ir kt., 2024; Basheer ir kt., 2025). Meteorologinis drėgmės režimas moduliuoja šiuos procesus: didesni kritulių kiekiai skatina mikrobiologinę veiklą ir anglies mineralizaciją, o sausros riboja mikrobiologinius procesus ir mažina emisijas (Hao ir kt., 2025; Shoumik ir kt., 2024; Shoumik ir kt., 2025; Petaja ir kt., 2025; Huang ir kt., 2024). Pietryčių Lietuvos žemės ūkyje meteorologinių veiksnių svyravimai ryškūs: 2013–2025 m. vidutinė metinė oro temperatūra siekė 8,2 °C, o metinis kritulių kiekis sumažėjo iki 649,7 mm, t. y. 6,5 % mažiau už standartinę normą 1990–2020 m. (LHMT, 2025; Bārdulė ir kt., 2025).

Sezoniškumas daro esminę įtaką emisijų dinamikai: šiltuoju metų laiku aukštesnė temperatūra ir palankus drėgmės režimas skatina mikrobiologinį aktyvumą, todėl CO₂ ir N₂O emisijos yra intensyvesnės nei šaltesniais ir sausresniais periodais (Lång ir kt., 2024; Shoumik ir kt., 2025). Drenuoti organiniai dirvožemiai ir intensyviai naudojami žemės ūkio plotai Baltijos regione yra reikšmingi CO₂ emisijų šaltiniai (Bārdulė ir kt., 2025; Petaja ir kt., 2024).

Nors daugelyje tyrimų nagrinėjamas klimato veiksnių poveikis dirvožemio anglies dinamikai (Li et al., 2024; Ghosh et al., 2025), regioniniu mastu, ypač Pietryčių Lietuvos agroekosistemose, šie ryšiai yra ištirti fragmentiškai. Trūksta tyrimų, kurie integruotų meteorologinių sąlygų variabilumą su dirvožemio anglies atsargų ir emisijų pokyčiais konkrečiuose ūkiuose, todėl išlieka neapibrėžtumas vertinant klimato kaitos poveikį regioninėms agroekosistemoms. Atsižvelgiant į teorinius ir empirinius duomenis, Pietryčių Lietuvos meteorologinių sąlygų – oro temperatūros, kritulių kiekio ir dirvožemio drėgmės – analizė yra būtina siekiant suprasti regioninį dirvožemio anglies ciklą ir ŠESD emisijų dinamiką (Metrikaitytė Gudėlė ir kt., 2025; Li ir kt., 2026). Tyrimo tikslas – įvertinti meteorologinių sąlygų (oro temperatūros ir kritulių) variabilumą 2013–2025 m. laikotarpiu ir prognozuoti galimą jų poveikį dirvožemio organinės anglies atsargoms ir ŠESD emisijoms.

Tyrimų metodika

Tyrimas atliktas Pietryčių Lietuvos regione, Vilniaus apskrityje, Didžiųjų Baušių kaime, apimant „Baušų“ ūkio valdomus žemės ūkio plotus laikotarpiu nuo 2013 m. iki 2025 m. spalio mėn. Meteorologiniai duomenys gauti iš Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos stotelių, naudojant standartizuotus automatinius matavimo įrenginius. Oro temperatūra registruota kalibruotais elektroniniais termometrais, įrengtais Stevenson'o pavėsinėse, kas 10 minučių, siekiant sumažinti tiesioginių saulės spindulių, radiacinio poveikio ir kitų aplinkos

trikdžių įtaką. Kritulių kiekis matuotas automatinio plaukiojančio kaušo lietaus matuokliu, o duomenų tikslumui užtikrinti jie papildomai patikrinti rankiniais matavimais.

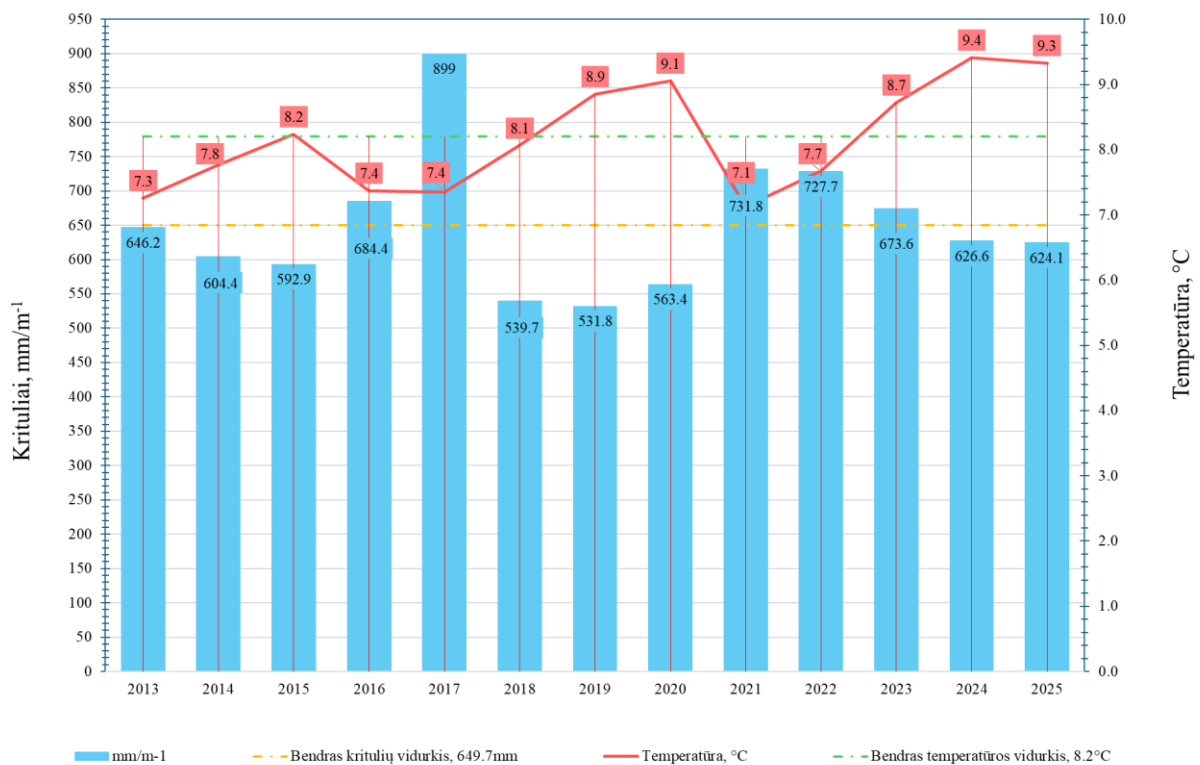
Tokiu būdu surinkti meteorologiniai duomenys leido nustatyti regioninę oro temperatūros ir kritulių dinamiką bei sezoniškumo ypatumus Pietryčių Lietuvos žemės ūkio ekosistemose. Šie stebėjimai suteikia pagrindą suprasti meteorologinių sąlygų svyravimus ir jų poveikį dirvožemio procesams bei augalų augimui.

Meteorologinių veiksnių poveikis dirvožemio anglies dinamikai ir ŠESD emisijoms buvo vertinamas netiesiogiai, taikant analizę ir literatūros duomenų interpretaciją. Temperatūros ir kritulių variabilumas buvo analizuotas naudojant vidurkių ir nuokrypių analizę, sezoninį palyginimą su SKN, tendencijų analizę, o pagal mokslinius šaltinius, nustatyti meteorologinių parametrų ryšiai su CO₂ emisijų intensyvumu, dirvožemio organinės anglies mineralizacija.

Rezultatai

Analizuojant meteorologinius duomenis šioje vietovėje nustatyta, kad 2013–2025 m. laikotarpiu vidutinė metinė oro temperatūra yra 8,2 °C ir tai 0,8 °C viršija Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos nurodytas 1990–2020 m. klimatinės temperatūros normas (1 pav.).

Metinis vidutinis kritulių kiekis tiriamuoju laikotarpiu nuo 2013–2025 m. yra 649,7 mm ir tai yra 6,5 % mažiau už pateiktas metines SKN (standartinė klimato norma) normas (1 pav.).



1 pav. Tiriamojo laikotarpio vidutinės metinės temperatūros ir kritulių dinamika

Fig. 1. Dynamics of average annual temperature and precipitation during the study period

Vertinant gautus rezultatus, šio regiono dalies klimatinės sąlygas galima apibūdinti kaip šiltesnes ir sausesnes lyginant su vidutiniais visos Lietuvos temperatūros ir kritulių rodikliais. Grafike (1 pav.) matyti, kad tiriamo ūkio vietovėje 2024–2025 m. pasiekta aukščiausia vidutinė metinė ~9,5 °C temperatūros riba. Rezultatai nurodo, kad tiriamieji laukai šioje vietovėje yra per metus bendrai veikiami 2,1 °C šiltesnės temperatūros, lyginant pagal šalies bendrą metinį temperatūros vidurkį. Tuo tarpu tais pačiais metais stebint kritulių kiekio rezultatus pastebimas atitinkamas kritulių sumažėjimas. Šie duomenys leidžia pastebėti klimato atšilimo ir didesnių sausrų požymius.

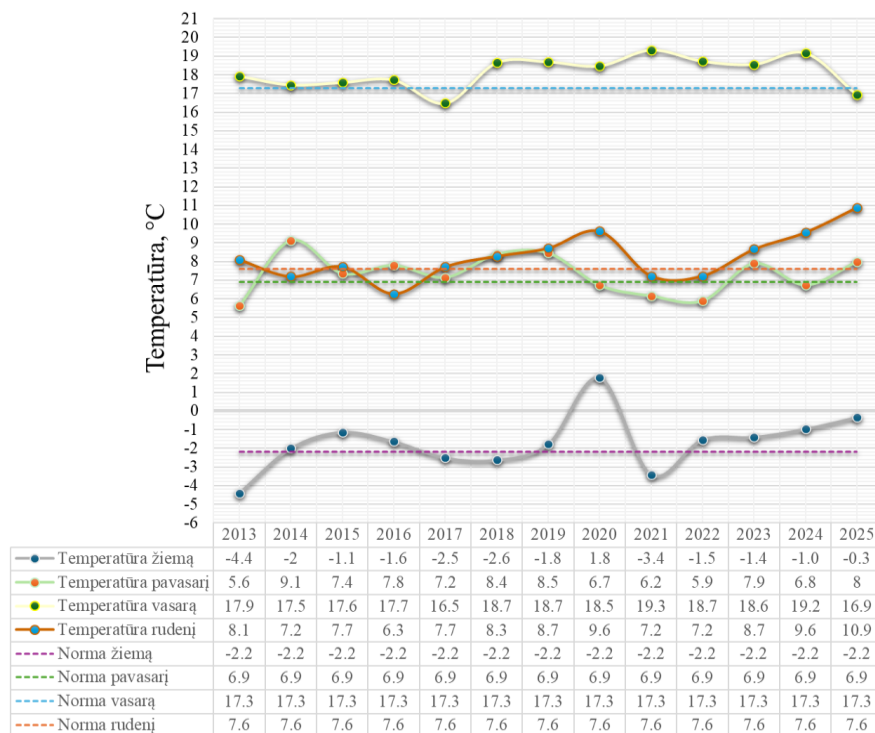
1 lentelė. SKN (1991–2020 m.) vidutinė Lietuvos metų oro temperatūra**Table 1.** SKN (1991–2020) average annual air temperature in Lithuania

SKN/mėn. (SCR/mo.)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Metų vidurkis (Annual average)
1990–2020 m. (yrs.)	-2,9	-2,5	0,9	7,2	12,5	15,9	18,3	17,6	12,8	7,3	2,6	-1,1	7,4

Pastaba. SKN – standartinė klimato norma.

Pateikiamas atlikto tyrimo sezoniškumo vidutinės metinės temperatūros duomenų palyginimas su Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos nurodomais SKN (standartinė klimato norma) duomenimis (1 lentelė, 2 pav.).

LHMT (Lietuvos hidrometeorologinė tarnyba) duomenys nurodo, kad oro temperatūra pagal naująją SKN (1991–2020 m.) vidutinę Lietuvos metų oro temperatūros normą yra 7,4 °C, šilčiausias metų mėnuo liepa (18,3 °C), o šalčiausias sausis (-2,9 °C) (1 lentelė).

**2 pav.** Sezonišios temperatūros svyravimai (2013–2025 m.)**Fig. 2.** Seasonal temperature fluctuations (2013–2025)

Atliekamo tyrimo vietovėje vertinant sezoninius temperatūros svyravimus nustatyta, kad šilčiausias žiemos ir vasaros sezonas užfiksuotas 2024 metais, o į tai atsižvelgiant pagal SKN normas matyti, kad klimato temperatūra šyla ne tik vertinant metinę vidutinę temperatūrą, bet ir skirtingų sezonų laikotarpius (4.3 pav.).

Pagal naująją SKN (1991–2020 m.) vidutinis Lietuvos metų kritulių kiekis yra 695 mm. Daugiausiai kritulių iškrinta liepą (84 mm), o mažiausiai balandį (37 mm) (2 lentelė).

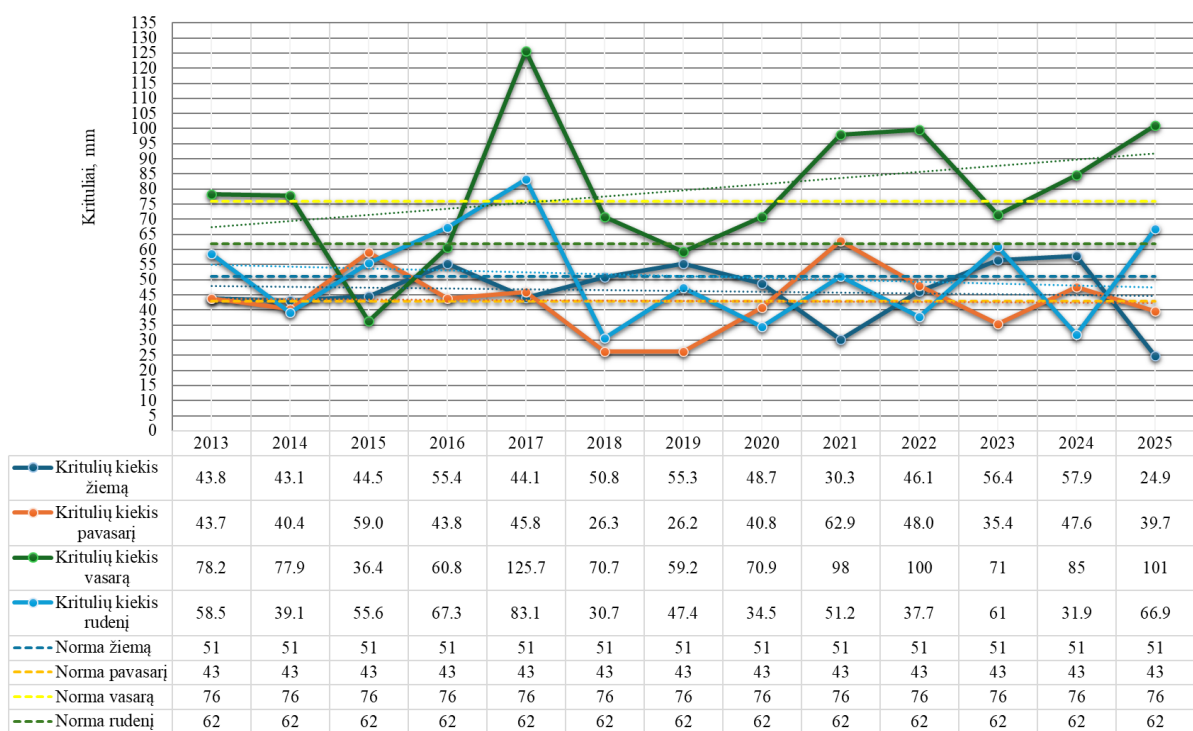
2 lentelė. SKN (1991–2020 m.) vidutinis Lietuvos metų kritulių kiekis**Table 2.** SKN (1991–2020) average annual precipitation in Lithuania

SKN/mėn. (SCR/mo.)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Metų vidurkis (Annual average)
1990–2020 m. (yrs.)	53	43	39	37	53	68	84	77	60	68	57	56	695
Vidutinė norma (Average)	Žiemą 51 (Winter)		Pavasariį 43 (Spring)			Vasarą 76 (Summer)			Rudenį 62 (Autumn)				

Pastaba. SKN – standartinė klimato norma.

Lyginant vidutinį kritulių kiekį Lietuvoje su tiriamojo regiono duomenimis pagal sezoniškumą – rudenį, žiemą, pavasarį ir vasarą vertinamas kritulių kiekis iš LHMT duomenys 2025 metais iki spalio mėnesio.

Vertinant sezonines kritulių vidurines normas matyti, kad sezono kritulių kiekis yra tipinis tam laikotarpiui, nėra aiškaus sausros ar perteklinio drėgnumo požymių (3 pav.).



3 pav. Kritulių kiekių svyravimai

Fig. 3. Precipitation fluctuations

Analizuojant 2013–2025 m. sezoninius kritulių kiekius matyti reikšmingi svyravimai tarp metinių duomenų lyginant su daugiamečėmis normomis. Didžiausias kritulių kiekio kintamumas nustatytas vasaros laikotarpiu – reikšmės svyravo nuo 36,4 mm iki 125,7 mm, o tai rodo didėjančią kritulių pasiskirstymo netolygumą. Žiemos ir rudens sezonais kritulių kiekiai dažniausiai svyravo arti daugiamečės normos (atitinkamai apie 51 mm ir 62 mm), tačiau atskirais metais fiksuoti ryškūs nuokrypiai – itin mažas žiemos kritulių kiekis 2025 m. (24,9 mm). Pavasario laikotarpiu taip pat stebimas nepastovumas – kritulių kiekiai kito nuo 26,2 mm iki 62,9 mm. Bendrai duomenys rodo didėjančią sezoninių kritulių variabilumą, ypač šiltuoju metų laikotarpiu, kas gali turėti reikšmingos įtakos dirvožemio drėgmės režimui ir agroekosistemų produktyvumui.

Gauti rezultatai rodo, kad temperatūros padidėjimas ir kritulių sumažėjimas gali turėti reikšmingą poveikį dirvožemio anglies dinamikai. Remiantis Li et al. (2024) ir Ghosh et al. (2025), aukštesnė temperatūra didina mikrobiologinę respiraciją ir CO₂ emisijas, o sumažėjęs dirvožemio drėgnumas riboja organinės anglies stabilizaciją. Petaja et al. (2025) nustatė, kad temperatūros ir drėgmės sąveika yra pagrindinis veiksnys, lemiantis emisijų intensyvumą Baltijos regiono agroekosistemose, todėl šiame tyrime nustatyti klimato pokyčiai gali būti siejami su didėjančia emisijų rizika.

Išvados

1. Analizuojant Pietryčių Lietuvos meteorologines sąlygas 2013–2025 m., vidutinė metinė oro temperatūra padidėjo iki 8,2 °C, t. y. 0,8 °C viršijo 1990–2020 m. standartinę klimato normą (7,4 °C), o 2024–2025 m. pasiekta aukščiausia vidutinė metinė temperatūra ~9,5 °C.
2. Metinis kritulių kiekis regioniniuose tiriamuosiuose plotuose sumažėjo iki 649,7 mm, t. y. 6,5 % mažiau nei 1990–2020 m. klimato norma (695 mm), išlaikant sezoninį pasiskirstymą: žiemą 51–53 mm, pavasarį 37–43 mm, vasarą 76–84 mm, rudenį 62 mm.
3. Aukštesnė temperatūra ir sumažėjęs kritulių kiekis gali didinti CO₂ ir N₂O emisijų intensyvumą, tuo tarpu drėgnesni laikotarpiai palankūs dirvožemio organinės anglies kaupimuisi.
4. Sezoniniai temperatūros svyravimai yra ryškūs: liepos mėnesį vidutinė temperatūra viršija 18 °C, sausį nukrinta iki –2,9 °C, skatinant mikrobiologinę aktyvumą šiltuoju periodu ir mažinant emisijas šaltuoju.

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. Basheer, S. (2024). A review of greenhouse gas emissions from agricultural soil: drivers and quantification approaches. *Sustainability*, 16(11), 4789. <https://doi.org/10.3390/su16114789>
2. Basheer, S. (2025). Soil carbon fluxes in European agricultural soils under projected warming. *Environmental Research Letters*, 20(4), 044015. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abe456>
3. European Environment Agency. (2024). Soil organic carbon and greenhouse gas emissions in Europe. EEA briefing report. <https://www.eea.europa.eu/publications/soil-carbon>
4. FAO. (2020). Soils and climate change: mitigation and adaptation strategies. *FAO Soil Bulletin*. <http://www.fao.org/3/cb0736en/cb0736en.pdf>
5. Hao, Y., Wang, X., Li, J., & Zhang, W. (2025). Soil moisture controls over carbon sequestration and greenhouse gas emissions: a review. *Climate and Atmospheric Science*, 8, 88. <https://doi.org/10.1038/s41612-024-00888-8>
6. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: *Agriculture, Forestry and Other Land Use*. Chapter 3: Consistent Representation of Lands. Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Japan. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_03_Ch3_Representation.pdf
7. Li, Y., Panagos, P., Yunta Mezquita, F., & Zhang, C. (2025). Warming could cause significant soil organic carbon loss around the southern Baltic Sea. *Journal of Environmental Management*, 391, 126488. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.126488>
8. Li, Y., Hansen, E., & Møller, A. (2024). Climatic influence on soil CO₂ emissions in boreal and hemiboreal regions of Europe. *Science of the Total Environment*, 857, 159905. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.159905>
9. Li, Y., Hansen, E., & Møller, A. (2026). Temperature-driven heterotrophic respiration and soil carbon loss across Baltic agricultural lands. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 444, 109890. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2026.109890>
10. Metrikaitytė Gudėlė, G., & Sužiedelytė-Visockienė, J. (2025). Quantifying soil carbon sequestration potential through carbon farming practices with RothC model adapted to Lithuania. *Land*, 14(7), 1497. <https://doi.org/10.3390/land14071497>
11. Bārdule, A., Laiho, R., Jauhiainen, J., Soosaar, K., Lazdiņš, A., Armolaitis, K., Butlers, A., Čiuldienė, D., Haberl, A., Kull, A., Muraškienė, M., Ostonen, I., Rohula-Okunev, G., Kamil-Sardar, M., Schindler, T., Vahter, H., Vigricas, E., & Līcīte, I. (2025). Annual net CO₂ fluxes from drained organic soils used for agriculture in the hemiboreal region of Europe. *Biogeosciences*, 22, 4241–4259. <https://doi.org/10.5194/bg-22-4241-2025>
12. Petaja, G., Priekule, M., & Liepa, J. (2024). Organic carbon stock in mineral soils in cropland and grassland in Latvia. *Environments*, 11(4), 73. <https://doi.org/10.3390/environments11040073>
13. Petaja, G., Liepa, J., & Kalniņš, M. (2025). Soil moisture interactions with temperature drive greenhouse gas emissions in Latvian croplands. *Geoderma*, 404, 115505. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115505>
14. Lång, K., Johansson, M., & Nilsson, I. (2024). Impact of crop type on the greenhouse gas emissions of a rewetted cultivated peatland. *Soil*, 10, 827–841. <https://doi.org/10.5194/soil-10-827-2024>
15. Shoumik, B.A.A. (2024). Effects of precipitation variability on SOC dynamics in Northern Europe. *Catena*, 216, 106567. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106567>
16. Shoumik, B.A.A. (2025). Climate sensitivity of soil organic carbon and nutrient stocks under different land uses. *European Journal of Soil Science*, 76(5), 701–716. <https://doi.org/10.1111/ejss.70156>
17. Tian, S., Müller, T., & Hansen, E. (2026). Spatiotemporal dynamics of soil organic carbon at 30 m resolution across Europe. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 445, 108273. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2025.108273>
18. Huang, J., Zhang, W., & Li, X. (2024). Influence of seasonal rainfall on soil greenhouse gas fluxes across agricultural landscapes. *Global Change Biology*, 30(1), 27–42. <https://doi.org/10.1111/gcb.16578>
19. Ghosh, S., Paul, S., & Kundu, S. (2025). Temperature and moisture controls on soil organic carbon decomposition: a global meta-analysis. *Soil Biology & Biochemistry*, 170, 108898. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2022.108898>

20. IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change (AR6 WGIII)*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157926>

Gediminas Zdanavičius, Vilma Naujokienė, Žygimantas Kidikas, Rytis Skominas, Zita Kriaučiūnienė
Impact of Meteorological Variability on Soil Carbon Stocks and Greenhouse Gas Emission Dynamics in Agricultural Systems

Vytautas Magnus University, Lithuania

Climate variations affect soil carbon stocks and greenhouse gas (GHG) emissions, therefore their analysis is important in addressing the uncertainty of the dynamics of emissions in the agricultural sector and in refining emission forecasts. Studies have shown that higher air temperatures and reduced precipitation in the Southeast Lithuanian region lead to higher GHG emission intensity, while wetter periods are more favorable for the accumulation of soil organic carbon. The seasonal fluctuations identified help identify periods when the risk of emissions is increased or carbon stocks temporarily decrease. The findings emphasize that the influence of air temperature, precipitation and seasonal fluctuations is essential for emissions and soil carbon turnover processes, and quantitative analysis allows for more accurate prediction of the dynamics of these processes.

Keywords: Soil dynamics, climate; carbon, emissions, precipitation.

Gauta 2026 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2026 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 37 752357, el. paštas: gediminas.zdanavicius@vdu.lt

Gediminas ZDANAVIČIUS. 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 37 752357, e-mail: gediminas.zdanavicius@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 37 752357, 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 g. 15a, LT-53362, Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 37 752357, e-mail: vilma.naujokiene@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 g. 15a, LT-53362, Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 37 752357, 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 37 752357, el. paštas: rytis.skominas@vdu.lt

Rytis SKOMINAS. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Water Engineering, assoc. prof. Address: Studentų g. 15a, LT-53362, Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 37 752357, e-mail: rytis.skominas@vdu.lt

Zita KRIAUCIŪNIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Agronomijos fakulteto Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedros profesorius. Adresas: Studentų g. 15a, LT-53362, Akademija, Kauno r., tel. +370 37 752357, el. paštas: zita.kriauciuniene@vdu.lt

Zita KRIAUCIŪNIENĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Agronomy, professor at the Department of Agroecosystems and Soil Sciences. Address: Studentų g. 15a, LT-53362, Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 37 752357, e-mail: zita.kriauciuniene@vdu.lt

TRADICINIO IR MINIMALAUS ŽEMĖS DIRBIMO ĮTAKA DIRVOŽEMIUI IR APLINKAI

Lukas Kmelnickas, Simas Sokas, Egidijus Šarauskis, Sidona Buragienė

Vytauto Didžiojo universitetas

Žemės dirbimas yra vienas svarbiausių agrotechnologinių procesų, turinčių didelę įtaką kultūrinių augalų sėjai, sudygimui, augimui, derliui ir jo kokybei. Tuo pačiu žemės dirbimas yra ir vienas iš brangiausių ir energijai imliausių augalininkystės technologinių procesų. Žemės ūkio sektorius siekdamas kiek įmanoma sušvelninti neigiamą poveikį aplinkai bei atitikti vis griežtėjančius aplinkosauginius reikalavimus nuolat ieško būdų kaip sumažinti brangstančių energijos sąnaudas ir išlaidas. Pastaruoju metu mūsų šalyje pastebimas didėjantis susidomėjimas minimaliu žemės dirbimu. Tyrimas buvo atliekamas Kaišiadorių rajono savivaldybės Paparčių seniūnijoje. Buvo analizuojamos trys skirtingos žemės dirbimo technologijos: gilusis arimas, sekus žemės dirbimas diskiniu skutiku, gilus žemės dirbimas noraginiu skutiku. Dirvožemio fizikinės savybės (temperatūra, bendrasis ir aeracinis poringumas), CO₂ emisijos buvo nustatomos prieš žemės dirbimą ir po jo. Po žemės dirbimo bendrojo poringumo rezultatai parodė esminius skirtumus tik 20–30 cm gylyje. Mažiausias dirvožemio kvėpavimas buvo nustatytas panaudojus diskinį skutiką. Technologijos taip pat buvo vertinamos atsižvelgiant į eksploatacinius ir energetinius rodiklius.

Raktiniai žodžiai: dirvos dirbimo technologijos, dirvožemio fizikinės savybės, CO₂ emisijos, energetinis vertinimas.

Įvadas

Pagrindinis verstuvinio (tradicinio) žemės dirbimo būdas – arimas, kai verstuviniaus plūga supurenamas ir apverčiamas dirvos ariamasis sluoksnis. Dirvą įdirbant verstuviniu plūgu, viršutinis dirvos sluoksnis verčiamas į vagos dugną, o apatinis sluoksnis iškeliamas į paviršių (Šarauskis ir kt., 2015). Kaip ir 2010 m., 2020 m. labiausiai paplitęs buvo įprastinis žemės dirbimo būdas – juo įdirbta 62 proc. ariamosios žemės ploto. Mažiau paplitusi buvo tausojamoji žemės dirbimo technologija (23 proc.) ir sėklų įterpimas į priešsėlio rąžieną neįdirbant dirvos (4 proc.) (Žemės ūkio gamybos metodai ir drėkinimas, 2022). Minimalus žemės dirbimas – tai tausojanti žemdirbystės sistema, kuri apima minimalų dirvožemio trikdymą, siekiant pagerinti pasėlių produktyvumą. Minimalus žemės dirbimas pagerina dirvožemio organinių medžiagų kaupimąsi ir dirvožemio struktūrą, taip padidindamas dirvožemio derlingumą ir sumažindamas dirvožemio eroziją. Pagerėjusios dirvožemio savybės didina pasėlių produktyvumą (Musafiri ir kt., 2022). Taip pat ši technologija sumažina šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) emisijas, padidina anglies atsargas dirvožemyje ir pagerina vandens sulaikymą dirvožemyje. Vertinant vandens įsiskverbimą nustatyta, kad sumažėjęs žemės dirbimas gali turėti ir neigiamų padarinių, pavyzdžiui, didinti dirvožemio sutankinimą, apsunkinti piktžolių kontrolę ir mažinti pasėlių produktyvumą (Van Balen ir kt., 2023). Intensyvus žemės dirbimas gali didinti anglies skaidymąsi ir dirvožemio degradaciją, todėl blogėja dirvožemio kokybė (Chenu ir kt., 2000; Marinari ir kt., 2000). Tuo tarpu taikant minimalaus žemės dirbimo sistemas galima padidinti organinių medžiagų kiekį (Bhattacharyya ir kt., 2008), pagerinti dirvožemio agregaciją (Martinez ir kt., 2008; Pagliai ir kt., 2004) ir padidinti bendrą poringumą (Bhattacharyya ir kt., 2006). Minimalus žemės dirbimas išpopuliarėjo visame pasaulyje dėl sumažėjusio iškastinio kuro suvartojimo ir padidėjusio organinės anglies kiekio dirvožemyje, pagerėjusios dirvožemio struktūros bei vandens įsiskverbimo, o tai gali didinti ūkių tvarumą ir ilgainiui optimizuoti produktyvumą. Tačiau arimo nebuvimas gali padidinti viršutinio dirvožemio sluoksnio sutankėjimą, ypač molinguose ir mažai organinių medžiagų turinčiuose dirvožemiuose (Martins ir kt., 2021). Dirvožemio porų dydžio pasiskirstymą įtakoja tokie veiksniai kaip šaknų aktyvumas, drėkinimo-džiūvimo ciklai, biotinė ir antropogeninė veikla, pastaroji daugiausia susijusi su žemės dirbimo sistemomis (Bronick ir Lal, 2005; Pagenkemper ir kt., 2013). Be to, tausojantys žemės dirbimo būdai gali išlaikyti dirvožemio derlingumą, produktyvumą, sumažinti darbo jėgos poreikį, padidinti pelningumą, energijos vartojimo efektyvumą ir sumažinti ŠESD emisijas (Kundu ir kt., 2024). Dirvožemio tankinimas neigiamai veikia sliėkų veiklą, kuri atlieka pagrindinį vaidmenį palaikant dirvožemio struktūrą ir didinant dirvožemio organinių medžiagų kiekį. Didelio tūrinio tankio dirvožemiai gali apriboti mikrobu, įskaitant grybus ir aerobines bakterijas, veiklą. Tuo pačiu metu augalų liekanos, susijusios su sumažinta žemės dirbimo praktika, gali padidinti dirvožemio organinės anglies kiekį ir sumažinti degradacijos procesą (Alskaf ir kt., 2021). Lietuvoje ir užsienio šalyse pagal atliktus tyrimus buvo nustatyta, kad taikant minimalaus žemės dirbimo sistemą (neariminę), dirvožemio fizikinės savybės iš esmės nepakinta ir gaunamas panašus augalų derlius, kaip ir taikant tradicinį žemės apdirbimo sistemą (Čiuberkis ir kt., 2008).

Šio darbo tikslas – palyginti gilaus ir minimalaus žemės dirbimo technologijų poveikį pagrindinėms dirvožemio fizikinėms savybėms, įvertinti dirvožemio kvėpavimo intensyvumą bei nustatyti šių technologijų eksploatacinius ir energetinius rodiklius.

Tyrimų metodika

Tyrimas atliktas Kaišiadorių rajono savivaldybės Paparčių seniūnijoje (54°53'19.6 "N; 24° 44'01.5"E). Dirvožemio tipas – priemolis. Eksperimentinis tyrimas atliktas taikant tris skirtingas žemės dirbimo technologijas:

1. Gilus arimas, 20–25 cm gyliu (kontrolinis) (ARIMAS);
2. Seklus žemės dirbimas diskiniu skutiku 10–12 cm gylyje (NORAGINIS SKUTIMAS);
3. Gilus žemės dirbimas noraginiu skutiku 20–25 cm gyliu (DISKINIS SKUTIMAS).

Žemės dirbimas atliktas „Massey Ferguson 8727S“ traktoriumi, prie kurio buvo prikabinami padargai: plūgas, diskinis ir noraginis skutikai. Traktoriaus važiavimo greitis buvo pastovus – 10 km h⁻¹. Tyrimo metu vertinta skirtingų technologijų įtaka dirvožemio fizikinėms ir mechaninėms savybėms bei CO₂ emisijoms. Eksperimentiniai laukeliai išdėstyti atsitiktine tvarka.

Dirvožemio mėginiai bendrojo ir aeracinio poringumo nustatymui buvo imami rankiniu būdu ir pasveriami kartu su biukseliu. Biukseliai be dangtelių dedami į iki 105 °C įkaitintą džiovavimo spintą. Dirvožemio mėginiai išdžiūvus iki pastovios masės, biukseliai uždengiami ir ataušinami iki laboratorijos temperatūros. Dirvožemio kietosios fazės tankis nustatytas vakuuminiu oro piknometru, į kurį matavimui buvo dedami išdžiovinti dirvožemio mėginiai. Prieš matavimus atliekamas vakuuminio oro piknometro kalibravimas. Pagal gautus duomenis bendras poringumas P_b , apskaičiuojamas pagal formulę:

$$P_b = \left(1 - \frac{\rho_d}{\rho_{k.f.}}\right) \cdot 100, \quad (1)$$

čia ρ_d – dirvos tankis, g cm⁻³;
 $\rho_{k.f.}$ – dirvos kietosios fazės tankis, g cm⁻³.

Aeracinis poringumas $P_{aer.}$ apskaičiuojamas pagal formulę:

$$P_{aer.} = P_b(w \cdot \rho_d), \quad (2)$$

čia w – dirvos drėgnis, %.

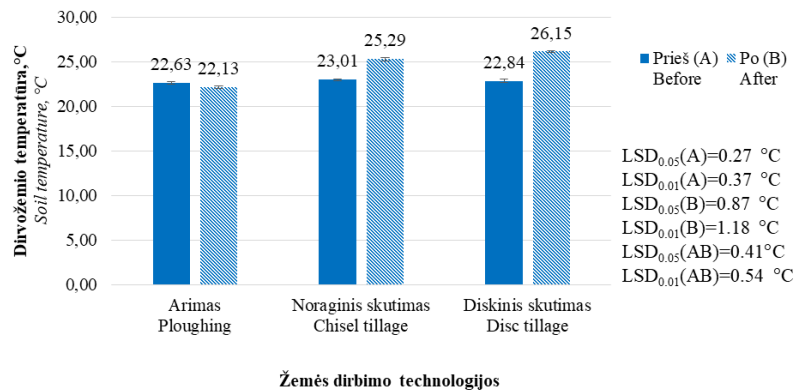
Dirvožemio temperatūrai matuoti naudotas WET jutiklis (Delta-T HH2, Delta-T Devices Ltd, United Kingdom). Matavimai atlikti prieš dirvos dirbimą ir iš karto po jo. CO₂ emisijos iš dirvožemio (μmol m⁻² s⁻¹) buvo nustatytos IRGA (infraraudonųjų spindulių dujų analizatoriaus) metodu. Naudota nešiojama dirvožemio kvėpavimo sistema LI-8100A su 8100–103 kamera. Kiekviename eksperimento variante, likus parai iki matavimo, buvo įsmeigti 20 cm skersmens žiedai, ant kurių buvo uždedamas matavimo zondas. Iš žiedų vidaus buvo pašalinta visa augmenija, kad nedarytų įtakos dirvožemio CO₂ emisijoms. CO₂ emisijos iš dirvožemio buvo matuojamos tarp 11–14 valandos. Po dirvos dirbimo matavimai buvo atliekami iš karto po traktoriaus pravažiavimo, matavimo kamerą uždedant ant žiedo išdirbtos dirvos paviršiuje. Išmatuoti duomenys iš analizatoriaus perkelti į personalinį kompiuterį.

Žemės ūkio technologinių operacijų eksploataciniai rodikliai (našumas, ha h⁻¹; darbo laikas, h ha⁻¹) buvo apskaičiuoti remiantis faktiniais darbo parametrais: agregato galia, padargo darbiniu plotu, nuvažiuotu atstumu ir darbo trukme (Calcante ir kt., 2019).

Duomenų statistinė analizė. Visi eksperimentiniai duomenys buvo apdoroti taikant vieno ir dviejų faktorių dispersinę analizę (ANOVA), naudojant statistinės programinės įrangos paketą SYSTAT (10 versija). Skirtumų tarp bandymo variantų reikšmingumas buvo įvertintas mažiausio reikšmingo skirtumo (LSD) testu. Statistiškai reikšmingi skirtumai nustatyti, kai $p \leq 0,05$ (95 % patikimumo lygmuo), $p \leq 0,01$ (99 % patikimumo lygmuo) ir $p \leq 0,001$.

Rezultatai ir aptarimas

Išmatuota dirvožemio temperatūra prieš ir po skirtingų žemės dirbimo technologijų (1 pav.). Prieš žemės dirbimą dirvožemio temperatūra varijavo nuo 22,63 °C arimo variante iki 23,01 °C taikant noraginio skutimo technologiją. Tarp kontrolinio ir noraginio skutimo variantų nustatyti esminiai skirtumai esant 99 % tikimybės lygiui. Po žemės dirbimo kontroliniame variante buvo nustatyta žemiausia dirvos temperatūra – 22,13 °C. Taikant noraginio ir diskinio skutimo technologijas po žemės dirbimo temperatūra buvo atitinkamai 25,29 °C ir 26,15 °C. Abiejų technologijų dirvožemio temperatūra esmingai skyrėsi nuo kontrolinio varianto esant 99 % tikimybės lygiui.

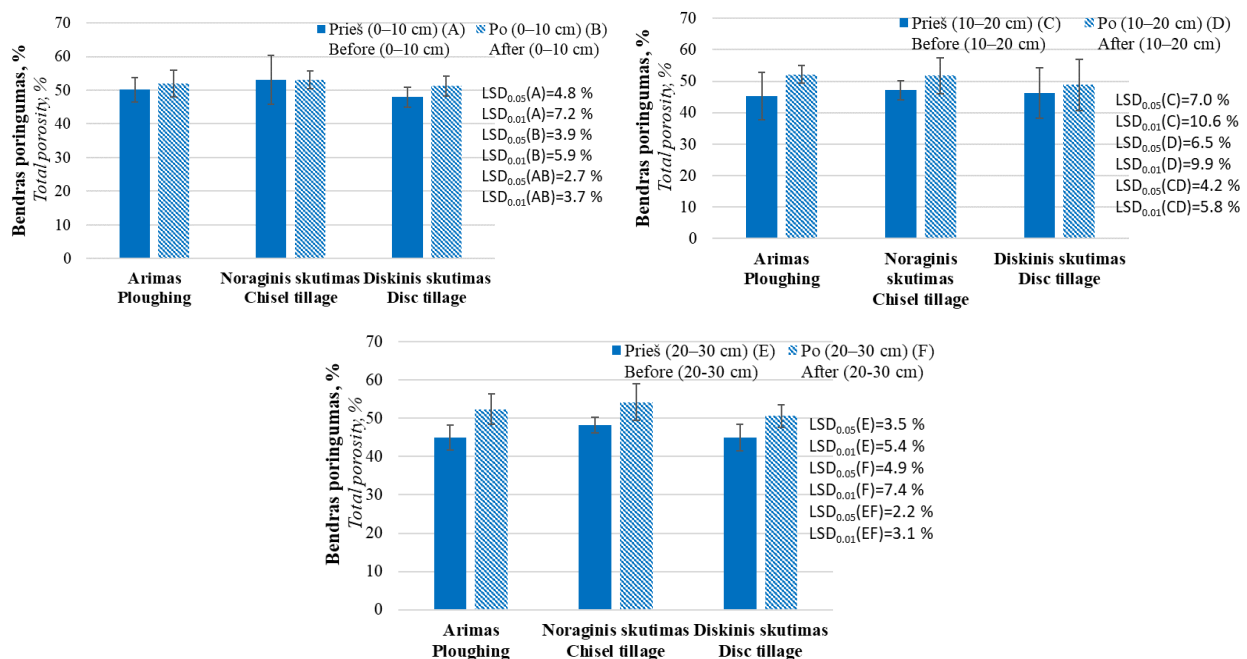


1 pav. Dirvožemio temperatūra taikant skirtingas žemės dirbimo technologijas

Fig. 1. Soil temperature under different tillage technologies

Po žemės dirbimo nustatyta, kad ariminė žemės dirbimo technologija sumažino dirvožemio temperatūrą iki $22 \pm 0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. To priežastis gali būti dirvožemio sluoksnių apvertimas. Šis pokytis yra esminis esant 95 % tikimybės lygiui. Noraginio ir diskinio žemės dirbimo metu buvo nustatytas dirvožemio temperatūros padidėjimas (atitinkamai $25 \pm 0,2$ ir $26 \pm 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$). Tiek noraginis skutimas, tiek diskinis skutimas dirvožemio temperatūrą pakeitė esminiai, kai $p < 0,01$. Dirvožemio temperatūra didėja dėl seklaus žemės dirbimo, kai maišomi dirvožemio sluoksniai.

Dirvos bendrasis poringumas pateiktas 2 pav.

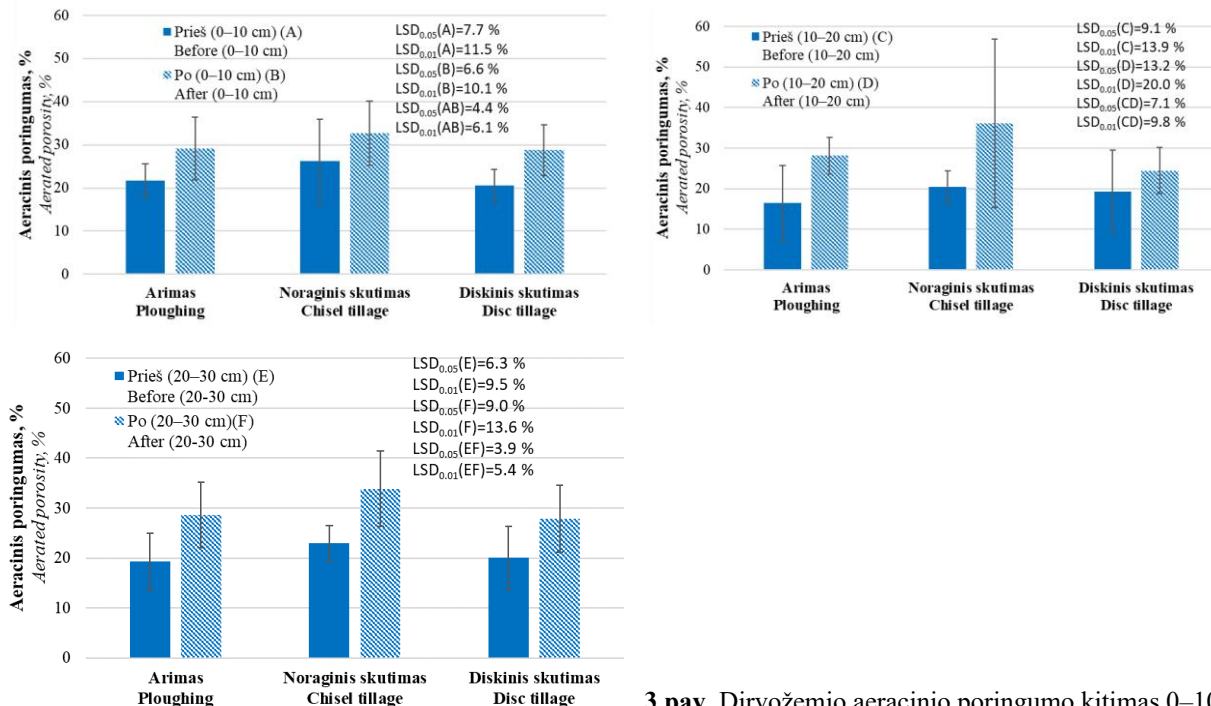


2 pav. Dirvožemio bendro poringumo kitimas 0–10 cm, 10–20 cm ir 20–30 cm dirvožemio sluoksniuose taikant skirtingas žemės dirbimo technologijas

Fig. 2. Changes in total soil porosity at depths of 0–10 cm, 10–20 cm, and 20–30 cm under different tillage technologies

Prieš arimą didžiausias bendrasis poringumas nustatytas 0–10 cm gylyje ($50 \pm 3,6\%$), o po arimo didžiausia vertė gauta 10–20 cm gylyje ($52,1 \pm 2,8\%$). Taikant noraginį skutimą didžiausios vertės nustatytos atitinkamai $48,3 \pm 2\%$ (20–30 cm) prieš dirbimą ir $53,1 \pm 2,6\%$ (0–10 cm) po dirbimo, o diskinio skutimo atveju – $48 \pm 3\%$ ir $51,3 \pm 3\%$ 0–10 cm gylyje. Nustatyta, kad tiek noraginis skutimas, tiek arimas bendrąjį dirvožemio poringumą keičia statistiškai reikšmingai ($p < 0,01$), o diskinio skutimo poveikis buvo reikšmingas esant 95 % tikimybės lygiui ($p < 0,05$). Gauti duomenys rodo, kad arimas keičia bendrąjį dirvožemio poringumą visame ariamajame sluoksnyje – poringesnis sluoksnis permaišomas ir perkeliamas į gilesnius dirvos sluoksnius. Nors arimas greitai ir efektyviai padidina dirvos purumą, jis taip pat gali pagreitinoti dirvožemio struktūros irimą ir didinti drėgmės nuostolius. Tiek noraginis ir diskinis skutimas daugiausia veikia

paviršiniį dirvožemio sluoksnį, todėl poringumas kinta tik viršutiniuose sluoksniuose, o gilesniuose – išsaugoma natūrali dirvožemio struktūra ir stabilesnės drėgmės sąlygos.



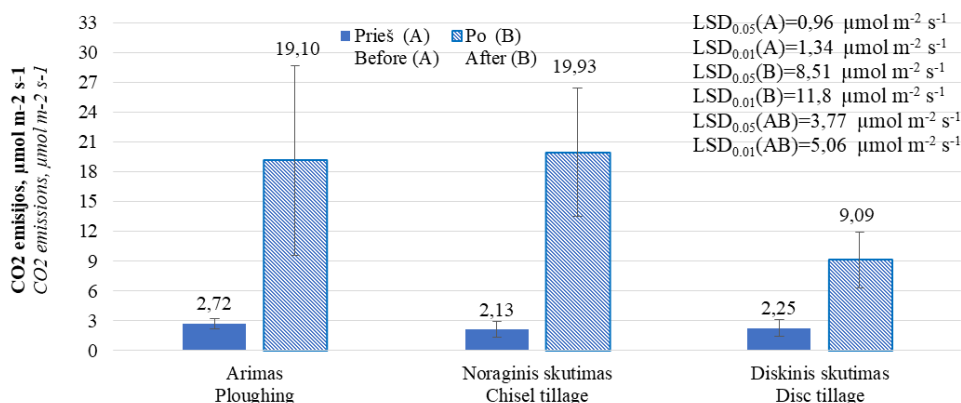
3 pav. Dirvožemio aeracinio poringumo kitimas 0–10 cm,

10–20 cm ir 20–30 cm dirvožemio sluoksniuose taikant skirtingas žemės dirbimo technologijas

Fig. 3. Changes in soil aeration porosity at depths of 0–10 cm, 10–20 cm, and 20–30 cm using different tillage technologies

Vertinant dirvožemio aeracinio poringumo kitimą skirtinguose sluoksniuose (3 pav.), didžiausios vertės nustatytos prieš arimą 0–10 cm gylyje ($22 \pm 3,8$ %), o po arimo – 10–20 cm gylyje ($28 \pm 4,5$ %). Noraginio skutimo metu atitinkamai 20–30 cm gylyje ($23 \pm 3,5$ %) ir 0–10 cm gylyje ($33 \pm 7,4$ %), o diskinio skutimo 0–10 cm gylyje ($21 \pm 3,8$ %) ir 10–20 cm gylyje ($24 \pm 5,6$ %). Gauti duomenys rodo, kad skirtingos žemės dirbimo technologijos ne vienodai veikia aeracinį poringumą. Viršutinio dirvožemio sluoksnio aeraciniam poringumui didžiausią poveikį turėjo noraginis skutimas.

Didžiausios CO₂ emisijos iš dirvožemio prieš žemės dirbimą buvo nustatytos arimo variante – $2,72 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$, o mažiausios – diskinio skutimo variante ir buvo $2,13 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$ (4 pav.).



4 pav. Dirvožemio CO₂ emisijos taikant skirtingas žemės dirbimo technologijas

Fig. 4. CO₂ emissions from soil under different tillage technologies

Prieš dirvos dirbimą tarp tirtų variantų esminių skirtumų nebuvo nustatyta. Po žemės dirbimo CO₂ emisijos iš dirvožemio pakito esmingai visuose tirtuose variantuose. Mažiausios CO₂ emisijos buvo nustatytos variante, kuriame buvo naudotas noraginis skutikas ($9,09 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$). Po žemės dirbimo esminiai skirtumai buvo nustatyti tarp diskinio ir noraginio skutimo variantų. Tausojamosios žemės dirbimo technologijos gali būti veiksminga priemonė mažinant anglies dioksido emisijas, nes bendras CO₂ kiekis gali sumažėti iki 56 %, palyginti su įprastiniu žemės dirbimu (Cillis ir kt. 2018).

1 lentelė. Tirtų žemės dirbimo technologijų eksploataciniai ir energetiniai rodikliai**Table 1. Operational and energy indicators of tillage technologies**

Technologinė operacija <i>Technological operation</i>	Agregatų galia, kW <i>Implement power, kW</i>	Darbinis plotis, m <i>Working width, m</i>	Našumas, ha h⁻¹ <i>Field capacity, ha h⁻¹</i>	Darbo laikas, h ha⁻¹ <i>Working time, h ha⁻¹</i>	Degalų sąnaudos, l ha⁻¹ <i>Fuel consumption, l ha⁻¹</i>
Arimas <i>Ploughing</i>	206	2,5	1,99	0,50	18
Diskinis skutimas <i>Disc tillage</i>	206	5,0	4,58	0,22	5
Noraginis skutimas <i>Chisel tillage</i>	206	3,5	2,15	0,47	14

Naudoto traktoriaus galia, atliekant skirtingas technologines operacijas, buvo 206 kW. Darbo našumas ir degalų sąnaudos priklausė nuo naudojamo padargo tipo ir jo darbinio pločio. Iš pateiktų duomenų matyti, kad diskinis skutimas užtikrino didžiausią našumą (4,58 ha h⁻¹), o vienam hektarui įdirbti reikėjo 0,22 h. Taikant šią technologiją degalų sąnaudos siekia 5 l ha⁻¹. Arimo metu darbinis plotis siekė tik 2,5 m, todėl našumas sumažėjo iki 1,99 ha h⁻¹. Atitinkamai darbo laikas padidėjo iki 0,50 h, o degalų sąnaudos išaugo iki 18 l ha⁻¹. Taikant noraginį skutimą nustatyti tarpiniai rodikliai tarp diskinio skutimo ir arimo: darbinis plotis – 3,5 m, našumas – 2,15 ha h⁻¹. Šiuo atveju degalų sąnaudos sudarė 14 l ha⁻¹, o darbo laikas – 0,47 h ha⁻¹.

Išvados

1. Arimo technologija sumažino dirvožemio temperatūrą iki $22 \pm 0,2$ °C. Noraginio ir diskinio skutimo metu buvo nustatytas esminis dirvožemio temperatūros padidėjimas (atitinkamai $25 \pm 0,2$ ir $26 \pm 0,1$ °C).
2. Didžiausią įtaką dirvožemio fizikinėms savybėms turėjo arimo technologija – nustatytas žymus dirvožemio drėgmės sumažėjimas (17 %). Aeracinis poringumas didėjo gilesniuose sluoksniuose – prieš žemės dirbimą 0–10 cm gylyje ($22 \pm 3,8$ %), o po – 10–20 cm gylyje ($28 \pm 4,5$ %).
3. Seklus žemės dirbimas daugiausia įtakos turėjo dirvožemio viršutiniam sluoksniui (0–10 cm). Taikant šias technologijas galima padidinti bendrąjį ir aeracinį dirvožemio poringumą viršutiniame sluoksnyje. Taip pat nustatytas mažesnis dirvožemio suardymas ir geriau išsaugoma dirvožemio drėgmė.
4. Mažiausios CO₂ emisijos nustatytos variante, kuriame naudotas noraginis skutikas ($9,09 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$).
5. Įvertinus žemės dirbimo technologijų energetinius rodiklius nustatyta, kad mažiausios degalų sąnaudos nustatytos taikant diskinio skutimo technologiją.

Literatūra

1. Alskaf, K., Mooney, S. J., Sparkes, D. L., Wilson, P., & Sjögersten, S. (2021). Short-term impacts of different tillage practices and plant residue retention on soil physical properties and greenhouse gas emissions. *Soil and Tillage Research*, 206, 104803.
2. Bhattacharyya, R., Kundu, S., Pandey, S. C., Singh, K. P., & Gupta, H. S. (2008). Tillage and irrigation effects on crop yields and soil properties under rice-wheat system of the Indian Himalayas. *Agriculture Water Management*, 95, 993–1002. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.03.007>
3. Bhattacharyya, R., Ved-Prakash, R. B., Kundu, S., & Gupta, H. S. (2006). Effects of tillage and crop rotations on pore size distribution and soil hydraulic conductivity in sandy clay loam soil of the Indian Himalayas. *Soil and Tillage Research*, 86, 129–140. <https://doi.org/10.1016/j.still.2005.02.018>
4. Calcante, A., & Oberti, R. (2019). A technical-economic comparison between conventional tillage and conservative techniques in paddy-rice production practice in northern Italy. *Agronomy*, 9(12), 886.
5. Chenu, C., Le Bissonnais, Y., & Arrouays, D. (2000). Organic matter influence on clay wettability and soil aggregate stability. *Soil Science Society of America Journal*, 64, 1479–1486. <https://doi.org/10.2136/sssaj2000.6441479x>.
6. Cillis D., Maestrini B., Pezzuolo A., Marinello F., Sartori L. (2018). Modeling soil organic carbon and carbon dioxide emissions in different tillage systems supported by precision agriculture technologies under current climatic conditions. *Soil and Tillage Research*, 183, p. 51–59.
7. Čiuberkis, S., Ožeraitienė, D., Bernotas, S., & Ambrazaitienė, D. (2008). Dirvožemio savybių pokyčiai taikant tradicinę ir supaprastinto rudeninio žemės dirbimo sistemas. *Žemdirbystė*, 95(2), 16–28.

8. Kundu, A., Kundu, C. K., Dey, P., Rana, S., Majumder, J., Bera, A., ... & Saraswat, A. (2024). Dirvožemio dangos ir žemės dirbimo režimų valdymas kalnų ryžių ir saldžiųjų kukurūzų sistemose, siekiant geresnio sistemos veikimo, energijos naudojimo ir anglies pėdsakų. *Heliyon*, 10 (4).
9. Lamandé, M., Munkholm, L. J., Børresen, T. (2023). Soil tillage. *Encyclopedia of Soils in the Environment (Second Edition)*, Academic Press, 433–438 p.
10. Marinari, S., Masciandar, G., Ceccanti, B., & Grego, S. (2000). Influence of organic and mineral fertilizers on soil biological and physical properties. *Bioresource Technology*, 72, 9–17. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(99\)00094-2](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(99)00094-2)
11. Martinez, E., Fuentes, J. P., Silva, P., Valle, S., & Acevedo, E. (2008). Soil physical properties and wheat root growth as affected by no-tillage and conventional tillage system in a Mediterranean environment of Chile. *Soil & Tillage Research*, 99, 232–244. <https://doi.org/10.1016/j.still.2008.02.001>
12. Martins, R. N., Portes, M. F., e Moraes, H. M. F., Junior, M. R. F., Rosas, J. T. F., & Junior, W. D. A. O. (2021). Influence of tillage systems on soil physical properties, spectral response and yield of the bean crop. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 22, 100517.
13. Musafiri, C. M., Kiboi, M., Macharia, J., Ng'etich, O. K., Okoti, M., Mulianga, B., ... & Ngetich, F. K. (2022). Does the adoption of minimum tillage improve sorghum yield among smallholders in Kenya? A counterfactual analysis. *Soil and Tillage Research*, 223, 105473.
14. Pagenkemper, S. K., Peth, S., Puschmann, D. U., & Horn, R. (2013). Effects of root-induced biopores on pore space architecture investigated with industrial X-ray computed tomography. In S. H. Anderson & J. W. Hopmans (Eds.), *Soil–water–root processes: Advances in tomography and imaging, SSSA special publication* (pp. 69–96). Soil Science Society of America. <https://doi.org/10.2136/sssaspecpub61.c4>
15. Pagliai, M., Vignozzi, N., & Pellegrini, S. (2004). Soil structure and the effect of management practices. *Soil & Tillage Research*, 79, 131–143. <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.07.002>
16. Šarauskis, E., Butkus, V., Sakalauskas, A., Vaitauskienė, K., Vaiciukevičius, E. & Taparauskienė, L. (2015). *Juostinio žemės dirbimo ir sėjos eksperimentinės mašinos technologinių parametų pagrindimas ir energetinis įvertinimas*. Akademija. Prieiga per internetą: https://zum.lrv.lt/uploads/zum/documents/files/LT_versija/Veiklos_sritys/Mokslas_mokymas_ir_konsultavimas/Moksliniu_tyrimu_ir_taikomosios_veiklos_darbu_galutines_ataskaitos/Juostinis%20dirbimas%201.pdf
17. *SPSS Instant 10*. Statistics I, BM: Armonk, NY, USA, 2000; p. 663.
18. *Tvari žemdirbystė ir dirvožemio apsauga*, 2009. <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/projects/SOCO/FactSheets/LT%20Fact%20Sheet.pdf>

Lukas Kmelnickas, Simas Sokas, Egidijus Šarauskis, Sidona Buragienė

The Impact of Traditional and Minimal Tillage on Soil and the Environment

Vytautas Magnus University, Lithuania

Tillage is one of the key agricultural practices affecting crop establishment, growth, yield and quality. At the same time, tillage is also one of the most expensive and energy-intensive agrotechnological processes in crop production. To mitigate environmental impacts and comply with increasingly stringent environmental regulations, the agricultural sector is seeking ways to reduce rising energy costs. Recently, there has been growing interest in minimum tillage in Lithuania, and research analyzing alternative technologies to conventional tillage systems is relevant. The study was conducted in Paparčiai eldership, Kaišiadorys district municipality, Lithuania. Three different tillage technologies were analyzed: conventional ploughing, shallow disc tillage, and deep chisel tillage. The physical properties of the soil (temperature, total and aeration porosity) and CO₂ emissions were measured before and after tillage. After tillage, significant differences in total porosity were observed only at the 20–30 cm depth. The lowest soil respiration was recorded in the disc tillage treatment. The technologies were also evaluated in terms of operational and energy indicators.

Keywords: Tillage technologies, soil physical properties, CO₂ emissions, energy indicators.

Gauta 2026 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2026 m. balandžio mėn.

Lukas KMELNICKAS. 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. +370 602 47543, el. paštas: lukas.kmelnickas@vdu.lt

Lukas KMELNICKAS. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, assoc. prof. Address: Studentų g. 15a, LT-53362, Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 602 47543, e-mail: lukas.kmelnickas @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

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 37 752357, 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

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

KOMBAINO KŪLIMO BŪGNO GUOLIŲ BŪKLĖS ĮVERTINIMAS VIBROANALIZĖS METODU

Almantas Bernotas, Eglė Jotautienė

Vytauto Didžiojo universitetas

Javų kombaino kūlimo aparatas yra vienas svarbiausių kombaino mazgų, nuo kurio patikimo veikimo priklauso kūlimo proceso kokybė, grūdų nuostoliai ir viso kombaino darbo efektyvumas. Staigūs guolių gedimai javapjūtės metu gali sukelti didelius ekonominius nuostolius, todėl ankstyva jų diagnostika yra ypač svarbi. Darbo tikslas – įvertinti derliaus nuėmimo kombaino kūlimo būgno riedėjimo guolių naudojimo tinkamumą, taikant vibroanalizės metodą. Tyrimų objektu pasirinktas „Rostselmash“ firmos tangentinis kūlimo būgnas. Eksperimentiniai tyrimai atlikti naudojant SKF Microlog GX serijos nešiojamą virpesių analizatorių su akselerometru. Virpesių matavimai vykdyti skirtinguose kūlimo būgno sukimosi režimuose – 600, 800 ir 1000 aps./min, dvejose guolio vietose: prie skriemulio ir priešingoje pusėje. Apskaičiuoti teoriniai guolio defektiniai dažniai (BPFO, BPFI, BSF, FTF). Tyrimo rezultatai parodė, kad prie skriemulio pusėje fiksuojamos didesnės virpesių amplitudės ir aiškiai išreikšti defektiniai dažniai, atitinkantys išorinio žiedo ir riedėjimo elementų pažeidimus. Priešingoje guolio pusėje virpesių lygis buvo mažesnis, o spektrai tolygesni, kas rodo asimetrišką apkrovos pasiskirstymą ir lokalizuotą guolio nusidėvėjimą. Atliktas tyrimas patvirtino, kad vibroanalizės metodas yra tinkamas ir efektyvus kūlimo būgno riedėjimo guolių techninei būklei vertinti neardant mazgo. Gauti rezultatai gali būti pritaikomi praktinėje žemės ūkio technikos patikimumo bei saugaus naudojimo.

Raktiniai žodžiai: javų kombainas, riedėjimo guoliai, vibroanalizė, defektiniai dažniai.

Įvadas

Javapjūtės ir derliaus nuėmimo efektyvumas tiesiogiai priklauso nuo patikimo kombaino darbo ir jo technologinių parametrų stabilumo. Šiuolaikiniai tyrimai pabrėžia, kad javų kombainas yra sudėtinga mechatroninė sistema, kurioje sąveikauja daugybė tarpusavyje susijusių mechaninių, dinaminų ir technologinių kintamųjų (Li et al., 2021; Zhao et al., 2023). Kūlimo proceso eigai reikšmingą įtaką daro nuimamų augalų veislės savybės, jų biometriniai rodikliai, grūdų fizikinės-mechaninės charakteristikos bei kūlimo aparato konstrukciniai sprendimai. Dėl šios priežasties kūlimo sistemos darbo analizė vis dažniau grindžiama kompleksiniu sisteminiu požiūriu.

Kiekvienas kombaino darbinis mazgas generuoja vibroakustinius signalus, kuriuos sukelia konstrukciniai netobulumai, trintis judančiose porose, besisukančių elementų disbalansas ar defektiniai smūginiai reiškiniai. Pastaraisiais metais plačiai taikoma vibracinė diagnostika, leidžianti anksti identifikuoti mechanizmų būklės pokyčius. Vibracijų signalai registruojami akselerometrais, o jų analizė atliekama taikant laiko–dažnio, spektrinius bei dirbtinio intelekto metodus (Jiang et al., 2020; Rai & Mohanty, 2022). Tokiu būdu galima patikimai įvertinti įrenginio ar atskiro mazgo techninę būklę ir prognozuoti galimus gedimus.

Riedėjimo guoliai yra vieni kritiškiausių rotacinių mechanizmų elementų, todėl jų būklės stebėseną išlieka prioritetinė diagnostikos kryptis. Staigūs guolių gedimai gali sukelti reikšmingus ekonominius nuostolius bei neplanuotus technologinių linijų sustojimus. Tyrimai rodo, kad pažeistas guolis dažnai inicijuoja rotoriaus ekscentricitetą ir gali sukelti visos mašinos gedimus. Dėl to ankstyvoji guolių defektų diagnostika, ypač taikant vibracinių signalų analizę ir mašininių mokymąsi, yra intensyviai plėtojama (Hoang & Kang, 2019; Rai & Mohanty, 2022).

Kombaino kūlimo aparato darbo kokybė glaudžiai susijusi su būgno sukimosi dažnio stabilumu. Sukimosi dažnio svyravimus gali lemti nepakankamas variklio galios rezervas arba netolygus augalų srauto padavimas į kūlimo aparatą. Naujausi tyrimai rodo, kad javų srauto tolygumą reikšmingai veikia derlingumo variacija lauke, pjovimo aukščio pokyčiai bei pjaunamosios ir nuožulniojo transporterio konstrukciniai parametrai (Li et al., 2021). Šie veiksniai keičia augalų masės judėjimo greitį per būgno paviršių, spragilų ir augalų sąveikos intensyvumą, grūdų atsiskyrimo per pobūgnį efektyvumą ir bendruosius kūlimo kokybės rodiklius.

Mechaninių virpesių sklaidimas nuo šaltinio iki matavimo taškų šiuolaikiniuose tyrimuose analizuojamas taikant analitinius modelius, eksperimentinius bandymus ir skaitmenines simuliacijas. Tokie metodai leidžia giliau suprasti technologinių įrenginių darbo procesus, optimizuoti jų darbo parametrus ir tobulinti konstrukcinius sprendimus. Integruojant vibrodiagnostiką su pažangiais duomenų apdorojimo metodais galima tiksliau vertinti kombainų kūlimo būgnų dinamiką ir didinti derliaus nuėmimo proceso patikimumą. Šio tyrimo tikslas – įvertinti derliaus nuėmimo kombainų kūlimo būgno riedėjimo guolių naudojimo tinkamumą jo neišardžius.

Tyrimų metodika

Tyrimų objektu pasirinktas tangentinis javų kombainų „Rostselmash“ firmos kūlimo mechanizmas. Šios firmos kombainų kūlimo būgne naudojami guoliai montuojami plačiai „Rostselmash“ kombainų, pradedant nuo pačių pirmųjų ir iki šiuo metu serijinėje gamyboje esančių modelių.

Matavimo vieta buvo parinkta L1 esanti kūlimo būgno veleno galuose kur sumontuoti kūlimo būgno guoliai. Akselerometro matavimo vieta L1 kūlimo būgno guolis prie skriemulio pateikta 1 pav.

„SKF Microlog GX“ serijos virpesių analizatorius matavimams naudoja standartinį išorinį akselerometrą su magnetiniu pagrindu. Jis yra sukurtas technikams, inžinieriams ir konsultantams, kuriems reikia analizuoti rotacines mašinas bei jų mazgus. Šis jutiklis suteikia galimybę atlikti bendrus virpesių matavimus, dviejų dažnių spektro diapazone. Prietaisas sukurtas pagal ISO 10.816-3 standarto keliamus virpesių tikrinimo reikalavimus, šios taisyklės apima sekančius svarbiausius mašinų gedimo identifikavimo rodiklius: disbalansą, laisvumą ir suvedimą. Ankstyva mašinos diagnostika perspėja apie galimą gedimą, apsaugo nuo netikėto ir brangaus mašinos ar jos mazgų sugadinimo. Virpesių diagnostika leidžia patikrinti visos mašinos būklę. Kūlimo būgno riedėjimo guolių virpesių lygio nustatymui naudojamas guolių virpesių analizatorius (2 pav.) Virpesiams matuoti naudojamas standartinis išorinis akselerometras su magnetiniu pagrindu, kuris leidžia atlikti tikslius matavimus.

Matavimai buvo atlikti trimis pakartojimais. Kiekvieno matavimo metu vibracijos signalas buvo registruojamas maždaug 1,6 s laikotarpiu. Tokia signalo registravimo trukmė leidžia užfiksuoti kelias dešimtis rotacijos ciklų, todėl gautas duomenų rinkinys laikytinas pakankamu patikimai vibracijų spektrinei analizei atlikti.



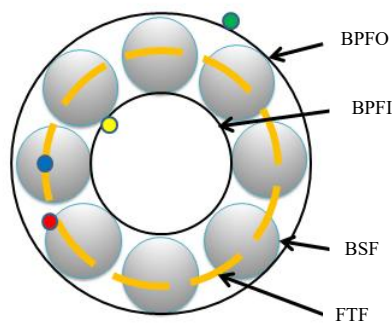
1 pav. Akselerometro matavimo vieta prie skriemulio L1
Fig. 1. Accelerometer measurement location at pulley L1



2 pav. „SKF Microlog GX“ serijos virpesių analizatorius
Šaltinis: SKF Microlog GX Series instrukcija (2015).

Fig. 2. „SKF Microlog GX“ series vibration analyser
Source: SKF Microlog GX Series User manual (2015).

Virpesių matavimo prietaisas naudoja DDS programinę įrangą matavimams atlikti. Pagrindinė DDS programinės įrangos funkcija yra testuojamų mechanizmo dalių šablonų kūrimas. Matavimui sunkiau prieinamose mašinos vietose virpesius galima pamatuoti ir komplekte pridedamo metalinio piršto pagalba. Panaudojus USB kabelį, eksperimentų metu surinktus duomenis galima perkelti į personalinį kompiuterį.



3 pav. Guolių defektiniai dažniai
Fig. 3. Bearing defect frequencies

Šaltinis: sudaryta pagal I. Zaheer (2019).
Source: according to I. Zaheer (2019).

Pilnai analizei atlikti buvo apskaičiuoti guolių pažeidimų dažniai. Tyrimo metu išskiriami tokie guolyje kylančių virpesių dažniai: rutuliuko praėjimo per išorinio žiedo defektą dažnis, BPFO; rutuliuko praėjimo per vidinio žiedo defektą dažnis, BPFI; rutuliuko defektų dažnis, BSF; guolio rutuliuko separatoriaus defekto dažnis, FTF (3 pav.).

Rezultatai ir aptarimas

Pradiniai matavimo parametrai pateikti 1 lentelėje.

1 lentelė. Pradiniai matavimo parametrai

Table 1. Initial measurement parameters

Kūlimo būgno sukimosi greitis (min^{-1}) <i>Threshing drum rotation speed (min^{-1})</i>	Matavimo vieta <i>Measurement location</i>	Guolio sukimosi dažnis (Hz) <i>Bearing rotation frequency (Hz)</i>
600	With pulley L1	10

Apskaičiuoti teoriniai defektų dažniai pateikti 2 lentelėje.

2 lentelė. Apskaičiuoti teoriniai defektų dažniai: rutuliuko praėjimo per išorinio žiedo defektą dažnis (BPFO), rutuliuko praėjimo per vidinio žiedo defektą dažnis (BPFI), rutuliuko defektų dažnis (BSF) ir guolio rutuliuko narverlio defekto dažnis (FTF)

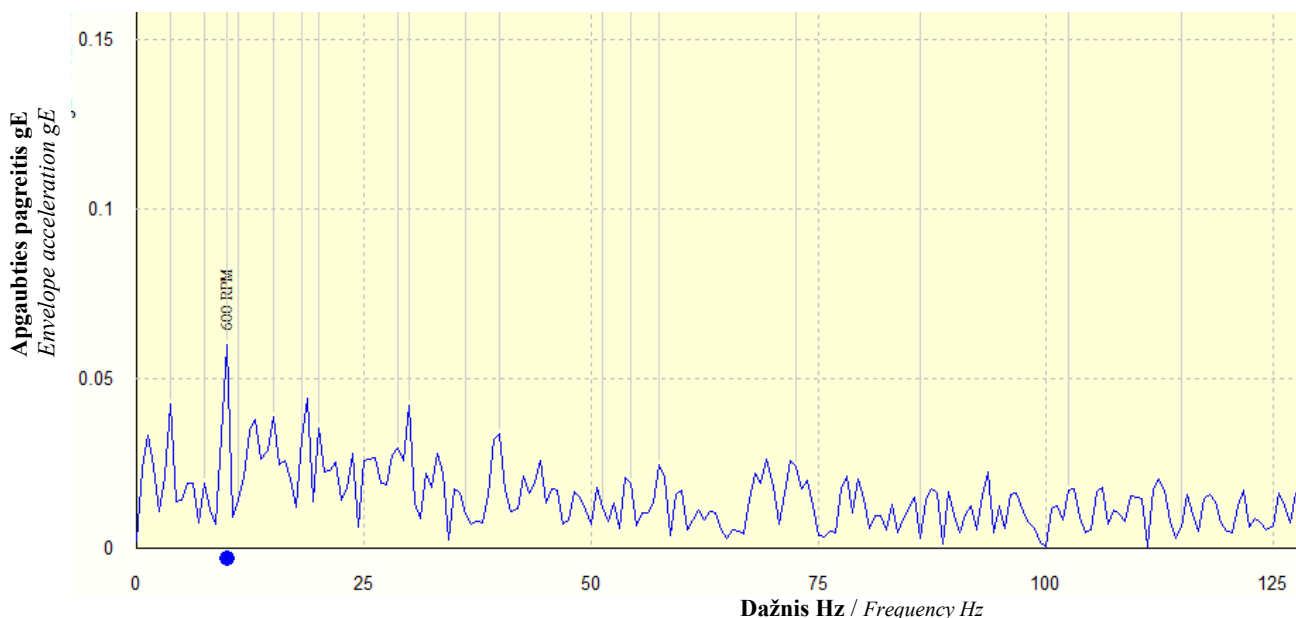
Table 2. Calculated theoretical defect frequencies

Guolio apsisukimai, min^{-1} <i>Bearing rotation, min^{-1}</i>	f_{BPFO} , Hz	f_{BPFI} , Hz	f_{BSF} , Hz	f_{FTF} , Hz
600	29,5	50,6	17,6	3,7

Atlikus pagreičių gaubiančiosios analizę nustatyta, kad L1 matavimo taške riedėjimo guolio lokalinių defektų požymių nenustatyta (4 pav.). Spektre nedominuoja nei BPFO, nei BPFI, nei BSF būdingi dažniai ar moduliacinės šoninės juostos, todėl galima teigti, kad analizuojamu momentu guolio darbinė būklė yra patenkinama.

Nustatyta, kad vibracijos pagreičio amplitudė ženkliai padidėja ties ~ 10 Hz. Toks spektrinis vaizdas rodo, jog vibracijos energija daugiausia siejama su rotacinės kilmės veiksniais, tokiais kaip galimas disbalansas, ekscentricitetas arba diržo ir (ar) skriemulio sukelta radialinė jėga, o ne su pačio guolio pažeidimu.

Žemesnių dažnių srityje stebimas padidėjęs foninis lygis, tačiau neaptikta aiškos harmoninės struktūros, kuri būtų būdinga esantiems riedėjimo guolio defektams. Bendras gaubtinės kreivės lygis ($\sim 1,287$ gE) vertintinas kaip vidutinis ir šiuo metu neindiko kritinės guolio būklės.



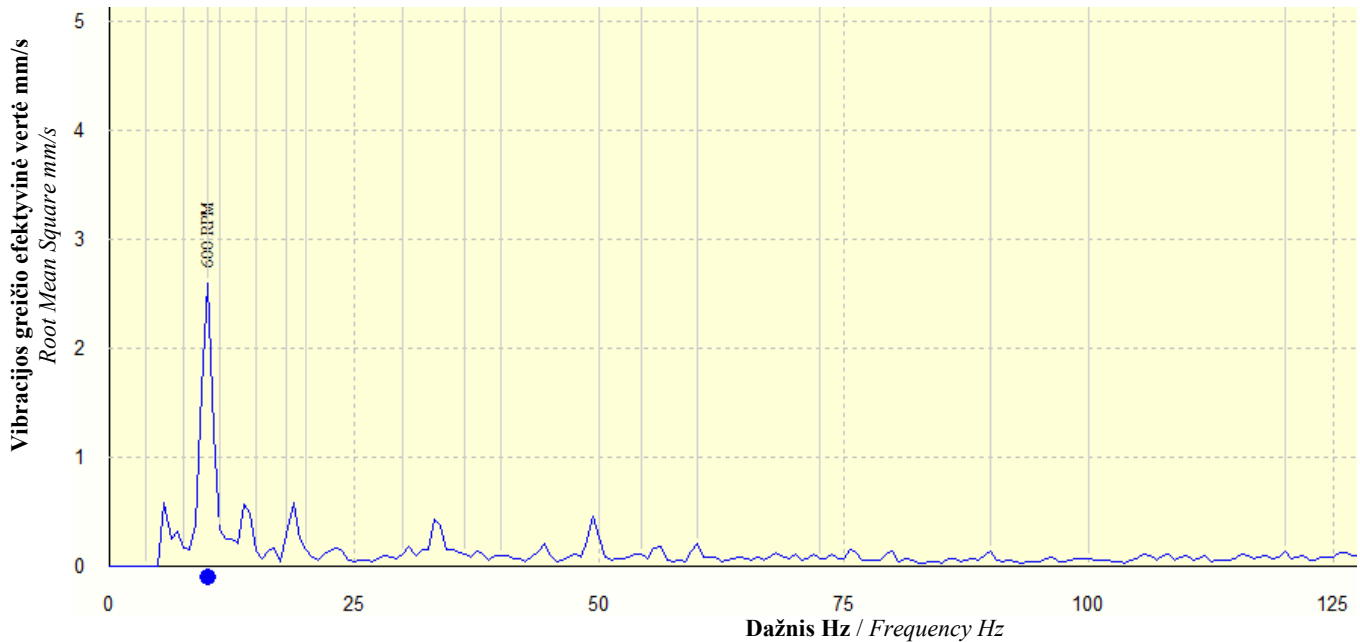
4 pav. Pagreičių gaubiančiosios analizė L1, matavimo taške esant 600 min^{-1}

Fig. 4. Acceleration envelope analysis at the L1 measurement point at 600 rpm

Galima teigti, kad greičio spektre taip pat dominuoja didžiausia amplitudė ~ 10 Hz (5 pav.). Greičių spektre šis komponentas yra ryškiausias ir lemia didžiąją dalį vibracijos energijos, o harmoninių komponentų struktūra nėra išvystyta, todėl nesutapimo ar mechaninio laisvumo požymių nenustatyta. Pagreičių gaubiančiosios spektre, kuris yra jautrus riedėjimo guolio lokaliniams pažeidimams, ties teoriniais defektiniais dažniais (BSF,

BPFO, BPFI) nenustatyta aiškių amplitudžių padidėjimų ar moduliacinių šoninių juostų. Tai leidžia teigti, kad analizuojamu momentu riedėjimo guolio pažeidimo požymių nefiksuoja.

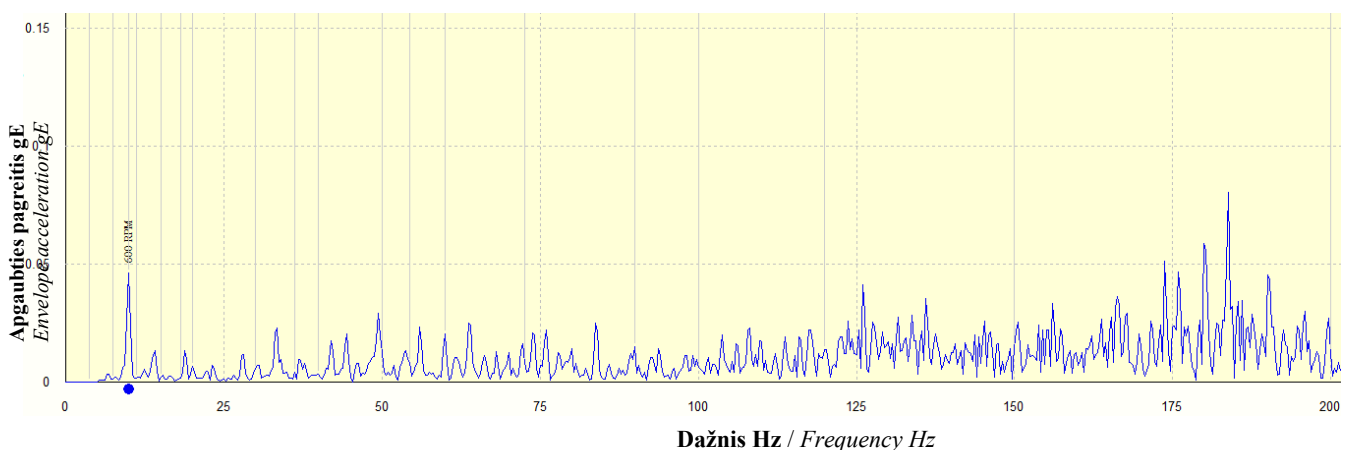
Įvertinus abiejų spektrų visumą, galima daryti išvadą, kad vyraujanti vibracijų kilmė yra rotacinė ir labiau susijusi su skriemulio–diržo sistema, galimu disbalansu ar ekscentricitetu, o ne su guolio defektu. Guolio būklė vertinama kaip patenkinama.



5 pav. Virpesių greičio spektras taške L1, matavimo taške esant 600 min⁻¹

Fig. 5. Vibration velocity spectrum at point L1 measurement point at 600 rpm

Palyginimui pateikiamas pagreičio L1 taške spektras (6 pav.). Pagreičio spektro analizė yra vibracinės diagnostikos metodas, skirtas įvertinti aukštesnių dažnių mechaninius procesus ir ankstyvus įrangos būklės pokyčius. Šis metodas yra jautresnis trumpalaikiams smūginiams reiškiniams ir paviršiniams defektams nei greičio analizė. Spektre matomas ryškus komponentas ties $1 \times$ sukimosi dažniu (~ 10 Hz), kuris rodo vyraujančius rotacinės kilmės sužadinimus. Taip pat stebimas padidėjęs aukštesnių dažnių foninis lygis (ypač ~ 170 – 190 Hz srityje), kuris gali būti susijęs su konstrukciniais rezonansais arba bendru mechaniniu triukšmu. Ties teoriniais riedėjimo guolio defektiniais dažniais (BSF, BPFO, BPFI) aiškių harmoninių paketų ar moduliacinių šoninių juostų nenustatyta. Tai rodo, kad šiame matavimo taške akivaizdžių lokalinių guolio pažeidimų požymių nefiksuoja.



6 pav. Virpesių pagreičių spektras taške L1 matavimo taške prie 600 min⁻¹

Fig. 6. Vibration acceleration spectrum at point L1 measurement point at 600 rpm

Išvados

1. Nustatyta, kad visuose analizuotuose spektruose (greičio, pagreičio ir pagreičio gaubiančiosios) neaptikta tipinių riedėjimo guolio defekto požymių. Vertinant guolius vibracinės diagnostikos metodais, patikimiausias indikatorius yra aiškiai susiformavęs defektiniuose dažniuose (BPFO, BPFI, BSF, FTF),

dažnai lydimas šoninių juostų ir augančio aukštadažnio triukšmo. Analizuojamu atveju tokia struktūra nei viename spektre nepasireiškė.

2. Pagreičio gaubiančiosios analizė, kuri yra jautriausia lokaliniais guolio pažeidimams, neparodė stabilaus defektinio dažnio dominavimo. Tai leidžia teigti, kad guolio riedėjimo takeliuose ar riedėjimo kūnuose šiuo metu nėra susiformavusių lokaliųjų pažeidimų, kurie generuotų periodinius smūgius.
3. Pagreičio spektre nors ir stebimas padidėjęs aukštadažnis fonas, jis neturi diagnostinės struktūros, būdingos guolio gedimams. Toks fonas dažnai atsiranda dėl konstrukcinių rezonansų, apkrovos perdavimo per diržinę pavarą ar bendro mechaninio šiurkštumo, todėl vienas pats nelaikomas guolio defekto įrodymu.
4. Greičio spektre pagrindinė vibracijos energija susijusi su rotaciniais veiksniais (pvz., disbalansu ar skriemulio–diržo įtaka), o ne su guolio vidiniais smūginiais procesais. Jei guolio pažeidimas būtų pažengęs, tikėtina, kad matytume ne tik pagreičio gaubiančiosios kreivės, bet ir platesnį triukšmo padidėjimą pagreičio bei greičio spektruose.
5. Remiantis daugiametodinės vibracinės analizės rezultatais nustatyta, kad greičio, pagreičio ir pagreičio gaubiančiosios analizės metodai pateikia tarpusavyje nuoseklius duomenis, kurie nepatvirtina lokaliųjų riedėjimo guolio pažeidimų. Tai leidžia padidinto patikimumo lygiu teigti, jog vyraujanti vibracijos kilmė yra rotacinė, o galimi guolio degradacijos procesai, jei jie egzistuoja, dar nėra pasiekę diagnostinio jautrumo slenksčio. Tokia spektrinė struktūra pagrindžia tikslingumą prioritetizuoti rotacinės pavaros elementų patikrą ir tėti guolio būklės stebėseną trendiniu režimu.

Literatūra

1. Hoang, D.-T., & Kang, H.-J. (2019). A survey on deep learning based bearing fault diagnosis. *Neurocomputing*, 335, 327–335. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2018.06.078>
2. Jiang, H., Li, X., Shao, H., & Wang, T. (2020). Intelligent fault diagnosis of rotating machinery using deep learning and vibration signals. *Measurement*, 149, 107–119. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.107019>
3. Li, Y., Chen, J., & Xu, L. (2021). Performance analysis and optimization of combine harvester threshing systems. *Biosystems Engineering*, 205, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2021.02.003>
4. Rai, A., & Mohanty, A. R. (2022). Vibration-based condition monitoring of rolling element bearings: A review. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 162, 108–124. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2021.108124>
5. Zhao, Z., Wang, X., & Zhang, H. (2023). Dynamic modelling and parameter optimization of grain combine harvesters. *Computers and Electronics in Agriculture*, 205, 107568. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.107568>
6. Zaheer, I. (2015). *Introduction to Bearing Defect Frequencies*. <https://www.linkedin.com/pulse/introduction-bearing-defect-frequencies-zaheer-irani>
7. SKF USA Inc. 2015 m. *SKF Microlog GX Series instrukcija*. https://cdn.skfmediahub.skf.com/api/public/0901d196803db785/pdf_preview_medium/0901d196803db785_pdf_preview_medium.pdf (žiūrėta 2026-01-10)

Almantas Bernotas, Eglė Jotautienė

Assessment of the Condition of the Combine Thresher Drum Bearings Using the Vibration Analysis Method

Vytautas Magnus University, Lithuania

The threshing apparatus of a grain combine harvester is one of the most important units of the machine, as its reliable operation determines the quality of the threshing process, grain losses, and overall combine efficiency. Sudden bearing failures during harvesting may cause significant economic losses; therefore, early diagnostics are particularly important. The aim of this work was to evaluate the serviceability of rolling bearings in the threshing drum of a combine harvester using vibration analysis. The research object was a Rostselmash tangential rasp-bar threshing drum. Experimental tests were performed using an SKF Microlog GX portable vibration analyzer with an accelerometer. Measurements were carried out at drum rotational speeds of 600, 800, and 1000 min⁻¹ at two bearing locations: near the pulley and on the opposite side. Theoretical bearing defect frequencies (BPFO, BPFI, BSF, FTF) were calculated. The results showed higher vibration amplitudes and pronounced defect frequencies on the pulley side, indicating outer race and rolling element damage. The opposite side exhibited lower and more uniform spectra, suggesting asymmetric load distribution and localized wear. The study confirms vibration analysis as an effective non-destructive method for assessing threshing drum bearing condition.

Keywords: Combine harvester, rolling bearings, vibration analysis, defect frequencies.

Gauta 2026 m. vasario mėn., atiduota spaudai 2026 m. balandžio mėn.

Almantas BERNOTAS. 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. +370 684 09092, el. paštas: almantas.bernotas@stud.vdu.lt

Almantas BERNOTAS. 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: +370 684 09092, e-mail: almantas.bernotas@stud.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 37 752204, el. Pastas: 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 dist. Phone: +370 37 752204, e-mail: egle.jotautiene@vdu.lt

KINTAMO TRĄŠŲ SRAUTO IŠCENTRINĖJE BARSTOMOJOJE ĮTAKOS TRĄŠŲ GRANULIŲ SKLAIDAI TYRIMAI

Rimvydas Janušauskas, Edvardas Vaiciukevičius, Eglė Jotautienė

Vytauto Didžiojo universitetas

Dirvožemiai skiriasi derlingumu, granuliometrine sudėtimi, užaugintų augalų derliumi bei kokybe. Maisto medžiagos dirvožemyje pasiskirsto nevienodai, todėl labai svarbu naudoti kintamos normos trąšų barstomasias reikiamam maisto medžiagų kiekiui augalams augti užtikrinti.

Tyrimais nustatyta, kad sudėtinga paskirstyti trąšas kintama norma atsižvelgiant į maisto medžiagų pasiskirstymą atskiruose lauko ploteliuose skleidžiant trąšas pagal agrotechninius reikalavimus. Mineralinių trąšų skleidimui plačiai naudojamos išcentrinės mineralinių trąšų barstomosios. Tolygiai mineralinių trąšų sklaidai tręšiamame plote turi įtakos ne tik trąšų granulių kokybė, aplinkos sąlygos, bet ir trąšų barstomosios konstrukciniai sprendimai bei nustatymai.

Mineralinių trąšų granulių srauto pokyčio ant sklaidomųjų diskų trąšų barstomosios darbo metu įtakos granulių sklaidai tyrimai buvo atlikti Rimvydo Janušausko ūkio bandyminiuose laukeliuose. Trąšų granulėms skleisti buvo naudotas FEND 936 Vario traktorius su dviejų diskų mineralinių trąšų barstomąją „RAUCH AXIS EMC+W 50.2“. Atliktais tyrimais buvo nustatyta, kad keičiant trąšų skleidimo normą nuo 200 iki 240 kg ha⁻¹, trąšos tolygiai pasiskirsto skersine ir išilgine kryptimi, kai trąšų barstomąja nuvažiuojama apie 20 m, tuomet nusistovi trąšų barstomosios darbo procesas.

Raktiniai žodžiai: trąšų granulės, trąšų srautas, trąšų granulių sklaida.

Įvadas

Augalų tręšimas yra vienas iš svarbiausių veiksnių įtakančių gausų ir kokybišką derlių (Wang ir kt., 2025). Dėl didelio našumo, santykinai mažos kainos, nesudėtingos priežiūros ir eksploatacijos augalams tręšti dažniausiai naudojamos išcentrinės mineralinių trąšų barstomosios. Labai svarbu, kad trąšų granulės būtų tolygiai skleidžiamos dirvos paviršiuje, o augalai aprūpinti reikiamomis maisto medžiagomis.

Siekiant tolygiai skleisti trąšų granules reikia tinkamai parinkti trąšų barstomosios konstrukcinius bei reguliavimų parametrus, atsižvelgiant į trąšų granulių fizikines-mechanines savybes bei aplinkos sąlygas. Ankstesniais tyrimais nustatyta, kad dirbant net ir išmaniosiomis trąšų barstomosiomis ne visada užtikriname tikslus trąšų sklaidos rezultatus (Gyldengrena ir kt., 2020; Thaper, 2022).

Ištisai tręšiant laukus mineralinių barstomosiomis, nusistovėjus trąšų barstomosios darbo procesui, trąšų granulių sklaida dažniausiai tenkina agrotechninius reikalavimus. Šiuolaikinės mineralinių trąšų barstomosios skleidžia trąšų granules kintama norma (Saleem ir kt., 2023), todėl trąšų granulių judėjimo disko paviršiumi, nusiviedimo nuo diskų mentelių bei judėjimo oro sraute sąlygos dažnai keičiasi. Dar sudėtingiau tolygiai skleisti trąšas galulaukėse, kai įjungžiama ir išjungžiama trąšų barstomoji. Literatūroje trūksta trąšų granulių sklaidos tyrimų keičiant trąšų srautą ant sklaidomųjų diskų, todėl buvo atliktas trąšų granulių sklaidos tyrimas trąšų barstomosios įjungimo metu.

Tyrimų tikslas – nustatyti trąšų granulių skersinį ir išilginį pasiskirstymą keičiant trąšų barstomosios važiavimo greitį ir trąšų granulių srautą ant sklaidomųjų diskų barstomosios darbo metu.

Tyrimų metodika

Tyrimams atlikti naudojama technika. Mineralinių trąšų barstomųjų nustatymo metu dažniausiai yra keičiama trąšų išbyrėjimo sklendės padėtis ir važiavimo greitis. Todėl buvo tikslinga nustatyti kaip keičiasi mineralinių trąšų sklaida trąšų barstomosios „RAUCH AXIS EMC+W 50.2“ darbiniam plotyje skleidžiant mineralinių trąšų „NPK Yara“ granules. Labai svarbu nustatyti kaip keičiasi trąšų granulių sklaida keičiant trąšų barstomosios sklendės padėtį (kintama trąšų skleidimo norma) granulių skleidimo metu.

Mineralinių trąšų granulių srauto pokyčio ant sklaidomųjų diskų įtakos granulių sklaidai tyrimai buvo atlikti R. Janušausko ūkio bandyminiuose laukeliuose. Trąšų granulėms skleisti buvo naudotas „FEND 936 Vario“ traktorius su dviejų diskų mineralinių trąšų barstomąją „RAUCH AXIS EMC+W 50.2“ (1 pav.). Trąšų granulių sklaidos eksperimentiniai tyrimai buvo atlikti lauko sąlygomis. Trąšų granulių fizikinės-mechaninės savybės buvo nustatytos Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedroje. Tyrimui buvo naudojama Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedroje ir R. Janušausko ūkyje esanti įranga.

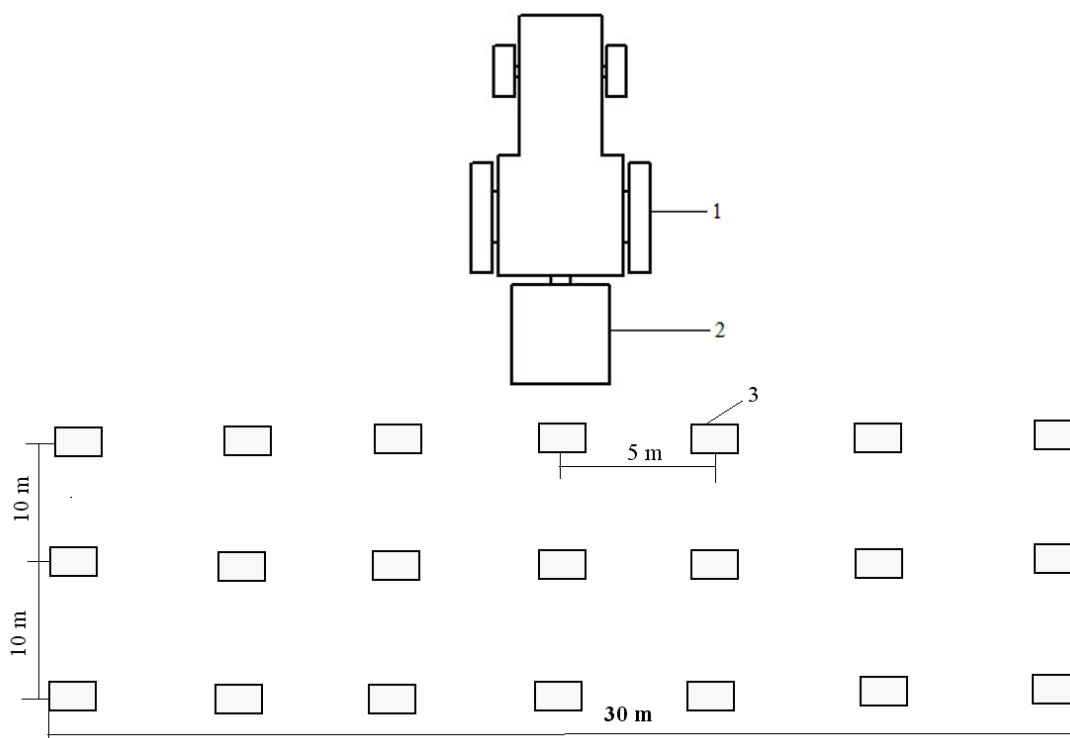


1 pav. Traktorius „FEND 936 Vario“ su mineralinių trąšų barstomąja „RAUCH AXIS EMC+W 50.2“ (autorius nuotrauka)

Fig. 1. Tractor “FEND 936 Vario” with mineral fertilizer spreader “RAUCH AXIS EMC+W 50.2” (author’s photo)

Dėžutės trąšų granulių sklaidai skersine kryptimi nustatyti buvo išdėstytos 5 metrų atstumais (2 pav.). Trąšų granulės buvo skleidžiamos važiuojant trąšų barstomąja penkiais skirtingais greičiais: 8, 9, 10, 11, 12 km h⁻¹. Kiekvienas bandymas buvo kartojamas 3 kartus.

Trąšų granulių sklaida išilgine kryptimi buvo nustatyta pagal tą pačią dėžučių išdėstymo schemą. 3 dėžučių eilės buvo išdėstytos 10 m atstumais.



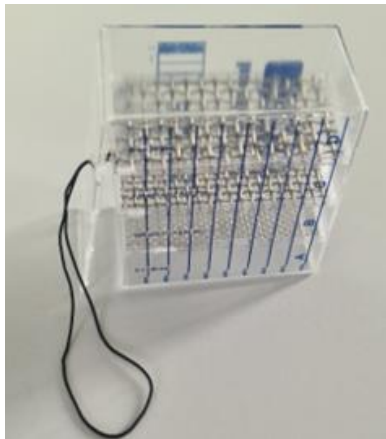
2 pav. Dėžučių išdėstymas trąšų sklaidai skersine ir išilgine kryptimis tirti: 1 – traktorius; 2 – trąšų barstomoji; 3 – dėžutė

Fig. 2. Arrangement of boxes for testing fertilizer distribution in transverse and longitudinal directions: 1 – tractor; 2 – fertilizer spreader; 3 – box

Dėžučių išdėstymas orientuotas į ilgį (nuvažiuotą atstumą), kadangi bandymo metu norima ištirti trąšų sklaidos pasikeitimą konkrečiose zonose barstant trąšas skirtinga trąšų norma kg ha⁻¹.

Bandymai buvo atlikti po 3 kartus. Į dėžutes patekusios mineralinių trąšų granulės buvo sveriamos „YHB“ svarstyklėmis, kurių matavimo ribos nuo 0 iki 30 kg. Matavimo paklaida 0,01 g. Vėjo greitis bandyminiuose laukeliuose buvo matuotas naudojant anemometrą „EXTECH AN 510“, kurio matavimo ribos nuo 0,1 iki 40 m s⁻¹.

Trąšų granulių sklaidai skersine ir išilgine kryptimis turi įtakos jų frakcinė sudėtis. Trąšų frakcinė sudėtis buvo nustatyta jas sijojant pro sietelius skirtingo dydžio skylutėmis (3 pav.) Sietelių dėžutę pasukus pagal laikrodžio rodyklę 90 laipsnių kampu, pagal dėžutės šone esančią skalę nustatyta skirtingo dydžio granulių procentinė sudėtis.



3 pav. Dėžutė su skirtingo dydžio sieteliais (autorius nuotrauka)

Fig. 3. Box with different sized sieves (author's photo)



4 pav. Prietaisas trąšų granulių kietumui nustatyti (autorius nuotrauka)

Fig. 4. Device for determining the hardness of fertilizer granules (author's photo)

Trąšų granulių įtrūkimo pradžios jėga nustatyta prietaisu (4 pav.) Granulių įtrūkimo jėgai nustatyti buvo atsitiktine tvarka paimti keturi po penkiasdešimt granulių ėminiai. Granulės buvo dedamos ant lentelės. Kiekviena granulė prietaiso antgaliu buvo spaudžiama iki jos įtrūkimo. Įtrūkimo jėgos reikšmė stebima prietaiso skalėje.

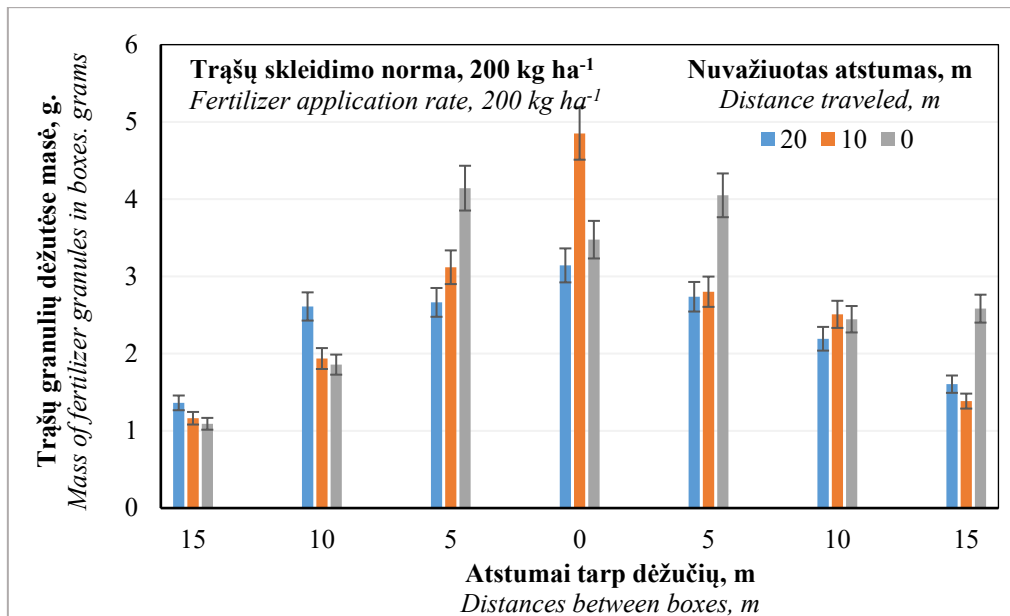
Išanalizavus gautus duomenis buvo apskaičiuotas trąšų granulių pasiskirstymo variacijos koeficientas įvertinantis trąšų sklaidos netolygumą skersime ir išilgine kryptimis.

Trąšų granulių drėgnio nustatymas. Mineralinių trąšų granulių drėgnis buvo nustatytas Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedros laboratorijoje. Į indelius buvo pripiltos tyrime naudotos trąšų granulės, tada jos buvo pasvertos ir įdedamos su indeliais į džiovinimo spintą, kur 105 °C temperatūroje buvo džiovinamos džiovinimo spintoje iki pastovios masės. Iš indelių išimtos trąšų granulės buvo sveriamos ir apskaičiuojamas trąšų granulių vidutinis drėgnis. Trąšų granulių drėgnis nustatytas atliekant ne mažiau kaip tris pakartojimus. Gauti tyrimų rezultatai buvo apdoroti matematiniais statistiniais metodais.

Rezultatai ir aptarimas

Mineralinių trąšų NPK Yara granulių sklaidos tyrimai buvo atlikti mineralinių trąšų barstomąja „RAUCH AXIS EMC+W 50.2“. Barstant mineralines trąšas dažniausiai keičiamas važiavimo greitis ir trąšų išbyrėjimo angos dydis. Trąšų barstymo metu vidutinis vėjo greitis buvo apie 6,4 m s⁻¹. Trąšų granulių įtrūkimo jėga kito nuo 3,5 iki 6,2 N. Tyrimų metu trąšų barstomosios važiavimo greitis buvo keičiamas nuo 8 iki 20 km h⁻¹, trąšų skleidimo norma – nuo 180 iki 240 kg ha⁻¹, trąšos buvo skleidžiamos 30 m darbiname plotyje. Atliktais tyrimais buvo nustatyta, kad nustačius trąšų barstomąją 180 kg ha⁻¹ skleidimo normai ir padidinant važiavimo greitį nuo 8 iki 12 km h⁻¹, trąšų sklaida barstomosios darbiname plotyje, vieno važiavimo metu, kito nežymiai. Trąšų skersinio pasiskirstymo variacijos koeficiento reikšmės kito 44,3 iki 51,1 proc. ribose.

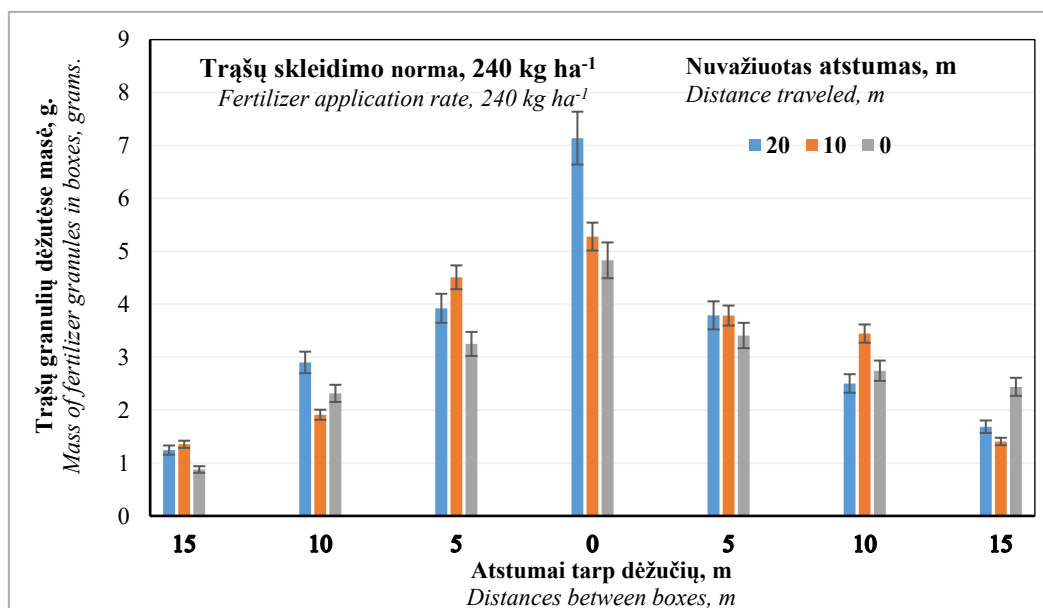
Tolimesniuose tyrimuose trąšų barstomosios važiavimo greitis buvo padidintas iki 20 km h⁻¹, trąšų skleidimo norma nuo 200 iki 240 kg ha⁻¹ (5 pav.). Tyrimais buvo nustatyta, kad esant 200 kg ha⁻¹ trąšų skleidimo normai, trąšų granulių sklaida skersine kryptimi pasiskirstė tolygiausiai nuvažius 20 m atstumu nuo trąšų barstomosios įjungimo vietos. Variacijos koeficiento reikšmė sumažėjo nuo 40,6 iki 27,6, nes trąšų barstomosios darbo procesas nusistovėjo, tokią tendenciją patvirtina ir kitų autorių atlikti tyrimai (Dovydaitis, 2024).



5 pav. Trąšų barstomąja nuvažiuoto atstumo įtaka trąšų granulių sklaidai skersine kryptimi

Fig. 5. The influence of the distance travelled by the fertilizer spreader on the spread of fertilizer granules in the transverse direction

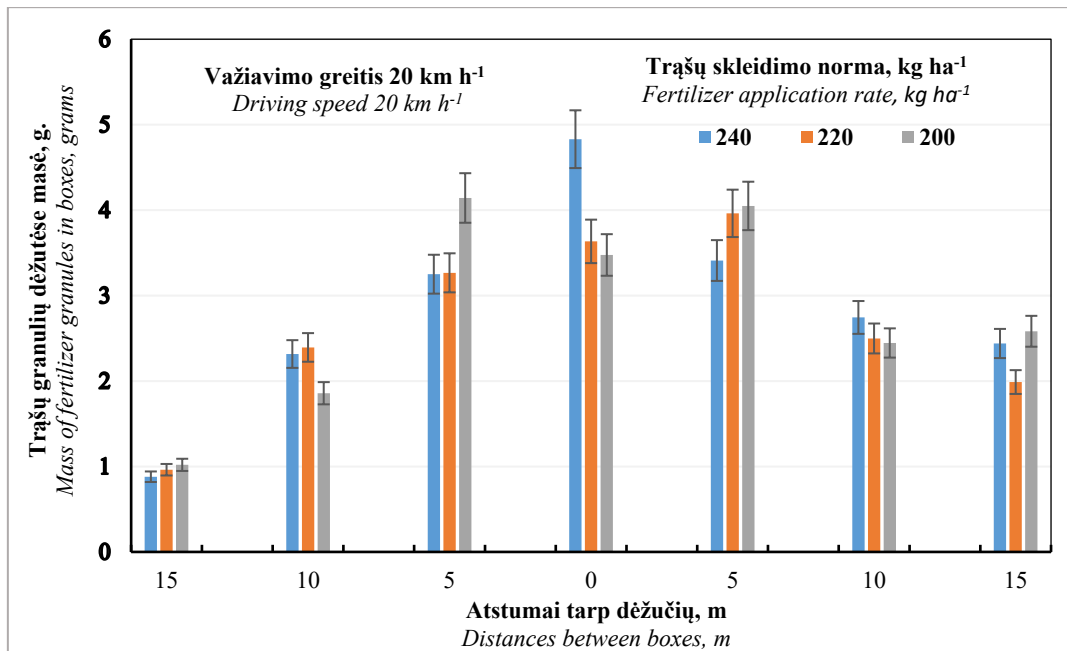
Padidinus trąšų granulių sklaidimo normą iki 240 kg ha⁻¹ padidėjo trąšų granulių kiekis ant sklaidomųjų diskų, trąšų atitrūkimo nuo mentelių vietoje padidėjo trąšų granulių koncentracija oro sraute. Nuvažiavus 20 m atstumu daugiausia trąšų granulių buvo skleidžiama barstomosios viduryje (6 pav.). Tyrimų metu buvo pastebėta, kad trąšų barstomosios viduryje į dėžutes pateko mažesnio skersmens granulės negu kraštinėse dėžutėse. Tai turėjo įtakos didesnei trąšų granulių koncentracijai trąšų barstomosios viduryje nusistovėjus darbo procesui.



6 pav. Trąšų barstomąja nuvažiuoto atstumo įtaka trąšų granulių sklaidai skersine kryptimi

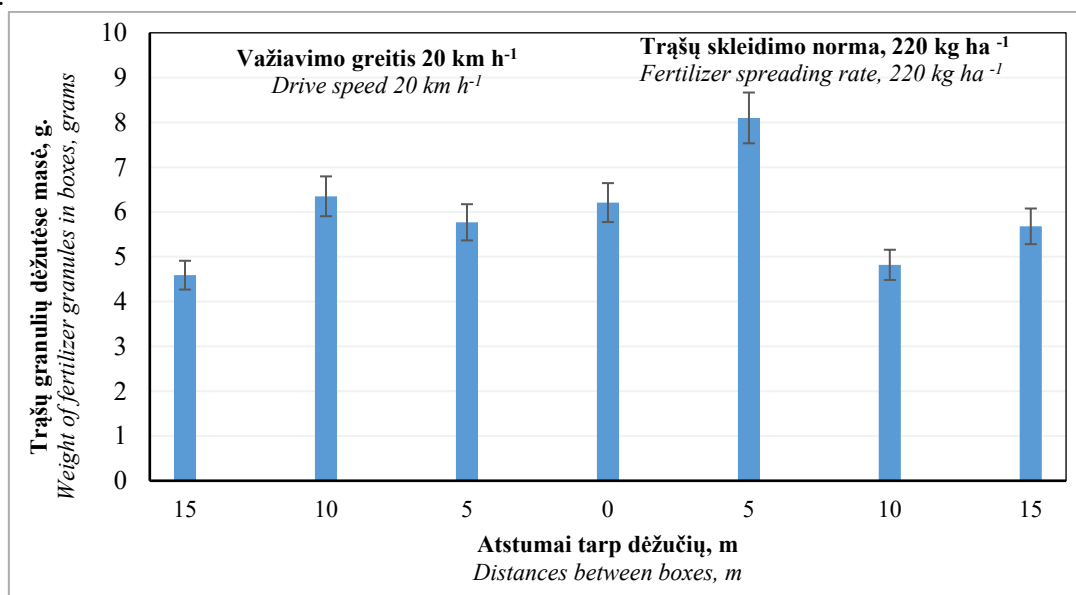
Fig. 6. The influence of the distance travelled by the fertilizer spreader on the spread of fertilizer granules in the transverse direction

Atliekant tyrimus buvo svarbu nustatyti trąšų granulių sklaidą išilgine kryptimi, keičiant trąšų normą kg ha⁻¹ bei trąšų granulių srautą ant sklaidomųjų diskų (7 pav.). Didinant trąšų normą, patekusių į dėžutes granulių kiekis didėjo. Tyrimais nustatyta, kad tolygiausiai trąšų granulės pasiskirstė trąšų barstomosios įjungimo vietoje, vidutinė variacijos koeficiento reikšmė buvo apie 40, nes trąšų barstomosios įjungimo metu, dėl didelės trąšų granulių koncentracijos buvo toliau nusviestos ir smulkesnės trąšų granulės. Trąšų barstomąja nuvažiavus 20 m atstumu, esant 240 kg ha⁻¹ trąšų normai, daugiau granulių buvo skleidžiama barstomosios viduryje, nes smulkesnės apie 3,35 mm granulės sudarė apie 45 proc.



7 pav. Trąšų skleidimo normos įtaka trąšų granulių sklaidai išilgine kryptimi trąšų barstomosios įjungimo vietoje
Fig. 7 The influence of the fertilizer spreading rate on the distribution of fertilizer granules in the longitudinal direction at the point of activation of the fertilizer spreader

Buvo tirta trąšų granulių sklaida galulaukėje, kai skleidžiamų trąšų srautai persidengė keturis kartus (8 pav.).



8 pav. Trąšų granulių sklaida skersine kryptimi galulaukėje
Fig. 8 Spreading fertilizer granules in a transverse direction on the headland

Tyrimais nustatyta, kad trąšų granulių sklaidos skersine kryptimi vidutinė variacijos koeficiento reikšmė buvo apie 19,5 proc.

Išvados

1. Trąšų barstomąją nustačius 180 kg ha^{-1} trąšų skleidimo normai ir keičiant važiavimo greitį nuo 8 iki 12 km h^{-1} , trąšų granulių sklaidos skersine kryptimi netolygumas padidėjo nuo 44,3 iki 51,1 proc.
2. Važiuojant trąšų barstomąja 20 km h^{-1} greičiu ir keičiant trąšų granulių skleidimo normą nuo 200 iki 240 kg ha^{-1} trąšų barstomosios darbo procesas nusistovėjo nuvažiavus apie 20 m. Skleidžiant 220 kg ha^{-1} trąšų granulių, variacijos koeficiento reikšmė lauko pakraštyje buvo apie 19,5 proc.

Literatūra

1. Wang., L., Gao, J., Qureshi, W., A. (2025) Evolution and Application of Precision Fertilizer: a review. *Agronomy*, 15(8) 1939, <https://doi.org/10.3390/agronomy1581939>
2. Gyldengren, J., Balslev Greve M., Skou-Nielsen, N., Olesen, J. E., Gislum, R. (2020). Field scale agronomic and environmental consequences of overlapping N fertilizer application by disc spreaders. *Elsevier, Field Crops Research*, 255, <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107901>
3. Thaper, K., R., P. Fulton, J., P. McDonald, T., Oladiran, O. Fasina, O. (2022). Potential of fertilizer segregation during application using spinner disc spreader. *Precision Agriculture*, 83–100, <https://doi.org/10.1007/s11119-021-09828-5>
4. Saleem S., R., Qamar U., R., Zaman, Q., Schumann A., W., , Naqvi, S. , M., Z., A. (2023) Variable rate technologies: development, adaptation, and opportunities in agriculture. *Precision Agriculture*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-18953-1.00010-6>
5. Dovidaitis, E., Vaiciukevičius, E., Jasinskas, A. (2024). Mineralinių trąšų srauto ant sklaidomųjų diskų pokyčio įtakos granulinių sklaidai tyrimai. *Žmogaus ir gamtos sauga 2024*, 28–33. <https://doi.org/10.7220/2538-9122.2024>.

Rimvydas Janušauskas, Edvardas Vaiciukevičius, Eglė Jotautienė

Research on the Influence of Variable Fertilizer Flow on Fertilizer Distribution in A Centrifugal Spreader

Vytautas Magnus University, Lithuania

Soils differ in their fertility, granulometric composition, yield and quality of grown plants. Nutrients are distributed unevenly in the soil, therefore it is very important to use variable rate fertilizer spreaders to ensure the necessary amount of nutrients for plant growth.

Research has shown that it is difficult to distribute fertilizers at a variable rate taking into account the distribution of nutrients in individual field areas when spreading fertilizers according to agrotechnical requirements. Centrifugal mineral fertilizer spreaders are widely used for spreading mineral fertilizers. The uniform distribution of mineral fertilizers in the fertilized area is affected not only by the quality of fertilizer granules, environmental conditions, but also by the structural solutions and settings of the fertilizer spreader.

The study of the influence of the change in the flow of mineral fertilizer granules on the spreading discs during the work of the fertilizer spreader on the distribution of granules was carried out in the experimental fields of the Rimvydas Janušauskas farm. A FEND 936 Vario tractor with a two-disc mineral fertilizer spreader “RAUCH AXIS EMC+W 50.2” was used to spread the fertilizer granules. The conducted studies determined that when changing the fertilizer spreading rate from 180 to 220 kg ha⁻¹, the fertilizer is evenly distributed in the transverse and longitudinal directions after the fertilizer spreader has traveled about 20 m, when the fertilizer spreader's work process stabilizes.

Keywords: Fertilizer granules, fertilizer flow, fertilizer granule distribution.

Gauta 2026 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2026 m. balandžio mėn.

Rimvydas JANUŠAUSKAS. VDU ŽŪA Inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedros magistrantas. Adresas: Studentų g. 15a, LT-53362, Akademija, Kaunas r., tel. +370 614 64493, el. paštas: janusauskas.ukis@gmail.com
Rimvydas JANUŠAUSKAS. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, mgs student. Address: Studentų g. 15a, LT-53362, Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 614 64493, e-mail: janusauskas.ukis@gmail.com

Edvardas VAICIUKEVIČIUS. VDU ŽŪA Inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedros docentas. Adresas: Studentų g. 15a, LT-53362, Akademija, Kauno r. Tel. +370 615 93865, el. paštas: Edvardas.Vaiciukevicius@vdu.lt

Edvardas VAICIUKEVIČIUS. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, assoc. professor. Address: Studentų g. 15a, LT-53362, Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 615 93865, e-mail: Edvardas.Vaiciukevicius@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 37 752204, el. pastas: 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 dist. Phone: +370 37 752204, e-mail: Egle.Jotautiene@vdu.lt

MEDIENOS SKIEDRŲ PARUOŠIMO KOKYBĖS IR TVARAUS NAUDOJIMO BIOKURO KATILINĖSE ĮVERTINIMAS

Tadas Džervus, Algirdas Jasinskas, Edvardas Vaiciukevičius

Vytauto Didžiojo universitetas

Išanalizuota naujausia mokslinė bei gamybinė literatūra apie Lietuvoje ir užsienio šalyse biokuro katilinėse naudojamos susmulkintos medienos paruošimo ir naudojimo biokuro katilinėse ypatumus, naujausias technologijas ir techniką. Šiame darbe pagrindinis dėmesys skiriamas Lietuvoje populiariausioms medienos rūšims, kurios naudojamos skiedrų gamybai ir tvariam jų naudojimui vidutinėse ir didelėse biokuro katilinėse. Atlikta šių augalų naudojimo energetinėms reikmėms mokslinės informacijos apžvalga, pateikta trumpa atliekamų tyrimų metodika ir skiedrų paruošimo kokybės vertinimo bei naudojimo energinei konversijai eksperimentinių tyrimų rezultatai. Atlikus skiedrų frakcinės sudėties tyrimus nustatyta, kad stambiausia gauta gliuosnių pušies skiedrų frakcija, nes ant sieto su apvaliomis 16 mm skersmens skylutėmis jų susikauptė apie 85 %, o dulkės sudarė tik 0,5 %, todėl galima teigti, jog gautos skiedros yra pakankamai švarios ir atitinka kokybiškam kurui keliamus reikalavimus. Skiedrų tankio rezultatai rodo, jog panašus tankis nustatytas visų tirtų augalų skiedrų, jis svyravo nuo 38,0 iki 42,6 kg m³. Iširtos ir deginamų skiedrų išskiriamos kenksmingų dujų emisijos, kurios neviršijo išmetamiems į aplinką degimo produktams keliamų reikalavimų. Tyrimų rezultatai palyginti su kitų mokslininkų tyrimų rezultatais vertinant skirtingose įmonėse paruoštų medienos skiedrų kokybinius rodiklius ir paruošto biokuro naudojimo energinei konversijai galimybes.

Raktiniai žodžiai: medienos skiedros, kietasis biokuras, paruošimo kokybė, skiedrų savybės, deginimas, kenksmingos emisijos.

Įvadas

Viena iš strateginių Lietuvos Energetinės Nepriklausomybės Strategijos iniciatyvų yra perėjimas nuo gamtinių dujų prie biokuro naudojimo centralizuotam šildymui. Nuo 2012 metų sistemingai didinant instaliuotą biokuro katilų galią ir liberalizuojant prekybą, biokuro dalis šilumos kuro balanse išaugo iki 70,25 % ir tapo pagrindiniu šilumos gamybai Lietuvoje naudojamu kuru. 2020 metais Lietuvoje buvo sunaudota 6,4 mln. m³ malkų ir medienos liekanų, iš kurių 3,2 mln. m³ buvo sunaudota šiluminėse elektrinėse, katilinėse ir kituose įrenginiuose sektoriuje. Europos mastu didžiausią medienos masyvo energijos suvartojimo dalį išlaiko gyvenamųjų namų sektorius (27 %), toliau seka medienos drožlių naudojimas pramonėje, įrenginiuose, kurių galia didesnė nei 1 MW (22 %), ir smulkios medienos skiedrų naudojimas (14 %). Granulių suvartojimas šiuolaikiniuose prietaisuose taip pat sparčiai auga ir sudaro 6 % viso ES medienos energijos suvartojimo (Aplinkos ministerija, 2023).

Anot Scrucca et al. (2023), energijos gamyba iš medienos biomasės yra strateginis sprendimas siekiant pasaulinių tvarumo tikslų. Be to, biokuro naudojimas suteikia ne tik reikšmingų aplinkosauginių, tačiau ir socialinių bei ekonominių privalumų. La Scalia et al. (2022), tyrimai pabrėžė, kad kietoji biomasė iš miškų yra nepakankamai išnaudotas energijos šaltinis, turintis pastebimų privalumų, susijusių su platesniu ir integruotesniu valdymu. Be to, jie parodė, kad energijos gamyba iš liekamosios biomasės žymiai sumažina poveikį aplinkai ir pagerina jų atliekų tvarkymo praktikos ekonominį pagrįstumą (La Scalia et al., 2022).

Medienos skiedros yra kietojo medžio kuro rūšis, dažnai naudojama pramonėje ir gyvenamųjų namų šildymo sistemose. Tai maži medienos gabalai, gaunami susmulkinant rąstus, šakas ar kitą medieną. Medienos skiedros gali būti naudojamos biokuro katiluose ir krosnyse, skirtuose didelio efektyvumo degimui (Gravalos et al., 2016). Medienos skiedros energetinę vertę gali paveikti medienos rūšis ir sąlygos, kuriomis jos apdorojamos, todėl pabrėžiama standartizacijos svarba jų gamyboje, siekiant optimizuoti energijos gamybą (Gravalos et al., 2016; Nandasena et al., 2018).

Norint optimizuoti medienos biomasės naudojimą biokuro tikslais, svarbu suprasti pagrindines medienos savybes, tokias kaip drėgmės kiekis, šiluminė vertė ir pelenų kiekis (Nezu et al., 2026; Schweier, 2019; Vargas-Moreno, 2012). Didelis pelenų kiekis gali sukelti biomasės degiklių užsiteršimą ir šlakavimą, todėl to reikėtų vengti, o didelis šilumingumas padidina degimo efektyvumą (Schweier et al., 2019). Šios kuro savybės yra glaudžiai susijusios su medienos chemine sudėtimi (Kumar et al., 2010).

Smulkintą medieną pirmiausia apibūdina jos rūšis, kuri daro didelę įtaką jos degimo savybėms. Dažniausiai naudojamos rūšys yra kietmedis pavyzdžiui ąžuolas, klevas ir minkštmedis, pavyzdžiui, pušis, eglė. Kietmedis paprastai pasižymi didesniu tankiu ir energetine verte, todėl dega ilgiau ir karščiau nei minkštmedis, kuris lengvai užsidega, bet dega greitai (Maschowski et al., 2019). Smulkintos medienos degimo efektyvumas taip pat gali labai skirtis priklausomai nuo drėgmės kiekio. Šviežiai pjautoje medienoje yra daug drėgmės, todėl ji gali būti neefektyviai deganti ir padidinti dūmų išsiskyrimą, o tyrimai rodo, kad gerai

brandinta mediena (kurios drėgnumas mažesnis nei 20 %) užtikrina optimalų energijos kiekį (Zvicevičius ir kt., 2019).

Tyrimų metodika

Tyrimo objektas – pušies, drebulės ir eglės medienos skiedros, paruoštos energetiniams tikslams ir naudojamos biokuro katilinėje realiomis sąlygomis. Naudotų medienos skiedrų mėginių pavyzdžiai pateikiami 1 paveiksle.



1 pav. Medienos skiedrų mėginiai: a – pušis, b – drebulė, c – eglė

Fig. 1. Wood chip samples: a – pine, b – aspen, c – spruce

Vertintos pagrindinės biokuro savybės: frakcinė sudėtis, drėgnis ir tūrinės masės tankis. Frakcinė sudėtis buvo atliekama trismis pakartojimais, drėgnis ir tūrinės masės tankis – 5-kiais pakartojimais.

Skiedrų frakcinės sudėtis buvo nustatoma pagal Vokietijoje ir kitose ES šalyse naudojama tyrimų metodika (EU DD CENT/TS15149 – 1 : 2006) naudojant 400 mm skersmens sietų komplektą, kur vienas ant kito sudėti sietai su apvaliomis skylutėmis (eilės tvarka nuo viršutinio sieto): 63 mm, 45 mm, 16 mm, 8 mm, 3,15 mm ir 1 mm skersmens. 0,5 kg masės ėminį sijoja specialiu sietų kratytuvu „Haver EML Digital plus“. Darbo parametrai: vibravimo trukmė – 1 min; vibravimo intervalas – 10 s; amplitudė – 1 mm. Po sijoimo kiekvienos frakcijos masė pasverta laboratorinėmis svarstyklėmis. Apskaičiuota frakcijų dalis procentais nuo bendros ėminio masės. Kiekvienas bandymas kartotas 3 kartus. Rezultatai pateikiami aritmetiniu vidurkiu su tikėtina paklaida ($p = 0,95$).

Skiedrų drėgnio nustatymas buvo atliekamas VDU ŽŪA Inžinerijos fakulteto Progresyvos augalininkystės inžinerijos laboratorijoje pagal standartinę ir plačiai naudojamą metodiką. Drėgniui nustatyti iš kiekvieno mėginio paimti 5 pakartojimai po 50 g. Mėginiai sudėti į metalinius indelius ir džiovinti 24 val. 105 °C temperatūroje iki pastovios masės. Prieš džiovinimą mėginiai pasveriami. Išdžiovinti ėminiai pasveriami, po to sverti tušti indeliai ir apskaičiuotas kiekvieno ėminio drėgnis procentais. Nustačius skirtingos rūšies medienos skiedrų mėginių drėgnį buvo paskaičiuotos mėginių masės vidutinė reikšmė, kuri pateikiama su paklaida.

Medienos skiedrų mėginių drėgnis w_1 apskaičiuojamas remiantis formule (Jasinskas et al., 2008):

$$w_1 = \frac{G_1 - G_2}{G_1} \cdot 100 (\%), \quad (1)$$

čia: G_1 – drėgno ėminio masė, g (be indelio masės);

G_2 – išdžiovinto ėminio masė, g (be indelio masės).

Skiedrų tūrinės masės tankio nustatymui naudotas 1,0 dm³ talpos cilindrinis indas ($V = 0,0001 \text{ m}^3$). Pirmiausia pasveriamas tuščias indas, po to – indas, pripildytas skiedrų iki viršutinės briaunos be papildomo suspaudimo. Pagal masės skirtumą, nustatoma skiedrų masė ir padalinama iš cilindro tūrio (kvadratiniais metrais).

Medienos skiedrų tūrinės masės tankis ρ remiantis formule (Jasinskas et al., 2008):

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (2)$$

čia: m – skiedrų masė (kg),

V – indo tūris (m³).

Taikyta metodika, apimanti pušies, drebulės ir eglės skiedrų frakcinės sudėties, drėgnio ir tūrinės masės nustatymą standartizuotais laboratoriniais metodais, užtikrino patikimą ir statistiškai pagrįstą biokuro fizinių savybių įvertinimą, leidžiantį objektyviai spręsti apie tiriamų skiedrų tinkamumą energetiniam naudojimui.

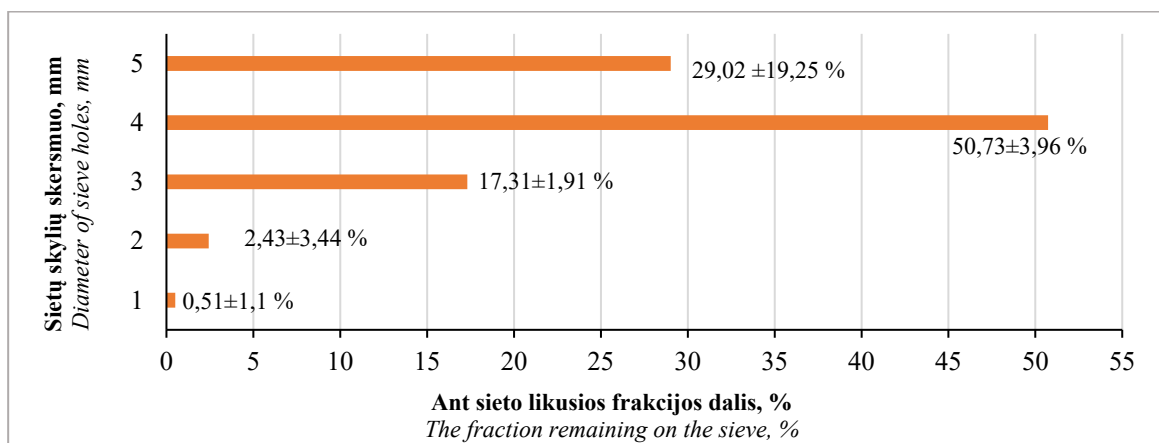
Taip pat buvo tiriamos medienos skiedrų savybės, kurios yra labai svarbios deginimo procesams: peleningumas, šilumingumas ir drėgnis. Pastarieji tyrimai buvo atliekami laboratorijoje pagal standartizuotą metodiką.

Medienos skiedrų peleningumas buvo nustatomas vadovaujantis LST EN ISO 18122 standarto metodika, kur skirtingos rūšies medienos skiedrų mėginys dedamas į krosnį ir temperatūra per 30–50 min. pakeliama iki 250 °C, kuri išlaikoma 60 min., kad pasišalintų lakiosios medžiagos prieš užsidegimą. Toliau temperatūra keliama iki galutinės ir išlaikoma bent 60 min. Medienai visiškai sudegus likę pelenai sveriami ir apskaičiuojama jų procentinė dalis sausoje masėje.

Šilumingumo nustatymui vadovautasi LST EN ISO 18125 metodika. Viršutinis šilumingumas nustatomas naudojant kalorimetrinę bombą, kurioje susmulkintas skiedros mėginys uždegamas ir matuojamas vandens temperatūros pokytis kurį sukelia išsiskyrusi šiluma. Žemutinis šilumingumas apskaičiuojamas pagal formulę iš viršutinio šilumingumo, atimant energiją, sunaudojamą vandens (esančio kure ir susidariusio degant vandeniliui) garinimui. Būtent šis rodiklis parodo realią šilumą, kuri yra gaunama deginant medienos skiedrą katilinėje.

Rezultatai ir aptarimas

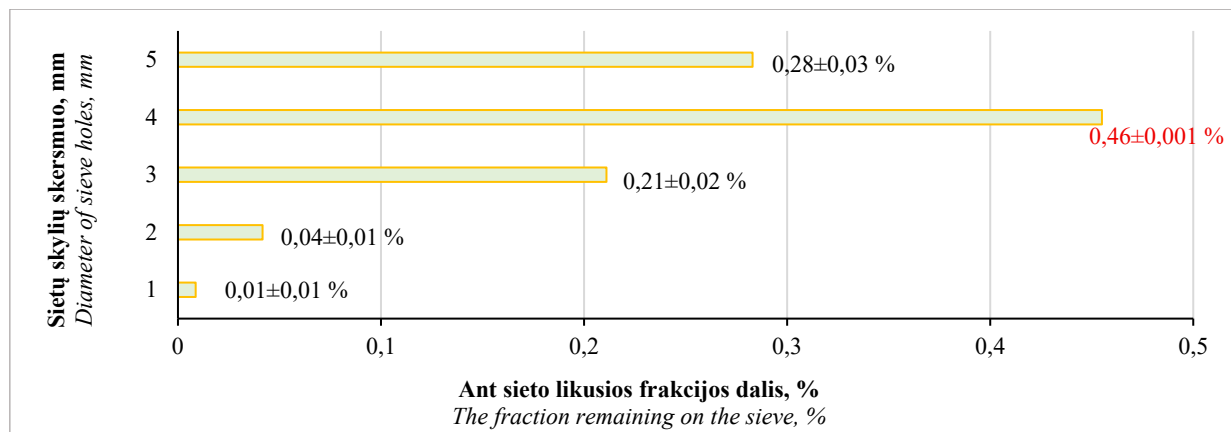
Skiedrų frakcinės sudėties tyrimų rezultatai pateikiami 2–4 paveiksluose. Gauti rezultatai parodo, kad nei vienu iš tirtų atvejų ant 45 mm ir 63 mm skersmens skyliųčių sietų frakcijų nenustatyta, t. y. šių dydžių dalelių masė buvo lygi nuliui. Tai rodo, kad smulkinimo proceso metu nebuvo suformuota stambiųjų (>45 mm) dalelių frakcija, o visa skiedrų masė pateko į mažesnio nei 45 mm dydžio intervalą.



2 pav. Eglės medžio skiedros frakcinė sudėtis
Fig. 2. Fractional composition of spruce wood chips

Atlikus eglės medžio skiedros frakcinės sudėties analizę nustatyta, kad didžiausia tiriamosios medžiagos masės dalis susikaupė ant 4 mm skersmens sieto – ji sudarė vidutiniškai $50,73 \pm 3,96$ % visos skiedrų masės. Reikšminga dalis ($29,02 \pm 19,25$ %) taip pat teko stambiausiai frakcijai (5 mm). Mažiausios frakcijos sudarė tik nežymią bendros masės dalį: ant 1 mm ir 2 mm sietų liko atitinkamai tik $0,51 \pm 1,1$ % ir $2,43 \pm 3,44$ % medžiagos. Gauti duomenys leidžia daryti išvadą, kad dominuojantis dalelių dydis svyruoja nuo 3 iki 5 mm, o tai sudaro daugiau nei 95 % viso eglės skiedrų tirtų kiekio.

Kalbant apie pušies frakcinę sudėtį (3 pav.), pastebėta, kad pušies medžio skiedrų smulkiųjų frakcijų kiekis yra labai nedidelis – bendra visų tirtų frakcijų suma nesiekia 1 %.

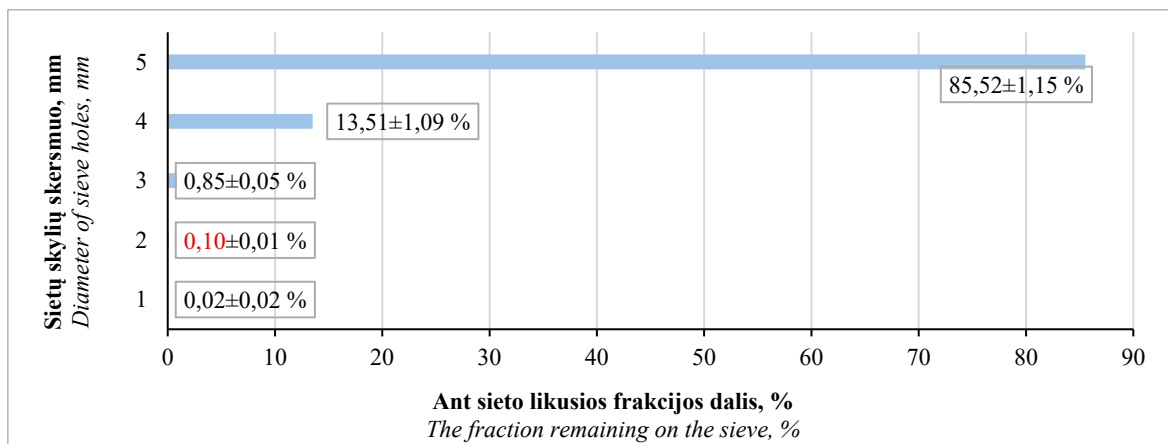


3 pav. Pušies medžio skiedros frakcinė sudėtis

Fig. 3. Fractional composition of pine wood chips

Nustatyta, kad didžiausia santykinė dalis tarp tirtų smulkiųjų dalelių susikaupė ant 4 mm skersmens sieto ir sudarė $0,46 \pm 0,01$ %. Ant 5 mm ir 3 mm sietų likusios frakcijos sudarė atitinkamai $0,28 \pm 0,03$ % ir $0,21 \pm 0,02$ %. Mažiausios dalelės (1 mm ir 2 mm skersmens) sudarė tik minimalius kiekius – mažiau nei po 0,05 % kiekvienu atveju.

Analizuojant drebulės medienos skiedrų frakcinės sudėties duomenis, nustatyta ryški stambiosios frakcijos dominacija.



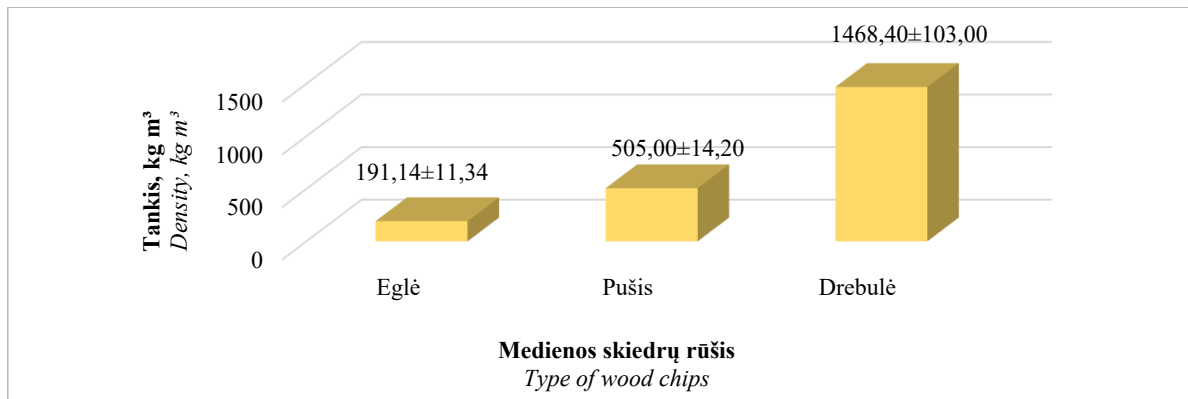
4 pav. Eglės medžio skiedros frakcinė sudėtis

Fig. 4. Fractional composition of aspen wood chips

Atlikus eglės skiedrų frakcinės sudėties analizę vibracinio sijojimo metodu nustatyta, kad didžiausią skiedrų masės dalį sudarė: 8 mm ($50,73 \pm 3,96$ %), 16 mm ($29,02 \pm 19,25$ %), 3,15 mm ($17,31 \pm 10,91$ %) frakcijos. Šios trys frakcijos sudarė beveik 97 % visos tiriamos medžiagos. Dulkinė ir labai smulki frakcija sudarė $0,51 \pm 1,10$ % (0 mm) ir $2,43 \pm 3,44$ % (1 mm). Nustatyti minimalūs sijojimo nuostoliai 0,22 %. Pagal frakcinę sudėtį eglės skiedros atitinka P45 klasės reikalavimus.

Apibendrinant skirtingų medienos rūšių frakcinės sudėties tyrimo rezultatus nustatyta, kad drebulės skiedros pasižymi homogeniškiausiu dalelių dydžio pasiskirstymu ir aiškia vienos frakcijos dominavimu, eglės skiedros – vidutiniu pasiskirstymu tolygumu bei didesniu kintamumu tarp frakcijų, o pušies skiedros – labiau pasiskirsčiusios struktūros ir tolygesniu dalelių išsidėstymu keliuose dydžių intervaluose. Visų tirtų medienos rūšių skiedrose nebuvo nustatyta stambiųjų frakcijų (>45 mm), o dalelių pasiskirstymas koncentravosi vidutinio dydžio intervale, kas rodo efektyvų smulkinimo procesą ir tinkamą žaliavos paruošimą energetiniam naudojimui.

Toliau 5 paveiksle pateikiama visų trijų medienos skiedrų (eglės, pušies, drebulės) turinės masės tankio tyrimo rezultatai.

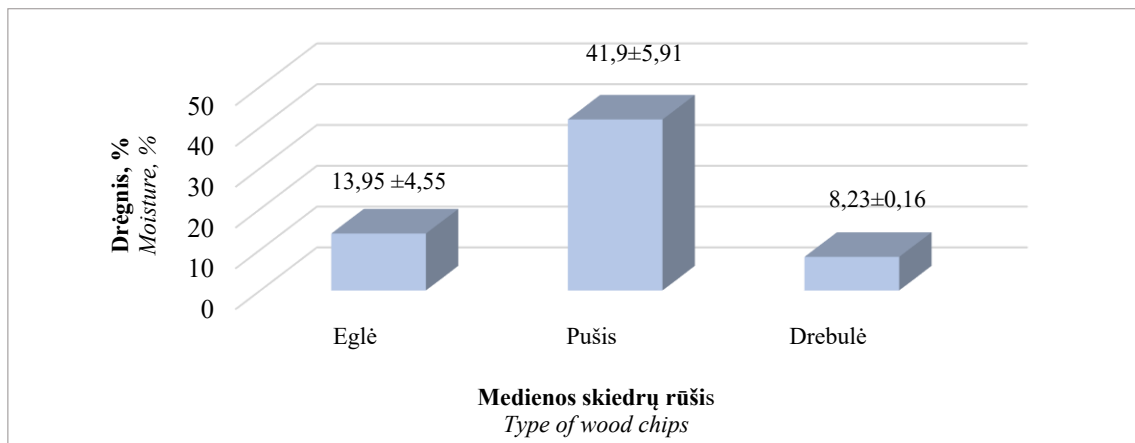


5 pav. Skirtingos rūšies medienos skiedrų tūrinės masės tankis

Fig. 5. Bulk density of wood chips of different species

Eglės skiedrų tūrinės masės tankis, esant $13,95 \pm 4,55$ % ėminių drėgniui, svyravo nuo 181,70 iki $201,30 \text{ kg m}^{-3}$, o vidutinė tankio reikšmė sudarė $191,14 \pm 11,34 \text{ kg m}^{-3}$, kas sudarė $\pm 5,93$ % nuo vidutinės vertės. Pušies skiedrų tūrinė masė siekė $505 \pm 14,2 \text{ kg m}^{-3}$, o nedidelė paklaida rodo homogenišką skiedrų struktūrą ir tinkamą jų paruošimą energetiniam naudojimui. Drebulės medienos skiedrų vidutinis tankis siekia $1468,4 \pm 103,0 \text{ kg m}^{-3}$. Tai rodo tam tikrą natūralią skiedrų struktūros įvairovę (masės ir poringumo skirtumus), tačiau bendras vidurkis patenka į medienos skiedroms būdingą intervalą.

Skirtingos rūšies medienos (pušies, eglės ir drebulės) skiedrų drėgnio nustatymo rezultatai pateikiami 6 paveiksle.



6 pav. Medienos skiedrų drėgnis

Fig. 6. Moisture content of wood chips

Pušies skiedros pasižymi didžiausiu drėgniu, siekiančiu $41,9 \pm 5,91$ %. Toks aukštas rodiklis paprastai būdingas šviežiai kirstai ar nepakankamai išdžiovintai spygliuočių medienai. Atlikus eglės skiedrų drėgnio analizę, nustatyta, kad vidutinis drėgnis siekė $13,95 \pm 4,55$ %, kas parodo, kad skiedros priskiriamos M20 drėgnio klasei, atitinkančiai sauso biokuro žaliavos kategoriją. Paklaida ($\pm 4,55$ %) identifikuoja nevienodą drėgmės kiekį pradinėje žaliavoje bei skirtingą dalelių dydį. Drebulės skiedros išsiskiria mažiausiu ir stabiliausiu drėgnumu, kuris sudaro tik $8,23 \pm 0,16$ %.

Atlikta kietojo biokuro fizinių ir energetinių savybių analizė parodė būdingus skirtumus tarp tirtų medienos rūšių. Didžiausiu energetiniu vertingumu pasižymėjo pušies skiedros, kurių viršutinis šilumingumas siekė $20,63 \text{ MJ/kg}$, o pasiektas žemutinis šilumingumas ($19,23 \text{ MJ/kg}$) koreliavo su mažiausiu nustatytu peleningumu ($0,4$ %). Eglės skiedrų energetiniai rodikliai buvo nežymiai mažesni (viršutinis šilumingumas – $19,98 \text{ MJ/kg}$), tačiau šios rūšies mėginiai pasižymėjo didžiausiu vidutiniu drėgniu ($34,30$ %), kuris tiesiogiai mažino darbinį šilumingumą iki $18,55 \text{ MJ/kg}$. Tuo tarpu drebulės skiedros išsiskyrė specifinėmis savybėmis: nors dėl itin mažo drėgnio ($4,20$ %) jų žemutinis šilumingumas ($18,52 \text{ MJ/kg}$) išliko stabilus, šioje medienoje užfiksuotas didžiausias peleningumas ($1,0$ %), lyginant su spygliuočių rūšimis. Tyrimo rezultatai patvirtina, kad spygliuočių mediena pasižymi aukštesne energetine verte, o kuro drėgnis išlieka kritiniu veiksniu, lemiančiu galutinį darbinį šilumingumą.

Išvados

1. Atlikti tyrimai parodė, kad visų rūšių medienos skiedros buvo tinkamai paruoštos energetiniam naudojimui, nes nė vienu atveju nerasta stambiųjų frakcijų ant 45 mm ir 63 mm sietų. Dominuojantis dalelių dydis svyravo nuo 3 iki 5 mm (eglės atveju sudarė virš 95 % masės), o drebulės skiedros pasižymėjo pačiu homogeniškiausiu pasiskirstymu.
2. Nustatyta, kad drebulės skiedros pasižymi didžiausiu tankiu ($1468,4 \pm 103,0 \text{ kg/m}^3$) ir mažiausiu drėgniu ($8,23 \pm 0,16 \%$). Priešingai, pušies skiedros išsiskyrė didžiausiu drėgniu ($41,9 \pm 5,91 \%$), kas būdinga šviežiai kirstai žaliavai ir gali turėti įtakos mažesniai degimo efektyvumui.
3. Vertinant biokuro paruošimo kokybę ir kitas savybes nustatyta, kad visos tirtos medienos skiedros atitinka kokybiškam biokurui keliamus reikalavimus tiek fizinėms mechaninėms savybėms (frakcinei sudėčiai, tankiui, drėgniu), tiek ir energetinėms bei šiluminėms savybėms.

Literatūra

1. Aplinkos ministerija. Vietinio medienos kuro panaudojimo šilumos gamybai potencialo ir plėtros galimybių vertinimo ir pasiūlymų parengimas. *Ataskaita*, 2023.
2. Gravalos, I., Xyradakis, P., Kateris, D., Gialamas, T., Bartzialis, D., Giannoulis, K. (2016). An experimental determination of gross calorific value of different agroforestry species and bio-based industry residues. *Natural Resources*, 7(1), 57–68. <https://doi.org/10.4236/nr.2016.71006>
3. Jasinskas, A., Sakalauskas, A., Domeika, R. (2008). Evaluation of physical–mechanical properties of herbaceous bioenergy plants. *Biomass and Bioenergy*, 32(10), 952–958. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2008.01.024>
4. Kumar, R., Pandey, K. K., Chandrashekar, N., & Mohan, S. (2010). Effect of tree-age on calorific value and other fuel properties of Eucalyptus hybrid. *Journal of Forestry Research*, 21(4), 514–516. <https://doi.org/10.1007/s11676-010-0108-x>
5. La Scalia, G., Adelfio, L., La Fata, C. M., Micale, R. (2022). Economic and environmental assessment of biomass power plants in southern Italy. *Sustainability*, 14(15), 9676. <https://doi.org/10.3390/su14159676>
6. Lietuvos standartizacijos departamentas. (2016). *Kietasis biokuras. Pelenų kiekio nustatymas (LST EN ISO 18122:2016)*.
7. Lietuvos standartizacijos departamentas. (2017). *Kietasis biokuras. Šilumingumo nustatymas (LST EN ISO 18125:2017)*.
8. Maschowski, C., Kruspan, P., Garra, P., Arif, A. T., Trouvé, G., Gieré, R. (2019). Physicochemical and mineralogical characterization of biomass ash from different power plants in the Upper Rhine Region. *Fuel*, 258, 116020. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116020>
9. Nandasena, S., Wickremasinghe, R., Kasturiratne, A., Wimalasiri, U., Tipre, M., Larson, R., Sathiakumar, N. (2018). Particulate Matter fractions and kitchen characteristics in Sri Lankan households using solid fuel and LPG. *bioRxiv*, 461665. <https://doi.org/10.1101/461665>
10. Nezu, I., Sawada, N., Nihei, M., Kato, S., Aizawa, M., Aruga, K., Ishiguri, F. (2026). Quantity and Quality of Stem Wood Concerning Biofuel Production from Young Paulownia Species Planted in Tochigi, Japan. *BioEnergy Research*, 19(1), 6. <https://doi.org/10.1007/s12155-025-10943-8>
11. Schweier, J., Arranz, C., Nock, C. A., Jaeger, D., Scherer-Lorenzen, M. (2019). Impact of increased genotype or species diversity in short rotation coppice on biomass production and wood characteristics. *BioEnergy Research*, 12(3), 497–508. <https://doi.org/10.1007/s12155-019-09997-2>
12. Scrucca, F., Barberio, G., Cutaia, L., Rinaldi, C. (2023). Woodchips from forest residues as a sustainable and circular biofuel for electricity production: evidence from an environmental life cycle assessment. *Energies*, 17(1), 105. <https://doi.org/10.3390/en17010105>
13. Vargas-Moreno, J. M., Callejón-Ferre, A. J., Pérez-Alonso, J., & Velázquez-Martí, B. (2012). A review of the mathematical models for predicting the heating value of biomass materials. *Renewable and sustainable energy reviews*, 16(5), 3065–3083. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.054>
14. Zvicevicius, E., Raila, A., Cipliene, A., Ziura, K. (2019). Influence of moisture on osier willow chops characteristics. In Engineering for Rural Development. *Proceedings of the International Scientific Conference (Latvia)*, 18. <https://doi.org/10.22616/ERDev2019.18.N495>

Tadas Džervus, Algirdas Jasinskas, Edvardas Vaiciukevičius

Assessment of the Quality of Wood Chip Preparation and Sustainable Use in Biofuel Boilers

Vytautas Magnus University, Lithuania

The latest scientific and industrial literature on the preparation and use of wood chips in biofuel boilers in Lithuania and other countries, as well as the latest technologies and techniques, has been analysed. This work focuses on the most popular types of wood in Lithuania, namely pine, birch, alder, and others, which are used for the production of wood chips and their sustainable use in medium and large biofuel boilers. A review of scientific information on the use of these plants for energy purposes is provided, along with a brief description of the research methodology and the results of experimental studies on the quality assessment of wood chip preparation and their use for energy conversion. Studies of the fractional composition of wood chips showed that the largest fraction obtained was from Scots pine, as about 85% of the wood chips accumulated on a sieve with round holes 16 mm in diameter, while dust accounted for only 0.5%. Therefore, it can be concluded that the chips obtained are sufficiently clean and meet the requirements for high-quality fuel. The results of the chip density tests show that a similar density was found for all the chips of the plants studied, ranging from 38.0 to 42.6 kg m³. The harmful gas emissions from the tested and burned wood chips did not exceed the requirements for combustion products released into the environment. The results of the study were compared with the results of other scientists' studies evaluating the quality indicators of wood chips prepared in different companies and the possibilities of using prepared biofuel for energy conversion.

Keywords: Wood chips, solid biofuel, preparation quality, chip properties, combustion, harmful emissions.

Gauta 2026 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2026 m. balandžio mėn.

Tadas DŽERVUS. 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 67 454894, el. paštas: tadas.dzervus@vdu.lt

Tadas DŽERVUS. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, assoc. prof. Address: Studentų g. 15a, LT-53362, Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 67 454894, e-mail: tadas.dzervus@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. +370 612 04002, 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: +370 612 04002, e-mail: algirdas.jasinskas@vdu.lt

Edvardas VAICIUKEVIČIUS. 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. +370 659 62043, el. paštas: edvardas.vaiciukevicius@vdu.lt

Edvardas VAICIUKEVIČIUS. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, a ssoc. Address: Studentų str. 15a, LT-53362, Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 659 62043, e-mail: edvardas.vaiciukevicius@vdu.lt

MEDIENOS SMULKINIMO BŪGNINIŲ SMULKINTUVŲ TYRIMAI

Kipras Karpinas, Edvardas Vaiciukevičius, Algirdas Jasinskas

Vytauto Didžiojo universitetas

Biokuro gamyba iš atsinaujinančių energijos šaltinių yra vis populiareesnė ir saugesnė nei jos alternatyvos, todėl ji yra svarbi mūsų gyvenimo infrastruktūrai. Lietuvoje biokuras gamyba vykdoma iš likvidinės ir nelikvidinės medienos, kurios savybės bei energijos sąnaudos skiedroms gaminti skiriasi. Lietuvoje labiausiai paplitę būgniniai medienos smulkintuvai, kurių nedideli gabaritai, patogus transportavimas, didelis našumas. Šie smulkintuvai gali būti naudojami ne tik didelių gamyklų teritorijose, bet ir kirtavietėse bei miško keliukuose, todėl labai svarbu pagrįsti būgninio smulkintuvo racionalius darbo parametrus.

Tyrimai buvo atlikti UAB „Medienos gamyba“ įmonėje smulkinant skirtingą medieną būgniniu „Heizohack 10-500K“ smulkintuvu. Tyrimais nustatyta, kad smulkinant skirtingos sudėties bei struktūros medieną, skiriasi smulkintuvo energetiniai parametrai, kurie įtakoja produkcijos kokybę bei gamybos savikainą.

Raktiniai žodžiai: biokuras, medienos skiedros, būgninis smulkintuvas, skiedrų kokybė, energijos sąnaudos.

Įvadas

Biokuro gamyba yra svarbi mūsų dabartinio gyvenimo infrastruktūrai ieškant atsinaujinančios energijos sprendimų į ekologiškesnę ateitį. Biokuro gamybos apimtys kasmet didėja, t. y. perspektyvi alternatyva įprastiniam iškastiniam kurui (El-Araby, 2024). Biokuro gamybos šaka apima skiedrų gamybą iš likvidinės (raštai) ir nelikvidinės (kirtimo liekanos, šakos, visas medis) medienos bei jos transportavimą į katilines. Atsinaujinančių šaltinių energija yra vis populiareesnė ir saugesnė nei jos alternatyvos, todėl būtina toliau ieškoti būdų bei kurti technologijas šiai gamybos šakai optimizuoti. Pagrindinis įrenginys medienos skiedroms gaminti yra būgninis medienos smulkintuvas (Stolarski ir kt., 2023).

Medienai smulkinti yra naudojami keturių rūšių smulkintuvai. Lietuvoje būgninis medienos smulkintuvas yra populiariausias (Klovas ir kt., 2016). Būgninio medienos smulkintuvo pasirinkimui bei naudojimui turi įtakos matmenys, našumas, transportavimo galimybės. Šie smulkintuvai gali būti naudojami ne tik didelėse gamyklų teritorijose, bet ir kirtavietėse, miško keliukuose.

Būgninio medienos smulkintuvo našumas ir degalų sąnaudos labai priklauso nuo darbo sąlygų, medienos, smulkintuvo techninių parametrų ir operatoriaus kvalifikacijos. Spinelli ir kt. (2019) išnagrinėjo skirtumus tarp trijų būgninių medienos smulkintuvų. Tyrimais buvo nustatyta, jog medienos smulkintuvo našumas tiesiogiai proporcingas degalų sąnaudoms. Kuo daugiau medienos skiedrų pagaminame per tam tikrą laiką vieneta, tuo daugiau degalų suvartojame. Tačiau yra svarbu paminėti jog smulkintuvų kokybiniais rodikliais turi įtakos operatoriai, dėl žmoniškų faktorių smulkintuvų technologinio darbo parametrai kinta. Nudilę peiliai, netinkami smulkintuvo apsisukimai, smulkinamos masės tiekimas taip pat mažina smulkintuvo našumą bei didina degalų sąnaudas. Biokuro skiedrų savikainai turi įtakos žaliavų kokybė, degalų kainos, metų laikas.

Tyrimo tikslas – nustatyti skiedrų, pagamintų būgniniu smulkintuvu, kokybinius rodiklius bei pagrįsti pelningiausią žaliavos rūšį.

Tyrimų metodika

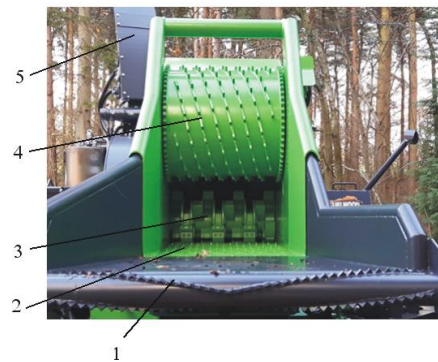
Tyrimams atlikti pasirinktas UAB „Medienos gamyba“ būgninis medienos smulkintuvas „Heizohack 10-500K“ sumontuotas ant MAN TGA.430 sunkvežimio (1 pav. a). Mediena ant 1200 mm ilgio transporterio 1 kraunama „Mesera fl11“ hidrauliniu manipulatoriumi su specialiais šakinio tipo griebtuvais (1 pav. b).

Transporteris 1 tiekia medieną ant 1500 mm ilgio stalo 2, virš kurio įrengtas 800 mm skersmens tiekimo būgnas 4. Tiekimo būgno paviršiuje įrengtos trikampio formos briaunos. Smulkinamai medienai suspausti ir tiekti į smulkinimo aparatą tiekimo būgno padėtis stalo atžvilgiu keičiama hidrauliniiais cilindrais. Medienai smulkinti įrengtas 500 mm skersmens būgnas su prie jo pritvirtintų dešimt (50x45x5 mm) keičiamų peilių. Medieną į smulkinimo aparatą tiekama pro 877 mm pločio ir 500 mm aukščio angą. Smulkinimo aparate mediena remiasi į atramą, o kartu su būgnu besisukantys peiliai ją smulkina tam tikro dydžio skiedromis.

Medienai smulkinti naudojamas 316 kW galios variklis. Skiedrų dydis nustatomas po smulkinimo aparatu pritvirtintais keičiamais sietais. Tyrimams atlikti naudojamas 100x100 mm akučių sietas. Medieną smulkinama 50x45x5 mm peiliais, pagalastais 35 laipsnių kampų. Skiedros į transporto priemonę nukreipiamos vamzdžiu, kurio padėtis gali būti keičiama nuo 3,35 m iki 4,79 m (priklauso nuo važiuoklės ir padangų).



a)



b)

1 pav. „Heizohack 10-500K“ sumontuotas ant MAN TGA.430 sunkvežimio: a – medienos smulkinimas, b – medienos smulkintuvas: 1 – transporteris, 2 – stalas, 3 – smulkinimo būgnas, 4 – tiekimo būgnas, 5 – skiedrų išmetimo vamzdis. (Geratebau + Energiesysteme GmbH, 2024).

Fig. 1. „Heizohack 10-500K“ mounted on MAN TGA.430 truck: a – wood chipping, b – wood chipper, 1 – transporter, 2 – table, 3 – rotor, 4 – feeder, 5 – chute. (Geratebau..., 2024).

Skiedrų išmetimo vamzdis, tiekimo stalas ir transporteris valdomi nuotoliniu būdu. Skiedros buvo gaminamos iš skirtingų rūšių medienos žaliavų:

- malkinė mediena (I, II, III kaitrumos grupės);
- medienos pramonės atliekos;
- kirtimo liekanos iš miško (šviežios, su lapais ir / ar spygliais);
- kirtimo liekanos iš miško (sausos, be žalių lapų ir be žalių spyglių);
- laukų / melioracijos griovių valymo kirtimo mediena (šviežios, su lapais ir / ar spygliais);
- laukų / melioracijos griovių valymo kirtimo mediena (sausos, be žalių lapų ir be žalių spyglių).

Bandymai su skirtingomis medienos žaliavomis buvo kartojami penkis kartus. Kiekvieno pakartojimo metu nustatomos degalų sąnaudos, laikas per kurį prismulkinamas konteineris skiedrų, apskaičiuojamas susmulkintos skiedros tūris, paimamas skiedrų mėginys.

Medienos skiedrų parametrų nustatymas. Mėginiai skiedrų frakcinei sudėčiai nustatyti buvo imami iš 10 skirtingų sampilo vietų į 15 litrų talpą, kurioje skiedros sumaišomos ir įdedamos į DEPOSAFE B-4+ hermetiškus maišelius. Frakcinei sudėčiai nustatyti buvo imamas 300 g skiedrų ėminys. Ant kiekvieno maišelio užrašomas pakartojimas, žaliavos rūšis, data, vieta. Skiedrų frakcijų nustatymui buvo naudojamas „Haver & Boecker EML 450 Digital Plus“ sijotuvai. Sijotuve buvo įrengti 63 mm, 45 mm, 16 mm, 8 mm, 3,15 mm, 1 mm, skylutėmis sietai. Skiedros buvo sijojamos 1 minutę, 10 sekundžių intervalais, sietų švytavimo amplitudė 1 cm. Skiedros buvo nustatomos jas sijojant pro sietus su skirtingo skersmens skylutėmis vadovaujantis LST EN ISO 17827-1 standarto reikalavimais. Skiedrų dalelės, kurios prakrenta pro 3,15 mm skersmens skylučių sietus vadinamos smulkelėmis. Pro 63 mm skersmens skylutes prakritusios ir pro 3,15 mm skersmens skylutes neprakritusios skiedros sudaro $3,15 \text{ mm} \leq P \leq 63 \text{ mm}$ pagrindinę frakciją. Smulkiųjų frakcijos kiekis nustatomas pagal biokuro kiekį, kuris prakrenta pro 3,15 mm skersmens skylutėmis sietą. Kiekviena skiedrų frakcija pasveriamas. Gauti duomenys lyginami su (Prekybos..., 2024) reglamente pateiktais reikalavimais skirtingai biokuro rūšiai.

Medienos skiedrų drėgnis buvo nustatytas laboratorijoje. Į indelius pripiltos tyrime naudotos medienos skiedros buvo pasvertos ir įdėtos su indeliais į džiovinimo spintą. Stintoje 105 °C temperatūroje skiedrų ėminiai buvo džiovinami iki pastovios masės. Iš indelių išimtos medienos skiedros buvo sveriamos ir apskaičiuojamas medienos skiedrų drėgnis. Medienos skiedrų drėgnis nustatytas atliekant ne mažiau kaip tris pakartojimus.

Biokuro šilumingumas nustatytas siekiant ištirti šio kuro energetinę vertę ir tinkamumą naudoti deginimo įrenginiuose nustatomas kalorimetru IKA C5003C.

Biokuro peleningumui, lakiosioms frakcijoms, jų cheminei sudėčiai analizuoti bei būsenos virsmams tirti, buvo naudojama: termogravimetras TGA 4000, dujų chromatografas „Clarus 680“, masių spektrometras „Clarus 600 T“, diferencinis skenuojamasis kalorimetras DSC 8500.

Smulkintuvo našumo nustatymas. Būgniniame medienos smulkintuve yra sumontuoti sūkių dažnio, degalų ir darbo laiko matuokliai. Medienos smulkintuvo našumas buvo nustatomas smulkinant skirtingo tipo medienos žaliavas į slankiojančių grindų puspriekabės konteinerį, kurio talpa 90 m³. Reikalingi kriterijai yra

vidutinis vieno konteinerio smulkinimo laikas ir degalų suvartojimas smulkinant vieną konteinerį. Tai pakartojama penkis kartus su kiekvieno tipo žaliava.

Sunaudotą degalų kiekį nustatysime naudodamiesi MAN TGA.430 rodikliu, rodančiu degalų lygį. Kadangi šis daviklis rodo degalų kiekį proporcingai degalų bako dydžiui, svarbu yra žinoti, jog degalų bako tūris yra 400 dm³. Smulkinimo laikas buvo nustatomas laikmačiu.

Pelningiausios medienos rūšies nustatymas skiedrų gamybai. Pelningiausią medienos rūšį susmulkinę į skiedras nustatysime žinodami žaliavos kainą, pardavimo kainą, medienos smulkinimo kaštus, skiedrų kokybę. Transportavimo, smulkintuvo amortizacijos kaštų neskaičiuosime, nes jie skirsi neženkliai tarp visų medienos rūšių.

Žaliavos kainą nustatysime pagal EMPS (Elektroninė medienos pardavimų sistema), kurioje prekiaujama VMU (Valstybinė miškų urėdija) disponuojama mediena. Pasirinksime 2024 metų ilgalaikių sutarčių pirmo ir antro pusmečio vidutines kainas. Laukų / melioracijos griovių valymo kirtimo medienos ir medienos pramonės atliekų vidutinę kainą nustatysime pasinaudoję tiriamos įmonės buhalteriniais duomenimis, nes VMU tokiais produktais neprekiauja.

Žaliavos kiekis buvo nustatytas VMU atstovo, kuris perduoda žaliavą, matavimo vienetas kietmetris. Medienos pramonės atliekų ir laukų/melioracijos griovių žaliavų kiekis nustatomas pagal konteinerio tūrį, matavimo vienetas erdmetris (tūris). Konvertavimui iš kietmetro į erdmetrį pritaikysime 0,35 koeficientą.

Skiedros pardavimo kaina buvo nustatyta pagal 2024 metų „Baltpool“ biokuro biržos pardavimų kainas (Biokuro..., 2024). Medienos smulkinimo kaštus kiekvienai medienos rūšiai nustatėme iš smulkintuvo našumo ir degalų sąnaudų. Šiuos duomenis panaudosime apskaičiuodami išlaidas degalams kiekvienai medienos rūšiai. Smulkinimo sąnaudoms apskaičiuoti bus reikalinga 2024 metų vidutinė metinė dyzelino kaina. Skiedrų kokybė turi tiesioginę įtaką gautam kuro kiekiui (MWh), o tai turi įtaką bendrai skiedrų kainai. Skiedros bus transportuojamos į šilumos tiekėjo sandėlį, norint gauti krovinio svorį. Skiedrų kokybė bus nustatoma ištyrus skiedros mėginį laboratorijoje imant ėminius iš kiekvieno pakartojimo.

Gavę galutinę pardavimo sumą iš jos atimsime žaliavos pirkimo kainą ir smulkinimo sąnaudas.

Rezultatai ir aptarimas

Skirtingų medienos rūšių smulkinimas vyko nuo 2025 metų rugpjūčio 18 d. iki rugsėjo 5 d. Oro sąlygos buvo palankios, vidutinė oro temperatūra apie 22 °C. Per visą tyrimų laikotarpį smulkintuvo peiliai buvo keičiami du kartus, siekiant užtikrinti vienodas medienos žaliavos smulkinimo sąlygas. Smulkinimo būgnas sūkių dažnis buvo 700 min⁻¹, smulkinimo aparato apkrova kito priklausomai nuo tiekiamo žaliavos kiekio. Smulkinant medienos žaliavas labai svarbu užtikrinti medienos skiedrų frakcinę sudėtį.

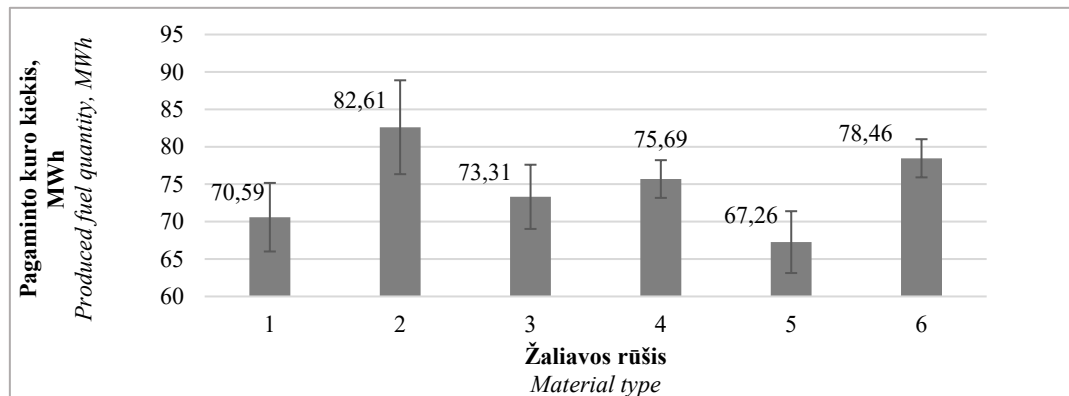
1 lentelė. Frakcijos atitikimas biokuro kategorijai
Table. 1 Fraction compliance with biofuel categories

Žaliavos rūšis <i>Material type</i>	Biokuro kategorija <i>Biofuel category</i>	Smulkiųjų frakcijos <i>Fine fraction</i> (<3,15 mm), %	Pagrindinė frakcija <i>Main fraction</i> 3,15 mm ≤ P ≤ 63 mm), %	Stambioji frakcija <i>Large fraction</i> (>100 mm), %	Tinkamumas <i>Compliance</i>
Kirtimo liekanos (šviežios) <i>Logging residues (fresh)</i>	SM3	11,15±1,57	88,46±1,83	0,27±0,76	Atitinka <i>Complies</i>
Kirtimo liekanos (sausos) <i>Logging residues (dry)</i>	SM3D	10,63±3,54	88,02±4	0	Atitinka <i>Complies</i>
Laukų valymo (šviežia) <i>Field clearing (fresh)</i>	SM3	5,16±3,09	93,80±3,71	0	Atitinka <i>Complies</i>
Laukų valymo (sausas) <i>Field clearing (dry)</i>	SM2	6,21±2,37	93,73±2,48	0	Atitinka <i>Complies</i>
Medienos pramonės atliekos <i>Wood industry residue</i>	SM1W	4,5±0,92	95,05±0,86	0	Atitinka <i>Complies</i>
Malkinė mediena <i>Firewood</i>	SM1	4,14±1,68	95,71±2,71	0	Neatitinka <i>Does not comply</i>

Frakcijos tinkamumas nustatomas pagal (Prekybos..., 2024) nurodytus reikalavimus. Visos susmulkintos žaliavos rūšys atitinka pagrindinės frakcijos ir stambiosios frakcijos reikalavimus. Smulkiųjų frakcijos reikalavimų neatitiko tik viena susmulkintos žaliavos rūšis – malkinė mediena. Smulkiųjų frakcijos dalis buvo 2,13 % didesnė negu leistina, nes malkinė mediena smulkinimo metu buvo pakankamai sausa, dalis patrešus, todėl labiau dulkęjo smulkinimo metu. Dalis žaliavos buvo 50–70 mm skersmens, todėl žievė sudarė didelę

dalį medienos, kas turėjo įtakos smulkelių didesniai kiekiui bendroje masėje. Frakcijos dydis nedarė įtakos pelningumui.

Didžiausias kuro kiekis buvo gautas iš laukų / melioracijos griovių valymo kirtimo medienos (sausos, be žalių lapų ir be žalių spyglių) (2 pav.). Didžiausią įtaką kuro kiekiui turi drėgnis. Lyginant su laukų/melioracijos griovių valymo kirtimo mediena (šviežia), sausos žaliavos vidutinis drėgnis buvo apie 21,5 % mažesnis. Malkinės medienos smulkinimo vidutinė trukmė buvo 40,8 min. Ilgiausiai užtruko kirtimo liekanų iš miško (šviežios, su lapais ir / ar spygliais), vidutinis laikas buvo apie 100 min. Smulkinimo laiką labiausiai įtakoja žaliavos stambumas, šakotumas ir drėgnis. Stambią žaliavą patogiau tiekti į smulkintuvą, sumažėja papildomų hidraulinio manipulatoriaus operacijų. Smulkinant šakotą žaliavą mažėja smulkintuvo našumas dėl sudėtingesnio tiekimo, smulkinama žaliava netelpa ant tiekimo stalo, ją reikia papildomai pastumti link smulkinimo aparato. Taip pat smulkintuvo darbo kokybei turi įtakos smulkinamos žaliavos drėgnis, nes smulkios dalelės dėl išsiskyrusių sulčių prilimpa prie darbinių paviršių, didėja degalų sąnaudos bei smulkinimo laikas.



2 pav. Pagaminto biokuro kiekis, MWh. 1 – laukų / melioracijos griovių valymo kirtimo mediena (šviežios, su lapais ir / ar spygliais); 2 – laukų / melioracijos griovių valymo kirtimo mediena (sausos, be žalių lapų ir be žalių spyglių); 3 – kirtimo liekanos iš miško (šviežios, su lapais ir/ar spygliais); 4 – kirtimo liekanos iš miško (sausos, be žalių lapų ir be žalių spyglių); 5 – malkinė mediena; 6 – medienos pramonės atliekos

Fig. 2 Produced biofuel quantity, MWh. 1 – Field clearing (fresh); 2 – Field clearing (dry); 3 – Logging residues (fresh); 4 – Logging residues (dry); 5 – firewood; 6 – Wood industry residue

Smulkinant malkinę medieną drėgnis daro mažesnę įtaką dėl stambesnių skiedrų ir mažesnio smulkelių kiekio, kurias sudaro medienos žievės, lapų ar spyglių dalelės.

Smulkinant sausas ir šviežias kirtimo liekanas iš miško svarbu atkreipti dėmesį į laikotarpį kada jos buvo sandėliuotos. Šlapiu metų laiku šios kirtimo liekanos dėl didelės drėgnio tampa labai kibios, todėl joms smulkinti reikia daugiau laiko bei didesnių degalų sąnaudų. Pagaminamas prastesnės kokybės kuras. Sausuoju metu laikotarpiu smulkinant medienos žaliavą susidaro daug dulkių, kurios sukelia smulkintuvo aušinimo problemų. Tačiau mažiau dulkių patenka į medienos skiedrų konteinerį, todėl pagaminamas geresnės kokybės kuras, mažėja pelningumas. Medienos žaliavos sandėliavimui svarbu, kad nebūtų užuovėjos. Vėjas ir saulė džiovina žaliavą tarpiniame sandėlyje ir pagerina kuro kokybę. Tačiau tokias sandėliavimo vietas miške rasti sudėtinga, todėl stengiamasi medienos žaliavas sandėliuoti kuo trumpesnį laiką.

Laukų valymo atliekas dažniausiai įmanoma sandėliuoti vietovėse, kurios vėjuotos ir atviros. Šis aspektas lemia, geresnę žaliavos kokybę. Geresnė žaliavos kokybė lemia mažesnes degalų sąnaudas ir trumpesnį smulkinimo laiką.

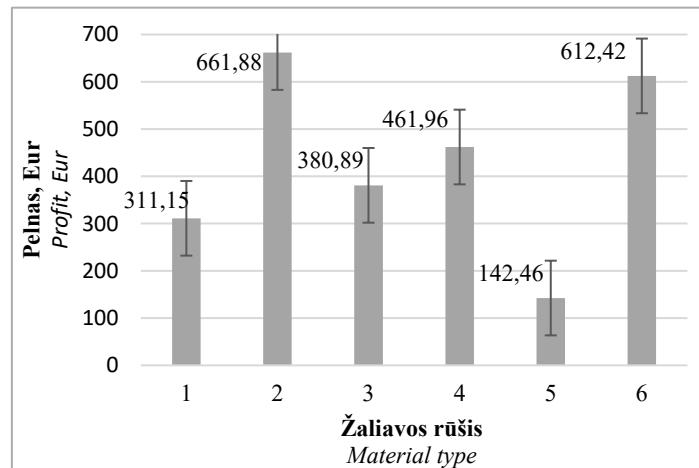
Tyrimais nustatyta, kad dyzelinių degalų sąnaudos buvo tiesiogiai proporcingos medienos skirtingų medienos rūšių smulkinimo laikui. Malkinei medienai ir medienos pramonės atliekoms smulkinti vidutinės degalų išlaidos buvo apie 64 Eur, o kirtimo liekanoms iš miško (šviežios, su lapais ir / ar spygliais) buvo apie 1,6 karto didesnės.

Pelningiausios žaliavos nustatymas. Analizuojanti gautus duomenis iš (Apžvalgos..., 2024) apžvalgų ir tiekimų kainų matoma aiški kainų priklausomybė nuo metų laikų ir aplinkos sąlygų.

2024 metų pramonės atliekų vidutinė metinė kaina buvo 12,3 Eur/erdm. Ši žaliava skirta SM1W kategorijos biokuro gamybai. Laukų valymo atliekų vidutinė metinė kaina sudarė 10,51 Eur/erdm. Ši žaliava skirta SM2, SM3 ir SM3D kategorijų biokuro gamybai. Duomenys rinkti iš tiriamos įmonės buhalterinių dokumentų. 2024 m. vidutinė didmeninė dyzelinių degalų kaina buvo 1,48 Eur/l (Degalų..., 2024).

Tyrimais nustatyta, kad didžiausias pelnas 661,88 Eur. buvo gautas už vieną konteinerį biokuro iš laukų / melioracijos griovių valymo kirtimo medienos (sausos, be žalių lapų ir be žalių spyglių) žaliavos. Antroje

vietoje medienos pramonės atliekos 612,42 Eur, trečioje – kirtimo liekanos iš miško (sausos, be žalių lapų ir be žalių spyglių) 461,96 Eur.



3 pav. Pelnas, gautas iš vieno nuvežto konteinerio į supirkimo vieta (katilinę), Eur. 1 – laukų / melioracijos griovių valymo kirtimo mediena (šviežios, su lapais ir / ar spygliais); 2 – laukų / melioracijos griovių valymo kirtimo mediena (sausos, be žalių lapų ir be žalių spyglių); 3 – kirtimo liekanos iš miško (šviežios, su lapais ir / ar spygliais); 4 – kirtimo liekanos iš miško (sausos, be žalių lapų ir be žalių spyglių); 5 – malkinė mediena; 6 – medienos pramonės atliekos

Fig. 3 Profit from one delivered container to heating plant, Eur. 1 – Field clearing (fresh); 2 – Field clearing (dry); 3 – Logging residues (fresh); 4 – Logging residues (dry); 5 – firewood; 6 – Wood industry residue

Svarbu paminėti, kad laukų / melioracijos griovių valymo kirtimo medienos (sausos, be žalių lapų ir be žalių spyglių) ir kirtimo liekanos iš miško (sausos, be žalių lapų ir be žalių spyglių) yra dažniau sutinkamos sausuosiu metų laikotarpiu. Medienos pramonės atliekos yra naudojamos tolesnėje medienos pramonės gamyboje, tai lemia šios žaliavos stygių biokuro gamybai.

Mažiausiai pelno generuoja smulkinta malkinė mediena, tačiau šios žaliavos kokybę mažai įtakoja metų laikotarpis, kas leidžia lengviau prognozuoti rinką.

Laukų / melioracijos griovių valymo kirtimo mediena (šviežios, su lapais ir / ar spygliais) generuoja 311,15 Eur pelno ir kirtimo liekanos iš miško (šviežios, su lapais ir / ar spygliais) generuoja 380,89 Eur pelno. Šios žaliavos rūšys yra prieinamos bet kuriuo metų laikotarpiu. Tai lemia didelį kiekį rinkoje ir pastovumą, tačiau mažesnę piniginę naudą negu sausos žaliavos. Šias žaliavas galima iškart realizuoti po kirtimo, kitu atveju tenka laukti, kol žaliava natūraliai išdžius.

Išvados

1. Tyrimais nustatyta, kad daugiausia laiko užtruko kirtimo liekanų iš miško (šviežios, su lapais ir / ar spygliais) smulkinimas, todėl ir degalų sąnaudos buvo didžiausios 94,72 l. Malkinė mediena smulkinama greičiau, todėl degalų sąnaudos sudarė apie 142,46 Eur. Medienos skiedrų kaina ir paklausa didesnė šaltuoju metų laiku.
2. Pelningiausia smulkinti laukų / melioracijos griovių kirtimo medienos žaliavą (sausą, be žalių lapų ir be žalių spyglių), pelnas siekė apie 661,88 Eur. Medienos žaliavos drėgnis turi didelę įtaką galutinei pardavimo kainai.
3. Būgninis smulkintuvas „Heizohack 10-500k“ technologiniai parametrai leido smulkinti medienos žaliavas tenkinant keliamus reikalavimus.

Literatūra

1. Stolarski, J., Wierzbicki, S., Nitkiewicz, S., Stolarski, M. J. (2023) Wood Chip Production Efficiency Depending on Chipper Type. *Energies*, 6(13).
2. El-Araby, R. (2024). Biofuel production: exploring renewable energy solutions for a greener future Biotechnology for Biofuels and Bioproducts – A Review. *Biotechnology for Biofuels and Bioproducts*. <https://doi.org/10.1186/s13068-024-02571-9>.
3. Klovas, R., Tebėra, A., Voveris, D. (2016). Viso medžio smulkinimo biokurui technologijos parengimas ir rekomendacijos šios technologijos įdiegimui Lietuvos miškų ūkyje. [Žiūrėta 2024 11 27]. Prieiga per internetą: <https://am.lrv.lt/uploads/am/documents/files/Mi%C5%A1ko%20mokslo%20darbai/Viso%20med%C5%A2>

66

BEio%20smulkinimo%20biokurui%20technologijos%20parengimas%20ir%20rekomendacijos%20%C5%A1ios%20technologijos.pdf

4. Baltpool UAB. (2024). *Prekybos biokuro produktais sąlygos*. [Žiūrėta 2024 11 27]. <https://www.baltpool.eu/wp-content/uploads/2015/08/prekybos-salygos-lt-2024-08-14.pdf>
5. Geratebau + Energiesysteme GmbH (2024). Professional woodchippers for hand and crane feeding. [Žiūrėta 2024 11 27]. <https://www.heizomat.de/images/kataloge/en/heizohack/mobile/index.html>
6. Spinelli, R., Marchi, E. (2019). *Trends and perspectives in the design of mobile wood chippers*. [Žiūrėta 2024 11 27]. <https://hrcak.srce.hr/en/file/370940>
7. Jasinskas, A., Steponavičius, D., Šarauskius, E., Šniauka, P., Vaiciukevičius, E., Zinkevičius, R. (2010). *Žemės ūkio mašinų laboratoriniai darbai*, Akademija, 110 p.
8. Baltpool UAB (2024). *Biokuro tiekimo kainos*. [Žiūrėta 2024 12 01]. <https://e.baltpool.eu/biomass/?ti=4397245&bp=biopriceforperiod>
9. Lietuvos energetikos agentūra. (2024). *Degalų kainų pokyčiai*. [žiūrėta 2025 08 14]. <https://www.ena.lt/uploads/Degalu-kainos-pokyciai/2024/Degalu-kainu-pokyciai-2024-10-03.pdf>
10. Baltpool UAB. (2024). *Apžvalgos*. [žiūrėta 2025 08 15]. <https://www.baltpool.eu/apzvalgos/>

Kipras Karpinas, Edvardas Vaiciukevičius, Algirdas Jasinskas

Research on Wood Chipping Using a Drum Chipper

Vytautas Magnus University, Lithuania

Biofuel production from renewable energy sources is increasingly popular and safer than its alternatives, therefore it is important for the infrastructure of our lives. In Lithuania, biofuel production is carried out from liquid and illiquid wood, the properties of which and energy costs for producing chips differ. Drum wood chippers are the most common in Lithuania, with small dimensions, convenient transportation, and high productivity. These chippers can be used not only in the territories of large factories, but also in logging areas and forest roads, therefore it is very important to justify the rational operating parameters of the drum chipper.

The research was conducted at UAB "Medienos gamyba" by shredding different wood with a drum chipper Heizohack 10-500K. The research found that when shredding wood of different composition and structure, the energy parameters of the chipper differ, which affect the quality of production and the cost of production.

Keywords: Biofuel, wood chips, drum chipper, chip quality, energy costs.

Gauta 2026 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2026 m. balandžio mėn.

Kipras KARPINAS. 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. +370 622 66553, el. paštas: kipras.karpinas@stud.vdu.lt

Kipras KARPINAS. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, mgs student. Address: Studentų g. 15a, LT-53362, Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 622 66553, e-mail: kipras.karpinas@stud.vdu.lt

Edvardas VAICIUKEVIČIUS. VDU ŽŪA Inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedros docentas. Adresas: Studentų g. 15a, LT-53362, Akademija, Kauno r., tel. +370 615 93865, el. paštas: Edvardas.Vaiciukevicius@vdu.lt

Edvardas VAICIUKEVIČIUS. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, assoc. professor. Address: Studentų g. 15a, LT-53362, Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 615 93865, el. paštas: Edvardas.Vaiciukevicius@vdu.lt

Algirdas JASINSKAS. VDU ŽŪA Inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedros profesorius. Adresas: Studentų g. 15a, LT-53362, Akademija, Kauno r., tel. +370 612 04002, el. paštas: algirdas.jasinskas@vdu.lt

Algirdas JASINSKAS. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, professor. Address: Studentų g. 15a, LT-53362, Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 612 04002, e-mail: Algirdas.jasinskas@vdu.lt

EKSPERIMENTINIŲ TRĄŠŲ, PAGAMINTŲ NAUDOJANT BIOANGLIS, FIZIKINIŲ-MECHANINIŲ SAVYBIŲ TYRIMAI

Agnė Kralikienė, Eglė Jotautienė, Ramūnas Mioldažys, Edvardas Vaiciukevičius

Vytauto Didžiojo universitetas

Bioanglies pagrindu pagamintos trąšos prisideda prie tvarios žemdirbystės, gerinant dirvožemio kokybę ir mažinant maistinių medžiagų išplovimą dirvožemyje. Granuliuotų trąšų fizikinių-mechaninių savybių tyrimai prisideda prie kokybiškų, efektyvių trąšų kūrimo bei skatina aplinkai draugiškas inovacijas. Šio tyrimo tikslas – palyginti pagrindines tiriamų eksperimentinių trąšų granulių, pagamintų naudojant bioanglį bei vištų mėšlą, fizikines-mechanines savybes. Tirta granulės pagamintos tokiais bioanglies ir mėšlo santykiais: 1 dalis medžio anglis + 1 dalis vištų mėšlo (santykis 50/50), 1 dalis bioanglies + 4 dalys vištų mėšlo (santykis 25/75). Gauti rezultatai parodė, kad bioanglis trąšose sumažino tirtų granulių tankį. Didžiausias drėgnio imlumas buvo vištų mėšlo granulės ($0,22 \pm 0,01$ % po 30 s). Nustatyta, kad visų rūšių tirtos granulės buvo pakankamai stiprios, užfiksuota ne mažesnė kaip 308 N jėga horizontalia kryptimi, kas turėtų užtikrinti gerą jų tvarkymą, sandėliavimą, transportavimą bei skleidimą dirvose.

Raktiniai žodžiai: trąšų granulės, bioanglis, vištų mėšlas, fizinės-mechaninės savybės.

Įvadas

Pastaraisiais dešimtmečiais, siekiant tvarios žemdirbystės ir žiedinės bioekonomikos tikslų, vis daugiau dėmesio skiriama bioanglies panaudojimui trąšų gamyboje. Bioanglis – tai anglinga medžiaga, gaunama biomasę termochemiškai apdorojant riboto deguonies sąlygomis, pasižyminti didele poringumo struktūra ir sorbcinėmis savybėmis. Dėl šių savybių bioanglis plačiai taikoma dirvožemio gerinimui, maisto medžiagų išplovimo mažinimui bei vandens sulaikymo didinimui.

Bioanglies pagrindu sukurtos trąšos vertinamos kaip perspektyvi lėtai veikiančių trąšų grupė, galinti pagerinti dirvožemio fizines, chemines ir biologines savybes bei padidinti maisto medžiagų panaudojimo efektyvumą (Luo ir kt., 2025). Bioanglies porėta struktūra didina dirvožemio poringumą, skatina agregatų formavimąsi ir gerina vandens sulaikymo gebą, todėl sudaromos palankesnės sąlygos augalų augimui (Luo ir kt., 2025; Adekiya ir kt., 2025). Be to, maistinėmis medžiagomis prisotinta bioanglis gali veikti kaip lėtai išsiskiriantis trąšų nešiklis, užtikrinantis tolygesnį elementų tiekimą augalams (Premalatha ir kt., 2023).

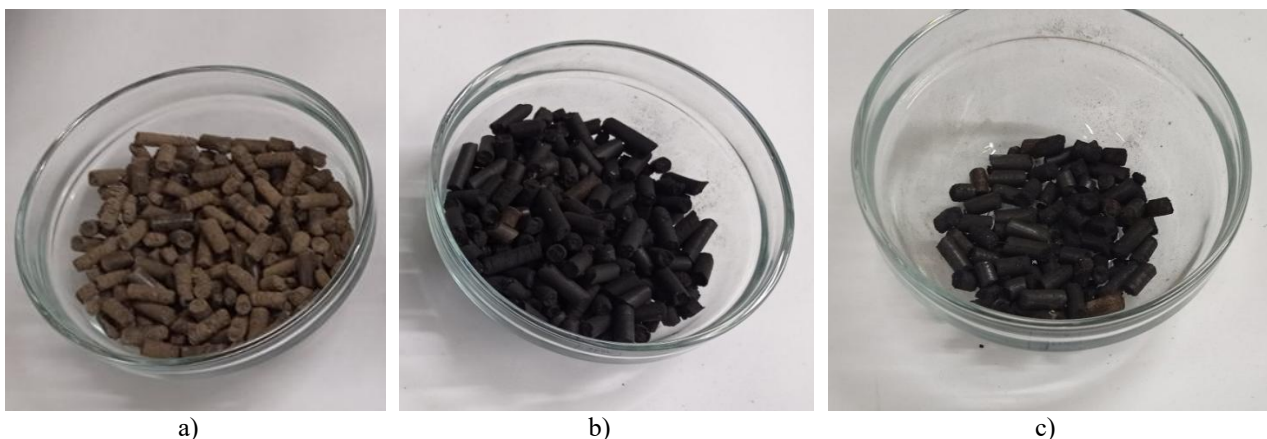
Nepaisant agronominių privalumų, praktiniam bioanglies trąšų taikymui itin svarbios jų fizinės-mechaninės savybės – granulių stipris, tankis, birumas, atsparumas drėgmei ir trupėjimui. Šie rodikliai lemia trąšų transportavimo, sandėliavimo, dozavimo ir paskleidimo kokybę. Tyrimai rodo, kad granuliuojant bioanglies pagrindu pagamintas trąšas būtina optimizuoti rišiklius ir technologinius režimus, nes dažna problema yra nepakankamas granulių mechaninis tvirtumas ir atsparumas vandeniui (Chen ir kt., 2025). Eksperimentiniai darbai su mėšlo ir bioanglies granulėmis parodė, kad būtina vertinti tokius parametrus kaip drėgnis, tūrinis tankis, fracinė sudėtis ir gniuždomasis stipris, nes jie tiesiogiai susiję su produkto kokybe ir technologiniu tinkamumu (Jotautienė ir kt., 2021).

Mokslinėje literatūroje pabrėžiama, kad bioanglies savybės ir iš jos pagamintų trąšų fizikiniai-mechaniniai rodikliai labai priklauso nuo žaliavos rūšies, pirolizės temperatūros, dalelių dydžio bei granuliuojimo technologijos (Premalatha ir kt., 2023; Dayoub ir kt., 2024). Todėl sistemingi šių savybių tyrimai yra būtini siekiant sukurti stabilias, mechaniškai atsparias ir agronomiškai efektyvias bioanglies pagrindu pagamintas trąšas.

Atsižvelgiant į tai, šio darbo aktualumas grindžiamas poreikiu išsamiai ištirti bioanglies trąšų fizines-mechanines savybes ir nustatyti veiksnius, lemiančius jų kokybę bei praktinį pritaikomumą žemės ūkyje. Šio tyrimo tikslas – palyginti pagrindines eksperimentinių granulių, naudojant bioanglį, fizikines-mechanines savybes su granulėmis pagamintomis iš vištų mėšlo.

Tyrimų metodika

Tyrimams pasirinkta VDU ŽŪA Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedroje pagamintos eksperimentinės vištų mėšlo ir bioanglies granulės. Granulės buvo pagamintos iš gryno vištų mėšlo (1MC), naudojant 4 dalis vištų mėšlo ir 1 dalį medžio anglies (santykis 75/25; 3MC) bei naudojant 1 dalį vištų mėšlo ir 1 dalį medžio anglies (santykis 50/50; 4MC) (1 pav.). Paukščių mėšlas eksperimentinių granulių gamybai buvo įsigytas iš pramoninės paukštininkystės įmonės Kaišiadorių rajone (Lietuva). Bioanglis buvo gauta iš grilio anglies gamybos įmonės „Cocos LT“ Ukmergės rajone.



1 pav. Granulių rūšys: a) 1MC; b) 3MC; c) 4MC
Fig. 1. Types of granules: a) 1MC; b) 3MC; c) 4MC

Granulių drėgnis buvo nustatytas pagal standartinę metodiką (EN 12048:1996). Mėginiai pasverti ir džiovinami 24 valandas laboratorinėje džiovinimo kameroje, temperatūra 105 °C. Tyrimui naudotos svarstyklės KERN ABJ (Vokietija), tikslumas 0,01 g. Atlikti 3 pakartojimai.

Granulių ilgio, skersmens ir svorio nustatymui atsitiktine tvarka bus atrinkta dešimt kiekvieno mėginio tipo granulių. Tirtų granulių mėginių tankis apskaičiuotas pagal ISO 18847:2016 standarto metodiką. Cilindrinų granulių parametrai nustatyti išmatavus jų ilgį ir skersmenį elektroniniu slankmačiu LIMIT 150 mm (tikslumas – 0,01 mm). Granulių svoris buvo nustatytas svarstyklėmis KERN ABJ (Vokietija).

Gniuždymo jėgos ir deformacijų nustatymui naudota medžiagų savybių tyrimų mašina „Instron 5960“ su „Bluehill“ programine įranga. Duomenis galima įrašyti į Microsoft Office Excel, Word ar PDF formatu. Prieš bandymą įranga buvo testuojama. Granulės gniuždymas buvo atliekamas dviem būdais: vertikaliai ir horizontaliai. Granulės buvo gniuždomos tol, kol bandinys suyra. Kiekvienos cilindrinės granulės skersmuo ir aukštis buvo išmatuoti prieš bandymą ir tyrimui buvo parinktos granulės, kurių aukščio ir skersmens santykis didesnis nei 2:1. Granulės buvo išdėstytos horizontaliai ant plokštelės ir atskirai suspaudžiamos, kol pasiekiamas granulės lūžimas. Granulė spaudžiama pusiau statine jėga 20 mm min⁻¹ greičiu. Matavimo paklaida 0,02 %. Granulės gniuždymo stipris (N) buvo fiksuotas kaip didžiausia jėga, suspaudžiant granulę prieš lūžimą. Bandymai kartoti 5 kartus su kiekviena granulių rūšimi.

Atsparumas drėgniui įvertintas naudojant drėgnio imlumo indeksą (WI). Šis indeksas rodo granulių absorbuoto vandens kiekį bei granulių irimą. Priklausomai nuo naudojamų žaliavinių medžiagų granulės linkusios sugerti drėgmę, kai laikomos drėgnomis arba šlapiomis sąlygomis. Ilgalais drėgmės sugėrimas susilpnina granulių atsparumą pelėsio dauginimuisi, tai turi įtakos sandėliavimo sąlygoms, bei granulių elgsenai dirvos paviršiuje. Tyrimų metu granulė buvo pasverta ir panardinta į vandenį iki 30 s. Granulės tirpimo procesas buvo fiksuotas fotokamera. Granulės prieš panardinant į vandenį buvo pasvertos svarstyklėmis (tikslumas – 0,01 g.). Panardinus, granulė buvo dar kartą pasverta ir WI buvo apskaičiuotas kaip granulės svorio skirtumas procentais prieš ir po panardinimo lyginant su pradiniu svoriu (Papandrea ir kt., 2021). Eksperimentas buvo pakartotas identiškomis sąlygomis kaip nurodyta tyrime, pailginus proceso laiką iki 5 min. Atlikti 3 pakartojimai. Drėgnio imlumo indeksas (WI) apskaičiuojamas pagal formulę:

$$WI = \frac{M_f - M_i}{M_i}, \quad (1)$$

čia M_f – granulės masė po panardinimo į vandenį, g;
 M_i – pradinė granulės masė prieš panardinant į vandenį, g.

Tyrimų duomenys įvertinti dispersinės analizės metodu. Statistiniam rezultatų apdorojimui naudojama „MS Office Excel“. Gauti eksperimentiniai duomenys vidurkinami, randamos vidutinės reikšmės ir vidutinės reikšmės su 95 % vidurčio pasikliautiniu intervalu (PI) ir mažiausiu reikšmingu skirtumu LSD05 buvo apskaičiuotos naudojant t testą, kai tikimybė $p \leq 0,05$ (Olsson ir kt., 2000).

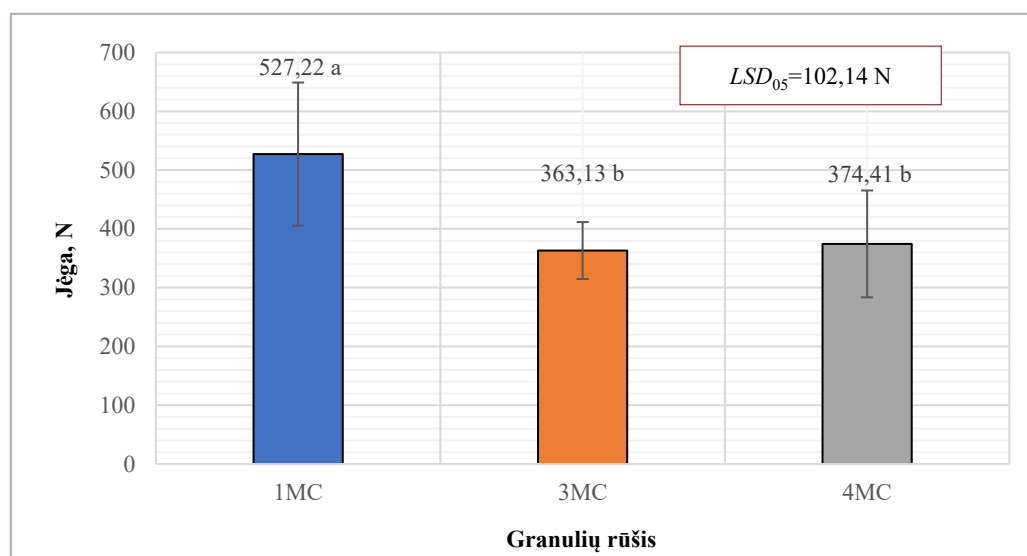
Rezultatai ir aptarimas

Tyrimo metu buvo atsitiktinai atrinkamos pagamintos granulės ir toliau nustatomi jų matmenys, masė, tūris ir tankis. Reikia pažymėti kad organinėms granuliuotoms trąšoms nėra nustatyta kokybiniai reikalavimai standartuose, kaip kad, tarkime biokuro ar pašarų granulėms, bet nustatymo metodai dėl granulės formos buvo pritaikyti ir organinėms trąšų granulėms. Matmenys nustatomi naudojant slankmatį, juo pamatuojamas granulės ilgis ir skersmuo. Šių tyrimų rezultatai pateikti 1 lentelėje.

1 lentelė. Pagrindiniai tiriamų granulių parametrai**Table 1.** Main parameters of the tested granules

Granulių rūšis <i>Types of granules</i>	Granulių parametrai <i>Granules parameters</i>				
	Skersmuo <i>d</i> , mm <i>Diameter d</i> mm	Ilgis, <i>l</i> , mm <i>Length, l</i> mm	Masė, g <i>Mass, g</i>	Drėgnis, % <i>Moisture, %</i>	Tankis, kg·m ⁻³ <i>Density, kg·m⁻³</i>
1MC	5,92 ± 0,24	12,18 ± 0,74	0,55 ± 0,08	9,39 ± 1,0	1609,01 ± 80,71
3MC	6,04 ± 0,06	13,40 ± 0,60	0,56 ± 0,03	8,62 ± 0,1	1470,22 ± 69,99
4MC	6,05 ± 0,04	13,28 ± 0,91	0,52 ± 0,06	9,16 ± 1,64	1369,43 ± 110,37

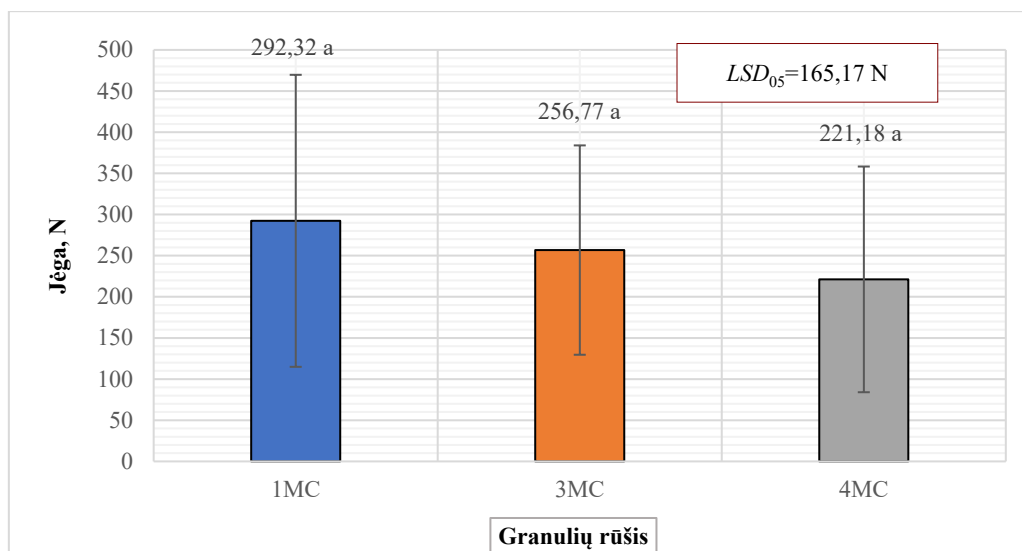
Nustatyta, kad visos granuliuotos trąšos buvo $6,05 \pm 0,04$ mm skersmens. Vidutinis granulių ilgis buvo $13,40 \pm 0,60$ mm (3MC mėginių atveju). Didžiausias tankis nustatytas vištų mėšlo 1MC granulėms – $1609,01 \pm 80,71$ kg·m⁻³, o mažiausias 4MC atveju – $1369,43 \pm 110,37$ kg·m⁻³ (1 lentelė). Galima teigti, kad bioanglies priedas sumažino tirtų granulių tankį. Gauti tankio rezultatai panašūs lyginant su kitų mokslininkų duomenimis: kiaulių mėšlo granulių, pagamintų iš džiovinto kiaulių mėšlo (pridėjus 10 % vandens), tankio vertės buvo atitinkamai – $1407,23$ kg·m⁻³, o pagamintų iš džiovinto kiaulių mėšlo pridedant 20 % vandens – $1363,04$ kg·m⁻³ (Kažimírová ir kt., 2020).

**2 pav.** 1MC, 3MC ir 4MC granulių atsparumo horizontalioje padėtyje gniuždymui palyginimas**Fig. 2.** Comparison of horizontal compressive strength of 1MC, 3MC and 4MC granules

Atlikus *t* testą nustatyta, kad statistiškai patikimo esminio skirtumo nėra tarp 3MC ir 4MC serijų granulių, jas gniuždant horizontalia kryptimi (2 pav.). Taip pat galima teigti, kad pridedant prie vištų mėšlo 25 % ar 50 % medžio anglies, pagamintų granulių atsparumas gniuždymui esmingai mažėja.

Esminio skirtumo nepastabėta ir tarp 1MC, 3MC ir 4MC granulių atsparumo gniuždymui vertikalioje padėtyje tyrime. Minėtos granulių rūšys savo mechaninio stabilumo savybėmis esmingai nesiskiria, jas gniuždant vertikalia kryptimi, nors didžiausią vidutinę reikšmę pasiekė vištų mėšlo (1MC serijos) granulės – $292,32 \pm 177,41$ N (2 pav.).

Galima teigti, kad visos tirtos granulės turėtų užtikrinti tinkamą jų tvarkymą, sandėliavimą, transportavimą bei skleidimą dirvose. Palyginti su kitų mokslininkų bandytomis organinėmis granulėmis, išbandytos eksperimentinės granulės buvo stipresnės. Kitų tyrėjų organinių granulių stiprumo gniuždymu bandymai rodo, kad komposto granulės, pagamintos naudojant kietąsias komunalines atliekas, buvo 44–113 N (Zafari ir Kianmehr, 2014).



3 pav. 1MC, 3MC ir 4MC granulių atsparumo vertikaliajoje padėtyje gniuždymui palyginimas

Fig. 3. Comparison of vertical compressive strength of 1MC, 3MC and 4MC granules

Drėgnio imlumo indekso (WI) eksperimento rezultatai pateikti 2 lentelėje. Granulės turėjo žemą drėgnio indeksą. Didžiausią drėgnio imlumą parodė vištų mėšlo granulės ($0,22 \pm 0,21$ % po 30 s ir $0,33 \pm 0,32$ % po 5 min. atitinkamai). Jos būtų jautriausios dėl drėgmės poveikio sandėliavimo sąlygoms, bet geriau tirtų dirvoje esant drėgnoms sąlygoms. Mažiausiai jautrios būtų 3MC serijos granulės su 25 % bioanglies priedu. Galima teigti, kad tiriamos granulės patekė ant dirvos bei dar papildomai sudrėkė, greičiausiai suirtų 1MC serijos granulės, po to pagal eiliškumą 4MC, o lėčiausiai 3MC granulės. Granules reiktų sandėliuoti uždaroje, sausoje vietoje prieš naudojant, norint išvengti jų pelijimo.

2 lentelė. Tirtų granulių drėgnio imlumo rezultatai po 30 sek ir 5 min

Table 2. Results of moisture absorption of the tested granules after 30 seconds and 5 minutes

Granulių rūšis Types of granules	Drėgnio imlumo indeksas (WI), % Moisture absorption index (WI), %	
	Po 30 s After 30 s	Po 5 min After 5 min
1MC vištų mėšlo granulės 1MC Poultry manure granules	$0,22 \pm 0,01$	$0,33 \pm 0,02$
3MC 4 dalys vištų mėšlo + 1 dalis medžio anglies granulės (santykis 75/25) 3MC 4 parts poultry manure + 1 part biochar granules (75/25 ratio)	$0,06 \pm 0,02$	$0,20 \pm 0,10$
4MC 1 dalis vištų mėšlo + 1 dalis medžio anglis (santykis 50/50) 4MC 1 part poultry manure + 1 part biochar granules (50/50 ratio)	$0,16 \pm 0,07$	$0,27 \pm 0,07$

Palyginimui kiti mokslininkai tirdami iš žemės ūkio atliekų komposto pagamintas granules nustatė, kad jų drėgmės imlumo indeksas svyravo nuo 0,34 % iki 1,03 % (Papandrea ir kt., 2021). Tirtų eksperimentinių granulių drėgmės imlumas nustatytas žemesnis. Apibendrinant gautus rezultatus, galima teigti, kad mėšlo granules reiktų sandėliuoti uždaroje, sausoje vietoje arba uždengtomis sąlygomis prieš naudojant, norint išvengti jų pelijimo.

Išvados

- Nustatyta, kad granuliuotų trąšų vidutinis skersmuo buvo $6,05 \pm 0,04$ mm. Vidutinis granulių ilgis buvo $13,40 \pm 0,60$ mm (3MC mėginių atveju). Didžiausias tankis nustatytas vištų mėšlo 1MC granulėms – $1609,01 \pm 80,71$ kg.m⁻³, o mažiausias 4MC atveju – $1369,43 \pm 110,37$ kg.m⁻³. Galima teigti, kad bioanglies priedas sumažino tirtų granulių tankį.
- Vištų mėšlo 1MC granulių mėginiai buvo mechaniškai stabiliausi, kurie atlaikė vidutiniškai $527,22 \pm 121,72$ N jėgą. Atitinkamai 3MC granulės vidutiniškai pasiekė $363,13 \pm 48,37$ N, o 4MC granulių – $374,41 \pm 90,85$ N jėgas. Statistiškai patikimo esminio skirtumo nėra tarp 3MC ir 4MC granulių, jas gniuždant horizontalia kryptimi. Pridėjus prie vištų mėšlo 25 % ar 50 % medžio anglies, pagamintų granulių atsparumas gniuždymui esmingai mažėja. Esminio skirtumo nepastabėta ir tarp 1MC, 3MC ir 4MC granulių atsparumo gniuždymui vertikalia kryptimi tyrimu.

3. Visų rūšių granulės buvo pakankamai stiprios, užfiksuota ne mažesnė kaip 308 N jėga (4 MC granulės horizontalia kryptimi ir turėtų užtikrinti tinkamą jų tvarkymą, sandėliavimą, transportavimą bei skleidimą dirvoje.
4. Didžiausias drėgnio imlumas buvo vištų mėšlo granulių ($0,22 \pm 0,01$ % po 30 s ir $0,33 \pm 0,02$ % po 5 min. atitinkamai). Jos būtų jautriausios dėl drėgmės poveikio sandėliavimo sąlygoms, bet geriau tirptų dirvoje, esant drėgnoms aplinkos sąlygoms. Patekusios ant dirvos bei sudrėkusios, greičiausiai suirtų vištų mėšlo granulės (1MC), lėčiausiai – vištų mėšlo su 25 % medžio anglies priedu (3MC) granulės.

Literatūra

1. Adekiya, A. O., Ogunbode, T. O., Esan, V. I., Adedokun, O., Olatubi, I. V., Ayegboyin, M. H. (2025). Short term effects of biochar on soil chemical properties, growth, yield, quality, and shelf life of tomato. *Scientific Reports*, 15(1), 24965.
2. Chen, M., Han, J., Shi, P., Wang, J., Wang, Y., Tian, F., Wu, Z. (2025). Preparation of biochar slow-release phosphate fertilizer granules with starch-CMC-Na binder: improving granule mechanical and slow-release properties. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 119547.
3. Dayoub, E. B., Tóth, Z., Soós, G., Anda, A. (2024). Chemical and physical properties of selected biochar types and a few application methods in agriculture. *Agronomy*, 14(11), 2540.
4. Jotautienė, E., Mioldazys, R., Gaudutis, A., Aboltins, A. (2021). Granulation of poultry manure and biochar for production of organic fertilizers. In *Proceedings of the International Scientific Conference Engineering for Rural Development*, Jelgava, Latvia (pp. 26–28).
5. Kažimirová, V., Kubík, L., Mihina, Š. (2020). Evaluation of properties of pellets made of swine manure. *Acta Technologica Agriculturae*, 23(3), 137–143.
6. Luo, P., Zhang, W., Xiao, D., Hu, J., Li, N., Yang, J. (2025). Biochar-Based Fertilizers: Advancements, Applications, and Future Directions in Sustainable Agriculture—A Review. *Agronomy*, 15(5), 1104. <https://doi.org/10.3390/agronomy15051104>
7. Olsson, U., Engstrand, U., Rupšys, P. (2000). *Statistical Methods Using SAS and MINITAB*. Lithuanian University of Agriculture, Akademija.
8. Papandrea, S.F., Cataldo, M.F., Palma, A., Gallucci, F., Zimbalatti, G., Proto, A.R. (2021). Pelletization of Compost from Different Mixtures with the Addition of Exhausted Extinguishing Powders. *Agronomy*, 11, 1357.
9. Premalatha, R. P., Poorna Bindu, J., Nivetha, E., Malarvizhi, P., Manorama, K., Parameswari, E., & Davamani, V. (2023). A review on biochar's effect on soil properties and crop growth. *Frontiers in Energy Research*, 11, 1092637.
10. Zafari, A. Kianmehr, M. H. (2014). Factors affecting mechanical properties of biomass pellet from compost. *Environmental technology*, 35(4), 478–486.

Agnė Kralikienė, Eglė Jotautienė, Ramūnas Mioldazys, Edvardas Vaiciukevičius

Studies of the Physic Mechanical Properties of Fertilizers Produced Using Biochar

Vytautas Magnus University, Lithuania

Biochar-based fertilizers contribute to sustainable agriculture by improving soil quality and reducing nutrient leaching in the soil. Studies of the physic mechanical properties of granulated fertilizers contribute to the development of high-quality, efficient fertilizers and promote environmentally friendly innovations. The aim of this study was to compare the main physic mechanical properties of experimental fertilizer granules produced using biochar and chicken manure. The tested pellets were made with the following biochar and manure ratios: 1 part charcoal + 1 part chicken manure (50/50 ratio), 1 part biochar + 4 parts chicken manure (25/75 ratio). The obtained results showed that the addition of biochar to the fertilizers reduced the density of the investigated granules. Chicken manure granules showed the highest moisture absorption ($0.22 \pm 0.01\%$ after 30 s). It was determined that all types of the investigated granules were sufficiently strong, with a recorded horizontal force of not less than 308 N, which should ensure convenient handling, storage, transportation, and application in soils.

Keywords: Fertilizer granules, biochar, poultry manure, physic mechanical properties.

Gauta 2026 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2026 m. balandžio mėn.

Agnė KRALIKIENĖ. 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. +370 656 90040, el. paštas: agne.kralikiene-kricenaite@stud.vdu.lt

Agnė KRALIČIENĖ. 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: +370 656 90040, e-mail: agne.kralikiene-kricenaite@stud.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 37 752204, 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 37 752204, e-mail: Egle.Jotautiene@vdu.lt

Ramūnas MIELDAŽYS. VDU ŽŪA Inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedra, 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. professor. Address: Studentų str. 15a, LT-53362, Akademija, Kaunas r., tel. +370 614 01137, el. paštas: Ramunas.Mieldazys@vdu.lt

Edvardas VAICIUKEVIČIUS. VDU ŽŪA Inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedros docentas. Adresas: Studentų g. 15a, LT-53362, Akademija, Kauno r., tel. +370 615 93865, el. paštas: Edvardas.Vaiciukevicius@vdu.lt

Edvardas VAICIUKEVIČIUS. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, assoc. professor. Address: Studentų str. 15a, LT-53362, Akademija, Kauno r. Phone: +370 615 93865, e-mail: Edvardas.Vaiciukevicius@vdu.lt

A SUSTAINABLE PATHWAY TO WOOD WASTE FOR FERTILIZER PRODUCTION AND ENVIRONMENTAL SAFETY

Siva Teja Sowrya Yannana, Eglė Jotautienė, Raimonda Zinkevičienė

Vytautas Magnus University, Lithuania

In the European Union, wood waste poses an increasing threat to environmental and human safety because of rising disposal quantities, ineffective management techniques and contamination threats. Every year, more than 30 million m³ of wood waste is produced, by 2030, this volume is predicted to increase significantly, raising concerns about soil contamination, open-fire air pollution and resource depletion. Despite possessing significant potential for recycling and value-adding, wood waste from industrial, construction, demolition, and packaging activities are constantly underutilized. This review investigates wood waste usage pathways, with a focus on biochar production as a sustainable and safe alternative within the circular economy framework. Biochar, which is made by pyrolysis of wood waste, provides numerous environmental benefits, including long-term carbon sequestration, enhanced soil quality, better nutrient retention, and minimal chance of pollutant leaching. By turning wood waste into biochar, waste volumes can be decreased and simultaneously adverse effects on land, air and water systems can be mitigated. This review examines the conversion of wood waste into biochar and the potential for biochar to be used in the production of organic granular fertilizers. Particular attention is paid to soil and environmental safety and the role of biochar in reducing nutrient losses and pollution in sustainable agricultural systems.

Keywords: Wood waste, Biochar, Circular economy, Environmental Safety, Organic fertilizers.

Introduction

Forests act as major carbon reservoirs by storing atmospheric carbon in woody biomass, however the fate of the carbon depends on the waste management pathway once the wood is harvested, converted into products and subsequently into a waste (Xu et al., 2026). The rapid expansion of wood based industries due to growing population, urbanization, increasing demand for packaging, furniture, infrastructure and construction has led to wood waste generation worldwide. In Europe, wood waste solid waste streams originating from construction and demolition activities, Industrial processing and end-of-life consumer products (Garcia & Hora, 2017), (Pandey, 2022). Although wood waste is often known as, environmentally harmless material and biodegradable, but large volumes of improperly treated wood waste possess serious environmental human risks (Abdolmaleki et al., 2025). This include the possibility of release toxic chemicals from contaminated wood, greenhouse gas and particulate matter emissions from open incinerations and also land filling space requirement (Mercer & Frostick, 2014). Consequently, managing the wood waste sustainably has become a crucial environmental challenge, especially in the context of climate change mitigation, environmental preservation and resource efficiency.

Land filling, incineration with or without generating energy, recovery and low-grade recycling are the main methods now used to manage wood waste in many areas. These approaches often fail to ensure environmental safety or maximize material value. Globally, more than 10 billion tons of wood waste produces annually from construction demolition, accounting for 35% to 65% of landfill (HaitherAli et al., 2025). Land-filing of wood waste occupies valuable land resources and also can result to long term methane emissions and leachate seeps into the ground especially highly contaminated wood (Masbough et al., 2005). Incineration and open burning are prevalent waste management practices that significantly reduces the waste volume but simultaneously contribute to air pollution and adversely affecting air quality and public health (Astuti & Rauf, 2024). Additionally, these linear disposal path conflicts with sustainability and climate mitigation goals by causing irreversible loss of biomass resources and stored carbon. In reality, only a limited fraction of wood waste is efficiently recycled into products, while regulatory constraints and contamination concerns further restrict the recycling or reusing.

Circular economy strategies emphasize the conversion of biomass residuals into the value added products, which reduces environmental effects in response to the limitations of conventional wood waste management techniques. In this context, pyrolysis of turning wood waste into biochar has drawn more attention as resource efficient and sustainable method (Ji et al., 2021). Compared with the conventional burning or disposal, the biochar production can lowers the green house gas emission and preserve carbon in a form that may be stored in soils for longer periods. Biochar has a higher carbon content, more porosity, and structural stability, all of which contribute to improve soil structure, enhanced nutrient retention (Lai et al., 2013), (Ji et al., 2021). It is feasible to concurrently address the waste reduction, climate change mitigation and sustainable resource utilization by integrating the wood waste for biochar production and used for soils will assist for circular economy goals of the regional and European levels.

Although Biochar is becoming more and more popular as a sustainable material, there are still few significant issues with its environmental safety, particularly when there are heterogeneous wood waste streams with the chemical additives or contaminants. At the same time biochar serve as the promising ingredient in the production of organic granular fertilizers, which can function as the soil conditioner, nutrient carrier, enhancing the nutrient use efficiency and emission mitigating agent (Lai et al., 2013). However, the existing literature always addresses about biochar production, wood waste management and agriculture uses with little attention paid to integration of environmental safety and fertilizer functionality. Therefore, this review aims to critically examine sustainable pathways for converting wood waste into biochar, with focus on environmental and soil safety and the role of biochar in reducing nutrient losses and pollution in sustainable agricultural systems.

Wood waste generation, characteristics and management pathways

Wood waste is generated by multiple sectors, mostly originating from industrial wood processing, construction and demolition activities, packaging industries and municipal waste streams. Industrial sources include sawmills, furniture manufacturing and wood-based panel production, which generates sawdust, chipping waste. In the process of manufacturing the waste will be lost about 10–20% (De Souza Pinho et al., 2023). According to the Lithuania inventory document 2025 the wood and wood products manufactured in 2023 are 56000 m³ of plywood and laminated wood, 893600 m³ of particle board wood, 21.5 million m² of fiber board, 227700 of windows and their frames and 875300 of doors and their frames (Ministry of Environment of Lithuania, 2025). According to eurostats2024a, In 2020, Europe generated total 48.2 million tons of waste wood, with the majority of waste arising from construction and demolition (C&D), industrial activities and municipal waste combined (Eurostat, 2024a). These three sectors generated 8.6, 18.72, 10.37 million tons of wood waste in the same year.

From the perspective of the material, wood is highly composed of cellulose, lignin, hemicellulose (Meng et al., 2024). However, the wood waste physical and chemical properties vary greatly based on its place of origin, processing history and intended usage. For instance, variations in the properties like moisture content, bulk density, particle density, particle size, and ash content influence the suitability for recycling and energy recovery (Smith et al., 2023). It is important to differentiate between treated or contaminated wood, which may contain paints, adhesives, preservatives or flame-retardants. These additives have the potential to complicate the reuse or pose environmental hazards by releasing heavy metals and organic contaminants into waste stream.

In Europe, despite of efforts to enhance the waste management practices, wood waste is being disposed in ways that have serious negative effects on the environment and human health. Despite the fact that the wood waste disposal not included in European waste statistics as separate category, the significant amount of post-consumer and construction derived wood waste still sent to the landfills or energy recovery and limited recycling (Elginoz et al., 2024). Wood products contains cellulose and hemicellulose, which decompose in landfills under anaerobic conditions, produces biogenic carbon dioxide (CO₂) and methane (CH₄), and bio degradation is incomplete (O'Dwyer et al., 2017). Furthermore, the leachates that contain organic pollutants or heavy metals leading to the possibilities of soil contamination and ground water pollution (Mercer & Frostick, 2012). On the other way, Incineration and uncontrolled open burning contribute to air pollution by emitting particulate matter, nitrogen oxides and carbon monoxide (Jakhar et al., 2023). Hazardous incineration involves in the hazardous waste products, including wood waste contaminated with toxic chemicals or treated with hazardous substances such as preservatives, paints, or vanishes. Studies have shown that when evaluating carbon emissions, the municipal waste incineration emits CO₂, whereas hazardous waste incineration can result in comparatively higher carbon emissions than municipal incineration (Elginoz et al., 2024).

Europe's current wood waste management methods are mostly relies on limited recycling, energy recovery and disposal of contaminated fractions which lead to low value retention and loss of biogenic carbon. Because of legal and environmental issues clean wood streams are preferentially recycled and commonly ignoring treated or composite wood. Consequently, a amount of wood waste is still under utilized, there is the necessity of sustainable valorization pathways that provide safe conversion into high value products while supporting circular economy and environmental protection goals. Figure 1 illustrates the conceptual pathway of converting wood waste into biochar-based fertilizers, highlighting the role of pyrolysis in producing environmentally beneficial soil amendments.

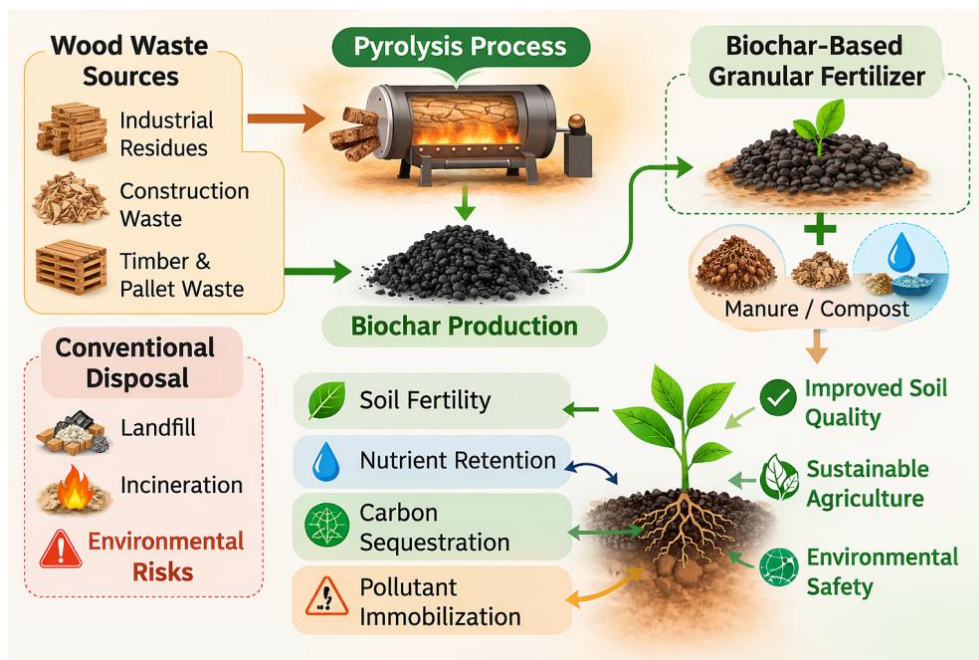


Fig. 1. Conceptual Pathway for The Conversion Of Wood Waste Into a Valuable Fertilizers

Conversion of wood waste into biochar: processes and environmental implications

Biochar is created through the pyrolysis of biomass. Pyrolysis represents the oldest known method of biomass thermal processing. Pyrolysis enables the stabilization of carbon rich feedstocks into solid and porous. Wood waste is well suited for the synthesis of biochar because of its high lignocellulosic content, low ash content as compared to agricultural residues and availability. The biochar from wood has a higher carbon content, more porosity, and structural stability, all of which contribute to its high mechanical strength (Lai et al., 2013) (Ji et al., 2021). Wood waste is exposed to higher temperatures during pyrolysis, usually 300–700 °C. Many researchers reported that the pyrolysis temperature is highly associated with changes in the structure and physiochemical properties of biochar (Tomczyk et al., 2020), (Sim et al., 2025).

During pyrolysis, the majority of the heavy metals are concentrated in biochar and experimental studies have shown high fixation rates across different temperatures (Arabyarmohammadi et al., 2018). Some biochar is high surface area and Nano porosity enable substantial adsorption and pore trapping of metal species, improving immobilization through ion exchange process and surface interactions (Sizirici et al., 2021), (Li, 2024). But pyrolysis conditions may produce secondary toxic organics like PAHs, VOC, dioxins etc. In order to prevent mobile or hazardous emissions there is a requirement to control of process conditions and off-gas management (Li, 2024).

Heavy metals are concentrated and volatile organics are converted by pyrolysis into a carbon rich biochar where organics are pyrolysis or forcefully sorbed and metals are either chemically fixed or physically confined. This process reduces mobility in many situations, however varies depending on the pyrolysis temperature. Therefore, pyrolysis also reduce the mobility of the contaminants found in the wood waste by transforming into more stable form or immobilizing in the carbon matrix. As a result, the production of biochar offer a regulated and flexible conversion process that may turn heterogeneous wood waste into a stable substance with numerous environmental advantages.

Biochar based organic granular fertilizers: environmental safety and agricultural potential

The Physiochemical features of biochar generated from wood waste make it especially ideal for soil amendment and fertilizer related applications. Wood based bio char usually has a large specific surface area, stable carbon framework and highly porous structure, all of which increase soil aeration, water retention and the development of microbial immobilization (Johnal et al., 2025). Because of its recalcitrant structure, biochar also contribute to long-term carbon storage in soil, promoting efforts to mitigate the climate change while enhancing soil fertility (Voruganti, 2023). Biochar can act as nutrient carrier and structural matrix that improves nutrient stabilization and controlled release when added to fertilizer formulations, especially when combined with organic ingredients like poultry manure, cattle manure, digester or compost. Essential nutrients like Nitrogen (N), Phosphorous (P), Potassium (K) can be adsorbed, thanks to its high surface area and porous structure which slows down their quick loss through volatile or leaching. In addition, the granular form

improves storage stability, transport efficiency and uniform field application making these formulation suitable for agriculture usage.

Biochar can also improve soil safety by increasing microbial activity and immobilizing pollutants. Its surface functional group make it easier for metal ions to adsorb and complexation, which lowers there toxicity and mobility. Further more, bio char stimulate microbial growth and the production of extracellular polymeric substances which are capable of binding metal ions and convert toxic species into more stable forms (Kukowska & Szewczuk-Karpisz, 2024). When coming to organic pollutants like Polycyclic Aromatic hydrocarbons (PAHs) behave in soils by reducing there mobility and bioavailability while support microbial degradation. According to some research, depending on the kind of feedstock and pyrolysis temperature, using biochar can boost the breakdown of some PAHs by as much as 60% (Zhang et al., 2020). Phthalic Acid Esters (PAEs) are another new contaminant with a low rate biodegradation and a definite detrimental effect on human health. Biochar treatments can lessen the toxicity and bioavailability of PAEs (Sokołowski et al., 2024).

Granular fertilizers from biochar provide agronomic advantages, beyond that they also support environmental safety in agricultural systems. Long term carbon sequestration in soils is supported by the stable carbon structure of biochar which helps in reduction of green house gas emissions associated to conventional waste management and fertilizers. Additionally, biochar adsorption ability will be lessen nutrient discharge and immobilize specific contaminants, safe guarding the quality of soil and water. Biochar made from wood waste under controlled conditions can offer stable and ecofriendly substance used for the sustainable agriculture. Biochar based fertilizers provide a feasible route for promoting circular economy principals, lowering environmental pollution and supporting robust sustainable agriculture systems.

Conclusion

Wood waste possess a growing environmental threat, especially when it is disposed of via traditional techniques like incineration or landfilling. This review highlights the circular economy by the possibility of turning wood waste into biochar as a sustainable pathway. By stabilizing pollutants, biochar from wood waste improve soil characteristics, increase nutrient retention, and help in the production of organic granular fertilizers. Overall, the integration of biochar with the fertilizer applications present a robust approach to environmentally responsible farming methods and sustainable waste valorization.

References

1. Abdolmaleki, H., Ahmadi, Z., Hashemi, E., & Talebi, S. (2025). A review of the circular economy approach to the construction and demolition wood waste: A 4 R principle perspective. *Cleaner Waste Systems*, 11, 100248. <https://doi.org/10.1016/j.clwas.2025.100248>
2. Arabyarmohammadi, H., Darban, A. K., Abdollahy, M., & Ayati, B. (2018). Simultaneous immobilization of heavy metals in soil environment by pulp and paper derived nanoporous biochars. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 16(2), 109–119. <https://doi.org/10.1007/s40201-018-0294-6>
3. Astuti, R. D. P., & Rauf, A. U. (2024). Outdoor air pollution due to transportation, landfill, and incinerator. In *Elsevier eBooks* (pp. 257–302). <https://doi.org/10.1016/b978-0-443-16088-2.00006-5>
4. De Souza Pinho, G. C., Calmon, J. L., Medeiros, D. L., Vieira, D., & Bravo, A. (2023). Wood Waste Management from the Furniture Industry: The Environmental Performances of Recycling, Energy Recovery, and Landfill Treatments. *Sustainability*, 15(20), 14944. <https://doi.org/10.3390/su152014944>
5. Elginöz, N., Van Blokland, J., Safarian, S., Movahedisaveji, Z., Wedajo, D. Y., & Adamopoulos, S. (2024). Wood waste recycling in Sweden—Industrial, environmental, social, and Economic challenges and benefits. *Sustainability*, 16(14), 5933. <https://doi.org/10.3390/su16145933>
6. Garcia, C. A., & Hora, G. (2017). State-of-the-art of waste wood supply chain in Germany and selected European countries. *Waste Management*, 70, 189–197. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.09.025>
7. HaitherAli, H., Shooshtarian, S., & Gopakumar, A. (2025). Exploring waste disposal attitudes and market strategies for recycled construction and demolition waste in India. *Scientific Reports*, 16(1), 3155. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-32996-7>
8. Jakhar, R., Samek, L., & Styszko, K. (2023). A comprehensive study of the impact of waste fires on the environment and health. *Sustainability*, 15(19), 14241. <https://doi.org/10.3390/su151914241>
9. Ji, M., Wang, X., Usman, M., Liu, F., Dan, Y., Zhou, L., Campanaro, S., Luo, G., & Sang, W. (2021). Effects of different feedstocks-based biochar on soil remediation: A review. *Environmental Pollution*, 294, 118655. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118655>

10. Johnal, J. K., Rajendran, P., Kumar, P., Parthiban, K. T., Sekar, I., Baranidharan, K., Ravi, R., Hemalatha, P., Rajah, R. A., Krishnan, S. N., & Kabinesh, V. (2025). Biochar and forests: A green solution to sustainability. *Plant Science Today*. <https://doi.org/10.14719/pst.8552>
11. Kukowska, S., & Szewczuk-Karpisz, K. (2024). Biochar and zeolite uses in improving immobilization of nutrients and pollutants in soils. *Separation and Purification Reviews*, 54(4), 354–377. <https://doi.org/10.1080/15422119.2024.2426157>
12. Lai, W., Lai, C., Ke, G., Chung, R., Chen, C., Cheng, C., Pai, C., Chen, S., & Chen, C. (2013). The effects of woodchip biochar application on crop yield, carbon sequestration and greenhouse gas emissions from soils planted with rice or leaf beet. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 44(6), 1039–1044. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2013.06.028>
13. Li, S. (2024). Reviewing Air Pollutants Generated during the Pyrolysis of Solid Waste for Biofuel and Biochar Production: Toward Cleaner Production Practices. *Sustainability*, 16(3), 1169. <https://doi.org/10.3390/su16031169>
14. Masbough, A., Frankowski, K., Hall, K. J., & Duff, S. J. (2005). The effectiveness of constructed wetland for treatment of woodwaste leachate. *Ecological Engineering*, 25(5), 552–566. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2005.07.006>
15. Meng, H., Wen, M., Shi, J., Liang, Y., & Jian, H. (2024). Biomass flame retardants with application of cellulose, lignin, and hemicellulose from wood resources and their flame retardant technologies in related materials: A review. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 42, 101816. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2024.101816>
16. Mercer, T., & Frostick, L. (2012). Leaching characteristics of CCA-treated wood waste: A UK study. *The Science of the Total Environment*, 427–428, 165–174. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.04.008>
17. Mercer, T., & Frostick, L. (2014). Evaluating the potential for environmental pollution from chromated copper arsenate (CCA)-treated wood waste: A new mass balance approach. *Journal of Hazardous Materials*, 276, 10–18. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.05.006>
18. Ministry of Environment of the Republic of Lithuania, Lithuania's National Inventory Report 2025: Greenhouse Gas Emissions 1990–2023, 2025. [Online]. https://am.lrv.lt/public/canonical/1737631614/15004/NID_2025_DRAFT.pdf
19. Eurostat (2024a). *Generation of waste by waste category, hazardousness and NACE Rev. 2 activity*. Retrieved 26 September 2024, from https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env_wasgen__custom_12252389/default/table?lang=en.
20. O'Dwyer, J., Walshe, D., & Byrne, K. A. (2017). Wood waste decomposition in landfills: An assessment of current knowledge and implications for emissions reporting. *Waste Management*, 73, 181–188. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.12.002>
21. Pandey, S. (2022). Wood waste utilization and associated product development from under-utilized low-quality wood and its prospects in Nepal. *SN Applied Sciences*, 4(6). <https://doi.org/10.1007/s42452-022-05061-5>
22. Sim, D., Tan, I., Lim, L., Yeo, F., Phornvillay, S., Abat, M., Lam, S. S., & Hameed, B. (2025). Biochar-based slow/controlled-release fertilizer for sustainable agriculture: Recent advances, challenges and future prospects. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 13(5), 118826. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2025.118826>
23. Sizirici, B., Fseha, Y. H., Yildiz, I., Delclos, T., & Khaleel, A. (2021). The effect of pyrolysis temperature and feedstock on date palm waste derived biochar to remove single and multi-metals in aqueous solutions. *Sustainable Environment Research*, 31(1). <https://doi.org/10.1186/s42834-021-00083-x>
24. Smith, Z., Isaac, B., Tumuluru, J. S., & Yancey, N. (2023). Grinding and pelleting characteristics of municipal solid waste fractions. *Energies*, 17(1), 29. <https://doi.org/10.3390/en17010029>
25. Sokołowski, A., Dybowski, M. P., Oleszczuk, P., Gao, Y., & Czech, B. (2024). Biochar mitigates the postponed bioavailability and toxicity of phthalic acid esters in the soil. *The Science of the Total Environment*, 945, 173933. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173933>
26. Tomczyk, A., Sokołowska, Z., & Boguta, P. (2020). Biochar physicochemical properties: pyrolysis temperature and feedstock kind effects. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 19(1), 191–215. <https://doi.org/10.1007/s11157-020-09523-3>
27. Voruganti, C. (2023). Biochar applications in soil restoration: enhancing soil health and carbon sequestration. *Environmental Reports*, 5(1), 1–4. <https://doi.org/10.51470/er.2023.5.1.01>
28. Xu, X., Pang, T., Peng, H., & Sun, W. (2026). Can forestry carbon sink pledge financing improve the quality of forest management? *Socio-Economic Planning Sciences*, 105, 102448. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2026.102448>

29. Zhang, G., He, L., Guo, X., Han, Z., Ji, L., He, Q., Han, L., & Sun, K. (2020). Mechanism of biochar as a biostimulation strategy to remove polycyclic aromatic hydrocarbons from heavily contaminated soil in a coking plant. *Geoderma*, 375, 114497. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114497>

Received March, 2026, published April, 2026

Siva Teja Sowrya YANNANA. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, PhD Student. Address: Studentų g. 15a, LT-53362, Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 630 16435, e-mail: siva.teja.sowrya.yannana@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., tel. +370 37 752204, e-mail: egle.jotautiene@vdu.lt
Raimonda ZINKEVIČIENĖ, Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, junior researcher. Address: Studentų g. 15a, LT-53362, Akademija, Kaunas r. Phone: +370 37 752204, e-mail: raimonda.zinkeviciene@vdu.lt

TVARIOS KOMPOSTAVIMO TECHNOLOGIJOS SU ORGANINĖS KILMĖS BIOPRIEDAIS POVEIKIS PAGRINDINIAMS PARAMETRAMS

Sidona Buragienė, Brigita Senkienė

Vytauto Didžiojo universitetas

Didėjant biologiškai skaidžių atliekų kiekiams ir griežtėjant aplinkosauginiams reikalavimams, kompostavimas tampa viena svarbiausių organinių atliekų tvarkymo technologijų. Tyrimai atlikti 2025 m. rugpjūčio–spalio mėnesiais. Iš daržovių atliekų, šiaudų ir MKM priedo suformuoti 3 skirtingi kompostavimo mišiniai: kontrolė, 0,5 % MKM (mėsos-kaulų miltai), 1 % MKM. Eksperimento metu stebėta kompostuojamų mišinių temperatūra, drėgnis, CO₂ ir O₂ dujų koncentracijos. Viso tyrimo laikotarpiu metu temperatūrai buvo būdinga žemėjimo tendencija. MKM naudojimas lėmė žemesnę temperatūrą, tai ypač atsispindėjo rugsėjo matavimo duomenyse. Per tiriamąjį laikotarpį CO₂ dujų koncentracija pasižymėjo aukšta variacija ir netolygiu kitimu. Spalio 30 d. CO₂ koncentracija statistiškai reikšmingai sumažėjo (HSD_{0.01}) tarp kontrolės ir abiejų variantų su skirtingomis MKM normomis (0,056 % – 0,5% MKM ir 0,057 % – 1 % MKM). Kontrolinis variantas išsiskyrė didesnėmis CO₂ koncentracijos reikšmėmis dėl spartesnio kompostavimo proceso.

Raktiniai žodžiai: kompostai, mėsos-kaulų miltai, temperatūra, anglies dvideginis.

Įvadas

Vienas plačiausiai taikomų biologiškai skaidžių atliekų (BSA) tvarkymo būdų yra kompostavimas. Kompostuojant BSA, mikroorganizmai ir smulkūs bestuburiai skaido įvairias organines medžiagas – mėšlą, lapus, maisto likučius, popierių, medieną, nuotekų dumblą ir kt. – ir paverčia jas vertingu produktu, vadinamu kompostu (Meng et al., 2018; Wang et al., 2022). Gautame komposte yra didelė biologiškai stabilių huminių medžiagų koncentracija, kuri puikiai pagerina dirvožemį (Białobrzewski et al., 2015). Kompostavimas prisideda prie žemės ūkio sistemų tvarumo didinimo.

Augantis gyventojų skaičius, intensyvi urbanizacija bei kintantys vartotojų elgsenos modeliai reikšmingai didina žemės ūkio (ŽŪ) atliekų susidarymo mastą (Hoorbweg et al., 2013; Lohri et al., 2017). Šioms atliekoms priskiriamos įvairios operacijų metu susidarancios atliekos ir šalutiniai produktai. Dideli jų kiekiai pastebimi daržininkystės sektoriuje – derliaus nuėmimo, vėliau pirminio perdirbimo metu. Tuo metu iškyla poreikis papildomiems kompostavimo plotams. Susiduriama su biologinio atliekų tvarkymo metodo patrauklumu ūkiai turėdami ribotus plotų išteklius atsisako šios technologijos.

Tačiau kompostavimo priedų naudojimas gali paspartinti organinių medžiagų irimą padidindamas mikrobų aktyvumą (Gabhane et al., 2012). Taip pat priedų poveikis gali sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD), amoniako (NH₃) išsiskyrimui bei azotą (N) išsaugojimui. Dažnai įvairių priedų poveikis pasižymi kompleksiskumu. Papildančios medžiagos gali pagerinti komposto mišinio fizikocheminę sudėtį, išsaugoti maistinių medžiagų profilį, sumažinti fitotoksiškumą. Moksliniai tyrimai įrodė teigiamą kompostą papildančių priedų poveikį kompostavimo proceso eigai ir galutinio produkto kokybiniais rodikliais (Oviedo-Ocaña et al., 2021). Pupelių nuoplovos, krabų kiautų milteliai, biosurfaktantas, ramnolipidas sukuria optimalias/palankias kompostavimo sąlygas, o padidintas biologinis aktyvumas užtikrina kokybiškesnį kompostą per trumpesnę laiką (Zhang, Sun, 2018). Šias prielaidas patvirtina ir naujesni tyrimai. Lamourou et al. (2023) tyrime kompostuojant žaliųjų atliekų, paukščių mėšlo ir bioanglies mišinį, pilna biodegradacija įvyko per 54 d., gauti rezultatai parodė gauto organinio priedo pritaikomumą nualintiems dirvožemiams.

Vis dėlto žinių apie žaliųjų atliekų kompostavimą, pagrįstą MKM miltais, vis dar trūksta. Reikalinga tolesnė MKM poveikio proceso eigai, galutinio produkto kokybei analizė. Komposto sudėtis tiesiogiai koreliuoja su galutinio produkto kokybe, tad reikalingi technologiniai sprendimai užtikrinantys stabilų, prognozuojamą rezultatą, sudarant sąlygas patenkinti ŽŪ sektoriaus poreikius ir užtikrinti saikingą išteklių naudojimą. Tvariu būdu gautas kompostas turi potencialą tapti ekonomiškai konkurencinga alternatyva cheminėms trąšoms.

Tyrimų tikslas yra ištirti MKM poveikį kompostavimo proceso pagrindiniams parametrams: temperatūrai, drėgmės kiekiui, CO₂ ir O₂ koncentracijoms tyrimą atliekant lauko sąlygomis.

Tyrimų metodika

Tyrimai atlikti 2025 m. rugpjūčio–spalio mėnesiais VDU Žemės ūkio akademijai priklausančioje aptvetoje aikštelėje esančioje šalia šiltnamio zonos. Kompostavimo aikštelė įrengta naudojant 9 vnt., 220 l Prosperplast COMPOGREEN kompostavimo dėžes, kurioms taikytas grupinis išdėstymas ant vejos pagrindo. Kompostuojamų mišinių bazė sudaryta naudojant UAB „Kvėdarų ūkis“ perdirbimo įmonėje susidarancias

atliekas tokias kaip bulvių, burokėlių ir morkų lupenas ir smulkias dalis bei bulvių tarkius (1 pav.). Struktūrinę dalį sudarė kviečių šiaudai surinkti VDU ŽUA Bandymų stoties augalininkystės ūkyje. Mėsos ir kaulų miltų (MKM) priedas tiekias UAB „Cignera“. Tiekėjas pateiktais akredituotos laboratorijos (Lietuvos agrarinių ir miškų mokslo centras) MKM cheminės analizės rezultatais nustatytas: $\geq 8\%$ azoto (N); $\geq 14\%$ fosforo pentoksido (P_2O_5); 14% kalcio oksido (CaO); $\geq 1\%$ kalio oksido (K_2O) kiekiai, priedo pH – 6,5.



1 pav. Daržovių atliekos

Fig. 1. Vegetable waste

Iš daržovių atliekų, šiaudų ir MKM priedo suformuoti 3 skirtingi kompostavimo mišiniai: 1 – kontrolė, 2 – 0,5 % MKM, 3 – 1 % MKM. Kontrolinį variantą sudarė 50 kg daržovių atliekų (procentinis santykis: 30 % bulvių tarkių, 30 % bulvių, 20 % burokėlių, 20 % morkų atliekų ir lupenų) ir 10 kg šiaudų (kontrolė). Likusiuose variantuose kontrolinis mišinys naudotas kaip bazė į kurią papildomai įterpti 0,5 % ir 1 % MKM priedai (sutrumpinimai: 0,5% MKM ir 1 % MKM), kurie buvo paskaičiuoti pagal svorį. Kompostavimo dėžės pakrautos sudarytais mišiniais taikant sluoksniavimo principą: dugno pagrindas išklotas šiaudų sluoksniu (sluoksnis sudarytas iš 1,7 kg šiaudų) ant kurio tolygiai paskirstyti daržovių atliekų sluoksniai (sluoksnis sudarytas iš 10 kg daržovių atliekų). Sluoksniavimas užbaigtas šiaudų sluoksniu siekiant sumažinti drėgmės nuostolius ir paviršinę dehidrataciją. Tyrimo eigoje kas dvi savaites taikytas mechaninis atliekų homogenizavimas ir aeravimas.

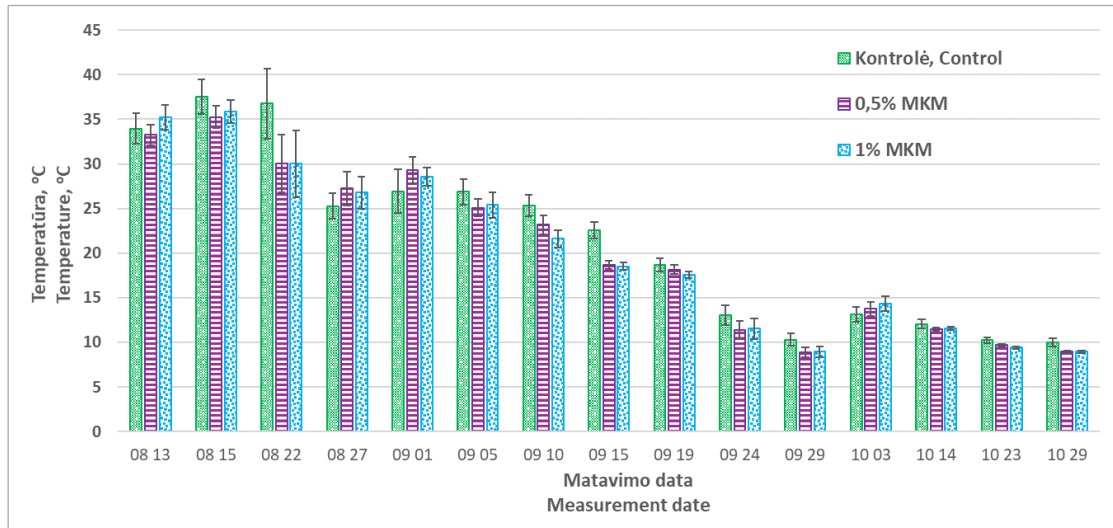
Eksperimento metu stebėta kompostuojamų mišinių temperatūra, drėgnis, CO_2 ir O_2 dujų koncentracijos. Temperatūros ir drėgnio matavimai atlikti išlaikant 4–5 dienų intervalą. Matavimams naudotas daugiafunkcinis matuoklis su integruotu WET sensoriumi (Delta-T HH2, Delta-T Devices Ltd, United Kingdom). Matavimams atlikti parinkti 5 matavimo taškai apėmė centrinę mišinio zoną bei po tašką kiekviename kampe. Dujų koncentracijų matavimai atlikti vieną kartą per savaitę naudojant dujų analizatorių (Screenalyt HONOLD, Honold Umweltmesstechnik, Germany). Matavimo taškus sudarė centrinė ir dvi kampinės zonos.

Gauti duomenys analizuoti statistškai taikant vieno faktoriaus dispersinės analizės metodą (ANOVA). Skirtumų tarp kontrolės ir variantų vidurkių esmingumo nustatymui naudoti LSD (0,05; 0,01), HSD (0,05; 0,01) testai (SPSS).

Rezultatai ir aptarimas

Rugpjūčio 13 dieną kompostuojamų mišinių temperatūra svyravo 33,2–35,2 °C diapazone (2 pav.). Antro matavimo metu pastebėtas temperatūrinis verčių padidėjimas. Tuo metu fiksuota maksimali temperatūra siekusi ~ 37,5 °C nustatyta kontroliniame variante. Nuo rugpjūčio 22 dienos visuose tirtuose variantuose pasireiškė temperatūros mažėjimo tendencija. Vėliau pakartotinis temperatūros verčių kilimas fiksuotas rugsėjo pradžioje, kuomet 0,5 % MKM variantas išsiskyrė aukščiausia temperatūra, lyginant su kitais variantais. Tolimesni matavimai parodė kompostuojamų mišinių temperatūrinio diapazono priklausomybę nuo aplinkos temperatūros. Tai paaiškinama sezoniškumo įtaka, vėstanti aplinka sąlygojo mišinių temperatūros mažėjimą. Šią prielaidą patvirtina ir vėlesni matavimai, kadangi spalio mėnesio pradžia buvo šilta – kompostuojamų mišinių temperatūriniai skirtumai pakilo nuo 2,85 iki 5,4 °C ir atitinkamai siekė kontroliniame variante – 13,17 °C, 1% MKM – 14,35 °C. Nežymus, tačiau stabilizavęsis temperatūros pakilimas tęsėsi iki spalio vidurio, tačiau atvėsus orams pastebėtas pasikartojantis kompostuojamų mišinių temperatūros kritimas.

Spalio 23 d. kompostų temperatūra toliau mažėjo iki 10,23 °C kontrolėje ir 9,69 °C bei 9,43 °C MKM variantuose. Tyrimo pabaigoje (10 29) kontrolėje fiksuota 10 °C temperatūra, o 0,5 % ir 1 % MKM variantuose – atitinkamai 8,93 ir 8,94 °C. Viso tyrimo laikotarpiu metu temperatūrai buvo būdinga žemėjimo tendencija. Matavimo duomenų analizė parodė ribotą MKM priedų poveikį aukštesnių verčių akumuliacijai. 11-oje iš 15 atliktų matavimų MKM naudojimas lėmė žemesnę temperatūrą, tai ypač atsispindėjo rugsėjo matavimo duomenyse. Spalio mėnesį skirtumai tarp variantų sumažėjo, o temperatūra tarp MKM paveiktų variantų ir kontrolinio tapo minimaliais.

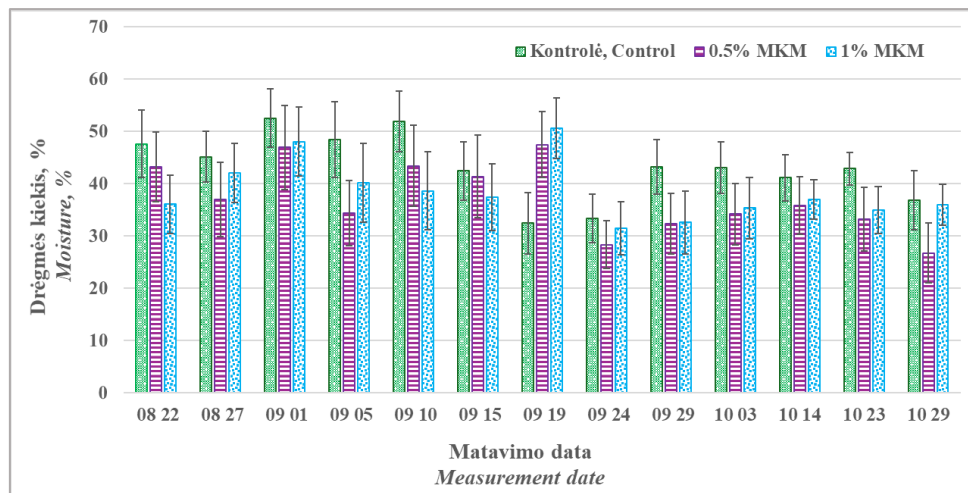


2 pav. Kompostuojamų mišinių temperatūros pokyčiai rugpjūčio–spalio mėnesiais

Fig. 2. Temperature changes in composting mixtures during August-October

Tai rodo intensyvesnę skaidymo eigą priedais papildytuose kompostavimo variantuose. Apibendrinant galima teigti, kad nors eksperimento pradžioje fiksuotos temperatūros (siekusios 33–38 °C) rodė intensyvią mikrobiologinę veiklą ir aktyvų organinių medžiagų skaidymąsi, vėliau sekęs nuoseklus mažėjimas galėjo būti siejamas su sumažėjusiu biologiniu aktyvumu dėl išekvotų lengvai skaidomų junginių.

Atlikta tiriamojo laikotarpio drėgmės duomenų analizė parodė netolygius drėgmės svyravimus (3 pav.).

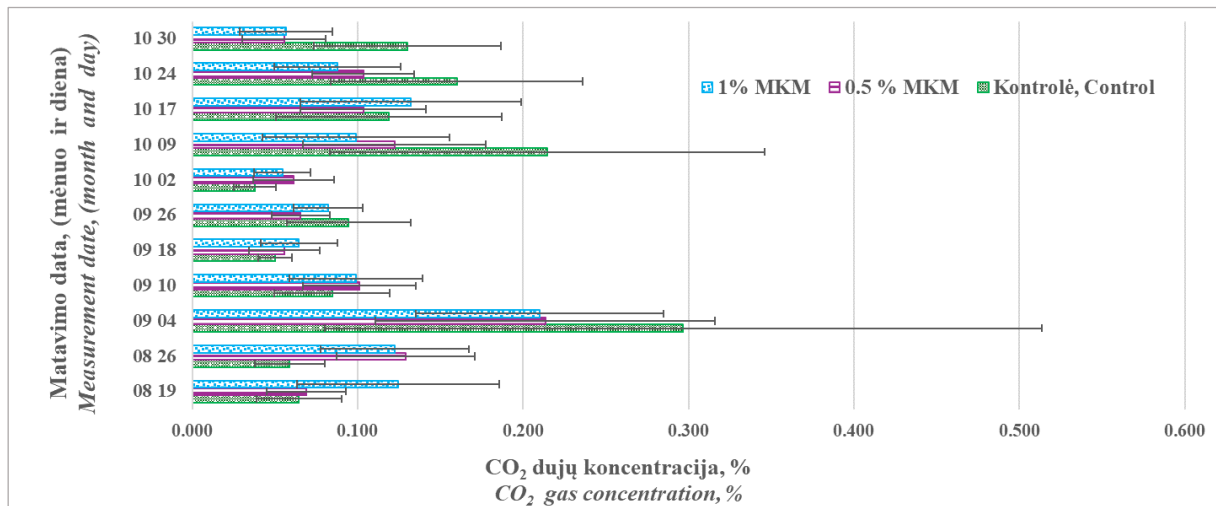


3 pav. Kompostuojamų mišinių drėgmės kiekis rugpjūčio–spalio mėnesiais

Fig. 3. Moisture content of compostable mixtures in August-October

Eksperimento pradžioje (rugpjūčio 22 d.) didžiausiu drėgmės kiekiu pasižymėjo kontrolinis variantas (47,63 %), tarpiniu drėgnumu – 0,5 % MKM (43,22 %), mažiausiu – 1 % MKM (36,07 %) variantai. Stebėta drėgmės didėjimo tendencija vykusio rugsėjo pradžioje, nustatyta kontroliniame variante, tuo metu išmatuotas 52,53 % drėgmės kiekis. Šiuo laikotarpiu 0,5 % ir 1 % MKM variantai buvo kiek sausesni, drėgmė svyravo 47–48 % diapazone. Vėliau drėgmės kiekis visuose variantuose mažėjo. Atsižvelgus į vykusių drėgmės pokyčius taikytas papildomas drėkinimas. Rugsėjo 15 d. drėgmės kiekis tarp variantų tapo tolygiu ir atitiko 42,43 % – kontrolėje, 41,39 % – 0,5 % MKM, 37,45 % – 1 % MKM. Įdomu tai, kad rugsėjo 19 d. kontrolėje užfiksuotas ženklus sumažėjimas (32,48 %), priešingai kontrolei rodmenys fiksuoti MKM variantuose, kuriuose drėgmė didėjo – ypač 1 % MKM (50,65 %). Tačiau nustatytai drėgmės variacijai įtakos galėjo turėti mišinių heterogeniškumas bei įvesto papildomo drėkinimo sukeltas netolygus drėgmės pasiskirstymas. Nuo rugsėjo 24 dienos iki tyrimo pabaigos didžiausia kompostų drėgmė išliko kontroliniame variante.

Kompostavimo proceso metu CO₂ netiesiogiai parodo mikrobines respiracijos intensyvumą ir biodegradacijos efektyvumą. Tyrimo eigoje CO₂ dujų koncentracija pasižymėjo aukšta variacija ir netolygiu kitimu (4 pav.). Pirmieji statistškai reikšmingi skirtumai fiksuoti rugpjūčio 19 dieną (LSD_{0,05}). Tuo metu esmingai mažiausia CO₂ dujų koncentracija nustatyta kontroliniame variante – 0,064 %, didžiausia – 1 % MKM variante (0,124 %).



Matavimo data Measurement date	08-19	08-26	09-04	09-10	09-18	09-26	10-02	10-09	10-17	10-24	10-30
LSD _{0,05}	0,055	0,048	0,183	0,041	0,02	0,03	0,022	0,099	0,047	0,058	0,04
LSD _{0,01}	0,075	0,067	0,252	0,056	0,027	0,041	0,031	0,136	0,064	0,08	0,055
HSD _{0,05}	0,066	0,059	0,223	0,05	0,024	0,037	0,027	0,12	0,057	0,071	0,049
HSD _{0,01}	0,087	0,077	0,293	0,065	0,032	0,048	0,035	0,157	0,075	0,093	0,064

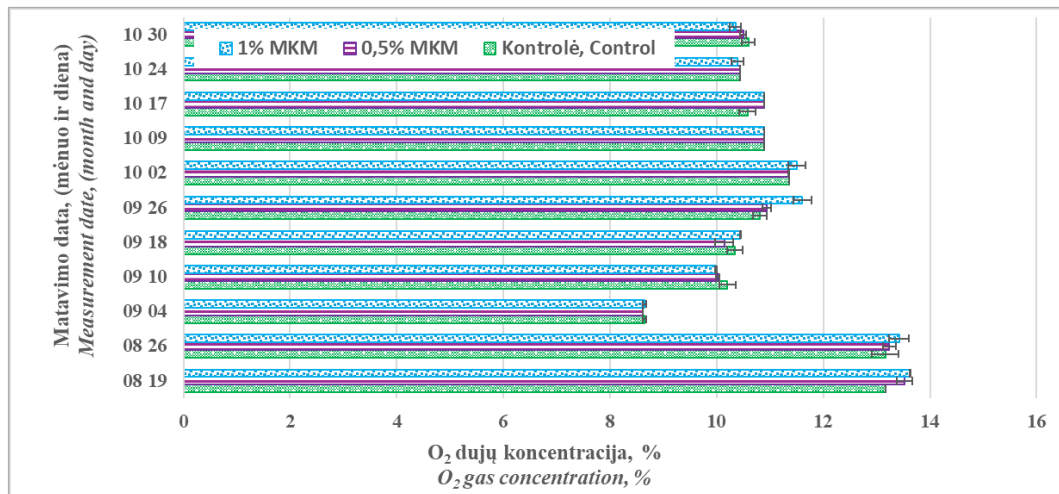
4 pav. Kompostuojamų mišinių CO₂ dujų koncentracija rugpjūčio–spalio mėnesiais
Fig. 4. CO₂ gas concentration in composting mixtures from August to October

Pakartotinis statistinis reikšmingumas tarp kontrolinio ir priedais paveiktų variantų fiksuotas ir kitą savaitę (HSD_{0.05}), tuo metu nustatytas beveik dvigubai didesnis CO₂ koncentracijų padidėjimas. Rugsėjo pradžioje CO₂ kiekis variantuose su priedais neturėjo ženklių skirtumų, tačiau kontroliniame variante fiksuotas 5 kartų padidėjimas lyginant su paskutinio matavimo rodmenimis. Nuo rugsėjo 10 dienos CO₂ dujų koncentracija neviršijo 0,1 % ribos. Spalio 9 dieną pakilusi temperatūra turėjo įtakos CO₂ dujų koncentracijų padidėjimui visuose tiriamuosiuose variantuose. Lyginamoji analizė (spalio 9 – spalio 26 dienos) parodė variantuose vykusius maksimalius CO₂ koncentracijų padidėjimus: ~ 5,5 karto kontroliniame variante, beveik 2 kartų 0,5% MKM variante, ~ 90 % 1% MKM variante. Tačiau šiuo periodu nebuvo nustatyti statistškai reikšmingi skirtumai. Spalio 9 dieną (LSD_{0.05}) 1% MKM variante nustatytas statistškai reikšmingas CO₂ koncentracijos sumažėjimas iki 0,09 %) lyginant su kontroliniu variantu, kuriame fiksuota CO₂ koncentracija siekė 0,214 %. Spalio viduryje aukštesnė kompostuojamų mišinių temperatūra buvo stebima kontroliniame ir 1 % MKM variantuose, todėl CO₂ kiekis šiuose variantuose pasižymėjo neesmingai aukštesnėmis vertėmis. Spalio 24 HSD_{0.05} testas identifikavo statistškai reikšmingą sumažėjimą tarp kontrolės ir abiejų variantų su skirtingomis MKM normomis. Ši tendencija tik skirtingu intensyvumu atsikartojo ir spalio 30 dieną (HSD_{0.01}).

Aerobinio kompostavimo metu būtina užtikrinti $\geq 5\%$ O₂ koncentraciją, reikalingą mikroorganizmų veiklos intensyvumo palaikymui ir organinių medžiagų skaidymosi efektyvumui. Biodegradacijos proceso metu deguonies suvartojimo lygis siejamas su procesiniu biologiniu aktyvumu ir metabolinio aktyvumo metu išskiriamu CO₂.

Pirmą eksperimentinio tyrimo mėnesį O₂ koncentracija visuose mišiniuose pasižymėjo tolygiu ~ apie 13 % siekusi rodikliu (5 pav.). Bendra kitimo tendencija išsiskyrė vienu trumpalaikiu, tačiau esmingai reikšmingu O₂ koncentracijų mažėjimu, po šio laikotarpio vertė nuosekliai didėjo kol buvo pasiekta stabilizacijos fazė.

Rugsėjo 4 dieną tiriamuosiuose variantuose fiksuotas O₂ koncentracijos sumažėjimas iki 8,6 % parodė biologinio aktyvumo padidėjimą sutapusį su tuo metu fiksuotomis aukštesnėmis CO₂ koncentracijų reikšmėmis. Ši prielaida sutampa su Mitchell et al. (2015) stebėjimo rezultatais, nurodančiais didesnę O₂ poreikį esant intensyvesniam skaidymosi procesui. Šiuo laikotarpiu dėl padidėjusio deguonies poreikio taikytas kompostuojamų mišinių homogenizavimas ir aeravimas turėjo įtakos vėlesnio matavimo rodmenims.



5 pav. Kompostuojamų mišinių O₂ dujų koncentracija rugpjūčio–spalio mėnesiais

Fig. 5. O₂ gas concentration in composting mixtures from August to October

Kitą matavimą nustatytas 2 % didesnis deguonies lygis stabilizavosi ir išsilaikė 10,14–10,44 % ribose. Rugsėjo 26 – spalio 2 laikotarpiu koncentracijos nežymiai didėjo, o didžiausia 11,5 % O₂ koncentracija buvo nustatyta 1% MKM variante. Tolimesniuose matavimuose nefiksuota žemesnės nei 10 % O₂ koncentracijos riba galėjo turėti įtakos biodegradacijos efektyvumui.

Išvados

1. Nors rugpjūčio viduryje kompostuojamų mišinių temperatūra kilo (didžiausia buvo rugpjūčio 13 d. – 35,2 °C 1 % MKM, o rugpjūčio 15 d. – 37,5 °C kontrolėje), tačiau nuo rugpjūčio 22 d. pasireiškė mažėjimo tendencija su pakilimo intarpu rugsėjo pradžioje. Spalio mėnesį kompostuojamų mišinių temperatūra labiau priklausė nuo aplinkos temperatūros ir nekilo aukščiau 14 °C. Matavimo duomenų analizė parodė ribotą MKM priedų poveikį aukštesnių verčių akumuliacijai.
2. Viso eksperimento metu variantai su įterptais MKM priedais pasižymėjo žemesniu drėgmės lygiu lyginant su kontroliniu variantu. Tai siejama su įterpto priedo norma ir jame esančiu papildomu sausųjų medžiagų kiekiu.
3. CO₂ dujų koncentracija rugpjūčio 19 d. buvo nustatyta esmingai mažiausia (LSD_{0,05}): mažiausia – kontroliniame variante – 0,064 %, didžiausia – 1% MKM variante – 0,124 %. Po savaitės buvo nustatyti reikšmingi skirtumai (HSD_{0,05}), nes CO₂ koncentracija buvo padidėjusi dvigubai. Spalio 9 dieną (LSD_{0,05}) 1% MKM variante nustatytas statistiškai reikšmingas CO₂ koncentracijos sumažėjimas iki 0,09 % lyginant su kontroliniu variantu. Spalio 24 d. statistiškai reikšmingas sumažėjimas (HSD_{0,05}) buvo gautas tarp kontrolės ir abiejų variantų su skirtingomis MKM normomis. Ši tendencija tik skirtingu intensyvumu atsikartojo ir spalio 30 dieną (HSD_{0,01}). Aukštesnėmis CO₂ koncentracijų reikšmėmis tiriamuoju laikotarpiu pasižymėjo kontrolinis variantas dėl sartesnio kompostavimo proceso.
4. Tyrimo metu taikytas mišinių aeravimas ir homogenizavimas užtikrino aerobinių sąlygų palaikymą bei prisidėjo prie O₂ stabilizacijos. Nuo rugsėjo 10 d. tolimesniuose matavimuose nefiksuota žemesnės nei 10 % O₂ koncentracijos riba galėjo turėti įtakos biodegradacijos efektyvumui.

Literatūra

1. Białobrzewski, I. Mikš-Krajnik, M. Dach, J. (2015). Model of the sewage sludge-straw composting process integrating different heat generation capacities of mesophilic and thermophilic microorganisms. *Waste Manag.*, 43, 72–83. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.05.036>.
2. Gabhane, J., William, S. P., Bidyadhar, R., Bhilawe, P., Anand, D., Vaidya, A. N., Wate, S. R. (2012). Additives aided composting of green waste: Effects on organic matter degradation, compost maturity, and quality of the finished compost. *Bioresource Technology*, 114, 382–388.
3. Hoornweg, D., Bhada-Tata, P., Kennedy, C. (2013). Environment: Waste production must peak this century. *Nature* 2013, 502 (7473), 615– 617, DOI: 10.1038/502615a
4. Hoornweg, D., Bhada-Tata, P., Kennedy, C. (2013). Environment: Waste production must peak this century. *Nature*, 502(7473), 615–617. <https://doi.org/10.1038/502615a>
5. Lamourou, H., Karbout, N., Zriba, Z., Zoghlami, I. R. (2023). Stability and maturity indexes of organic fraction compost. *Emirates Journal of Food and Agriculture*.

6. Lohri, C. R., Diener S., Zabaleta I., Mertenat A., Zurbrugg C. (2017). Treatment technologies for urban solid biowaste to create value products: a review with focus on low-and middle-income settings. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 16, 81–130, DOI: 10.1007/s11157-017-9422-5
7. Lohri, C. R., Diener, S., Zabaleta, I., Mertenat, A., Zurbrugg, C. (2017). Treatment technologies for urban solid biowaste to create value products: a review with focus on low- and middle-income settings. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 16(1), 81–130
8. Meng, X. Y., Liu, B., Xi, C., Luo, X. S., Yuan, X.F., Wang, X. F., Zhu, W. B., Wang, H. L., Cui Z. J. (2018). Effect of pig manure on the chemical composition and microbial diversity during co-composting with spent mushroom substrate and rice husks. *Bioresour. Technol.*, 251, 22–30.
9. Mitchell, S. M., Ullman, J. L., Bary, A., Cogger, C. G., Teel, A. L., Watts, R. J. (2015). Antibiotic degradation during thermophilic composting. *Water, Air, & Soil Pollution*, 226(2), 13.
10. Oviedo-Ocaña, E. R., Hernández-Gómez, A., Dominguez, I., Alexis Parra-Orobio, B., Soto-Paz, J., Sánchez, A. (2022). Evaluation of Co-Composting as an Alternative for the Use of Agricultural Waste of Spring Onions, Chicken Manure and Bio-Waste Produced in Moorland Ecosystems. *Sustainability*, 14(14), 8720. <https://doi.org/10.3390/su14148720>
11. *SPSS Instant 10*. Statistics I; IBM: Armonk, NY, USA, 2000; p. 663.
12. Wang X., Tian L., Li Y., Zhong C., Tian C. (2022). Effects of exogenous cellulose-degrading bacteria on humus formation and bacterial community stability during composting. *Bioresour. Technol.*, 359, 127458.

Sidona Buragienė, Brigita Senkienė

Impact of Sustainable Composting Technology with Organic Bioadditionals on Main Parameters

Vytautas Magnus University, Lithuania

With the increasing volume of biodegradable waste and stricter environmental requirements, composting is becoming one of the most important technologies for organic waste management. The research was conducted from August to October 2025. Three different composting mixtures were formed from vegetable waste, straw, and an MKM additive: control, 0.5% MKM (meat-and-bone meal), and 1% MKM. During the experiment, the temperature, moisture content, CO₂ and O₂ gas concentrations. Throughout the entire study period, the temperature showed a downward trend. The use of MBM resulted in lower temperatures, which was particularly evident in the September measurement data. During the study period, CO₂ gas concentrations exhibited high variability and irregular fluctuations. On October 30, the CO₂ concentration decreased statistically significantly (HSD_{0.01}) between the control and both variants with different MKM rates (0.056%–0.5% MKM and 0.057%–1% MKM). The control variant stood out with higher CO₂ concentration values due to a faster composting process.

Keywords: Compost, meat-bone meal, temperature, carbon dioxide.

Gauta 2026 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2026 m. balandžio mėn.

Sidona BURAGIENĖ. 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 37 752357, el. paštas: sidona.buragiene@vdu.lt

Sidona BURAGIENĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, assoc. prof. Address: Studentų g. 15a, LT-53362, Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 37 752357, e-mail: sidona.buragiene@vdu.lt

Brigita SENKIENĖ. 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 37 752357, el. paštas: brigita.senkiene@vdu.lt

Brigita SENKIENĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, Master's student. Address: Studentų g. 15a, LT-53362, Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 37 752357, e-mail: brigita.senkiene@vdu.lt

FALSIFIKAVIMO VALDYMO PROGRAMOS TAIKYMAS PIENO PRODUKTŲ GAMYBOJE

Aušra Steponavičienė¹, Svajūnė Garmuvienė¹, Sidona Buragienė²

¹Kauno kolegija, ²Vytauto Didžiojo universitetas

Maisto produktų klastojimas įvyksta, kai maisto tiekėjas sąmoningai klaidina savo klientą dėl perkamų maisto produktų kokybės ir sudėties. Nors maisto produktų klastojimas dažnai yra siejamas su pelno siekimu, tačiau tai gali kelti tiesioginę grėsmę vartotojų sveikatai. Pieno klastojimas dažna maisto apgaulės forma, kuri pastaraisiais metais tapo svarbia socialine problema. Pagal pieno supirkimo taisyklės natūralaus pieno užšalimo temperatūra (PUT) turi būti ne aukštesnė kaip $-0,515^{\circ}\text{C}$ (normali nuo $-0,520^{\circ}\text{C}$ iki $-0,560^{\circ}\text{C}$). Kai piene yra vandens, pieno užšalimo temperatūra artėja prie 0°C (vandens užšalimo temperatūros). Maisto gamybos grandinėje vienas iš pagrindinių reikalavimų – falsifikavimo valdymas. Pieno produktų gamyboje įgyvendinant maisto saugą ir kokybę reglamentuojančio tarptautinio standarto (IFS Food) reikalavimus parengta ir pritaikyta falsifikavimo valdymo programa.

Raktiniai žodžiai: pienas, falsifikavimas, „IFS Food“, falsifikavimo valdymo programa.

Įvadas

Valstybinės maisto ir veterinarijos tarnybos pateikiami maisto produktų klastojimo pavyzdžiai: maisto produkto kilmės šalies klastojimas; šalutinių gyvūninių produktų perdirbimas ir gražinimas į maisto grandinę; maisto produkto pakeitimas pigesniu (pvz., sąmoningai nurodomas neteisingas žuvies rūšies pavadinimas, o realizuojama mažesnės vertės žuvis, lašišinių žuvų ikry pakeitimas pigesniais, aukščiausios rūšies mėsos gaminių pakeitimas I ar II rūšies gaminiais); maisto produktų skiedimas (pvz., alyvuogių aliejaus skiedžiamas kitų augalų aliejumi, o etiketėje nurodoma „aukščiausios kokybės pirmojo spaudimo alyvuogių aliejus“ / „extra virgin olive oil“, taip pat savavališkas vyno skiedimas vandeniu); savavališkas tinkamumo vartoti termino pratęsimas, pasikartojantis maisto produktų su pasibaigusiu tinkamumo vartoti terminu pardavimas; maisto produktų sudedamųjų dalių pakeitimas pigesnėmis (pvz., augaliniai riebalai svieste, prieskonių primaišymas, dažikliai prieskoniuose, sojos baltymų ar mechanškai atskirtos mėsos naudojimas aukščiausios rūšies mėsos gaminiuose); maisto produkto maskavimas, įdedant medžiagą ar ingredientą, kurie paprastai į šio produkto sudėtį neįeina, siekiant pagerinti produkto išvaizdą, kokybę ar siekiant nuslėpti gamybos nesėkmes (pvz., maisto priedo azodikarbonamido naudojimas miltuose, siekiant juos išbalinti, gendančios mėsos mirkymas acto tirpale, siekiant užmaskuoti gedimo požymius); pasikartojantis klaidingos informacijos apie žaliavas, maisto produktų sudedamąsias dalis nurodymas (pvz., dešros ženklavimo etiketėje nurodoma jautiena, o gamybos proceso metu naudojama kitos rūšies mėsa); pasikartojantis klaidingas maisto produkto grynojo svorio nurodymas; neekologiški produktai ženklinami ar parduodami kaip ekologiški (Valstybinė maisto ir veterinarijos tarnyba).

Dėl savo maistinės vertės pienas yra plačiai vartojamas įvairaus amžiaus žmonių grupių, tačiau vaikų mityboje vienas iš svarbiausių produktų. Įprastai pienas sudarytas iš 87,7 % vandens, 4,9 % angliavandenių (laktozės), 3,4 % riebalų, 3,3 % baltymų ir 0,7 % mineralų (Slovák, 2021; Olika, 2021; Tyasi ir kt., 2015). Jo sudėtis keičiasi priklausomai nuo gyvulio veislės, rūšies, pašaro ir laktacijos etapo. Piene galima rasti įvairių tipų baltymų (Bidaliya ir kt., 2021).

Maisto produktų klastojimas labai dažnai pasitaiko pieno pramonėje. Pieno falsifikavimas – tai produkto kokybės mažinimo procesas, į jį įdedant kokią nors kitą prastesnės kokybės medžiagą, dėl kurios prarandama tikroji pieno kokybė (Afzal ir kt., 2011; Gupta ir kt., 2020). Tai procesas, kurio metu padidinamas pieno tūris, parduodama daugiau pieno, todėl gamintojai gauna didesnę pelną, o pieno gamyba ir vartojimas didėja (Mota ir kt., 2003; Saad ir kt., 2005).

Mokslininkų teigimu 68 % pieno nesaugus; pienas yra klastojamas įvairiais būdais, pienas gali būti falsifikuojamas praskiedžiant vandeniu, įterpiant skirtingų cheminių medžiagų (oksitocino, formalino, vandenilio peroksido, melamino, amonio sulfato), ploviklių, azoto, krakmolo, augalinių aliejų, sintetinio pieno (Singh, 2012). Teršalai, tokie kaip krakmolai, gliukozė, formalinas, sumaišyti su plovikliais, padidina pieno tirštumą. Dėl to gamintojai uždirba didesnę pelną iš vartotojų (Jurica et al., 2021; Jha et al., 2016; Thangaraju et al., 2021).

Nors ekonominė nauda yra vienas iš pagrindinių pieno klastojimo veiksnių, tačiau dėl cheminių medžiagų žalingo poveikio vartojant užterštą pieną gali kilti rimtų sveikatos problemų žmonėms. Maisto produktų klastojimo nustatymas yra sudėtingas uždavinys, nes vartotojai negali to pastebėti (Raturi ir kt., 2022). Vienas iš pagrindinių šios problemos sprendimų maisto saugos vadybos sistemos taikymas pagal tarptautinių standartų reikalavimus. Vienas iš maisto kokybės ir saugos valdymo reikalavimų maisto produktų gamybos įmonėje – maisto falsifikavimo valdymas visoje maisto gamybos grandinėje. Todėl darbo tikslas – įdiegti maisto

falsifikavimo valdymo programą pieno produktų gamybos įmonėje maisto falsifikavimo valdymui užtikrinti ir pritaikyti IFS Food standarto reikalavimus. Maisto produktų gamybos įmonės privalo savo veikloje pritaikyti maisto produktų falsifikavimo valdymo tvarką, diegti pieno įmonėje maisto saugos vadybos sistemą pagal tarptautinių standartų reikalavimus.

Tyrimų metodika

Pagal tarptautinio maisto kokybę ir saugą reglamentuojančio standarto (IFS Food) reikalavimus – pieno produktų gamybos įmonėje pritaikyta maisto falsifikavimo valdymo programa apimanti:

- Žaliavų / medžiagų falsifikavimo rizikos vertinimo metodiką;
- Žaliavų / medžiagų falsifikavimo valdymo planą.

Rezultatai ir aptarimas

„IFS Food“ standartas buvo nuolat tobulinamas, kad atitiktų geriausią praktiką ir dabartinius maisto saugos reikalavimus. Nuo pirmosios iki naujausios versijos jis buvo atnaujinamas, kad atspindėtų pramonės pokyčius ir reguliavimo reikalavimus. IFS maisto standarto reikalavimų skaičius padidėjo nuo pirmosios versijos (2003 m.: 120 reikalavimų) iki naujausios versijos (2023 m.: 210 reikalavimų), o tai rodo, kad laikui bėgant reikalavimai tapo sudėtingesni ir detalesni. Kiekviena IFS maisto standarto versija buvo sukurta taip, kad prisitaikytų prie kintančių maisto sektoriaus reikalavimų, taip užtikrinant maisto produktų saugą ir kokybę pasauliniu mastu (1 lentelė).

1 lentelė. Modelis. Konkretūs klausimai, susiję su „IFS Food“ standarto atnaujinimu nuo pirmojo leidimo iki dabartinio (Păcală et al., 2024)

Table 1. Model The specific issues regarding the update of the IFS Food standard from the first version up to the present one (Păcală et al., 2024)

„IFS Food“ versija (metai)	Savybės
IFS Food v1 (2003)	- nustatė pagrindinius maisto produktų saugos ir kokybės reikalavimus.
IFS Food v2 (2005)	- remdamiesi atsiliepimų vertinimu ir ankstesne patirtimi, įdiegė atnaujinimus, skirtus maisto saugos reikalavimams ir kokybės kontrolei gerinti.
IFS Food v3 (2007)	- pridėta papildomų reikalavimų ir atlikti atnaujinimai, atsižvelgiant į maisto pramonės pokyčius ir galiojančius reglamentus.
IFS Food v4 (2010)	- įtraukti išsamesni rizikos kontrolės ir higienos reikalavimai, taip padidinant reikalavimų konkretumą ir pritaikomumą.
IFS Food v5 (2012)	- patobulintos rizikos valdymo praktikos ir įdiegtos griežtesnės auditų bei nuolatinės stebėsenos reikalavimai.
IFS Food v6 (2014)	- nustatė naujus skaidrumo ir atskaitingumo reikalavimus, daugiau dėmesio skirdama rizikos valdymui ir griežtam tiekėjų vertinimui.
IFS Food v6.1 (2017)	- nedidelis ankstesnio standarto reikalavimų atnaujinimas.
IFS Food v7 (2020)	- įdiegė reikšmingus pakeitimus, siekdama suderinti standartą su naujausiais teisės aktais ir pramonės tendencijomis, ypatingą dėmesį skirdama rizikos vertinimui ir kokybės kontrolei.
IFS Food v8 (2023)	- palyginti su ankstesnėmis versijomis, joje įdiegta daugybė atnaujinimų ir reikšmingų patobulinimų.

Pieno kokybės rodikliai bei jų tyrimo periodiškumas turi atitikti antroje lentelėje nurodytus reikalavimus.

Pagal pieno supirkimo taisyklės natūralaus pieno užšalimo temperatūra (PUT) turi būti ne aukštesnė kaip $-0,515\text{ }^{\circ}\text{C}$ (normali nuo $-0,520\text{ }^{\circ}\text{C}$ iki $-0,560\text{ }^{\circ}\text{C}$). Kai piene yra vandens, pieno užšalimo temperatūra artėja prie $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (vandens užšalimo temperatūros). Lietuvoje šis rodiklis tiriamas visiems pieno gamintojams vieną kartą per mėnesį VI „Pieno tyrimai“. Tokiu tyrimu siekiama įvertinti gyvulių gerovę ūkyje ir nustatyti, ar pienas neskiedžiamas vandeniu. Gaminant pieno produktus iš pieno, kurio užšalimo temperatūra aukštesnė, padidėja jo išeiga, t. y. tam pačiam sūrio kiekiui pagaminti reikia daug daugiau pieno. Be to, toks pienas yra daug mažesnės maistinės vertės (Mano ūkis, 2004).

Pieno klastojimas yra paplitusi maisto apgaulės forma, kuri pastaraisiais metais tapo svarbia socialine problema. Kuomet ne tik patiriami finansiniai nuostoliai, bet ir sukeliamas pavojus vartotojo sveikatai (Esteki ir kt., 2019). Inkstų ir dermatologinės ligos, akių ir širdies problemos bei vėžys yra tik kelios iš jų. Todėl labai svarbu užkirsti kelią pieno klastojimo nustatymui.

2 lentelė. Pieno kokybės rodikliai ir jų tyrimų periodiškumas**Table 2.** Milk quality indicators and their testing frequency

Rodiklio pavadinimas	Norma	Tyrimo periodiškumas	Kas nustato
Pirminiai pieno kokybės rodikliai			
Spalva	Balta arba gelsvo atspalvio	Priimant kiekvieną pieno siuntą	Supirkėjas
Kvapąs	Be specifinio pašarų ar kitų medžiagų kvapo. Žiemą ir pavasarį galimas silpnas pašarų kvapas	Priimant kiekvieną pieno siuntą	Supirkėjas
Konsistencija	Vienalytė, nesusaldyta, be gleivių, nuosėdų, baltymų dribsnių, sviesto kruopelių ir mechaninių priemaišų	Priimant kiekvieną pieno siuntą	Supirkėjas
Temperatūra	Pieno pardavimo metu – ne aukštesnė kaip 8 °C, išskyrus atvejus, kai pienas pristatomas per 2 val. po melžimo. Į pieno apdorojimo ir perdėbimo įmones atvežto pieno temperatūra neturi viršyti 10 °C	Priimant kiekvieną pieno siuntą, išskyrus atvejus, kai pienas pristatomas per 2 val. po melžimo	Supirkėjas
Skonis	Be specifinio pašarų ar kitų medžiagų skonio. Žiemą ir pavasarį galimas silpnas pašarų prieskonis	Kilus įtarimui	Supirkėjas
Rūgštingumas	Ne didesnis kaip 18 °T	Kilus įtarimui	Supirkėjas
Švarumas	Ne žemesnės kaip I grupės	Kilus įtarimui	Supirkėjas
Tankis	Ne mažesnis kaip 1027 kg m ⁻³	Kilus įtarimui	Supirkėjas
Neutralizuojančios ir inhibitorinės (slopinančiosios) medžiagos	Neturi būti	Kilus įtarimui	Supirkėjas
Pieno kokybės rodikliai			
Užterštumas bakterijomis, ne daugiau kaip tūkst. ląst. ml ⁻¹	100	Ne rečiau kaip du kartus per mėnesį laikotarpiais: nuo 1 iki 15 d. ir nuo 16 iki 31 d.	Laboratorija
Somatinių ląstelių skaičius ne daugiau kaip tūkst. ląst. ml ⁻¹	400	Ne rečiau kaip tris kartus per mėnesį – ne rečiau kaip po vieną tyrimą laikotarpiais: nuo 1 iki 15 d. ir nuo 16 iki 31 d.	Laboratorija
Inhibitorinės (slopinančiosios) medžiagos	Neturi būti	Ne rečiau kaip du kartus per mėnesį laikotarpiais: nuo 1 iki 15 d. ir nuo 16 iki 31 d.	Laboratorija
Pieno užšalimo temperatūra ne aukštesnė kaip °C	- 0,515	Ne rečiau kaip vieną kartą per pusmetį	Laboratorija

Maisto falsifikavimo valdymas – vienas iš „IFS Food“ standarto reikalavimų (žr. 3 lentelė).

3 lentelė. Maisto falsifikavimo valdymas pagal „IFS Food“ standarto reikalavimus**Table 3.** Food adulteration management according to the IFS Food standard

„IFS Food“ standarto skyrius	„IFS Food“ standarto reikalavimas
4.20	Maisto falsifikavimas
4.20.1	Turi būti apibrėžta atsakomybė už maisto falsifikavimo pažeidžiamumo įvertinimą ir sušvelninimo planą. Atsakingas (-i) asmuo (-ys) turi turėti atitinkamų specialių žinių
4.21.2	Turi būti parengta, įdiegta ir prižiūrima dokumentinė maisto falsifikavimo analizė, apimanti falsifikavimo kriterijus. Siekiant nustatyti pažeidžiamumo rizikas atsižvelgiant į pakeitimą, netinkamą paženklinimą, falsifikavimą ir klastojimą analizė turi apimti visas žaliavas, ingredientus, pakavimo medžiagas ir perkamus išorės procesus.
4.21.3	Turi būti parengtas, įdiegtas ir prižiūrimas maisto falsifikavimo sumažinimo planas atsižvelgiant į pažeidžiamumo analizę ir turi apimti monitoringo ir tikrinimo metodus.
4.20.4	Maisto klastojimo / pažeidžiamumo analizė turi būti reguliariai, bent kartą per metus, peržiūrima ir (arba) padidėjus rizikai. Jei būtina, maisto falsifikavimo / klastojimo planas turi būti atitinkamai peržiūrimas / atnaujinamas.

Pieno produktų gamybos grandinėje pagal „IFS Food“ standarto reikalavimus pritaikant falsifikavimo valdymo programą atlikta žaliavų falsifikavimo analizė, kurios metu nustatytos rizikos ir pritaikytos jų valdymo priemonės (4, 5 ir 6 lentelės).

Nustatant rizikos lygį gali būti atsižvelgiama į šiuos kriterijus: istoriniai maisto falsifikavimo incidentai; ekonominiai faktoriai; falsifikavimo veiklos paprastumas ir prieinamumas; tiekimo grandinės sudėtingumas; prieinamos kontrolės priemonės; tiekėjo konfidencialumas (nežinomumas, slapstymasis). Produkto rizikos veiksniai ir produkto rizikos vertinimo kriterijai pateikti 4 lentelėje.

4 lentelė. Produkto rizikos veiksniai ir produkto rizikos vertinimo kriterijai

Table 4. Product risk factors and product risk assessment criteria

Produkto rizikos veiksniai	Produkto rizikos vertinimo kriterijai
Produktų klastojimo istorija – incidentai	Klastojimo atvejų skaičius, rūšys ir dažnumas
Ekonominiai veiksniai	Kaina (produkto pelningumas, pvz., pelno garantinė įmoka ir kiekis) Produkto prieinamumas (sezoniškumas, kiekio / kokybės sumažinimas, didelė vartotojų paklausa, kvota) Prieinamumas klastojimui (kiekis, kaina, pobūdis) Tarifas (padidėję arba svyruojantys vyriausybės tarifai, turintys įtakos kainai ir prieinamumui) Kainų svyravimas (sezoniškumas, kiekio / kokybės sumažinimas, didelė vartotojų paklausa, kvotos, kainų nustatymo mechanizmai)
Nesąžiningos veiklos sumažinimas	Fizinis produkto pobūdis (skystis, milteliai, smulkinti gabaliukai, pilnas) Nesąžiningo proceso išlaidos ir sudėtingumas (vieta, įranga, gamybos išlaidos, pakavimo išlaidos, realizavimo išlaidos) Personalo įsitraukimas į nesąžiningą veiklą (skaičius, vietų skaičius) Pakuotės formatai (žaliavos pakuotės ir klastojimo pobūdis)
Tiekimo grandinės sudėtingumas	Geografinė vieta (gamybos vieta ir tiekimo grandinės ilgis) Tiekimo grandinės organizacijų skaičius (gamyba, sandėliavimas, realizavimas, atstovas ar tarpininkas) Gamyklų skaičius tiekėjų organizacijoje
Dabartinės kontrolės priemonės nustatant klastojimą	Tikrinimo institucijos (sertifikavimo įstaigos, audito įstaiga, laboratorijos tikrinimas ir jos statusas (akredituota/neakredituota), tikrinimo įstaigos statusas (akredituota / neakredituota)) Tikrinimo metodika (akredituota/neakredituota analitinė metodika, auditas (sertifikuotas / nesertifikuotas), produkto tikrinimas, produkto tikrinimo įstaiga ir statusas (akredituotas / neakredituotas)) Tikrinimo dažnumas (auditas, gaminio tikrinimas) Tikrinimo išlaidos (produkto tikrinimas, analitinių tikrinimų sudėtingumas)

Atliekant kiekvienos pieno gamybos įmonėje naudojamos žaliavos falsifikavimo rizikos įvertinimą būtina išanalizuoti visas naudojamas žaliavas bei jų falsifikavimo tikimybę. Rizikos dydis (maža, vidutinė ar didelė) įvertintas pritaikant pagrindinius kriterijus (5 ir 6 lentelės).

5 lentelė. Falsifikavimo rizikų pieno įmonėje vertinimo kriterijai

Table 5. Criteria for assessing the risks of adulteration in a dairy company

Žaliavos pavadinimas	Žaliavos identifikavimo Nr.	Falsifikavimo rizikų pieno įmonėje vertinimo kriterijai				
		Sukčiavimo atvejų dėl šios žaliavos / medžiagos istorija. Nepasitaiko – 1; reti atvejai – 2; pasitaiko dažnai – 3.	Žaliavos medžiagos kilmė: 1 – patikimos (ES); 2 – JAV; 3 – rizikingos šalys (trečios šalys).	Geografinė kilmė (tiekimo grandinės kompleksiskumas); 1 – gamintojas; 2 – tarpinis tiekėjas; 3 – keli tiekėjai.	Žaliavos / medžiagos charakteristika (ar būdingas falsifikavimas); 1 – labai sudėtingas falsifikavimas; 2 – tikėtinas; 3 – lengva falsifikuoti.	Ekonominiai veiksniai (žaliavos / medžiagos kaina / prieinamumas); 1 – žema; 2 – vidutinė; 3 – aukšta.

Pastaba: 1 – rizika maža / atsiradimo tikimybė mažai tikėtina; 2 – rizika vidutinė / atsiradimo tikimybė tikėtina; 3 – rizika didelė / atsiradimo tikimybė dažna.

Falsifikavimo rizikų analizė turi būti atliekama ne rečiau kaip kartą per metus arba įvykus pokyčiams peržiūrima ir atnaujinama.

6 lentelė. Falsifikavimo rizikų pieno įmonėje įvertinimas
Table 6. *F Assessment of counterfeiting risks in a dairy company*

Kas gali būti falsifikuojama	Pažeidžiamumas / rizika				
Pienas	Sukčiavimo atvejų dėl šios žaliavos / medžiagos istorija	Žaliavos medžiagos kilmė	Geografinė kilmė (tiekimui grandinės kompleksiskumas); 1 – gamintojas; 2 – tarpinis tiekėjas; 3 – keli tiekėjai	Žaliavos / medžiagos charakteristika (ar būdingas falsifikavimas); 1 – labai sudėtingas falsifikavimas; 2 – tikėtinas; 3 – lengva falsifikuoti	Ekonominiai veiksniai
Pieno skiedimas vandeniui	3	1	3	3	2
Antibiotikai piene	3	1	3	3	2

Rizikos analizė gali skirtis priklausomai nuo įmonės pobūdžio, bet mažiausiai pažeidžiamumo analizės metodikoje turi būti įtraukta: potencialių maisto falsifikavimo veiklų identifikavimas panaudojant žinomus ir atitinkamus duomenų šaltinius; rizikos lygio įvertinimą; įskaitant produktą ir teikimo šaltinį; įvertinimą ar būtinos papildomos kontrolės priemonės; pasinaudojant maisto falsifikavimo ir pažeidžiamumo analizės rezultatais turi būti sukurtas ir įdiegtas maisto falsifikavimo suvaldymo planas; metinė peržiūra, ar kai rizika padidėja dėl atliktos pakartotinės analizės.

Pagal „IFS Food“ standarto reikalavimus atlikus falsifikavimo rizikos vertinimą turi būti pritaikytos jų valdymo priemonės.

Įvertinus rizikos veiksnius pieno gamybos įmonėje patvirtintas falsifikavimo valdymo planas (7 lentelė).

7 lentelė. Falsifikavimo valdymo planas pieno įmonėje
Table 7. *Adulteration management plan in a dairy company*

Falsifikavimo rizikai mažinti naudojamos kontrolės priemonės	Už kontrolę atsakingi darbuotojai	Kontrolės dažnis
Pieno užšalimo temperatūros kontrolė (pieno skiedimo vandeniui įvertinimui)	Laborantas	Išorės akredituotoje laboratorijoje kartą per ketvirtį
Antibiotikų (inhibitorinių medžiagų) piene kontrolė	Laborantas	Kiekviena gauta partija (vidaus laboratorijoje) / išorės akredituotoje laboratorijoje kartą per mėnesį.
Pieno pH kontrolė	Laborantas	Kiekviena gauta partija
Organoleptiniai pieno tyrimai	Laborantas	Kiekvieną kartą priimant pieną
Pieno ūkių įvertinimas	Kokybės vadybininkas	Kartą per metus
Tiekėjų auditas	Pirkimų vadybininkas	Kartą per metus
Tiekimo grandinės įvertinimas	Pirkimų skyrius	Kartą per metus
Tiekėjo rizikos įvertinimas	Pirkimų skyrius	Kartą per metus

Išvados

1. Maisto produktų klastojimas įvyksta, kai maisto tiekėjas sąmoningai klaidina savo klientą dėl perkamų maisto produktų kokybės ir sudėties.
2. Literatūros šaltiniuose skelbiama, kad pieno klastojimas yra paplitusi maisto apgaulės forma, kuri pastaraisiais metais tapo svarbia socialine problema.
3. Maisto gamybos grandinėje vienas iš pagrindinių reikalavimų – falsifikavimo valdymas.
4. Pieno produktų gamyboje įgyvendinant maisto saugą ir kokybę reglamentuojančio tarptautinio standarto (IFS Food) reikalavimus parengta falsifikavimo valdymo programa.

Literatūra

1. Afzal, A., Mahmood, M. S., Hussain, I., & Akhtar, M. (2011). Adulteration and microbiological quality of milk (a review). *Pakistan Journal of Nutrition*, 10(12), 1195–1202.
2. Bidaliya, A., Aman, J., Singh, R., (2021). Nutritional Requirements and Sensors Used For Monitoring Of Sports Activity. *Octa Journal of Biosciences*, 9(2) 127–129.
3. Gupta, S., Siddiqui, A., Singh, R., & Aman, J. (2020). *Preparation of Edible Coating Using Food Waste and Its Application*. www.ijrpr.com ISSN, 2582, 7421.
4. Japertienė, R., Japertas, S. (2004). Pieno užšalimo temperatūra – karvės šėrimo atspindys. *Mano ūkis*, 06. <https://www.manoukis.lt/mano-ukis-zurnalas/2004/06/pieno-uzsalimo-temperatura-karves->

5. Jha, S. N., Jaiswal, P., Grewal, M. K., Gupta, M., & Bhardwaj, R. (2016). Detection of adulterants and contaminants in liquid foods—a review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 56(10), 1662–1684.
6. Jurica, K., Brčić Karačonji, I., Lasić, D., Bursać Kovačević, D., & Putnik, P. (2021). Unauthorized Food Manipulation as a Criminal Offense: Food Authenticity, Legal Frameworks, Analytical Tools and Cases. *Foods*, 10(11), 2570.
7. Mota, F. J. M., Implvo, F., Cunha, S. C., Beatriz, M. & Oliveira, P. P. (2003). Optimization of extraction procedures for analysis of benzoic and sorbic acids in foodstuffs. *Food Chem.*, 82, 469–473.
8. Olika, C. D. (2021). Review on Effect of Nutrition on Milk Composition and Yield of Dairy Cows. *European Journal of Science, Innovation and Technology*, 1(2), 24–31.
9. Păcală, M., L., Căpățână, C., Oancea, S. (2024). Insight into the implementation of the ifs food version 8 requirements in the food safety management system: key steps and benefits. *Chemistry & Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry*, 25(4), pp. 455–482.
10. Raturi, N., Aman, J., Sharma C. (2022). Study Of Adulteration in Milk and Milk Products and Their Adverse Health Effects. *Octa J. Biosci.*, 10(1), 37–50.
11. Saad, B., Bari, M. F., Saleh, M. I., Ahmad, K. & Talib, M. K. M. (2005). Simultaneous determination of preservatives in food stuffs using HPLC. *J. Chromatogr. Anal.*, 1073, 393.
12. Singh, P., & Gandhi, N. (2015). Milk preservatives and adulterants: processing, regulatory and safety issues. *Food Reviews International*, 31(3), 236–261.
13. Slovák, P., Hisira, V., Marčeková, P., & Mudroň, P. (2021). The relationship between claw diseases of dairy cows and the protein and urea content of the milk. *Acta Fytotechnica et Zootechnica*, 24.
14. Thangaraju, S., Modupalli, N., & Natarajan, V. (2021). Food Adulteration and Its Impacts on Our Health/Balanced Nutrition. *Food Chemistry: The Role of Additives, Preservatives and Adulteration*, 189–216.
15. Tyasi, T. L., Gxasheka, M., Tlabela, C. P. (2015). Assessing the effect of nutrition on milk composition of dairy cows: A review. *Int. J. Curr. Sci.*, 17, 56–63.
16. Valstybinė maisto ir veterinarijos tarnyba. (2026). <https://vmvt.lrv.lt/lt/veiklos-sritys/maisto-sauga/maisto-klastojimas/maisto-klastotes-ir-nelegali-prekyba/>

Aušra Steponavičienė¹, Svajūnė Garmuvienė¹, Sidona Buragienė²

Application of a Counterfeit Management Program in Dairy Production

¹ Kaunas University of Applied Sciences, Lithuania, ² Vytautas Magnus University, Lithuania

Food adulteration occurs when a food supplier deliberately misleads its customer about the quality and composition of the food products they purchase. Although food adulteration is often associated with profit-making, it can pose a direct threat to the health of consumers. Milk adulteration is a common form of food fraud, which has become a major social problem in recent years. According to milk procurement rules, the freezing point (FP) of natural milk must not be higher than -0.515°C (normal from -0.520°C to -0.560°C). When milk contains water, the freezing point of milk approaches 0°C (the freezing point of water). One of the main requirements in the food production chain is the management of adulteration. In order to implement the requirements of the international standard regulating food safety and quality (IFS Food) in the production of dairy products, an adulteration management program has been developed and implemented.

Keywords: Milk, adulteration, IFS Food, adulteration management program.

Gauta 2026 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2026 m. balandžio mėn.

Aušra STEPONAVIČIENĖ. Kauno kolegija. Informatikos, inžinerijos ir technologijų fakultetas. Maisto ir agrotechnologijų katedros docentė. Adresas: Pramonės pr. 22, LT-50468, tel. +370 372 81286, el. paštas: ausra.steponaviciene@go.kauko.lt

Aušra STEPONAVIČIENĖ. Kaunas University of Applied Sciences. Faculty of Informatics, Engineering and Technology. Associate Professor of the Department of Food and Agrotechnology. Address: Pramonės pr. 22, LT-50468, Phone: +370 372 81286, e-mail: ausra.steponaviciene@go.kauko.

Svajūnė GARMUVIENĖ. Kauno kolegija. Informatikos, inžinerijos ir technologijų fakultetas. Maisto ir agrotechnologijų katedros docentė. Adresas: Pramonės pr. 22, LT-50468, tel. +370 372 81286, el. paštas: ausra.steponaviciene@go.kauko.lt
Svajūnė GARMUVIENĖ. Kaunas University of Applied Sciences. Faculty of Informatics, Engineering and Technology. Associate Professor of the Department of Food and Agrotechnology. Address: Pramonės pr. 22, LT-50468, Phone: +370 372 81286, e-mail: svajune.garmuviene@go.kauko.

Sidona BURAGIENĖ. 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 37 752357, el. paštas: sidona.buragiene@vdu.lt

Sidona BURAGIENĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, assoc. prof. Address: Studentų g. 15a, LT-53362, Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 37 752357, e-mail: sidona.buragiene@vdu.lt

VARŠKĖS PAKAVIMO MODIFIKUOTOJE ATMOSFEROJE PROCESO ANALIZĖ

Monika Minickaitė-Dimšlienė, Sigitas Petkevičius

Vytauto Didžiojo universitetas

Varškė yra didelės drėgmės, mikrobiologiškai jautrus pieno produktas, dėl savo savybių paprastai pasižymintis trupu galiojimo terminu. Pakavimas modifikuotoje atmosferoje (MAP – *Modified Atmosphere Packaging*) yra vienas iš sprendimų, galinčių prisidėti prie galiojimo termino pratęsimo. Šio darbo tikslas – įvertinti pakavimo modifikuotoje atmosferoje proceso parametrų įtaką varškės kokybės rodikliams ir galiojimo terminui. Tyrimo metu vertinta vakuumo lygio, dujų padavimo slėgio ir laikymo temperatūros įtaka galiojimo terminui. Gauti rezultatai parodė, kad pakavimo ir laikymo sąlygos reikšmingai veikia pakuotės atmosferos stabilumą ir varškės kokybės pokyčius (likutinis deguonies kiekis ir juslinės savybės), patvirtindami, jog tinkamai parinkti MAP parametrai (vakuumo lygis, dujų tiekimo slėgis) ir laikymo temperatūra gali padėti išlaikyti produkto kokybę esant ilgesniam galiojimo terminui.

Raktiniai žodžiai: pakavimas modifikuotoje atmosferoje, varškė, vakuumo lygis, dujų padavimo slėgis, laikymo temperatūra.

Įvadas

Varškė yra reikšmingas ir plačiai vartojamas šviežias pieno produktas, pasižymintis didele maistine verte bei plačiomis panaudojimo galimybėmis tiek tiesioginiam vartojimui, tiek perdirbimui. Didelę produkto dalį sudaro vanduo (70–82 %), o terpės rūgštingumas paprastai siekia apie 4,3–4,6 pH, todėl varškė yra mikrobiologiškai jautri matrica, kurioje susidaro palankios sąlygos psichrotrofinių bakterijų, mielių ir pelėsinų grybų vystymuisi (Farkye ir Vedamuthu, 2002; Ho et al., 2016). Dėl šių savybių vienas pagrindinių praktinių iššūkių pieno perdirbimo sektoriuje išlieka trumpas varškės galiojimo terminas, kuris riboja produkto realizavimo laiką ir didina kokybės praradimo riziką tiekimo grandinėje.

Varškės gedimą dažniausiai lemia aerobinių mikroorganizmų aktyvumas, pasireiškiantis gleivėtumu, paviršiaus pakitimais, pašaliniais kvapais ir skonio defektais, taip pat proteolitiniais ir lipolitiniais procesais (Muir, 1996; Ho et al., 2016). Siekiant sumažinti mikrobiologinio gedimo riziką ir stabilizuoti produkto kokybę laikymo metu, taikomi įvairūs technologiniai sprendimai – konservantai, šiluminiai ar fizikiniai metodai, aktyviosios pakuotės, tačiau mažiausiai invazine ir juslinėms savybėms neutralia alternatyva laikomas pakavimas modifikuotoje atmosferoje (MAP) (Gammariello et al., 2009; Del Caro et al., 2012).

Pakavimo modifikuotoje atmosferoje procesas apima keletą nuoseklių technologinių etapų. Pirmiausia produktas dozuojamas į parinktą pakuotę ir pakuotė perkeliama į pakavimo įrenginį. Pakavimas atliekamas iš zonos pašalinant deguonį. Vakuumo sudarymo lygis lemia, kiek efektyviai pašalinamas deguonis, kuris yra vienas pagrindinių mikrobiologinį gedimą lemiančių veiksnių. Vėliau į pakuotę įpurškiamas nustatytos sudėties dujų mišinys, dažniausiai sudarytas iš anglies dioksido ir azoto, o pakuotė užsandarinama terminiu užlydymu. Šių etapų metu svarbūs ne tik dujų santykiai, bet ir vakuumo lygis, dujų tiekimo slėgis, kurie lemia galutinę atmosferos stabilumą pakuotės viduje (Chen et al., 2018; Taglieri et al., 2022).

Anglies dioksidas modifikuotoje atmosferoje atlieka funkcinį vaidmenį, slopina daugelio aerobinių mikroorganizmų dauginimąsi ir dalinai tirpsta produkte, taip papildomai veikdamas terpės pH. Azotas dažniausiai naudojamas kaip inertinės užpildančios dujos, stabilizuojančios pakuotės formą ir mažinančios oksidacinius procesus. Tačiau CO₂ tirpumas produkte ir jo koncentracijos pokyčiai laikymo metu gali lemti atmosferos sudėties kitimą, o per didelis likutinio deguonies kiekis – spartesnę kokybės blogėjimą (Stirling, 2010; Ho et al., 2016). Svarbu pabrėžti, kad net ir taikant tą patį dujų mišinį, skirtingi pakavimo proceso parametrai gali nulemti skirtingą pakuotės atmosferos kitimą laikymo metu. Vakuumo sudarymo lygis, dujų įpurškimo slėgis bei pakuotės barjerinės savybės tiesiogiai veikia likutinio deguonies kiekį, dujų difuziją per plėvelę ir galimą atmosferos kitimą galiojimo termino eigoje. Be to, laikymo temperatūra daro įtaką tiek mikroorganizmų augimo greičiui, tiek dujų tirpumui ir difuzijai per pakuotės medžiagą (Chen et al., 2018).

Pakavimas modifikuotoje atmosferoje plačiai taikomas įvairiems produktams – mėsai, žuviai, salotoms, pieno produktams. Iš minėtosios grupės dauguma tyrimų orientuoti į minkštuosius ar brandintus sūrius, o darbų, nagrinėjančių būtent varškės pakavimo proceso parametrų įtaką galiojimo terminui, nėra daug (Ho et al., 2016). Todėl aktualu ne tik įvertinti MAP įtaką galiojimo terminui, bet ir įvertinti, kaip konkretūs technologiniai režimai veikia atmosferos stabilumą bei su tuo susijusius juslinius pokyčius laikymo metu.

Šio darbo tikslas – ištirti vakuumo lygio, dujų padavimo slėgio ir laikymo temperatūros įtaką varškės galiojimo terminui, analizuojant likutinio deguonies kitimą pakuotėje ir juslinių savybių pokyčius 45 parų laikotarpiu.

Tyrimų metodika

Tyrimui įgyvendinti mėginiai buvo sugrupuoti pagal taikytas pakavimo sąlygas ir laikymo temperatūrą (1 lentelė). Mėginių paskirstymas atliktas siekiant įvertinti vakuumo lygio, dujų padavimo slėgio ir temperatūros įtaką varškės galiojimo terminui bei pakuotės atmosferos stabilumui laikymo metu. Viso suformuoti aštuoni bandymų variantai, derinant du vakuumo lygius 35 mbar (V35) ir 75 mbar (V75), du dujų padavimo slėgius 750 mbar (G750) ir 950 mbar (G950) bei dvi laikymo temperatūras (4 °C ir 8 °C). Visi mėginiai buvo pakuojami naudojant tą patį dujų mišinį (CO₂/N₂ – 30/70), o produkto kiekis pakuotėje išlaikytas vienodas (500 g), siekiant užtikrinti tyrimo sąlygų palyginamumą. Kiekvienam variantui buvo numatyti vertinimo laikotarpiai – 0, 15, 30 ir 45 paros. Tyrimas atliktas trimis pakartojimais, kiekvienam variantui naudojant atskiras pakuotes. Likutinio deguonies koncentracija kiekvienoje pakuotėje nustatyta tris kartus, o galutinei reikšmei apskaičiuotas matavimų aritmetinis vidurkis. Supakuoti mėginiai buvo laikomi kontroliuojamomis temperatūros sąlygomis – 4 °C ir 8 °C.

1 lentelė. Mėginių grupavimo kodai pagal sukuriama vakuumo lygį (V), dujų padavimo iš baliono slėgį (G) ir laikymo temperatūrą (T)

Table 1. Grouping of samples according to the vacuum level (V), gas injection pressure (G) and storage temperature (T)

Dujų padavimo iš baliono slėgis (G) Gas injection pressure	Vakuomo lygis (V) Vacuum level			
	V35		V75	
	Temperatūra (T) Temperature		Temperatūra (T) Temperature	
	T4	T8	T4	T8
G750	V35-G750-T4	V35-G750-T8	V75-G750-T4	V75-G750-T8
G950	V35-G950-T4	V35-G950-T8	V75-G950-T4	V75-G950-T8

Pakavimui naudota pusiau automatinė pakuočių sandarinimo įranga „Multivac“ (Semi-Automatic Tray Sealer T250) (1 pav.). Tyrimo metu buvo reguliuojami du pagrindiniai pakavimo parametrai – vakuumas ir dujų padavimo slėgis. Vakuumas taikytas dviem lygiais – 35 mbar ir 75 mbar. Dujų mišinys (CO₂/N₂ – 30/70) į pakuotes tiekiamas 750 mbar ir 950 mbar slėgiu. Šios ribos pasirinktos iš įrenginio reguliuojamų parametru intervalo, leidžiančio formuoti tiek žemo, tiek aukštesnio vakuumo režimus bei keisti dujų padavimo intensyvumą. Sandarinimo temperatūra ir laikas visų bandymų metu buvo pastovūs, siekiant užtikrinti, kad kintamaisiais išliktų tik tyrimo numatyti pakavimo parametrai.



1 pav. Pusiau automatinis pakavimo įrenginys „Multivac“ T250



2 pav. Dujų analizatorius „WITT Oxybaby M+“

Fig. 1. Semi-Automatic Tray Sealer "Multivac" T250

Fig. 2. Gas analyser "WITT Oxybaby M+"

Likutinio deguonies koncentracija pakuotėse nustatyta naudojant nešiojamą dujų analizatorių „WITT Oxybaby M+“ (2 pav.). Prietaisas matuoja deguonies koncentraciją modifikuotoje atmosferoje procentine išraiška. Matavimai atlikti 0, 15, 30 ir 45 laikymo paromis. Dujų mėginys imtas per pakuotės viršutinę plėvelę naudojant matavimo adatą. Matavimai atlikti esant 20 °C aplinkos temperatūrai. Likutinio deguonies koncentracijos vertinimui taikytas 1,5 % ribinis kriterijus. Kiekvienoje pakuotėje deguonies koncentracija nustatyta tris kartus, o galutinei reikšmei apskaičiuotas aritmetinis vidurkis. Gauti duomenys naudoti vertinant pakuotės atmosferos stabilumą laikymo metu ir pakavimo parametru įtaką likutinio deguonies kitimui.

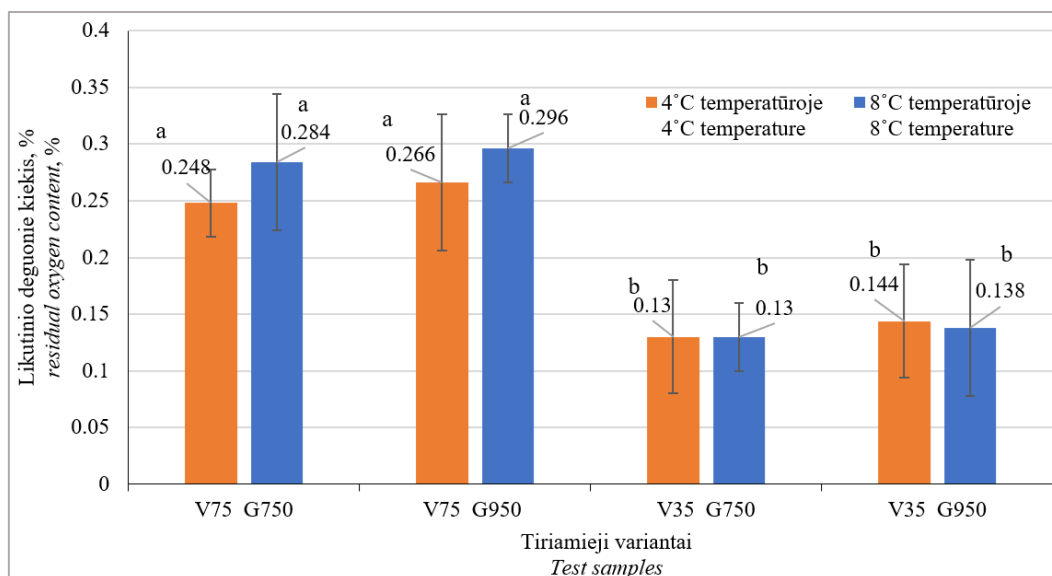
Likutinio deguonies koncentracijos duomenys apdoroti taikant dispersinę analizę (ANOVA), siekiant įvertinti vakuumo, dujų padavimo slėgio ir laikymo temperatūros įtaką rezultatams (Montgomery, 2017).

Skirtumų tarp vidurkių reikšmingumas vertintas, kai $p < 0,05$. Duomenims apskaičiuoti aritmetiniai vidurkiai ir standartiniai nuokrypiai. Taip pat nustatyti 95 % pasikliautiniai intervalai, leidžiantys įvertinti rezultatų patikimumą ir variaciją tarp pakartojimų. Statistinė analizė atlikta naudojant „MS Excel“ programą.

Varškės juslinės savybės vertintos taikant aprašomosios analizės metodą, vadovaujantis Varškės ir varškės gaminių techniniu reglamentu (Varškės ir varškės gaminių techninis reglamentas, 2002). Vertinimą atliko penki vertintojai, užtikrinant vienodas vertinimo sąlygas visiems mėginiams. Vertinti šie jusliniai dėmenys: išvaizda, kvapas, konsistencija ir skonis. Kiekvienas vertintojas atskirus dėmenis vertino penkiabalėje skalėje, kur maksimali galima balų suma už vieną dėmenį buvo 5 balai. Juslinis vertinimas atliktas pirmąją fasavimo dieną ir po 45-ąją galiojimo termino dieną, siekiant įvertinti kokybės pokyčius laikymo metu. Rezultatams pateikti apskaičiuoti vertintojų balų vidurkiai, o skirtumai tarp 0 ir 45 dienų buvo palyginti, siekiant nustatyti juslinių savybių pokyčius skirtingomis pakavimo ir laikymo sąlygomis.

Rezultatai ir aptarimas

Fasavimo dieną visų mėginių nustatytas likutinio deguonies kiekis neviršijo maksimalios leistinos 1,5 % ribos (3 pav.). Didžiausia reikšmė užfiksuota V75–G950–T8 mėginyje ir siekė 0,296 %, mažiausia – V35–G950–T4 mėginyje – 0,144 %. Statistiškai reikšmingi skirtumai ($p < 0,05$) nustatyti tarp 35 mbar ir 75 mbar vakuumo režimu supakuotų mėginių, o dujų padavimo slėgio skirtumai reikšmingos įtakos neturėjo. Kadangi vertinimas atliktas fasavimo dieną, laikymo temperatūra šiuo etapu įtakos neturėjo. Tolimesni likutinio deguonies pokyčiai analizuoti galiojimo termino eigoje, laikant mėginius skirtingomis temperatūromis. Literatūroje pabrėžiama, kad mažas pradinis likutinio deguonies kiekis yra esminė sąlyga MAP efektyvumui ir tolesniam atmosferos stabilumui laikymo metu (Stirling, 2010; Chen et al., 2018).



3 pav. Likutinio deguonies koncentracija skirtingais pakavimo parametrais supakuotuose mėginiuose fasavimo dieną

Fig. 3. Residual oxygen concentration in samples packaged under different parameters on the packaging day

Laikymo metu likutinio deguonies koncentracija visuose mėginiuose didėjo palaipsniui. 15 parą likutinio deguonies koncentracija visuose mėginiuose išliko mažesnė nei 1,5 % (3 lentelė). Reikšmės svyravo nuo 0,46 iki 0,82 %. Statistiškai reikšmingi skirtumai ($p < 0,05$) nustatyti tarp 35 mbar ir 75 mbar vakuumo režimu supakuotų mėginių – mažesnio vakuumo režimu supakuotuose mėginiuose nustatytos mažesnės likutinio deguonies koncentracijos. Temperatūros ir dujų padavimo slėgio įtaka 15 parą nebuvo statistiškai reikšminga. Panašios tendencijos aprašytos šviežių sūrų tyrimuose, kuriuose nurodoma, kad vakuumo lygis lemia deguonies koncentracijos stabilumą pirmosiomis laikymo savaitėmis (Stirling, 2010).

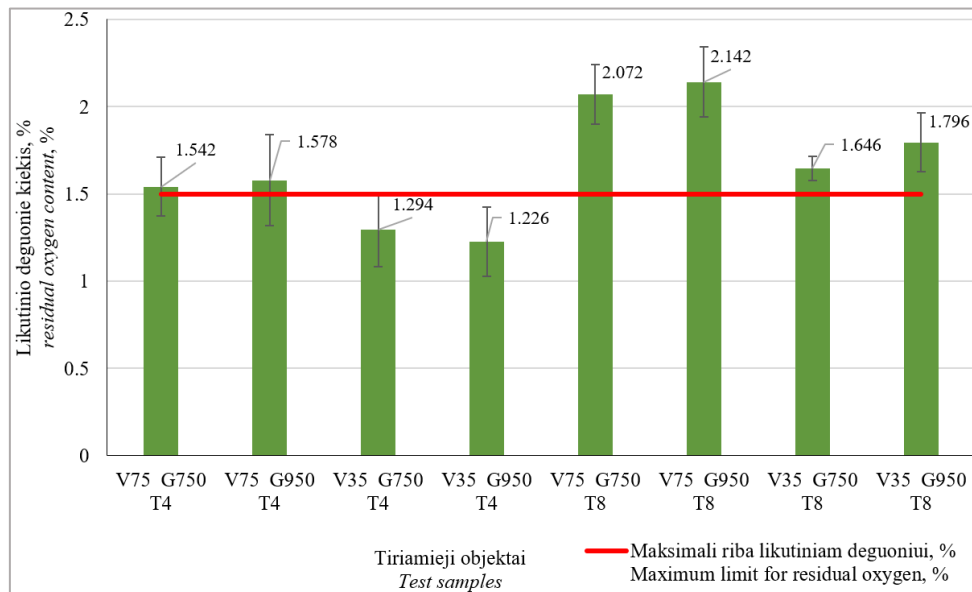
3 lentelė. Likutinio deguonies kiekis mėginiuose 15 ir 30 galiojimo termino parą

Table 3. Residual oxygen content in samples on days 15 and 30 of storage

	V75- G750-T4	V75- G950-T4	V35- G750-T4	V35- G950-T4	V75- G750-T8	V75- G950-T8	V35- G750-T8	V35- G950-T8
15	0,56±0,12	0,70±0,13	0,46±0,08	0,50±0,16	0,65±0,15	0,82±0,12	0,59±0,16	0,60±0,1
30	1,15±0,14	1,21±0,14	0,99±0,09	0,89±0,19	1,34±0,21	1,52±0,21	1,10±0,08	1,20±0,19

30 parą likutinio deguonies koncentracija padidėjo visais atvejais ir svyravo nuo 0,89 % iki 1,52 % (3 lentelė). V75-G950-T8 mėginyje nustatyta 1,52 % koncentracija, t. y. nežymiai viršyta 1,5 % ribinė vertė. Šiame laikotarpyje jau nustatyti statistiškai reikšmingi skirtumai ($p < 0,05$) tarp skirtingų laikymo temperatūrų – 8 °C laikytuose mėginiuose fiksuotos didesnės reikšmės nei 4 °C sąlygomis. Vakuomo režimo įtaka išliko reikšminga, o dujų padavimo slėgio skirtumai ir toliau neturėjo statistiškai reikšmingos įtakos. Tyrimuose su šviežiais ir pusiau kietais sūriais nustatyta, kad laikymo temperatūra turi reikšmingą įtaką atmosferos sudėties kitimui ir mikroorganizmų aktyvumui, net ir taikant MAP (Gammariello et al., 2009; Del Caro et al., 2012).

45 parą likutinio deguonies koncentracija padidėjo visuose mėginiuose (4 pav.). 4 °C temperatūroje laikytuose mėginiuose reikšmės išliko mažesnės arba artimos 1,5 % ribai, tuo tarpu 8 °C sąlygomis laikytuose mėginiuose ši riba buvo viršyta visais atvejais. Mažiausia reikšmė nustatyta V35-G950-T4 mėginyje ir siekė 1,226 %, didžiausia – V75-G950-T8 mėginyje – 2,142 %. 8 °C temperatūroje laikytų mėginių reikšmės svyravo nuo 1,646 % iki 2,142 %, o 4 °C sąlygomis – nuo 1,226 % iki 1,578 %.



4 pav. Likutinio deguonies koncentracija skirtingais pakavimo parametrais supakuotuose mėginiuose galiojimo termino gale

Fig. 4. Residual oxygen concentration in samples packaged under different parameters at the end of storage

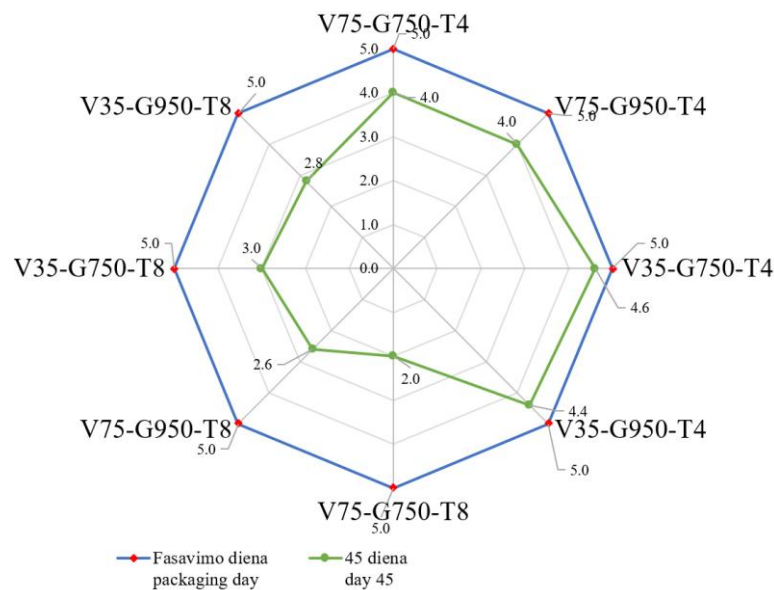
Kitų autorių tyrimuose, nagrinėjančiuose šviežių ir pusiau kietų sūrių laikymą modifikuotoje atmosferoje, taip pat nustatyta, kad laikymo temperatūra turi įtakos pakuotės atmosferos sudėties pokyčiams galiojimo termino eigoje (Gammariello et al., 2009; Del Caro et al., 2012). Nurodoma, kad aukštesnė temperatūra siejama su spartesniais kokybės rodiklių pokyčiais net ir esant identiškai pradinei dujų sudėčiai (Gammariello et al., 2009).

Statistiškai reikšmingi skirtumai ($p < 0,05$) nustatyti tiek tarp skirtingų laikymo temperatūrų, tiek tarp vakuomo režimų – 35 mbar vakuomo režimu supakuoti mėginiai išlaikė mažesnes likutinio deguonies koncentracijas nei 75 mbar režimu supakuoti analogai. Dujų padavimo slėgio įtaka išliko nereikšminga. Gauti rezultatai rodo, kad 45 parą likutinio deguonies koncentracijos dinamika jau aiškiai priklausė nuo laikymo temperatūros ir taikyto vakuomo režimo, o aukštesnė temperatūra buvo susijusi su ribinės 1,5 % vertės peržengimu.

Likutinis deguonis yra svarbus saugos rodiklis, siekiant įvertinti galiojimo termino pratęsimo galimybes, tačiau ne mažiau svarbus ir produkto priimtumas vartotojui. Dėl šios priežasties atliktas juslinis vertinimas. Analizė atlikta pakavimo dieną bei maksimalaus galiojimo termino pabaigoje – 45 parą.

Fasavimo dieną degustuotų mėginių juslinių rodiklių įvertinimai buvo maksimalūs. Esminių skirtumų tarp skirtingais pakavimo parametrais supakuotų mėginių nenustatyta – išvaizda, kvapas, konsistencija ir skonis buvo būdingi šviežiai varškei. 45 parą varškės juslinių rodiklių įvertinimai išsiskyrė (5 pav.): 4 °C temperatūroje laikyti mėginiai buvo įvertinti aukštesniais balais (vidutiniškai 4,25 balo), o 8 °C sąlygomis laikytuose mėginiuose dažniau fiksuotas pakitęs kvapas, silpnesnis skonis bei minkštesnė konsistencija (bendras vidutinis įvertinimas – 2,6 balo). Skirtumai tarp vakuomo režimų taip pat buvo pastebimi – 35 mbar vakuumu supakuoti mėginiai dažniau buvo vertinami palankiau nei 75 mbar režimu supakuoti mėginiai. Dujų padavimo slėgio įtaka jusliniams rodikliams nenustatyta. Panašūs rezultatai pateikiami ir kituose MAP

tyrimuose, kuriuose nustatyta, kad laikymo temperatūra išlieka pagrindiniu jauslinės kokybės pokyčius lemiančiu veiksniu (Del Caro et al., 2012; Gammariello et al., 2009).



5 pav. Varškės jausminių rodiklių vidutiniai įvertinimai pakavimo dieną ir 45 laikymo parą

Fig. 5. Average sensory evaluation scores of cottage cheese on the packaging day and on day 45 of storage

Juslinio vertinimo rezultatai parodė, kad galiojimo termino pabaigoje produkto priimtumas labiausiai priklausė nuo laikymo temperatūros. 4 °C temperatūroje laikyti mėginiai išlaikė geresnes jauslines savybes, tuo tarpu 8 °C sąlygomis laikytuose mėginiuose nustatytas ryškesnis kokybės pablogėjimas.

Išvados

1. Tyrimo rezultatai parodė, kad vakuumo lygis turėjo įtakos likutinio deguonies koncentracijai pakuotėje – 35 mbar vakuumu supakuotuose mėginiuose viso laikymo metu nustatyti mažesni likutinio deguonies kiekiai nei 75 mbar režimu supakuotuose mėginiuose.
2. Laikymo temperatūra turėjo esminę įtaką likutinio deguonies koncentracijos kitimui galiojimo termino eigoje. 4 °C temperatūroje laikytuose mėginiuose 45 parą nustatytos mažesnės arba ribinės 1,5 % vertės, tuo tarpu 8 °C sąlygomis ši riba buvo viršyta.
3. Juslinio vertinimo rezultatai patvirtino, kad 4 °C temperatūroje laikyti mėginiai išlaikė geresnes jauslines savybes iki 45 paros, o 8 °C sąlygomis laikytuose mėginiuose nustatytas ryškesnis kokybės pablogėjimas.
4. Dujų padavimo slėgio įtaka tiek likutinio deguonies koncentracijai, tiek jausliniams rodikliams nebuvo reikšminga.
5. Taikant 35 mbar vakuumo režimą ir užtikrinant 4 °C laikymo temperatūrą, 45 galiojimo termino parą varškės jausliniai ir saugos rodikliai buvo priimtini.

Literatūra

1. Chen, H., Zhang, M., & Bhandari, B. (2018). Effects of packaging conditions on oxygen stability in modified atmosphere systems. *Food Packaging and Shelf Life*, 16, 98–105.
2. Del Caro, A., Piga, A., Vacca, V., & Agabbio, M. (2012). Extending the shelf life of fresh ewe's cheese by modified atmosphere packaging. *Journal of Food Processing and Preservation*, 36(2), 184–191.
3. Farkye, N. Y., & Vedamuthu, E. R. (2002). Curd cheeses. In H. Roginski (Ed.), *Encyclopedia of Dairy Sciences* (pp. 617–623). Academic Press.
4. Gammariello, D., Conte, A., & Del Nobile, M. A. (2009). Shelf life of Straciatella cheese under modified atmosphere packaging. *Journal of Dairy Science*, 92(10), 483–490.
5. Ho, T. M., Dissanayake, M., & Vasiljevic, T. (2016). Shelf-life extension of fresh dairy products: A review. *Journal of Dairy Science*, 99(6), 4516–4529.
6. Kirkin, C., Gok, V., & Bor, Y. (2013). Preservation of precut white cheese by modified atmosphere packaging. *LWT – Food Science and Technology*, 52(1), 135–141.
7. Muir, D. D. (1996). The shelf-life of dairy products: Factors influencing quality. *Journal of Dairy Research*, 63(1), 101–115.

8. Montgomery, D. C. (2017). *Design and Analysis of Experiments* (9th ed.). John Wiley & Sons.
9. Stirling, J. (2010). The influence of residual oxygen in modified atmosphere packaging. *Food Control*, 21(2), 123–130.
10. Taglieri, I., Tolve, R., Rainero, G., & Bordiga, M. (2022). Modified atmosphere packaging and storage effects on dairy products. *Foods*, 11(15), 2154.
11. Varškės ir varškės gaminių techninis reglamentas. (2002). Lietuvos Respublikos žemės ūkio ministro 2002 m. gruodžio 31 d. įsakymas Nr. 529, TAIS Nr. 213810. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.213810>

Monika Minickaitė-Dimšlienė, Sigitas Petkevičius

Effect of Packaging Parameters and Storage Temperature on the Shelf Life of Curd Cheese under Modified Atmosphere Packaging

Vytautas Magnus University, Lithuania

Curd cheese is a high-moisture, microbiologically sensitive dairy product that is typically characterized by a short shelf life due to its intrinsic properties. Modified atmosphere packaging (MAP) is one of the approaches that may contribute to shelf-life extension. The aim of this study was to investigate the influence of modified atmosphere packaging process parameters on curd cheese quality indicators and shelf life. The effects of vacuum level, gas flushing pressure and storage temperature were evaluated during the study. The obtained results demonstrated that packaging and storage conditions significantly affect the stability of the package atmosphere and the dynamics of quality changes in curd cheese, confirming that appropriately selected MAP parameters can help maintain product quality over an extended shelf life.

Keywords: Modified atmosphere packaging, curd cheese, vacuum level, gas injection pressure, storage temperature.

Gauta 2026 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2026 m. balandžio mėn.

Monika MINICKAITĖ-DIMŠLIENĖ. 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 37 752357, +370 641 55186, el. paštas: monika.minickaite-dimsliene@vdu.lt

Monika MINICKAITĖ-DIMŠLIENĖ. 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 37 752357, +370 64155186, e-mail: monika.minickaite-dimsliene@vdu.lt

Sigitas PETKEVIČIUS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedros docentas, daktaras. Adresas: Studentų g. 15a, LT-53362, Akademija, Kauno r., el. paštas: sigitas.petkevicius@vdu.lt

Sigitas PETKEVIČIUS. Associate Professor, Doctor of Science, Department of Agricultural Engineering and Safety, Faculty of Engineering, Vytautas Magnus University Academy of Agriculture. Address: Studentų g. 15a, LT-53362, Akademija, Kaunas District, e-mail: sigitas.petkevicius@vdu.lt

CHEMINIO RŪKO PAGRINDU VEIKIANČIOS ORO DEZINFEKCIJOS EFEKTYVUMO ANALIZĖ GAMYBINIAME CECHE

Martyna Kmitienė, Sigitas Petkevičius

Vytauto Didžiojo universitetas

Straipsnyje analizuojamas oro dezinfekcijos įrenginio „Airspexx DS“, veikiančio cheminio rūko (vandenilio peroksido aerosoliacijos) principu, efektyvumas pieno perdirbimo įmonės aukštos mikrobiologinės taršos rizikos ceche. Tyrimo metu analizuotas ore esantis mikroorganizmų kiekis ir paviršių mikrobiologinė tarša. Tirti trys skirtingi dezinfekcijos režimai: be dezinfekcijos (kontrolė), 12 val. dezinfekcija ir nuolatinė 24 val. dezinfekcija, esant 12 °C ir 20 °C temperatūroms. Oro mikrobiologinė tarša nustatyta pamatiniu sedimentacijos metodu, paviršių užterštumas – CytoQuant®, mobiliuoju srauto citometru. Rezultatai parodė, kad nuolatinė dezinfekcija sumažino mikroorganizmų kiekį ore iki 20 kartų ($1,32 \log_{10}$) esant 12 °C ir iki 4 kartų ($0,60 \log_{10}$) esant 20 °C, lyginant su kontrole. Paviršių tarša didėjo tostant nuo aerosolių išpurškimo taško, tačiau visos reikšmės išliko žemiau kontrolinių ribų. Nustatyta, kad žemesnė oro temperatūra padidino dezinfekcijos veiksmingumą, o nuolatinė 24 val. dezinfekcijos režimas buvo efektyviausias oro mikrobiologinės kokybės valdymo metodas.

Raktiniai žodžiai: oro dezinfekcija, vandenilio peroksidas, CytoQuant®, cheminis rūkas, pieno pramonė.

Įvadas

Oro mikrobiologinė kokybė maisto perdirbimo aplinkoje yra vienas svarbiausių veiksnių, lemiančių gaminamų produktų saugą ir galutinę jų kokybę. Maisto gamybos patalpose ore gali būti aptinkami įvairūs mikrobiniai aerosoliai – bakterijos, mielės, pelėsiai bei jų sporos, ore plinta kaip smulkios dalelės ar lašeliai ir gali nusėsti ant atviro produkto bei sąlyti su maistu turinčių paviršių (Loveniers et al., 2024). Pieno pramonėje, kurioje gausu drėgmės ir organinių likučių, oro taršos rizika ypač didelė, todėl mikrobiologinės oro kontrolės priemonės yra būtinos (Ntuli et al., 2023).

Literatūroje nurodoma, kad maisto gamybos patalpose bendras aerobinių mikroorganizmų kiekis ore gali svyruoti nuo 10^2 iki 10^4 KSV/m³, o aktyvios gamybos metu šie rodikliai statistiškai reikšmingai padidėja dėl darbuotojų judėjimo ir technologinių operacijų intensyvumo (Whyte, 2010; Holah et al., 2023). Maisto saugos užtikrinimas grindžiamas RVASVT principais, tačiau oro kontrolė dažnai lieka papildoma, o ne pagrindinė higienos valdymo priemonė, nors moksliniai tyrimai rodo, kad ore esantys mikroorganizmai gali sudaryti iki 15–25 % antrinės produktų taršos atvejų aukštos rizikos zonose (Møretø et al., 2017).

Oro dezinfekcijai maisto pramonėje taikomi įvairūs metodai – UV-C spinduliuotė, ozonavimas, oro filtravimas bei cheminė aerosolizacija. HEPA filtravimo sistemos gali sumažinti bakterijų koncentraciją 1–3 log vienetais ($p < 0,05$), tačiau jų efektyvumas priklauso nuo oro cirkuliacijos ir filtrų priežiūros (Masotti et al., 2019). UV-C technologijos veiksmingumas tiesiogiai susijęs su spindulių patekimu į dezinfekuojamą zoną, o ozono naudojimą riboja saugos reikalavimai (Schulz et al., 2023). Pastaraisiais metais vis dažniau taikomas cheminio rūko (aerosolizacijos) metodas, grindžiamas smulkių ($<5 - 10 \mu\text{m}$) dezinfekanto lašelių paskleidimu patalpoje. Tokie aerosoliai ilgiau išlieka ore ir tolygiai pasiskirsto visoje patalpoje, todėl pasiekia ir sunkiai prieinamus paviršius, taip užtikrindami vienodą mikrobiologinės taršos sumažėjimą, palyginti su stambesniais lašeliais ($>30 \mu\text{m}$), kurie greitai nusėda dėl gravitacijos poveikio (Cappato et al., 2026). Atsižvelgiant į tai, aerosolinių dezinfekavimo metodų privalumas yra galimybė pasiekti sunkiau prieinamas vietas ir užtikrinti tolygesnę veikliosios medžiagos pasiskirstymą patalpoje.

Vienas iš įrenginių, veikiančių aerosoliacijos pagrindu, yra „Airspexx DS“. Juo paskleidžiami vandenilio peroksido pagrindo lašeliai, kurie naikina ore esančius mikroorganizmus ir sumažina jų nusėdimo ant paviršių tikimybę. Dėl sausų aerosolių technologijos „Airspexx DS“ nesudrėkina paviršių, nesukelia kondensacijos ir gali būti naudojama gamybos bei pakavimo patalpose. Svarbu tai, kad aerosolis veikia tiesiogiai patalpos zonoje, o ne tik vėdinimo kanaluose, todėl gali užtikrinti nuolatinį oro higienos palaikymą kritinėse vietose.

Vandenilio peroksido dezinfekcinis veikimas pagrįstas reaktyviųjų deguonies formų generavimu, kurie pažeidžia mikroorganizmų ląstelių membranas, baltymus ir DNR struktūras, užtikrindamos platų antimikrobinį poveikį (Cappato et al., 2026). Atsižvelgiant į šiuos veiksnius, cheminio rūko technologijos, ypač naudojant „Airspexx DS“ įrenginį, taikymas gali būti laikomas efektyvia ir saugia priemone mikrobiologinei oro taršai mažinti pieno perdirbimo įmonėse.

Tyrimo tikslas – įvertinti oro dezinfekcijos įrenginio „Airspexx DS“ veiksmingumą pieno perdirbimo ceche, esant skirtingiems dezinfekcijos režimams ir temperatūrinėms oro sąlygoms.

Tyrimų metodika

Tyrimo objektu pasirinktas gamybinis cechasis, kuriame įrengtas „Airspexx DS“ oro dezinfekcijos įrenginys. Prietaisas veikia cheminio rūko principu, išpurškdamas vandenilio peroksido pagrindu veikiančią dezinfekavimo medžiagą. Išpurškiamų lašelių dydis $\leq 5 \mu\text{m}$, todėl ilgai išlieka ore ir veikia kaip sausas dezinfekcinis rūkas. Dezinfekuojant orą siekiama dviejų tikslų: kuo labiau sumažinti kenksmingų mikroorganizmų skaičių pačiame ore ir kuo labiau sumažinti kenksmingų organizmų patekimą ant paviršių, nuo kurių jie vėl gali patekti į orą ar būti pernešti į žmogaus organizmą palietus tuos paviršius (vien oro dezinfekcija nuo paviršių užteršimo nepasauja, jie turi būti dezinfekuojami atskirai) (Nacionalinis visuomenės sveikatos centras prie Sveikatos apsaugos ministerijos, 2024).

Tyrimė vertinti trys darbo režimai esant 12°C ir 20°C oro temperatūrai:

- D0 – be dezinfekcijos (kontrolė);
- D12 – 12 val. naktinis „Airspexx DS“ veikimas;
- D24 – nuolatinis 24 val. „Airspexx DS“ veikimas.

Oro mikroorganizmų skaičiui nustatyti naudotas pasyvus gravitacinės sedimentacijos metodas. Nors šis metodas laikomas paprastu ir praktišku, reikia pažymėti, kad jis labiau atspindi nusėdančių dalelių kiekį ir gali nepakankamai įvertinti smulkias ore išsilaikančias daleles. Tyrimui naudotos: petri lėkštelės (90 mm skersmens, PCA mitybinė terpė) buvo išdėstytos 1 metro aukštyje ir laikytos atviros 15 minučių. Kiekvieno tyrimo metu buvo dedamos po 5 petri lėkšteles, tam kad būtų galima apskaičiuoti pasikartojamumą 1 pav. Kiekvienas matavimas atliktas penkiais pakartojimais, o rezultatai pateikti kaip vidurkis $\pm$ standartinis nuokrypis. Po ekspozicijos jos inkubuotos $35 \pm 2^\circ\text{C}$ temperatūroje 48 valandas, vėliau suskaičiuotas kolonijas sudarančių vienetų (KSV) skaičius 2 pav. Tyrimai atlikti pagal LST EN ISO 4833-1:2013 standartą „Maisto ir pašarų mikrobiologija. Horizontalus metodas bendram mikroorganizmų skaičiui nustatyti“.

Dezinfekcijos efektyvumas buvo vertinamas apskaičiuojant $\log_{10}$ redukciją, kuri apibrėžiama kaip pradinių (kontrolinių) ir po dezinfekcijos nustatytų mikroorganizmų kiekių, išreikštų dešimtainiu logaritmu, skirtumas:

$$RF = \text{Log}_{10}(A) - \text{Log}_{10}(B), \quad (1)$$

čia RF – logaritminis sumažėjimas ($\log_{10}$ redukcijos koeficientas);
 A – pradinis mikroorganizmų kiekis (kontrolė, be dezinfekcijos),
 B – mikroorganizmų kiekis po dezinfekcijos taikymo.

Toks redukcijos skaičiavimo principas plačiai naudojamas dezinfekcijos efektyvumo tyrimuose (Mascarenhas et al., 2022). Logaritminė skalė naudojama dėl didelio mikroorganizmų koncentracijų reikšmių intervalo ir leidžia objektyviai palyginti skirtingų dezinfekcijos režimų efektyvumą. Toks dezinfekcijos veiksmingumo vertinimo principas plačiai taikomas mikrobiologiniuose tyrimuose ir atitinka Europos dezinfekcijos bandymų standartų reikalavimus (EN 17272:2020).

Oro mikrobiologinei kokybei vertinti šiame tyrime pasirinktas bendro aerobinių mikroorganizmų skaičiaus nustatymas, nes šis rodiklis laikomas reprezentatyviu bendros bioaerolių apkrovos indikatoriumi maisto gamybos aplinkoje. Bendras kolonijas sudarančių vienetų (KSV) skaičius leidžia įvertinti sanitarinę patalpų būklę ir dezinfekcijos priemonių efektyvumą, nepriklausomai nuo mikroorganizmų taksonominės sudėties.

Mielių ir pelėsių grybų atskiras tyrimas šiame etape nebuvo atliktas, kadangi tyrimo tikslas buvo įvertinti oro dezinfekcijos technologijos poveikį bendrai mikrobinei taršai, o ne nustatyti specifinių mikroorganizmų paplitimą. Be to, literatūroje nurodoma, kad efektyvios oksidacinės dezinfekcijos priemonės, tokios kaip vandenilio peroksido aerosoliai, pasižymi plataus spektro antimikrobiniu poveikiu, veikdamos bakterijas, mieles ir pelėsius grybus (Holah et al., 2023; Cappato et al., 2026).

Atsižvelgiant į tai, bendro mikroorganizmų skaičiaus sumažėjimas laikytas pakankamu rodikliu dezinfekcijos sistemos efektyvumui vertinti. Siekiant dar išsamiau įvertinti mikrobiologinį spektrą, tyrimuose tikslinga atlikti ir selektyvinę mielių bei pelėsių grybų analizę, kas šiuo atveju nebuvo tirta. Oro mikroorganizmų koncentracija (KSV/m^3) apskaičiuota pagal Omelianskio formulę, taikomą pasyviu sedimentacijos metodui (LST EN ISO 4833-1:2013; Whyte, 2010):

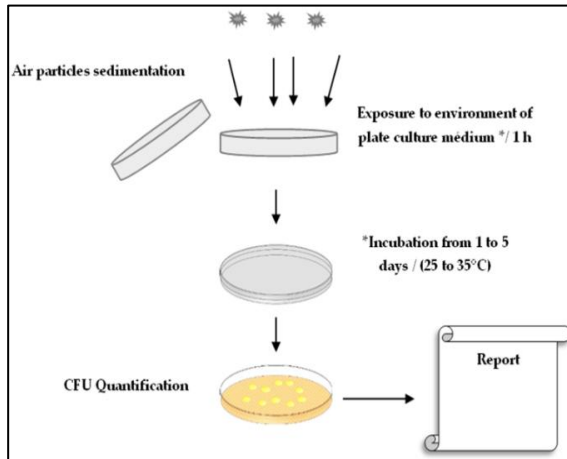
$$x = \frac{A \cdot 100 \cdot 5 \cdot 100}{B \cdot t}, \quad (2)$$

čia A – kolonijų skaičius lėkštelėje (vnt.);
 B – lėkštelės plotas (cm^2);
 t – ekspozicijos trukmė (min.).

Ši formulė plačiai taikoma vertinant mikroorganizmų nusėdimą naudojant pasyvų oro mėginių ėmimą.

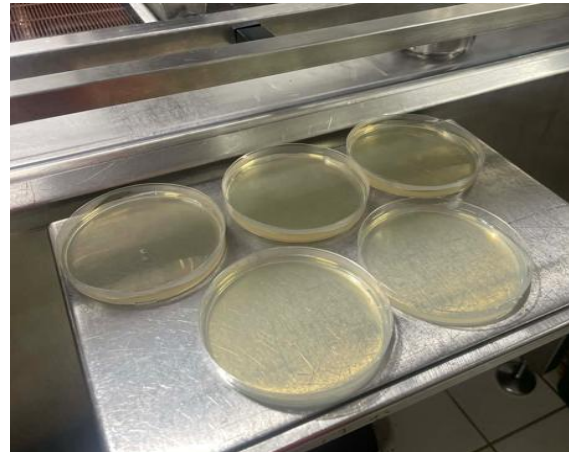
Maksimali mikroorganizmų riba nėra reglamentuota teisės aktais, tačiau įmonė, remdamasi rekomendacijomis ir ilgamečiais tyrimų duomenimis, yra nusistačiusi vidinę kritinę ribą – 1572 KSV/m³ bendram mikroorganizmų skaičiui. Viršijus šią ribą ceche vykdoma neplaninė sanitarinė diena.

Matavimai atlikti darbo pradžioje, po 6 val., ir po 10 val. darbo – šios valandos pasirinktos, tam, kad būtų galima išanalizuoti ar darbuotojų judėjimas darbo metu, žaliavų ir pagamintų produktų kaita daro įtaką cecho oro kokybei. Gauti rezultatai lyginti tarp režimų (D0, D12, D24), tarp temperatūrų (12 °C ir 20 °C) ir su literatūroje nurodytais dezinfekcijos efektyvumo duomenimis. Statistinė analizė atlikta naudojant „Microsoft Excel“ programinę įrangą, taikant vienfaktorinę dispersinę analizę (ANOVA), o skirtumų tarp grupių reikšmingumas vertintas „Tukey HSD“ testu ($\alpha = 0,05$).



1 pav. Pasyvus oro mėginių ėmimas – sedimentacijos metodas

Fig. 1. Passive air sampling-sedimentation method



2 pav. Pasyvios gravitacinės sedimentavimo metodo atvaizdavimas

Fig. 2. Representation of the passive gravitational sedimentation method

Paviršių mikrobiologinė tarša vertinta mobiliuoju srauto citometru „CytoQuant®“, kuris leidžia greitai ir kiekybiškai nustatyti gyvų bakterijų ląstelių kiekį (IC/mL) bei negyvų biologinių dalelių kiekį (P/mL). Metodas pagrįstas fluorescenciniu dažymu ir ląstelių analizavimu srauto citometrijos principu, kai atskiros dalelės identifikuojamos pagal jų fluorescencines savybes ir dydį. Tokiu būdu galima atskirti gyvas bakterijų ląsteles nuo negyvų biologinių fragmentų ar kitų dalelių.

Šis metodas pasirinktas dėl greito rezultatų gavimo, didelio jautrumo ir galimybės operatyviai įvertinti paviršių higieninę būklę gamybinėmis sąlygomis. Skirtingai nei tradiciniai kultivavimo metodai, srauto citometrija leidžia nustatyti ir nekultivuojamas, bet gyvybingas bakterijų ląsteles, todėl suteikia platesnį mikrobiologinės būklės įvertinimą.

Tiriamieji paviršiai – nerūdijančio plieno vietos tiesiogiai kontaktuojančios su produktu. Matavimai atlikti trijuose atstumuose nuo Airspexx įrenginio: 0,5 m, 1 m, 1,5 m.

Matavimo trukmė – 30 sekundžių. Matavimo aptikimo ribos: gyvų bakterijų nuo <15 000 – iki 10 000 000 ląstelių/mL, negyvų bakterijų nuo <50 000 – iki 5 000 000 ląstelių/mL.

Rezultatai ir aptarimas

Tyrimo metu vertinta pieno perdirbimo cecho oro mikrobiologinė tarša, nustatant bendrą kultivuojamų aerobinių mikroorganizmų skaičių (KSV/m³) skirtingais oro dezinfekcijos režimais ir dviem temperatūrinėmis sąlygomis (12 °C ir 20 °C). Tiriamieji objektai koduoti pagal taikytą dezinfekcijos režimą (D0 – be dezinfekcijos, D12 – 12 val. naktinė dezinfekcija, D24 – nuolatinė 24 val. dezinfekcija) ir temperatūrą (T12 ir T20). Oro mėginiai imti darbo pradžioje (0 val.), po 6 val. ir po 10 val. darbo, siekiant įvertinti mikroorganizmų koncentracijos pokytį pamainos metu.

Gauti rezultatai rodo aiškią mikroorganizmų koncentracijos didėjimo tendenciją kontrolinėse sąlygose (D0) abiejose temperatūrose. Esant 12 °C, vidutinė koncentracija padidėjo nuo 461 KSV/m³ darbo pradžioje iki 1949 KSV/m³ po 10 val. darbo. Esant 20 °C, analogiškas padidėjimas buvo dar ryškesnis – nuo 1195 iki 3196 KSV/m³. Tai rodo, kad aukštesnė temperatūra sudaro palankesnes sąlygas bioaerozolių kaupimuisi ir mikroorganizmų išlikimui ore gamybos proceso metu.

Siekiant aiškiau įvertinti mikroorganizmų koncentracijos kitimo pokytį pamainos metu bei palyginti dezinfekcijos režimų efektyvumą skirtingomis temperatūrinėmis sąlygomis, rezultatai grafiškai pateikiami 3 ir 4 paveiksluose.

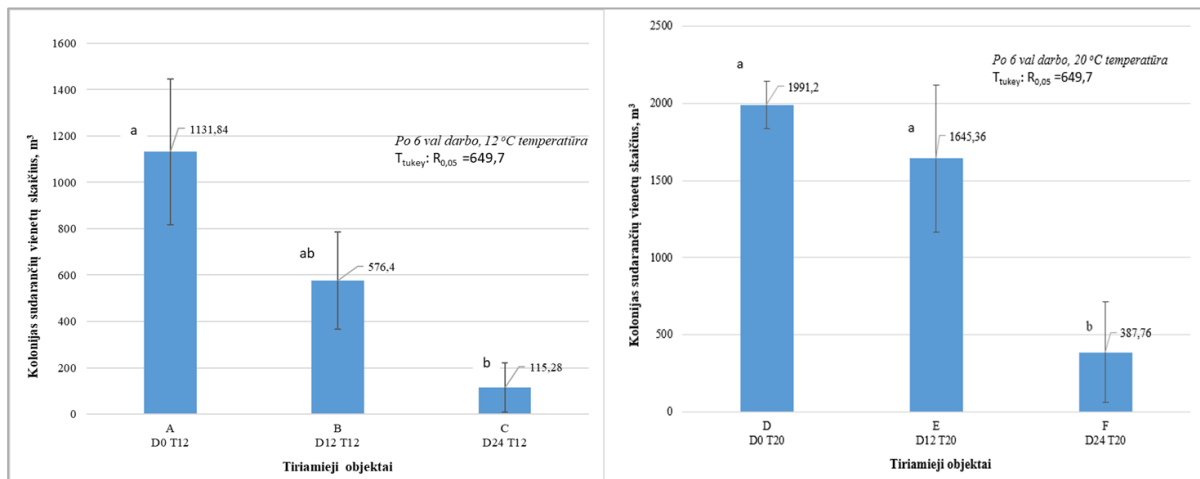
Kaip matyti 3 paveiksle, po 6 val. darbo kontrolinėse grupėse nustatytas reikšmingas mikroorganizmų koncentracijos padidėjimas, palyginti su darbo pradžia. 12 val. dezinfekcijos režimas (D12) sumažino mikroorganizmų koncentraciją, tačiau pamainos metu išliko augimo tendencija. Tuo tarpu nuolatinė 24 val. dezinfekcija (D24) pasižymėjo didžiausiu stabilumu – mikroorganizmų koncentracija išliko reikšmingai mažesnė nei kitais režimais.

Šie rezultatai rodo, kad nuolatinė dezinfekcija riboja mikroorganizmų kaupimosi greitį pamainos metu ir stabilizuoja mikrobiologinę aplinką. Galutiniai mikroorganizmų koncentracijos rezultatai po 10 val. darbo, atspindintys maksimalų pamainos mikrobiologinį krūvį, pateikti 4 paveiksle.

4 paveiksle matyti, kad po 10 val. darbo skirtumai tarp dezinfekcijos režimų tapo ryškiausi. Esant 12 °C temperatūrai, kontrolėje nustatyta 1949 KSV/m³, taikant 12 val. dezinfekciją – 828 KSV/m³, o nuolatinės dezinfekcijos režime – 94 KSV/m³. Tai atitinka 1,32 log₁₀ sumažėjimas rodo reikšmingą oro mikroorganizmų koncentracijos sumažėjimą, kuris praktiniu požiūriu gali būti laikomas svarbiu mikrobiologinės oro kokybės gerinimo rodikliu maisto gamybos aplinkoje.

Esant 20 °C, kontrolėje nustatyta 3196 KSV/m³, 12 val. režime – 2379 KSV/m³, o 24 val. režime – 807 KSV/m³, kas atitinka 0,60 log₁₀ sumažėjimą (74,8 %). 0,60 log₁₀ redukcija rodo mažesnę dezinfekcijos efektyvumą, kuris gali būti susijęs su aukštesnės temperatūros poveikiu dezinfekanto veikimui.

Statistinė analizė parodė reikšmingus skirtumus tarp dezinfekcijos režimų abiejose temperatūrose ($p < 0,001$).

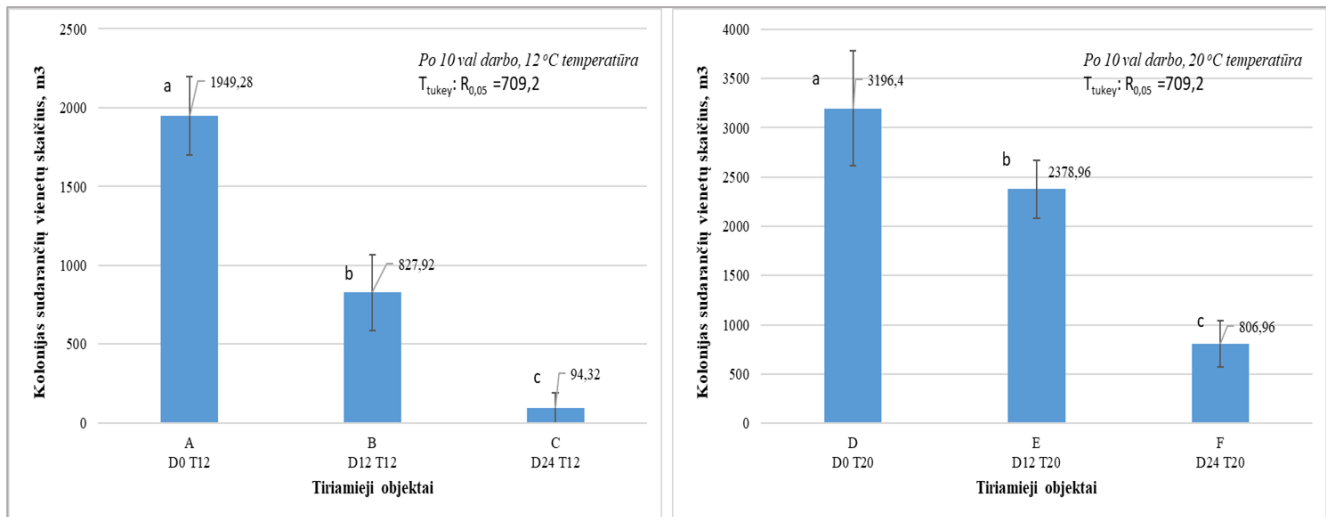


3 pav. Bendras mikroorganizmų skaičius (KSV/m³) cecho ore, darbo metu – po 6 val. esant 12 °C ir 20 °C temperatūrai

Fig. 3. Total number of microorganisms (CFU/m³) in the workshop air during working hours – after 6 hours at temperatures of 12 °C and 20 °C

Gauti rezultatai leidžia teigti, kad dezinfekcijos režimo intensyvumas turi esminę įtaką oro mikrobiologinei kokybei. Nuolatinė dezinfekcija ne tik sumažina galutinę mikroorganizmų koncentraciją, bet ir slopina jų kaupimosi greitį pamainos metu.

Temperatūros poveikis dezinfekcijos efektyvumui taip pat buvo reikšmingas. Aukštesnėje temperatūroje mikroorganizmų koncentracija kontrolinėse sąlygose buvo didesnė, o dezinfekcijos efektyvumas mažesnis nei esant 12 °C. Tai gali būti siejama su spartesniu mikroorganizmų metabolizmu bei aktyvesniu bioaerozolių formavimusi aukštesnėje temperatūroje. Be to, žemesnėje temperatūroje dezinfekanto aerozolio lašeliai gali ilgiau išlikti suspenduoti ore, padidindami sąlyčio laiką su mikroorganizmais.



4 pav. Bendras mikroorganizmų skaičius (KSV/m³) cecho ore po 10 val. darbo, esant 12 °C ir 20 °C temperatūrai

Fig. 4. Total number of microorganisms (CFU/m³) in workshop air after 10 hours of work at temperatures of 12 °C and 20 °C

„CytoQuant“ tyrimai parodė, kad gyvų bakterijų kiekis ant paviršių didėjo tolstant nuo dezinfekcijos įrenginio: 0,5 m atstumu nustatyta 15–19 tūkst. IC/mL, o 1,5 m atstumu – 28–35 tūkst. IC/mL. Tai rodo, kad stipriausias dezinfekcijos poveikis pasireiškia artimiausioje įrenginio zonoje. Tai leidžia teigti, kad nuolatinė 24 val. oro dezinfekcija ne tik mažina gyvų mikroorganizmų kiekį ore, bet ir riboja jų nusėdimą ant paviršių, užtikrindama bendrą mikrobiologinės taršos kontrolę patalpoje.

Išvados

1. Nuolatinė 24 val. oro dezinfekcija statistiškai reikšmingai sumažino mikroorganizmų koncentraciją cecho ore – apie 20 kartų (1,32 log₁₀) esant 12 °C ir apie 4 kartus (0,60 log₁₀) esant 20 °C, lyginant su kontrole.
2. Paviršių analizė taikant „CytoQuant“ metodą parodė, kad gyvų bakterijų kiekis didėjo tolstant nuo dezinfekcijos įrenginio, tačiau visais atvejais išliko žemiau nustatytų kontrolinių ribų, patvirtinant pakankamą paviršių sanitarinę būklę.
3. Gauti rezultatai rodo, kad oro dezinfekcijos režimo intensyvumas ir aplinkos temperatūra yra svarbūs veiksniai užtikrinant mikrobiologinę kontrolę pieno perdirbimo ceche.

Literatūra

1. Cappato, L. P., de Assunção, L. G., Zanol, J., Dias-Martins, A. M., Silva, M. N., Alvarenga, V. O., Margalho, L. P., Cipolat-Gotet, C., Sant'Ana, A. S., & Lemos Jr., W. J. F. (2026). Fogging in food processing: A bibliometric and critical review of applications, limitations, and sustainable prospects. *Food Biophysics*, 21, 21.
2. EN 17272:2020. *Chemical disinfectants and antiseptics – Methods of airborne room disinfection by automated process – Determination of bactericidal, mycobactericidal, sporicidal, fungicidal, yeasticidal, virucidal and phagocidal activities.*
3. Holah, J., Lelieveld, H., & Gabric, D. (2023). *Hygienic Design of Food Factories.* Woodhead Publishing.
4. Loveniers, P., Devlieghere, F., & Samplers, I. (2024). Towards tailored guidelines for microbial air quality in the food industry. *International Journal of Food Microbiology*, 421, 110779.
5. LST EN ISO 4833-1:2013. *Maisto ir pašarų mikrobiologija – Horizontalus metodas bendram mikroorganizmų skaičiui nustatyti.*
6. Mascarenhas, L. A. B., Santos, L. M. C., Oliveira, F. O., Rodrigues, L. A. P., Neves, P. R. F., Moreira, G. A. F., Santos, A. A. B., Lobato, G. M., Nascimento, C., Gerhardt, M., & Machado, B. A. S. (2022). Evaluation of the microbial reduction efficacy and perception of use of an ozonized water spray disinfection technology. *Scientific Reports*, 12, 13019.
7. Masotti, F., Cattaneo, S., Stuknytė, M., & De Noni, I. (2019). Airborne contamination in the food industry: An update on monitoring and disinfection techniques of air. *Trends in Food Science & Technology*, 90, 147–156.
8. Møretro, T., & Langsrud, S. (2017). Residential bacteria on surfaces in the food industry and their implications for food safety and quality. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(5), 1022–1041.

9. Nacionalinis visuomenės sveikatos centras prie Sveikatos apsaugos ministerijos. (2024). *Oro dezinfekcijos rekomendacijos*.
10. Ntuli, V., et al. (2023). Dairy production: microbial safety of raw milk and processed milk products. In *Present Knowledge in Food Safety* (pp. 439–454). Academic Press.
11. Parise, G. (2020). Ozone applications in food processing. *Ozone: Science & Engineering*, 42(5), 423–435.
12. Schulz, A., et al. (2023). UV-C disinfection technologies in food processing environments. *Food Control*, 145, 109456.
13. Vallone, L., et al. (2019). UV-C treatment for air and surface disinfection in food industries. *Journal of Food Engineering*, 259, 1–10.
14. Whyte, W. (2010). *Cleanroom Technology: Fundamentals of Design, Testing and Operation*. Wiley-Blackwell.

Martyna Kmitienė, Sigita Petkevičius

Analysis of the Effectiveness of Chemical Fog-Based Air Disinfection in a Production Workshop

Vytautas Magnus University, Lithuania

This study evaluated the effectiveness of the "Airspexx DS" air disinfection device using hydrogen peroxide aerosolization in a high-risk dairy processing facility. Three operational modes were compared: no disinfection (control), 12-hour nighttime disinfection, and continuous 24-hour operation at two temperatures (12°C and 20°C). Air contamination was assessed using sedimentation plates, while surface contamination was measured using CytoQuant mobile flow cytometry. Results demonstrated up to 20-fold ($1.32 \log_{10}$) reduction in airborne microorganisms at 12 °C and up to 4-fold ($0.60 \log_{10}$) at 20 °C with continuous disinfection. Surface contamination increased with distance from the device but remained below critical limits. Lower temperature enhanced disinfection efficiency. Continuous 24-hour operation proved most effective for maintaining microbiological air quality in dairy processing environments.

Keywords: Chemical fogging, air disinfection, hydrogen peroxide, dairy processing, CytoQuant.

Gauta 2026 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2026 m. balandžio mėn.

Martyna KMITIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedros studentė. Adresas: Pagojo g. 2, Pagojo km., LT-86152 Kelmės apylinkių seniūnija, tel. +370 656 49210, el. paštas: martyna.kmitiene@vdu.lt

Martyna KMITIENĖ. Student at the Department of Agricultural Engineering and Safety, Faculty of Engineering, Vytautas Magnus University Academy of Agriculture. Address: Pagojo g. 2, Pagojo km., LT-86152 Kelmė District Municipality, Phone: +370 656 49210, e-mail: martyna.kmitiene@vdu.lt

Sigita PETKEVIČIUS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedros docentas, daktaras. Adresas: Studentų g. 15a, LT-53362, Akademija, Kauno r., el. paštas: sigita.petkevicius@vdu.lt

Sigita PETKEVIČIUS. Associate Professor, Doctor of Science, Department of Agricultural Engineering and Safety, Faculty of Engineering, Vytautas Magnus University Academy of Agriculture. Address: Studentų g. 15a, LT-53362, Akademija, Kaunas District, e-mail: sigita.petkevicius@vdu.lt

SKIRTINGŲ TIPŲ KELIŲ TRANSPORTO PRIEMONIŲ KELIAMO TRIUKŠMO TYRIMAS

Titas Minelga, Eglė Jotautienė

Vytauto Didžiojo universitetas

Transporto keliamos aplinkos triukšmas yra viena reikšmingiausių gyvenamosios aplinkos kokybę bloginančių veiksnių, ypač teritorijose, esančiose arti intensyvaus eismo kelių. Šio tyrimo tikslas – įvertinti kelių transporto sukeltą triukšmą Raudondvario kaimo (Kauno r.) gyvenamosiose teritorijose. Tyrimas atliktas taikant standartinę metodiką, apimančią aplinkose triukšmo matavimus pagal galiojančius Lietuvos ir tarptautinius standartus. Rezultatai parodė, kad didžiausi transporto sukeltą triukšmą lygiai Raudondvario kaime fiksuojami prie intensyviausio eismo zonų ir, kai kuriais atvejais, Leq viršija leistinas dienos triukšmo normas, ypač esant mažam atstumui nuo važiuojamosios dalies. L_{max} viršijo leistinas dienos triukšmo normas visais tirtais atvejais.

Raktiniai žodžiai: triukšmas, kelių transportas, pagrindiniai triukšmo šaltiniai.

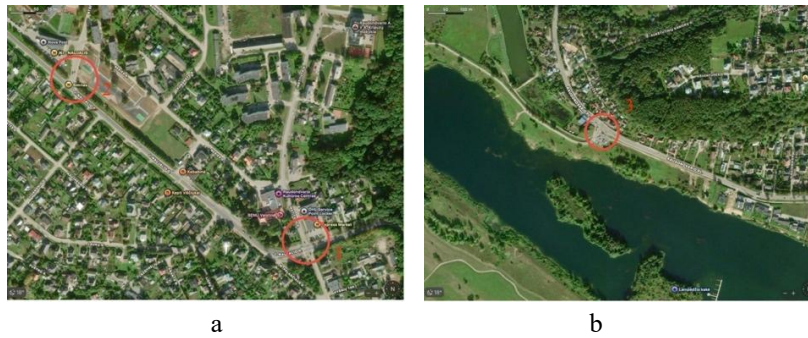
Įvadas

Pastaraisiais dešimtmečiais sparčiai augantis transporto priemonių skaičius miestuose tapo viena pagrindinių aplinkos triukšmo didėjimo priežasčių. Lietuvoje 1994 metais 1000 gyventojų teko 177 automobiliai, 2004 m. – 334, 2014 m. – 562, 2024 m. – 699 (Lietuvos..., 2017). Augant transporto priemonių kiekiui, auga ir jų keliamo triukšmo įtaka žmonių gyvenimui, aplinkai ir sveikatai. Šiuo metu transporto keliamas triukšmas yra įvardijamas kaip vienas labiausiai žmonių gyvenimo kokybę veikiančių šio laikotarpio veiksnių (Blažys ir kt., 2009; Den Boer et al., 2007; Juodkienė ir kt., 2012; World..., 2011). Pasaulio Sveikatos Organizacijos (PSO) duomenimis (World..., 2011), daugiau kaip pusė visų gyventojų Europos Sąjungos gyventojų kenčia nuo per didelio transporto keliamo triukšmo. Leistinas triukšmo lygis darbo dienos metu (nuo 6 val. iki 18 val.) neturėtų viršyti 65 dB (Dėl kelių..., 2013). Nuo 2003 m. rugsėjo 1 d. miestų ir miestelių teritorijose buvo sumažintas leistinas greitis nuo 60 iki 50 km h⁻¹. Toks greičio sumažinimas triukšmo lygį atitinkamai sumažina iki 2,1 dBA (Den Boer et al., 2007; Miškinytė ir kt., 2014). Pastaruoju laikotarpiu hibridinių ir elektrinių automobilių paklausa ir pasiūla yra sparčiai auganti dėl jų ekologijos ir triukšmo lygio. Triukšmo prasme elektromobiliai ir hibridiniai automobiliai yra labai efektyvūs mažuose greičiuose. Kadangi šie automobiliai neturi vidaus degimo variklio (arba turi, tačiau ne visada dirbantį), jiems nereikalinga išmetamųjų dujų sistema, sukeliamos vibracijos ir garsas jaučiamas mažesnis. Todėl galima daryti prielaidą, kad bendras transporto priemonių sukeliamas triukšmas gyvenamosiose teritorijose turėtų mažėti. Išorinis automobilių triukšmas susideda iš trijų triukšmo šaltinių, kurių kiekvienas tampa dominuojantis tam tikrame greičių diapazone. Automobilio variklio ir mechaninių dalių keliamas triukšmas dominuoja esant mažiems greičiams (iki 40 km/h), esant vidutiniams greičiams (35–110 km/h) dominuoja padangos ir dangos kontakto sukeliamas triukšmas, esant dideliems greičiams (virš 110 km/h) dominuoja triukšmas dėl automobilio aerodinamikos (Automobilių..., žr. 2024). Vidaus degimo variklio varomuose automobiliuose triukšmas dažniausiai yra dirbančio variklio. Triukšmo lygis priklauso nuo alkūninio veleno sukimosi greičio. Nuo to priklauso ir kiti automobilio triukšmo šaltiniai: dujų išmetimo sistemos, ventiliatoriaus sukimosi, judančių pavarų dėžės dalių judėjimo skleidžiamas triukšmas. Dyzelinio variklio triukšmo emisija didėja proporcingai alkūninio veleno sukimuisi penktame laipsnyje – padidinus apsukimus 2 kartus, triukšmas (garso slėgis) apytiksliai padidėja 32 kartus (Affenzelen, et al., 2005). Pašaliniai garsai taip pat gali būti skleidžiami sudilusių detalių, pavyzdžiui, rato guolio. Variklio triukšmas padidėja nusidėvėjus detalėms, pavyzdžiui, atsiradęs tarpas tarp stūmoklio ir cilindro sienelių. Taip pat triukšmą didina padidėjęs slėgis cilindruose, kuris atsiranda dėl degimo proceso vėlavimo (Xiong, J., et al. 2012).

Tyrimų metodika

Tyrimai atliekami Raudondvario kaime ir šalia jo, Kauno rajono savivaldybės teritorijoje (žr. 1 pav.). Kaune Raudondvario plentas yra viena intensyviausių gatvių, kuri tęsiasi iki pat Raudondvario kaimo. Eismo srautas čia didelis nuo ryto iki vėlaus vakaro, todėl matavimai šiose gatvėse atliekami 2 skirtingais dienos laikotarpiais: ryte, piko metu ir vakare, po darbo valandų, kai vyrauja didžiausias transporto srautas gatvėse. Triukšmo matavimo lokacijos yra netoli gyvenamųjų pastatų: nuosavi namai, kotedžai, daugiabučiai. Šios gatvės yra dviejų juostų, po vieną į skirtingas puses, leistinas greitis 50 km/h ir čia dažnai sutinkama sunkiasvorė, krovininė ar žemės ūkio technika. Kadangi transporto priemonėms didinant greitį iki 50 km h⁻¹ dominuoja variklio ir išmetamųjų dujų vamzdžio skleidžiamas garsas, o tikimasi, kad paskutiniu laikotarpiu elektrinių ir hibridinių automobilių paklausa auga vis labiau, galima daryti prielaidą, kad bandymų rezultatai

turėti būti mažesni ir triukšmo lygis turėtų būti žemesnis negu anksčiau darytų bandymų (jeigu matavimas atliekamas toje pačioje vietoje, tokiu pačiu sezonu, tuo pačiu laiku).



1 pav. Matavimo vietos: a – Raudondvario kaimas; b – Raudondvario plentas [11]
Fig. 1. Measurement locations: a – Raudondvaris village; b – Raudondvario street

Matavimai buvo atliekami rugpjūčio mėnesį, kuomet gatvėse jaučiamas žemės ūkio technikos suintensyvėjimas. Tačiau rugpjūčio mėnesį, piko valandomis, lengvųjų transporto priemonių srautas nėra toks didelis kaip rugsėjo ar spalio mėnesiais, nes, vasarą yra moksleivių mokyklos atostogos, taip pat, nevyksta ir paskaitos studentams. Būtent todėl šiuo sezonu srautas būna mažesnis, spūstys nesusidaro tokios didelės, todėl ir transporto sukeltas triukšmas nėra toks intensyvus ar pastovus. Dažniau tai yra momentinio triukšmo padidėjimas – L_{peak} .

Matavimai atlikti 1,5 m, 7,5 m ir 10 m atstumais nuo triukšmo šaltinio. Matavimo laikas buvo ne trumpesnis kaip 30 minučių, o kartojami po 3 kartus. Rekomenduojami matuojami dydžiai: ekvivalentinis garso (triukšmo) lygis, dB(A); ir maksimalus garso (triukšmo) lygis, dB. Kadangi transporto sukeltas triukšmas priskiriamas nepastovaus triukšmo kategorijai, matavimams naudoti integruojantys triukšmo matuokliai. Matavimai buvo atliekami, kai vėjo greitis mažesnis kaip 5 m/s. Triukšmas buvo matuojamas 1,5 m atstumu nuo pagrindo, nemažiau kaip 3,5 m nuo pastatų sienų (pagal Lietuvos standarto LST ISO 1996 – 2:2008, rekomendacijas norint sumažinti triukšmo atsispindėjimo nuo pastatų įtaką, iki minimumo, matavimai turi būti atliekami ne mažesniu nei 3,5 m atstumu nuo pastatų. Taip pat nurodomas privalomas atstumas nuo pastatų sienų – ne mažiau kaip 1–2 m) (HN 33:2011, LST ISO 1996–1:2004/P:2005, LST ISO 1996–2:2008).



2 pav. „Brüel & Kjær“ 2250 triukšmo lygio matuoklis-analizatorius
Fig. 2. „Brüel & Kjær“ 2250 noise level meter-analyzer

Transporto priemonei įsibėgėjant sudėtinga vertinti triukšmo lygį išlaikant vienodą mikrofono atstumą iki transporto priemonės, tad tokiems matavimams taikoma standartinė matavimo procedūra. Atliekant tyrimus, matavimams pasirenkamas kelio ruožas, atitinkantis direktyvoje 70/157/EEC ir standarte ISO 362-2:2009 pateiktus reikalavimus, t. y. važiuojamosios dalies plotis ne mažiau kaip 3 m, o 50 m atstumu nuo matavimo vietos nėra jokių triukšmo lygio matavimo rezultatams įtakos galinčių turėti objektų ar antrinių triukšmo šaltinių (Kelio..., žr. 2025). Matavimai atliekami prietaisu, kuris atitinka Lietuvoje priimto LST IEC 804+A1+A2: 1999 en. „Integruotieji vidutinio garso lygio matuokliai“ standarto reikalavimus dėl integravimo ir apvalinimo, matavimo vienetų ir intervalų, jautrumo perkrovoms, jautrumo įvairiose aplinkose, kalibratorių dažninių ir kitų charakteristikų. Triukšmo matavimams nustatyti buvo naudojamas 1-os tikslumo klasės nešiojamas garso slėgio lygio matuoklis-analizatorius „Brüel & Kjær“ 2250 (žr. 2 pav.). Matuoklis yra mobilus, kompaktiškas. Integruotas garso lygio matavimas atliekamas naudojantis realaus laiko 1/3 oktavos filtrais. Prietaisas analizuoja gautus duomenis sujungus per specializuotą kompiuterinę sąsają su asmeniniu

kompiuteriu. Prietaisas matuoja A, C ir F skalėse, naudodamas greitą, lėtą ir impulsinę laiko konstantą. Triukšmo lygio matuoklis-analizatorius matuoja nuo 12,5 Hz iki 20 kHz dažnio intervalu. Tikslumas $\pm 0,1$ dB. Matavimo ribos, kai mikrofono jautrumas 50 mV/Pa, nuo 0 iki 140 dB, matavimo intervalas – 105 dB, pasirenkant žemutinę ribą. Matavimo trukmė neribojama. Duomenis galima išsaugoti integruotoje prietaiso atmintyje. Išmatuoti rezultatai perkeliama į personalinį kompiuterį ir išsaugomi. Šiuos rezultatus galima nesunkiai naudoti skaičiavimams programiniais paketais. Taip pat rezultatus galima spausdinti. Matuojami parametrai: momentinis triukšmo lygis; ekvivalentinis triukšmo lygis (L_{eq}); maksimalus triukšmo lygis (L_{max}); minimalus triukšmo lygis (L_{min}) (Triukšmomačio..., 2004).

Rezultatai ir aptarimas

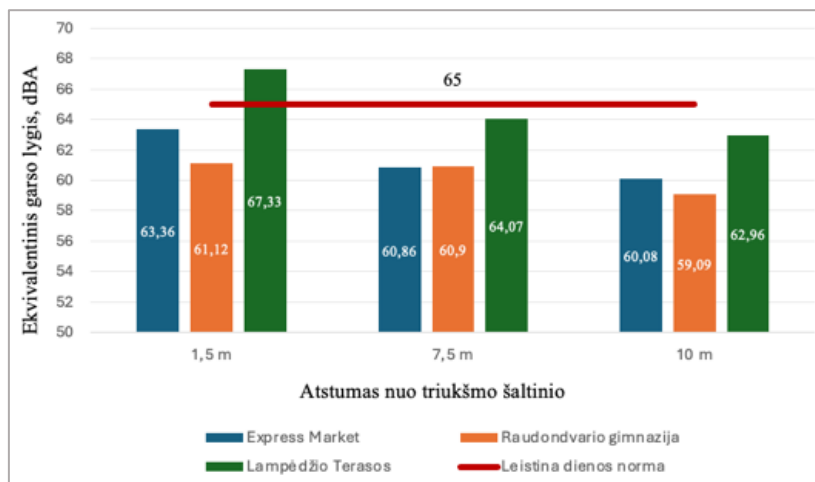
Transporto triukšmo matavimai buvo atlikti trijuose taškuose: ties „Lampėdžio terasomis“ (Raudondvario pl. 281P) (žr. 1 pav. b); ties „Express Market“ (J. Naujalio g. 10, Raudondvaris) (žr. 1 pav. a, dešinėje); ties „Raudondvario gimnazija“ (J. Naujalio g. 20B, Raudondvaris) (žr. 1 pav. a, kairėje). Matavimai 1,5 m, 7,5 m ir 10 m atstumais nuo triukšmo šaltinio.

1 lentelė. Ekvivalentiniai ir maksimalūs garso lygio matavimai

Table 1. Equivalent and maximum sound level measurements

Matavimo vieta	Maksimalūs garso lygiai L_{max}			Ekvivalentiniai garso lygiai L_{eq}		
	1,5 m	7,5 m	10 m	1,5 m	7,5 m	10 m
Express Market - 1	78,6	74,83	77	63,36	60,86	60,08
Raudondvario gimnazija - 2	76,7	80,23	73,9	61,12	60,9	59,09
Lampėdžio terasos - 3	82,43	78,73	78,47	67,33	64,07	62,96

Pagal pateiktą lentelę (žr. 1 lent.) matoma, jog maksimalūs garso lygiai gyvenvietėje viršija visuose matavimų taškuose, visais atstumais nuo triukšmo šaltinio. Stipriausiai viršijama leistina dienos norma (65 dB) taške „Lampėdžio terasos“, 1,5 m atstumu, net 82,43 dB. Ekvivalentiniai garso lygiai viršija tik viename taške – „Lampėdžio terasos“, 1,5 m – 67,33 dB.

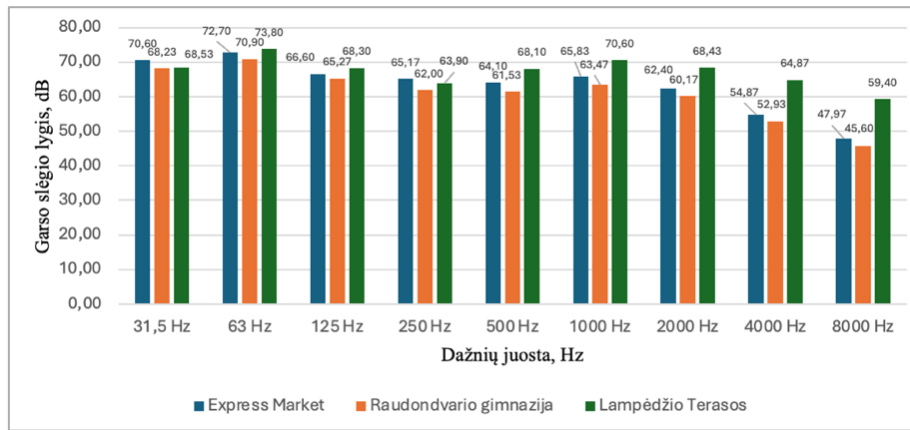


3 pav. Ekvivalentinio garso slėgio lygio vertės skirtingais atstumais nuo triukšmo šaltinio

Fig. 3. Equivalent sound pressure level values at different distances from the noise source

Ekvivalentiniai garso lygio matavimo rezultatai matomi ir 3 paveiksle, kuriame matavimai atlikti dienos metu (L_{dienes}) 1,5 m atstumu. Tačiau, tokiu atstumu gyvenamųjų pastatų pagal LR reikalavimus būti negali (Leistinas..., žr. 2025), taigi, šio triukšmo norminės ribos viršijimas gali būti jaučiamas tik pėstiesiems, einantiems šaligatviu ar keliais, šalia važiuojamosios kelio dalies. Reiškia šioje lokacijoje, šiuo atstumu pėstieji gali patirti momentinį triukšmo poveikį. Atstume iki 7,5 m matuojamas triukšmas sumažėja per apie 2–4 dB ir to užtenka, kad tai neviršytų leistinų normų. 10 m. atstume nuo kelio triukšmas sumažėja dar 2–5 dB ir leistina riba taip pat nėra viršijama. Matavimai pateikti 3 pav. rodo, kad didinant atstumą nuo triukšmo šaltinio garso slėgio lygis mažėja.

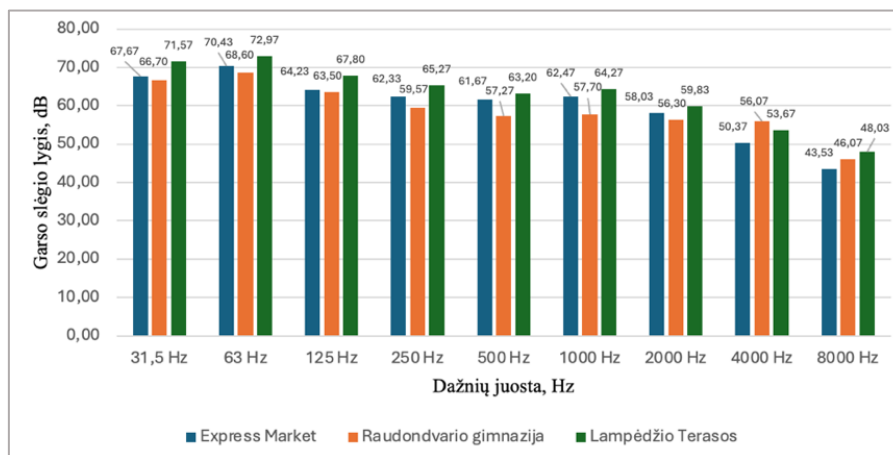
Atlikus transporto triukšmo taršos matavimus pasirinktuose taškuose (žr. 4 pav.) didžiausias garso slėgio lygis ($L_{Aeq} = 73,8$ dB) 1,5 m atstumu nuo kelio užfiksuotas trečiajame taške („Lampėdžio terasos“) ir pirmajame taške („Express Market“) ($L_{Aeq} = 72,7$ dB). Aukštesni garso slėgio rodikliai „Lampėdžio terasos“ ir „Express Market“ aplinkoje gali būti siejami su didesniu transporto srauto intensyvumu.



4 pav. L_{eq} skirtingose gyvenvietės taškuose 1,5 m atstumu

Fig. 4. L_{eq} at different points in the settlement at a distance of 1,5 m

Atlikus transporto triukšmo taršos matavimus 10 m atstumu (žr. 5 pav.), didžiausias garso slėgio lygis užfiksuotas trečiajame taške „Lampėdžio Terasos“ ($L_{Aeq} - 72,97$ dB) ir pirmajame taške „Express Market“ ($L_{Aeq} - 70,43$ dB). Lyginant su mažesniais atliktų matavimų atstumų rezultatais, matyti, kad didėjant atstumui nuo važiuojamosios dalies garso lygis palaipsniui mažėja, tai patvirtina bendrą triukšmo sklaidos dėsningumą – didėjant atstumui nuo šaltinio, garso intensyvumas mažėja, tačiau trečiajame taške triukšmo reikšmės išlieka didžiausios. Tai rodo didesnę transporto srautų įtaką šioje vietoje bei galimą atviresnę teritoriją, kurioje garso slopinimas yra mažesnis.



5 pav. L_{eq} skirtinguose gyvenvietės taškuose 10 m atstumu

Fig. 5. L_{eq} at different points in the settlement at a distance of 10 m

Atlikus triukšmo lygio spektrinę analizę nustatyta, kad intensyviausi triukšmo lygiai yra 32–200 Hz. Triukšmo lygis 32 Hz dažnių juostoje vidutiniškai yra 68,74 dB lygio, tuo tarpu 63 Hz dažnių juostoje triukšmo lygis yra aukštesnis ir siekia apie 71,49 dB. Toliau dažniui didėjant triukšmo lygis netolygiai mažėja. Tai rodo, jog transporto triukšmas yra priskiriamas žemų dažnių triukšmui. Žemų dažnių transporto srauto triukšmui mažinti gali būti naudojamos ribotos priemonės: akustiniai ekranai, žaliosios juostos ar kitos priemonės. Žemų ir labai žemų dažnių akustinė sklaida vyksta dideliais atstumais, tačiau ją yra sudėtinga slopinti. Matavimai parodė, kad didžiausi triukšmo rodikliai fiksuojami ties Raudondvario pl. esančiu matavimo tašku „Lampėdžio terasos“, kur tiek ekvivalentinis, tiek maksimalus garso slėgio lygis viršija leistinas ribas. Analizuojant matavimų rezultatus matyti, kad garso lygis reikšmingai mažėja didėjant atstumui nuo triukšmo šaltinio, kas atitinka teorinius linijinio šaltinio sklaidos dėsnius. Tačiau vietiniai veiksniai – intensyvesnis transporto srautas, sunkiojo transporto dalis, kelių infrastruktūros sprendiniai bei greičio kontrolės priemonės – daro tiesioginę įtaką triukšmo pokyčiams skirtinguose taškuose. Apibendrinant tyrimo rezultatus galima teigti, kad transporto priemonių keliamo triukšmo tarša yra vienas iš pagrindinių triukšmo šaltinių gyvenvietėje ir vietomis viršija leistinas ribas. Rekomenduojama imtis priemonių tai mažinti. Atsižvelgiant į gyvenvietės tyrimų vietų išplanavimus pateikiami tinkamiausi būdai triukšmo slopinimui:

- riboti sunkiojo transporto judėjimą piko, vakaro ir nakties metu;
- didinti transporto greičio kontrolę, naudojant greičio ribojimo priemones (kalnelius, optines juostas);

- diegti papildomas triukšmo mažinimo priemonės, kaip tankios žaliosios juostos ir kelio dangos gerinimas;
- skatinti transporto elektrifikavimą, įskaitant viešojo transporto ir komercinių automobilių parko modernizavimą. Taip pat gerinti viešojo transporto susisiekimo infrastruktūrą.

Išvados

1. Transporto keliamas triukšmas Raudondvario kaimo teritorijoje vietomis viršija leistinas dienos normas. Maksimalus garso lygis ($L_{\max}$) visais matavimų atvejais buvo didesnis nei 65 dB, o ekvivalentinis garso lygis (L_{eq}) normą viršijo tik arčiausiai važiuojamosios dalies (1,5 m atstumu).
2. Pagrįsta priklausomybė tarp atstumo nuo triukšmo šaltinio ir garso slėgio lygio – didėjant atstumui nuo kelio (nuo 1,5 m iki 10 m), triukšmo lygis sumažėja 2–5 dB ir nebeviršija leistinų normų.
3. Transporto srauto struktūra (ypač sunkiojo transporto dalis), greitis ir eismo intensyvumas turi didžiausią įtaką triukšmo lygiui, o atlikta spektrinė analizė parodė, kad dominuoja žemų dažnių (32–200 Hz) triukšmas, kas yra būdinga transporto sukeliama triukšmui, ir kurį slopinti dažnu atveju yra sudėtinga.
4. Plėtojant tyrimo kryptį šia tema buvo atlikta gyventojų apklausa, kurioje dalyvavo 228 respondentai. Gyventojų apklausos duomenys parodė, kad transporto triukšmo problema yra jaučiama nevienodai – 44 % susiduria su šia problema. Didžiausią diskomfortą kelia dviratės motorinės priemonės ir sunkusis transportas, ypač nakties ir vakaro metu. Taip pat nustatyta, kad daugiau negu pusė apklaustųjų nėra susipažinę su ilgalaikiu triukšmo poveikiu sveikatai, o 45 % teigia, kad triukšmo mažinimo priemonės jų aplinkoje nėra taikomos. Tai parodo informuotumo stoką ir nepakankamą triukšmo valdymo priemonių taikymą.

Literatūra

1. Lietuvos Statistikos Departamentas. Interaktyvus [žiūrėta 2017 02 13]. <https://www.stat.gov.lt/>
2. Blažys, R., Garbinčius, G., Dabužinskaitė, Ž. ir Gedzevičius I. (2009). Automobilių keliamo triukšmo tyrimai. *Transporto inžinerija*, 1(6), 41–44.
3. Den Boer, L. C. and Schrotten, A. (2007). Traffic noise reduction in Europe. *Report. Delft.*, 70.
4. Juodkienė, V. and Juškevičienė, A. (2012). Analysis of vehicle traffic noise. *Civil and Environmental Engineering*, 8(2), 91–96.
5. World Health Organisation. (2011). *Burden of disease from environmental noise. Quantification of healthy life years lost in Europe*. Interaktyvus [žiūrėta 2017 02 13]. http://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/0008/136466/e94888.pdf
6. Dėl kelių transporto priemonių sukiamo triukšmo ribinių dydžių ir jų taikymo tvarkos aprašo patvirtinimo: Lietuvos automobilių kelių direkcijos prie Susisiekimo ministerijos direktoriaus įsakymas. 2013 m. lapkričio 15 d. Nr. V-499. *Valstybės žinios*, 2013, nr. 121-6165.
7. Miškinytė, A. and Dėdelė, A. (2014). Evaluation and analysis of traffic noise level in Kaunas city. *Environmental Engineering: selected papers of the 9th International Conference* (p. 1–6). Vilnius.
8. Affenzelen, J., Rust, A. 2005. Road Traffic Noise for Today and the Future. *VDA – Technical Congress* 46(6). P. 945–956.
9. *Automobilių sukiamo triukšmo greičio diapazonai*. Interaktyvus [žiūrėta 2024 11 08]. https://vilniustech.lt/files/2009/100/5/18_0/Transporto%20keliamo%20triukšmo%20mažinimo%20gali%20užstatytose%20teritorijose.pdf
10. Xiong, J., et al. (2012). *The Study on Automobile Engine Noise based on Sound Intensity Method*. School of Mechanical & Electrical Engineering, Nan Chang University. p. 147–153.
11. *Žemėlapis paveiksliukas tyrimams nustatytoms vietoms pavaizduoti*. Interaktyvus [žiūrėta 2025 05 24]. https://www.google.com/maps/@54.916234,23.7687959,13.22z?entry=tту&g_ep=EgoyMDI1MDUyMS4wIKXMDSoASAFQAw%3D%3D
12. *Kelio ruožo pasirinkimas tyrimui*. Interaktyvus [žiūrėta 2025 05 24]. <https://portalcris.vdu.lt/server/api/core/bitstreams/0820e3a3-b844-434e-9423-a3a0aa2a89e0/content>
13. Triukšmomačio specifikacijos. Environmental Noise Measurement. (2004). *Technical review*. Brüel&Kjær.
14. *Leistinas šaligatvių ir gyvenamųjų pastatų atstumas iki važiuojamosios kelio dalies*. Interaktyvus [žiūrėta 2025 09 30]. <https://www.panevezys.lt/download/55744/sprendiniai%20nr.%20%20pilnas%20ar.pdf?utm>

Titas Minelga, Eglė Jotautienė

Study of Noise from Different Types of Road Vehicles

Vytautas Magnus University, Lithuania

Transport related environmental noise is one of the most significant factors affecting the quality of the living environment, especially in areas located close to busy roads. The aim of this study is to assess the noise caused by road transport in residential areas in the village of Raudondvaris (Kaunas district). The study was conducted using a standard methodology that includes environmental noise measurements in accordance with applicable Lithuanian and international standards. The results showed that the highest levels of traffic noise in Raudondvaris village are recorded in the busiest traffic zones and, in some cases, L_{eq} exceeds the permissible daily noise standards, especially at a short distance from the roadway. L_{max} exceeds the permissible daily noise limits in all cases.

The aim of this study is to investigate traffic noise generated by different types of road vehicles in a residential area. The study focuses on measuring equivalent and maximum sound pressure levels at different locations and distances from the noise source during daytime peak hours. In addition, the results are compared with national noise limit values in order to assess potential noise impact on the surrounding environment and residents.

Measurements of traffic noise in Raudondvaris village showed that equivalent sound pressure levels (L_{Aeq}) at most points do not exceed daily standards (65 dB), with values of 61,43 dB at „Express Market” and 60,36 dB at „Raudondvaris Gymnasium”. However, at one point („Lampėdžio Terasos”), the recorded noise level is close to the upper limit of 64,63 dB. The maximum sound pressure levels (L_{AFmax}) at all points exceed the permissible standards („Express Market” L_{AFmax} Maisto falsifikavimo valdymas – vienas iš IFS Food standarto reikalavimų (žr. 3 lentelė) – 76,81 dB, „Raudondvaris Gymnasium” – 76,94 dB), especially at the third point, „Lampėdžio Terasos”, where the value reached 79,88 dB. This indicates that residents and pedestrians may experience disturbing momentary noise, which may affect their health and daily comfort.

Keywords: Noise, road transport, main sources of noise.

Gauta 2026 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2026 m. balandžio mėn.

Titas MINELGA. VDU ŽŪA Inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedros magistrantas. Adresas: Studentų g. 15a, LT-53362, Akademija, Kauno r., tel. +370 686 37209, el. paštas: titas.minelga@vdu.lt

Titas MINELGA. 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: +370 686 37209, e-mail: titas.minelga@vdu.lt

dr. Eglė JOTAUTIENĖ. VDU ŽŪA Inžinerijos fakulteto Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedros profesorė; Adresas: Studentų g. 15a, LT-53362, Akademija, Kauno r. Tel. +370 37 752204, 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 37 752204, e-mail: egle.jotautiene@vdu.lt

DARBUOTOJŲ SAUGOS IR SVEIKATOS SERTIFIKAVIMO EFEKTYVUMAS ŽEMĖS ŪKIO GAMYBOJE

Justė Vičytė, Kristina Lekavičienė

Vytauto Didžiojo universitetas

Žemės ūkis yra viena iš pramonės šakų, kurioje nutinka daugiausiai nelaimingų atsitikimų susijusių su nesaugiu darbu dėl įvairių fizinių, cheminių ir ergonominių pavojų poveikio. Galima išsiaiškinti nelaimingų atsitikimų skaičių – laisvanoriški standartai, į kuriuos yra įtraukti darbuotojų sauga ir sveikatą užtikrinantys klausimai. Straipsnyje aprašomas atliktas trijų sertifikuotų ir trijų nesertifikuotų sodininkystės ūkių traktoriaus operatoriaus darbo vietos fizikinių rizikos veiksnių (viso kūno ir rankų vibracija traktoriaus kabinoje, bei triukšmo lygis) vertinimo eksperimentinis tyrimas ir profesinės rizikos vertinimo dokumentų analizė. Tyrimo rezultatai parodė, kad sertifikavimas daro teigiamą įtaką darbuotojų saugos ir sveikatos valdymui.

Raktiniai žodžiai: sodininkystės ūkiai, darbo aplinka, profesinė rizika, fizikiniai rizikos veiksniai.

Įvadas

Darbuotojų saugos ir sveikatos sąlygas reglamentuoja valstybė, remdamasi Europos Sąjungos reikalavimais ir išleisdama tam skirtus įstatymus ir kitus norminius dokumentus, kurių privalo laikytis darbdaviai. Tačiau Valstybinės darbo inspekcijos duomenys rodo, kad Lietuvoje daugiausia sunkių nelaimingų atsitikimų darbe įvyksta esant nepakankamai darbuotojų saugos ir sveikatos vidinei kontrolei, netinkamam profesinės rizikos vertinimui, netinkamam darbų organizavimui ar naudojant netinkamas darbo priemones. Žinoma, darbuotojai taip pat prisideda prie prastos statistikos, nes Valstybinės darbo inspekcijos duomenimis sunkius nelaimingus atsitikus darbe lemia ir tai jog patys darbuotojai nesilaiko darbuotojų saugos ir sveikatos taisyklių ar instrukcijų (Valstybinė darbo inspekcija prie Lietuvos Respublikos socialinės apsaugos ir darbo ministerijos, 2023). Prasti darbuotojų saugos ir sveikatos rodikliai visoje Europos Sąjungoje lėmė tai, kad šalys narės ieško būdų kaip užtikrinti jog darbuotojas savo darbo vietoje būtų saugus. Prie to prisideda laisvanoriško sertifikavimo schemos, kurios apibendrina darbuotojų saugos ir sveikatos reikalavimus bei juos suvienodinta globaliu mastu.

Kitų autorių atliktuose tyrimuose Pekino įmonėse, sprendžiant kokios dažniausios problemos yra darbo saugos standartizacijos procese, buvo nustatyta jog įmonės dydis tam turi didelę reikšmę, mat mažos ir vidutinės įmonės dažniau susiduria su finansinių išteklių trūkumu, žemu įmonių socialinės gerovės lygiu, žema darbuotojų kvalifikacija, didele darbuotojų kaita, darbų saugos mokymo trūkumais, nepakankamu darbų saugos valdymu ir kitomis problemomis, nei didelės įmonės (Zhimin, 2012). Su visomis šiomis problemomis susiduria ir žemės ūkio įmonės. Bet nepaisant iššūkių, ūkiai sertifikuoja, o atlikti tyrimai rodo, kad tai turi naudos. Pavyzdžiui, atliktas tyrimas Kenijoje, lyginantis sertifikuotus ir nesertifikuotus žemės ūkius, parodė, kad sertifikuoti žemės ūkiai, laikydamiesi tarptautinių standartų, tokių kaip Global G.A.P., turėjo geresnes praktikas, susijusias su darbuotojų sauga ir higiena, palyginti su nesertifikuotais žemės ūkiais (Nanyunja et al., 2015). Tas pats tyrimas parodė, kad sertifikuoti žemės ūkiai geriau laikosi higienos ir saugos reikalavimų, kas gali sumažinti nelaimingų atsitikimų riziką. Sertifikuotais žemės ūkiais laikomi ūkiai, kuriuose įdiegta ir taikoma tarptautinė žemės ūkio gamybos sertifikavimo sistema Global G.A.P., nustatanti reikalavimus gamybos procesams, darbuotojų saugai, aplinkosaugai ir darbo organizavimui.

Atlikta literatūros analizė rodo, kad tarp teorinių darbo saugos principų ir realių darbo sąlygų egzistuoja reikšmingų neatitikimų, kurie tampa potencialiais pavojais darbuotojams (Garrigou et al., 2020). Be to, Filipinuose atlikto tyrimo rezultatai atskleidė, kad griežtesnių nacionalinių teisės aktų laikymosi reikalavimai tampa neefektyvūs tais atvejais, kai valstybės priežiūros mechanizmai ir teisės aktų įgyvendinimas yra nepakankami, nes sertifikuojamos įmonės realiai nėra įpareigojamos įrodyti atitikties galiojantiems teisiniams reikalavimams (Lockie et al., 2014). Atsižvelgiant į šias aplinkybes, galima daryti prielaidą, jog rizikos darbuotojų saugai ir sveikatai vertinimas praktikoje dažnai vykdomas formaliai, nepakankamai įsigilinant į realius pavojus. Tai rodo egzistuojančią tyrimų spragą – trūksta išsamių analizių, vertinančių ne tik sertifikavimo poveikį darbuotojų saugos praktikai, bet ir realių rizikos vertinimo kokybės lygį žemės ūkio sektoriuje. Todėl tyrimo metu vertinta, ar sertifikavimo procesai iš tiesų prisideda prie veiksmingo rizikos valdymo, ar daugeliu atvejų jie apsiriboja formaliu atitikties užtikrinimu, nepakankamai sprendžiant realias darbuotojų saugos ir sveikatos problemas.

Tyrimų metodika

Tyrimams atlikti buvo pasirinkti trys sertifikuoti ir trys nesertifikuoti sodininkystės ūkiai ir juose atliktas traktoriaus operatorių darbo vietų fizikinių rizikos veiksnių vertinimo eksperimentinis tyrimas ir profesinės rizikos vertinimo dokumentų analizė. Siekiant įvertinti žemės ūkio gamybos įmonėse darbuotojų sveikatai kylančią profesinę riziką, šiame darbe analizuojama viso kūno ir rankų vibracija traktoriaus kabinoje, bei triukšmo lygis traktoriaus kabinoje.

Tyrimui visą kūną ir rankas veikianti vibracija, bei triukšmas traktoriaus kabinoje pasirinkti, nes tai vieni iš pagrindinių operatorių veikiančių rizikos veiksnių, dėl kurių diagnozuojamos profesinės ligos. Visą kūną veikianti vibracija dažniausiai sukelia apatinės nugaros srities negalavimus ir stuburo traumas, rankas veikianti vibracija yra kenksminga dėl kraujagyslių, kaulų sąnarių ir raumenų sistemos bei neurologinių pakenkimų, o triukšmas gali sukelti klausos pažeidimus, širdies ir kraujagyslių ligas, miego sutrikimus bei psichologinį stresą ar nuovargį.

Visą kūną veikiančios vibracijos ir triukšmo matavimai buvo atliekami traktoriuose, kurie buvo naudojami ūkiuose įprastinėmis darbo sąlygomis. Traktorių modeliai nebuvo parenkami specialiai tyrimui, nes tyrimo tikslas buvo įvertinti fizikinius rizikos veiksnius realioje darbo aplinkoje. Todėl matavimai atlikti su ūkiuose eksploatuojama technika, kuri atspindi ūkių valdymo sprendimus ir techninės bazės būklę. Tokiu būdu tyrimo rezultatai leidžia įvertinti realias darbuotojų darbo sąlygas sertifikuotuose ir nesertifikuotuose sodininkystės ūkiuose. Tirtų traktorių modeliai pateikiami 1 lentelėje.

1 lentelė. Traktorių modeliai tirti sertifikuotuose ir nesertifikuotuose ūkiuose

Table 1. Tractor models studied on certified and non-certified farms

Eil. Nr. No.	Sertifikuoti ūkiai <i>Certified farms</i>	Nesertifikuoti ūkiai <i>Non-certified farms</i>
	CLAAS ARION 630	John Deere 8360R
	Manitou MLT 841-145 PS+	Claas Axion 850
	Deutz Fahr 6230	John Deere 6930

Visą kūną veikianti vibracija traktoriaus kabinoje buvo matuojama trimis pakartojimais su matavimo įranga „Brüel & Kjær’s Human Vibration Analyzer Type 4447“, kurią sudaro valdymo pultas ir sėdynės pagalvėlė su akselerometru. Visą kūną veikiančios vibracijos poveikis žmogui buvo vertinamas taikant ISO 2631-1:1997. Rankas veikianti vibracija traktoriaus kabinoje buvo matuojama trimis pakartojimais su ta pačia matavimo įranga „Brüel & Kjær’s Human Vibration Analyzer Type 4447“, sėdynės pagalvėlė su akselerometru pakeitus į rankenos adapterį UA-3016. Rankas veikiančios vibracijos poveikis žmogui buvo vertinamas taikant ISO 5349-2:2001. Traktoriaus vairuotojas nepertraukiamai dirbo 5 minutes sėdėdamas ant sėdynės pagalvėlės ir vieną ranką laikydamas ant pritvirtinto adapterio.

Baigus matavimus iš gautų duomenų atliekamas vibracijos poveikio dydžio vertinamas apskaičiuojant kasdienį poveikį, pagal formulę:

$$a_{wi} = a_i \sqrt{\frac{T_i}{T_0}}, m/s^2, \quad (1)$$

čia a_{wi} – svertinis dažninis efektinio vidurkio vibracijos pagreitis I pamainos laikotarpiu (ar I operacijoje);

T_i – I-ojo laikotarpio (operacijos) trukmė sekundėmis;

T_0 – pamatinė pamainos trukmė sekundėmis, lygi 28 800 s.

Triukšmo lygis traktoriaus kabinoje trimis pakartojimais buvo matuojamas su matavimo įranga „Brüel&Kjær Hand-held Analyzer Type 2250“. Triukšmo lygis traktoriaus kabinoje buvo vertinamas taikant ISO 3740:2000 standarto rekomendacijas. Atlikus triukšmo matavimus vykdant tris pakartojimus po 5 minutes, veikiančio kasdienio triukšmo lygio vertė apskaičiuota pagal formulę:

$$L_{EX,8h} = L_{p,A} + 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{T}{T_0} \right), \quad (2)$$

čia $L_{EX,8h}$ – ekvivalentinis triukšmo lygis, perskaičiuotas į 8 darbo valandas;

$L_{p,A}$ – matuotas A – svertinis garso slėgio lygis (dBA);

T – triukšmo veikimo trukmė (valandomis);

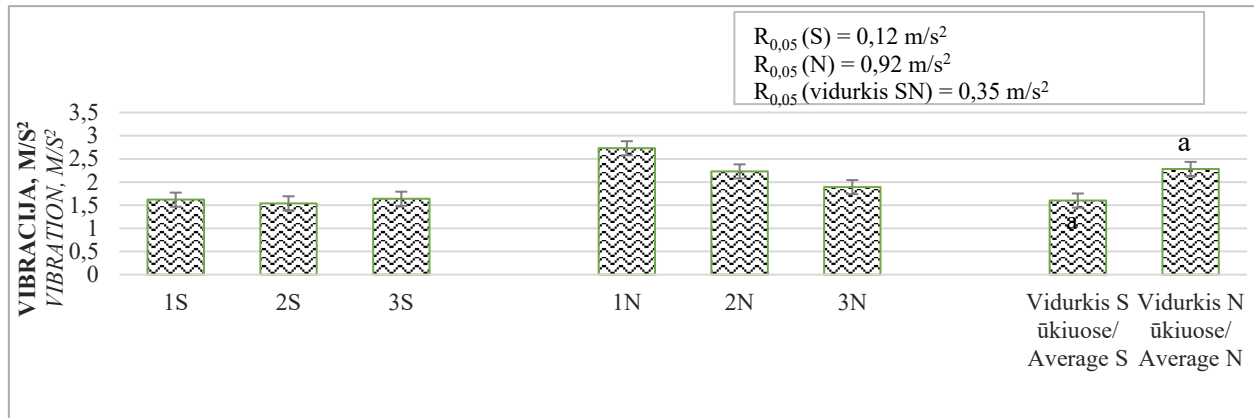
T_0 – lygus 8 val. – ataskaitos trukmė.

Profesinės rizikos vertinimo dokumentų analizės metu buvo analizuojami sodininkystės ūkių profesinės rizikos vertinimo planai ir lyginamas profesinės rizikos vertinimo išsamumas tarp sertifikuotų ir nesertifikuotų ūkių.

Rezultatai ir aptarimas

Visą kūną ir rankas veikiančios vibracijos bei triukšmo tyrimas traktorių kabinose

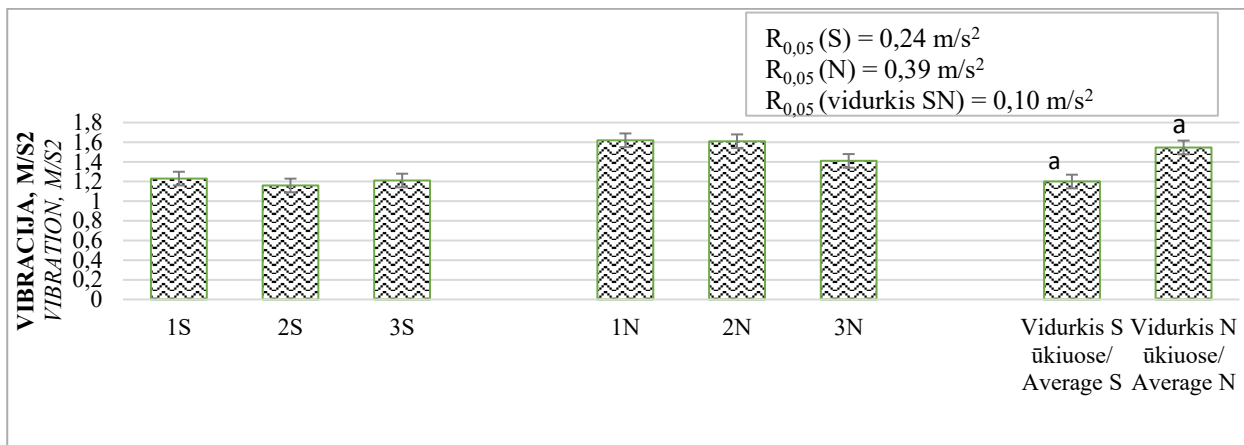
Atlikus matavimus nesertifikuotuose ūkiuose fiksuotos žymiai didesnės vidutinės visą kūną veikiančios vibracijos ($1,89\text{--}2,73\text{ m/s}^2$) nei sertifikuotuose ($1,54\text{--}1,64\text{ m/s}^2$) ir vienu atveju viršijo ribinę kasdienio veikimo vertę, kuri yra $2,5\text{ m/s}^2$. Vidurkių skirtumas tarp sertifikuotų ūkių ($1,60\text{ m/s}^2$) ir nesertifikuotų ūkių ($2,28\text{ m/s}^2$) statistiškai reikšmingas. Didesnę vibraciją nesertifikuotuose ūkiuose galėjo lemti technikos techninė būklė (sėdynės ir kabinos amortizacijos nusidėvėjimas, padangų slėgis). Visą kūną veikiančios vibracijos traktoriaus kabinoje matavimo rezultatai pateikti 1 paveiksle.



1 pav. Visą kūną veikianti vibracija traktoriaus kabinoje. S – sertifikuoti sodininkystės ūkiai, N – nesertifikuoti sodininkystės ūkiai. Tos pačios a raidės virš stulpelių reiškia, kad tarp variantų yra esminis skirtumas

Fig. 1. Whole-body vibration in the tractor cab. S – certified horticultural farms, N – non-certified horticultural farms. Identical letters “a” above the bars indicate a statistically significant difference between the variants

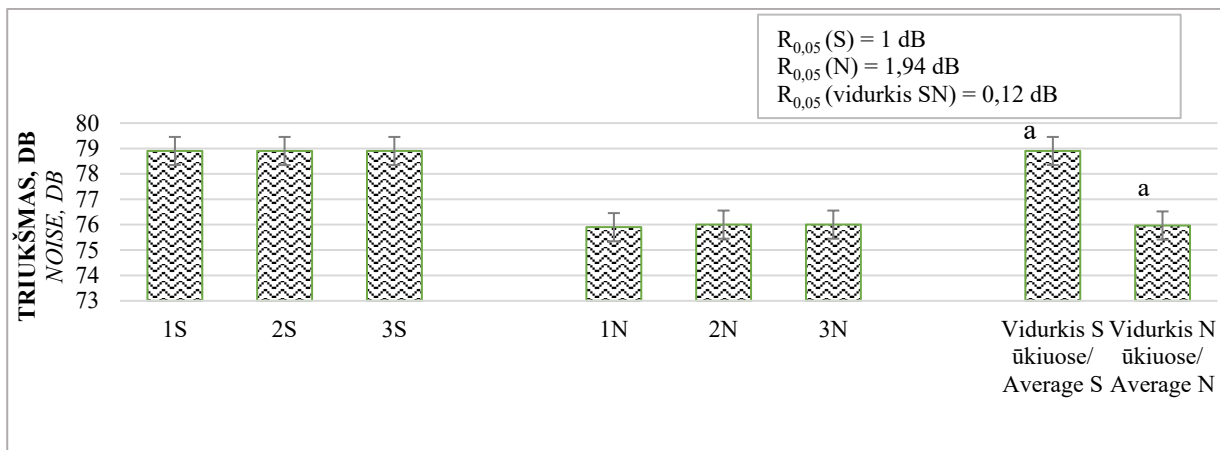
Rankas veikiančios vibracijos vidurkis taip pat ženkliai didesnis nesertifikuotuose ūkiuose ($1,41\text{--}1,62\text{ m/s}^2$), palyginti su sertifikuotais ($1,16\text{--}1,23\text{ m/s}^2$). Atliktų matavimų rezultatai pavaizduoti 2 paveiksle. Iš atliktų matavimų rezultatų matyti, vidurkių skirtumas tarp sertifikuotų ūkių ($1,20\text{ m/s}^2$) ir nesertifikuotų ūkių ($1,55\text{ m/s}^2$) statistiškai reikšmingas. Nei viename traktoriuje rankas veikiančios vibracijos ribinė kasdienio veikimo vertė (5 m/s^2) nebuvo viršyta. Taip pat pastebėtina, kad rankų vibracijos rezultatų tendencija atitinka visą kūną veikiančios vibracijos rezultatus.



2 pav. Rankas veikianti vibracija traktoriaus kabinoje. S – sertifikuoti sodininkystės ūkiai, N – nesertifikuoti sodininkystės ūkiai. Tos pačios a raidės virš stulpelių reiškia, kad tarp variantų yra esminis skirtumas

Fig. 2. Hand-arm vibration in the tractor cab. S – certified horticultural farms, N – non-certified horticultural farms. Identical letters “a” above the bars indicate a statistically significant difference between the variants

Iš atliktų matavimų rezultatų matyti, kad sertifikuotuose ūkiuose triukšmo lygio vidurkiai buvo aukštesni ($78,9\text{ dBA}$) nei nesertifikuotuose ūkiuose ($75,9\text{--}76\text{ dBA}$). Triukšmo vidurkių skirtumas tarp sertifikuotų ūkių ($78,9\text{ dBA}$) ir nesertifikuotų ūkių ($75,97\text{ dBA}$) statistiškai reikšmingas. Nors sertifikuotuose ūkiuose nustatytas statistiškai reikšmingai didesnis triukšmo lygis nei nesertifikuotuose ūkiuose, visais atvejais triukšmo lygis neviršijo vertės (80 dBA) veiksams pradėti. Didesnis triukšmas sertifikuotuose ūkiuose galėjo būti susijęs su tirtų traktorių modelių techniniais skirtumais (variklio galingumu, kabinos konstrukcija, amortizacijos sistema). Išmatuotas triukšmo lygis traktorių kabinose pateiktas 3 paveiksle.



3 pav. Triukšmo lygis traktoriaus kabinoje. S – sertifikuoti sodininkystės ūkiai, N – nesertifikuoti sodininkystės ūkiai. Tos pačios a raidės virš stulpelių reiškia, kad tarp variantų yra esminis skirtumas

Fig. 3. Noise level in the tractor cab. S – certified horticultural farms, N – non-certified horticultural farms. Identical letters “a” above the bars indicate a statistically significant difference between the variants

Profesinės rizikos vertinimo dokumentų analizė

Profesinės rizikos vertinimo dokumentų analizei buvo pasirinkti tos pačios darbo vietos kaip ir fizikinių rizikos veiksnių vertinime, t. y. traktoriaus operatoriaus vieta.

Atlikus profesinės rizikos vertinimo dokumentų analizę buvo nustatyta, kad nesertifikuotuose ūkiuose nebuvo atliktas cheminių veiksnių vertinimas, kai tuo tarpu sertifikuotuose ūkiuose buvo įvertintos septynios rizikos, susijusios su cheminiais veiksniais (dulkės, pesticidai, paviršiaus aktyviosios medžiagos, chloras, etanolis, izopropanolis, šarmai). Nors teisės aktai numato pareigą vertinti visus galimus profesinės rizikos veiksnius, įskaitant cheminius, nesertifikuotuose ūkiuose toks vertinimas nebuvo atliktas.

Fizikiniai ir ergonominiai veiksniai sertifikuotuose ir nesertifikuotuose ūkiuose buvo įvertinti vienodai, t. y., fizikiniuose veiksmuose vertinta visą žmogaus kūną veikianti vibracija, rankas veikianti vibracija, kasdienio veikiančio triukšmo lygis, ergonominiuose veiksmuose – vienkartinio keliamo krovinio masė, nuolat pasikartojantys rankų judesiai, statinis darbas per pamainą. O štai psichosocialinių veiksnių vertinimas vėl skyrėsi. Sertifikuotuose ūkiuose šis vertinimas atliktas nuodugniau, jame įvertintos penkios rizikos, tokios kaip darbo reikalavimai, organizavimas, turinys ir priemonės, bei darbuotojų tarpusavio santykiai. Tuo tarpu nesertifikuotuose ūkiuose psichosocialiniai veiksniai įvertinti vienu punktu, t. y. vertinant pagal psichosocialinių rizikos veiksnių tyrimo metodinius nurodymus.

Analizė rodo, kad fizinių veiksnių vertinimas sertifikuotuose ūkiuose atliktas išsamiau. Čia įvertinti tokie pavojai kaip kritimas iš aukščio, buvimas šalia krovos darbų arba po pakeltu krovinio, judėjimas ir eismas, daiktų griuvimas, virtimas ar kritimas, sąlytis su įrenginių judančiomis dalimis, gaisras, sprogimas, karšti įrenginių paviršiai, cheminės medžiagos, smurtas, galimybė įsidurti ar įsipjauti (turima omeny medžių šakas, nes dirbama soduose), kūno dalių suspaudimas ar sumušimas, vabzdžių įkandimai (įgėlimai). Tuo tarpu nesertifikuotuose ūkiuose fiziniai veiksniai įvertinti tik pagal bendruosius darbuotojų įrengimo reikalavimus, neatliekant detalesnės pavojų analizės. Biologiniai veiksniai įvertinti tik sertifikuotuose ūkiuose, o darbo ir poilsio laikas bei darbuotojų saugos ir sveikatos būklės vidinė kontrolė – tik nesertifikuotuose ūkiuose.

Analizė leidžia daryti prielaidą, kad sertifikavimo sistema skatina sistemingesnę ir išsamesnę profesinės rizikos vertinimą, o nesertifikuotuose ūkiuose vertinimas dažniau apsiriboja bendro pobūdžio reikalavimų įvykdymu.

Išvados

1. Fizikinių rizikos veiksnių vertinimas parodė, kad sertifikuotuose ūkiuose traktorių kabinose fiksuotas didesnis triukšmo lygis, tačiau abiejose ūkio grupėse jis neviršijo leistinų ribų ir tiesioginės rizikos darbuotojų klausai nesukėlė. Tuo tarpu nesertifikuotuose ūkiuose nustatyta gerokai didesnė viso kūno ir rankas veikianti vibracija, kuri kai kuriais atvejais priartėjo prie ribinių verčių ir sudarė didesnę profesinę riziką darbuotojams.
2. Dokumentų analizė parodė, kad sertifikuotuose ūkiuose profesinės rizikos vertinimas traktoriaus operatoriaus darbo vietai atliktas išsamiau ir apima platesnį rizikos veiksnių spektrą, ypač vertinant cheminius, psichosocialinius, fizinius ir biologinius pavojus. Nesertifikuotuose ūkiuose dalis šių veiksnių visai nevertinama (cheminiai ir biologiniai veiksniai). Tai parodo, kad sertifikuotuose ūkiuose darbuotojų

saugos ir sveikatos rizikos valdymas yra sistemiškesnis ir išsamesnis. Tuo tarpu nesertifikuotuose ūkiuose rizikos vertinimas atliktas siauresne apimtimi, todėl lieko neidentifikuotų pavojų.

3. Tyrimo rezultatai leidžia daryti prielaidą, kad sertifikavimo sistema gali prisidėti prie sistemingesnio darbuotojų saugos ir sveikatos valdymo sodininkystės ūkiuose. Sertifikuotuose ūkiuose nustatytas išsamesnis rizikos veiksnių identifikavimas ir sistemiškesnis jų vertinimas. Taip pat nustatyti mažesni vibracijos rodikliai, kas leidžia daryti prielaidą, kad vadybos sistema prisideda prie rizikos mažinimo praktikoje. Nors ne visi fizikiniai veiksniai reikšmingai skyrėsi, bendras rizikos valdymo organizuotumas sertifikuotuose ūkiuose nustatytas geresnis.

Literatūra

1. Garrigou, A., et al. (2020). Critical review of the role of PPE in the prevention of risks related to agricultural pesticide use. *Safety Science*, 123.
2. Lockie, S. et al. (2014). Private food standards, regulatory gaps and plantation agriculture: Social and environmental (ir)responsibility in the Philippine export banana industry. *Journal of Cleaner Production*, 107. 10.1016/j.jclepro.2014.03.039.
3. Nanyunja, J., Jacxsens, L., Kirezieva, K., Kaaya, A. N., Uyttendaele, M., & Luning, P. A. (2015). Assessing the status of food safety management systems for fresh produce production in east africa: evidence from certified green bean farms in kenya and noncertified hot pepper farms in uganda. *Journal of Food Protection*, 78(6), 1081–1089.
4. Valstybinė darbo inspekcija prie Lietuvos Respublikos Socialinės apsaugos ir darbo ministerijos. *Informacija apie nelaimingus atsitikimus darbe, įvykusius per 2024 metų I ketvirtį (2024-04-02 duomenimis)*. <https://vdi.lrv.lt/media/viesa/saugykla/2024/4/OrREG11vIGY.pdf>
5. Zhimin, L. (2012). Common Problems and Countermeasures in Work Safety Standardization Process in Beijing. *Procedia Engineering*, 43, 578–581.

Justė Vičytė, Kristina Lekavičienė

Occupational Safety and Health Effectiveness of Certification in Agricultural Production

Vytautas Magnus University, Lithuania

Agriculture is one of the industrial sectors with the highest number of occupational accidents related to unsafe work due to exposure to various physical, chemical, and ergonomic hazards. One possible way to reduce the number of accidents is the implementation of voluntary standards that include occupational safety and health requirements. This article presents an experimental study assessing physical risk factors (whole-body and hand-arm vibration in the tractor cab, and noise level in the tractor cab) at the tractor operator's workstation in three certified and three non-certified horticultural farms, as well as an analysis of occupational risk assessment documents. The results of the study showed that certification has a positive impact on occupational safety and health management.

Keywords: Horticultural farms, work environment, occupational risk, physical risk factors.

Gauta 2026 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2026 m. balandžio mėn.

Justė VIČYTĖ. 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 37 752357, +370 670 51742, el. paštas: juste.vicyte@vdu.lt

Justė VIČYTĖ. 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 37 752357, +370 670 51742, e-mail: juste.vicyte@vdu.lt

Kristina LEKAVIČIENĖ. 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 37 752357, +370 673 05748, el. paštas: kristina.lekaviciene@vdu.lt

Kristina LEKAVIČIENĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, assoc. prof. Address: Studentų g. 15a, LT-53362, Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 37 752357, +370 673 05748, e-mail: kristina.lekaviciene@vdu.lt

RADIOAKTYVIŲJŲ ŠALTINIŲ LOKALIZAVIMO METODOLOGINIS MODELIS TAIKANT BEPILOČIUS ORLAIVIUS

Jonas Misiūnas, Dainius Jasaitis

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Radiaciniai pavojai kelia reikšmingą grėsmę žmogaus sveikatai ir aplinkos saugai, ypač avarinių situacijų, neteisėto radioaktyviųjų šaltinių naudojimo ar užterštų teritorijų atvejais. Tokiose situacijose tiesioginis specialistų buvimas pavojingoje zonoje yra ribotinas, todėl vis didesnę reikšmę įgauna nuotoliniai radiacinės stebėsenos sprendimai. Bepiločių orlaivių (BO) taikymas leidžia sumažinti žmonių ekspoziciją jonizuojančiajai spinduliuotei ir operatyviai rinkti duomenis apie radiacinę aplinką. Vis dėlto daugelyje mokslinių tyrimų BO radiacinės stebėsenos sistemos analizuojamos fragmentiškai, nepakankamai siejant radiacijos detektoriaus metrologinę charakterizaciją su radiacinių pavojų aptikimo ir lokalizavimo patikimumu. Šiame darbe siūlomas metodologinis modelis, apimantis visą bepiločių orlaivių radiacinės stebėsenos procesą – nuo radiacijos detektoriaus laboratorinės kalibracijos ir jo pritaikymo bepiločio orlaivio platformai iki matavimo modelio sudarymo ir radioaktyvaus šaltinio lokalizavimo kaip atvirkštinio uždavinio sprendimo. Siūloma metodika sudaro pagrindą nuosekliams simuliaciniams ir eksperimentiniams tyrimams bei prisideda prie patikimesnio radiacinių pavojų vertinimo žmogaus ir gamtos saugos kontekste.

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

Įvadas

Jonizuojančiosios spinduliuotės šaltiniai plačiai naudojami medicinoje, pramonėje ir moksle, tačiau dalis jų dėl įvairių priežasčių gali būti pamesti, pavogti ar palikti be priežiūros. Tokie šaltiniai tarptautinėje praktikoje vadinami pamestaisiais arba paliktaisiais radioaktyviaisiais šaltiniais (angl. *orphan radioactive sources*). Tarptautinė atominės energijos agentūra pabrėžia, kad pamestieji šaltiniai kelia realią grėsmę žmonių sveikatai ir aplinkos saugai, ypač jei jie patenka į metalo laužo perdirbimo grandinę, savartynus ar lieka neidentifikuoti aplinkoje (IAEA, 2006). Praktikoje tokie šaltiniai gali būti randami metalo laužo supirktuvėse, pramonės teritorijose, apleistose gydymo įstaigose ar sandėliuose. Tokiose situacijose būtina užtikrinti greitą ir saugų šaltinio lokalizavimą, kartu ribojant specialistų ekspoziciją jonizuojančiajai spinduliuotei. Tradiciškai pamestųjų šaltinių paieškai naudojami rankiniai jonizuojančiosios spinduliuotės matuokliai arba transporto priemonėse montuojamos detektavimo sistemos (IAEA, 2022). Vis dėlto šie metodai reikalauja tiesioginio žmogaus buvimo potencialiai pavojingoje zonoje, apsiriboja sunkiai prieinamomis vietovėmis ir gali būti neefektyvūs didesnių teritorijų atveju. Pastaraisiais metais sparčiai vystantis bepiločių orlaivių (BO) technologijoms, atsirado galimybė radiacinę stebėseną vykdyti nuotoliniu būdu, sumažinant operatorių riziką ir padidinant teritorijų aprėptį.

Tyrimai rodo, kad BO pagrįstos sistemos gali būti sėkmingai taikomos pamestųjų radioaktyviųjų šaltinių aptikimui ir lokalizavimui, naudojant gama detektorius ir atvirkštinio kvadrato dėsnio pagrįstus lokalizavimo metodus (Gong ir kt., 2019). Pavyzdžiui, „RotorRAD“ sistema demonstravo galimybę tiksliai lokalizuoti dirbtinį šaltinį kontroliuojamomis sąlygomis, pasiekiant kelių dešimčių centimetrų paklaidą (Gong ir kt., 2019). Taip pat pasiūlytos automatizuotos daugiasraigčių BO paieškos strategijos, leidžiančios efektyviai aptikti mažo aktyvumo šaltinius skirtingomis aplinkos sąlygomis (Li ir kt., 2018). Be to, literatūroje pateikiami darbai, kuriuose nagrinėjamos kelių šaltinių lokalizavimo strategijos ir optimizuotas BO maršrutų planavimas, siekiant efektyviai identifikuoti radiacinius židinius (Redwan Newaz ir kt., 2016). Šie tyrimai parodo galimus algoritminius sprendimus ir teritorijos skenavimo strategijas, tačiau dažniausiai orientuojasi į lokalizavimo metodų ar trajektorijų optimizavimą, darant prielaidas apie detektoriaus veikimo parametrus. Panašiai, BO pagrįstos gama spektrometrijos sistemos, skirtos radiacinės aplinkos žemėlapių sudarymui, yra išsamiai analizuojamos ir validuojamos eksperimentiniuose tyrimuose (Kunze ir kt., 2022). Tokiuose darbuose pagrindinis dėmesys skiriamas žemėlapių sudarymo tikslumui, sistemos validacijai bei duomenų apdorojimo metodams. Tačiau detektoriaus metrologinių parametrų, skrydžio geometrijos ir lokalizavimo algoritmo tarpusavio sąveika paprastai nėra nagrinėjama kaip vientisa metodologinė struktūra. Nepaisant šių technologinių pasiekimų, literatūroje dažniausiai nagrinėjami atskiri sistemos komponentai – BO platformos pasirinkimas, detektoriaus tipas ar konkretus lokalizavimo algoritmas. Rečiau pateikiama nuosekli metodologinė struktūra, sistemingai apjungianti detektoriaus metrologinę charakterizaciją, BO matavimo parametrus, matavimo modeliavimą ir radiacinio šaltinio lokalizavimą kaip atvirkštinį uždavinį. Ypač pamestųjų šaltinių paieškos kontekste svarbu įvertinti mažo aktyvumo šaltinius, galimą ekranavimą bei fono spinduliuotės įtaką, nes šie veiksniai tiesiogiai lemia aptikimo ir lokalizavimo patikimumą.

Šiame straipsnyje siūlomas metodologinis modelis pamestųjų radioaktyviųjų šaltinių nuotoliniam aptikimui ir lokalizavimui naudojant bepiločius orlaivius, integruojant detektoriaus metrologinę charakterizaciją, BO skrydžio parametrų analizę ir lokalizavimą kaip atvirkštinį uždavinį į vientisą struktūrą.



1 pav. Metodologinis modelis radioaktyviojo šaltinio aptikimui ir lokalizavimui naudojant bepiločius orlaivius

Fig 1. Methodological Model for the Detection and Localization of Radioactive Sources Using Unmanned Aerial Vehicles

Tyrimų metodika

Tyrime taikyta sisteminė ir lyginamoji mokslinės literatūros analizė, apimanti bepiločių orlaivių radiacinės stebėsenos, radiacinio šaltinio lokalizavimo ir detektorių metrologijos tyrimus. Identifikuoti techniniai ir metodiniai veiksniai buvo struktūruoti taikant conceptualaus modeliavimo principus, leidusius suformuoti radiacinių šaltinių aptikimo ir lokalizavimo metodologinį modelį.

Rezultatai

Detektoriaus metrologinių charakteristikų įtaka pamestųjų šaltinių aptikimui. Pamestųjų radioaktyviųjų šaltinių paieška dažnai vykdoma sudėtingose aplinkose, kuriose galimas padidintas ir energijos atžvilgiu nevienalytis radiacinis fonas bei mažo aktyvumo arba dalinai ekranuoti šaltiniai. Tokiomis sąlygomis detektoriaus metrologinės charakteristikos apibrėžia fundamentalią sistemos aptikimo ribą ir daro tiesioginę įtaką galimam lokalizavimo tikslumui. Radiaciniai matavimai yra statistinio pobūdžio, o per pasirinktą laiko intervalą užfiksuotų impulsų skaičius paklūsta Poasono skirstiniui. Tokiu atveju standartinis nuokrypis yra lygus skaičiavimo įvykių skaičiaus kvadratinei šakniai, o santykinė paklaida didėja mažėjant registruotų impulsų skaičiui (Knoll, 2010). Ši aplinkybė tampa kritiškai svarbi aptinkant silpnus šaltinius arba trumpinant integravimo laiką, nes signalo ir fono statistiniai svyravimai gali būti panašaus dydžio. Energijos kalibracija yra būtina patikimai gama spektro interpretacijai. Net nedidelės kalibracijos paklaidos gali lemti spektrinių smailių energijos poslinkį ir klaidingą radionuklidų identifikavimą (Gilmore, 2008).

Praktinėje gama spektrometrijoje energijos ašies stabilumas yra esminė sąlyga siekiant užtikrinti nuoseklią spektrinę analizę, ypač kai aplinkoje gali būti keli radionuklidai ar sudėtingas radiacinis fonas. Energijos skiriamoji geba, dažniausiai apibrėžiama kaip pilnas plotis pusės maksimumo aukštyje (angl. *Full Width at Half Maximum* (FWHM)), nusako detektoriaus gebėjimą atskirti artimas spektrines linijas. Knoll aptaria energijos rezoliucijos priklausomybę nuo statistinių šviesos ar krūvio generavimo procesų detektoriuje (Knoll, 2010), o Gilmore (Gilmore, 2008) pabrėžia praktinę FWHM reikšmę radionuklidų identifikavime. Platesnės smailės apsunkina silpnų ar dalinai ekranuotų šaltinių identifikavimą, nes mažėja galimybė patikimai atskirti signalą nuo radiacinio fono ar kitų emisijų. Fonas gama spektrometrijoje susidaro dėl natūralių radionuklidų, kosminės spinduliuotės bei aplinkos medžiagų. Kadangi aptikimo kriterijai grindžiami statistiniu signalo ir fono skirtumu, padidėjęs ar energijos atžvilgiu sudėtingas radiacinis fonas tiesiogiai didina mažiausią aptinkamą signalą. Mažiausia aptinkama aktyvumo riba (angl. *limit of detectability*) apibrėžiama kaip minimalus signalas, kurį galima atskirti nuo fono su nustatyta patikimumo tikimybe (Knoll, 2010). Ji priklauso nuo fono lygio, matavimo trukmės ir detektoriaus efektyvumo. Todėl metrologiniai parametrai sudaro pradinę sąlygą visai tolimesnei paieškos sistemai: nepriklausomai nuo BO platformos ar lokalizavimo algoritmo, aptikimo galimybės yra ribojamos detektoriaus statistinių ir spektrinių savybių. Apibendrinant galima teigti, kad energijos kalibracija, skiriamoji geba, skaičiavimo statistika ir aptikimo riba sudaro pirmąją siūlomo metodologinio modelio pakopą. Ši pakopa apibrėžia fizikinę aptikimo ribą, kuri toliau turi būti integruojama su BO skrydžio parametrais ir lokalizavimo modeliu, siekiant užtikrinti patikimą pamestųjų šaltinių paiešką.

BO skrydžio parametrų įtaka radiologinių matavimų kokybei. Detektoriaus metrologinės charakteristikos apibrėžia fundamentalią aptikimo ribą, tačiau realiomis sąlygomis radiologinių matavimų kokybė papildomai priklauso nuo BO skrydžio parametrų. Skrydžio aukštis, greitis, trajektorijos geometrija ir matavimo taškų tankis tiesiogiai veikia registruojamą skaičiavimo greitį, statistinį stabilumą ir galutinio radiacinio žemėlapijo arba lokalizavimo algoritmo tikslumą.

Skrydžio aukštis. Gama spinduliuotės intensyvumas mažėja didėjant atstumui nuo šaltinio pagal atvirkštinio kvadrato dėsnį, todėl BO skrydžio aukštis tiesiogiai veikia registruojamą signalą. Eksperimentiniai BO tyrimai rodo, kad mažesnis skrydžio aukštis leidžia pasiekti didesnę skaičiavimo greitį ir geresnę erdvinę raišką (Gong ir kt., 2019). Taip pat nustatyta, kad aukščio matavimo paklaidos gali turėti reikšmingą įtaką apskaičiuotam paviršinio aktyvumo įvertinimui, ypač žemo aukščio skrydžiuose (Albéri ir kt., s.a.). (Kunze ir kt., 2022) analizuodami BO pagrįstą gama spektrometrijos sistemą pabrėžia, kad skrydžio aukštis yra vienas iš pagrindinių parametrų, lemiančių tiek žemėlapijo kontrastą, tiek mažo aktyvumo anomalijų aptikimą. Todėl aukštis turi būti vertinamas ne tik kaip navigacinis, bet ir kaip radiometrinis parametras.

Skrydžio greitis ir integravimo laikas. BO greitis lemia efektyvų integravimo laiką virš konkretaus taško. Mažėjant integravimo laikui, didėja santykinė statistinė paklaida, ypač esant žemam signalui. (Mamed ir kt., 2025) parodė, kad mažesnis skrydžio greitis ir tankesnis matavimo tinklelis pagerina radiometrinio žemėlapijo raišką bei leidžia tiksliau identifikuoti anomalijas. Panašiai (Chen ir kt., 2020) bandymuose nustatė, kad mažesnis aukštis ir lėtesnis skrydis pagerina radiacinių „karštųjų taškų“ aptikimą. (Li ir kt., 2018) analizuodami daugiasraigčių BO paieškos strategijas taip pat pabrėžia integravimo laiko ir trajektorijos tankio svarbą mažo aktyvumo šaltinių aptikimui. Tai rodo, kad skrydžio greitis nėra vien operacinis parametras – jis tiesiogiai veikia statistinį matavimo patikimumą.

Trajektorijos geometrija ir matavimo tankis. Radiacinio lauko rekonstrukcija ir šaltinio lokalizavimas priklauso ne tik nuo pavienių matavimo taškų kokybės, bet ir nuo jų erdvinio išsidėstymo. Redwan Newaz ir kt. (2016) nagrinėjo skirtingas paieškos strategijas ir trajektorijų planavimo metodus, parodydami, kad matavimo geometrija turi reikšmingą įtaką lokalizavimo algoritmo stabilumui. Tankesnis ir kryptingai suplanuotas skenavimas gali sumažinti lokalizavimo paklaidą net esant ribotam signalui. Kunze ir kt. (2022) taip pat pažymi, kad radiacinio žemėlapijo kokybė priklauso nuo skenavimo režimo ir trajektorijos struktūros, o tai turi būti vertinama kartu su detektoriaus savybėmis.

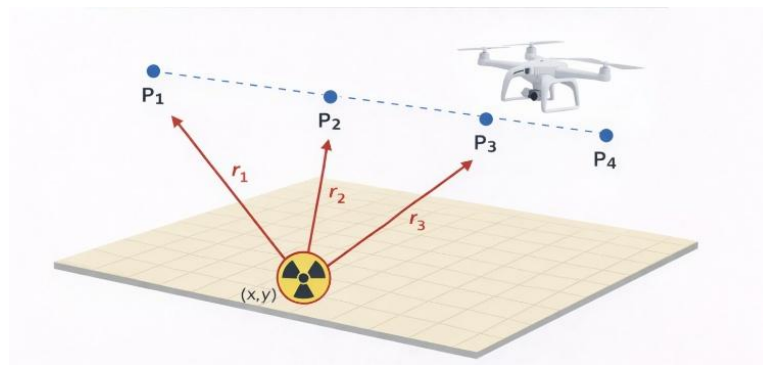
Integruotas skrydžio parametrų poveikis. Aukštis, greitis ir trajektorija tarpusavyje sąveikauja ir modifikuoja detektoriaus metrologinę aptikimo ribą. Mažesnis aukštis didina signalą, lėtesnis greitis didina integravimo laiką, o tankesnė trajektorija gerina lokalizavimo geometriją. Tačiau šie parametrai taip pat susiję su operaciniais apribojimais – skrydžio trukme, baterijos talpa ir saugos reikalavimais. Literatūroje dažniausiai analizuojami atskiri šių parametrų aspektai, tačiau jų integruota analizė kartu su detektoriaus metrologiniais parametrais yra rečiau sistemingai struktūruojama. Todėl siūlomame metodologiniame modelyje BO skrydžio parametrai traktuojami kaip antrasis analizės lygmuo, modifikuojantis pirmojo lygmens – detektoriaus – nustatytas aptikimo ribas ir tiesiogiai veikiantis radiacinio šaltinio lokalizavimo patikimumą.

Radiacinio šaltinio lokalizavimas kaip atvirkštinis uždavinys. Radiacinio šaltinio lokalizavimas iš BO pagrindu atliktų matavimų gali būti traktuojamas kaip atvirkštinis uždavinys, kurio tikslas – iš matuojamų spinduliuotės intensyvumo duomenų atkurti šaltinio padėtį ir galimus parametrus. Tokiu atveju matuojamas skaičiavimo greitis priklauso nuo šaltinio aktyvumo, atstumo tarp šaltinio ir detektoriaus, aplinkos slopinimo bei fono spinduliuotės. Supaprastintame modelyje radiacijos intensyvumas mažėja didėjant atstumui nuo šaltinio pagal atvirkštinio kvadrato dėsnį. Tokiu atveju detektoriaus registruojamas signalas gali būti aprašomas funkcija:

$$I(r) \propto \frac{A}{r^2}, \quad (1)$$

čia A – šaltinio aktyvumas;
 r – atstumas tarp šaltinio ir detektoriaus.

1 pav. pateikta koncepcinė radiacinio šaltinio lokalizavimo naudojant bepiločius orlaivius matavimo geometrijos schema. Bepilotis orlaivis skrydžio metu registruoja radiacijos intensyvumą skirtinguose trajektorijos taškuose (P₁–P₄). Kiekviename matavimo taške registruojamas signalas priklauso nuo atstumo tarp detektoriaus ir radioaktyviojo šaltinio. Šie atstumai schemoje pažymėti kaip r_1 , r_2 ir r_3 . Remiantis keliuose erdvės taškuose atliktais radiacijos matavimais ir fizikiniais spinduliuotės sklaidimo modeliais galima įvertinti tikėtiną šaltinio padėtį, todėl lokalizavimo uždavinys formuluojamas kaip atvirkštinis uždavinys.



2 pav. Radiacinio šaltinio lokalizavimo naudojant bepiločius orlaivius matavimo geometrijos schema

Fig 2. Measurement geometry for radioactive source localization using unmanned aerial vehicles

Siekiant apibendrinti pagrindinius metodologinio modelio elementus ir jų įtaką pamestųjų radioaktyviųjų šaltinių aptikimui bei lokalizavimui naudojant bepiločius orlaivius, 1 lentelėje pateikiama pagrindinių sistemos komponentų ir jų funkcijų suvestinė.

1 lentelė. Pagrindiniai BO pagrindu atliekamos radiacinės paieškos metodologinio modelio komponentai ir jų įtaka radioaktyviųjų šaltinių aptikimui

Table 1. Key Components of a UAV-Based Radiological Search Methodological Model and Their Impact on Radioactive Source Detection

Metodologinio modelio komponentas <i>Methodological model component</i>	Pagrindiniai parametrai <i>Key parameters</i>	Įtaka aptikimui ir lokalizavimui <i>Impact on detection and localization</i>
Detektoriaus metrologinė charakterizacija <i>Detector metrological characterization</i>	Energijos kalibracija ir FWHM, efektyvumas, mažiausia aptikimo riba (MDA) <i>Energy calibration and FWHM, Detection efficiency, Minimum detectable activity (MDA)</i>	Apibrėžia detektoriaus jautrumą ir minimalų aptinkamo šaltinio aktyvumą <i>Defines detector sensitivity and the minimum detectable source activity</i>
Bepiločio orlaivio skrydžio parametrai <i>UAV flight parameters</i>	Aukštis, greitis, trajektorija, matavimo taškų tankis <i>Altitude, velocity, Flight trajectory, Measurement point density</i>	Nulemia matavimo geometriją ir registruojamo radiacijos signalo intensyvumą <i>Determines measurement geometry and measured radiation signal intensity</i>
Radiacijos signalo registravimas <i>Radiation signal acquisition</i>	Skaičiavimo greitis, integravimo laikas, spektriniai duomenys <i>Count rate, Integration time, Spectral data</i>	Apibrėžia statistinį matavimų patikimumą ir duomenų kokybę <i>Defines statistical reliability of measurements and data quality</i>
Radiacinio lauko modelis <i>Radiation field model</i>	Atvirkštinio kvadrato dėsnis, fono spinduliuotė, Spinduliuotės slopinimas, Radiation attenuation <i>Inverse square law, Background radiation, Radiation attenuation</i>	Leidžia interpretuoti matavimus ir modeliuoti šaltinio įtaką detektoriumi <i>Allows interpretation of measurements and modelling of source influence on the detector</i>
Radioaktyviojo šaltinio lokalizavimas <i>Radioactive source localization</i>	Atvirkštinis uždavinys, parametų įvertinimas, optimizavimo metodai <i>Inverse problem, Parameter estimation, Optimization methods</i>	Leidžia nustatyti tikėtiną šaltinio padėtį remiantis BO matavimų duomenimis <i>Enables estimation of the probable source location based on UAV measurements</i>

Atliekant skrydį, BO registruoja radiacinį signalą skirtinguose erdvės taškuose, todėl susidaro matavimų rinkinys, kuriame kiekvienam taškui žinomos koordinatės ir atitinkamas skaičiavimo greitis. Lokalizavimo uždavinys tuomet tampa parametų įvertinimo problema, kai iš šių duomenų siekiama nustatyti labiausiai tikėtiną šaltinio padėtį. Tokios problemos sprendimui literatūroje naudojami įvairūs metodai, įskaitant gradientinius optimizavimo algoritmus, mažiausių kvadratų metodą, Bajeso analizę ar maksimalaus tikėtinumo vertinimą (Redwan Newaz ir kt., 2016; Chen ir kt., 2020). Svarbu pažymėti, kad lokalizavimo stabilumas ir tikslumas tiesiogiai priklauso nuo matavimo geometrijos ir duomenų kokybės. Skirtingos BO trajektorijos gali lemti skirtingą lokalizavimo paklaidą, nes matavimo taškų erdvinis pasiskirstymas veikia atvirkštinio uždavinio sąlygotumą (Schraml ir kt., 2022). Be to, lokalizavimo rezultatams įtaką daro fono spinduliuotė,

statistiniai skaičiavimo svyravimai ir galimas šaltinio ekranavimas. Dėl šių priežasčių literatūroje pabrėžiama, kad radiacinio šaltinio lokalizavimas turėtų būti vertinamas kaip integruota problema, kurioje detektoriaus metrologinės savybės, BO skrydžio parametrai ir lokalizavimo modelis sudaro tarpusavyje susijusią sistemą (Kunze ir kt., 2022). Tokia perspektyva leidžia pereiti nuo pavienių algoritmų analizės prie nuoseklaus metodologinio modelio, kuriame matavimo fizika, skrydžio dinamika ir matematinis modeliavimas vertinami kaip vieninga radiacinės paieškos sistemos struktūra. Siūlomame metodologiniame modelyje radiacinio šaltinio lokalizavimas traktuojamas kaip trečiasis analizės lygmuo, kuris remiasi ankstesnėse dalyse aptartomis detektoriaus metrologinėmis charakteristikomis ir BO skrydžio parametrais.

Išvados

1. Šiame darbe pasiūlytas metodologinis modelis jonizuojančiosios spinduliuotės šaltinių aptikimui ir lokalizavimui naudojant bepiločius orlaivius. Modelis integruoja radiacijos detektoriaus metrologinę charakterizaciją, bepiločio orlaivio skrydžio parametrus ir radiacinio šaltinio lokalizavimą, formuluojamą kaip atvirkštinį uždavinį.
2. Literatūros analizė parodė, kad daugelyje tyrimų nagrinėjami pavieniai BO pagrindu veikiančių radiacinės stebėsenos sistemų aspektai, tokie kaip detektorių tipai, skrydžio strategijos ar lokalizavimo algoritmai, tačiau integruotas metodologinis požiūris, apjungiantis detektoriaus metrologinius parametrus, matavimo geometriją ir lokalizavimo modelius vienoje sistemoje, literatūroje pateikiamas retai.
3. Pasiūlytas metodologinis modelis leidžia sistemingai susieti detektoriaus fizines charakteristikas, BO skrydžio parametrus ir radiacijos matavimo duomenų analizę, taip sudarant prielaidas efektyvesniam pamestųjų radioaktyviųjų šaltinių aptikimui sudėtingomis aplinkos sąlygomis.
4. Siūlomas metodologinis modelis gali būti taikomas planuojant BO pagrindu atliekamus radiometrinius tyrimus bei vertinant radiacinės paieškos sistemų aptikimo ribas skirtingomis matavimo sąlygomis.

Literatūra

1. Albéri, M., Baldoncini, M., Bottardi, C., Chiarelli, E., Fiorentini, G., Giulia, K., Raptis, C., Realini, E., Reguzzoni, M., Rossi, L., Sampietro, D., Strati, V., & Mantovani, F. (s.a.). *Accuracy of Flight Altitude Measured with Low-Cost GNSS, Radar and Barometer Sensors: Implications for Airborne Radiometric Surveys*.
2. Chen, C. M., Sinclair, L. E., Fortin, R., Coyle, M., & Samson, C. (2020). *In-Flight Performance of the Advanced Radiation Detector for UAV Operations (ARDUO)*. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2018.11.068>
3. Gilmore, G. R. (2008). *Practical Gamma-ray Spectrometry Practical Gamma-ray Spectrometry-2nd Edition*. www.wiley.com
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. (2006). *Control of Orphan Sources and Other Radioactive Material in the Metal Recycling and Production Industries*. International Atomic Energy Agency.
6. 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>
7. Knoll. (2010). *Radiation Detection and Measurement (Glenn F. Knoll)*.
8. Kunze, C., Preugschat, B., Arndt, R., Kandzia, F., Wiens, B., & Altfelder, S. (2022). Development of a UAV-Based Gamma Spectrometry System for Natural Radionuclides and Field Tests at Central Asian Uranium Legacy Sites. *Remote Sensing*, 14(9). <https://doi.org/10.3390/rs14092147>
9. Li, B., Zhu, Y., Wang, Z., Li, C., Peng, Z. R., & Ge, L. (2018). Use of multi-rotor unmanned aerial vehicles for radioactive source search. *Remote Sensing*, 10(5). <https://doi.org/10.3390/rs10050728>
10. Mamed, F., Vaz, A., Machado, A., Batista, J., Oliveira, J., Silveira, P., Iack, P., Barreto, P., Henrique, W., & Vallory, W. (2025). A Drone-Based Approach for Radiometric Mapping of Gamma Radiation. *Brazilian Journal of Radiation Sciences*, 12(4A (Suppl.)), e2716. <https://doi.org/10.15392/2319-0612.2024.2716>
11. Redwan Newaz, A. Al, Jeong, S., Lee, H., Ryu, H., & Chong, N. Y. (2016). UAV-based multiple source localization and contour mapping of radiation fields. *Robotics and Autonomous Systems*, 85, 12–25. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2016.08.002>
12. Schraml, S., Hubner, M., Taupe, P., Hofstätter, M., Amon, P., & Rothbacher, D. (2022). Real-Time Gamma Radioactive Source Localization by Data Fusion of 3D-LiDAR Terrain Scan and Radiation Data from Semi-Autonomous UAV Flights. *Sensors*, 22(23). <https://doi.org/10.3390/s22239198>

Jonas Misiūnas, Dainius Jasaitis

Methodological Model for the Localization of Radioactive Sources Using Unmanned Aerial Vehicles

Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania

Radiological hazards pose a significant threat to human health and environmental safety, particularly in situations involving accidents, unauthorized use of radioactive sources, or contaminated areas. In such circumstances, the direct presence of specialists in hazardous zones should be minimized; therefore, remote radiation monitoring solutions are becoming increasingly important. The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) enables the reduction of human exposure to ionizing radiation and allows rapid data collection on the radiological environment. However, many scientific studies analyze UAV-based radiation monitoring systems in a fragmented manner, with insufficient attention given to the relationship between the metrological characterization of radiation detectors and the reliability of radiological hazard detection and localization. This study proposes a methodological model covering the entire UAV-based radiation monitoring process—from the laboratory calibration of a radiation detector and its integration into a UAV platform to the development of a measurement model and the localization of a radioactive source formulated as an inverse problem. The proposed model provides a basis for systematic simulation and experimental studies and contributes to a more reliable assessment of radiological hazards in the context of human and environmental safety.

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

Gauta 2026 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2026 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 profesorius. 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, professor. Address: Linkmenų str. 28, LT-08217, Vilnius. Phone: +370 686 93866, e-mail: dainius.jasaitis@vilniustech.lt

TRANSPORTO SRAUTO TYRIMAS IR MODELIAVIMAS ALYTAUS MIESTE

Lukas Gedeikis, Tomas Mickevičius

Lietuvos inžinerijos kolegija

Kelių tinklas, tai sudėtinga gatvių sistema, kuri yra skirta judėti įvairioms transporto priemonėms, užtikrina efektyvų transporto priemonių judėjimą. Augant transporto priemonių skaičiui, sankryžos tampa vis labiau apkrautos. Didėjantis transporto priemonių skaičius lemia augantį eismo intensyvumą miestų gatvėse ir sankryžose. Ši problema ypač aktuali didmiesčiuose, kur eismo srautai sukuria dideles spūstis, didina eismo įvykių tikimybę bei prisideda prie aplinkos oro taršos. Dėl ženkliai išaugusio automobilių kiekio, sankryžos bei kitos kelio atkarpos tampa nebeefektyvios. Straipsnyje analizuojama keturšalė Naujosios, Putinų ir Kalniškės gatvių sankryža Alytaus mieste. Tyrimų tikslas buvo atlikti keturšalės Naujosios, Putinų ir Kalniškės gatvių transporto eismo srauto pralaidumo tyrimus ir pasiūlyti priemones, skirtas eismo srauto efektyvumui pagerinti. Nagrinėjama kelių sankirta yra didelio intensyvumo transporto mazgas. Šis kelio ruožas Alytaus mieste naudojamas, kaip pagrindinė atvykimo ir išvykimo arterija. Transporto eismo intensyvumas buvo nagrinėjamas rytinio ir vakarinio piko metu. Transporto priemonių pravažiuojančių srautų duomenys buvo renkami dviejų savaitių laikotarpyje. Renkama du kartus po keturias dienas: pirmadienį, antradienį, trečiadienį ir ketvirtadienį. Atliekant transporto srauto modeliavimą, buvo suskaičiuoti važiuojantys automobiliai visomis galimomis kryptimis. Transporto srautų modeliavimui buvo naudojama „PTV Vissim“ programinė įranga. Tyrimo metu buvo pastebėta, kad intensyviausias rytinis srautas juda Kauno kryptimi, o vakarinis išsiskiria grįžimo į miestą metu. Analizuojant bendrus rytinio piko metu susidarancius transporto priemonių srautus, išsiaiškinta, kad 7,6 % didesnis rytinis srautas nustatytas Naujoje g., lyginant su vakariniu piku.

Raktiniai žodžiai: sankryža, srautas, „PTV Vissim“, pralaidumas, emisija.

Įvadas

Spartus transporto priemonių augimas bei kelių infrastruktūros atsilikimas tampa vis didesne problema su kuria susiduria kiekvienas vairuotojas. Dėl ženkliai išaugusio automobilių kiekio, sankryžos bei kitos kelio atkarpos tampa nebeefektyvios ir nebesaugios dabartiniam transporto priemonių srautui. Susidaro spūstys, daugėja avarių, didėja oro tarša. Transporto sektorius yra vienas pagrindinių oro taršos šaltinių urbanizuotose teritorijose, todėl efektyvus transporto srautų valdymas tampa svarbiu miesto planavimo uždaviniu (Bellomo, Dogbe, 2011). Siekiant mažinti spūstis ir gerinti eismo saugumą, daugelyje šalių diegiamos išmaniosios transporto sistemos (ITS), kurios leidžia realiu laiku stebėti ir valdyti transporto srautus.

Eismo intensyvumas (EI) apibrėžiamas, kaip transporto priemonių srauto dydis ir nustatomas skaičiuojant, kiek automobilių per tam tikrą laiką pravažiuoja per pasirinktą kelio ar gatvės ruožą. Šis rodiklis nėra pastovus, kinta priklausomai nuo paros laiko, savaitės dienos, sezoniškumo bei esamos infrastruktūros pralaidumo. Atsižvelgiant į analizės tikslą, vertinami skirtingos trukmės duomenys, nuo valandinių iki metinių. Moksliniuose tyrimuose ypatingas dėmesys skiriamas piko laikotarpiams, kai transporto srautai pasiekia didžiausias reikšmes: ryte, gyventojams vykstant į darbą ar mokymo įstaigas ir vakare, grįžtant namo (Kutlimuratov et al., 2021).

Išmaniose sankryžose, gali būti įrengiami modernūs eismo valdikliai ir transporto aptikimo sistemos. Tokiose sankryžose naudojamos induktyviosios kilpos, kameros ar jutikliai, kurie fiksuoja transporto priemonių skaičių ir perduoda duomenis valdymo sistemoms. Gautais duomenimis, automatiškai reguliuojama šviesoforų signalų seka, optimizuojant eismo srautus ir mažinti laukimo laiką sankryžose (Qadri et al., 2020). infrastruktūros dalis. Eismo valdymo sprendimai daro tiesioginę įtaką transporto tinklo efektyvumui, tinkamai Tokios sistemos leidžia dinamiškai prisitaikyti prie besikeičiančių eismo sąlygų ir yra svarbi išmaniųjų miestų parinktos reguliavimo priemonės gali padidinti gatvių pralaidumą ir sumažinti susidarancias spūstis. Miesto susiekimo sistemos funkcionavimą lemia kelių tinklo konfigūracija, transporto srautų pasiskirstymas, greičio apribojimai, viešojo transporto organizavimas bei taikomos eismo reguliavimo priemonės.

Transporto srautų modeliavimas yra svarbus įrankis, leidžiantis įvertinti galimą eismo intensyvumo pasikeitimą, spūsčių formavimąsi bei transporto srauto pasiskirstymo efektyvumą. Moksliniuose straipsniuose dažniausiai išskiriamas makroskopinis ir mikroskopinis modeliavimas. Makroskopiniuose modeliuose transporto srautas analizuojamas kaip vientisas srautas. Tokiuose modeliuose naudojami parametrai, kaip transporto srauto tankis, greitis ir intensyvumas (Helbing et al., 2002).

Mikroskopiniai transporto modeliai analizuoja atskirų transporto priemonių judėjimą ir jų tarpusavio sąveiką. Tokiuose modeliuose gali būti vertinamas pagreitis, stabdymas, saugus atstumas tarp transporto priemonių ar vairuotojų reakcijos laikas (Kumar, 2014). Mikroskopiniuose modeliuose dažnai naudojami

atsitiktiniai parametrai, todėl siekiant patikimų rezultatų, modeliavimas turi būti atliekamas kelis kartus, naudojant skirtingas atsitiktinių skaičių sekas.

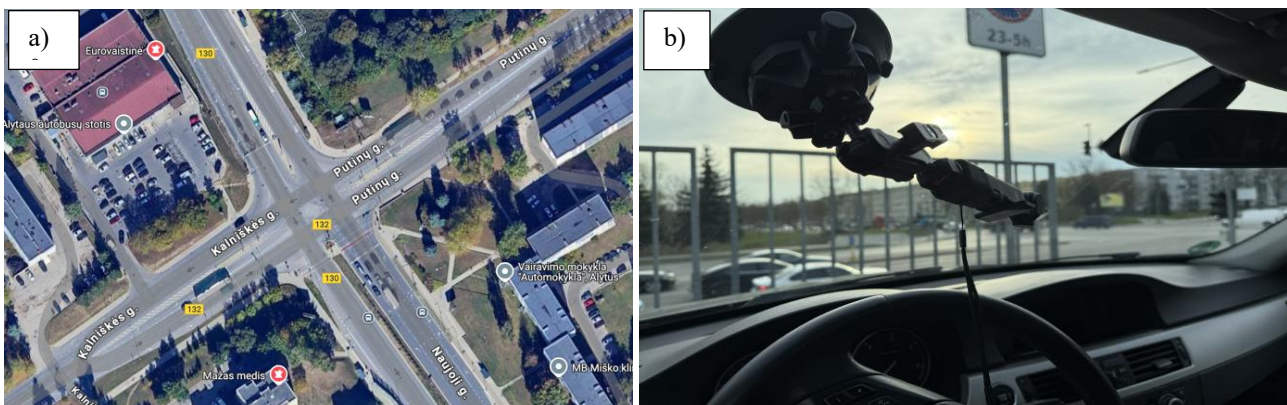
Vienas iš svarbesnių veiksnių transporto srautų modeliavime yra vairuotojų elgsena. Savo darbuose mokslininkai pažymi, kad vairuotojų reakcijos laikas, sprendimų priėmimas ar vairavimo stilius gali skirtis priklausomai nuo amžiaus, patirties ar psichologinės būsenos. Autoriai mini, kad tai gali turėti reikšmingą įtaką transporto srautų formavimuisi bei avaringumui sankryžose (Angelini, 2025). Moderniuose transporto modeliuose vis dažniau siekiama integruoti realius elgsenos duomenis. Siekiant gauti patikimus rezultatus, modeliai turi remtis realiais matavimų duomenimis. Modeliavimo patikimumas tiesiogiai priklauso nuo pasirinktos programinės įrangos. Moksliniuose tyrimuose pabrėžiama, kad vienus tiksliausių rezultatų, mikroskopinio modeliavimo srityje pateikia „PTV Vissim“ programinė įranga. Ši programa leidžia realistiškai simuliuoti transporto priemonių sąveiką bei eismo organizavimo scenarijus (Tianzi et al., 2013). Mokslinių straipsnių autoriai teigia, kad dažnu atveju, siekiant pagerinti sankryžų pralaidumą, būtina keisti pačią sankryžos struktūrą, pavyzdžiui, įrengti papildomas juostas arba koreguoti šviesoforų signalų laikus (Muchlisin, Widodo, 2019).

Tyrimo tikslas – atlikti keturšalės Naujosios, Putinų ir Kalniškės gatvių sankryžos transporto srautų tyrimą ir modeliavimą bei pasiūlyti galimus sprendimo būdus srauto pralaidumui gerinti.

- Iškeliam tikslui pasiekti keliama šie uždaviniai:
- Atlikti transporto srautų tyrimus keturšalėje Naujosios, Putinų ir Kalniškės gatvių sankryžoje;
- Išanalizuoti keturšalės sankryžos eismo valdymo priemones;
- Naudojant „PTV Vissim“ programinę įrangą, sukurti Naujosios, Putinų ir Kalniškės gatvių sankryžos modelį ir pasiūlyti priemones, skirtas eismo srauto pralaidumui pagerinti.

Tyrimų metodika

Nagrinėjama kelių sankirta yra didelio intensyvumo transporto mazgas. Šis kelio ruožas Alytaus mieste naudojamas, kaip pagrindinė atvykimo ir išvykimo arterija. Tyrimas atliktas Naujosios, Putinų ir Kalniškės gatvių sankryžoje Alytaus mieste (1a pav.). Transporto srautų tyrimai atliekami naudojant filmavimo kamerą. Atliekant skaičiavimus, buvo suskaičiuoti važiuojantys automobiliai visomis galimomis kryptimis.



1 pav. Naujosios, Putinų ir Kalniškės gatvių sankryža (a) ir transporto srautų skaičiavimai (b)

Fig 1. The intersection of Naujoji, Putinų and Kalniškės streets (a) and traffic flow calculations (b)

Pravažiuojančių transporto priemonių srautų duomenys renkami dviejų savaitių laikotarpyje. Duomenų analizės vertinimui didelis dėmesys buvo skirtas rytinių ir vakarinių pikų metams. Rytinio piko laikotarpiu, tarp 7:00–8:00 val., žmonės važiuoja į darbą, vaikai vežami į darželius, mokyklas. Dalis Alytaus miesto gyventojų važiuoja dirbti į kitus miestus (Prienuos, Birštoną, Kauną ir t.t.). Vakarinio piko laikotarpiu, tarp 17:00–18:00 val., gyventojai grįžta namo. Skaičiavimai buvo atliekami pirmadienį, antradienį, trečiadienį ir ketvirtadienį. Likusios savaitės dienos buvo neanalizuojamos dėl skirtingų kelionių tikslų, jų įtakos automobilių srautams ir pasiskirstymui paroje. Tyrimas buvo atliekamas, atsižvelgiant į Alytaus darnumo planus.

Duomenims surinkti buvo naudojama vaizdo kamera „Dji Osmo Pocket 3“, kuri buvo pritvirtinta prie automobilio priekinio stiklo (1b pav.).

Sankryžos eismo reguliavimui naudojami šviesoforo signalai. Sankryžos šviesoforų signalų fazių trukmės buvo matuojamos natūriniu būdu, vertinant signalų veikimo laiką (2a pav.).



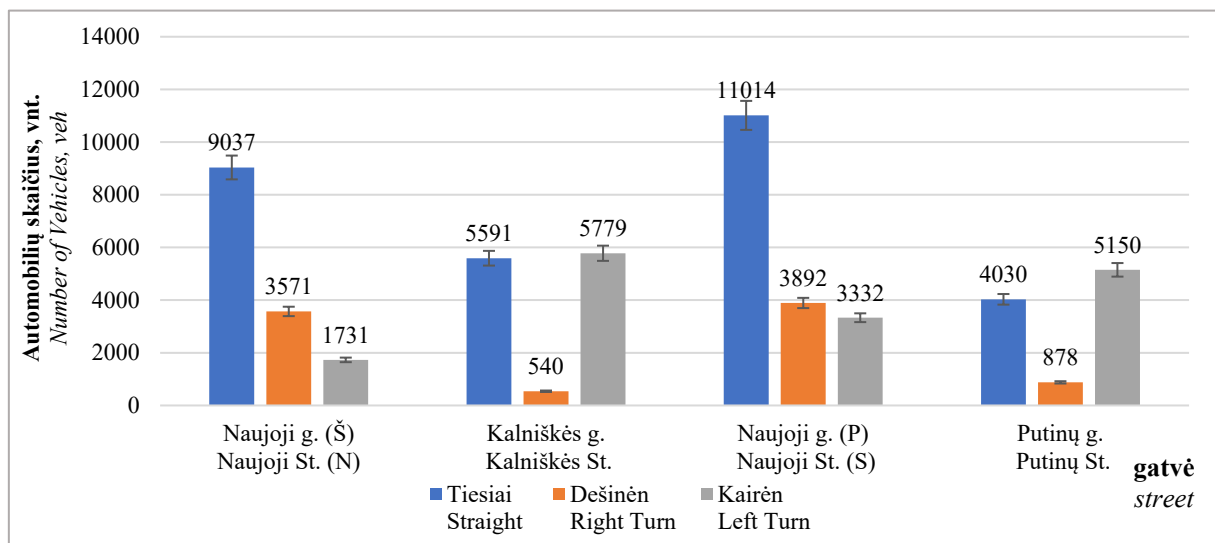
2 pav. Šviesoforų fazių trukmė (a) ir esamos sankryžos modelis (b)

Fig 2. Traffic light phase duration (a) and existing intersection model (b)

Transporto srautų modeliavimui buvo naudojama „PTV Vissim“ programinė įranga. Siekiant išgauti realiausią vairuotojo modelį, buvo naudojama „neapsisprendusi“ transporto priemonių logika. 2b pav. pateiktas esamos sankryžos modelis. Transporto mazgui buvo alternatyvus sukurtas sankryžos modelis siekiu išsiaiškinti, ar jis būtų efektyviausias paskirstant transporto srautus bei mažinant spūstis rytinio piko metu. Gauti duomenys buvo susisteminti „Microsoft Excel 2024“ programa bei pateiktas grafinis duomenų vaizdavimas.

Rezultatai ir aptarimas

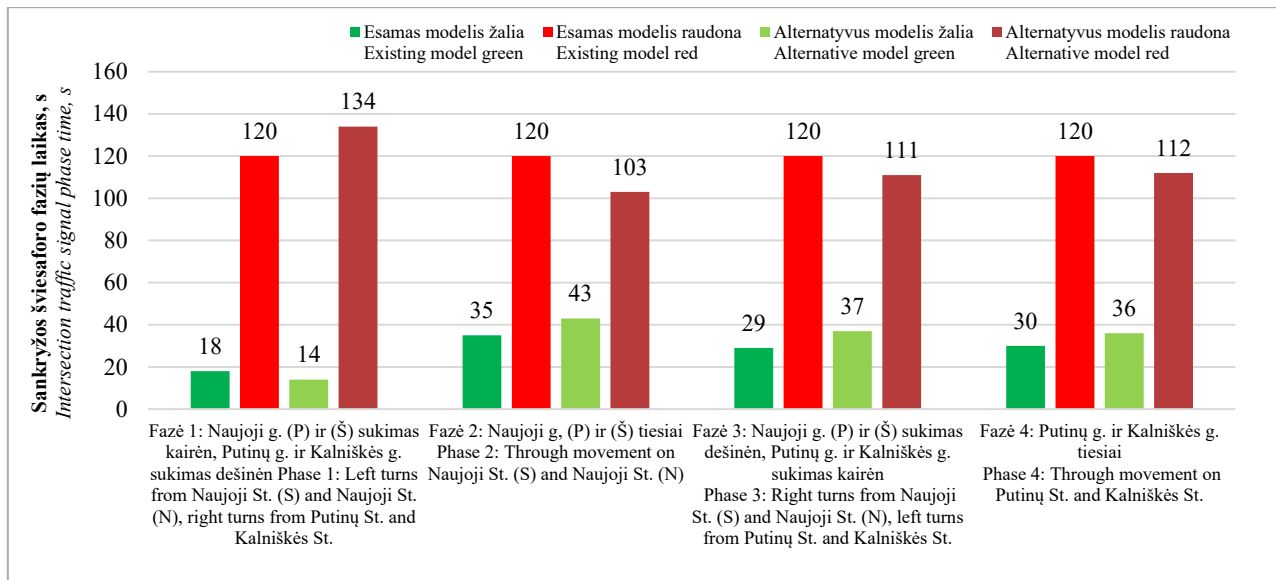
3 paveiksle pateikti vidutiniai metiniai paros eismo intensyvumo rezultatai keturšalės Naujosios, Putinų ir Kalniškės gatvių sankryžoje.



3 pav. Vidutiniai metinio paros eismo intensyvumo rezultatai

Fig 3. Average annual daily traffic intensity results

Grafikuose matoma, kad sankryža yra intensyvi, Naujosios g. (P) važiavimo kryptimi tiesiai pravažiuoja – 11014 aut./p., tuo tarpu Naujosios g. (Š) važiavimo kryptimi tiesiai – 9037 automobilių. Tokius rezultatus lėmė skirtingų piko laikų įtaka srautui. Išanalizavus vakarinio ir rytinio piko eismo intensyvumo rezultatus nustatyta, kad rytinio piko metu didžiausias judėjimas vyksta Naujosios g. (P) važiavimo kryptimi tiesiai – 745 aut./val. Tai paaiškina, kad didžioji dalis transporto priemonių važiuoja Kauno kryptimi. Vakarinio piko metu pastebimas atvirkštinis judėjimas, kai automobiliai grįžta nuo Kauno pusės ir didžiausias srautas tenka Naujosios g. (Š) važiavimo kryptimi tiesiai – 620 aut./val. Naujoje g., rytinio piko metu susidarantis srautas 7,6 % didesnis lyginant su vakariniu piku, o bendras visos sankryžos rytinis pikas yra intensyvesnis ~16,9 % už vakarinį.

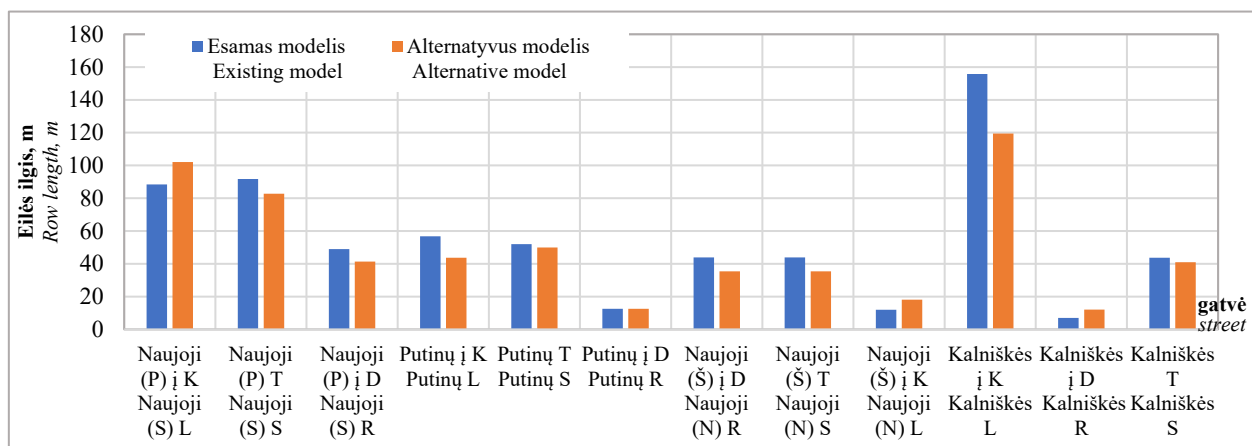


4 pav. Sankryžos šviesoforų valdymo fazių trukmė ir pakeitimai

4 Fig. Duration and changes of intersection traffic light control phases

Naudojant „PTV Vissim“ programinę įrangą, buvo sudarytas detalus tiriamos sankryžos modelis. Atlikus esamos sankryžos simuliaciją (2b pav.), buvo pereinama prie galimo sankryžos alternatyvaus modelio. Modeliavimui naudoti rytinio piko rezultatai dėl didesnio intensyvumo. Šiame sankryžos modelyje signalinės grupės išlieka tokios pat, tačiau, buvo optimizuojamos šviesoforų signalų fazių trukmės. 4 paveiksle pateikta sankryžos šviesoforų valdymo fazių trukmė.

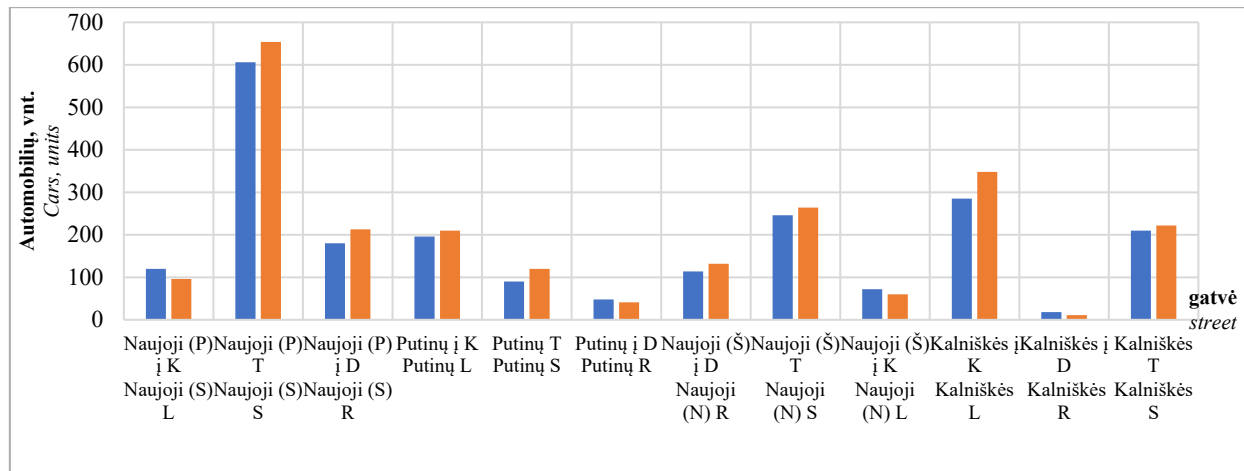
Vertinant esamos sankryžos šviesoforų fazių laiką, galima pastebėti, kad raudonas šviesoforo signalas tam tikrais atvejais veikia per ilgai (4 pav.). Kalniškės g. suktas į dešinę pusę, žalias signalas veikia 6 kartus trumpiau nei raudonas. Toks nesubalansuotas veikimas gali įtakoti ilgesnį prastovos laiką, didindamas eiles bei deginių emisijos kiekius. Iš grafiko galima pastebėti, kad alternatyvaus modelio 1-oje fazėje buvo ilgintas raudono šviesoforo signalo laikas ir trumpintas žalio signalo laikas, nes buvo nustatytas mažas eismo srautas šiomis kryptimis.



5 pav. Transporto priemonių eilių ilgiai rytinio piko metu

Fig. 5. Vehicle queue lengths during morning rush hour

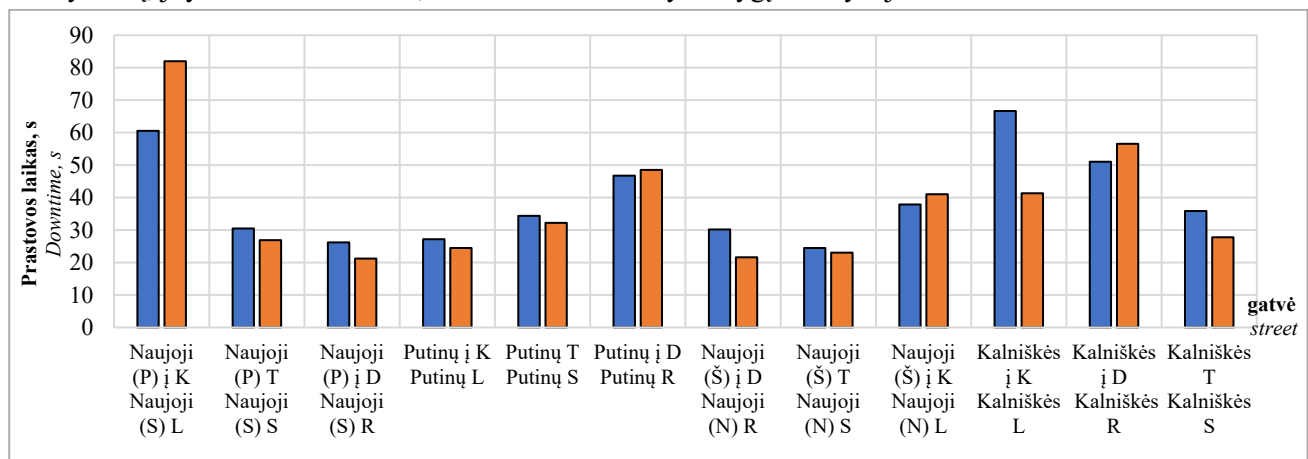
Atlikus sankryžos simuliaciją, gauti duomenys parodė, kad alternatyvus modelis pagerino sankryžos parametrus (eilių ilgį, pravažiavusio transporto kiekį, prastovos laiką), lyginant su esamuoju baziniu modeliu. Pagal gautus rezultatus galima teigti, kad antro modelio su šviesoforų laikų pakeitimais modelis yra efektyvesnis, lyginant su esamąja situacija. 5 pav. pateikti transporto priemonių eilių ilgiai rytinio piko metu. Kaip matyti, didžiausi eismo srautai nustatyti pagrindinėje sankryžos Naujosios gatvės kryptyje. Tai patvirtina, kad nagrinėjama rytinė kryptis yra pagrindinis transporto srautų judėjimo koridorius mieste, kur susidaro didžiausia apkrova. Ilgesnės transporto priemonių eilės turi neigiamą poveikį gretimoms gatvėms, nes padidėjusi apkrova gali persikelti į kitus kelių tinklo segmentus. Iš grafiko galima teigti, kad sankryžos infrastruktūra neužtikrina pakankamo pralaidumo, dėl to formuojasi eilės bei didėja aplinkos oro tarša. Atlikus modelio simuliaciją, buvo pastebėta, kad bendras maksimalių eilių ilgis sumažėjo ~9,6 %, lyginant su esamuoju atveju.



6 pav. Pravažiavęs transporto priemonių skaičius rytinio piko metu

Fig. 6. Number of vehicles passing through the intersection during the morning rush hour

Transporto prastova apibūdinama, kaip laiko tarpas, kurį transporto priemonė praleidžia sankryžos kryptyje iki visiškai išvažiavimo iš jos. Šis momentas apima laukimą prie šviesoforo, priverstinius sustojimus dėl kitų eismo dalyvių ar kliūčių bei lėtėjimą ir pagreitėjimą sankryžos ribose. Prastovos trukmė priklauso nuo eismo intensyvumo, šviesoforo ciklo, kelio sąlygų ir kitų veiksnių, darančių įtaką transporto srautų pralaidumui. Galima teigti, kad prastova tiesiogiai veikia transporto priemonių gaišties laiką ir bendrą eismo efektyvumą, ji yra svarbus rodiklis, nustatant eismo kokybės lygį sankryžoje.



7 pav. Transporto priemonių prastovos laikas rytinio piko metu

Fig 7. Idle time of vehicles at the intersection during the morning rush hour

6 paveiksle pateiktas pravažiavęs automobilių skaičius. Kaip matyti, sukurtas alternatyvus modelis pagerino sankryžos pralaidumą, padidindamas sankryžoje ~8,5 % bendrą didesnę pravažiavusių transporto priemonių skaičių. Tai rodo, kad efektyvesnis šviesoforų signalų ciklas leidžia per tą patį laikotarpį praleisti didesnę transporto priemonių srautą. Tokie rezultatai yra svarbūs transporto planavimo požiūriu, nes didesnis sankryžos pralaidumas gali sumažinti spūsčių susidarymo tikimybę bei pagerinti bendrą miesto transporto sistemos veikimą.

Iš 7 paveikslo taip pat matyti, kad bendras transporto priemonių prastovos laikas rytinio piko metu sumažėjo apie 5,2 %, palyginti su esama sankryžos situacija. Nors procentinis sumažėjimas nėra labai didelis, tačiau net ir toks pokytis gali turėti reikšmingą poveikį transporto sistemos efektyvumui ilgalaikėje perspektyvoje. Mažesnis transporto priemonių prastovos laikas reiškia trumpesnę kelionės laiką, mažesnes degalų sąnaudas ir mažesnę aplinkos taršą. Todėl galima teigti, kad optimizuotas sankryžos valdymo modelis prisideda ne tik prie efektyvesnio eismo organizavimo, bet ir prie aplinkosauginių tikslų įgyvendinimo bei bendro miesto transporto sistemos tvarumo didinimo. Tokie rezultatai patvirtina, kad net ir nedideli eismo valdymo pakeitimai gali turėti reikšmingą poveikį sankryžos pralaidumui bei transporto srautų stabilumui.

Išvados

1. Išanalizavus rytinio ir vakarinio piko srautus nustatyta, kad Naujosios, Putinių ir Kalniškės gatvių, keturšalėje sankryžoje bendras rytinis pikas ~16,9 % intensyvesnis, lyginant su vakariniu piku.

2. Įvertinus sankryžos šviesoforų fazių valdymą, buvo pastebėtas ganėtinai ilgas raudono signalo veikimo laikas (120 s) visomis kryptimis, kas didina prastovos laiką.
3. Atlikus sankryžos simuliaciją, gauti duomenys parodė, kad bendras sankryžos prastovos laikas mažėjo ~5,2 %, tuo tarpu sankryžoje pravažiavusių transporto priemonių skaičius ~8,5 % didėjo bei bendras maksimalių eilių ilgis sumažėjo ~9,6 %.

Literatūra

1. Bellomo, N., & Dogbe, C. (2011). On the modeling of traffic and crowds: A survey of models, speculations, and perspectives. *SIAM Review*. <https://doi.org/10.1137/090746677>.
2. Kutlimuratov K., et al. (2021). *Modelling traffic flow emissions at signalized intersection with PTV vissim*. 02051. https://www.e3sconferences.org/articles/e3sconf/pdf/2021/40/e3sconf_conmechhydro2021_02051.pdf.
3. Qadri, S. S. S. M., Gökçe, M. A., & Öner, E. (2020). State-of-the-art review of traffic signal control methods: challenges and opportunities. *European Transport Research Review*. <https://link.springer.com/article/10.1186/s12544-020-00439-1>
4. Helbing, D., Hennecke, A., & Shvetsov, V. (2002). Micro- and macro-simulation of freeway traffic. *Mathematics and Computers in Simulation*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S089571770280019X>
5. Kumar, P., Merzouki, R., & Conrard, B. (2014). Multilevel modeling of the traffic dynamic. *IEEE Intelligent Transportation Systems*. <https://ieeexplore.ieee.org/document/6701151>
6. Angelini, Q. (2025). *Interdependencies of Traffic Flow Modeling, Travel Behavior, and Transportation*.
7. Tianzi, C., Shaochen, J.; Hongxu, Y. (2013). *Comparative Study of VISSIM and SIDRA on Signalized Intersection*. China.
8. Muchlisin, I. T., Widodo, W. (2019). Optimization Model of Unsignalized Intersection. To *Signalized Intersection Using PTV Vissim: Study Case in Imogiri Barat and Tritunggal Intersection, Yogyakarta, Indonesia*. 11.9, 11–25. <https://publisher.uthm.edu.my/ojs/index.php/ijie/article/view/5424>.

Lukas Gedeikis, Tomas Mickevičius

Traffic Flow Analysis and Modelling in the City of Alytus

LIK Higher Education Institution, Lithuania

A road network is a complex street system of streets designed for various types of vehicles, ensuring efficient vehicle movement. With the increasing number of vehicles, intersections become increasingly congested. The increasing number of vehicles leads to higher traffic intensity on urban streets and at intersections, a problem especially relevant in larger cities, where traffic flows cause severe congestion, increase the likelihood of accidents and contribute to environmental air pollution. Due to the significant increase in the number of cars, intersections and other road sections become ineffective. The article analyses the four-way intersection of Naujoji, Putinių and Kalniškės streets in the city of Alytus. The aim of the research was to evaluate the traffic flow capacity of this intersection and propose measures to improve traffic efficiency. The analysed intersection is a high-intensity transport node and serves as a main entry and exit arterial road in Alytus. Traffic intensity was analysed during the morning and evening peak hours. Data on vehicle traffic flows were collected over a two-week period, twice for four days: Monday, Tuesday, Wednesday and Thursday. During the traffic flow modelling, cars moving in all possible directions were counted. The “PTV Visim” program was used for traffic simulation. During the study, it was observed that the most intense eastern traffic flows move in the direction of Kaunas, while the western traffic flows diverge during the return to the city. Analysing the total vehicle flows during the morning peak, it was found that 7,6% higher morning traffic was observed on Naujoji St. compared to the evening traffic.

Keywords: Intersection, flow, "PTV Vissim", throughput, emission.

Gauta 2026 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2026 m. balandžio mėn.

Lukas GEDEIKIS. Lietuvos inžinerijos kolegija, Inžinerinės pramonės ir technologijų fakulteto lektorius. Adresas: Tvirtovės al. 35, LT-50155, Kaunas, tel. +370 37 308620, el. paštas: lukas.gedeikis@lik.tech

Lukas GEDEIKIS. Lietuvos inžinerijos kolegija/Higher Education Institution, Lecturer at the Faculty of Industrial Engineering and Technology. Address: Tvirtovės al. 35, LT-50155, Kaunas, Phone: +370 37 308620, e-mail: lukas.gedeikis@lik.tech

Tomas MICKEVIČIUS. Lietuvos inžinerijos kolegija, Inžinerinės pramonės ir technologijų fakulteto docentas. Adresas: Tvirtovės al. 35, LT-50155, Kaunas, tel. +370 616 45666, el. paštas: tomas.mickevicius@lik.tech

Tomas MICKEVIČIUS. LIK Higher Education Institution, assoc. prof. at the Faculty of Industrial Engineering and Technology. Address: Tvirtovės al. 35, LT-50155, Kaunas. Phone: +370 616 45666, e-mail: tomas.mickevicius@lik.tech

LENGVOJO AUTOMOBILIO PRIEKINĖS DEFORMACINĖS ZONOS TYRIMAS

Mantas Leonavičius, Tomas Mickevičius

Vytauto Didžiojo universitetas

Šiame straipsnyje nagrinėjamas automobilio saugumas avarijos metu. Darbe įvertinamos automobilio deformacinės zonos smūgio metu. Tyrimo objektu pasirinkta originali plonasienė VW GOLF VII automobilio deformacinė sija. Atsižvelgiant į saugos reikalavimus, nagrinėjamos skirtingų medžiagų ir geometrinių formų sijos, kurios gali būti naudojamos automobilio konstrukcijoje. Bandymuose buvo suprojektuotas alternatyvus konstrukcijos variantas šešiakampė deformacinė sija. Abi konstrukcijos buvo analizuojamos naudojant skirtingas medžiagas (plienas, aliuminis, magnis ir kompozitinis anglies pluoštas), kurios dažniausiai taikomos automobilių pramonėje ir minimos moksliniuose tyrimuose. Skaitinis modeliavimas buvo atliktas naudojant programinės įrangos „ANSYS Explicit Dynamics“ modulį. Visais nagrinėtais atvejais buvo taikomos vienodos smūgio sąlygos, siekiant objektyviai palyginti skirtingų konstrukcijų ir medžiagų elgseną. Tyrimo metu vertintos reakcijos jėgos, įtempiai bei apskaičiuoti konstrukcijų saugos faktoriai. Gauti rezultatai parodė, kad deformacinės sijos geometrinė forma turi reikšmingą įtaką konstrukcijos saugumo rodikliams. Šešiakampės sijos atveju nustatytas tolygesnis apkrovų pasiskirstymas bei didesnės saugos faktorių reikšmės metalinėms medžiagoms, lyginant su keturkampės sijos konstrukcija. Kompozitinės anglies pluošto sijos rezultatai parodė, kad smūgio metu viršijamos leidžiamos įtempių ir santykinų deformacijų ribos, todėl konstrukcija pasiekia gedimo būseną, nepriklausomai nuo sijos geometrinės formos. Tyrimo rezultatai patvirtina, kad konstrukcijos saugumas priklauso ne tik nuo medžiagos mechaninių savybių, bet ir nuo konstrukcijos geometrinės formos, kuri įtakoje įtempių pasiskirstymo pobūdį ir ribinių būsenų pasiekimą.

Raktiniai žodžiai: deformacija, konstrukcija, modeliavimas, energija.

Įvadas

Transporto priemonių pasyvi sauga yra vienas svarbiausių šiuolaikinės automobilių inžinerijos uždavinių. Susidūrimo metu didelė dalis transporto priemonės kinetinės energijos turi būti sugerta deformacinėse zonose, siekiant sumažinti apkrovas perduodamas keleivių zonai (Junaedi et al., 2025) (1 pav.). Kita energiją sugeriančių elementų funkcija – sumažinti didžiausią reakcijos jėgą, siekiant apsaugoti keleivius nuo rimtų sužalojimų susidūrimo metu (Demirci, Yildiz, 2016). Dėl šios priežasties deformacinių konstrukcijų energijos sugėrimo savybės yra esminis kriterijus vertinant jų efektyvumą.

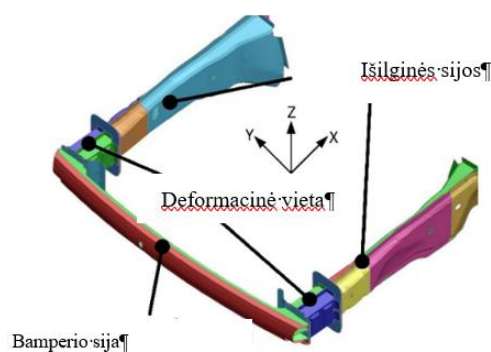
Automobilių deformacinėse zonose dažniausiai naudojamas konstrukcinis plienas dėl palyginti didelio stiprumo ir plastinio deformavimo gebėjimo. Tačiau kiekvienais metais, siekiant optimizuoti transporto priemonės masę ir degalų sąnaudas, vis didesnis dėmesys skiriamas lengvesnėmis medžiagomis, ypač sportinio tipo automobiliams, taikant medžiagas kaip: aliuminis, magnis ar kompozitines medžiagas. Šios medžiagos pasižymi mažesniu tankiu nei plienas, tačiau jų energijos sugėrimo pobūdis ir deformacijos elgsena smūgio metu skiriasi nuo įprastai naudojamų medžiagų, todėl būtina jas vertinti ne tik sugertos energijos, bet ir energijos sugėrimo efektyvumu masės atžvilgiu (Ohring, M., 1995).

Be medžiagos pasirinkimo, reikšmingą įtaką energijos sugėrimui turi ir konstrukcijos geometrinė forma. Skirtinga skerspjuvio konfigūravimas gali pakeisti deformacijos eigą, reakcijos jėgų pasiskirstymą ir sugertos energijos kiekį. Todėl tiriant energijos sugėrimą, reikia atsižvelgti ir į medžiagas ir į geometrinių parametrų įtaką. Nors deformacinių konstrukcijų energijos sugėrimas yra plačiai nagrinėjamas ir atliekami gamykliniai testai, bet nėra atsižvelgiama į pritaikomumą įprastoms transporto priemonėms ar konstruojamoms tam tikriems sportams ar specifiniai paskirčiai reikalingų transporto priemonių. Tyrimuose analizuojamas ribotas medžiagų spektras ar viena pasirinkta konstrukcijos geometrija. Šiame straipsnyje pateikiamas skaitinis deformacinės keturkampės ir šešiakampės sijos tyrimas, kuriame vienodoms smūgio sąlygomis vertinamas skirtingų medžiagų poveikis energijos sugėrimui. Toks tyrimo pobūdis leidžia tiesiogiai palyginti medžiagų ir konstrukcijos formos įtaką energijos sugėrimo efektyvumui bei deformacijos pobūdžiui.

Tyrimo tikslas – skaitinio modeliavimo būdu įvertinti skirtingų geometrinių formų ir medžiagų priekinės deformacinės zonos sijos įtaką automobilio konstrukcijos saugumui smūgio metu.

Tyrimų metodika

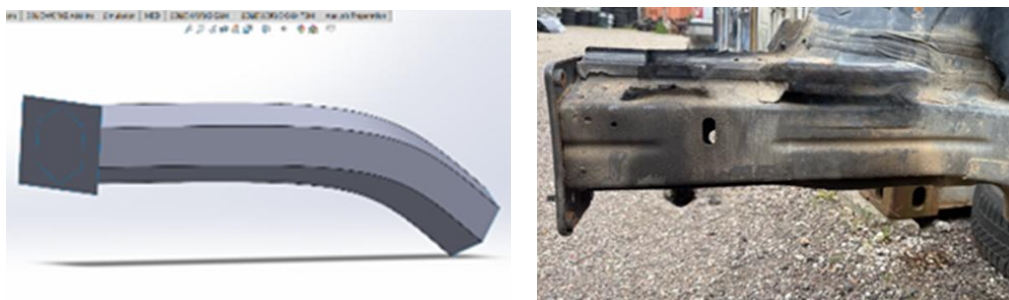
Tyrimo objektu pasirinktas VW GOLF VII kartos priekinė deformacinė sija (2a pav.). Tokio tipo konstrukcinis elementas pasirinktas, todėl, kad tokio tipo deformacinės sijos plačiai naudojamos daugumoje lengvųjų automobilių konstrukcijų, todėl jų konstrukcinių sprendimų tobulinimas gali turėti praktinę reikšmę automobilių saugumo didinimui.



1 pav. Automobilio priekinė deformacinė konstrukcija

Fig. 1. Car front deformation structure

Siekiant įvertinti konstrukcijos geometrinės formos įtaką smūgio metu atsirandančioms apkrovoms, buvo suprojektuotas alternatyvus deformacinės sijos modelis. Nauja sija sukurta naudojant „SolidWorks“ modeliavimo programinę įrangą. Projektuojant alternatyvų modelį buvo išlaikyti pagrindiniai originalios sijos geometriniai matmenys, tačiau vietoje keturkampės skerspjūvio formos pritaikant šešių kampų formą (2b pav.).



2 pav. VW GOLF VII priekinė deformacinė sija (a) ir suprojektuota šešiakampė deformacinė sija (b)

Fig.2. VW GOLF VII front deformation beam (a) and designed hexagonal deformation beam (b)

1 lentelėje pateikti deformacinių sijų pradiniai geometriniai ir medžiagų parametrai. Abiejų sijų konstrukcinė elgsena pirmiausia analizuojama naudojant gamyklinę medžiagą – plieną. Tokiu būdu nustatomi baziniai konstrukcijos parametrai ir jos elgsena smūgio metu, kurie vėliau naudojami kaip atskaitos taškas lyginant su kitomis nagrinėjamomis medžiagomis.

Skaitinis modeliavimas atliktas naudojant „Ansys Explicit Dynamics“ modulį. Sijų geometriniai modeliai buvo sukurti SolidWorks modeliavimo aplinkoje. Sukurti trimatės geometrijos modeliai eksportuoti ir įkelti į ANSYS Mechanical programinę aplinką, kurioje buvo nustatyti pagrindiniai modeliavimo parametrai: konstrukcijos medžiaga, smūgio greitis, ribinės sąlygos ir atramos (3 pav.).

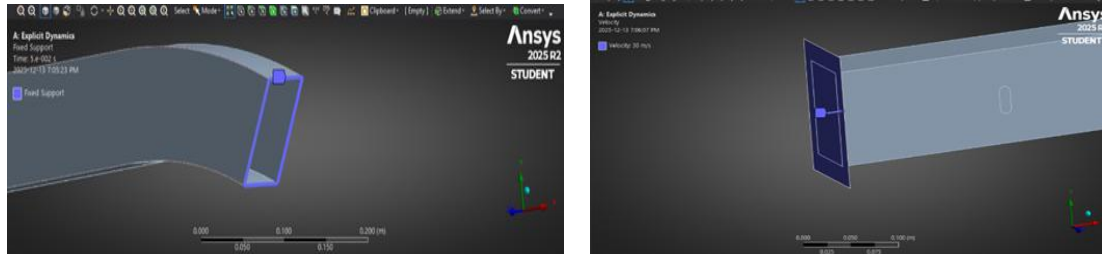
Medžiagų savybės parinktos remiantis automobilių pramonėje naudojamų medžiagų charakteristikomis bei moksliniuose tyrimuose pateikiamais duomenimis (Dange et al., 2015). Bandymuose buvo įvertintos alternatyvios medžiagos, kurios plačiai taikomos automobilių konstrukcijose: aliuminis, magnis ir anglies pluošto kompozitas. „Engineering Data“ skyriuje kiekvienai medžiagai modeliavimo aplinkoje priskiriamos atitinkamos mechaninės savybės.

1 lentelė. Deformacinių sijų pradiniai parametrai

Table 1. Initial parameters of deformation beams

Sijos tipas <i>Deformation beam type</i>	Parametrai <i>Parameters</i>			
	Matmenys <i>Dimensions</i>	Medžiaga <i>Material</i>	Sienelių storis <i>Wall thickness</i>	Masė <i>Weight</i>
Keturkampė <i>Quadrilateral</i>	700x80x100 mm	Plienas <i>Steel</i>	2 mm	3,89 kg
Šešiakampė <i>Hexagonal</i>	700x86x100 mm	Plienas <i>Steel</i>	2 mm	2,79 kg

Smūgis modeliuotas kaip deformacinės sijos sąveika su standžia kliūtimi, o smūgio apkrova apibrėžta pradine konstrukcijos kinetine energija. Smūgio greitis parinktas remiantis Euro NCAP full-width rigid barrier bandymo protokolu, kuris nusako naudojama 50 km/h (13,89 m/s) greitį. Kontaktas tarp deformacinės sijos ir standžios kliūties apibrėžtas kaip be trinties (*frictionless contact*). Skaičiavimo trukmė nustatyta 0,1 s, kad būtų užfiksuotas visas smūgio procesas nuo kontakto pradžios iki konstrukcijos deformacijos stabilizavimosi. Analizės metu vertinti pagrindiniai konstrukcijos atsako parametrai: ekvivalentinis įtempis (*von Mises*), kryptinė deformacija bei energijos sugerties kitimas smūgio metu.



4 pav. Modeliavimo parametrai, „Ansys“ platformoje

Fig. 4. Modelling parameters in the Ansys platform

Siekiant nustatyti deformacinės sijos konstrukcijos saugos faktorius, buvo analizuojami šie rodikliai: ekvivalentiniai įtempiai, saugos faktoriai pagal įtempius, o kompozitinei medžiagai – gedimo indeksai. Simuliacijos metu buvo nustatomi maksimalūs konstrukcijos įtempiai, kurie vėliau lyginami su leidžiamais nagrinėjamų medžiagų įtempiais bei apskaičiuotu nominaliu įtempiu (2 lentelė). Skaičiavimams atlikti buvo naudojamos simuliacijos metu gautos reakcijos jėgos kiekvienai konstrukcijai. Inžinerinis įtempis, dar vadinamas nominaliu įtempiu, naudojamas skaičiavimams supaprastinti. Jis apibrėžiamas kaip taikoma apkrova, padalyta iš pradinio konstrukcijos skerspjūvio ploto. Tokiu atveju neatsižvelgiama į tai, kad realios deformacijos metu skerspjūvio plotas gali kisti (Ohring, 1995). Nominalus įtempis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$\sigma_{nom} = \frac{F}{A}, \quad (1)$$

čia F – reakcijos jėga (kN);
 A – sijos skerspjūvio plotas (mm²).

Bandymo metu buvo skaičiuojami konstrukcijų saugos faktoriai pagal skirtingus vertinimo kriterijus: pagal maksimalų įtempį, nominalų ir maksimalų lokalų įtempį. Saugos faktoriai vertinami pagal sąlygą: jeigu $SF < 1$, laikoma, kad konstrukcija pagal pasirinkta kriterijų pasiekė ribinę būseną. Tokiu atveju konstrukcijoje gali prasidėti plastinė deformacija arba atsirasti medžiagos pažeidimai. Tokiu atveju laikoma, kad konstrukcija praranda savo pradinės savybes ir tampa pažeidžiama (Peterson's stress concentration factors, 2020).

$$SCF = \frac{\sigma_{localmax}}{\sigma_{nom}}, \quad (2)$$

čia $\sigma_{localmax}$ – maksimalus lokalus įtempis (MPa);
 σ_{nom} – nominalus vidutinis įtempis (MPa).

Analizuojant saugos faktorius galima nustatyti konstrukcijos silpniausias vietas bei įvertinti, kokių įtempį gali atlaikyti skirtingos medžiagos ir skirtingų tipų sijos konstrukcijos. Lyginant gautus rezultatus galima nustatyti palankiausią konstrukcijos ir medžiagos kombinaciją, užtikrinančią didesnę konstrukcijos saugumą. Kompozitinėms medžiagoms taikomas kitoks vertinimo metodas nei metalinėms konstrukcijoms. Skirtingai nei metalai, kompozitai pasižymi anizotropinėmis savybėmis ir dažniau patiria trapų lūžį, todėl jų elgsena vertinama naudojant gedimo kriterijus. Dėl šios priežasties skaičiuojami įtempio gedimo indeksai (*Failure Index*), kurie parodo, ar konstrukcijoje prasidėjo medžiagos pažeidimai, tokie kaip sluoksnių atsluoksniavimas, mikrotrūkimai ar lūžis. Jeigu gedimo indekso reikšmė $FI > 1$, laikoma, kad konstrukcija pasiekė ribinę būseną ir įvyko medžiagos gedimas. Tokiu atveju konstrukcija laikoma pažeista ir nebegalinti patikimai atlikti savo funkcijos (Yi Zhong, 2022).

$$FI_{\sigma} = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{leidz}}, \quad (3)$$

čia σ_{max} – maksimalus gautas įtempis (MPa);
 σ_{leidz} – užsiduotas maksimalus leidžiamas įtempis (MPa).

Kompozitinėms medžiagoms skaičiuojamas santykinės deformacijos gedimo indeksas. Šiuo atveju konstrukcijos būklė vertinama pagal deformacijos dydį. Santykinė deformacija pirmiausia apskaičiuojama remiantis Hooke dėsnio, kuris aprašo tiesinį ryšį tarp įtempio ir santykinės deformacijos elastingoje medžiagos srityje (Sapragonas, J., 2013):

$$\varepsilon_{leidž} = \frac{\sigma_{leidž}}{E}, \quad (4)$$

čia E – tamprumo modulis (Pa);

$\sigma_{leidž}$ – užsiduotas maksimalus leidžiamas įtempis (MPa).

Rezultatai ir aptarimas

Kiekvienai analizuojamai konstrukcijai buvo taikoma vienoda pradinė smūgio energija, siekianti 593,46 J. Analizės metu buvo vertinamos reakcijos jėgos ir maksimalūs ekvivalentiniai įtempiai, atsirandantys konstrukcijoje smūgio metu. Remiantis gautais simuliacijos duomenimis buvo apskaičiuotas nominalus įtempis, kuris vėliau lyginamas su nagrinėjamų medžiagų leidžiamomis įtempių reikšmėmis. Nominalus įtempis apskaičiuojamas pagal reakcijos jėgos ir pradinio konstrukcijos skerspjūvio ploto santykį. Kompozitinės medžiagos buvo vertinamos atskirai nuo metalinių, nes jų mechaninė elgsena skiriasi. Be įtempių analizės, kompozitams papildomai skaičiuojama santykinė deformacija ir jos ribinė reikšmė.

2 ir 3 lentelėse pateikti didžiausi leidžiami įtempiai, vidutiniai nominalūs įtempiai, maksimalūs lokalūs įtempiai bei anglies pluošto santykinės deformacijos duomenys abiejų sijų konstrukcijoms ir visoms nagrinėjamos medžiagoms.

2 lentelė. Metalų konstrukcijų įtempiai

Table 2. Stresses of metal structures

	Keturkampė sija / <i>Square beam</i>			Šešiakampė sija / <i>Hexagonal beam</i>		
Įtempis <i>Stress</i> (MPa)	Plienas <i>Steel</i>	Aliuminis <i>Aluminum</i>	Magnis <i>Magnesium</i>	Plienas <i>Steel</i>	Aliuminis <i>Aluminum</i>	Magnis <i>Magnesium</i>
$\sigma_{\max}$	350	275	130	350	275	130
σ_{vidnom}	31,4	20,6	17,2	144,7	122,9	45,4
σ_{lokalmax}	351	307	142	296	284	127

Iš gautų rezultatų matyti, kad didžiausi nominalūs įtempiai nustatyti šešiakampės sijos atveju, nepriklausomai nuo naudojamos medžiagos. Tai rodo didesnę konstrukcijos standumą ir intensyvesnę apkrovos perdavimą konstrukcijoje. Tuo tarpu keturkampės sijos atveju vidutiniai nominalūs įtempiai išlieka mažesni, tačiau maksimalūs lokalūs įtempiai dažniau viršija leidžiamas ribas. Mažiausias ribos viršijimas stebimas plieno atveju – apie 1 MPa, o didžiausias nustatytas aliuminio atveju – apie 32 MPa. Panaši tendencija pastebima ir anglies pluošto kompozito atveju. Tokie rezultatai rodo mažesnę keturkampės konstrukcijos standumą ir mažiau efektyvų apkrovos pasiskirstymą konstrukcijoje. Analizuojant šešiakampę konstrukciją nustatyta, kad maksimalūs įtempiai dviejų medžiagų atveju nepasiekia nustatytų ribinių reikšmių. Ribos viršijamos tik aliuminio ir anglies pluošto atvejais. Anglies pluošto konstrukcijoje taip pat viršijama leidžiama santykinė deformacija, kuri rodo didesnę deformacijos lygį nei leidžiama išlaikant konstrukcijos stiprumą. Tačiau ši deformacija yra gerokai mažesnė nei keturkampės sijos atveju. Remiantis gautais rezultatais galima teigti, kad kai kurių medžiagų atveju deformacijos procesas prasideda, tačiau jų dydis yra minimalus. Tai rodo, kad šešiakampė konstrukcija pasižymi didesne stiprumo atsarga ir efektyviau paskirsto apkrovas net esant didesniai vietiniam apkrovimui.

3 lentelė. Anglies pluošto įtempis ir santykinė deformacija

Table 3. Carbon fiber stress and strain

	Anglies pluoštas (keturkampė sija) <i>Carbon fiber (Quadrangular beam)</i>				Anglies pluoštas (šešiakampė sija) <i>Carbon fiber (Hexagonal beam)</i>			
Parametras <i>Parameter</i>	$\sigma_{\text{leidžiamas}}$	$\varepsilon_{\text{leidžiamas}}$	σ_{gautas}	$\varepsilon_{\text{gautas}}$	$\sigma_{\text{leidžiamas}}$	$\varepsilon_{\text{leidžiamas}}$	σ_{gautas}	$\varepsilon_{\text{gautas}}$
Rezultatas <i>Result</i>	80 MPa	0,00232	113,06 MPa	0,00322	80 MPa	0,00232	105 MPa	0,00319

Apskaičiavus įtempius, toliau vertinamas konstrukcijų saugumas. Jis nustatomas naudojant saugos faktorių, kuris apibrėžiamas kaip leidžiamo įtempio ir maksimaliai veikiančio įtempio santykis. Toks apibrėžimas atitinka literatūroje naudojamą (*strength ratio*) koncepciją, plačiai taikomą konstrukcijų projektavime.

Saugos faktoriai konstrukcijoms, vertinami pagal kelis kriterijus: maksimalų įtempį, nominalų įtempį ir maksimalų lokalų įtempį. Metalinėms medžiagoms taikoma sąlyga, kad jeigu $SF < 1$, laikoma, jog konstrukcija pagal pasirinktą kriterijų pasiekė ribinę būseną. Tokiu atveju konstrukcijoje gali prasidėti plastinė deformacija arba atsirasti medžiagos pažeidimai. Pasiekus ribinę būseną laikoma, kad konstrukcija nebegali iki galo išlaikyti savo pradinių mechaninių savybių ir tampa labiau pažeidžiama tolesnių apkrovų poveikiui.

Kompozitinėms medžiagoms saugumo vertinimas šiek tiek skiriasi nuo metalinių medžiagų. Vertinant pagal leidžiamo įtempio kriterijų, saugos faktorius interpretuojamas taip pat: jeigu $SF < 1$, laikoma, kad medžiagoje viršyta leidžiama įtempio riba. Tačiau kompozitams papildomai taikomi įtempio gedimo ir santykinės deformacijos kriterijai. Šiuo atveju naudojamas gedimo indeksas (*Failure Index*), kuris parodo, ar konstrukcija pasiekė ribinę būseną. Gedimo sąvoka taikoma, kai indekso reikšmė viršija vienetą, t. y. $FI > 1$.

4 lentelėje pateikti apskaičiuoti visų metalinių medžiagų saugos faktoriai. Keturkampės sijos atveju nustatyta, kad visų medžiagų bendrasis ir nominalus saugos faktoriai yra didesni už 1. Tai reiškia, kad vertinant vidutinį apkrovos lygį konstrukcija nepasiekia leidžiamų įtempio ribos ir išlieka saugioje zonoje. Didžiausios šių rodiklių reikšmės nustatytos aliuminiui ($SCF = 14,9$; $SF_{nom} = 13,3$), o mažiausios – magniui ($SCF = 8,25$; $SF_{nom} = 7,55$). Tokie rezultatai sietini su medžiagų mechaninėmis savybėmis, kadangi magnis turintis mažiausias pradines įtempio ir tamprumo modulio reikšmes, rodo, kad medžiaga yra silpnesnė ir greičiau pradėtų deformuotis visu konstrukcijos dydžiu. Lokalaus saugos faktoriaus analizė parodė kitokią tendenciją. Visų medžiagų atveju keturkampėje konstrukcijoje lokalus saugos faktorius buvo mažesnis už 1, vadinasi, tam tikrose vietose maksimalūs įtempiai viršijo leistinas ribas. Mažiausia reikšmė nustatyta aliuminiui ($SF_{local} = 0,89$), kas leidžia teigti, lokaliai ši medžiaga labiausiai apkrauta ir arčiausiai ribinės reikšmės.

4 lentelė. Metalų saugos faktorių rezultatai

Table 4. Safety factor results of metals

Saugos faktorius: ($<1>$)	Keturkampė sija / <i>Quadrangular beam</i>			Šešiakampė sija / <i>Hexagonal beam</i>		
	Plienas	Aliuminis	Magnis	Plienas	Aliuminis	Magnis
SCF	11,10	14,90	8,25	2,04	2,31	2,79
SF_{nom}	11,14	13,30	7,55	2,41	2,23	2,86
SF_{local}	0,99	0,89	0,91	1,18	0,96	1,02

Šešiakampės sijos atveju nustatyta, kad bendrasis ir nominalus saugos faktoriai visų medžiagų atveju buvo artimesni 1. Mažiausios reikšmės gautos aliuminiui ($SCF = 2,31$; $SF_{nom} = 2,23$) bei nustatytos plienui ($SCF = 2,04$; $SF_{nom} = 2,41$). Tai rodo, kad šešiakampėje konstrukcijoje apkrova labiau įtraukiama į visos sijos darbą, todėl vidutiniai įtempiai tampa didesni. Vis dėlto vien šis faktas savaime nereiškia, kad konstrukcija yra mažiau saugi, nes plonasienių smūgių sugeriančių elementų atveju svarbus ne tik bendras įtempio lygis, bet ir jų pasiskirstymo pobūdis konstrukcijoje (Kecman, 1997).

Vertinant lokalaus įtempio saugos faktorių, šešiakampės sijos rezultatai buvo saugesni nei keturkampės. Tik aliuminio atveju gauta mažesnė už vienetą reikšmė ($SF_{local} = 0,96$), o plieno ir magnio atvejais šis rodiklis viršijo 1 (atitinkamai 1,18 ir 1,02). Tai leidžia teigti, kad šešiakampė geometrija sumažina lokalių įtempio koncentracijas ir tolygiau paskirsto apkrovą konstrukcijoje. Tokia tendencija atitinka plonasienių smūgių sugeriančių konstrukcijų tyrimuose aprašomą principą, kad geometrijos optimizavimas gali pagerinti konstrukcijos avarinį atsaką ir sumažinti kritinių vietinių pažeidimų tikimybę (Fang et al., 2017). Atsižvelgiant į bendrą saugumo vertinimą, galima teigti, kad šešiakampė konstrukcija yra palankesnė, nes nors joje nustatyti didesni nominalūs įtempiai, apkrovos pasiskirsto tolygiau visame elemente, o vietinių kritinių įtempio koncentracijų susidaro mažiau. Tai rodo didesnę konstrukcijos gebėjimą sugerti smūgio energiją ne vien lokaliai, bet ir įtraukiant didesnę konstrukcijos dalį. Kadangi originali VW GOLF VII deformacinė sija gaminama iš plieno, ypač svarbu tai, kad pakeitus geometriją plieno atveju gauti geresni lokalaus saugumo rezultatai. Todėl galima daryti prielaidą, kad tokia konstrukcija tiesinio smūgio metu galėtų būti saugesnė nei pradinė keturkampė sija.

5 lentelėje pateikti anglies pluošto konstrukcijų saugos faktoriai ir supaprastintų gedimo indeksų rezultatai abiejų sijų konstrukcijų atvejais. Abiem atvejais bendras saugos faktorius yra mažesnis už vienetą (0,71 ir 0,76), todėl galima teigti, kad smūgio metu konstrukcija viršija nustatytas ribines įtempio reikšmes. Gedimo indeksų rezultatai rodo, kad tiek įtempio, tiek santykinės deformacijos indeksai viršija vienetą. Tai leidžia daryti išvadą, kad anglies pluošto konstrukcija pasiekia ribinę būseną ir patiria medžiagos gedimą. Lyginant abi sijų formas nustatyta, kad šešiakampė sija pasižymi šiek tiek mažesnėmis gedimo indeksų reikšmėmis (įtempio – apie 0,1 mažiau, deformacijos – apie 0,02 mažiau). Tai rodo šiek tiek palankesnę apkrovų pasiskirstymą konstrukcijoje ir mažesnę kritinį apkrovimo lygį.

5 lentelė. Anglies pluošto saugos ir gedimo indeksų rezultatai**Table 5.** Carbon fiber safety and failure index results

	Keturkampė sija / Quadrangular beam	Šešiakampė sija / Hexagonal beam
Faktorius: (<1>)	Anglies pluoštas / Carbon fiber	Anglies pluoštas / Carbon fiber
Saugos, SF	0,71	0,76
Gedimo (failure), FI σ	1,41	1,31
Gedimo (failure), FI ϵ	1,39	1,37

Remiantis gautais rezultatais galima teigti, kad anglies pluošto konstrukcijų elgsena smūgio metu yra jautresnė įtempių ir deformacijų ribinėms reikšmėms nei metalinių konstrukcijų. Todėl projektuojant tokio tipo elementus būtina taikyti specifinius kompozitinių medžiagų vertinimo kriterijus ir negalima tiesiogiai remtis metalinėms konstrukcijoms taikomais projektavimo principais.

Apibendrinant tyrimo rezultatus galima teigti, kad deformacinės sijos geometrinė forma turi reikšmingą įtaką konstrukcijos saugumui smūgio metu. Nustatyta, kad šešiakampė konstrukcija pasižymi tolygesniu apkrovų pasiskirstymu ir mažesnėmis lokalių įtempių koncentracijomis. Tai patvirtina lokalaus saugos faktoriaus reikšmės, kurios šešiakampės sijos atveju siekė 1,18 plienui ir 1,02 magniui, kai keturkampėje konstrukcijoje šis rodiklis visų metalinių medžiagų atveju buvo mažesnis už vienetą. Nors šešiakampėje konstrukcijoje nustatyti didesni nominalūs įtempiai, tai rodo aktyvesnę visos konstrukcijos darbą ir efektyvesnę smūgio energijos paskirstymą. Metalinės medžiagos išlaiko pakankamą stiprumo rezervą globaliu mastu, tačiau kai kuriose vietose gali atsirasti plastinės deformacijos.

Tuo tarpu anglies pluošto konstrukcijos ribinę būseną pasiekia greičiau (SF – 0,71 – 0,76; FI > 1), todėl jų taikymas deformacinėse zonose reikalauja papildomo konstrukcijos optimizavimo. Remiantis gautais rezultatais galima teigti, kad šešiakampės formos deformacinė sija yra efektyvesnė konstrukcija smūgio apkrovų pasiskirstymo ir vietinių įtempių mažinimo požiūriu.

Išvados

1. Skaitinis tyrimas parodė, kad deformacinės sijos geometrinė forma turi didelę įtaką įtempių pasiskirstymui ir konstrukcijos saugumui. Šešiakampės sijos atveju apkrovos pasiskirsto tolygiau, todėl sumažėja kritiniai vietiniai įtempiai. Tai patvirtina lokalaus saugos faktoriaus rezultatai: plienui SF_{local} – 1,18, magniui SF_{local} – 1,02, o aliuminiui SF_{local} – 0,96, kai keturkampės sijos atveju lokalaus saugos faktoriaus reikšmės buvo mažesnės už vienetą.
2. Keturkampės sijos konstrukcijoje nustatyti didesni lokalių įtempių viršijimai. Mažiausias viršijimas nustatytas plieno atveju – apie 1 MPa, o didžiausias aliuminio atveju – apie 32 MPa, kas rodo didesnę įtempių koncentraciją konstrukcijoje. Tuo tarpu šešiakampė sija pasižymi tolygesniu apkrovų pasiskirstymu, nors nominalūs įtempiai joje yra didesni.
3. Metalinių medžiagų analizė parodė, kad konstrukcijos išlaiko pakankamą stiprumo rezervą globaliu mastu. Keturkampės sijos atveju bendrieji saugos faktoriai siekė SCF – 14,9 ir SF_{nom} – 13,3 aliuminiui bei SCF – 8,25 ir SF_{nom} – 7,55 magniui, tačiau lokaliai kai kuriose vietose gali prasidėti plastinės deformacijos.
4. Anglies pluošto konstrukcijų rezultatai parodė, kad jų saugos faktorius yra mažesnis už vienetą (SF – 0,71–0,76), o gedimo indeksai viršija vienetą, todėl konstrukcija smūgio metu pasiekia ribinę būseną.
5. Šešiakampė konstrukcija pasižymi šiek tiek mažesnėmis gedimo indeksų reikšmėmis (įtempio indeksas ~0,1, deformacijos indeksas ~0,02 mažesni), kas rodo palankesnę apkrovų pasiskirstymą.

Literatūra

1. Junaedi, H., Akkad, K., Khan, T., Abd El-baky, M. A., Awd Allah, M. M., & Sebaey, T. A. (2025). Crashworthiness Prediction of Perforated Foam-Filled CFRP Rectangular Tubes Crash Box Using Machine Learning. *Polymers*, 17(21), 2887.
2. Christensen, J., Wilson, A., Bastien, C., & Kayvantash, K. (2023). Efficient crash structure design for road traffic accidents of tomorrow. *International journal of crashworthiness*, 28(5), 629–648.
3. Demirci, E., & Yildiz, A. R. (2016). Lightweight design of vehicle energy absorbers using steel, aluminum and magnesium alloys. In *International Conference on Engineering and Natural Sciences, Sarajevo* (pp. 684–1691).
4. Fang, J., Sun, G., Qiu, N., Kim, N. H., & Li, Q. (2017). On design optimization for structural crashworthiness and its state of the art. *Structural & Multidisciplinary Optimization*, 55(3).
5. Kecman, D. (1997). An engineering approach to crashworthiness of thin-walled beams and joints in vehicle structures. *Thin-walled structures*, 28(3–4), 309–320.

6. Dange, M. V., Buktar, R. B., & Raykar, N. R. (2015). Design and analysis of an automotive front bumper beam for low-speed impact. *IOSR J Mech Civil Eng*, 12, 17–27.
7. Ohring, M. (1995). *Engineering materials science* (Vol. 3). Academic press.
8. EURO, N. C. A. P. *European New Car Assessment Programme (Euro NCAP) Assessment Protocol–Safety Assist*. 2018.
9. Pilkey, W. D., Pilkey, D. F., & Bi, Z. (2020). *Peterson's stress concentration factors*. John Wiley & Sons.
10. Sapragonas, J. (2013). *Kelių transporto priemonių saugumas: vadovėlis* [interaktyvus]. Vilnius: Lietuvos edukologijos leidykla. [sapragonas_keliu_transporto_priemoni_saugumas](#). Studentams.pdf
11. Zhong, Yi, et al. (2026). Experimental Studies of the Mechanical Properties and Synergy Mechanism of Dispersed Fiber Mixture Reinforcement in ECC with a Multiscale Coral Sand Matrix. *Buildings*, 2026, 16.4, 717. [interaktyvus], [žiūrėta 2026-01-10]. <https://www.mdpi.com/2075-5309/16/4/717>

Mantas Leonavičius, Tomas Mickevičius

Investigation of the Front Deformation Zone of a Passenger Vehicle

Vytautas Magnus University, Lithuania

This article examines the effects of different materials and different beam shapes on the energy absorption of the car's crumple zone during an impact. The original thin-walled deformation beam of the VW GOLF VII car was selected as the object of the study, and a new beam was designed according to its dimensions, which instead of the original beam with four corners, was modeled as a six-cornered beam. Both beams were analyzed with different materials chosen as the most commonly researched and used in automotive design – steel, aluminum, magnesium and carbon fiber composite. Numerical simulation was performed using the "ANSYS Explicit Dynamics" module under the same impact conditions for all considered cases. During the study, reaction forces, applied and obtained stress, and safety factors were calculated. The obtained results showed that the geometric shape of the deformation beam has a significant influence on the safety indicators of the structure. In the case of the hexagonal beam, a more even distribution of loads and higher values of local safety factors for metal materials were determined, compared to the analysis of the composite carbon beam shows that both the allowable stress and relative deformation limits are exceeded during the impact, so the structure reaches the failure state, regardless of the shape of the beam. The results of the study confirm that the safety of the structure depends not only on the mechanical properties of the material, but also on the geometrical configuration of the structure, which determines the nature of the stress distribution and the achievement of the limit states.

Keywords: Deformation, construction, modelling, energy.

Gauta 2026 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2026 m. balandžio mėn.

Mantas LEONAVIČIUS. 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: mantas.leonavičius@vdu.lt

Mantas LEONAVIČIUS. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Mechanical, Energy and Biotechnology Engineering, Master student. Address: Studentų g. 15A, LT-53362 Akademija, Kaunas dist., e-mail: mantas.leonavičius@vdu.lt

Tomas MICKEVIČIUS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Inžinerijos fakulteto Mechanikos, energetikos ir biotechnologijų inžinerijos katedros asistentas. 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, assist. Address: Studentų g. 15A, LT-53362 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 616 45666, e-mail: tomas.mickevicius1@vdu.lt

APLINKOS TEMPERATŪROS ĮTAKA ELEKTROMOBILIO BATERIJOS ĮKROVIMO EFEKTYVUMUI

Mykolas Blėda, Tomas Mickevičius

Vytauto Didžiojo universitetas

Elektromobilių technologijų plėtra pastaraisiais metais sparčiai didėja, o jų eksploatacinės savybės tampa vis aktualesniu tyrimų objektu. Vienas svarbiausių elektromobilių komponentų ličio jonų baterija (Li-ion), kuri lemia transporto priemonės nuvažiuojamą atstumą, energijos naudojimo efektyvumą ir patikimumą. Elektromobiliuose dažniausiai naudojamos ličio jonų baterijos pasižymi dideliu energijos tankiu ir geromis eksploatacinėmis savybėmis. Baterijos įkrovimo greitis priklauso nuo baterijos konstrukcijos, įkrovimo infrastruktūros techninių galimybių, naudojamo įkrovimo režimo bei aplinkos sąlygų. Šiame straipsnyje nagrinėjama aplinkos temperatūros įtaka elektromobilio ličio jonų baterijos įkrovimo proceso efektyvumui realiomis eksploatacijos sąlygomis. Tyrimas atliktas naudojant VW e-Golf (2019) elektromobilį su ličio jonų (NMC) tipo aukštos įtampos baterija. Eksperimentinių tyrimų metu automobilis buvo įkraunamas skirtingomis aplinkos temperatūros sąlygomis. Įkrovimo metu buvo registruojami pagrindiniai įkrovimo proceso parametrai: įkrovimo srovė, įtampa, momentinė įkrovimo galia, sukaupta energija ir įkrovimo trukmė. Tyrimo rezultatai parodė, kad kylant aplinkos temperatūrai nuo -5°C iki 29°C vidutinė baterijos įkrovimo galia padidėjo atitinkamai nuo apie 8,5 kW iki 24,2 kW. Esant -5°C temperatūrai įkrovimo galia yra 59,7 % mažesnė, lyginant su $\sim 20^{\circ}\text{C}$ aplinkos temperatūros sąlygomis, todėl šaltuoju metų laiku baterijos įkrovimo procesas tampa gerokai lėtesnis.

Raktiniai žodžiai: elektromobilis, ličio jonų baterija, įkrovimo procesas, aplinkos temperatūra.

Įvadas

Elektromobilių plėtra pastaraisiais metais sparčiai didėja. Transporto sektoriaus elektrifikacija laikoma pagrindine priemone prisidedančia prie šiltnamio efekto sukeliančių dujų emisijos bei priklausomybės nuo iškastinio kuro mažinimo (Li et al., 2022). Elektrinių automobilių eksploatacinių savybių tyrimai tampa vis aktualesniu moksliniu ir praktiniu požiūriu (Mortimer et al., 2022). Elektrinėse transporto priemonėse pagrindiniu energijos šaltiniu laikomos ličio jonų baterijos (Li-ion). Li-ion pasižymi ganėtinai ilgu eksploatacijos ciklu, aukštu energijos ir galios tankiu, bei dideliu energijos konversijos efektyvumu (Thakur et al., 2023). Dėl šių fizinių ir elektrocheminių savybių ličio jonų baterijų technologija tapo vienu plačiausiai taikomų energijos kaupimo sprendimų elektriniame transporte.

Vienas svarbiausių elektromobilio komponentų yra aukštos įtampos ličio jonų baterija, kurios veikimas tiesiogiai lemia transporto priemonės energijos sąnaudas, įkrovimo trukmę, galios charakteristikas ir bendrą eksploatacinį patikimumą (Zhang et al., 2022). Nepaisant technologinių privalumų, ličio jonų baterijos vis dar susiduria su tam tikrais techniniais apribojimais, ribojančiais jų efektyvų taikymą transporto sektoriuje. Vienas svarbiausių veiksnių yra aplinkos temperatūros poveikis baterijos elektrocheminiams procesams ir bendram sistemos veikimui (Senol et al., 2023). Temperatūros pokyčiai turi tiesioginę įtaką jonų difuzijai elektrolite, elektrodo reakcijų kinetikai bei baterijos vidinei varžai, todėl gali reikšmingai keisti tiek energijos perdavimo efektyvumą, tiek įkrovimo greitį (Spitthoff et al., 2021).

Ličio jonų baterijos veikimas nėra pastovus ir stipriai priklauso nuo aplinkos sąlygų, temperatūros, kuri natūraliai kinta skirtingais metų laikais (Märtz et al., 2022). Mokslinėje literatūroje pabrėžiama, kad optimali ličio jonų baterijų darbo temperatūra dažniausiai yra apie $20\text{--}40^{\circ}\text{C}$, o nukrypimai nuo šio intervalo gali mažinti baterijos našumą ir didinti degradacijos procesus (Keyser et al., 2017).

Eksploatuojant elektromobilius realiomis sąlygomis, vidutinio ir šalto klimato regionuose, dažnai pastebimi reikšmingi baterijų įkrovimo galios ir efektyvumo svyravimai. Žemesnė aplinkos temperatūra gali riboti įkrovimo procesą, didinti energijos nuostolius ir lemti skirtumus tarp gamintojų deklaruojamų bei faktiškai pasiekiamų baterijos darbo parametrų (Zhao et al., 2022). Esant žemai temperatūrai padidėja baterijos vidinė varža ir sumažėja jonų judrumas elektroduose, todėl baterijos valdymo sistema (BMS) riboja įkrovimo srovę siekiant apsaugoti bateriją nuo ličio nusodinimo veiksmo, kuris gali neigiamai paveikti baterijos ilgaamžiškumą (Liu et al., 2021).

Elektromobilių baterijų moksliniai tyrimai gali būti atliekami laboratorinėmis sąlygomis, kuriose galima tiksliai kontroliuoti temperatūrą, apkrovas ir kitus eksperimentinius parametrus. Tokie tyrimai leidžia detalai analizuoti baterijos elektrocheminius procesus, tačiau jie ne visada tiksliai gali atspindėti realias elektromobilių eksploatacijos sąlygas (Cheng et al., 2022). Realiomis sąlygomis baterijos veikimą gali papildomai veikti tokie veiksniai kaip skirtingi įkrovimo režimai, baterijos įkrovos lygis (SOC), įkrovimo stotelės galios apribojimai bei transporto priemonės baterijos šiluminio valdymo sistemos efektyvumas.

Galima aptikti mokslinių tyrimų autorių, kurie bandymams atliekant naudoja realius eksploatacijos duomenis. Tokiuose tyrimuose elektromobilių baterijų veikimas vertinamas analizuojant faktinius įkrovimo

parametrus, užfiksuotus transporto priemonėse arba įkrovimo infrastruktūroje (Senol et al., 2023). Įkrovimo stotelėse integruotos matavimo ir duomenų registravimo sistemos leidžia realiuoju laiku registruoti pagrindinius įkrovimo proceso parametrus, tokius kaip įtampa, srovė, momentinė įkrovimo galia ir sukaupta energija. Šie duomenys suteikia galimybę objektyviai įvertinti elektromobilių baterijų įkrovimo proceso ypatumus skirtingomis aplinkos temperatūros sąlygomis bei nustatyti sezoninius veikimo pokyčius. Šio darbo tyrimo tikslas – įvertinti aplinkos temperatūros įtaką elektromobilio ličio jonų baterijos vidutinei įkrovimo galiai eksploatacijos sąlygomis.

Tyrimų metodika

Elektromobilio ličio baterijos įkrovimas realiomis eksploatacijos sąlygomis gali būti vertinamas kaip energijos perdavimo procesas, kurį riboja baterijos sistemos darbinė būsena ir jos šiluminės sąlygos. Esant žemai aplinkos temperatūrai didėja ličio jonų baterijos vidinė varža, todėl baterijos valdymo sistema (BMS) riboja įkrovimo srovę ir galią siekdama užtikrinti saugų baterijos darbą bei išvengti jos degradacijos. Dėl šios priežasties realiomis sąlygomis gali būti stebimi reikšmingi įkrovimo galios ir įkrovimo trukmės pokyčiai, ypač greitojo nuolatinės srovės (DC) įkrovimo metu. Žemoje temperatūroje dalis energijos gali būti naudojama baterijos pašildymui arba prarandama dėl didesnių vidinių nuostolių, todėl mažėja bendras elektromobilio energijos naudojimo efektyvumas.

Šiame tyrime elektromobilio baterijos įkrovimo charakteristikos buvo vertinamos realiomis eksploatacijos sąlygomis, analizuojant įkrovimo galios priklausomybę nuo aplinkos temperatūros. Tyrimo objektas – elektromobilio ličio jonų aukštos įtampos baterijos įkrovimo proceso charakteristikos ir jų kitimas priklausomai nuo aplinkos temperatūros. Tyrimas atliktas naudojant 2019 metų gamybos „Volkswagen e-Golf“ elektromobilį, kuris priskiriamas baterijomis varomų elektrinių transporto priemonių (BEV) klasei (1 lentelė). Tiriamame elektromobilyje naudojama ličio jonų NMC (nikelio–mangano–kobalto oksido) baterija. Bendra baterijos talpa siekia 24,2 kWh, iš kurių praktiškai naudojama apie 21,2 kWh, t. y. maždaug 88 % visos talpos. Tokia naudojamos talpos dalis paliekama siekiant apsaugoti bateriją nuo per didelio įkrovimo ir iškrovimo bei užtikrinti ilgesnį jos eksploatacijos laiką.

1 lentelė. Volkswagen e-Golf elektromobilio techninės charakteristikos

Table 1. Volkswagen e-Golf electric vehicle technical specifications

Parametrai <i>Parameters</i>	
Automobilio tipas <i>Vehicle type</i>	VW e-Golf (2019) BEV
Baterijos chemija <i>Battery chemistry</i>	Li-ion (NMC)
HV baterijos visa talpa <i>HV battery full capacity</i>	24,2 kWh
HV baterijos naudojama talpa <i>HV battery usable capacity</i>	21,2 kWh
Naudojamos talpos dalis <i>Factory capacity usable</i>	~88 %
Didžiausia baterijos įkrovimo galia <i>Maximum battery charging capacity</i>	40 kW
Vidutinė įkrovimo galia (20–80 %) <i>Average charging capacity</i>	~30–35 kW
AC įkrovimo galia <i>AC charging capacity</i>	7,2 kW
Baterijos aušinimas <i>Battery cooling</i>	Aktyvus (skystis)

Pastaba: lentelėje pateiktos gamintojo / techninės charakteristikos nurodomos esant naujai baterijai ir optimalioms įkrovimo sąlygoms, todėl realiai eksploatuojant fiksuojamos vidutinės galios gali būti mažesnės.

Elektromobilyje įdiegta aktyvi baterijos šiluminio valdymo sistema su skysčio aušinimo kontūru, leidžianti palaikyti palankesnes baterijos darbo sąlygas skirtingose eksploatacijos situacijose. Maksimali baterijos įkrovimo galia naudojant nuolatinės srovės (DC) greitojo įkrovimo stotelę siekia apie 40 kW, o tipinė vidutinė įkrovimo galia 20–80 % baterijos įkrovos intervale yra apie 30–35 kW. Įkraunant kintamąją srovę (AC) gali būti naudojamas 7,2 kW galios bortinis įkroviklis.

Eksperimentiniai duomenys rinkti eksploatuojant elektromobilį skirtingu metų laiku, kai aplinkos temperatūra natūraliai kito nuo neigiamų iki teigiamų reikšmių. Tokiu būdu tyrimas atspindi realias kasdienio elektromobilio naudojimo sąlygas. Aplinkos temperatūra (°C) fiksuota pagal įkrovimo stotelės ekrane

pateikiamą reikšmę įkrovimo metu, nes ji tiesiogiai apibūdina įkrovimo proceso sąlygas. Temperatūros duomenys papildomai sutikrinti su transporto priemonės diagnostikos sistemos pateikiama informacija.

Duomenų registravimui naudota elektromobilio įkrovimo stotelė su integruotu ekranu, leidžiančiu realiuoju laiku registruoti pagrindinius įkrovimo proceso parametrus. Tyrimo metu registruoti šie dydžiai: įkrovimo srovė (A), įkrovimo įtampa (V), momentinė įkrovimo galia (kW), sukaupta energija (kWh) ir įkrovimo trukmė. Siekiant objektyviau įvertinti įkrovimo proceso charakteristikas, analizėje naudota vidutinė įkrovimo galia, apskaičiuota 20–80 % baterijos įkrovos (SOC) intervale, nes šiame intervale įkrovimo procesas yra stabiliausias ir mažiau veikiamas galios ribojimo baterijos įkrovimo pabaigoje. Vidutinė įkrovimo galia apskaičiuota pagal šią priklausomybę:

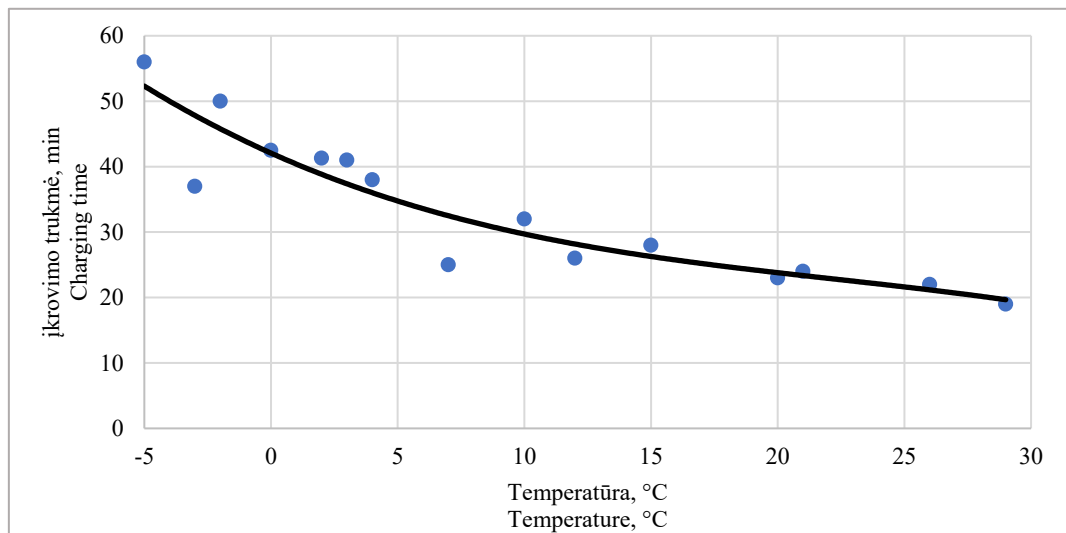
$$P_{vid} = \frac{\Delta E}{\Delta t} \quad (1)$$

čia ΔE – per nagrinėjamą intervalą įkrauta energija (kWh),
 Δt – interval (įkrovimo) trukmė (h).

Vertinimui pasirinktas 20–80 % baterijos įkrovos (SOC) intervalas, nes šiame intervale įkrovimo procesas vyksta stabiliausiai ir mažiau veikiamas galios svyravimų, kurie dažniausiai pasireiškia įkrovimo pradžioje ir pabaigoje dėl baterijos valdymo sistemos (BMS) taikomų galios ribojimų. Surinkti įkrovimo stotelės duomenys buvo sisteminami ir grupuojami pagal aplinkos temperatūros reikšmes. Analizės metu pagrindinis dėmesys skirtas vidutinės įkrovimo galios kitimui skirtingomis aplinkos temperatūros sąlygomis. Gauti duomenys buvo susisteminti „Microsoft Excel 2024“ programa bei pateiktas grafinis duomenų vaizdavimas.

Rezultatai ir aptarimas

Tyrimų rezultatų analizė atlikta remiantis elektromobilio eksploatacijos metu gautomis įkrovimo stotelės duomenų reikšmėmis, užfiksuotomis skirtingomis aplinkos temperatūros sąlygomis. Pagrindinis dėmesys skirtas elektromobilio ličio jonų baterijos vidutinės įkrovimo galios kitimui, vertinant aplinkos temperatūros poveikį įkrovimo proceso efektyvumui. 1 pav. pateikta įkrovimo trukmės priklausomybė nuo aplinkos temperatūros. Analizuojant gautus duomenis matyti, kad didėjant temperatūrai įkrovimo trukmė mažėja.



1 pav. Įkrovimo trukmės priklausomybė nuo aplinkos temperatūros

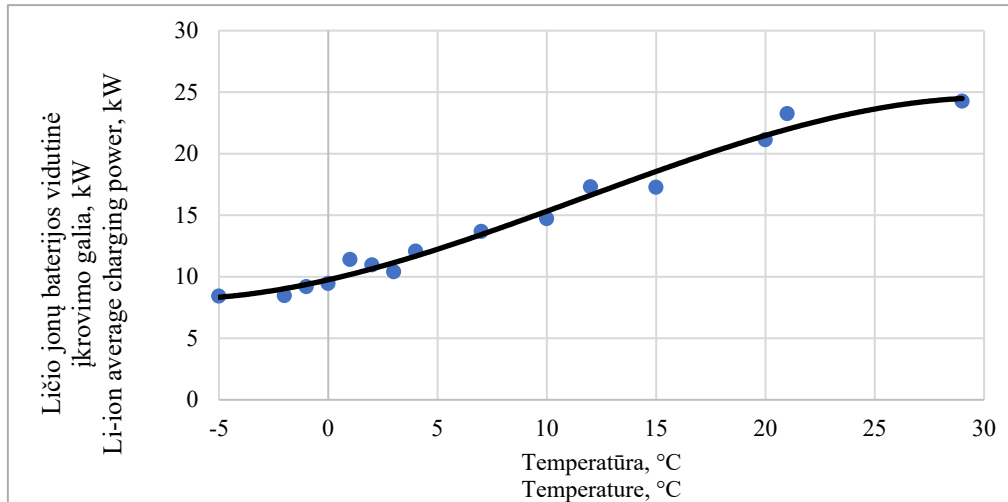
Fig. 1. Charging time depending on ambient temperature

Esant žemai temperatūrai įkrovimo procesas vyksta lėčiau, nes galimai baterijos valdymo sistema riboja įkrovimo srovę siekdama apsaugoti bateriją nuo galimų pažeidimų. Todėl, esant tam pačiam energijos kiekiui įkrauti reikia daugiau laiko. Temperatūrai didėjant įkrovimo galia didėja, todėl baterija įkraunama greičiau, o įkrovimo procesas tampa efektyvesnis. Tokia tendencija patvirtina, kad aplinkos temperatūra yra svarbus veiksnys, lemiantis elektromobilio baterijos įkrovimo proceso trukmę realiomis eksploatacijos sąlygomis.

2 paveiksle pateikta, vidutinės elektromobilio baterijos įkrovimo galios priklausomybė nuo aplinkos temperatūros. Analizuojant gautus duomenis nustatyta aiški teigiama priklausomybė: kylant aplinkos temperatūrai nuo $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ iki maždaug $29\text{ }^{\circ}\text{C}$ vidutinė įkrovimo galia padidėja nuo apie 8,5 kW iki 24,2 kW, atitinkamai apie tris kartus. Tai rodo, kad aplinkos temperatūra yra vienas iš svarbiausių veiksnių, lemiančių elektromobilio baterijos įkrovimo proceso našumą realiomis eksploatacijos sąlygomis.

Lyginant su vidutinėmis eksploatacijos sąlygomis ($\sim 20\text{ }^{\circ}\text{C}$), kai vidutinė įkrovimo galia siekia apie 21,0 kW, esant $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūrai ji yra maždaug 60 % mažesnė. Tai reiškia, kad žemoje temperatūroje įkrovimo procesas tampa žymiai lėtesnis, todėl tam pačiam energijos kiekiui įkrauti reikia ilgesnio laiko.

Analizuojant tarpines temperatūras taip pat matomas nuoseklus įkrovimo galios didėjimas. Esant apie $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūrai įkrovimo galia siekia apie 9,3 kW, prie $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ – apie 14,7 kW, prie $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ – apie 17,3 kW, o prie $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ – apie 21,0 kW. Toliau didėjant temperatūrai iki maždaug $29\text{ }^{\circ}\text{C}$, vidutinė įkrovimo galia padidėja iki 24,2 kW. Grafike matyti, kad aukštesniame temperatūros intervale galios augimas palaipsniui mažėja ir kreivė artėja prie stabilizacijos, o tai rodo, kad baterija pradeda veikti artimesnėmis optimalioms darbo sąlygoms.



2 pav. Vidutinės elektromobilio baterijos įkrovimo galios priklausomybė nuo aplinkos temperatūros

Fig. 2. Dependence of the average charging power of an electric vehicle battery on ambient temperature

Tokie rezultatai paaiškinami ličio jonų baterijų elektrocheminių procesų ypatumais. Esant žemai temperatūrai padidėja baterijos vidinė varža ir sulėtėja ličio jonų difuzija elektrolite bei elektroduose, todėl baterijos valdymo sistema (BMS) riboja įkrovimo srovę siekdama apsaugoti bateriją nuo galimo degradacijos proceso. Dėl šios priežasties įkrovimo galia mažėja, o įkrovimo procesas tampa ilgesnis.

Iš gautų rezultatų, galima teigti, kad žemoje temperatūroje ribojamas ne tik elektromobilio nuvažiuojamas atstumas, bet ir įkrovimo našumas. Norint papildyti tą patį energijos kiekį reikia daugiau laiko, todėl tai tiesiogiai veikia kelionių planavimą, maršrutų sudarymą ir įkrovimo infrastruktūros naudojimo efektyvumą. Be to, dalis energijos gali būti skiriama baterijos pašildymui arba prarandama dėl padidėjusių vidinių nuostolių, todėl bendras energijos perdavimo efektyvumas nuo elektros tinklo iki baterijos gali sumažėti.

Analizuojant grafiko kreivės formą galima pastebėti, kad didžiausias įkrovimo galios padidėjimas vyksta temperatūrai kylant iš neigiamų reikšmių į teigiamą intervalą (apie $0\text{--}10\text{ }^{\circ}\text{C}$). Tai rodo, kad būtent šiame temperatūrų diapazone baterijos šiluminio valdymo priemonės, pavyzdžiui išankstinis baterijos pašildymas prieš greitąjį įkrovimą, gali turėti didžiausią praktinį poveikį mažinant įkrovimo trukmę.

Apibendrinant galima teigti, kad šiame tyrime gauti rezultatai gali būti veikiami papildomų veiksnių, tokių kaip baterijos įkrovos lygis įkrovimo pradžioje, baterijos temperatūra, įkrovimo infrastruktūros galios apribojimai ar baterijos degradacijos laipsnis. Nepaisant to, nustatyta aiški ir nuosekli temperatūros įtaka elektromobilio baterijos įkrovimo galiai.

Išvados

1. Tyrimo metu buvo nustatyta priklausomybė tarp aplinkos temperatūros ir elektromobilio ličio jonų baterijos įkrovimo galios. Didėjant aplinkos temperatūrai nuo $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ iki apie $29\text{ }^{\circ}\text{C}$, vidutinė baterijos įkrovimo galia padidėjo apie tris kartus.
2. Esant žemai aplinkos temperatūrai įkrovimo procesas vyksta žymiai lėčiau. Nustatyta, kad prie $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ vidutinė įkrovimo galia 59,7 % mažesnė, lyginant su $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ aplinkos temperatūra, todėl šaltuoju metų laiku elektromobilio baterijos įkrovimas gali užtrukti žymiai ilgiau.
3. Analizuojant tarpinius temperatūros intervalus nustatyta, kad didžiausias įkrovimo galios augimas vyksta temperatūrai didėjant iš neigiamų reikšmių į teigiamą intervalą (apie $0\text{--}10\text{ }^{\circ}\text{C}$). Tai rodo, kad šiame temperatūros diapazone baterijos elektrocheminiai procesai tampa žymiai efektyvesni ir leidžia baterijai priimti didesnę įkrovimo galia.

4. Esant aukštesniam temperatūros intervalui (apie 20–30 °C) įkrovimo galios augimas tampa mažesnis ir kreivė artėja prie stabilizacijos. Tai leidžia daryti prielaidą, kad šiame intervale baterija veikia artimesnėmis optimalioms darbo sąlygoms ir gali būti pasiekiamas didžiausias įkrovimo efektyvumas.
5. Gauti tyrimo rezultatai rodo, kad aplinkos temperatūra yra vienas svarbiausių veiksnių, lemiančių elektromobilių baterijų įkrovimo proceso efektyvumą. Todėl elektromobilių baterijų šiluminio valdymo sistemos ir išankstinis baterijos pašildymas gali turėti reikšmingą įtaką įkrovimo proceso optimizavimui, ypač šalto klimato regionuose.

Literatūra

12. Al-Wreikat, Y., Serrano, C., & Sodré, J. R. (2022). Effects of ambient temperature and trip characteristics on the energy consumption of an electric vehicle. *Energy*, 238, 122028.
1. Cheng, F., Wu, J., Wang, H., & Zhang, H. (2022). Research on the temperature performance of a lithium-iron-phosphate battery for electric vehicle. In *Journal of Physics: Conference Series*, 2395(1), 012024). IOP Publishing.
2. Keyser, M., Pesaran, A., Li, Q., Santhanagopalan, S., Smith, K., Wood, E., ... & Markel, A. (2017). Enabling fast charging–Battery thermal considerations. *Journal of Power Sources*, 367, 228–236.
3. Li, R., Hong, J., Zhang, H., & Chen, X. (2022). Data-driven battery state of health estimation based on interval capacity for real-world electric vehicles. *Energy*, 257, 124771.
4. Liu, T., Ge, S., Yang, X. G., & Wang, C. Y. (2021). Effect of thermal environments on fast charging Li-ion batteries. *Journal of Power Sources*, 511, 230466.
5. Märtz, A., Langenmayr, U., Ried, S., Seddig, K., & Jochem, P. (2022). Charging behavior of electric vehicles: Temporal clustering based on real-world data. *Energies*, 15(18), 6575.
6. Mortimer, B. J., Hecht, C., Goldbeck, R., Sauer, D. U., & De Doncker, R. W. (2022). Electric vehicle public charging infrastructure planning using real-world charging data. *World Electric Vehicle Journal*, 13(6), 94.
7. Senol, M., Bayram, I. S., Naderi, Y., & Galloway, S. (2023). Electric vehicles under low temperatures: A review on battery performance, charging needs, and power grid impacts. *Ieee Access*, 11, 39879-39912.
8. Spitthoff, L., Shearing, P. R., & Burheim, O. S. (2021). Temperature, ageing and thermal management of lithium-ion batteries. *Energies*, 14(5), 1248.
9. Thakur, A. K., Ahmed, M. S., Kang, H., Prabakaran, R., Said, Z., Rahman, S., ... & Hwang, J. Y. (2023). Critical review on internal and external battery thermal management systems for fast charging applications. *Advanced Energy Materials*, 13(11), 2202944.
10. Zhang, X., Li, Z., Luo, L., Fan, Y., & Du, Z. (2022). A review on thermal management of lithium-ion batteries for electric vehicles. *Energy*, 238, 121652.
11. Zhao, Y., Zhang, H., Li, J. (2022). Impact of ambient temperature on EV battery charging performance. *Energy Reports*.

Mykolas Bleda, Tomas Mickevicius

Impact of Ambient Temperature on Electric Vehicle Battery Charging Efficiency

Vytautas Magnus University, Lithuania

The development of electric vehicle technologies has been rapidly increasing in recent years, and their operational characteristics have become an increasingly important subject of research. One of the most important components of electric vehicles is the lithium-ion battery, which determines the vehicle's driving range, energy efficiency, and reliability. Lithium-ion (Li-ion) batteries commonly used in electric vehicles are characterized by high energy density and good operational performance. The charging rate of the battery depends on several factors, including battery design, charging infrastructure capabilities, the applied charging mode, and environmental conditions. This study investigates the influence of ambient temperature on the charging efficiency of a lithium-ion battery in an electric vehicle under real operating conditions. The research was carried out using a VW e-Golf (2019) electric vehicle equipped with a high-voltage lithium-ion NMC battery. During the experimental tests, the vehicle was charged under different ambient temperature conditions. The following charging parameters were recorded during the charging process: charging current, voltage, instantaneous charging power, accumulated energy, and charging duration. The results showed that as the ambient temperature increased from −5 °C to approximately 29 °C, the average charging power increased from about 8.5 kW to 24.2 kW. Compared with conditions at approximately 20 °C (average charging power about 21.0 kW), the charging power at −5 °C was approximately 59.7% lower, indicating that the charging process becomes significantly slower during the cold season. The obtained results confirm that ambient temperature is one of the most important factors affecting the charging efficiency of electric vehicle batteries under real operating conditions.

Keywords: Electric vehicle, lithium-ion battery, charging power, ambient temperature.

Gauta 2026 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2026 m. balandžio mėn.

Mykolas BLĖDA. 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: mykolas.bleda@vdu.lt

Mykolas BLĖDA. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Mechanical, Energy and Biotechnology Engineering, Master student. Address: Studentų g. 15A, LT-53362 Akademija, Kaunas dist. E-mail: mykolas.bleda@vdu.lt

Tomas MICKEVIČIUS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Inžinerijos fakulteto Mechanikos, energetikos ir biotechnologijų inžinerijos katedros asistentas. Adresas: Studentų g. 15A, LT-53362 Akademija, Kauno r., tel. +37061645666, el. paštas: tomas.mickevicius1@vdu.lt

Tomas MICKEVICIUS. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Mechanical, Energy and Biotechnology Engineering, asist. Address: Studentų g. 15A, LT-53362 Akademija, Kaunas dist. Phone +370 616 45666, e-mail: tomas.mickevicius1@vdu.lt

NUOTEKŲ VALYMO TECHNOLOGIJŲ PRIORITETINIAMS TERŠALAMS VALYTI ANALIZĖ

Tadas Derkintas, Algirdas Radzevičius

Vytauto Didžiojo universitetas

Griežtėjant nuotekų valymo reikalavimams, didėja poreikis šalinti ne tik organinę taršą ir biogenines medžiagas, bet ir prioritetinius mikroteršalus. Šiame tyrime vertintas biologinių reaktorių „Chem5“ ir „BioSix“ efektyvumas, valant Kauno ir Šiaulių ir Telšių miestų nuotekas. Analizuoti pagrindiniai nuotekų užterštumo rodikliai: BDS₇, ChDS, bendras azotas, bendras fosforas ir ftalatai – di-(2-etilheksil) ftalatas (DEHP) bei dibutilftalatas (DBT). Nustatyta, kad biologiniai reaktoriai efektyviai mažina organinę taršą, o ftalatų koncentracijos po valymo neviršija ribinių koncentracijų. Tyrimo rezultatai parodė naujų biologinių technologijų potencialą kompleksiniam nuotekų valymui.

Raktiniai žodžiai: nuotekų valymas, prioritetiniai teršalai, ftalatai, fugatas.

Įvadas

Nuotekų valymo sektoriuje vis didesnis dėmesys skiriamas ne tik tradicinių taršos rodiklių – biocheminio deguonies suvartojimo (BDS₇), cheminio deguonies suvartojimo (ChDS), azoto ir fosforo – mažinimui, bet ir prioritetinių organinių teršalų kontrolei. Europos Sąjungos aplinkosaugos politika ir Miestų nuotekų valymo direktyvos peržiūra pabrėžia poreikį stiprinti mikroteršalų šalinimą iš nuotekų (European Commission, 2022). Baltijos jūros regiono kontekste papildomai akcentuojama pavojingų medžiagų kontrolė ir jų poveikis vandens ekosistemų būklei (Aplinkos apsaugos agentūra, 2020).

Tarp aktualių prioritetinių teršalų išskiriami ftalatai – plastifikatoriai, plačiai naudojami polimerų, pakuočių ir statybinių medžiagų gamyboje. Dažniausiai nuotekose aptinkami di-(2-etilheksil) ftalatas (DEHP) ir dibutilftalatas (DBT). Šie junginiai pasižymi hidrofobiškumu, gebėjimu adsorbuotis veikliajame dumble bei toksišku poveikiu vandens organizmams (Zolfaghari et al., 2014). Tyrimai rodo, kad DEHP nuotekų valymo įrenginiuose gali būti tik iš dalies pašalinamas, o jo likučiai aptinkami išvalytose nuotekose ar dumble (Zolfaghari et al., 2014). Dėl galimo endokrininę sistemą ardančio poveikio ftalatų koncentracijos yra reglamentuojamos, todėl jų šalinimo efektyvumas tampa svarbiu technologiniu vertinimo kriterijumi.

Mikroteršalų kontrolės problematika platesniame kontekste apima ir kitus atsparius junginius, pavyzdžiui, PFAS (per- ir polifluoralkilinės medžiagos), pasižyminčius dideliu patvarumu ir bioakumuliacija (Boisvert et al., 2019). PFAS šalinimui dažnai reikalingos pažangios oksidacijos ar adsorbcinės technologijos (Alam et al., 2023; Cao et al., 2025). Tačiau ftalatų atveju biologiniai procesai gali turėti reikšmingą vaidmenį, jei sudaromos tinkamos sąlygos mikroorganizmų aktyvumui.

Be mikroteršalų, svarbi išlieka biogeninių medžiagų – azoto ir fosforo – problema. Nepakankamas jų šalinimas gali sukelti eutrofikaciją, o tai daro neigiamą poveikį vandens telkinių ekologinei būklei (Cui et al., 2024). Nuotekų dumblo sausinimo metu susidaro fugatas, kurio sudėtyje yra didelės fosforo koncentracijos. Šis fugatas, gražintas į valymo įrenginių pradžią, sukelia papildomų problemų nuotekų valymo procesui. Todėl biologinių technologijų efektyvumas vertinamas kompleksiskai – tiek organinės taršos, tiek biogeninių medžiagų ir mikroteršalų atžvilgiu.

Biologinio proceso intensyvinimas, naudojant specializuotus mikroorganizmų konsorciumus ir panardinamas bioplėvelines sistemas, laikomas viena iš galimų kryptių mikroteršalų šalinimui (Mansouri et al., 2021). Tokie sprendimai gali padidinti sudėtingų organinių junginių biodegradaciją ir užtikrinti efektyvesnį organinės taršos mažinimą.

Šiame tyrime vertinamas Biocleaner kompanijos dviejų biologinių reaktorių – Chem5 ir BioSix – efektyvumas valant keletos nuotekų valyklų nuotekas. Chem5 reaktoriaus valymo efektyvumas buvo tirtas Kauno, Šiaulių bei Telšių nuotekose. Šiaulių nuotekose papildomai analizuotas DEHP ir DBT šalinimas. BioSix įrenginys buvo taikytas Šiaulių nuotekose, siekiant įvertinti jo poveikį pagrindiniams kokybiniais rodikliams – BDS₇, ChDS, bendram azotui ir bendram fosforui. Tokiu būdu tyrimas apima tiek tradicinius organinės taršos parametrus, tiek prioritetinius ftalatus, leidžiant įvertinti biologinių technologijų potencialą platesniame mikroteršalų kontrolės kontekste.

Tyrimų metodika

Tyrimo metu buvo vertinamas kompanijos „Biocleaner“ biologinių reaktorių „Chem5“ ir „BioSix“ efektyvumas šalinant iš nuotekų prioritetinius bei organinius teršalus. Tyrimai atlikti naudojant Šiaulių, Kauno ir Telšių miestų nuotekų valyklų nuotekas.

Sistema veikė statiniu režimu, be nuolatinės hidraulinės apkrovos (be srauto). Visi eksperimentai buvo vykdomi aerobinėmis sąlygomis, netaikant anoksinių ar anaerobinių fazių, kurios įtakoja azoto ir fosforo šalinimą. Dėl šių eksperimento sąlygų pilnas azoto ir fosforo biologinis pašalinimas tyrime nebuvo vertintas.

Šiaulių miesto nuotekos buvo valomos dviejose atskirose talpyklose. Pirmojoje talpykloje buvo įmontuotas „Chem5“ reaktorius, skirtas fenolių, ftalatų, angliavandenilių, pesticidų, dažų ir kitų sunkiai biodegrazuojamų organinių junginių šalinimui (1 pav.). Eksperimente naudotas „Biocleaner Chem5“ panardinamas biologinis įrenginys, sudarytas iš keramikos granulių, ant kurių susiformuoja mikroorganizmų bioplėvelė. Aeracija buvo užtikrinama prijungta orapūtė, sudarančia nuolatinį oro srautą ir palaikančia inde aerobines sąlygas.

Po valymo mėginiai buvo pristatyti į UAB „Vandens tyrimai“ laboratoriją (Vilnius), kur atlikti ftalatų koncentracijų nustatymo tyrimai.



1 pav. Tyrimo indas su bioreaktoriumi „Chem5“. 1 – biorektorius; 2 – difuzoriai; 3 – orapūtė

Fig. 2. Research vessel with bioreactor Chem5. 1 – bioreactor; 2 – diffusers; 3 – blower

Antrojoje talpykloje buvo įmontuotas „BioSix“ reaktorius, skirtas BDS₇, ChDS, riebalų ir kitų lengvai biologiškai skaidomų organinių medžiagų šalinimui. Išvalytų nuotekų mėginiai buvo tirti UAB „Kauno vandenys“ Vandens tyrimų laboratorijoje. Nustatyti šie rodikliai: BDS₇, ChDS, suspenduotos medžiagos, bendrasis azotas ir bendrasis fosforas.

Kauno nuotekų valyklos nuotekos tyrimams buvo paimtos iš pirminių nusodintuvų. Nuotekų mėginys (60 litrų) buvo valomos „Chem5“ reaktoriuje. Biologinio valymo procesas truko 8 paras. Reaktoriaus efektyvumas buvo vertinamas, lyginant koncentracijų pokyčius prieš ir po biologinio apdorojimo bei apskaičiuojant valymo efektyvumą.

Telšių nuotekų valyklos nuotekų tyrimo objektas buvo fugatas – skystoji dumblo frakcija, išsiskirianti mechaninio dumblo sausinimo metu. Fugatas pasižymi padidintomis biogeninių ir organinių medžiagų koncentracijomis, ypač fosforo, kuris Telšių valykloje kelia technologinių problemų dėl prastesnės dumblo flokuliacijos ir mažesnio pasiekiamo sausųjų medžiagų kiekio.

Fugato mėginys (60 litrų) buvo paimtas tiesiogiai iš Telšių nuotekų valyklos dumblo apdorojimo linijos. Fugatas buvo supiltas į tyrimo indą 2 pav. Biologinio valymo procesas truko 16 parų.



2 pav. Tyrimo indas su fugatu proceso metu (asmeninis archyvas)

Fig. 2. Research vessel with fugate during the process (personal archive)

Mėginiai „prieš“ ir „po“ valymo buvo tirti UAB „Kauno vandenys“ Vandens tyrimų laboratorijoje. Reaktoriaus efektyvumas vertintas pagal koncentracijų pokyčius ir apskaičiuotą procentinį skirtumą.

Statistinei analizei atlikti buvo naudojama MS excel programinė įranga.

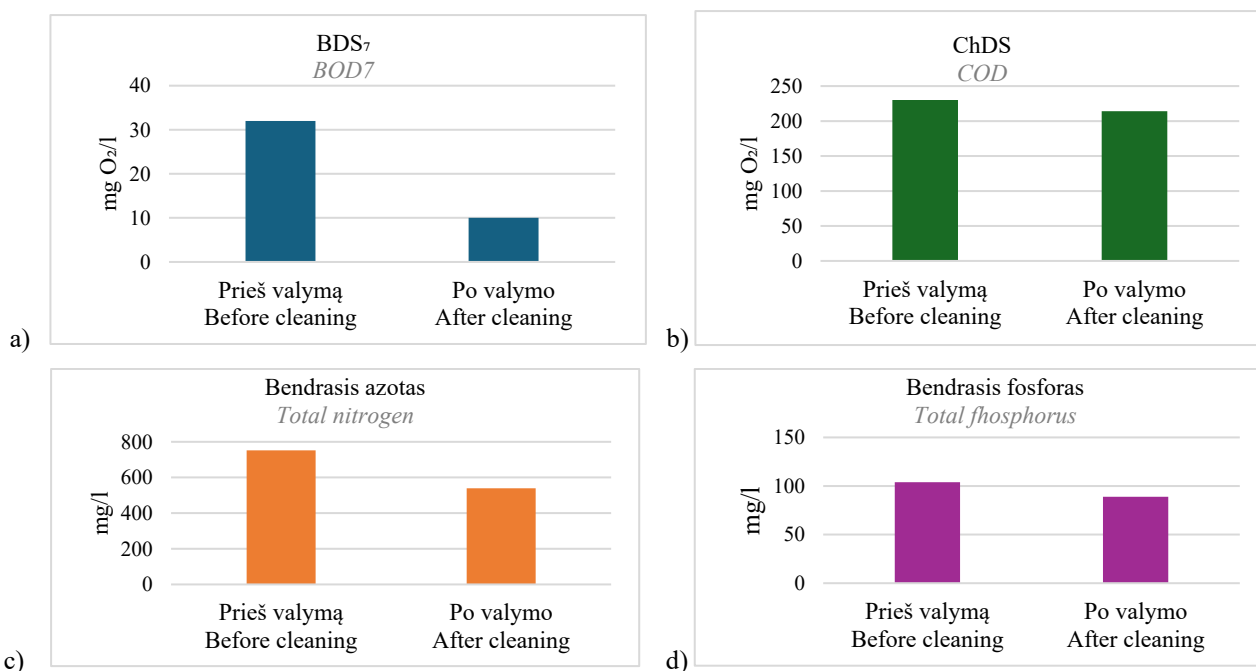
Rezultatai ir aptarimas

Telšių nuotekų valyklos fugato valymo rezultatai naudojant „Chem5“ pateikti 1 lentelėje. Po biologinio valymo „Chem5“ reaktoriuje nustatyti šie pokyčiai: BDS₇ sumažėjo 68,8 proc., ChDS – 7 proc., bendrasis azotas – 28,3 proc., bendras fosforas – 14,4 proc.

1 lentelė. Telšių nuotekų fugato rezultatai prieš ir po valymo „Chem5“ reaktoriuje

Table 1. Results of Telšiai wastewater fugate before and after treatment with the Chem5 device

Parametras <i>Parameter</i>	Matavimo vienetas <i>Unit of measurement</i>	Prieš valymą <i>Before treatment</i>	Po valymo <i>After treatment</i>	Valymo efektyvumas, proc. <i>Treatment efficiency %</i>
BDS ₇ <i>BOD₇</i>	mg O ₂ /l	32	10	68,8
ChDS <i>COD</i>	mg O ₂ /l	230	214	7
Nitratai <i>Nitrates</i>	mg/l N	<0.01	<0.01	0
Kjeldalio azotas <i>Kjeldahl nitrogen</i>	mg/l N	752	539	28,3
Bendras azotas <i>Total nitrogen</i>	mg/l N	752	539	28,3
Bendras fosforas <i>Total phosphorus</i>	mg/l P	104	89	14,4
Cinkas <i>Zinc</i>	mg/l	0,0515	0,083	-61
Kadmis <i>Cadmium</i>	mg/l	<0,0664	<0,0664	0
Chromas <i>Chromium</i>	mg/l	<0,0958	<0,0958	0
Varis <i>Copper</i>	mg/l	<0,0404	<0,0404	0
Švinas <i>Lead</i>	mg/l	0,1076	0,083	22,8
Nikelis <i>Nickel</i>	µg/l	2,72	2,72	0



3 pav. Telšių nuotekų fugato rodikliai prieš ir po valymo: a – BDS₇; b – ChDS; c – bendrojo azoto; d – bendrojo fosforo

Fig. 3. Results of Telšiai wastewater fugate before and after treatment: a – BOD₇; b – COD; c – total nitrogen; d – total phosphorus

Reikšmingas BDS₇ sumažėjimas rodo efektyvų lengvai biodegrazuojamų organinių medžiagų skaidymą. Tačiau nedidelis ChDS sumažėjimas leidžia teigti, kad fugate esanti dalis organinių junginių yra sunkiai oksiduojami arba nepakankamai biologiškai skaidomi. Azoto junginių analizė parodė, kad sumažėjo Kjeldalio azotas (28,3 proc.), tačiau šiek tiek padidėjo nitritų koncentracija (+13,5 proc.). Stebėtas nitritų susidarymas rodo vykusią dalinę nitrifikaciją.

Fosforo koncentracijos sumažėjimas (14,4 proc.) rodo ribotą biologinio fosforo šalinimo efektyvumą. Tą galima paaiškinti tuo, kad eksperimentų metu nebuvo taikytos anaerobinės fazės, todėl biologinis fosforo šalinimas per PAO mechanizmą nebuvo sąlygotas.

Sunkieji metalai reikšmingų pokyčių neparodė, išskyrus cinko padidėjimą, kuris gali būti susijęs su koncentracijos efektu dėl organinės medžiagos sumažėjimo.

Atsižvelgiant į aukštą pradinę fosforo koncentraciją, Chem5 technologija Telšių fugato atveju parodė vidutinį efektyvumą organinių medžiagų skaidymo požiūriu. Tačiau dėl eksperimentinių sąlygų, kai buvo taikomas tik aerobinis režimas, netaikant anoksinių ir anaerobinių fazių, pilnas azoto ir fosforo biologinis pašalinimas šiame tyrime nebuvo vertintas.

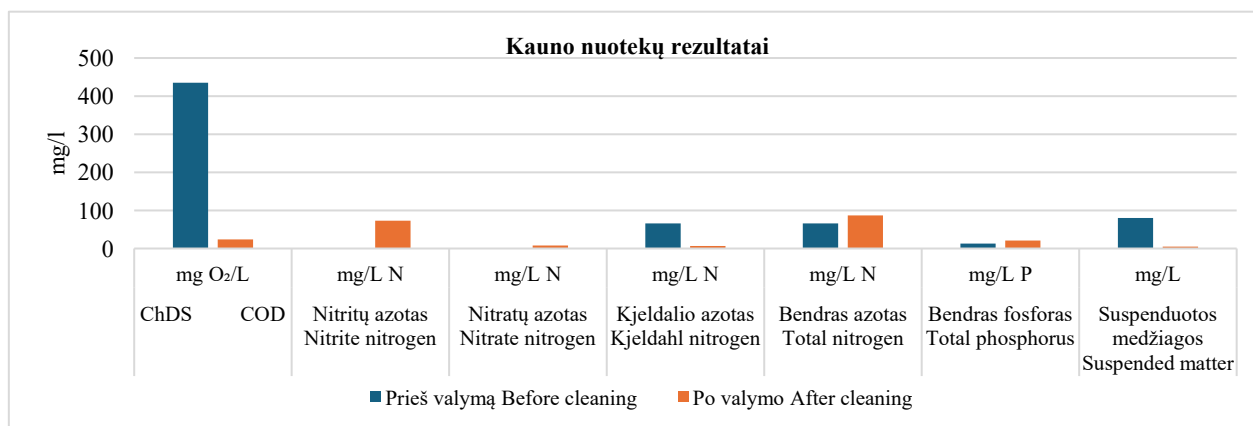
Kauno nuotekose Chem5 reaktorių parodė labai aukštą organinės taršos šalinimo efektyvumą. BDS₇ sumažėjo 98,5 proc., ChDS – 94,5 proc., o suspenduotos medžiagos – 93,8 proc. (2 lentelė). Tokie rezultatai rodo intensyvių aerobinių mikroorganizmų aktyvumą ir efektyvų lengvai biodegrazuojamų junginių skaidymą.

2 lentelė. Kauno nuotekų tyrimo rezultatai prieš ir po valymo „Chem5“ reaktoriuje

Table 2. Kaunas wastewater test results before and after treatment with the Chem5 device

Parametras <i>Parameter</i>	Matavimo vienetas <i>Unit of measurement</i>	Prieš valymą <i>Before treatment</i>	Po valymo <i>After treatment</i>	Valymo efektyvumas, <i>Treatment efficiency, %</i>
BDS ₇ <i>BOD₇</i>	mg O ₂ /L	214	3,2	98,5
ChDS <i>COD</i>	mg O ₂ /L	435	24	94,5
Nitritų azotas <i>Nitrite nitrogen</i>	mg/L N	0,097	73	-75123
Nitratų azotas <i>Nitrate nitrogen</i>	mg/L N	<0,01	8,1	—
Kjeldalio azotas <i>Kjeldahl nitrogen</i>	mg/L N	66	6,6	90
Bendras azotas <i>Total nitrogen</i>	mg/L N	66	87	-31,8
Bendras fosforas <i>Total phosphorus</i>	mg/L P	13	21	-61,5
Suspenduotos medžiagos <i>Suspended matter</i>	mg/L	80	5	93,8

Nors organinės taršos šalinimas buvo itin efektyvus, bendro azoto koncentracija padidėjo 31,8 proc., o bendro fosforo – 61,5 proc. Azoto koncentracijos padidėjimas gali būti siejamas su organinio azoto mineralizacija ir mikroorganizmų biomasės irimu, kai iš ląstelių išsiskiria amonio formos azotas. Padidėjusios nitritų ir nitratų koncentracijos rodo vykusią dalinę nitrifikaciją (4 pav.). Denitrifikacijos procesas šiame eksperimente nebuvo modeliuojamas.



4 pav. Kauno nuotekų rezultatai prieš ir po valymo „Chem5“ reaktoriumi

Fig. 4. Kaunas wastewater results before and after treatment with the Chem5 device

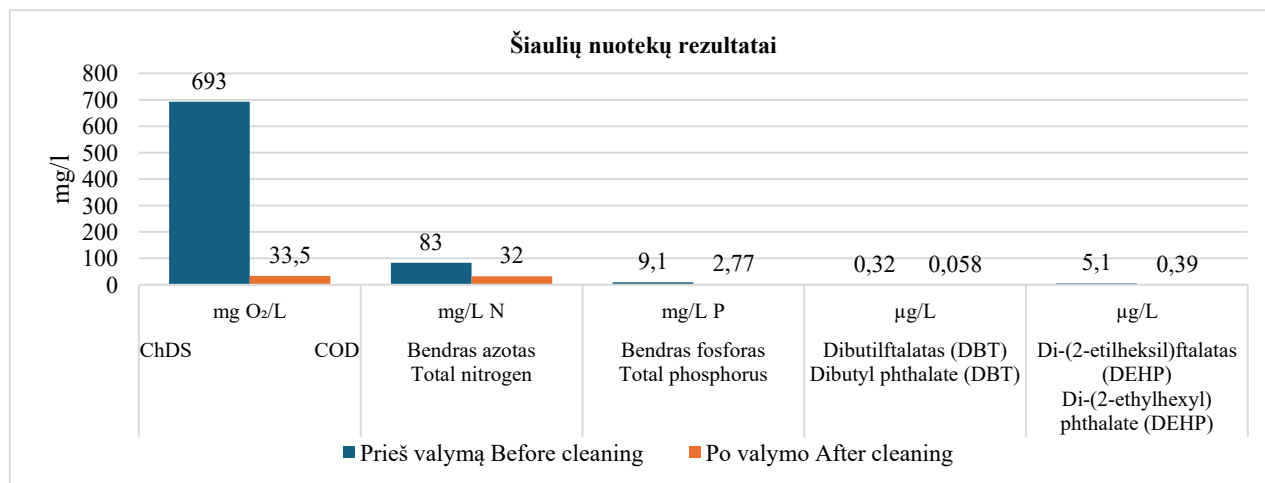
Gauti rezultatai rodo, kad „Chem5“ efektyviai mažina organinę taršą aerobinėmis sąlygomis. Tačiau šiame eksperimente nebuvo modeliuojamos anoksinės ir anaerobinės fazės, būtinos pilnam biologiniam azoto ir fosforo šalinimui, todėl šių elementų koncentracijų pokyčiai negali būti vertinami kaip technologijos efektyvumo rodiklis jų pašalinimo požiūriu.

Azoto padidėjimas gali būti siejamas su organinio azoto mineralizacija ir biomasės irimu, kai iš mikroorganizmų ląstelių išsiskiria amonio azotas. Nitritų ir nitratų koncentracijų augimas rodo vykusią nitrifikaciją. Skirtingai nei Kauno nuotekose, Šiaulių nuotekų tyrimo metu buvo nustatytas ne tik aukštas organinės taršos sumažėjimas, bet ir reikšmingas biogeninių medžiagų bei prioritetinių organinių teršalų mažėjimas (3 lentelė).

3 lentelė. Šiaulių nuotekų tyrimo rezultatai prieš ir po filtracijos „Chem5“ įrenginiu
Table 3. Šiauliai wastewater test results before and after filtration with the Chem5 device

Parametras <i>Parameter</i>	Matavimo vienetas <i>Unit of measurement</i>	Prieš valymą <i>Before treatment</i>	Po valymo <i>After treatment</i>	Valymo efektyvumas, proc. <i>Treatment efficiency %</i>
ChDS <i>COD</i>	mg O ₂ /L	693	33,5	95,2
Bendras azotas <i>Total nitrogen</i>	mg/L N	83	32	61,4
Bendras fosforas <i>Total phosphorus</i>	mg/L P	9,1	2,77	69,6
Dibutilftalatas (DBT) <i>Dibutyl phthalate (DBT)</i>	µg/L	0,32	0,058	81,9
Di-(2-etilheksil)ftalatas (DEHP) <i>Di-(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP)</i>	µg/L	5,1	0,39	92,4

Šiaulių nuotekose nustatytas reikšmingas bendro azoto (61,4 proc.) ir bendro fosforo (69,6 proc.) sumažėjimas rodo palankesnes sąlygas biogeninių medžiagų transformacijai. Be to, labai aukštas ftalatų šalinimo efektyvumas (DEHP – 92,4 proc., DBT – 81,9 proc.) patvirtina „Chem5“ technologijos potencialą mažinant prioritetinius organinius teršalus. Po valymo ftalatų koncentracijos buvo mažesnės už reglamentines ribines vertes.



5 pav. Šiaulių nuotekų valymo rezultatai prieš ir po valymo „Chem5“ reaktoriu
Fig. 5. Šiauliai wastewater results before and after treatment with the Chem5 device

Šie rezultatai rodo, kad „Chem5“ technologijos veiksmingumas priklauso nuo nuotekų sudėties ir naudojimo sąlygų: organinės taršos šalinimo efektyvumas išlieka stabiliai aukštas, o azoto ir fosforo junginių pokyčiai gali skirtis priklausomai nuo vykstančių biologinių procesų ir eksperimentinių sąlygų.

„BioSix“ reaktorių Šiaulių nuotekose pasiekė aukštą organinės taršos šalinimo efektyvumą: BDS₇ sumažėjo 94,1 proc., ChDS – 90,2 proc., suspenduotos medžiagos – 93,2 proc.

4 lentelė. Šiaulių nuotekų tyrimo rezultatai prieš ir po valymo „BioSix“ įrenginiu
Table 4. Results of Šiauliai wastewater testing before and after treatment with the BioSix device

Parametras <i>Parameter</i>	Matavimo vienetas <i>Unit of measurement</i>	Prieš valymą <i>Before treatment</i>	Po valymo <i>After treatment</i>	Valymo efektyvumas, proc. <i>Treatment efficiency %</i>
Suspenduotos medžiagos <i>Suspended solids</i>	mg/L	368	25	93,2
BDS ₇ <i>BOD₇</i>	mg O ₂ /L	488	29	94,1
ChDS <i>COD</i>	mg O ₂ /L	693	68	90,2
Nitritų azotas <i>Nitrite nitrogen</i>	mg/L N	<0,0027	9,1	—
Nitratų azotas <i>Nitrate nitrogen</i>	mg/L N	<0,01	0,41	—
Kjeldalio azotas <i>Kjeldahl nitrogen</i>	mg/L N	83	42	49,4
Bendrasis azotas <i>Total nitrogen</i>	mg/L N	83	52	37,3
Bendrasis fosforas <i>Total phosphorus</i>	mg/L P	9,1	3,5	61,5

Skirtingai nei Kauno atveju, Šiaulių nuotekose buvo pastebėtas ir reikšmingas bendrojo fosforo sumažėjimas (61,5 proc.) bei bendrojo azoto sumažėjimas (37,3 proc.). Tai rodo, kad šiomis tyrimo sąlygomis su „BioSix“ technologija buvo sudarytos palankesnės sąlygos biogeninių medžiagų transformacijai. Vis dėlto stebėtas nitritų susidarymas rodo vykstančią nitrifikaciją, todėl, siekiant visiško azoto pašalinimo, reikia denitrifikacijos, kuri šiame eksperimente nebuvo modeliuojama.

Vertinant šių tyrimų rezultatus galima teigti kad, „Chem5“ efektyviai mažina organinę taršą (BDS₇ ir ChDS), o azoto ir fosforo junginių pokyčiai priklauso nuo eksperimentinių sąlygų ir biologinių procesų, vykstančių sistemoje. „BioSix“ pasižymi aukštu organinės taršos mažinimu ir geresniu fosforo šalinimu. Fugato atveju dėl labai aukštų pradinių teršalų koncentracijų biologinio valymo efektyvumas buvo mažesnis.

Rezultatai patvirtina, kad biologiniai reaktoriai gali būti efektyvūs organinės taršos mažinimui, tačiau prioritetinių teršalų ir maistinių medžiagų šalinimui reikalingas kompleksinis technologinis sprendimas, apimantis nitrifikacijos–denitrifikacijos ir fosforo šalinimo pakopas.

Išvados

1. Biologinis reaktorius „Chem5“ skirtingų tipų nuotekose parodė aukštą organinės taršos mažinimo efektyvumą, nepriklausomai nuo nuotekų sudėties.
2. Telšių nuotekų valyklos fugato tyrimas parodė, kad didesnės koncentracijos dumblo frakcijose biologinio valymo efektyvumas gali būti mažesnis, ypač fosforo atžvilgiu. Vienas iš galimų veiksnių gali būti specifinė fugato sudėtis ir neoptimalus C:N:P santykis, kuris yra svarbus mikroorganizmų metabolizmui biologinio valymo procesuose.
3. Šiaulių nuotekose nustatytas efektyvus ftalatų – DEHP ir DBT – šalinimas, o galutinės koncentracijos neviršijo reglamentuotų ribinių verčių.
4. „BioSix“ įrenginys taip pat užtikrino efektyvų organinės taršos mažinimą, patvirtindamas biologinių technologijų potencialą kompleksiniam nuotekų valymui.
5. Gauti rezultatai rodo, kad biologinės sistemos gali būti perspektyvus sprendimas integruotam organinės taršos ir prioritetinių mikroteršalų šalinimui, tuo tarpu biogeninių medžiagų (azoto ir fosforo) šalinimui būtinos ne tik anoksinės ir anaerobinės pakopos.
6. Kauno nuotekų tyrimas parodė, kad „Chem5“ reaktorius efektyviai mažina organinę taršą ir suspenduotas medžiagas. Tuo tarpu azoto ir fosforo šalinimas negali būti vertinamas kaip pilno biologinio šalinimo rezultatas, nes eksperimentai buvo vykdomi statiniu režimu ir tik aerobinėmis sąlygomis.

Literatūra

1. Alam, D., Lee, S., Hong, J., Fletcher, D. F., McClure, D., Cook, D., Cullen, P. J., & Kavanagh, J. M. (2023). Experimental investigations of per- and poly-fluoroalkyl substances (PFAS) degradation by non-thermal plasma in aqueous solutions. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11(6), 111588. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.111588>

2. Aplinkos apsaugos agentūra. (2020). *Lietuvos Baltijos jūros aplinkos apsaugos valdymo stiprinimo dokumentų (būklės vertinimo) atnaujinimas. Galutinė ataskaita (1 dalis). Lietuvos jūros rajono ekologinės būklės vertinimas ir gamtosauginiai tikslai.* <https://vanduo.old.gamta.lt/files/Galutine%20ataskaita%20%281%20dalis%291603107974586.pdf>
3. Boisvert, G., Sonne, C., Rigét, F. F., Dietz, R., & Letcher, R. J. (2019). Bioaccumulation and biomagnification of perfluoroalkyl acids and precursors in East Greenland polar bears and their ringed seal prey. *Environmental Pollution*, 252, 1335–1343. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.06.035>
4. Cao, J., Feng, S., Dolatabad, A. A., Zhi, Y., Deng, B., Liu, C., Lyu, X., Christensen, C. S., Pignatello, J. J., Ni, P., Lin, S., Wei, Z., & Xiao, F. (2025). PFAS removal from reverse osmosis and nanofiltration brine by granular activated carbon: Thermodynamic insights into salinity effects. *Water Research*. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2025.123758>
5. Cui, Z., Huang, Q., Sun, J., Wan, B., Zhang, S., Shen, J., Wu, J., Li, J., & Yang, C. (2024). The Secchi disk depth to water depth ratio affects morphological traits of submerged macrophytes: Development patterns and ecological implications. *Science of The Total Environment*, 907, 167882. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167882>
6. European Commission. (2022). *Urban wastewater treatment directive revision – Impact assessment.* https://environment.ec.europa.eu/publications/impact-assessment-revision-urban-wastewater-treatment-directive_en
7. Mansouri, F., Chouchene, K., Roche, N., & Ksibi, M. (2021). Removal of pharmaceuticals from water by adsorption and advanced oxidation processes: State of the art and trends. *Applied Sciences*, 11(14), 6659. <https://doi.org/10.3390/app11146659>
8. Zolfaghari, M., Drogui, P., Seyhi, B., Brar, S. K., Buelna, G., & Dubé, R. (2014). Occurrence, fate and effects of di(2-ethylhexyl) phthalate in wastewater treatment plants: A review. *Environmental Pollution*, 194, 281–293. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.07.014>

Tadas Derkintas, Algirdas Radzevičius

Analysis of Wastewater Treatment Technologies for Treating Priority Pollutants

Vytautas Magnus University, Lithuania

As wastewater treatment requirements become more stringent, the need to remove not only organic pollution and biogenic substances, but also priority micropollutants is increasing. This study evaluated the efficiency of biological reactors Chem5 and BioSix in treating wastewater from Kaunas and Šiauliai and Telšiai cities. The main wastewater pollution indicators were analyzed: BOD₇, COD, total nitrogen, total phosphorus and phthalates – di-(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) and dibutyl phthalate (DBT). It was found that biological reactors effectively reduce organic pollution, and phthalate concentrations after treatment do not exceed limit concentrations. The results of the study showed the potential of new biological technologies for complex wastewater treatment.

Keywords: Wastewater treatment, priority pollutants, phthalates, fugate.

Gauta 2026 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2026 m. balandžio mėn.

Tadas DERKINTAS Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Inžinerijos fakulteto Vandens inžinerijos katedros magistrantas. Adresas: Genio g. 7, LT-90168 Plungė Tel. +370 645 82125, el. paštas: lutas2001@gmail.com
 Tadas DERKINTAS Vytautas Magnus University, Faculty of Engineering, Department of Water Engineering, master student. Address: Genio g. 7, LT-90168 Plungė Tel. +370 645 82125, e-mail: lutas2001@gmail.com
 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 37 752393, 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, Kauno dist., Phone: +370 37 752393, e-mail: algirdas.radzevicius@vdu.lt

KETVIRTINIO NUOTEKŲ VALYMO TECHNOLOGIJŲ EFEKTYVUMO, ŠALINANT FTALATUS, ANALIZĖ

Tadas Drabavičius, Algirdas Radzevičius

Vytauto Didžiojo universitetas

Straipsnyje gilinamasi į vienų iš prioritetinių teršalų – ftalatų šaltinius ir jų sukeliamas pasekmes – žalą žmonių ir kitų gyvų organizmų sveikatai bei poveikį aplinkai. Nagrinėjamos pažangios praktikoje naudojamas ketvirtinio (mikro teršalų šalinimo) nuotekų valymo technologijos, nustatant ir vertinant jų privalumus bei trūkumus, kurie leistų parinkti tinkamiausią technologinį sprendimą konkrečiomis sąlygomis. Atlikta daugiakriterinė analizė, apimanti efektyvumo ir kaštų rodiklius, kurios rezultatais galima įvertinti skirtingų technologijų įdiegimo galimybes.

Raktiniai žodžiai: ftalatų šalinimas, filtracija, oksidacija, adsorbicija.

Įvadas

Ftalatai – organiniai junginiai naudojami kaip plastifikatoriai, plastiko (dažniausiai PVC) gamyboje norint produktui suteikti plastiškumo ir minkštumo. Šios medžiagos yra naudojamos įvairiose šakose ir produktuose: kosmetikoje (asmenų higienos priemonės), medicinoje (laboratoriniai indai, vaistų apvalkalai), lengvojoje pramonėje (įranga, žaislai, pakuotės), statyboje (statybinės medžiagos ir gaminiai). Dėl plataus panaudojimo pasaulyje ftalatų gamybos keikis intensyviai didėjo. Pavyzdžiui, vieno iš plačiai naudojamų ftalatų – dietilheksilftalato (toliau – DEHP) kiekiai: 1980 m. buvo 2 mln. t, o 2000 – 5,5 mln. t. Identifikavus galimą kelią grėsmę įvesti ribojimai nulėmė šio ftalato kiekio mažėjimą iki 2 mln. t 2014 m. (Zolfaghari ir kt., 2014). Bendros DEHP gamybos apimtys išlieka nepakitę iki šiolei. ES 2013 m. pradėti taikyti griežti ribojimai galimam ftalatų kiekiui gaminyje priklausomai nuo produkto rūšies ir pritaikymo (ES direktyva 2013/39/ES).

Dėl savo fizikinių ir cheminių savybių ftalatai nėra „įtvirtinti“ plastiko polimero matricoje, pasižymi hidrofobiškumu, todėl kontakto su vandeniu metu yra išplaunami iš produkto ir patenka į gamtinę aplinką. Ftalatams yra būdingas lėtas skaidumas, dėl to pastarieji linkę akumuliuotis vandens telkinių dumblyje, dirvožemyje. Taip jie patenka į mitybos grandinę, kurioje vyksta judėjimas į aukštesnius trofinius lygius (Xiqiang, Zheng ir kt. 2023).

Ftalatai priskiriami prioritetiniams teršalams dėl jų sukeliamos neigiamos įtakos žmonių ir kitų gyvūnų sveikatai. Pagrindiniai išskiriami neigiami poveikiai: endokrininės sistemos sutrikdymas, kancerogeninis ir imunotoksinis poveikis, reprodukcinė ir vystymosi toksikologija, metaboliniai ir sisteminiai sutrikimai. Tyrimais nustatyta jų įtaka prostatos, krūties vėžio rizikos padidėjimui, vaikų vystymuisi ir raidai, reprodukcijos sutrikimams (Luchen Yang ir kt. 2024).

Tiesiogiai arba kartu su bendru nuotekų srautu ftalatai nukeliauja iki nuotekų valyklų (toliau – NV). Ftalatų šalinimas vyksta visose nuotekų valymo etapuose. Nešmenų, smėlio atskyrimas, pirminiais nusodinimas ir koaguliacija (pirminis valymas) paprastai pašalina iš nuotekų 7,6–20,0 % ftalatų. Ftalatai pašalinami kartu su sulaikytomis stambesnėmis dalelėmis ir/ar gravitacinio nusodinimo metu, biologinio valymo grandyje didžioji dalis (83 %) adsorbuojami į veikliojo dumblo dribsnius, o reikšmingai mažesnė (apie 17 %) oksiduojama aerobinėmis sąlygomis (Sanna K. Marttinena ir kt., 2003). Tradicinėse NV tik santykinai maža dalis ftalatų yra suskaidoma, kai, tuo tarpu, didžioji dalis tiesiog perkeliama į kitą terpę, iš kurios jie gali vėl grįžti į valomas nuotekas (pirminio, perteklinio veikliojo dumblo tvarkymas – sausinimas). Atlikti mokslininkų tyrimai rodo, kad ftalatai gali būti oksiduojami aerobinėmis sąlygomis, tačiau įprastinėmis anaerobinėmis sąlygomis skaidymas visiškai nevyksta, išskyrus anaerobinius procesus, vykstančius apdorojant dumblą mezofilinėmis sąlygomis (Zolfaghari ir kt., 2014), todėl galima teigti, kad šiuo metu taikomos nuotekų valymo technologijos neužtikrina pakankamo ftalatų pašalinimo: nesuskaidyti teršalai kartu su valytais nuotekomis patenka į vandens telkinius, o su nuotekų dumblyje – į dirvožemį (naudojant tręšimui) (En Qi Lim ir kt., 2023).

Būtina, taikomuose NV, padidinti ftalatų pašalinimo efektyvumą ir taip sumažinti bendrą į aplinką išleidžiamą teršalų kiekį bei daromą neigiamą įtaką aplinkai. Pasaulinėje praktikoje vis didesnis dėmesys skiriamas ketvirtinio nuotekų valymo technologijoms, skirtoms pašalinti mikroteršalus – ftalatus, farmacijos preparatus, PFAS ir kt. (Jawad H. Al-Rifaia, 2010).

Išskiriamos keturios pagrindinės ketvirtinio nuotekų valymo technologijos: nano filtracija (toliau – NF), atvirkštinė osmozė (toliau – RO), pažangi oksidacija su ultravioletine spinduliuote (toliau – AO+UV) ir adsorbicija, naudojant adsorbuojančiuosius sorbentus (pvz., granuliuotą aktyvintą anglį (AGAC) ir kt.). Kiekvienai technologijai būdingi saviti privalumai ir trūkumai, susiję su pritaikomumu, ekonominiais

rodikliais (įrengimas, priežiūra) ir efektyvumu, kuriems būtinas kompleksinis vertinimas (Becky Miriyam ir kt., 2022).

Tyrimų metodika

Taikomos ketvirtinio nuotekų valymo technologijos skiriasi savo veikimo principais, pirminiais (įrangos) ir eksploatacijos kaštais, teršalų šalinimo efektyvumu, šalutinių produktų ir / ar atliekų susidarymu, kitais parametrais. Numatant konkretų sprendinį – taikytiną technologinį procesą, būtina atlikti detalią analizę, kurios rezultatai leistų priimti racionalų sprendimą.

Šiame tyrime nagrinėtos šios ketvirtinio nuotekų valymo technologijos:

- nano filtracija (NF);
- atvirkštinė osmozė (RO);
- pažangi oksidacija su ultravioletine spinduliuote (AO+UV);
- adsorbcija (įkrova – granuliota aktyvinta anglis) (AGAC).

Nustatytos penkios pagrindinės nagrinėjamų technologijų lygintinų parametų grupės:

- teršalų šalinimo efektyvumas;
- įrangos kaina (pirminiai kaštai);
- einamosios eksploatacijos išlaidos (elektros energija, cheminiai reagentai ir kt.);
- periodinės eksploatacinės išlaidos (besidėvinčios įrangos periodinė priežiūra, keitimas);
- ploto poreikis įrangos montavimui / įdiegimui.

Lyginamų ekonominių rodiklių objektyvumui, nustatytos santykinės reikšmės: kaštai vienam kubiniam metrui nuotekų (€/m³) išvalyti, ploto poreikiui – kvadratiniai metrai vienam kubiniam metrui nuotekų (m²/m³). Vertinamas NVĮ našumas – 100000 m³/d.

Kiekvienos parametų grupės parametų išaiškinimai pateikti 1 lentelėje.

1 lentelė. Nagrinėjamų parametų grupės ir jų detalizacija

Table 1. Groups of parameters under consideration

Parametras <i>Parameter</i>	Technologija <i>Technology</i>			
	Nano filtracija (NF) <i>Nanofiltration</i>	Atvirkštinė osmozė (RO) <i>Reverse osmosis</i>	Pažangi oksidacija su ultravioletine spinduliuote (AO+UV) <i>Advanced oxidation with ultraviolet radiation</i>	Adsorbcija (įkrova – granuliota aktyvinta anglis) (AGAC) <i>Adsorption (load – granular activated carbon)</i>
Teršalų šalinimo efektyvumas, % <i>Removal efficiency, %</i>	80–95	95–99	80–95	70–90
Įrangos kaina, Eur. <i>Equipment price, Eur</i>	Membranų moduliai su būtina periferine įranga	Membranų moduliai su būtina periferine įranga	Technologinė įranga su būtina periferine įranga	Technologinė įranga su būtina periferine įranga
Einamosios eksploatacijos išlaidos, Eur <i>Operating costs, Eur</i>	Elektros energija	Elektros energija	Elektros energija, cheminės medžiagos	Elektros energija
Periodinės eksploatacinės išlaidos, Eur <i>Periodic operating costs, Eur</i>	Membranų keitimas	Membranų keitimas	UV lempų priežiūra / keitimas	Įkrovos keitimas
Ploto poreikis įrangai, m ² <i>Footprint, m²</i>	Technologinei įrangai	Technologinei įrangai	Technologinei įrangai	Kontaktiniai filtraciniai rezervuarai

Atliekama daugiakriterinė analizė, pagal pasirinktus rodiklius. Visi rodikliai lyginami juos normalizavus

1) kaštams, vietos poreikiui taikoma priklausomybė:

$$r_{ij} = \frac{\min(x_j)}{x_{ij}}, \quad (1)$$

čia r – normalizuota vertė;
 i – technologija;
 j – lyginamasis parametras;
 x – atitinkamo parametro skaitinė vertė.

2) teršalų šalinimo efektyvumui taikoma priklausomybė:

$$r_{ij} = \frac{x_j}{\max(x_j)}, \quad (2)$$

čia r – normalizuota vertė;
 i – technologija;
 j – lyginamas parametras;
 x – atitinkamo parametro skaitinė vertė.

3) kiekvienai normalizuotai vertei priskiriamas svartinis koeficientas.

2 lentelė. Lyginamųjų parametų svartiniai koeficientai

Table 2. Weight coefficients

Nagrinėjamų technologijų lygintinų parametų grupės <i>Groups of comparable parameters of the technologies under consideration</i>	Koeficientas <i>Coefficient</i>
Teršalų šalinimo efektyvumas, % <i>Removal efficiency, %</i>	0,2
Įrangos kaina, Eur <i>Equipment price, Eur</i>	0,25
Einamosios eksploatacijos išlaidos, Eur <i>Operating costs, Eur</i>	0,2
Periodinės eksploatacinės išlaidos, Eur <i>Periodic operating costs, Eur</i>	0,3
Ploto poreikis įrangai, m ² <i>Footprint, m²</i>	0,05
Σ:	1,0

Nustatomas galutinis vertinamų technologijų suminis vertinamasis balas:

$$S_i = \sum_{j=1}^m w_j \times r_{ij} \quad (3)$$

čia S – suminis balas;
 i – technologija;
 j – lyginamas parametras;
 w – svartinis koeficientas.

4) atliekamas galutinių suminių balų reitingavimas – aukštesnį balą surenkanti technologija laikoma pranašesne alternatyva.

Rezultatai ir aptarimas

Pagal aukščiau pateiktą metodiką atlikti skaičiavimai: lyginamųjų technologijų nagrinėjamų parametų normalizuotų verčių ir suminių balų nustatymui, duomenys ir rezultatai pateikti 3–4 lentelėse, 1 ir 2 paveiksluose.

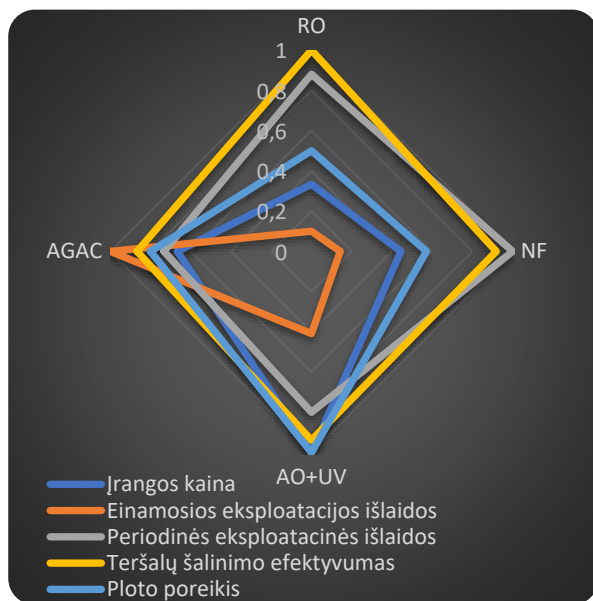
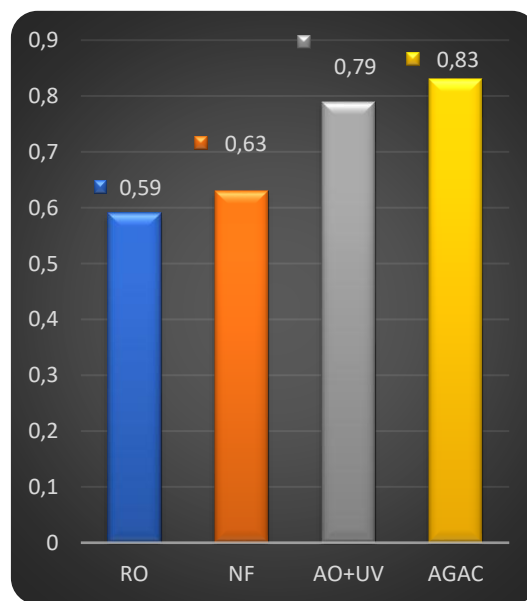
3 lentelė. Lyginamųjų parametų suvestinės vertės

Table 3. Comparative parameters

Technologija <i>Technology</i>	Įrangos kaina, (Eur/m³) <i>Equipment price, (Eur/m³)</i>	Einamosios eksploatacijos išlaidos, Eur /m³ <i>Operating costs, (Eur /m³)</i>	Periodinės eksploatacinės išlaidos, Eur/m³ <i>Periodic operating costs, (Eur /m³)</i>	Teršalų šalinimo efektyvumas, % <i>Removal efficiency, %</i>	Ploto poreikis, m²/m³ <i>Footprint, m²/m³</i>
RO	600	0,9	0,5	98	0,04
NF	450	0,63	0,44	90	0,035
AO+UV	200	0,22	0,55	92	0,02
AGAC	300	0,09	0,6	85	0,025

4 lentelė. Lyginamųjų parametrų normalizuotos vertės ir suminis balas*Table 4. Normalized values and final score*

Technologija <i>Technology</i>	Įrangos kaina <i>Equipment price</i>	Einamosios eksploatacijos išlaidos <i>Operating costs</i>	Periodinės eksploatacinės išlaidos <i>Periodic operating costs</i>	Teršalų šalinimo efektyvumas <i>Removal efficiency</i>	Ploto poreikis <i>Footprint</i>	Suminis balas <i>Total score</i>
RO	0,33	0,1	0,88	1,0	0,5	0,59
NF	0,44	0,14	1,0	0,92	0,57	0,63
AO+UV	1,0	0,41	0,8	0,94	1,0	0,79
AGAC	0,66	1,0	0,73	0,87	0,8	0,83

**1 pav.** Normalizuotų verčių palyginimas*Fig. 1. Comparison of normalized values***2 pav.** Suminių balų palyginimas*Fig. 2. Comparison of total scores*

Remiantis atliktos analizės rezultatais, aukščiausią balą (0,83) surinko adsorbcijos procesu paremta technologija, antroje pozicijoje – oksidacija su UV spinduliuote (0,79), trečiojoje ir ketvirtojoje pozicijose – nano filtracija bei atvirkštinė osmozė, atitinkamai 0,63 ir 0,59 balo.

Išvados

1. Aukščiausią balą surinko adsorbcija paremta ketvirtinio nuotekų valymo technologija, tai lėmė konkurencinga įrangos kaina, santykinai nedidelės eksploatacijos išlaidos bei geras teršalų šalinimo efektyvumas. Mažiausią balą surinko atvirkštinės osmozės technologinis procesas dėl aukštos įrengimo kainos, brangios eksploatacijos, nors teršalų pašalinimo aspektu ši technologija yra pranašiausia.
2. Skirtingų technologijų sąnaudų dedamosios ir jų skaitinės išraiškos tiesiogiai priklauso nuo teršalų šalinimo principo. Reikia skirtingų išteklių (elektros energija, įkrovos ir kt.) arba specifinės įrangos.
3. Renkantis technologiją konkrečiam objektui, būtina įvertinti kiekvienai technologijai būtinų išteklių (elektros energija, cheminiai reagentai, įkrovos ir kt.) prieinamumą bei kainas.
4. Atlikta analizė rodo, kad kiekviena technologija turi savitų pranašumų ir trūkumų, būtinas tolimesnis technologijų nagrinėjimas ir analizės, siekiant atrasti naujas technologijų kombinacijas arba patobulinimus bei norint optimizuoti kaštus ir pasiekti maksimalų teršalų pašalinimo efektyvumą.

Literatūra

1. Zolfaghari, M., Drogui, P., Seyhi, B., Brar, S.K., Buelna, G., Dube, R. (2014). Occurrence, fate and effects of Di (2-ethylhexyl) phthalate in wastewater treatment plants: A review. *Environ Pollut*, 194, 281–293.
2. Europos parlamento ir tarybos direktyva 2013/39/ES. (2013)
3. Xiqiang Zheng, Guanghua Lu, Jianchao Liu, Runren Jiang (2023). Phthalate esters in municipal sewage treatment plants: occurrence level, removal rate and optimum combination technology. *Front. Environ. Eng.*, 2.

4. Luchen Yang, Xiaoyang Liu, Zhufeng Peng, Zhenghuan Liu, Pan Song, Jing Zhou, Kai Ma, Yunfei Yu and Qiang Dong (2024). Exposure to di-2-ethylhexyl phthalate (DEHP) increases the risk of cancer. *BMC*, 24(430).
5. Becky Miriyam, I. , Anbalagan, K., Magesh Kumar, M. (2022). Phthalates removal from wastewater by different methods. *Water Sci Technol*, 85(9), 2581–2600.
6. Jawad H. Al-Rifaia, Hadi Khabbazzb, and Andrea I. Schäfer (2010). Removal of Pharmaceuticals and Endocrine Disrupting Compounds in a Waste Recycling Process using Reverse Osmosis Systems. *Separation and Purification Technology*, 77(1).
7. Sanna K. Martinena, Riitta H. Kettunenb, Kai M. Sormunena, Jukka A. Rintalaa (2003). Removal of bis(2-ethylhexyl) phthalate at a sewage treatment plant. *Water Research*, 37(6), 1385–1393.
8. En Qi Lim, Mei Qun Seah, Woei Jye Lau, Hasrinah Hasbullah, Pei Sean Goh, Ahmad Fauzi Ismail ir Daryoush Emadzadeh (2023). Evaluation of Surface Properties and Separation Performance of NF and RO Membranes for Phthalates Removal. *Membranes (Basel)*, 13(4), 413.

Tadas Drabavičius, Algirdas Radzevičius

Analysis of the Effectiveness of Quarterly Wastewater Treatment Technologies in Removing Phthalates

Vytautas Magnus University, Lithuania

The article focuses on one of the priority pollutants – phthalates – their sources, and the consequences they cause, including harm to human and other living organisms' health, as well as their impact on the environment. Advanced quaternary wastewater treatment technologies applied in practice are analyzed in order to determine their advantages and disadvantages, enabling the selection of the most appropriate option under specific conditions. A multicriteria analysis covering efficiency and cost indicators was performed, the results of which allow for a balanced evaluation of the implementation possibilities of different technologies.

Keywords: Phthalate removal, filtration, oxidation, adsorption.

Gauta 2026 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2026 m. balandžio mėn.

Tadas Drabavičius Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Inžinerijos fakulteto Vandens inžinerijos katedros doktorantas. Adresas: Sėkmės g. 43, LT-14335 Didieji Gulbinai, Vilniaus r., tel. +370 62576775, el. paštas: tadas.drabavicius@vdu.lt

Tadas Drabavičius Vytautas Magnus University, Faculty of Engineering, Department of Water Engineering, PhD student. Address: Sėkmės g. 43, LT-14335 Didieji Gulbinai, Vilniaus r., tel. +370 62576775, el. paštas: 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 37 752393, 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 37 752393, e-mail: algirdas.radzevicius@vdu.lt

APLINKA IR SVEIKATA
ENVIRONMENT AND HEALTH

VAISTININKAS PROF. DR. KAZIMIERAS GRYBAUSKAS – TARPDISCIPLININĖS VAISTINIŲ AUGALŲ MOKSLO IR STUDIJŲ VEIKLOS PRADININKAS VDU BOTANIKOS SODE IR MEDICINOS FAKULTETE

Ona Ragažinskienė¹, Sonata Trumbeckaitė², Tauras Antanas Mekas²

¹Vytauto Didžiojo universiteto Botanikos sodas, ²Lietuvos sveikatos mokslų universitetas

Vaistininkas prof. dr. Kazimieras Grybauskas (1886–1953) – profesionalus farmakognostas – vaistinių augalų tyrėjas ir vaistažolininkystės pradininkas Lietuvoje. Nuo 1924 m. mokslininkas vaistinių augalų farmakognostinių, cheminių, biologinių, morfologinių ir anatominių savybių tyrimus vykdė Lietuvos universiteto (dabar Vytauto Didžiojo universiteto) Botanikos sodo Vaistinių augalų skyriuje, o studijas – Medicinos fakulteto Farmacijos skyriuje.

Perspektyvių vaistinių, prieskoninių (aromatinių) augalų rūšių introdukcija ir aklimatizacija – atrenkant iš įvairių geografinių regionų, gausinant ir saugant *ex situ* nacionalinių genetinių išteklių įvairovę lauko kolekcijose Vidurio Lietuvoje, Kaune, Fredoje, pradėta 1924 m. ir plėtojama iki šiol.

Šių tyrimų tikslas – atskleisti ir įvertinti prof. dr. Kazimiero Grybausko mokslinę ir studijų veiklą 1924–1953 metais, kuriant vaistinių augalų skyrių VDU Botanikos sode ir organizuojant studijas – Medicinos fakulteto Farmacijos skyriuje. Tyrimo objektas: prof. dr. Kazimiero Grybausko mokslinės, praktinės ir studijų veiklos rezultatai Vytauto Didžiojo universiteto Botanikos sodo Vaistinių augalų skyriuje ir Medicinos fakulteto Farmacijos skyriuje.

Raktiniai žodžiai: prof. dr. Kazimieras Grybauskas, vaistiniai augalai, mokslinė, studijų veikla.

Įvadas

Prieš 140 metų (1886.08.20) Švenčionių apskrityje, Dotenėnų kaime, gimė Kazimieras Grybauskas – vaistininkas, profesionalus farmakognostas – vaistinių augalų tyrėjas ir vaistažolininkystės pradininkas Lietuvoje. Minint prof. dr. Kazimiero Grybausko 140-ųjų gimimo metų jubiliejų, reiškiame pagarbą ir dėmesį jo indėliui mokslinės, praktinės veiklos bei studijų organizavimo darbams, tiriant vietinės floros ir introdukuojamus vaistinius, techninius (paprastąjį apynį) augalus bei vystant vaistažolininkystę Lietuvoje (Janulis, Pužienė, 1996).

1924 m. K. Grybauskas pradėjo dirbti Lietuvos universiteto Botanikos sode. Jis buvo paskirtas Lietuvos universiteto Matematikos–gamtos fakulteto gamtos muziejaus vyresnioju laborantu, įkūrė Botanikos sode Vaistinių augalų skyrių (Pužienė, Janulis, 1996).

Nuo 1930 m. K. Grybauskas, be mokslinės veiklos, vykdė ir pedagoginį darbą Lietuvos universiteto Medicinos fakulteto farmacijos skyriuje. 1940 m. jam buvo suteiktas docento vardas. 1944–1953 m. buvo paskirtas Medicinos fakulteto Botanikos ir farmakognozijos katedros vedėju, jam suteiktas pedagoginis profesoriaus vardas (Klimavičiūtė, 2002).

Tyrimo objektas – prof. Kazimiero Grybausko mokslinės, praktinės ir studijų veiklos rezultatai VDU Botanikos sodo Vaistinių augalų skyriuje ir Medicinos fakulteto Farmacijos skyriuje.

Tyrimo tikslas – atskleisti ir įvertinti prof. Kazimiero Grybausko mokslinę ir studijų veiklą 1924–1953 metais, kuriant vaistinių augalų skyrių VDU Botanikos sode ir organizuojant studijas – Medicinos fakulteto Farmacijos skyriuje.

Tyrimų metodika

Šis tyrimas atliktas teorinės analizės metodu.

Rezultatai ir aptarimas

Vaistinių augalų skyriaus įkūrėjas Vytauto Didžiojo universiteto Kauno botanikos sode

Kazimieras Grybauskas 1919 m., baigęs Maskvos universitetą, įgijo vaistininko specialybę. Be to, jis dirbo įvairiose vaistinėse, kartu domėdamasis vaistiniais augalais ir įgydamas daug vertingų žinių šioje srityje.

Prof. dr. Konstantinas Regelis, pastebėjęs ir įvertinęs jo talentą vaistinių augalų pažinimo ir tyrimų srityje, pakvietė jį dirbti į Lietuvos universitetą. 1924 m. Kazimieras Grybauskas pradėjo dirbti Lietuvos universiteto Botanikos sode. Jis buvo paskirtas Lietuvos universiteto Matematikos–gamtos fakulteto Gamtos muziejaus vyresnioju laborantu ir Botanikos sode įkūrė Vaistinių augalų skyrių.

Darbo pradžia buvo sunki: Vaistinių augalų skyriui įkurti nebuvo nei lėšų, nei etatų, nei darbo įrankių, nei patalpų, tačiau jis šį darbą atliko su pasiaukojimu, dideliu entuziazmu ir atsidavimu (Grybauskas, 1927).

Nuo 1924 metų – tarpukariu, Lietuvos Nepriklausomybės laikotarpiu, būdamas tyrinėjimų mokslinis vadovas, pradėjo naują vaistinių augalų mokslinių tyrinėjimų kryptį – perspektyvių vaistinių augalų introdukciją ir jų aklimatizaciją Lietuvos sąlygomis (Grybauskas, 1954).

Jo darbuose apibendrinti paprastojo apynio 24 veislių, introdukuotų iš Vakarų Europos, tyrimų duomenys ir ištirtos bei atrinktos penkios perspektyvios paprastojo apynio veislės auginimui Lietuvos sąlygomis (Grybauskas, 1936). Šių apynių žaliava buvo naudojama farmacijoje ir maisto pramonėje (Grybauskas, 1927).

Prof. Kazimieras Grybauskas nuo 1940 m. buvo paskirtas Vytauto Didžiojo universiteto botanikos sodo direktoriumi. Antrojo pasaulinio karo metais, Vytauto Didžiojo universiteto Botanikos sode, susidarė ekstremalios mokslinės ir praktinės veiklos sąlygos, todėl sunyko ir nuskurdo daugelis augalų. Be to, dalis Botanikos sodo bandymų sklypų ir Oranžerija buvo minuojamas. Prof. dr. Kazimieras Grybauskas, diskutuodamas su kareiviais, išsaugojo Vytauto Didžiojo universiteto Botanikos sodą nuo sunaikinimo (Zemnickas, 2011). K. Grybauskui pavyko įtikinti karinės vadovybės atstovus, kad vaistiniai augalai galės kompensuoti vaistų stygių armijai (Pužienė, 1996). Vaistinių augalų skyrius, anksčiau užėmęs 1,5 ha plotą, 1943 m. buvo išplėstas iki 6 ha, o 1944 m. planuotas vaistinių augalų auginimas 25–30 ha plote. Tiriamų vaistinių augalų rūšių ir veislių skaičius didėjo: 1927 m. jų buvo 78, o 1938 m. – 200. Plėtėsi ir tyrimų apimtys – vaistinių augalų pradiniai tyrimai buvo vykdomi ne tik bandymų plotuose ir augalų kolekcijose, laboratorijoje atliekant vaistinės augalinės žaliavos cheminę analizę. Prof. K. Grybauskas daug dėmesio skyrė augalams, kuriuose kaupiasi eteriniai aliejai. Jis spausdino mokslo populiarinimo straipsnius apie augalų, kuriuose kaupiasi eteriniai aliejai, auginimo naudą. Norėdamas sudominti vaistinių augalų augintojus ir vaistinės augalinės žaliavos perdirbėjus (Grybauskas, 1935; Grybauskas 1926; Grybauskas, 1936; Grybauskas, 1946; Grybauskas, 1954; Grybauskas, 1961; Pužienė, 1996). Jis modernizavo ir patobulino įrangą vaistinių ramunių žiedams rinkti, įvertindamas ekonominę naudą. Prof. dr. Kazimiero Grybausko mokslinio darbo rezultatas – 1942 m. apginta biologijos mokslų daktaro disertacija „Fenologinis žiedadulkių kritulių spektras“ ir parengtas žiedadulkių albumas (Grybauskas, 1941; Pužienė, 1996).

Mokslinės vaistažolininkystės iniciatorius Lietuvoje

Prof. dr. Kazimieras Grybauskas neapsiribojo vadovavimo Vytauto Didžiojo universiteto Botanikos sodo Vaistinių augalų skyriui darbais ir jis Lietuvos mastu pradėjo spręsti naują – vaistinės augalinės žaliavos paruošų ir panaudojimo galimybių paieškų – problemą. Mokslininko darbo tikslas – pasitelkus Lietuvos gyventojus išauginti vaistinių augalų ir paruošti reikiamą žaliavų kiekį ne tik Lietuvos vaistinėms ir kompanijoms, bet ir eksportui į užsienį (Botanikos institutas, 1989). 1934 m. K. Grybausko pastangomis Lietuva įstojo į Tarptautinę vaistinių augalų federaciją ir šešis kartus atstovavo Lietuvai tos federacijos tarptautiniuose kongresuose (1928 m. Budapešte, 1931 m. Paryžiuje, 1935 m. Briuselyje, 1936 m. Miunchene, 1937 m. Paryžiuje, 1938 m. Prahoje), kur buvo skaitomi pranešimai apie Lietuvoje augančius vaistinius augalus. Pažymėtina, kad K. Grybausko pastangomis Briuselyje organizuoto kongreso metu vykusioje parodoje galėjo dalyvauti ir Lietuvos farmacijos pramonės atstovai – akcinės bendrovės „GerMa Po“, „Sanitas“, „Galen“ (Stonkutė-Žukienė, Kostiukevičius, 1998). 1935 m. lietuviškos vaistinės augalinės žaliavos buvo eksponuotos tarptautinėje Briuselio parodoje ir net pelnė aukso diplomą. Sprendžiami vaistinės augalinės žaliavos paruošimo ir realizavimo klausimai, nuolatiniai kontaktai su mokslo ir prekybos atstovais Lietuvoje ir užsienyje turėjo didelės reikšmės plečiant vaistinių augalų auginimą, vaistinės augalinės žaliavos paruošimą ir eksporto galimybes (Pužienė, 1996). K. Grybauskas savo žinias ir tyrimų duomenis apie vaistinius augalus, mokslinius darbus skelbė periodinėje spaudoje ir leidiniuose. Per 1924–1949 metų mokslinių tyrinėjimų laikotarpį buvo spausdinama „Ūkininko patarėjyje“, „Ūkininke“, „Mūsų rytojuje“, „Kosmose“. 54-iose „Farmacijos žinių“ numeriuose aprašytos 46 vaistinių augalų rūšys. Iš viso tuo laikotarpiu išspausdinta 230 straipsnių (Stonkutė-Žukienė, 1998). Išleista 17 leidinių. 1927 m. pirmasis leidinys „Vaistingieji Lietuvos laukų augalai ir jų pritaikymas“, 1941 m. kartu su J. Movšovičiumi „Lietuvos vaistingųjų augalų sąrašas“ – labai vertinga knyga, kurios Lietuvoje liko tik keliolika egzempliorių, – tai bibliografinė retenybė. Iš viso jis parašė ir buvo publikuota 230 straipsnių ir 17 atskirų leidinių (Ragažinskienė, 2009). Iki šiol K. Grybausko darbai yra vaistažolininkystės mokslo koncepcijos kūrimo ir vaistažolininkystės vystymo Lietuvoje pagrindas.

Pedagoginė veikla

Nuo 1930 m. K. Grybauskas, be mokslinės veiklos, vykdė studijas Lietuvos universiteto Medicinos fakulteto farmacijos skyriaus farmacininkams studentams. Vadovavo augalų sistematikos laboratoriniams darbams. e. 1940 m., įvertinus jo mokslinį darbą ir praktinę veiklą vaistinių augalų tyrimo srityje, buvo suteiktas docento vardas. Tais pačiais metais jis pradėjo skaityti farmakognozijos paskaitas. 1944–1953 m. K. Grybauskas buvo paskirtas Medicinos fakulteto Botanikos ir farmakognozijos katedros vedėju, jam suteiktas pedagoginis profesoriaus vardas. Profesorius skaitė farmakognozijos ir augalų sistematikos paskaitas studentams farmacininkams. Jo paskaitos buvo turiningos ir įdomios ne tik mokslinėmis žiniomis, bet ir praktinių žinių gausumu bei didele meile gamtai. Pradėjęs pedagoginę veiklą, K. Grybauskas siekė šio darbo

metodinio gerinimo. Parengė išsamų farmakognozijos disciplinos dėstymo planą, tačiau nepavyko iki galo jo įgyvendinti. Su bendradarbiais nuolat tobulino farmakognozijos ir augalų sistematikos disciplinų laboratorinius darbus, tam panaudodamas naujas vaistinių augalų tyrimo metodikas. Per paskaitas ir praktikos darbus studentams pristatydavo naujausius laimėjimus vaistinių augalų tyrimo srityje. Profesorius paskaitų, laboratorinių darbų ir ypač neužmirštamų išvykų į gamtą metu kartu su žiniomis apie vaistinius augalus perteikdavo gamtos meilę ir norą pažinti bei domėtis augalais. Profesorius buvo floristinių ekskursijų po Lietuvą iniciatorius. Pirmąją ekskursiją jis organizavo 1951 m., kurioje dalyvavo profesoriai P. Snarskis, J. Dagys bei grupė gamtininkų. Prof. K. Grybauskas buvo pirmasis Lietuvos botanikų draugijos ir ilgametis Farmacininkų draugijos pirmininkas (Ragažinskienė, 2009). Profesoriaus, biologijos mokslų daktaro K. Grybausko vaistinių augalų tyrimai įamžino jo vardą Lietuvos mokslo istorijoje. Jis minimas farmakognostų, farmacininkų, botanikų ir kitų gamtos tyrėjų darbuose. Dabar jo mokslinių darbų tęstinumą pagrindžia išsaugoti ir puoselėjami šilti, dalykiški tarpdisciplininiai ryšiai ir veikla VDU Kauno botanikos sodo Vaistinių augalų mokslo sektoriaus ir Lietuvos sveikatos mokslo universiteto Farmacijos fakulteto mokslininkų, vykdant kompleksinius vaistinių augalų tyrimus ir studijas.

Išvada

Minint prof. dr. Kazimiero Grybausko 140-ųjų gimimo metinių jubiliejų, išreikšta pagarba ir atliktas jo mokslinės, praktinės veiklos bei studijų organizavimo darbų įvertinimas, tiriant vietinės floros ir introdukuojamus vaistinius, techninius (paprastąjį apynį) augalus bei vystant vaistažolininkystės mokslinę koncepciją Lietuvoje.

Literatūra

1. Botanikos institutas. (1989). *Botanikos institutas 1959–1989 = Institute of Botany 1959–1989*. Vilnius.
2. Grybauskas, G. (1935). *Vaistingieji Lietuvos augalai*. II d. Kultūriniai augalai. Kaunas.
3. Grybauskas, K. (1926). *Peletrūnas oželinis (Valeriana officinalis L.)*. Kaunas.
4. Grybauskas, K. (1927). *Pipirmėtė*. Kaunas.
5. Grybauskas, K. (1927). *Vaistingieji Lietuvos laukų augalai ir jų pritaikymas*. Id. Kaunas.
6. Grybauskas, K. (1936). *Kultūriniai apyniai ir jų auginimas*. Kaunas.
7. Grybauskas, K. (1946). *Lietuvos TSR miškų sumedėję vaistingieji augalai*. Kaunas.
8. Grybauskas, K. (1946). *Lietuvos TSR vaistingosios daržovės*. Kaunas.
9. Grybauskas, K. (1954). Vaistingųjų augalų auginimas ir atranka LTSR Mokslų akademijos Botanikos sode. *Lietuvos TSR Mokslų akademijos Biologijos instituto darbai*, 2, 123–149.
10. Grybauskas, K., Gudanavičius, S. (1961). Lietuvos TSR kai kurių pipirmėčių veislių tyrimų duomenys. *Straipsnių rinkinys*, 1, 203–212.
11. Klimavičiūtė, J. (2002). *Botanikos mokslo raida Lietuvoje 1919–1943 m.* Vilnius.
12. Pužienė, G., Janulis, V. (1996). Profesorius K. Grybauskas – mokslininkas, vaistinių augalų tyrinėtojas. *Naujausi pasiekimai vaistinių augalų tyrimo srityje: KMA ir VDU Kauno botanikos sodo konferencijos, skirtos prof. K. Grybausko 110-ųjų metinių minėjimui, medžiaga*, 3–6. Kaunas.
13. Ragažinskienė, O. (2009). *Introdukuojamų vaistinių prieskoninių augalų biologinių savybių įvertinimas ir atranka farmacijos bei vaistažolininkystės plėtrai Lietuvoje: habilitacijos procedūrai teikiamų mokslo darbų apžvalga*. Kaunas.
14. Zemnickas G. (2011). Iš Dotenėnų ir Alionių – į platų mokslo kelią. „Mokslo Lietuvos“ straipsniai (2011). 2011 m. lapkričio 24 d. Nr. 20 (464): <https://www.mokslasplius.lt/mokslo-lietuva/2006-2011/node/4090.html>
15. Grybauskas, K. (1941). Fenologinis žiedadulkių kritulių spektras (The phonological spectrum of farina fall). *Vilniaus universiteto Matematikos ir gamtos fakulteto darbai*, 1(7), 1.
16. Janulis, V., Pužienė, G. (1996). K. Grybauskas – mokslininkas ir pedagogas. *Medicinos teorija ir praktika*, 4, 37.
17. Stonkutė-Žukienė, R., Kostiukevičius, A. (1998). *Lietuvos farmacija. Žymiausi Lietuvos farmacininkai*. T. I, 61–63.

Ona Ragažinskienė¹, Sonata Trumbeckaitė², Tauras Antanas Mekas²

Prof. dr. Kazimieras Grybauskas – the Pioneer of Medicinal Plant Science and Studies at the VMU Botanical Garden and Faculty of Medicine

¹Vytautas Magnus University, Lithuania, ²Lithuanian University of Health Sciences, Lithuania

Pharmacist prof. dr. Kazimieras Grybauskas (1886–1953) – professional pharmacognost – researcher of medicinal plants and pioneer of herbalism in Lithuania. Since 1924, the scientist conducted research on the pharmacognostic, chemical, biological, morphological and anatomical properties of medicinal plants at the Department of Medicinal Plants of the Botanical Garden of the University of Lithuania (now Vytautas Magnus University), and his studies – at the Department of Pharmacy of the Faculty of Medicine.

Introduction and acclimatization of promising medicinal, spice (aromatic) plant species – by selecting from various geographical regions, enriching and preserving the diversity of ex situ national genetic resources in field collections in Central Lithuania, Kaunas, Freda, began in 1924 and is being developed to this day.

The aim of these studies – to reveal and evaluate prof. dr. Kazimieras Grybauskas' scientific and study activities in 1924–1953, when creating the Department of Medicinal Plants in the VMU Botanical Garden and organizing studies at the Department of Pharmacy of the Faculty of Medicine.

Object of the research: the results of the scientific, practical and study activities of prof. dr. Kazimieras Grybauskas in the Department of Medicinal Plants of the Vytautas Magnus University Botanical Garden and the Department of Pharmacy of the Faculty of Medicine.

Keywords: Prof. dr. Kazimieras Grybauskas, medicinal plants, scientific, study activities.

Gauta 2026 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2026 m. balandžio mėn.

Ona RAGAŽINSKIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Botanikos sodo vyresnioji mokslo darbuotoja, profesorė. Adresas: Vilties g. 6A, LT-46324, Kaunas. tel. +370 37 295287, el. paštas p.ragazinskiene@vdu.lt

Ona RAGAŽINSKIENĖ. Botanical Garden of Vytautas Magnus University, senior research worker, professor. Address: Vilties st. 6A, LT-46324, Kaunas. Phone: +370 37 295287, e-mail: ona.ragazinskiene@vdu.lt

Sonata TRUMBECKAITĖ. Lietuvos sveikatos mokslų universiteto Medicinos akademijos, Farmakognozijos katedros vedėja, profesorė. Adresas: Sukilėlių pr. 13, Kaunas, Lietuva, tel. +370 37 327 249, el. paštas: sonata.trumbeckaite@lsmu.lt

Sonata TRUMBECKAITĖ. Lithuanian University of Health Sciences, Head of the Department of Pharmacognosy, Medical Academy, professor. Adresas: Sukilėlių str. 13, Kaunas, Lietuva, Phone: +370 37 327 249, e-mail: sonata.trumbeckaite@lsmu.lt

Tauras Antanas MEKAS. Lietuvos sveikatos mokslų universiteto Lietuvos medicinos ir farmacijos istorijos muziejaus direktorius, docentas. Adresas: Sukilėlių pr. 13, Kaunas, Lietuva, tel. +370 37 327 249, el. paštas: tauras.mekas@lsmu.lt

Tauras Antanas MEKAS. Lithuanian University of Health Sciences, Director of Lithuanian Museum of the History of Medicine and Pharmacy, Associate Professor. Adresas: Sukilėlių str. 13, Kaunas, Lietuva, Phone: +370 37 327 249, e-mail: tauras.mekas@lsmu.lt

EXTRACTION OF BIOLOGICALLY ACTIVE COMPOUNDS FROM BLACK WALNUT (*JUGLANS NIGRA* L.) USING SUPERCRITICAL CO₂: ADVANTAGES AND LIMITATIONS

Dalia Urbonavičienė, Ona Ragažinskienė, Marina Sidorenko, Saulius Mickevičius, Nerijus Jurkonis

Vytautas Magnus University

This scientific article is a review that examines the potential application of supercritical CO₂ extraction for the recovery of biologically active compounds from black walnut (*Juglans nigra* L.) plant material. The extraction of biologically active compounds from *Juglans nigra* L. has attracted increasing scientific interest due to the plant's rich and diverse phytochemical composition, including phenolics, flavonoids, and other valuable constituents with potential health benefits. Based on the literature, supercritical CO₂ extraction could be as an alternative to conventional solvent-based methods to obtain high-purity extracts from *Juglans nigra* L. while preserving thermolabile compounds. The article also discussed the advantages and limitations of CO₂ extraction.

Keywords: Black walnut, extraction, advantages, limitations, supercritical CO₂.

Introduction

In recent years, the extraction of biologically active compounds from plant materials has become a central focus in food science, pharmacology, and biotechnology due to the significant therapeutic, nutritional, and functional properties of plant-derived phytochemicals (El-Saadony et al., 2025; Mungwari et al., 2025). Plant biologically active compounds such as polyphenols, flavonoids, terpenoids, and other secondary metabolites exhibit antioxidant, anti-inflammatory, antimicrobial, and potential disease-preventive activities, making them valuable for applications in functional foods, nutraceuticals, pharmaceuticals, and cosmetics (Arumugham et al., 2000; Mungwari et al., 2025). However, the extraction of biologically active compounds requires the selection of specific technologies. One of the most promising techniques is supercritical fluid extraction (SFE), particularly using supercritical carbon dioxide (SC-CO₂) (Stasiłowicz-Krzemień et al., 2024; Arumugham et al., 2020). This article will also briefly discuss the advantages and limitations of CO₂ extraction. Compared with traditional techniques, SC-CO₂ extraction offers improved efficiency, reduced environmental impact, and greater applicability across multiple industries including food processing, pharmaceuticals, and cosmetics, supporting its growing adoption in sustainable extraction research (Nozari, Kander, 2025). SC-CO₂ combines gas-like diffusivity with liquid-like solvating power, enabling selective extraction under mild and tunable conditions while preserving the integrity of thermally labile molecules and producing solvent-free, high-purity extracts (Arumugham et al., 2020; Nozari, Kander, 2025) which can be applied for extraction of plant material such as *Juglans nigra* L., commonly known as black walnut.

Recent studies have identified that among various plant species, as well *Juglans nigra* L has attracted significant attention due to its rich composition of bioactive substances. Black walnut kernels, shells, and green husks contain numerous valuable compounds such as phenolic compounds, flavonoids, tannins, fatty acids, and others. These substances exhibit various biological activities including antioxidant, antimicrobial, anti-inflammatory, and anticancer properties.

In this context, the aim of the present work is to analyze and synthesize current scientific literature addressing supercritical CO₂ extraction could be as an alternative to conventional solvent-based methods to obtain high-purity extracts from *Juglans nigra* L. while preserving thermolabile compounds. In particular, this study evaluates the advantages and limitations of CO₂ extraction.

Metodology

This study is based on a review of peer-reviewed literature retrieved from the ScienceDirect and Google Scholar databases, with a primary focus on publications released between 2016 and 2026. The review synthesizes current research on the extraction of bioactive compounds from *Juglans nigra* L. (black walnut) plant materials, emphasizing advances in green and sustainable extraction technologies such as supercritical CO₂. To provide a solid theoretical and conceptual foundation, selected earlier studies were also incorporated, offering historical context and insights into traditional extraction methods, the evolution of analytical techniques, and the development of novel approaches for improving extraction efficiency, selectivity, and extract quality.

Biologically active compounds from *Juglans nigra* L.

Juglans nigra L. (black walnut) contains a diverse array of biologically active compounds, particularly phenolic compounds and naphthoquinones, that have attracted considerable scientific interest due to their potential health benefits. Comprehensive phytochemical profiling has identified more than 160 compounds in bark, leaf, and pericarp extracts, including flavonoids (e.g., myricetin-3-O-rhamnoside, quercetin-3-O-rhamnoside, quercetin-3-O-xyloside), phenolic acids (e.g., ellagic acid, gallic acid), and the naphthoquinone juglone, which has demonstrated antiproliferative activity against human cancer cell lines in vitro at levels comparable to clinical standards (Osztie et al., 2024). In kernel tissues, 16 phenolic compounds including phenolic acids, flavonoids, and catechins have been characterised, with ellagic acid predominating, which may contribute to antioxidant and health-promoting properties (Vu et al., 2018). Phenolics such as penta-O-galloyl- β -D-glucose, epicatechin gallate, naringin, and quercetin-3- β -D-glucoside have also been reported in black walnut kernels and are associated with antioxidant, anti-inflammatory, antibacterial, and anticancer activity (Ho et al., 2020; Zhang et al., 2022). In addition to phenolics, naphthoquinones like juglone and its derivatives occur throughout the plant, especially in the green husk, and have been linked to strong anticancer, antibacterial, and antiviral activities, as well as allelopathic effects on surrounding vegetation (Zhang et al., 2022; Luan et al., 2021). The presence of other bioactive classes, such as tetralones, hydrolysable tannins, and triterpenes, further underscores the chemical complexity of *Juglans nigra* L. and its potential as a source of therapeutic agents (Osztie et al., 2024; Sharma et al., 2024). Overall, the rich phytochemical profile of *Juglans nigra* L. suggests multiple bioactivities, including antioxidant, antimicrobial, anti-inflammatory, and antitumor effects, supporting ongoing research into its application in pharmaceuticals, nutraceuticals, and functional foods. Since most of these compounds are sensitive to oxygen and temperature, a gentle extraction method is required. Supercritical CO₂ extraction represents an innovative and environmentally friendly method for obtaining biologically active compounds (Chamorro et al., 2022; Nozari, Kander, 2025). In the context of black walnut processing, supercritical CO₂ extraction offers promising opportunities for the valorization of different parts of the plant. Not only the kernels but also the shells and green husks, which are often considered agricultural waste, contain valuable biologically active compounds. Using advanced extraction technologies such as SC-CO₂ allows these by-products to be converted into valuable extracts with potential applications in medicine, cosmetics, and food preservation (Jahanban-Esfahlan et al., 2019; Chamorro et al., 2022).

Advantages and limitations of supercritical CO₂ extraction

According to the literature review, supercritical carbon dioxide extraction is based on the unique physical properties of carbon dioxide when it is above its critical temperature (31.1 °C) and critical pressure (73.8 bar). Under these conditions, CO₂ enters a supercritical state where it exhibits properties of both liquids and gases. Like a gas, it has high diffusivity and can penetrate the plant matrix effectively. At the same time, like a liquid, it has good solvating power that allows it to dissolve certain compounds. This combination makes supercritical CO₂ a highly efficient solvent for extracting bioactive compounds from plant materials (Mishra et al., 2021; Moreira et al., 2023; Yildirim et al., 2024).

A concise description and a schematic representation of supercritical CO₂ extraction are presented based on the literature analysis (Fig. 1) (adapted by Yang et al., 2026). Carbon dioxide is compressed and heated to reach the supercritical state and then passed through the plant material. The supercritical fluid dissolves target compounds such as lipids, phenolics, and other biologically active molecules. The mixture then moves into a separator where pressure is reduced. As the pressure decreases, CO₂ loses its solvating ability and the extracted compounds precipitate and are collected. The carbon dioxide can then be recycled and reused in the system (Nozari, Kander, 2025; Yang et al., 2026) (Fig. 1).

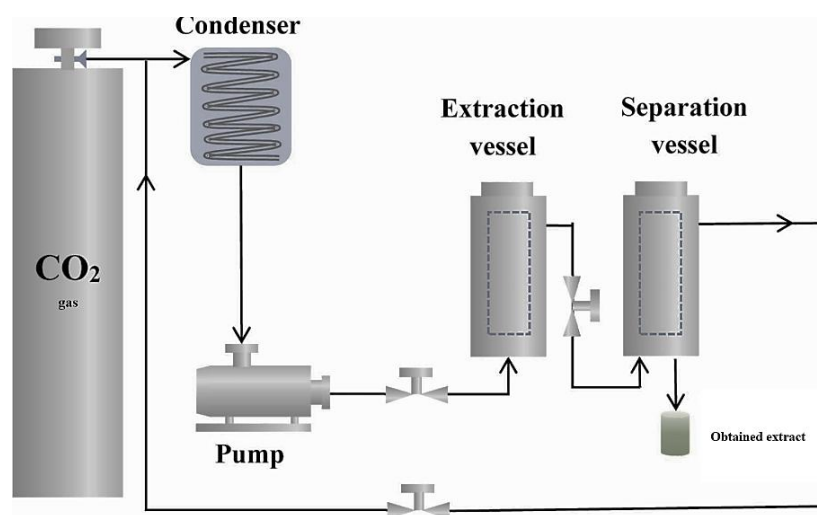


Fig. 1. Supercritical fluid extractor scheme (adapted by Yang et al., 2026)

1 pav. Superkritinio ekstraktoriaus schema (pagal Yang et al., 2026)

Therefore, the advantages and limitations of this process will be reviewed. A review of the literature has revealed that one of the main advantages of supercritical CO₂ extraction is that it is considered an environmentally friendly and “green” technology. Carbon dioxide is non-toxic, non-flammable, inexpensive, and widely available. Unlike organic solvents, it does not leave harmful residues in the final extract. This is especially important for extracts intended for food, pharmaceutical, or cosmetic applications where product purity and safety are essential. Additionally, the use of CO₂ significantly reduces the environmental impact associated with solvent disposal and chemical contamination (Table 1) (Mishra et al., 2021; Moreira et al., 2023; Stasiłowicz-Krzemień et al., 2024; Yildirim et al., 2024; Nozari, Kander, 2025; Mungwari et al., 2025; Yang et al., 2026).

Another important advantage is the relatively low extraction temperature. Many biologically active compounds present in black walnut, such as phenolic compounds and antioxidants, are sensitive to heat. Conventional extraction methods that require high temperatures can lead to degradation or loss of these compounds. Supercritical CO₂ extraction typically operates at moderate temperatures, which helps preserve the chemical structure and biological activity of thermolabile substances. The selectivity of supercritical CO₂ is also a significant benefit. By adjusting pressure and temperature conditions, researchers can modify the density and solvating power of the supercritical fluid. This allows selective extraction of specific compounds from complex plant matrices. For example, higher pressures may enhance the extraction of oils and lipophilic compounds from black walnut kernels, while different conditions may favor the isolation of other bioactive substances. In some cases, small amounts of co-solvents such as ethanol can be added to improve the extraction of more polar compounds (Moreira et al., 2023; Stasiłowicz-Krzemień et al., 2024; Yildirim et al., 2024; Mungwari et al., 2025; Yang et al., 2026).

Another advantage is the high quality and purity of the obtained extracts. When the extraction process is completed and pressure is released, carbon dioxide quickly returns to its gaseous state and separates from the extracted material without leaving solvent traces. As a result, the final product is typically solvent-free and requires minimal post-processing. This makes the extracts suitable for sensitive applications such as pharmaceuticals and functional foods. Supercritical CO₂ extraction is also relatively fast compared to many conventional methods. The enhanced mass transfer properties of the supercritical fluid allow rapid penetration into plant tissues and efficient dissolution of target compounds. As a result, extraction times are often shorter, which can increase productivity in industrial applications. Furthermore, CO₂ can be recycled within the system, reducing operational waste and improving process sustainability (Table 1) (Mishra et al., 2021; Moreira et al., 2023; Stasiłowicz-Krzemień et al., 2024; Yildirim et al., 2024; Nozari, Kander, 2025; Mungwari et al., 2025).

Table 1. Advantages and limitations of supercritical CO₂ extraction*1 lentelė. Superkritinio CO₂ ekstrakcijos privalumai ir trūkumai*

Supercritical CO ₂ extraction <i>Superkritinio CO₂ ekstrakcija</i>	
Advantages <i>Privalumai</i>	Limitations <i>Trūkumai</i>
Non-toxic and environmentally friendly solvent	High initial equipment cost
Leaves no solvent residue in the final product	Requires high pressure
Operates at relatively low temperatures, preserving heat-sensitive compounds	Complex equipment and maintenance
Selective extraction by adjusting pressure and temperature	Requires trained operators
CO ₂ is inexpensive, abundant, and recyclable	Less effective for very polar compounds without co-solvents
Produces high-purity extracts	Energy consumption due to compression
Shorter extraction times compared to some conventional methods	Scale-up can be technically challenging

Despite these significant advantages, supercritical CO₂ extraction also has several limitations. One of the main disadvantages is the high initial cost of equipment. Supercritical extraction systems require specialized high-pressure vessels, pumps, heat exchangers, and pressure control systems. These components must be designed to operate safely at high pressures, which increases the overall cost of installation and maintenance. For small laboratories or small-scale industries, these costs may be a significant barrier to adoption (Table 1) (Yıldırım et al., 2024; Yang et al., 2026).

Another limitation is the technical complexity of the process. Supercritical extraction requires precise control of pressure, temperature, and flow rates in order to achieve optimal extraction efficiency and selectivity. Operating such systems requires trained personnel and careful monitoring of process parameters. Improper control of these conditions can reduce extraction efficiency or lead to inconsistent results (Stasiłowicz-Krzemień et al., 2024; Nozari, Kander, 2025). A further disadvantage relates to the limited ability of pure CO₂ to dissolve highly polar compounds. Carbon dioxide is a relatively non-polar solvent, which means it is most effective for extracting non-polar or slightly polar substances such as oils, lipids, and certain phenolic compounds. However, strongly polar compounds present in black walnut, including some polyphenols and tannins, may not be extracted efficiently using pure CO₂ alone. To overcome this limitation, co-solvents such as ethanol are often added, which increases the complexity of the process and may require additional purification steps (Table 1) (Mishra et al., 2021; Moreira et al., 2023; Stasiłowicz-Krzemień et al., 2024; Yıldırım et al., 2024; Nozari, Kander, 2025; Mungwari et al., 2025; Yang et al., 2026).

Energy consumption can also be relatively high due to the need to maintain elevated pressures during the extraction process. Compressing CO₂ to supercritical conditions requires energy, which can increase operational costs in large-scale industrial applications. Additionally, strict safety measures are necessary when working with high-pressure systems to prevent equipment failure or accidents (Mishra et al., 2021; Moreira et al., 2023; Mungwari et al., 2025).

In summary, prior to applying this method, it is essential to consider the nature of the raw material, the target compounds to be extracted, the appropriate process parameters, the feasibility of alternative extraction techniques, and other relevant factors.

Conclusions

1. According to the literature review, supercritical CO₂ extraction is an effective and environmentally friendly alternative to conventional solvent-based methods, enabling the selective recovery of bioactive compounds from plants.
2. A review of literature on the chemical composition of *Juglans nigra* L., shows that it contains a variety of compounds, primarily triterpenoids, naphthoquinones, and α -tetralones, which have demonstrated strong anticancer activity. In the future these compounds may serve as promising candidates for new drugs. However, these compounds are highly sensitive to extraction conditions and require innovative extraction methods.
3. Reviewing the investigations performed on the supercritical CO₂ extraction could be a green and selective method for obtaining bioactive compounds from *Juglans nigra* L., though its broader use is limited by cost, complexity, and lower efficiency for highly polar compounds.

References

1. Arumugham, T., Rambabu, K., Hasan, S. W., Loke Show, P., Rinklebe, J., & Banat, F. (2020). Supercritical carbon dioxide extraction of plant phytochemicals for biological and environmental applications – A review. *Chemosphere*, 263, 129525. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129525>
2. Chamorro, F., Carpena, M., Lourenço-Lopes, C., Taofiq, O., Otero, P., Cao, H., Xiao, J., Simal-Gandara, J., & Prieto, M. A. (2022). By-products of walnut (*Juglans regia*) as a source of bioactive compounds for the formulation of nutraceuticals and functional foods. *Biology and Life Sciences Forum*, 12(1), 35. <https://doi.org/10.3390/IECN2022-12396>
3. Dincheva, I., Badjakov, I., & Galunska, B. (2023). New insights into the research of bioactive compounds from plant origins with nutraceutical and pharmaceutical potential. *Plants*, 12(2), 258. <https://doi.org/10.3390/plants12020258>
4. El-Saadony, M. T., Saad, A. M., Mohammed, D. M., Alkafaas, S. S., Abd El-Mageed, T. A., Fahmy, M. A., Ahmed, A. E., Algopishi, U. B., Abu-Elvoud, A. M. Mosa, W. F. A., AbuQamar, S. F., & El-Tarabily, K. A. (2025). Plant bioactive compounds: Extraction, biological activities, immunological, nutritional aspects, food application, and human health benefits — A comprehensive review. *Frontiers in Nutrition*, 12, 1659743. <https://doi.org/10.3389/fnut.2025.1659743>
5. Ho, K. V., Lei, Z., Sumner, L. W., Coggeshall, M. V., Hsieh, H. Y., Stewart, G. C., & Lin, C. H. (2018). Identifying antibacterial compounds in black walnuts (*Juglans nigra*) using a metabolomics approach. *Metabolites*, 8(4), 58. <https://doi.org/10.3390/metabo8040058>
6. Ho, K. V., Roy, A., Foote, S., Vo, P. H., Lall, N., & Lin, C. H. (2020). Profiling anticancer and antioxidant activities of phenolic compounds present in black walnuts (*Juglans nigra*) using a high-throughput screening approach. *Molecules*, 25(19), 4515. <https://doi.org/10.3390/molecules25194515>
7. Jahanban-Esfahlan, A., Ostadrahimi, A., Tabibiazar, M., & Amarowicz, R. (2019). A comprehensive review on the chemical constituents and functional uses of walnut (*Juglans* spp.) husk. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(16), 3920. <https://doi.org/10.3390/ijms20163920>
8. Luan, F., Wang, Z., Yang, Y., Ji, Y., Lv, H., Han, K., ... & Zeng, N. (2021). *Juglans mandshurica* Maxim.: A review of its traditional usages, phytochemical constituents, and pharmacological properties. *Frontiers in Pharmacology*, 11, 569800. <https://doi.org/>
9. Mishra, J., Khan, W., Ahmad, S., & Misra, K. (2021). Supercritical carbon dioxide extracts of cordyceps sinensis: Chromatography-based metabolite profiling and protective efficacy against hypobaric hypoxia. *Frontiers in Pharmacology*, 12, 628924. <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.628924>
10. Moreira, R. C., de Melo, R. P. F., Martínez, J., Marostica Junior, M. R., Pastore, G. M., Zorn, H., & Bicas, J. L. (2023). Supercritical CO₂ as a valuable tool for aroma technology. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 71(24), 9201–9212. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c01023>
11. Mungwari, C. P., King'onde, C. K., Sigauke, P., & Obadele, B. A. (2025). Conventional and modern techniques for bioactive compounds recovery from plants: Review. *Scientific African*, 27, e02509. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2024.e02509>
12. Nozari, B., & Kander, R. (2025). Supercritical CO₂ technology for biomass extraction. *Industrial Crops and Products*, 233, 121348. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2025.121348>
13. Osztie, R., Czeglédi, T., Ross, S., Stipsicz, B., Kalydi, E., Béni, S., Boldizsár, I., Riethmüller, E., Bősze, S. E., & Alberti, Á. (2024). Comprehensive Characterization of Phytochemical Composition, Membrane Permeability, and Antiproliferative Activity of *Juglans nigra* Polyphenols. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(13), 6930. <https://doi.org/10.3390/ijms25136930>
14. Sharma, M., Sharma, M., Sahu, S. C., & Sharma, D. (2024). Walnuts as functional food and nutraceutical: A bibliometric study of research trends on nutritional potential, phytochemistry and its health benefits. *Food and Humanity*, 3, 100387. <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2024.100387>
15. Stasiłowicz-Krzemień, A., Wójcik, J., Gościński, A., Szymański, M., Szulc, P., Górecki, K., & Cielecka-Piontek, J. (2024). Natural deep eutectic solvents combined with supercritical carbon dioxide for the extraction of curcuminoids from turmeric. *Pharmaceuticals*, 17(12), 1596. <https://doi.org/10.3390/ph17121596>
16. Vu, D. C., Vo, P. H., Coggeshall, M. V., & Lin, C. H. (2018). Identification and characterization of phenolic compounds in black walnut kernels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(17), 4503–4511.
17. Yang, Y., Zhao, P., Yu, L., Jia, J., & Zhu, D. (2026). Optimization of supercritical CO₂ extraction of juglone from waste walnut green husk via response surface methodology. *The Journal of Supercritical Fluids*, 233, 106886. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2026.106886>

18. Yıldırım, M., Erşatır, M., Poyraz, S., Amangeldinova, M., Kudrina, N. O., & Terletskaya, N. V. (2024). Green extraction of plant materials using supercritical CO₂: Insights into methods, analysis, and bioactivity. *Plants*, 13(16), 2295. <https://doi.org/10.3390/plants13162295>
19. Zhang, J.; Fu, M.; Wu, J.; Fan, F.; Zhang, X.; Li, C.; Yang, H.; Wu, Y.; Yin, Y., & Hua, W. (2022). The Anti-Glioma Effect of Juglone Derivatives through ROS Generation. *Frontiers in Pharmacology*, 13, 911760. <https://doi.org/10.3389/fphar.2022.911760>

Dalia Urbonavičienė, Ona Ragažinskienė, Marina Sidorenko, Saulius Mickevičius, Nerijus Jurkonis

Biologiškai aktyvių junginių ekstrakcija iš juodojo riešutmedžio (*Juglans nigra* L.) naudojant superkritinį CO₂: privalumai ir trūkumai

Vytauto Didžiojo universitetas

Šiame moksliniame straipsnyje nagrinėjama mokslinių straipsnių, susijusių su superkritinio CO₂ ekstrakcijos metodo taikymu biologiškai aktyvių junginių išgavimui iš juodojo riešutmedžio (*Juglans nigra* L.) augalinės žaliavos. Biologiškai aktyvių junginių ekstrakcija iš *Juglans nigra* L. sulaukia vis didesnio mokslinio susidomėjimo dėl augalo turtingos ir įvairios fitocheminės sudėties, apimančios fenolinius junginius, flavonoidus ir kitas vertingas medžiagas, pasižyminčias potencialiai teigiamu poveikiu sveikatai. Remiantis literatūros duomenimis, superkritinė CO₂ ekstrakcija yra alternatyva tradiciniams ekstrakcijos metodams naudojant organinius tirpiklius, siekiant gauti koncentruotus ekstraktus ir apsaugoti termolabilius junginius. Straipsnyje taip pat aptariami CO₂ ekstrakcijos privalumai ir trūkumai.

Raktiniai žodžiai: juodasis riešutmedis, ekstrakcija, privalumai, trūkumai, superkritinis CO₂.

Gauta 2026 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2026 m. balandžio mėn.

Dalia URBONAVIČIENĖ. Vytautas Magnus University, dr., Senior Researcher. Address: K. Donelaičio str. 58, LT-44248, Kaunas, e-mail: dalia.urbonaviciene@vdu.lt

Ona RAGAŽINSKIENĖ. Vytautas Magnus University, prof. habil. dr., Chief Researcher. Address: K. Donelaičio str. 58, LT-44248, Kaunas, e-mail: ona.ragazinskiene@vdu.lt

Marina SIDORENKO. Vytautas Magnus University, dr., Researcher. Address: K. Donelaičio str. 58, LT-44248, Kaunas, e-mail: marina.sidorenko@vdu.lt

Saulius MICKEVIČIUS. Vytautas Magnus University, prof. dr. Address: K. Donelaičio str. 58, LT-44248, Kaunas, e-mail: saulius.mickevicius@vdu.lt

Nerijus JURKONIS. Vytautas Magnus University, dr. Address: K. Donelaičio str. 58, LT-44248, Kaunas, e-mail: nerijus.jurkonis@vdu.lt

VAISTINIŲ AUGALŲ INTRODUKCIJOS TARPDISCIPLININIAI TYRIMAI VYTAUTO DIDŽIOJO UNIVERSITETE 2000–2026

Ona Ragažinskienė¹, Audrius Sigitas Maruška², Vilma Kaškonienė², Erika Šeinauskienė¹,
Karolina Jackevičienė¹

¹Vytauto Didžiojo universiteto Botanikos sodas, ²Vytauto Didžiojo universiteto Gamtos mokslų fakulteto Instrumentinės analizės atviros prieigos centras

Sprendžiant vaistinių augalų rūšių įvairovės ir jų biologiškai veikliųjų junginių gausinimo ir nacionalinių genetinių išteklių apsaugos bei visuomenės sveikatos gerinimo problemą, vykdoma vaistinių, prieskoninių (aromatinųjų) augalų rūšių ilgalaikė introdukcija. Vaistiniai augalai yra svarbi biologinių išteklių grupė, taikoma medicinoje, farmacijoje, veterinarijoje, maisto pramonėje ir augalininkystėje.

Šiame straipsnyje apžvelgiami VDU 2000–2026 vykdomi nacionaliniai ir tarptautiniai projektai, kompleksiniai tarpdisciplininiai vaistinių augalų tyrimai, studijos ir visuomenės švietimas – visa tai prisideda prie mokslo pažangos, vaistinių augalų racionalaus naudojimo ir biologinės įvairovės išsaugojimo.

Raktiniai žodžiai: vaistiniai augalai, introdukcija, tarpdisciplininiai tyrimai, Lietuva.

Įvadas

Sprendžiant vaistinių augalų rūšių įvairovės ir jų biologiškai veikliųjų junginių gausinimo ir nacionalinių genetinių išteklių apsaugos bei visuomenės sveikatos gerinimo problemą, vykdoma vaistinių, prieskoninių (aromatinųjų) augalų rūšių introdukcija ir aklimatizacija (Ragažinskienė, 2009). Vaistiniai augalai yra labai svarbus biologiškai veikliųjų junginių (alkaloidų, glikozidų, polifenolių, polisacharidų, vitaminų) šaltinis. Šiuo pagrindu: medicinos ir sveikatos mokslų srityje farmacijos pramonės gaminami augaliniai vaistiniai preparatai, kosmetikos ir parfumerijos priemonės; maisto pramonėje sukuriami funkciniai maisto produktai, maisto papildai, chemijos srityje – buitinės cheminės priemonės. Biologiškai veikliųjų junginių įvairovės paieška, jų išsamus ištirimas ir racionalaus naudojimo tyrimai yra plačiai vykdomi visame pasaulyje. Šie tyrimai yra pagrindas naujų efektyvių produktų sukūrimui ir jų pramoninei gamybai bei racionalaus ir tvaraus naudojimo ir vaistinių, prieskoninių (aromatinųjų) įvairovės išsaugojimo. Pastaraisiais dešimtmečiais mokslininkai intensyviai tiria įvairias vaistinių augalų rūšis, jų cheminę sudėtį, biologinį aktyvumą bei pritaikymą įvairiose srityse (Maruška ir kt., 2017; Dienaitė ir kt., 2018; Drevinskas ir kt., 2018; Lelešius ir kt., 2020).

Tyrimo objektas – perspektyvių vaistinių augalų biologiškai veikliųjų junginių tyrimų duomenys.

Tyrimo tikslas – išanalizuoti perspektyvių vaistinių augalų tyrimų savybių mokslinių tyrimų duomenis, pristatomus įvairiuose moksliniuose leidiniuose. Pateiktų leidinių mokslinė analizė atlikta pirmą kartą Lietuvoje.

VDU Botanikos sodo Vaistinių augalų mokslo sektorius su gausiomis vaistinių, prieskoninių aromatinųjų augalų kolekcijomis yra reikšmingas šaltinis moksliniams tyrimams. Tarpdisciplininis požiūris integruoja botanikos, chemijos, farmacijos, medicinos, žemės ūkio, veterinarijos ir maisto pramonės žinias, leidžia identifikuoti perspektyvias vaistinių augalų rūšis, optimizuoti jų auginimą ir panaudojimą, vertinti praktinį pritaikomumą bei prisidėti prie biologinės įvairovės išsaugojimo. Šiame straipsnyje apžvelgiami naujausi Lietuvos mokslininkų ir VDU Botanikos sodo vaistinių augalų kolekcijose vykdyti moksliniai tyrimai, jų rezultatai, atskleidžiantys vaistinių augalų panaudojimo galimybes įvairiose mokslo ir pramonės srityse.

Tyrimų rezultatai atskleidžia vaistinių augalų biologinį potencialą, prisideda prie naujų vaistinių preparatų kūrimo, funkcinųjų produktų gamybos, augalų racionalaus ir tvaraus naudojimo bei biologinės įvairovės išsaugojimo.

Tyrimų metodika

2000–2026 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., 2009; Maruška ir kt., 2014).

Tyrimo duomenys gauti, analizuojant mokslinių straipsnių bei literatūros šaltinių duomenis, taikant sisteminę analizę teorinius tarpdisciplininius metodus. Duomenys rinkti iš recenzuojamų mokslinių straipsnių, daktaro ir habilitacijos disertacijų, konferencijų leidinių bei monografijų. Analizuoti darbai buvo grupuojami pagal mokslo kryptis: farmacija, medicina, maisto pramonė, veterinarija ir žemės ūkis.

Rezultatai ir aptarimas

Lietuvoje mokslo institucijos, kompleksiskai bendradarbiaudamos vykdo augalinės kilmės naujų ir vertingų biologiškai veiklių junginių paiešką ir tyrimus. VDU Botanikos sodo Mokslo skyriaus Vaistinių ir prieskoninių augalų mokslo sektoriaus unikaliuose vaistinių, prieskoninių ir medingųjų augalų mokslinėse kolekcijose nuo 1924 m. iki šiol vykdoma vaistinių, prieskoninių (aromatinių) augalų introdukcija ir aklimatizacija ir tiriama vaistinės augalinės žaliavos paruošoms inovatyvių technologijų pritaikymo galimybės. Siekiant efektyvių ir greitų mokslinių bei praktinių rezultatų, Vytauto Didžiojo universiteto, Kauno technologijos universiteto Cheminės technologijos fakulteto Maisto produktų technologijos katedros ir Lietuvos sveikatos mokslų universiteto Farmacijos ir Medicinos fakultetų mokslininkai apjungė vaistinių augalų tyrimų įvairias grandis per nacionalinius ir tarptautinius projektus.

Šių analizuojamų leidinių duomenys yra gauti tarpdisciplininės mokslinės ir praktinės veiklos metu ir taikomi srityse: chemijos ir maisto pramonėje, sveikatos apsaugos sistemoje, žemės ūkyje ir veterinarijoje (1 lentelė).

1 lentelė. Augalinių žaliavų ekstrahavimas ir frakcionavimas. Ekstraktų, frakcijų išgrynintų junginių paruošimas partneriams mikrobiologiniams ir toksikologiniams tyrimams

Table 1. Extraction and fractionation of plant-based raw materials. Preparation of extracts, fractions, and purified compounds for partners for microbiological and toxicological testing

Mokslinių tyrimų kryptis <i>Research area</i>	Tiriami augalai <i>Studied Plants</i>	Autoriai / šaltiniai <i>Authors / Sources</i>	Pagrindiniai rezultatai <i>Main Results</i>
Chemija	<i>Perilla frutescens</i> (L.) Britton, <i>Dracocephalum moldavica</i> L., <i>Anthemis nobilis</i> L.	Bumblauskienė, 2011; Povilaitytė, 2004	Nustatyta fitocheminė sudėtis ir biologinis aktyvumas, įvertinti antioksidantai ir fenoliniai junginiai
	<i>Geranium macrorrhizum</i> L. <i>Potentilla fruticosa</i> L.,	Miliauskas, 2004	Antioksidantų savybės, radikalų šalinimo aktyvumas
	<i>Artemisia abrotanum</i> L., <i>Artemisia absinthium</i> L., <i>Artemisia pontica</i> L.	Saunoriūtė ir kt., 2020–2023	Fenoliniai junginiai, antioksidacinė aktyvumo dinamika vegetacijos metu, įtaka meteorologinių veiksnių
	<i>Salvia</i> L.	Šulniūtė, 2017	Ekstraktų fitocheminė sudėtis ir antioksidacinės savybės
	<i>Chamerion angustifolium</i> (L.) Holub	Kaškonienė ir kt., 2015; Maruška ir kt., 2014	Flavonoidų kiekis, radikalų šalinimo aktyvumas, fitocheminės sudėties analizė
	<i>Vincetoxicum luteum</i> (L.) Moench	Šliumpaitė ir kt., 2013	Antioksidacinės savybės, fenolinės sudėties nustatymas
	<i>Nepeta</i> L.	Kraujalis ir kt., 2011; Baranauskienė ir kt., 2019	Eterinių aliejų sudėtis, bioaktyvumo ir antioksidacinio potencialo įvertinimas
	<i>Agrimonia eupatoria</i> L., <i>Agrimonia procera</i> Wallr.	Venskutonis ir Škėmaitė, 2007, Venskutonis ir kt., 2008	Radikalų šalinimo aktyvumo nustatymas
	<i>Desmodium canadense</i> L.	Puodžiūnienė ir kt., 2009–2011	Flavonoidų kiekio nustatymas, fenolinių junginių dinamikos analizė
Farmacija	<i>Perilla frutescens</i> (L.) Britton.)	Gailys, 2005; Ragažinskienė ir kt., 2004	Imunomoduliacinės savybės, perspektyvus imunostimuliatorius
	<i>Desmodium canadense</i> L.	Šimonienė, 2000; Lelešius, ir kt., 2020	Priešvirusinis, preparato Helepero D tyrimas
	<i>Agrimonia</i> , <i>Filipendula</i>	Pukalskienė ir kt., 2018	Genotoksiškumo ir antioksidacinio aktyvumo įvertinimas žmogaus limfocituose
	<i>Agrimonia</i> L.	Šarkinas ir kt., 2006	Antimikrobinio aktyvumo vertinimas ekstraktų frakcijose
Žemės ūkis	<i>Perilla frutescens</i> (L.) Britton	Ragažinskienė ir kt., 2006, 2007	Meteorologinių veiksnių įtaka augimui, vegetacijos proceso ir derliaus dinamikai
	<i>Artemisia abrotanum</i> L.	Saunoriūtė ir kt., 2020–2023	Vaistinės augalinės žaliavos produktyvumo dinamika vegetacijos metu
	<i>Echinacea purpurea</i> (L.) Moench	Ragažinskienė, 1999; Čiplienė ir kt., 2015	Introdukcija Lietuvoje, biologinių aktyvių medžiagų kiekio ir paruošos technologijų vertinimas

Medicina	<i>Chamerion angustifolium</i> (L.) Holub	Maruška ir kt., 2014	Antiproliferacinis poveikis įvairioms krūties vėžio ląstelių linijoms
	<i>Betonica officinalis</i> L., <i>Gratiola officinalis</i> L., <i>Vincetoxicum luteum</i> (L.) Moench, <i>Vincetoxicum hirsutifolium</i> Medik.	Slapšytė ir kt., 2019	Genotoksiškumo vertinimas
	<i>Echinacea purpurea</i> L. (Moench.)	Balčiūnaitė Muzienė ir kt., 2020–2021; Skaudickas ir kt., 2004–2009; Jurkštienė ir Kondrotas, 2001	Imunostimuliuojantis poveikis, antiandrogeniniai ir hemaglutininiai tyrimai, eksperimentinė hiperplazija
	<i>Satureja hortensis</i> L.	Bimbiraitė-Survilienė ir kt., 2020	Antioksidacinis ir antitumorinis aktyvumas
Botanika	<i>Echinacea purpurea</i> L.	Kmitienė ir Ragažinskienė, 2001; Ragažinskienė ir Kmitienė, 2001	Stiebo, lapo ir žiedyno anatominė sandara
Maisto pramonė	<i>Nepeta</i> L.	Dienaitė ir kt., 2018	Antioksidacinis potencialas, fitocheminė sudėtis ir bioaktyvumas ląstelių kultūrose
Veterinarija	<i>Saturea montana</i> L., <i>Origanum vulgare</i> L., <i>Mentha × piperita</i> L., <i>Melissa officinalis</i> L., <i>Thymus vulgaris</i> L., <i>Desmodium canadense</i> L.	Drevinskas ir kt., 2018	Vaistinių augalų ekstraktų antivirusinių savybių nustatymas ir metodikos aprašymas; fenoliniai junginiai ir radikalų šalinimo aktyvumas teigiamai susiję su antivirusiniu aktyvumu

Chemijos ir maisto pramonės srityje analizuojamų tyrimų duomenys gauti atliekant fitocheminės sudėties kokybinę bei kiekybinę analizę, t. y. fenolinių junginių, flavonoidų, eterinių aliejų ir kitų bioaktyvių metabolitų, šiuose vaistiniuose augaluose: *Perilla frutescens* L. (Bumblauskienė, 2011; Povilaitytė, 2004), *Dracocephalum moldavica* L. (Povilaitytė, 2004), *Nepeta* L. ir *Salvia* L. (Miliauskas, 2004; Baranauskienė ir kt., 2019; Šulniūtė, 2017), *Artemisia* (Saunoriūtė ir kt., 2023). Be to, įvertintas augalų antioksidacinis potencialas ir bioaktyvių junginių panaudojimo galimybės funkciniuose produktuose (Puodžiūnienė ir kt., 2010; Dienaitė ir kt. 2018; Venskutonis ir kt., 2007; Venskutonis ir kt., 2008).

Sveikatos apsaugos sistemoje tirta augalinių žaliavų ekstraktų ir jų frakcijų imunomoduliacinis, priešvirusinis bei antimikrobinis aktyvumas. Įvertintas perspektyvių augalų rūšių (*Perilla frutescens* (L.) Britton, *Echinacea purpurea* (L.) Moench) antžeminės ir požeminės dalių biologinio produktyvumo, augimo ir vystymosi priklausomumas nuo meteorologinių veiksnių (hidroterminio koeficiento ($R^2 = 0,9406$, $R^2 = 0,7418$)). Nustatyti dėsningumai pagrindžia šių augalų vaistinės žaliavos tinkamą ruošimo ir nuėmimo laiką bei įgalina prognozuoti auginimo sąlygas, biologinį produktyvumą ir auginimo perspektyvas pramoninėse plantacijose (Povilaitytė, 2004; Slapšytė ir kt., 2019; Bimbiraitė-Survilienė ir kt. 2020). Medicinos tyrimuose dominuoja antiproliferacinių, imunostimuliuojančių ir antiandrogeninių savybių tyrimai. Mokslininkų grupės vykdydami tyrimai, įrodė, kad *Chamerion angustifolium* L. ir *Echinacea purpurea* (L.) Moench. ekstraktai turi įtaką ir terapinį potencialą įvairioms ligoms, įskaitant vėžį ir prostatos hiperplaziją (Skaudinckas ir kt., 2004; Skaudickas ir kt., 2009; Maruška ir kt., 2017).

Žemės ūkio tyrimai atskleidžia, kad augimo sąlygos, meteorologiniai veiksniai ir vegetacijos laikotarpiai daro didelę įtaką augalų fitocheminėms savybėms bei produktyvumui. Pvz., *Perilla frutescens* (L.) Britton, (Ragažinskienė ir kt., 2006, 2007) ir *Artemisia abrotanum* L. (Saunoriūtė ir kt., 2023) atlikti tyrimai parodė, kaip meteorologiniai veiksniai ir vegetacijos ciklai lemia biologinių medžiagų kaupimąsi (Saunoriūtė ir kt., 2022; Ragažinskienė, 1999).

Veterinarijos srityje tirti vaistiniai aromatiniai augalai: *Saturea montana* L., *Tanacetum vulgare* L., *Chamemelum nobile* (L.) All. ir kt. (Drevinskas ir kt., 2018). Įvertintas vaistinių augalų ekstraktų antivirusinis aktyvumas yra glaudžiai susijęs su jų fitocheminiu profiliu. Tyrimai parodė, kad fenoliniai junginiai bei didelis radikalų šalinimo aktyvumas teigiamai koreliuoja su antivirusiniu poveikiu. Šie rezultatai pabrėžia fitocheminių komponentų svarbą kuriant efektyvius natūralius antivirusinius preparatus ir patvirtina metodinę seką, kurią galima taikyti tolimesniuose vaistinių augalų bioaktyvumo tyrimuose (Drevinskas ir kt., 2018).

Botanikos mokslo srityje ištirta vaistinių, prieskoninių augalų rūšių: (*Echinacea purpurea* (L.) Moench, *Echinacea pallida* (Nutt.), *Perilla frutescens* (L.) Britton, *Schizandra chinensis* (Turcz) Baill. anatominė sandara: apytakos audinių išsidėstymas, žiotelių tipas ir indeksas, mechaniniai epidermio dariniai ir nustatyti anatominiai-diagnostiniai požymiai augalo rūšies ir vaistinės augalinės žaliavos identifikavimui bei augalo ekologinių savybių pagrindimui (Kmitienė ir kt., 2001; Ragažinskienė ir kt. 2001).

1 lentelės duomenys rodo, kad dažniausiai tiriami augalai yra tie, kurie pasižymi plačiu biologiškai aktyvių junginių spektru ir gebėjimu kaupti didelius fenolinių medžiagų kiekius. Ypač išsiskiria *Perilla frutescens* (L.) Britton, *Echinacea purpurea* (L.) Moench. ir *Artemisia* L. genties augalai, nagrinėjami keliose mokslo kryptyse – nuo chemijos iki medicinos ir žemės ūkio.

Apibendrinant lentelės duomenis, galima teigti, kad Lietuvos mokslininkų tyrimai yra kompleksiški ir integruoti, apjungiantys cheminę analizę, biologinį aktyvumą, auginimo ir vegetacijos sąlygų įtaką, taip pat praktinį panaudojimą farmacijoje, medicinoje, žemės ūkyje ir maisto pramonėje. Šie tyrimai leidžia ne tik identifikuoti perspektyvias vaistinių augalų rūšis, bet ir optimizuoti jų tvarų naudojimą bei kurti naujus bioaktyvius produktus.

Išvados

1. VDU Botanikos sodo Mokslo skyriaus Vaistinių ir prieskoninių augalų mokslo sektorius su VDU „Instrumentinės analizės metodų vystymo ir jų taikymo molekulinei biologinių objektų, sintetinių produktų ir aplinkos analizei“ klasterio, Kauno Technologijos universiteto ir Lietuvos Sveikatos Mokslų universiteto mokslininkais vykdo kompleksinius tarpdisciplininius tyrimus, apimančius chemijos ir maisto pramonę, sveikatos apsaugą, žemės ūkį, botaniką bei veterinariją.
2. Vykdomi moksliniai tyrimai prisideda prie vaistinių augalų biologinio potencialo atskleidimo, tvaraus naudojimo, biologinės įvairovės išsaugojimo ir naujų vaistinių preparatų kūrimo. Introdukcijos metu atrinkti perspektyvūs vaistiniai aromatiniai augalai: *Perilla frutescens*, *Echinacea purpurea* ir *Artemisia* genties rūšys, pasižymi dideliu bioaktyvių junginių kiekiu bei stipriu antioksidaciniu ir terapiniu potencialu.

Literatūra

1. Balčiūnaitė Murzienė, G., Haimi, P. J., Miknienė, Z., Savickas, A., Ragažinskienė, O., Juodziukynienė, N., et al. (2020). Identification of *Echinacea purpurea* root LysM lectin with nephrotoxic properties. *Toxins*, 12(2), 88.
2. Balčiūnaitė Murzienė, G., Miknienė, Z., Ragažinskienė, O., Juodziukynienė, N., Savickas, A., Savickienė, N., Pangonytė, D. (2021). *Echinacea purpurea* hemagglutinin effect on immune response in vivo. *Plants*, 10(5), 936.
3. 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*, 129, 269–280.
4. Bimbiraitė-Survilienė, K., Stankevičius, M., Šuštauskaitė, S., Gegotek, A., Maruška, A., Skrzydlewska, E., et al. (2020). Chemical composition and antitumor activity of *Satureja hortensis* extracts. *Antioxidants*, 10(1), 53.
5. Bumblauskienė, L. (2011). *Perilės (Perilla L.) rūšių ir varietetų auginimo, fitocheminės sudėties ir biologinio poveikio tyrimas*. Daktaro disertacija. Kaunas.
6. Čiplienė, A., Maruška, A., Raila, A., Zvicevičius, E., Ragažinskienė, O., Stankevičius, M. (2015). Quantity of biologically active substances in purple coneflower as influenced by preparation methods. *Zemdirbyste-Agriculture*, 102(3), 297–304.
7. Dienaitė, L., Pukalskienė, M., Matias, A. A., Pereira, C. V., Pukalskas, A., Venskutonis, P. R. (2018). Valorization of six *Nepeta* species by assessing antioxidant potential. *Journal of Functional Foods*, 45, 512–522.
8. Drevinskas, T., Mickienė, R., Maruška, A., Stankevičius, M., Tiso, N., Šalomska, A., et al. (2018). Confirmation of the antiviral properties of medicinal plants via chemical analysis, machine learning methods and antiviral tests. *Analytical Methods*, 10(16), 1875–1885.
9. Gailys, V. (2005). *Krūminės perilės (Perilla frutescens (L.) Britton) imunomoduliacinių savybių tyrimas ir įvertinimas*. Daktaro disertacija. Kaunas.
10. Janulis, V. (1993). *Naujas biologiškai aktyvių junginių, pasižyminčių priešvirusiniu ir hipoazoteminiu veikimu, augalinis šaltinis – Desmodium canadense D.C.* Habilitacinis darbas. Kaunas.
11. Juknevičienė, G., Juronis, V. (2000). *Medicinal plants (Collections of Kaunas Botanical Garden of Vytautas Magnus University)*. Kaunas.
12. Jurkštienė, V., Kondrotas, A. J. (2001). *Preparatų iš Echinacea purpurea poveikis fagocitozei*.
13. Kaškonienė, V., Stankevičius, M., Drevinskas, T., Akuneca, I., Kaškonas, P., Bimbiraitė-Survilienė, K., et al. (2015). Evaluation of phytochemical composition of fresh and dried raw material of introduced *Chamerion angustifolium* L. using chromatographic, spectrophotometric and chemometric techniques. *Phytochemistry*, 115, 184–193.

14. Kmitienė, G., Ragažinskienė, O. (2001). Anatomic structure of axial organs of *Echinacea purpurea*. *Biologija*, 2, 21–24.
15. Kraujalis, P., Venskutonis, P. R., Ragažinskienė, O. (2011). Antioxidant activities and phenolic composition of extracts of *Nepeta* plant species. *FOODBALT 2011 Conference Proceedings*, 79–83.
16. Lelešius, R., Girdauskaitė, P., Karpovaitė, A., Mickienė, R., Drevinskas, T., Tiso, N., Šalomska, A. (2020). In vitro assessment of antiviral activity of *Desmodium canadense* ethanol extract. *Polish Journal of Veterinary Sciences*, 23(2), 177–184.
17. Maruška, A., Ragažinskienė, O., Vyšniauskas, O., Kaškonienė, V., Bartkuvienė, V., Kornysova, O., et al. (2014). Flavonoids of willow herb (*Chamerion angustifolium* (L.) Holub) and their radical scavenging activity during vegetation. *Advances in Medical Sciences*, 59(1), 136–141.
18. Maruška, A., Ugenskienė, R., Raulinaitytė, D., Juozaitytė, E., Kaškonienė, V., Drevinskas, T., Stelmakienė, A., Akuneca, I., Makaravičius, T., Tiso, N., Bartkuvienė, V., Kornysova, O., Ragažinskienė, O., Ramanauskienė, K., Briedis, V. (2017). Analysis of antiproliferative effect of *Chamerion angustifolium* water extract and its fractions on several breast cancer cell lines. *Advances in Medical Sciences*, 62(1), 158–164.
19. Miliauskas, G. (2004). *Stambiašaknio snapučio (Geranium macrorrhizum) ir krūminės sidabražolės (Potentilla fruticosa) antioksidantai ir jų savybės*. Daktaro disertacijos santrauka.
20. Miliauskas, G., Venskutonis, P. R., Van Beek, T. A. (2004). Screening of radical scavenging activity of some medicinal and aromatic plant extracts. *Food Chemistry*, 85(2), 231–237.
21. Povilaitytė, V. (2004). *Krūminės perilės (Perilla frutescens (L.) Britton), darželinės žiomenės (Dracocephalum moldavica L.) ir tauriosios bobramunio (Anthemis nobilis L.) biologiškai aktyvūs junginiai ir jų savybės*. Daktaro disertacijos santrauka. Kaunas.
22. Pukalskienė, M., Slapšytė, G., Dedonytė, V., Lazutka, J. R., Mierauskienė, J., Venskutonis, P. R. (2018). Genotoxicity and antioxidant activity of five *Agrimonia* and *Filipendula* species plant extracts. *Food and Chemical Toxicology*, 113, 303–313.
23. Puodžiūnienė, G., Janulis, V., Ivanauskas, L., Barsteigienė, Z., Ribokaitė, V., Ragažinskienė, O. (2009). Quantitative HPLC estimation of flavonoids in showy tick trefoil herbs. *Pharmaceutical Chemistry Journal*, 43, 263–266.
24. Puodžiūnienė, G., Kairyte, V., Janulis, V., et al. (2011). Quantitative HPLC estimation of flavonoids in showy tick trefoil (*Desmodium canadense*) herbs. *Pharmaceutical Chemistry Journal*, 45, 88–90.
25. Puodžiūnienė, G., Buzaitė, L., Barsteigienė, Z., Ivanauskas, L., Ragažinskienė, O. (2010). Fenolinių junginių kaupimosi dinamika kanadinės jakšūnės (*Desmodium canadense* (L.) DC.) žolėje fenologiniais vystymosi tarpsniais. *Medicinos teorija ir praktika*, 16.
26. Ragažinskienė, O. (1999). *Purpurinės ežiulės (Echinacea purpurea (L.) Moench) introdukcija Lietuvoje*. Daktaro disertacijos santrauka. Kaunas.
27. Ragažinskienė, O. (2009). *Introdukuojamų vaistinių prieskoninių augalų biologinių savybių įvertinimas ir atranka farmacijos bei vaistažolininkystės plėtrai Lietuvoje*. Habilitacijos darbų apžvalga. Kaunas.
28. Ragažinskienė, O., Bumblauskienė, L., Šeinauskienė, E., Praškevičius, A., Janulis, V. (2007). Multiannual dynamics of *Perilla frutescens* productivity. *Ekologija*, 53(3), 45–50.
29. Ragažinskienė, O., Gailys, V., Jankauskienė, K., Šimonienė, G., Jurkštienė, V. (2004). Krūminė perilė (*Perilla frutescens* (L.) Britton) – perspektyvus imunomodulatorius. *Medicina* (Kaunas), 40(3), 220–224.
30. Ragažinskienė, O., Kmitienė, G., Janulis, V. (2001). Anatomical structure of *Echinacea purpurea*. *Botanica Lithuanica*, 7(3), 227–233.
31. Ragažinskienė, O., Šeinauskienė, E., Janulis, V., Jankauskaitė, L., Milašius, A. (2006). Influence of meteorological factors on growth of *Perilla frutescens* in Lithuania. *Medicina* (Kaunas), 42(8), 667–672.
32. Saunoriūtė, S., Ragažinskienė, O., Ivanauskas, L., Marksa, M. (2020). The influence of meteorological factors on phytochemical composition of *Artemisia pontica* L. *Chemija*, 31, 278–283.
33. Saunoriūtė, S., Ragažinskienė, O., Ivanauskas, L., Marksa, M., Laužikė, K., Raudonė, L. (2023). Phenolic diversity and antioxidant activity of *Artemisia abrotanum* L. and *Artemisia absinthium* L. during vegetation stages. *Separations*, 10(10), 545.
34. Saunoriūtė, S., Ragažinskienė, O., Raudonė, L., Ivanauskas, L., Marksa, M. (2022). Comparative study on chemical profile and antioxidant activity of *Artemisia pontica* L. during different vegetation stages in Lithuania. *Planta Medica*, 88(15), P-002.
35. Skaudickas, D., Kondrotas, A. J., Kevelaitis, E., Venskutonis, P. R. (2009). The effect of *Echinacea purpurea* (L.) Moench extract on experimental prostate hyperplasia. *Phytotherapy Research*, 23(10), 1474–1478.
36. Skaudickas, D., Kondrotas, A., Baltrušaitis, K. (2004). Effect of *Echinacea purpurea* (L.) Moench extract on sexual glands of male rats. *Medicina* (Kaunas), 40(5), 445–451.

37. Slapšytė, G., Dedonytė, V., Adomėnienė, A., Lazutka, J. R., Kazlauskaitė, J., Ragažinskienė, O., Venskutonis, P. R. (2019). Genotoxic properties of selected medicinal plant extracts. *Food and Chemical Toxicology*, 134, 110815.
38. Šarkinas, A., Rekštienė, Z., Šipailienė, A., Venskutonis, P. R. (2006). Vaistinės dirvuolės ekstraktų frakcijų antimikrobinio aktyvumo įvertinimas. *Maisto chemija ir technologija*, 40(2), 57–63.
39. Šimonienė, G. (2000). *Desmodium canadense* D.C. preparato *Helepinio* D imunostimuliuojančių savybių eksperimentiniai tyrimai. Daktaro disertacija. Kaunas.
40. Šliumpaitė, I., Murkovic, M., Zeb, A., Venskutonis, P. R. (2013). Antioxidant properties and phenolic composition of swallow-wort (*Vincetoxicum lutea* L.) leaves. *Industrial Crops and Products*, 45, 74–82.
41. Šulniūtė, V. (2017). *Įvairių Salvia genties augalų rūšių ekstraktų fitocheminė sudėtis ir antioksidacinės savybės*. Daktaro disertacijos santrauka.
42. Venskutonis, P. R., Škėmaitė, M., Ragažinskienė, O. (2007). Radical scavenging capacity of Agrimonia eupatoria and Agrimonia procera. *Fitoterapia*, 78(2), 166–168.
43. Venskutonis, P. R., Škėmaitė, M., Sivik, B. (2008). Assessment of radical scavenging capacity of Agrimonia extracts isolated by supercritical carbon dioxide. *The Journal of Supercritical Fluids*, 45(2), 231–237.

Ona Ragažinskienė, Audrius Sigita Maruška, Vilma Kaškonienė, Erika Šeinauskienė, Karolina Jackevičienė
Interdisciplinary Research on the Introduction of Medicinal Plants at Vytautas Magnus University (2000–2026)

Vytautas Magnus University, Lithuania

In order to solve the problem of increasing the diversity of medicinal plant species and their biologically active compounds, protecting national genetic resources and improving public health, long-term introduction of medicinal and aromatic plant species is being carried out. Medicinal plants are an important group of biological resources used in medicine, pharmacy, veterinary medicine, the food industry, and in the development of crop production.

This article reviews the national and international projects, complex interdisciplinary research on medicinal plants, studies and public education carried out by VMU in 2000–2026 – all of which contribute to scientific progress, rational use of medicinal plants and preservation of biodiversity.

Keywords: medicinal plants, introduction, interdisciplinary research, Lithuania.

Gauta 2026 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2026 m. balandžio mėn.

Ona RAGAŽINSKIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Botanikos sodo vyresnioji mokslo darbuotoja, profesorė. Adresas: Vilties g. 6A, LT-46324, Kaunas, tel. +370 37 295287, el. paštas: ona.ragazinskiene@vdu.lt

Ona RAGAŽINSKIENĖ. Botanical Garden of Vytautas Magnus University, senior researcher, professor. Address: Vilties st. 6A, LT-46324, Kaunas. Phone: +370 37 295287, e-mail: ona.ragazinskiene@vdu.lt

Audrius Sigita MARUŠKA. Vytauto Didžiojo universiteto Gamtos mokslų fakulteto profesorius, vyriausias mokslo darbuotojas. Adresas: Universiteto g. 10, LT-53361, Akademija, Kauno r., tel. +370 37 327907, el. paštas: audrius.maruska@vdu.lt

Audrius Sigita MARUŠKA. Vytautas Magnus University, Faculty of Natural Sciences, professor, chief researcher. Address: Universiteto g. 10, LT-53361, Akademija, Kauno r. Phone: +370 37 327907, e-mail: audrius.maruska@vdu.lt

Vilma KAŠKONIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Gamtos mokslų fakulteto docentė, vyresnioji mokslo darbuotoja. Adresas: Universiteto g. 10, LT-53361, Akademija, Kauno r., tel. +37037327907, el. paštas: vilma.kaskoniene@vdu.lt

Vilma KAŠKONIENĖ. Vytautas Magnus University, Faculty of Natural Sciences, associate professor, senior researcher. Address: Universiteto g. 10, LT-53361, Akademija, Kauno r., Phone: +370 37 327907, e-mail: vilma.kaskoniene@vdu.lt

Erika ŠEINAUSKIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Botanikos sodo vyriausioji botaninių kolekcijų kuratorė, magistrė. Adresas: Vilties g. 6A, LT-46324, Kaunas, tel. +370 37 295287, el. paštas: erika.seinauskiene@vdu.lt

Erika ŠEINAUSKIENĖ. Botanical Garden of Vytautas Magnus University, senior curator, magister. Address: Vilties st. 6A, LT-46324, Kaunas. Phone: +370 37 295287, 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 6, LT-46324, Kaunas, tel. +370 37 295287, 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 6, LT-46324, Kaunas. Phone: +370 37 295287, e-mail: karolina.jackeviciene@vdu.lt

BIOLOGIŠKAI AKTYVIAIS KOMPONENTAIS PRATURTINTŲ PUSIAU KIETŲ FORMULUOČIŲ DERMOPROTEKČINIO POTENCIALO VERTINIMAS

Jokūbas Ramanauskas, Urtė Daunoraitė, Asta Marija Inkėnienė, Aidas Grigonis, Kristina Ramanauskienė

Lietuvos sveikatos mokslų universitetas

Biologiškai aktyvūs junginiai dėl turimų antioksidacinių, priešuždegiminių ir antimikrobinių savybių yra vis plačiau integruojami, produktų skirtų odos problemoms spręsti sudėtyse. Propolio biologinis aktyvumas siejamas su jo chemine sudėtimi. Šiame tyrime sumodeliuotos ir įvertintos naujos pusiau kietos farmacinės formos – dvinariai hidrogeliai su propolio ekstraktu ir *p*-kumaro rūgštimi. Gelių pagrindams suformuoti naudoti poloksamero 407 ir karbomero 980 polimerai, užtikrinantys lengvą pasiskirstymą ant odos ir ilgesnį veikliųjų komponentų kontaktą su oda. Visų gelių pH vertės yra artimos natūraliam odos pH. Antimikrobinio aktyvumo tyrimai atskleidė, kad kompleksinis propolio ekstrakto ir *p*-kumaro rūgšties priedas geliuose padeda sustiprinti gelių *Staphylococcus aureus* augimą slopinantį poveikį. Nors padidėjusi gelių klampa veikia kaip fizinis barjeras ir sulėtina veikliųjų medžiagų išsiskyrimą, tačiau visos sumodeliuotos formulotės pasižymėjo antimikrobiniu aktyvumu ir yra tinkamos efektyviam vietiniam vartojimui ant odos.

Raktiniai žodžiai: propolis, antimikrobinis aktyvumas, *p*-kumaro rūgštis, dvinariai hidrogeliai.

Įvadas

Biologiškai aktyvūs junginiai, tokie kaip polifenoliai, flavonoidai, baltymai bei augaliniai ekstraktai, dėl savo antioksidacinių, priešuždegiminių ir antimikrobinių savybių yra plačiai integruojami į maisto, kosmetikos bei farmacijos sektorius (Gani et.al., 2025). Augalų ekstraktai, eteriniai aliejai, dervos, bičių produktai dažnai naudojami odos problemoms spręsti. Vienas iš plačiai nagrinėjamų bičių produktų yra propolis. Svarbu paminėti, kad per paskutinius 50 metų atlikti tyrimai atskleidė turtingą propolio cheminę sudėtį, rasta daugiau nei 300 cheminių junginių (Anjum et.al., 2019). Propolio cheminė sudėtis yra plati ir kintanti priklausomai nuo regiono, dominuojančios augmenijos surinkimo vietovėje. Pagrindinę propolio žaliavos dalį sudaro dervos, turtingos fenoliniais junginiais, kurie ir lemia platų biologinio poveikio spektrą (Zabaiou et.al., 2017). Plati cheminės sudėties matrica, tiesiogiai siejama su propolio biologiniu aktyvumu, ir tai viena iš priežasčių, išlaikančių mokslininkų susidomėjimą ieškoti efektyvių būdų veikliųjų junginių išskyrimui ir užtikrinti jų saugų pritaikymą įvairių ligų gydymui bei profilaktikai. Dėl turimų antioksidacinių, antimikrobinių, priešuždegiminių savybių propolis plačiai taikomas. Siekiant sukurti saugius propolio ekstraktus, šio tyrimo metu buvo pasirinkta analizuoti fenolinius junginius, kurių išskyrimui iš propolio žaliavos naudojamas etanolis. Paskelbti moksliniai duomenys atskleidžia, kad lietuviškame propolyje dominuojantis fenolinis junginys yra *p*-kumaro rūgštis (Stanciauskaite et.al., 2021). Hidroksicinamono rūgšties dariniai, ypač *p*-kumaro rūgštis, pasižymi plačiu biologinio aktyvumo spektru: antioksidaciniu, priešuždegiminiu, antimutageniniu, priešvėžiniu, priešmikrobiniu, antiagregaciniu poveikiu (Li et al., 2023). Vienas iš uždavinių šio tyrimo metu buvo sumodeliuoti pusiau kietas sistemas su pagamintu propolio ekstraktu ir *p*-kumaro rūgštimi, kurios pasižymėtų antibakteriniu poveikiu. Svarbu suformuoti odą apsaugančias formulutes, kurios pasižymi fiziologiniu darnumu su oda ir užtikrina efektyvų antimikrobinį barjerą. Aktualu įvesti pasirinktus veikliuosius komponentus į pusiau kietus hidrofilinius gelius. Geliai turi neriebią tekstūrą, atpalaiduoja veikliąją medžiagą, gerai sukimba su odos paviršiumi, yra lengvai tepami bei lengvai nuplaunami. Atsižvelgiant į propolio veikliųjų junginių ribotą tirpumą, vienu iš gelifikantų pasirinkta naudoti poloksamerą 407 ir karbomerą. Poloksameras 407 yra veiksmingas nešiklis, pagerinantis hidrofobinių medžiagų tirpumą (Zarrintaj et.al., 2020). Karbomerai žinomi kaip aplinką tausojantys polimerai, pasižymintys bioadhezinėmis savybėmis, puikiomis organoleptinėmis savybėmis, naudojami gaminant odos, burnos gleivinės, akių, vaginalinius gelius (Nishizaki et al., 2022). Pasirinkti polimerai yra tinkami kandidatai kontroliuojamo veikliųjų junginių atpalaidavimo gelifikuotoms matricoms modeliuoti. Šio tyrimo tikslas – sumodeliuoti hidrofilinius gelius su propolio etanoliniu ekstraktu ir jo dominuojančiu junginiu – *p*-kumaro rūgštimi, įvertinti jų kokybę ir antimikrobinį aktyvumą *in vitro*.

Tyrimų metodika

Propolio ekstraktų technologija. Susmulkinta propolio žaliava (UAB „Medicata Filia“ (Vilnius, Lietuva)) buvo ekstrahuota etanoliniais tirpalais ir išgrynintu vandeniu maceravimo metodu. Žaliavos ir tirpiklio santykis 1:10. Maceruotas turinys buvo laikomas tamsaus stiklo buteliuose 21 ± 1 °C temperatūroje 12 dienų, per šį laikotarpį kelis kartus pamaišant turinį (Huang et.al., 2014).

Fenolinių junginių kiekio nustatymas propolio ekstrakto. 0,4 ml propolio ekstrakto sumaišoma su 50 ml 96 % (v/v) etanolio. 1 ml tiriamo tirpalo pilamas į 50 ml matavimo kolbą, kurioje yra 15 ml vandens ir 4 ml Folin – Ciocalteu reagento. Tada pridedami 6 ml 20 % natrio karbonato tirpalo. Pripilama vandens iki 50 ml žymos. Tirpalas inkubuojamas 2 valandas tamsioje aplinkoje, periodiškai permaišant. Po inkubacijos mėginiai nufiltruoti, o jų optinis tankis išmatuotas UV/Vis spektrofotometru, parinkus 760 nm bangos ilgį.

Gelių gamyba. Gelių pagrindams suformuoti pasirinkti gelifikantai: karbomeras ir poloksameras 407. Geliai buvo modeliuojami taikant šaltąjį metodą (Zarrintaj et.al., 2024). Gelifikantų vandeninės suspensijos 48 val. laikytos 4 °C temperatūroje, užtikrinant pilną polimerų hidrataciją. Po to gelifikanto tirpalas neutralizuojama 10 proc. natrio hidroksido tirpalu, maišoma iki vienalytės masės. *P*-kumaro rūgštis ištirpinama 70 proc (v/v) etanolyje. Ištirpinta *p*-kumaro rūgštis, pagamintas skystasis propolio ekstraktas įterpiami į pagamintus gelių pagrindus, maišoma iki vienalytės masės

Gelių klampos nustatymas. Gelių klampa išmatuota naudojant rotacinį viskozimetrą (Fungilab, Barselona, Ispanija). Matavimai atlikti palaikant temperatūrą 32 ± 1 °C, nustačius pastovų 20 aps./min. sukimosi greitį.

Gelių pH vertės nustatymas. Gelių pH vertės nustatytos naudojant „Knick 766 Calimatic“ pH-metrą su SE 104 N elektrodu, pritaikytu pusiau kietų preparatų analizei. Matavimai atlikti 23 ± 1 °C temperatūroje.

Gelių antibakterinio aktyvumo įvertinimas. Gelių antibakterinis aktyvumas *in vitro* nustatytas agar difuzijos metodu, naudojant „Mueller–Hinton“ agarą. Tyrimui naudota standartinė *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923) padermė. Paruošta mikroorganizmų suspensija tolygiai pasėta sustingusio agaro paviršiuje. Agare suformuotose 7 mm skersmens duobutėse, į kurias sulašinta po 0,1 ml tiriamųjų mėginių. Lėkštelės inkubuotos 24 val. 37 °C temperatūroje. Gelių ir propolio ekstrakto (PE), 0,5 % *p*-kumaro rūgšties etanolinio tirpalo (KR0.5) aktyvumas įvertintas išmatuojant slopinimo zonų skersmenis (mm). Teigiamai kontrolei naudotas 0,02 % chlorheksidino tirpalas (CHX 0.02%), neigiamai – 50 % etanolis ir gelio pagrindas (G0) be veikliųjų medžiagų.

Statistinė duomenų analizė. Tyrimo duomenys pateikiami kaip trijų nepriklausomų matavimų vidurkis $\pm$ standartinis nuokrypis (vidurkis $\pm$ SD). Statistiniai skirtumai tarp grupių vertinti taikant neparametrinį Kruskal–Wallis testą su po jo sekančiu Dunn'o daugybinio palyginimo kriterijumi. Statistiškai reikšmingais laikyti skirtumai, kai $p < 0,05$.

Rezultatai ir aptarimas

Pirmame tyrimų etape buvo pagaminti propolio ekstraktai. Veikliųjų junginių išskyrimui iš žaliavos naudoti skirtingų koncentracijų etanolio tirpalai bei išgrynintas vanduo. Tyrimų rezultatai pateikti 1 lentelėje.

1 lentelė. Propolio ekstrakto fenolinių junginių analizė

Table 1. Analysis of Total Phenolic Content in Propolis Extract

Tirpiklis <i>Solvent</i>	Fenolių kiekis <i>Total Phenolic Content</i>	Standartinis nuokrypis, SN <i>Standard Deviation, SD</i>	Santykinė paklaida, SP % <i>Relative SD, RSD %</i>
Etanolis 70% <i>Ethanol 70%</i>	107,2 $\pm$ 1,97 mg/ml	1,97	1,84 %
Etanolis 80% <i>Ethanol 80%</i>	105,4 $\pm$ 1,69 mg/ml	1,69	1,60 %
Etanolis 60% <i>Ethanol 60%</i>	78,1 $\pm$ 1,11 mg/ml	1,11	1,42 %
Etanolis 40% <i>Ethanol 40%</i>	54,4 $\pm$ 2,13 mg/ml	2,13	3,92 %
Išgrynintas vanduo <i>Purified Water</i>	18,6 $\pm$ 0,16 mg/ml	0,16	0,86 %

Etanolis yra dažniausiai naudojamas tirpiklis propolio ekstraktų gamybai dėl didelio ekstrakcijos našumo (Ramanauskienė et al., 2021). Šio tyrimo rezultatai patvirtina, jog fenolinių junginių ekstrakcijos efektyvumas iš propolio žaliavos tiesiogiai priklauso nuo tirpiklio sudėties. Nustatyta, kad 70 % etanolis yra efektyviausias tirpiklis, užtikrinantis didžiausią fenolinių junginių koncentraciją pagamintame ekstrakto. Naudojant išgrynintą vandenį propolio ekstrakcija yra mažiausiai efektyvi, o didinant etanolio koncentraciją veikliųjų junginių išskyrimas intensyvėja.

Eksperimentinių tyrimų metu buvo suformuotos penkios skirtingos gelių sudėtys. Gelių sudėtys pateikiamos 2 lentelėje.

2 lentelė. Eksperimentinių gelių sudėtys
Table 2. Composition of experimental gel formulations

Gelio kodas <i>Gel code</i>	Komponentas, g <i>Component, g</i>					
	<i>p</i> -kumaro rūgštis <i>p-coumaric acid</i>	Propolio ekstraktas <i>Propolis extract</i>	Karbomeras 980 <i>Carbomer 980</i>	Poloksameras 407 <i>Poloxamer 407</i>	Neutralizatorius <i>Neutralizing agent</i>	Išgrynintas vanduo <i>Purified water</i>
K1	0,5	10	0,5	-	Iki pH 5,5 <i>Up to pH 5.5</i>	Iki 100 <i>Up to 100</i>
KP12	0,5	10	0,5	12		
KP 15	0,5	10	0,5	15		
KP 15 KR	0,5		0,5	15		
KP 15 PE		10	0,5	15		
G0	-	-	0,5	15		

Pastaba. Neutralizatoriumi naudotas 10 proc. natrio hidroksido tirpalas.

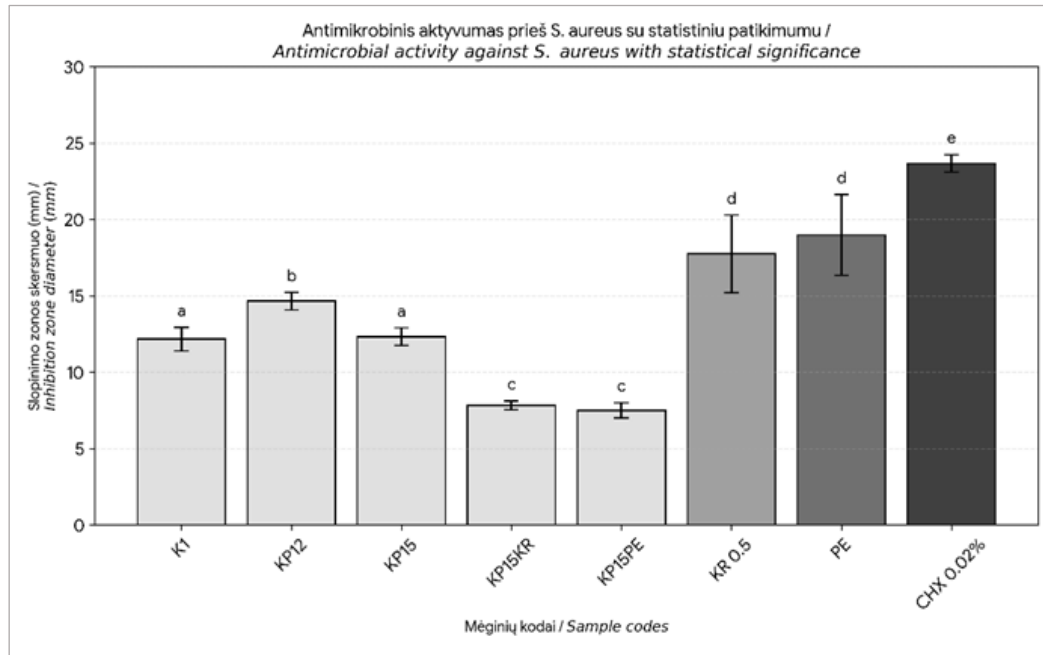
Note. A 10% sodium hydroxide solution was used as a neutralizing agent.

Eksperimentinių tyrimų metu buvo pagamintas karbomero gelis ir skirtingų sudėčių dvinariai geliai, kaip gelifikantai naudoti poloksameras 407 ir karbomeras 980. Į pagamintus gelių pagrindus buvo įvesta kompleksinė veiklioji medžiaga, sudaryta iš propolio ekstrakto ir *p*-kumaro rūgšties. Siekiant įvertinti šio komplekso poveikį, paruošti lyginamieji pavyzdžiai: gelis su propolio ekstraktu (KP15PE) bei gelis su *p*-kumaro rūgštimi (KP15KR). Kontrolei pasirinkta naudoti gelio bazę (G0) su didžiausia koncentracija gelifikuojančių medžiagų. Visiems pagamintiems geliams buvo būdinga pusiau kieta konsistencija. Remiantis literatūros duomenimis, pasirinkti polimerai pasižymi specifinėmis fizikinėmis ir cheminėmis savybėmis, kurios leidžia sumodeliuoti gelius, pasižyminčius geresniu sukibimu bei ilgesniu išlikimo laiku aplikacijos vietoje (Zarrintaj ir kt., 2024).

3 lentelė. Pagamintų gelių fizikinių-cheminių savybių įvertinimas
Table 3. Evaluation of the physicochemical properties of the prepared gel formulations

Gelio kodas <i>Gel code</i>	Išvaizda <i>Appearance</i>	pH vertė <i>pH value</i>	Klampa (mPa·s) <i>Viscosity (mPa·s)</i>
K1	Gelsvas, neskaidrus <i>Yellowish, opaque</i>	5,21±0,18	923±0,79
KP12	Gelsvas, neskaidrus <i>Yellowish, opaque</i>	5,22±0,13	3607±0,88
KP 15	Gelsvas, neskaidrus <i>Yellowish, opaque</i>	5,28±0,21	4194±0,74
KP 15 KR	Balkšvas, neskaidrus <i>Whitish, opaque</i>	5, 11±0,17	4188±0,60
KP 15 PE	Rusvas, skaidrus <i>Brownish, transparent</i>	5,12±0,31	4206±0,73
G0	Skaidrus, homogeniškas <i>Transparent, homogeneous</i>	5,66±0,11	4187±0,51

3 lentelėje pateikti tyrimų rezultatai demonstruoja, jog pagamintų gelių išvaizdai darė įtaką veikliosios medžiagos įvedimas. Naudotas neutralizatorius užtikrino tinkamas pH vertes (5,11–5,66). Žmogaus odos pH vertė yra tarp 4,5–6 intervale, todėl ant odos naudojimui produktų pH turi būti šiame diapazone (Segger et.al., 2008). Galima teigti, kad tirtųjų gelių pH vertė atitinka priimtina vietinio vartojimo preparatų intervalą. Tyrimų metu nustatyta pH vertė užtikrina karbomero gelifikaciją (Islam et.al., 2004). Tyrimo rezultatai rodo, kad visų formuluočių klampa tiesiogiai priklausė nuo polimero ir jo koncentracijos. Karbomero geliui K1 būdinga mažiausia klampa lyginant su kitais tirtaisiais geliais. Dviejų gelifikantų naudojimas suformuoja statistškai reikšmingai didesnės klamos gelius lyginant su karbomero geliu ($p < 0,05$). Dvinarių gelių klampa priklauso nuo poloksamero koncentracijos gelyje. Nustatyta statistškai reikšmingai mažesnė gelio KP12 klampa lyginant su KP15 serijos geliais. Veikliosios medžiagos įvedimas nedaro reikšmingos įtakos gelių klampai, rezultatų skirtumai tarp G0 ir KP15 serijos gelių yra statistškai nereikšmingi ($p > 0,05$).



1 pav. Eksperimentinių gelių ir jų komponentų antimikrobinis aktyvumas prieš *S. aureus* padermę. Skirtingos raidės virš stulpelių žymi statistiškai reikšmingus skirtumus tarp grupių ($p < 0,05$)

Fig. 1. Antimicrobial activity of experimental gels and their components against *S. aureus* strain. Different letters above the bars indicate statistically significant differences between groups ($p < 0.05$)

Antimikrobinio aktyvumo tyrimų rezultatai rodo, kad tiriamosios formuluotės pasižymėjo nevienodu slopinamuoju poveikiu standartinei *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923) padermei (1 paveikslas). Teigiama kontrolė (0,02 % chlorheksidino tirpalas) pasižymėjo stipriausiu antibakteriniu poveikiu. Neigiama kontrolė – 50 % etanolis ir gelio pagrindas (G0) neslopino *S. aureus* (ATCC 25923) augimo. Propolio ekstraktas ir *p*-kumaro rūgšties tirpalas demonstravo stipresnį antibakterinį poveikį lyginant su gelių formuluotėmis – nustatytos statistiškai reikšmingai ($p < 0,05$) platesnės inhibavimo zonos. Mažesnę gelių aktyvumą galėjo lemti klampa, kuri kaip fizinis barjeras apribojo veikliųjų junginių išsiskyrimą. Kompleksinis veikliųjų junginių priedas geliuose pasižymi stipresniu *S. aureus* (ATCC 25923) augimą slopinančiu poveikiu nei pavienės medžiagos. Geliams su atskirais komponentais (P15KR ir KP15PE) būdingos mažesnės inhibavimo zonos lyginant su kitais tirtaisiais geliais, kurių sudėtyje yra propolio ekstrakto ir *p*-kumaro rūgšties kompleksas. Galima daryti prielaidą apie teigiamą propolio ekstrakto ir *p*-kumaro rūgšties sinerginę sąveiką sumodeliuotose gelių formuluotėse.

Išvados

1. Fenolinių junginių ekstrakcijos efektyvumas priklauso nuo naudojamo tirpiklio. Nustatyta, kad etanolinė terpė yra efektyvesnė fenolinių junginių išskyrimui lyginant su vandenine terpe.
2. Visų sumodeliuotų formuluočių pH vertės atitinka natūralų žmogaus odos pH diapazoną. Gelių pH vertė užtikrina karbomero gelifikaciją ir sudaro sąlygas suformuoti pusiau kietos konsistencijos gelius. Gelių klampa tiesiogiai priklauso nuo polimerų koncentracijos – dvieniai poloksamero ir karbomero geliai pasižymi didesne klampa nei vienanariai karbomero geliai.
3. Gelių matricos klampa riboja veikliųjų medžiagų išsiskyrimą ir lemia silpnesnį antibakterinį poveikį lyginant su tirtaisiais tirpalais. Propolio ekstrakto ir *p*-kumaro rūgšties kompleksas gelyje pasižymi stipresniu *S. aureus* augimą slopinančiu poveikiu nei šios medžiagos naudojamos geliuose atskirai.

Literatūra

1. Anjum, S. I., Ullah, A., Khan, K. A., Attaullah, M., Khan, H., Ali, H., Bashir, M. A., Tahir, M., Ansari, M. J., Ghramh, H. A., Adgaba, N., & Dash, C. K. (2019). Composition and functional properties of propolis (bee glue): A review. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(7), 1695–1703. DOI: 10.1016/j.sjbs.2019.08.007
2. Gani, S., Shah, A., Gani, A., Masoodi, F. A., & Singh, J. (2025). Bioactive compounds in diverse food matrices: Sources, extraction, encapsulation, and biological properties. *Nutrients*, 17(17), 2793. DOI: 10.3390/nu17172793

3. Huang, S., Zhang, C.-P., Wang, K., Li, G. Q., & Hu, F.-L. (2014). Recent advances in the chemical composition of propolis. *Molecules*, *19*(12), 19610–19632. DOI: 10.3390/molecules191219610
4. Islam, M. T., Rodriguez-Hornedo, N., Ciotti, S., & Ackermann, C. (2004). Rheological characterization of topical carbomer gels neutralized to different pH. *Pharmaceutical Research*, *21*(7), 1192–1199. DOI: 10.1023/B:PHAM.0000033014.21235.80
5. Li, H., Wang, Y., Liu, J., Jiang, S., Zhang, W., & Xu, Y. (2023). Preparation and characterization of antibacterial, antioxidant, and biocompatible p-coumaric acid modified quaternized chitosan nanoparticles. *International Journal of Biological Macromolecules*, *242*, 125087. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2023.125087
6. Nishizaki, K., Sugiura, R., & Okabe, H. (2022). Evaluation of rheological properties and mucoadhesion of carbomer-based hydrogels for topical applications. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, *70*(4), 284–291. DOI: 10.1248/cpb.c21-01052
7. Ramanauskienė, K., Inkenienė, A., Perminaitė, K., Zilius, M., & Majienė, D. (2021). Propolis–quality analysis and use in topical formulations. *Acta Pharmaceutica*, *71*(4), 657–667. DOI: 10.2478/acph-2021-0035
8. Segger, D., Aschenbrenner, A., Hofmann, M., Buchanan, C., & Bashir, R. (2008). Multicenter study on measurement of the natural pH of the skin surface at different body loci. *Skin Research and Technology*, *14*(2), 180–184. DOI: 10.1111/j.1600-0846.2007.00271
9. Stanciuskaitė, M., Marksa, M., Liaudanskas, M., Ivanauskas, L., Ivaskienė, M., & Ramanauskienė, K. (2021). Extracts of Poplar Buds (*Populus balsamifera* L., *Populus nigra* L.) and Lithuanian Propolis: Comparison of Their Composition and Biological Activities. *Plants*, *10*(1), 82. DOI: 10.3390/plants10010082
10. Zabaoui, N., Fouache, A., Trousson, A., Baron, S., Zellagui, A., Lahouel, M., & Lobaccaro, J. M. A. (2017). Biological properties of propolis extracts: Something new from an ancient product. *Chemistry and Physics of Lipids*, *207*(Pt B), 214–222. DOI: 10.1016/j.chemphyslip.2017.04.005
11. Zarrintaj, P., Ramsey, J. D., Samadi, A., Atoufi, Z., Yazdi, M. K., Ganjali, M. R., Amirabad, L. M., Zangene, E., Farokhi, M., Saeb, M. R., & Mozafari, M. (2020). Poloxamer: A versatile tri-block copolymer for biomedical applications. *Acta Biomaterialia*, *110*, 37–67. DOI: 10.1016/j.actbio.2020.04.028
12. Zarrintaj, P., Sefidi-Heris, Y., Yazdi, M. K., Kim, H. S., Ganjali, M. R., Ghatee, A., & Ramsey, J. D. (2024). Smart hydrogels: From fabrication to biomedical applications. *Gels*, *10*(12), 794. DOI: 10.3390/gels10120794

Jokubas Ramanauskas, Urte Daunoraitė, Asta Marija Inkenienė, Aidas Grigonis, Kristina Ramanauskienė

Evaluation of the Dermoprotective Potential of Semi-Solid Formulations Enriched with Bioactive Components

Lithuanian University of Health Sciences, Lithuania

Biologically active compounds, due to their antioxidant, anti-inflammatory, and antimicrobial properties, are increasingly integrated into products designed to address skin issues. The biological activity of propolis is closely linked to its chemical composition. In this study, new semi-solid pharmaceutical forms – binary hydrogels containing propolis extract and p-coumaric acid – were formulated and evaluated. Poloxamer 407 and carbomer 980 polymers were used to form the gel bases, ensuring easy application on the skin and prolonged contact of the active components with the skin surface. The pH values of all gels were close to the natural pH of the skin. Antimicrobial activity studies revealed that the complex addition of propolis extract and p-coumaric acid in the gels helps to enhance the inhibitory effect on *Staphylococcus aureus* growth. Although the increased viscosity of the gels acts as a physical barrier and slows down the release of active substances, all formulated compositions exhibited antimicrobial activity and are suitable for effective topical application on the skin.

Keywords: Propolis, antimicrobial activity, p-coumaric acid, binary hydrogels.

Gauta 2026 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2026 m. balandžio mėn.

Jokūbas RAMANAUSKAS. Medicinos fakultetas, Lietuvos sveikatos universitetas, doc. Adresas: Sukilėlių g. 13, LT-50161 Kaunas, tel. +370 37 327290, el. paštas: jokubas.ramanauskas@stud.lsmu.lt

Urtė DAUNORAITĖ. Medicinos fakultetas, Lietuvos sveikatos universitetas, doc. Adresas: Sukilėlių g. 13, LT-50161 Kaunas, tel. +370 37 327290, el. paštas: urte.daunoraitė@stud.lsmu.lt

Asta Marija INKENIENĖ. Klinikinės farmacijos katedra, Lietuvos sveikatos universitetas, doc. Adresas: Sukilėlių g. 13, LT-50161 Kaunas, tel. +370 37 752357, el. paštas: asta.inkeniene@lsmu.lt

Aidas GRIGONIS. L. Kriaučeliūno smulkiųjų gyvūnų klinika, Lietuvos sveikatos universitetas, prof. Adresas: Sukilėlių g. 13, LT-50161 Kaunas, tel. +370 37 752357, el. paštas: aidas.grigonis@lsmu.lt

Kristina RAMANAUSKIENĖ. Klinikinės farmacijos katedra, Lietuvos sveikatos universitetas, prof. Adresas: Sukilėlių g. 13, LT-50161 Kaunas, tel. +370 37 752357, el. paštas: kristina.ramanauskiene@lsmu.lt

Jokubas RAMANAUSKAS. The Faculty of Medicine, Lithuanian University of Health Sciences, Kaunas, Lithuania. Student. Address: Sukileliu str. 13, LT-50161 Kaunas, Lithuania. Phone: +370 37 752357, e-mail: jokubas.ramanauskas@stud.lsmu.lt

Urte DAUNORAITE. The Faculty of Medicine, Lithuanian University of Health Sciences, Kaunas, Lithuania. Student. Address: Sukileliu str. 13, LT-50161 Kaunas, Lithuania. Phone: +370 37 752357, e-mail: urte.daunoraite@stud.lsmu.lt

Asta Marija INKENIENE. Department of Clinical Pharmacy Lithuanian University of Health Sciences assoc. prof. Address: Sukileliu Street 13, LT-50161 Kaunas Lithuania. Tel. +370 37 75 23 57, e-mail: asta.inkeniene@lsmu.lt

Aidas GRIGONIS Dr. L. Kriaučeliūnas Small Animal Clinic, Veterinary Faculty, Lithuanian University of Health Sciences, Kaunas, Lithuania. prof. Address: Sukileliu Street 13, LT-50161 Kaunas, Lithuania. Phone: +370 37 752357, e-mail: aidas.grigonis@lsmu.lt

Kristina RAMANAUSKIENE. Department of Clinical Pharmacy Lithuanian University of Health Sciences, prof. Address: Sukileliu str. 13, LT-50161 Kaunas, Lithuania. Phone: +370 37 752357, e-mail: kristina.ramanauskiene@lsmu.lt

SMART BERRY ORCHARD SYSTEMS: INTEGRATING BIODIVERSITY AND DIGITAL MONITORING FOR SUSTAINABLE PRODUCTION

Audrone Ispiryan, Rasa Pakeltiene

Vytautas Magnus University, Lithuania

Berry orchard systems increasingly face the challenge of maintaining high productivity while reducing environmental impacts and ensuring food safety. This study examines the role of biodiversity-oriented management practices and digital monitoring technologies in supporting sustainable berry production. The analysis is based on a conceptual review of scientific literature addressing biodiversity management, ecosystem services, and precision agriculture in horticultural systems. The results show that practices such as flower strips, hedgerows, habitat conservation, crop diversification, and organic soil management can enhance key ecosystem services including pollination, biological pest control, and soil fertility. These ecological processes contribute to yield stability and reduce dependence on chemical inputs. Digital monitoring technologies such as soil sensors, remote sensing systems, and smart pest monitoring tools enable more precise observation of environmental conditions and support adaptive orchard management. The integration of biodiversity-based management and digital monitoring systems can improve resource efficiency, strengthen ecosystem functioning, and contribute to environmentally safer and more resilient berry production systems.

Keywords: Biodiversity; berry orchards; ecosystem services; sustainable horticulture; digital agriculture; environmental monitoring.

Introduction

Horticultural production systems are increasingly expected to deliver multiple outcomes simultaneously, including high-quality food production, environmental protection, and the conservation of biological diversity. Agricultural intensification over recent decades has significantly increased productivity but has also contributed to habitat simplification, reduced landscape heterogeneity, and declining populations of pollinators and other beneficial organisms (Tscharntke et al., 2012; Garibaldi et al., 2013). These changes threaten ecosystem functions that are essential for long-term agricultural sustainability, particularly in perennial crop systems. Berry orchards represent a distinctive component of horticulture because they combine intensive cultivation practices with strong dependence on ecological processes such as pollination, soil biological activity, and natural pest regulation. Maintaining these ecological interactions is critical for stable yields and fruit quality. Research has shown that increasing functional biodiversity in agricultural landscapes can improve crop productivity and stability while reducing reliance on chemical inputs (Bommarco et al., 2013; Landis, 2017). Consequently, integrating biodiversity-supporting practices into horticultural production systems has become an important direction in sustainable agriculture. At the same time, technological innovation is reshaping modern agriculture. Advances in environmental sensing, remote monitoring, and data-driven farm management allow producers to better understand crop conditions and environmental variability. Such tools can support more precise management of irrigation, nutrient application, and pest control, potentially reducing environmental impacts while maintaining production efficiency (Zhang et al., 2019; Liakos et al., 2018).

Combining ecological approaches with technological monitoring offers new opportunities for developing sustainable horticultural systems. In berry orchards, biodiversity-friendly management practices supported by improved environmental monitoring may contribute to safer food production, reduced environmental risks, and greater resilience of agroecosystems. The aim of this study is to analyze how biodiversity-oriented management strategies in berry orchards can contribute to sustainable horticultural production and improved environmental and food safety.

Research methodology

The study applies an analytical approach combining literature analysis and conceptual evaluation of biodiversity-oriented management practices in berry orchards. The methodological framework was designed to examine how ecological management strategies and technological monitoring tools may contribute to sustainable horticultural production and improved environmental and food safety. The first stage of the research consisted of a review of scientific literature related to biodiversity in agricultural landscapes, sustainable horticulture, and precision agriculture technologies. Peer-reviewed publications indexed in major scientific databases, including Web of Science and Scopus, were analyzed in order to identify the main ecological mechanisms influencing crop productivity, ecosystem stability, and environmental safety in horticultural systems. In the second stage, key biodiversity-supporting management practices relevant to berry orchard systems were identified and systematized. These practices include habitat diversification,

enhancement of pollinator resources, soil fertility management, and ecological pest regulation. The practices were evaluated in relation to their potential effects on ecosystem services, including pollination, biological pest control, soil health, and nutrient cycling. The third stage involved the conceptual integration of biodiversity-oriented management practices with digital monitoring technologies used in modern horticulture. Environmental monitoring tools, such as remote sensing, sensor-based measurements, and data-driven decision-support systems, were analyzed in terms of their potential to support adaptive farm management and reduce environmental risks. The analytical framework developed in this study enables the assessment of interactions between biodiversity-friendly farming practices, technological innovation, and sustainable berry production outcomes.

Results and discussion

The analysis indicates that biodiversity-supporting management practices can significantly improve ecological functioning within berry orchard systems. Agricultural landscapes that incorporate diverse vegetation structures, semi-natural habitats, and ecological pest management strategies provide favorable conditions for beneficial organisms such as pollinators, predatory insects, and soil microorganisms.

Table 1 below summarizes key biodiversity-oriented management practices applicable in berry orchards and their ecological functions. Practices such as flower strips, hedgerows, and habitat conservation enhance the availability of ecological niches for beneficial organisms. These practices support pollinator populations and natural enemies of agricultural pests, which may reduce the need for chemical pest control.

Table 1. Biodiversity-enhancing management practices in berry orchard systems and their ecological functions

Management practice	Ecological mechanism	Application in berry orchards	Environmental and production benefits
Flower strips and field margins	Provision of nectar, pollen, and habitat for beneficial insects	Establishment of perennial flowering plants along orchard rows or field borders	Increased pollinator abundance, improved pollination efficiency, enhanced biological pest control
Hedgerows and semi-natural habitats	Habitat connectivity and refuge for predators and parasitoids	Maintenance of woody vegetation, shrubs, or natural vegetation around orchards	Increased natural enemy populations, improved landscape biodiversity, reduced pest outbreaks
Crop diversification and varietal diversity	Increased structural and genetic diversity within cropping systems	Cultivation of multiple berry varieties or integration with companion crops	Greater production stability, reduced pest pressure, improved resilience to climatic variability
Organic soil management	Enhancement of soil biological activity and nutrient cycling	Application of compost, organic fertilizers, and cover crops	Improved soil fertility, higher soil organic matter, enhanced microbial activity and carbon sequestration
Integrated pest management (IPM)	Ecological regulation of pests through biological control and monitoring	Use of biological agents, pheromone traps, and reduced pesticide application	Lower pesticide dependence, reduced environmental contamination, improved ecosystem balance

References: Dainese et al., 2019; Gurr et al., 2017; Kennedy et al., 2013; Kremen et al., 2012; 2011; Nicholls et al., 2013.

Table 1 reflects a shift from input-based to ecosystem-based orchard management, where biodiversity substitutes external inputs (Bommarco et al.). The key implication is functional: these practices reshape production processes. Garibaldi et al. show that wild pollinators directly increase fruit set, meaning habitat investments translate into measurable yields. Effectiveness depends on context. Tscharntke et al. and Landis show that simplified landscapes limit these benefits, so isolated measures have weaker impact. Thus, Table 1 highlights a systemic effect—practices are most effective when combined and spatially connected. Productivity gains rely on restoring ecological interactions over time, including belowground processes (Bommarco et al.), positioning biodiversity-based management as a system-level strategy linked to the ecosystem services in Table 2.

Table 2. Key ecosystem services supported by biodiversity in berry orchard agroecosystems

Ecosystem service	Main biodiversity components	Mechanisms influencing production	Relevance for berry crops
Pollination	Wild bees, bumblebees, hoverflies, other insects	Transfer of pollen between flowers, increasing fertilization success	Higher fruit set, improved fruit quality, and greater yield stability
Biological pest control	Predatory insects, parasitoids, spiders, birds	Predation and parasitism reduce populations of herbivorous pests	Reduced pesticide requirements and improved ecological pest regulation
Soil fertility and nutrient cycling	Soil microorganisms, fungi, earthworms	Decomposition of organic matter and nutrient mineralization	Improved soil structure, better water retention, enhanced plant growth
Climate regulation and resilience	Vegetation diversity and soil biodiversity	Carbon sequestration, improved soil water retention, microclimate stabilization	Greater resilience of berry crops to drought and temperature fluctuations
Habitat provision for beneficial organisms	Semi-natural vegetation and diversified agricultural landscapes	Creation of ecological niches supporting species diversity	Strengthened ecosystem stability and improved long-term sustainability of orchards

References: Power, 2010; daily et al., 1997; Cardinale et al., 2012; Tilman et al., 2012; Bianchi et al., 2006 ; Hooper et al., 2005.

Table 2 highlights the ecosystem services through which biodiversity directly influences berry production. Pollination is the most critical of these services. Garibaldi et al. (2013) show that diverse wild pollinators increase fruit set and yield stability, highlighting the need to maintain their habitats alongside managed bees. Biological pest control is another key function. Landis (2017) notes that semi-natural habitats support predators and parasitoids that naturally suppress pests, while Tscharntke et al. (2012) stress that this depends on landscape complexity, as simplified systems often lack stable natural enemy populations. Soil biodiversity also plays an important role through nutrient cycling and soil structure formation.

Table 3. Digital and data-driven technologies supporting agroecological monitoring and berry orchard management

Technology / monitoring system	Environmental and ecosystem indicators monitored	Application in berry orchards	Management decisions supported	Contribution to agroecological sustainability and food safety
Soil sensor networks (IoT sensors)	Soil moisture, temperature, pH, nutrient availability, microbial activity indicators	Continuous monitoring of soil conditions within orchard rows and root zones	Optimization of irrigation and fertilization regimes	Improved soil health, reduced nutrient leaching, more efficient resource use
Remote sensing and UAV-based monitoring	Vegetation indices (NDVI, NDRE), canopy structure, plant stress signals	Spatial assessment of crop vigor and detection of stress patterns in orchards	Targeted fertilization, irrigation and disease control interventions	Reduced agrochemical use, improved crop productivity and environmental monitoring
Microclimate and weather monitoring systems	Temperature, humidity, rainfall, wind speed, leaf wetness duration	Monitoring local climatic conditions affecting pest and disease development	Timing of pest management and irrigation strategies	Improved efficiency of pest control and reduced pesticide applications
Smart pest monitoring systems (digital traps)	Pest population density, insect activity patterns, seasonal dynamics	Automated monitoring of pest populations using digital traps and sensors	Data-driven integrated pest management (IPM) strategies	Reduced pesticide dependence and improved ecological pest regulation
Pollinator monitoring tools	Pollinator abundance, activity patterns, biodiversity indicators	Monitoring pollinator presence and diversity within orchard landscapes	Design of habitat-supporting measures and flowering resource management	Improved pollination services and increased crop yield stability
Decision-support systems and AI-based analytics	Integrated environmental, agronomic, and biodiversity monitoring data	Digital platforms integrating sensor data, weather information and crop models	Adaptive farm management and predictive crop monitoring	Enhanced sustainability, reduced environmental risks and improved food safety

References: Wolfert et al., 2017; Pierpaoli, et al., 2013 ; Mulla, 2013 ; Shamshiri et al., 2019 ; Lowenberg-DeBoer et al., 2019.

Bommarco et al. (2013) emphasize its contribution to decomposition and nutrient availability, which are essential for perennial crops such as berry orchards. Digital and data-driven technologies are presented in Table 3.

Table 3 shows that digital monitoring technologies improve berry orchard management by providing detailed soil, crop, and environmental data. Precision agriculture tools (e.g., soil sensors, remote sensing) enable detection of spatial variability in moisture, nutrients, and plant stress. Zhang et al. (2019) demonstrate improved irrigation and fertilization efficiency, while Liakos et al. (2018) highlight early stress detection via UAVs and support for targeted interventions. Digital pest monitoring enhances pest management by enabling action based on economic thresholds, a key principle of integrated pest management (Landis, 2017). Liakos et al. (2018) emphasize that digital tools are most effective when integrated with ecological approaches. Overall, monitoring systems act as decision-support tools that strengthen biodiversity-based management and reduce unnecessary agrochemical use.

Conclusion

Biodiversity-supporting practices in berry orchards function as productive ecological infrastructure. The ecosystem services identified in this study show that berry production depends on agronomic management, and the integrity of ecological interactions within orchard systems. Digital monitoring technologies increase the feasibility of biodiversity-oriented management by reducing uncertainty in ecological systems.

Acknowledgements

This work was supported by the Research Council of Lithuania (LMTLT), the project EcoFlourish, project no.123, contract no S-AGROECOLOGY-26-2.

References

1. Anderson, C. R., Bruil, J., Chappell, M. J., Kiss, C., & Pimbert, M. P. (2019). From transition to domains of transformation: Getting to sustainable and just food systems through agroecology. *Sustainability*, 11(19), 5272. <https://doi.org/10.3390/su11195272>
2. Bommarco, R., Kleijn, D., Potts, S. G. Ecological intensification: Harnessing ecosystem services for food security. *Trends in Ecology & Evolution*, 28(4), 230–238 (2013). <https://doi.org/10.1016/j.tree.2012.10.012>
3. Cardinale, B. J., Duffy, J. E., Gonzalez, A., et al. Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*, 486, 59–67 (2012). <https://doi.org/10.1038/nature11148>
4. Dainese, M., Martin, E. A., Aizen, M. A., et al. A global synthesis reveals biodiversity-mediated benefits for crop production. *Science Advances*, 5(10), eaax0121 (2019). <https://doi.org/10.1126/sciadv.aax0121>
5. Hooper, D. U., Chapin, F. S., Ewel, J. J., et al. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: A consensus of current knowledge. *Ecological Monographs*, 75(1), 3–35 (2005). <https://doi.org/10.1890/04-0922>
6. Garibaldi, L. A., Steffan-Dewenter, I., Winfree, R., et al. Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honey bee abundance. *Science*, 339(6127), 1608–1611 (2013). <https://doi.org/10.1126/science.1230200>
7. Gurr, G. M., Wratten, S. D., Landis, D. A., & You, M. Habitat management to suppress pest populations: Progress and prospects. *Annual Review of Entomology*, 62, 91–109 (2017). <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-031616-035050>
8. Landis, D.A. Designing agricultural landscapes for biodiversity-based ecosystem services. *Basic and Applied Ecology*, 18, 1–12 (2017). <https://doi.org/10.1016/j.baae.2016.07.005>
9. Kamilaris, A., Kartakoullis, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. A review on the practice of big data analysis in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 143, 23–37 (2017). <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.09.037>
10. Kennedy, C. M., Lonsdorf, E., Neel, M. C., et al. A global quantitative synthesis of local and landscape effects on wild bee pollinators in agroecosystems. *Ecology Letters*, 16(5), 584–599 (2013). <https://doi.org/10.1111/ele.12082>
11. Kremen, C., & Miles, A. Ecosystem services in biologically diversified versus conventional farming systems: Benefits, externalities, and trade-offs. *Ecology and Society*, 17(4), 40 (2012). <https://doi.org/10.5751/ES-05035-170440>
12. Liakos, K. G., Busato, P., Moshou, D., Pearson, S., Bochtis, D. Machine learning in agriculture: A review. *Sensors*, 18(8), 2674 (2018). <https://doi.org/10.3390/s18082674>

13. Lowenberg-DeBoer, J., & Erickson, B. Setting the record straight on precision agriculture adoption. *Agronomy Journal*, 111(4), 1552–1569 (2019). <https://doi.org/10.2134/agronj2018.12.0779>
14. Mulla, D. J. Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. *Biosystems Engineering*, 114(4), 358–371 (2013). <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.08.009>
15. Nicholls, C. I., & Altieri, M. A. Plant biodiversity enhances bees and other insect pollinators in agroecosystems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 33(2), 257–274 (2013). <https://doi.org/10.1007/s13593-012-0092-y>
16. Tschamntke, T., Clough, Y., Wanger, T. C., et al. Global food security, biodiversity conservation and the future of agricultural intensification. *Biological Conservation*, 151(1), 53–59 (2012). <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.01.068>
17. Zhang, C., Walters, D., Kovacs, J. M. Applications of low altitude remote sensing in agriculture upon farmers' fields: A review. *Remote Sensing*, 11(15), 1864 (2019). <https://doi.org/10.3390/rs11151864>
18. Power, A. G. Ecosystem services and agriculture: Tradeoffs and synergies. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 365(1554), 2959–2971 (2010). <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0143>
19. Daily, G. C. (1997). *Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems*. Island Press, Washington DC.
20. Tilman, D., Reich, P. B., & Isbell, F. Biodiversity impacts ecosystem productivity as much as resources, disturbance, or herbivory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(26), 10394–10397 (2012). <https://doi.org/10.1073/pnas.1208240109>
21. Bianchi, F. J. J. A., Booij, C. J. H., & Tschamntke, T. Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: A review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. *Proceedings of the Royal Society B*, 273, 1715–1727 (2006). <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3530>
22. Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M.-J. Big data in smart farming – A review. *Agricultural Systems*, 153, 69–80 (2017). <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023>
23. Pierpaoli, E., Carli, G., Pignatti, E., & Canavari, M. Drivers of precision agriculture technologies adoption: A literature review. *Procedia Technology*, 8, 61–69 (2013). <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2013.11.010>
24. Zhang, N., Wang, M., & Wang, N. Precision agriculture – A worldwide overview. *Computers and Electronics in Agriculture*, 36(2–3), 113–132 (2002). [https://doi.org/10.1016/S0168-1699\(02\)00096-0](https://doi.org/10.1016/S0168-1699(02)00096-0)
25. Shamshiri, R. R., Kalantari, F., Ting, K. C., et al. Advances in greenhouse automation and controlled environment agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 162, 377–405 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.04.031>

Received March, 2026, published April, 2026

Audrone ISPIRYAN. Vytautas Magnus University, Agriculture Academy, Senior researcher, Address: Studentų str. 11, Akademija, Lithuania. Phone: +370 672 90015, e-mail: audrone.ispiryan@vdu.lt
 Rasa PAKELTIENE, Vytautas Magnus University, Agriculture Academy, Senior researcher. Address: Studentų str. 11, Akademija, Lithuania. Phone: +370 672 90015, e-mail: rasa.pakeltiene@vdu.lt

NATURE-BASED SOLUTIONS AND THE BIOECONOMY AS PILLARS OF HUMAN AND ECOSYSTEM SAFETY

Alina Butu^{1,2,3}, Izabela Stancu², Steliana Rodino^{1,4}, Marian Butu^{1,4}

¹National Institute of Research and Development for Biological Sciences, Romania, ²National University of Science and Technology Politehnica Bucharest, Romania, ³Vytautas Magnus University, Lithuania,

⁴The Research Institute for Agriculture Economy and Rural Development, Romania

Nature-based solutions (NbS) and the bioeconomy are increasingly recognized as complementary approaches for addressing environmental challenges and strengthening both human and ecosystem safety. Intensifying pressures associated with climate change, biodiversity loss, and unsustainable resource use highlight the need for integrated and sustainable development pathways. This paper examines the contribution of NbS and bioeconomy strategies to enhancing ecosystem resilience and supporting human well-being. The study is based on a qualitative synthesis of recent scientific literature, European policy frameworks, and documented examples of sustainable environmental practices. The analysis shows that NbS contribute to ecosystem restoration, climate adaptation, and biodiversity conservation, while bioeconomy strategies promote the sustainable use of renewable biological resources and support circular production systems. The integration of these approaches can enhance ecosystem services, strengthen resource security, and support sustainable environmental governance, thereby contributing to long-term socio-ecological resilience and improved human and environmental safety.

Keywords: Nature-based solutions; bioeconomy; ecosystem safety; sustainability; resilience.

Introduction

Environmental degradation, climate change, and biodiversity loss increasingly threaten socio-ecological systems, undermining ecosystem integrity and amplifying risks to food security, public health, and economic stability. The degradation of ecosystem functions compromises the long-term provision of ecosystem services and reduces the adaptive capacity of both ecosystems and human societies. Recent research highlights the need to integrate biodiversity and ecosystem services into decision-support frameworks capable of capturing interactions between ecological change and human well-being (Chaplin-Kramer et al., 2024).

In this context, Nature-Based Solutions (NbS) have emerged as an integrative sustainability framework that addresses environmental challenges through the protection, restoration, and sustainable management of ecosystems. NbS provide multiple ecological and socio-economic benefits, including biodiversity conservation, climate mitigation and adaptation, and improved ecosystem service provision (de Lemos et al., 2024). Evidence also suggests that NbS can contribute to employment generation and socio-economic resilience, although their effectiveness depends on governance quality and implementation contexts (Chausson et al., 2024). Their role in climate resilience is increasingly associated with the need for innovative financing mechanisms supporting ecosystem restoration and risk reduction (Meraj & Hashimoto, 2025).

Alongside NbS, the bioeconomy has gained importance as a development paradigm focused on the sustainable use of renewable biological resources for food, materials, chemicals, and energy. By promoting bio-based and circular production systems, the bioeconomy aims to reduce environmental pressures while supporting innovation and resource efficiency. However, the development of circular bioeconomy systems requires robust sustainability assessment frameworks and effective governance mechanisms to prevent unintended ecological impacts (Mesa et al., 2024; Srivastav et al., 2025).

NbS and bioeconomy strategies are increasingly recognized as complementary approaches to sustainability. NbS can enhance the ecological stability of landscapes that supply biological resources, while bioeconomy value chains may create incentives for maintaining ecosystem functions through sustainable resource use. Nevertheless, increasing demand for biomass may intensify land-use competition and environmental pressures if not supported by appropriate sustainability safeguards and circular resource management strategies (Saravanan et al., 2025).

The relevance of this nexus is particularly evident in the context of rising environmental risks and urbanization pressures, where NbS are increasingly used to improve environmental quality, climate resilience, and sustainable development outcomes. However, ensuring that these benefits are equitably distributed requires integrated planning approaches that balance ecological and social objectives (Prodanovic et al., 2024).

Despite growing research on NbS and the bioeconomy, these approaches are often examined separately, and their combined role in strengthening ecosystem resilience and human and ecosystem safety remains insufficiently explored. Addressing this gap is essential for developing integrated sustainability pathways capable of supporting ecosystem restoration, circular resource use, and socio-ecological resilience.

Against this background, the present study analyzes how NbS and bioeconomy strategies can function as mutually reinforcing approaches that enhance ecosystem services, support circular resource management, and strengthen adaptive capacity in the context of accelerating environmental change.

Research methodology

The present study adopts a qualitative conceptual approach combining literature synthesis and policy analysis to examine the role of NbS and bioeconomy strategies in strengthening ecosystem resilience and improving human and ecosystem safety. Given the interdisciplinary character of these concepts, the methodological framework combines literature review, conceptual analysis, and policy analysis in order to explore the interactions between ecological processes, socio-economic systems, and environmental governance mechanisms that influence sustainable development pathways.

The research is based on the analysis of recent scientific literature and policy documents addressing nature-based solutions, bioeconomy development, and ecosystem-based sustainability strategies. The literature review focuses primarily on peer-reviewed publications in the fields of environmental science, sustainability studies, ecological economics, and environmental policy. Particular attention was given to studies examining the role of NbS in climate adaptation and ecosystem resilience, as well as research addressing circular bioeconomy systems and sustainable biomass utilization (Seddon et al., 2020; Chausson et al., 2020; Winkel et al., 2021).

The selection of sources was guided by criteria including scientific relevance, methodological robustness, and their contribution to understanding the interactions between ecological sustainability and socio-economic development. Priority was given to studies that provide conceptual frameworks, empirical insights, or policy analyses related to the implementation of NbS and bioeconomy strategies in the context of climate change mitigation, ecosystem restoration, and sustainable resource management.



Fig. 1 Conceptual framework linking Nature-Based Solutions, bioeconomy, and ecosystem resilience

In addition to academic literature, the study analyzes strategic policy frameworks developed by European institutions, including the European Green Deal and the EU Biodiversity Strategy for 2030. These initiatives highlight the growing role of NbS and circular bioeconomy models in supporting climate neutrality, biodiversity conservation, and sustainable economic development. The policy analysis therefore provides insights into how ecosystem-based approaches are translated into governance mechanisms and sustainability strategies within the European policy context (European Commission, 2021; Ronzon et al., 2020).

The analytical framework is structured around the concept of ecosystem services, which provides a useful perspective for understanding how natural systems support human societies through key ecological functions such as food provision, climate regulation, water purification, and soil formation. By examining the role of ecosystem services within NbS and bioeconomy initiatives, the study explores the mechanisms through which ecological processes can contribute to environmental protection, climate resilience, and sustainable resource management (IPBES, 2022).

To support the analysis, a conceptual framework was developed to illustrate the relationships between nature-based solutions, bioeconomy strategies, ecosystem services, and environmental governance. Within this framework, NbS are understood as ecosystem-based interventions that enhance the capacity of natural systems to maintain ecosystem functions and adapt to environmental pressures, while bioeconomy strategies promote the sustainable use of renewable biological resources within circular production systems (Fig 1).

The study also considers documented examples of sustainable practices described in the literature, including ecosystem restoration initiatives, sustainable forest management, and agroecological farming systems. These examples illustrate how NbS and bioeconomy approaches can complement each other in supporting biodiversity conservation, carbon sequestration, and sustainable biomass production. Although the research does not involve primary empirical data collection, the conceptual synthesis of scientific literature and policy frameworks provides a comprehensive perspective on the potential of integrated NbS–bioeconomy strategies to strengthen ecosystem resilience and support sustainable development.

Results and discussion

Nature-based solutions for ecosystem resilience

NbS have become an increasingly important component of strategies aimed at enhancing ecosystem resilience and addressing complex environmental challenges. By promoting the conservation, restoration, and sustainable management of ecosystems, NbS provide multiple ecological and socio-economic benefits that support biodiversity conservation, climate adaptation, and human well-being (Seddon et al., 2020; de Lemos et al., 2024). These approaches rely on natural processes to regulate environmental systems and mitigate the impacts of climate change while strengthening ecosystem services that are essential for human societies and sustainable development (Chaplin-Kramer et al., 2024).

One of the key contributions of NbS lies in their capacity to restore ecosystem functions that have been degraded by unsustainable land-use practices and anthropogenic pressures. Initiatives such as reforestation, wetland rehabilitation, and landscape restoration contribute to biodiversity conservation and improve ecosystem stability and resilience (Chausson et al., 2020). Forest restoration enhances carbon sequestration and soil stabilization, while wetlands support water purification, flood regulation, and habitat protection. These ecosystem-based interventions therefore contribute simultaneously to environmental protection and climate change mitigation.

NbS also play a significant role in climate change adaptation. Ecosystems such as forests, peatlands, and wetlands act as natural carbon sinks that help reduce atmospheric greenhouse gas concentrations. At the same time, ecosystem-based adaptation measures can reduce the vulnerability of communities to extreme climatic events such as floods, droughts, and heatwaves, thereby enhancing both environmental and societal resilience (Meraj & Hashimoto, 2025). As climate variability increases, NbS provide flexible and cost-effective solutions that strengthen the adaptive capacity of socio-ecological systems.

Another important dimension of NbS relates to water regulation and soil conservation. Natural landscapes improve water retention, groundwater recharge, and river flow regulation, which are particularly important under conditions of increasing climate variability. Practices such as agroforestry, conservation agriculture, and landscape restoration improve soil structure, enhance nutrient cycling, and increase soil carbon storage. These processes contribute to sustainable agricultural systems and support long-term food security while maintaining ecosystem services (IPBES, 2022).

Beyond ecological benefits, NbS also generate significant socio-economic advantages. Ecosystem restoration initiatives and sustainable land management practices can create green jobs and support rural development. Activities such as sustainable forestry, ecological restoration, and nature-based tourism contribute to local economic growth while improving environmental quality and public well-being (Chausson et al., 2024). In urban environments, NbS are increasingly implemented through green infrastructure solutions such as urban parks, green roofs, and urban forests. These interventions improve air quality, regulate urban temperatures, and reduce the urban heat island effect while enhancing climate resilience and environmental quality in cities (Prodanovic et al., 2024).

Overall, NbS represent an integrated approach to environmental management that simultaneously supports ecosystem restoration, climate adaptation, and sustainable socio-economic development. By strengthening ecosystem services and enhancing ecological resilience, NbS contribute significantly to reducing environmental risks and improving human and ecosystem safety.

Bioeconomy and sustainable resource management

The bioeconomy has emerged as an important concept in sustainability transitions, promoting economic systems that rely on renewable biological resources rather than fossil-based inputs. By supporting the sustainable use of biomass for food, materials, chemicals, and energy, the bioeconomy contributes to environmental protection, climate mitigation, and economic innovation (Ronzon et al., 2020; Srivastav et al.,

2025). As global demand for resources increases, the bioeconomy offers opportunities to reduce environmental pressures while promoting more sustainable production and consumption systems.

Bioeconomy sectors include agriculture, forestry, fisheries, biotechnology, and bio-based industries. Advances in biotechnology and bioengineering have expanded the potential applications of biological resources, enabling the development of innovative products such as biofuels, biodegradable materials, bio-based chemicals, and pharmaceuticals (Saravanan et al., 2025). These developments contribute to reducing dependence on fossil resources while promoting environmentally sustainable industrial processes.

A key principle of the bioeconomy is the transition from linear production systems toward circular production models. Circular bioeconomy approaches aim to reduce waste and increase resource efficiency through recycling, reuse, and biomass valorization. By closing material loops and promoting cascading biomass use, circular bioeconomy systems contribute to more sustainable production systems and reduced environmental impacts (Mesa et al., 2024; Srivastav et al., 2025).

Sustainable agriculture plays a central role in the bioeconomy by providing biological resources for both food production and industrial applications while maintaining essential ecosystem services such as soil fertility, water regulation, and biodiversity conservation (IPBES, 2022). Similarly, sustainable forest management provides renewable biomass resources for bio-based industries while contributing to carbon sequestration, biodiversity conservation, and ecosystem resilience. Forest-based sectors therefore play a strategic role in the development of the European bioeconomy and in the transition toward more sustainable resource management systems (Winkel et al., 2021).

The development of the bioeconomy also contributes to rural development by creating new economic opportunities in biomass production, bio-based manufacturing, and environmental services. Rural regions often possess significant biological resources, making them important areas for bioeconomy innovation and investment. However, increasing demand for biomass may also create sustainability challenges, including land-use competition, biodiversity loss, and pressure on natural ecosystems (Tab. 1). Consequently, the successful implementation of bioeconomy strategies requires strong governance frameworks, effective policy instruments, and sustainable resource management practices (Ronzon et al., 2020).

Table 1. Key sectors of the bioeconomy and their contribution to sustainable resource management

Bioeconomy sectors	Biological resources used	Main applications	Sustainability benefits	Key challenges
<i>Agriculture</i>	Crops, residues, organic biomass	Food production, bio-based materials, bioenergy	Supports food security, maintains soil fertility, contributes to circular resource use	Land-use competition, soil degradation
<i>Forestry</i>	Wood biomass, forest residues	Construction materials, bioenergy, bio-based chemicals	Carbon sequestration, renewable biomass supply, biodiversity support	Overharvesting risks, forest ecosystem degradation
<i>Fisheries and aquaculture</i>	Marine biomass, algae, aquatic organisms	Food, pharmaceuticals, nutraceuticals	Sustainable protein sources, diversification of biological resources	Overexploitation of marine ecosystems
<i>Biotechnology and bio-based industries</i>	Microorganisms, plant biomass, enzymes	Bioplastics, biofuels, bio-based chemicals	Reduced dependence on fossil resources, lower greenhouse gas emissions	Technological and economic scalability
<i>Circular bioeconomy systems</i>	Agricultural and industrial organic waste	Biomass valorization, recycling, waste-to-energy processes	Resource efficiency, waste reduction, circular production models	Governance and sustainability monitoring

Synergies between NbS and the bioeconomy

The integration of NbS and bioeconomy strategies offers important opportunities for advancing sustainable development and strengthening the resilience of socio-ecological systems. Although these approaches have often been addressed separately, their underlying principles are highly complementary. Both NbS and bioeconomy strategies emphasize sustainable resource use, ecosystem service enhancement, and the development of environmentally responsible economic systems.

Agroecological farming systems illustrate the potential synergies between NbS and the bioeconomy by integrating ecological principles with agricultural production. These systems support biodiversity conservation, improve soil health, and promote sustainable biomass production while maintaining agricultural

productivity. Similarly, sustainable forest management practices demonstrate how ecosystems can provide renewable resources while simultaneously delivering critical ecosystem services such as carbon sequestration, water regulation, and habitat protection.

Landscape restoration initiatives further highlight the complementarity between NbS and bioeconomy development. Restoring degraded ecosystems improves soil fertility, strengthens ecosystem services, and increases the availability of sustainable biomass resources that can be used in bio-based industries. These restoration activities contribute to both environmental sustainability and economic opportunities linked to the circular bioeconomy.

Innovation and knowledge exchange play an essential role in strengthening these synergies. The development of sustainable bioeconomy systems requires the integration of ecological knowledge with technological innovation and stakeholder collaboration. Interdisciplinary research and participatory governance mechanisms help ensure that bioeconomy initiatives align with environmental sustainability goals. By combining ecosystem restoration with sustainable resource use, NbS and bioeconomy strategies can strengthen socio-ecological resilience and reduce environmental risks.

Policy perspective

Policy frameworks play a crucial role in supporting the implementation of NbS and bioeconomy strategies. In recent years, the European Union has increasingly integrated these approaches into its sustainability policies and long-term development strategies. The European Green Deal represents one of the most significant initiatives aimed at transforming the European economy into a climate-neutral and resource-efficient system. Within this framework, NbS are recognized as key tools for climate adaptation, biodiversity conservation, and ecosystem restoration.

The EU Biodiversity Strategy for 2030 also emphasizes the restoration of degraded ecosystems and the protection of natural habitats as central elements of environmental sustainability. These measures aim to strengthen ecosystem resilience while promoting sustainable land-use practices across Europe.

At the same time, the European Bioeconomy Strategy promotes the sustainable use of biological resources and the development of circular bioeconomy models that maximize resource efficiency and minimize waste. Through investments in research, innovation, and bio-based technologies, the strategy supports the transition toward a sustainable bio-based economy.

The increasing alignment between environmental and economic policies at the European level creates favorable conditions for integrating NbS and bioeconomy approaches. Such integrated strategies can enhance ecosystem resilience, promote sustainable economic development, and improve both human and environmental safety in the context of ongoing global environmental change.

Conclusions

1. NbS represent effective approaches for restoring degraded ecosystems and strengthening resilience by supporting biodiversity conservation, water regulation, soil stability, and climate change mitigation and adaptation.
2. The bioeconomy promotes the sustainable use of renewable biological resources through circular production systems, bio-based technologies, and sustainable agricultural and forestry practices.
3. Integrating NbS within bioeconomy strategies generates socio-ecological synergies that support sustainable biomass production while maintaining ecosystem integrity and biodiversity.
4. By enhancing ecosystem services such as carbon sequestration, water regulation, and soil conservation, combined NbS and bioeconomy approaches contribute to environmental safety and human well-being.
5. Their effective implementation requires supportive policy frameworks, interdisciplinary research, and collaboration among policymakers, scientists, industry stakeholders, and local communities.

Acknowledgements

This work was supported by the projects EcoFlourish, BOOST4BIOEAST, BEAMING, Cellu4Heal, as well as by the Core Program within the National Research, Development and Innovation Plan 2022-2027, carried out with the support of MRID, project no.101, contract no 7N/2022

References

1. Chaplin-Kramer, R., Polasky, S., Alkemade, R., Burgess, N. D., Cheung, W. W. L., Fetzer, I., & Pereira, H. M. (2024). Integrated modeling of nature's role in human well-being: A research agenda. *Global Environmental Change*, 88, 102891. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2024.102891>

2. Chausson, A., Smith, A., Reger, R. Z.-Z., O'Callaghan, B., Mori Clement, Y., Zapata, F., & Seddon, N. (2024). Harnessing nature-based solutions for economic recovery: A systematic review. *PLOS Climate*, 3(10), e0000281. <https://doi.org/10.1371/journal.pclm.0000281>
3. Chausson, A., Turner, B., Seddon, D., Chabaneix, N., Girardin, C. A. J., Kapos, V., Key, I., Roe, D., Smith, A., Woroniecki, S., & Seddon, N. (2020). Mapping the effectiveness of nature-based solutions for climate change adaptation. *Global Change Biology*, 26(11), 6134–6155. <https://doi.org/10.1111/gcb.15310>
4. de Lemos, G. L., Eslabão, A. de A., dos Santos, J. F., Rodrigues, A. T., da Costa, L. F., Costa, H. K. de M., Fagá, M. T. W., & dos Santos, E. M. (2024). Nature-based solutions experiences: A systematic literature review for public policies. *Nature-Based Solutions*, 5, 100121. <https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2024.100121>
5. European Commission. (2021). *EU biodiversity strategy for 2030: Bringing nature back into our lives*. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/fs_20_906
6. IPBES. (2022). Assessment report on the sustainable use of wild species. *Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. <https://www.ipbes.net/sustainable-use-assessment>
7. Mesa, J. A., Sierra-Fontalvo, L., Ortegon, K., & Gonzalez-Quiroga, A. (2024). Advancing circular bioeconomy: A critical review and assessment of indicators. *Sustainable Production and Consumption*, 46, 324–342. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.03.006>
8. Meraj, G., & Hashimoto, S. (2025). Bridging the adaptation finance gap: The role of nature-based solutions for climate resilience. *Sustainability Science*, 20, 1093–1107. <https://doi.org/10.1007/s11625-025-01655-1>
9. Prodanovic, V., Bach, P. M., & Stojkovic, M. (2024). Urban nature-based solutions planning for biodiversity outcomes: Human, ecological, and artificial intelligence perspectives. *Urban Ecosystems*. <https://doi.org/10.1007/s11252-024-01558-6>
10. Ronzon, T., Piotrowski, S., Tamosiunas, S., Dammer, L., Carus, M., & M'barek, R. (2020). Developments of Economic Growth and Employment in Bioeconomy Sectors across the EU. *Sustainability*, 12(11), 4507. <https://doi.org/10.3390/su12114507>
11. Saravanan, A., Ragini, Y. P., Karishma, S., Hemavathy, R. V., & Jyotsna, M. (2025). A review on advancing sustainable energy: The role of biomass and bioenergy in a circular economy. *Sustainable Futures*, 10, 100835. <https://doi.org/10.1016/j.sftr.2025.100835>
12. Seddon, N., Chausson, A., Berry, P., Girardin, C. A. J., Smith, A., & Turner, B. (2020). Understanding the value and limits of nature-based solutions to climate change and other global challenges. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 375(1794), 20190120. <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0120>
13. Srivastav, A. L., Bagherian, A., & Ghosh, D. (2025). The circular bioeconomy: Pathways to sustainability and resource optimization. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 27, 815–832. <https://doi.org/10.1007/s10098-024-03060-1>
14. Winkel, G., Sotirov, M., & Lovrić, M. (2021). The future of the European forest-based bioeconomy. *Forest Policy and Economics*, 128, 102457. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2021.102457>

Received March, 2026, published April, 2026

Alina BUTU. National Institute of Research and Development for Biological Sciences, Splaiul Independenței 296, 060031, Bucharest, Romania; National University of Science and Technology Politehnica Bucharest, Splaiul Independenței 313, 060042, Bucharest, Romania; Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Bioeconomy Research Institute, Senior Researcher, Dr., Address: Studentų str. 11, LT- 53361, Kaunas, Lithuania. Phone: +40722 708 382, e-mail: alina_butu@yahoo.com;

Izabela STANCU. National University of Science and Technology Politehnica Bucharest, Splaiul Independenței 313, 060042, Bucharest, Romania.

Steliana RODINO. National Institute of Research and Development for Biological Sciences, Splaiul Independenței 296, 060031, Bucharest, Romania; Research Institute for Agricultural Economics and Rural Development, Bulevardul Mărăști 61, sector 1, Bucharest, Romania.

Marian BUTU. National Institute of Research and Development for Biological Sciences, Splaiul Independenței 296, 060031, Bucharest, Romania; Research Institute for Agricultural Economics and Rural Development, Bulevardul Mărăști 61, sector 1, Bucharest, Romania.

ADVANCING HUMAN AND NATURE SAFETY THROUGH AGROECOLOGICAL LIVING LABS

Marian Butu^{1,2,3}, Audrone Ispyrjan⁴, Alina Butu^{1,4}, Steliana Rodino^{1,2}

¹National Institute of Research and Development for Biological Sciences, Romania; ²Research Institute for Agricultural Economics and Rural Development, Romania; ³INOSTAR, Romania; ⁴Vytautas Magnus University, Lithuania

Agroecological living labs (LLs) are increasingly recognized as collaborative innovation platforms that support the transition toward more resilient agricultural systems. By bringing together farmers, researchers, policymakers, and other stakeholders, these participatory environments enable the co-creation and testing of agroecological practices under real farming conditions. The aim of this study is to analyze the role of agroecological LLs in promoting sustainable agricultural practices and improving both environmental and human safety. The research is based on a qualitative approach combining literature review and conceptual analysis of agroecological principles and participatory innovation models. The results indicate that LLs facilitate knowledge exchange and support the implementation of practices such as crop diversification, ecological pest management, and soil conservation. These practices contribute to improved soil health, biodiversity conservation, and reduced dependence on synthetic inputs. Overall, agroecological LLs represent promising mechanisms for accelerating the transition toward resilient and environmentally sustainable agricultural systems.

Keywords: Agroecology; living labs; sustainable agriculture; environmental safety; innovation.

Introduction

Agricultural systems worldwide face increasing challenges related to climate change, soil degradation, biodiversity loss, and growing food demand. Conventional agriculture has contributed significantly to environmental degradation and ecosystem imbalance. These pressures highlight the need for agricultural systems that ensure food security while preserving natural resources and ecosystem services. In this context, agroecology has emerged as a promising framework that integrates ecological principles into agricultural production while addressing the social and economic dimensions of food systems (Wezel et al., 2020; Anderson et al., 2019; Gardezi et al., 2024).

Agroecology promotes diversified farming systems, improved soil management, reduced dependence on synthetic inputs, and stronger connections between farmers, ecosystems, and local communities. It also emphasizes participatory governance, knowledge co-creation, and the active involvement of farmers and stakeholders in innovation processes. These features position agroecology as a systemic approach capable of addressing complex sustainability challenges in agricultural landscapes while strengthening long-term food system resilience (Wittman et al., 2017; Anderson et al., 2019).

In recent years, living labs (LLs) have gained recognition as collaborative innovation environments that support sustainability transitions in agriculture. LLs are participatory platforms where farmers, researchers, policymakers, and other actors jointly experiment with technologies, management practices, and organizational models under real-life conditions, representing collaborative environments that integrate research, innovation, and stakeholder participation in agricultural systems (McPhee et al., 2021; Potters et al., 2022).

The integration of agroecological principles into living lab frameworks has led to the development of agroecological LLs, experimental spaces where stakeholders test sustainable farming practices and co-create locally adapted solutions. Through participatory experimentation and continuous learning, these initiatives contribute to the development of resilient agricultural systems and support the transition toward more sustainable food systems (Stone, 2025; Rastorgueva et al., 2025).

In this context, the present study analyzes how agroecological LLs contribute to environmental sustainability and improve both human and ecosystem safety in agricultural systems.

Research methodology

This study employs a qualitative research design based on a structured literature review and conceptual synthesis of agroecological and living lab frameworks to explore the role of agroecological LLs in supporting sustainable agricultural innovation and improving environmental and human safety. Qualitative approaches are particularly suitable for examining complex socio-ecological systems and innovation processes that involve multiple actors, knowledge systems, and governance arrangements. Agroecology and LLs both represent systemic and participatory approaches to innovation, which require analytical frameworks capable of integrating ecological, social, and institutional dimensions of agricultural transformation (Wezel et al., 2020).

The methodological framework of the study integrates three main components: the analysis of scientific literature on agroecology and participatory innovation, conceptual synthesis of agroecological principles, and the examination of living lab approaches as collaborative environments for experimentation and knowledge co-creation. These components collectively support the identification of mechanisms through which agroecological LLs contribute to sustainable agricultural practices and improved ecosystem safety. Figure 1 illustrates the conceptual framework used in this study, highlighting the relationships between knowledge sources, methodological approach, application context, and the resulting sustainability outcomes.

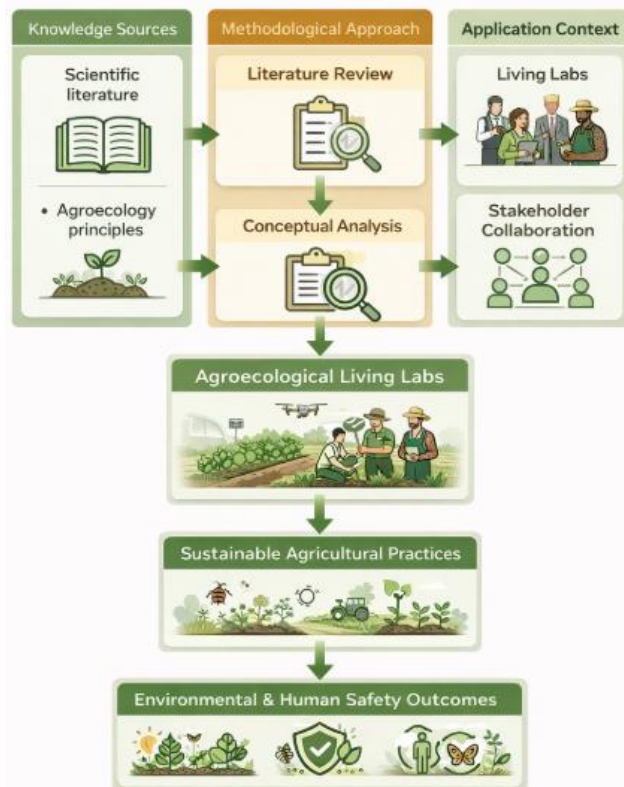


Fig. 2. Conceptual framework of agroecological living lab methodology

The framework emphasizes the interaction between scientific knowledge, participatory experimentation, and stakeholder collaboration within agroecological LLs. Through this integrative approach, the study explores how collaborative innovation platforms facilitate the adoption of sustainable agricultural practices and contribute to environmental and human safety outcomes.

The first stage of the research consisted of a systematic review of recent scientific literature related to agroecology, LLs, and participatory innovation in agriculture. Scientific publications indexed in major academic databases, including Web of Science, Scopus, and Google Scholar, were examined in order to identify relevant theoretical frameworks, methodological approaches, and empirical evidence related to agroecological transitions. Particular attention was given to studies published within the last five years in order to capture the most recent developments in agroecological research and participatory innovation models. Keywords used in the search process included “agroecology”, “living labs”, “agroecological transition”, “participatory innovation”, and “sustainable agricultural systems”. This approach allowed the identification of key concepts and principles that characterize agroecological LLs and

their potential contributions to sustainable food systems (Anderson et al., 2019; Stone, 2025).

The second stage of the research involved a conceptual analysis aimed at synthesizing existing knowledge on the interaction between agroecological practices and living lab methodologies. Conceptual analysis is commonly used in sustainability research to clarify theoretical constructs and to examine how different innovation approaches interact within broader socio-technical systems. In this study, the analysis focused on understanding how agroecological principles, such as biodiversity enhancement, soil health management, circular resource use, and reduced dependence on external inputs, can be operationalized within collaborative experimentation environments such as LLs (Wezel et al., 2020).

Furthermore, the research examines the role of participatory innovation processes in facilitating agroecological transitions. LLs are increasingly recognized as platforms that enable stakeholders to co-create knowledge, test innovations in real-world contexts, and evaluate their environmental, social, and economic impacts. By bringing together farmers, researchers, policymakers, and civil society organizations, LLs promote mutual learning and adaptive management, which are essential for addressing the complex challenges facing modern agricultural systems (Potters et al., 2022).

The analysis also considers selected examples of agricultural living lab initiatives described in recent literature in order to illustrate how collaborative experimentation can support the adoption of sustainable farming practices. These examples highlight how participatory governance, stakeholder engagement, and place-based experimentation contribute to the development of context-specific agroecological solutions. Such approaches help reduce the gap between scientific research and practical implementation, thereby increasing the effectiveness of innovation processes in agriculture (Rastorgueva et al., 2025).

Overall, the methodological framework adopted in this study enables a comprehensive understanding of how agroecological LLs function as collaborative platforms for sustainable agricultural innovation. By integrating insights from recent scientific literature and conceptual perspectives on participatory innovation,

the study provides an analytical basis for assessing the potential of LLs to support environmentally responsible agricultural practices and to enhance the safety and resilience of agroecosystems.

Results and discussion

Agroecological practices in LLs. Recent scientific literature highlights the increasing role of agroecological LLs as collaborative environments where farmers, researchers, and stakeholders test sustainable agricultural practices under real farming conditions. These platforms facilitate the development and evaluation of farming strategies that improve ecosystem functioning, resource efficiency, and agricultural resilience.

The main agroecological practices identified in the literature and tested within living lab initiatives are summarized in Table 1.

Table 1. Agroecological practices tested in LLs

Agroecological practice	Description in LLs	Main benefits for agroecosystems	Key references
<i>Crop diversification (crop rotation, intercropping, perennial integration)</i>	Farmers and researchers jointly test diversified cropping systems adapted to local soil, climate, and market conditions.	Improved pest regulation, enhanced soil fertility, higher biodiversity, increased production stability.	Tamburini et al., 2020; Wineman, 2025
<i>Integrated Pest Management (IPM)</i>	LLs experiment with biological control, habitat management, and diversified cropping to reduce pesticide dependence.	Reduced chemical inputs, improved ecological pest control, increased farmer knowledge and adoption of sustainable methods.	Pretty et al., 2018
<i>Soil health management</i>	Practices such as cover cropping, reduced tillage, compost, and green manure are tested to improve soil fertility and biological activity.	Increased soil organic carbon, improved nutrient cycling, better soil structure, climate mitigation through carbon sequestration.	Enebe et al., 2025
<i>Knowledge co-creation</i>	Farmers, researchers, and stakeholders collaboratively design experiments and evaluate agroecological innovations.	Context-specific solutions, higher adoption rates of sustainable practices, improved knowledge exchange.	Wineman, 2025
<i>Digital monitoring and precision tools</i>	Use of remote sensing, environmental sensors, and digital platforms to monitor soil, crops, and environmental indicators.	Data-driven decision making, improved evaluation of agroecological practices, enhanced farm management.	Gardezi et al., 2024

A central practice implemented in LLs is crop diversification, including crop rotation, intercropping, and the integration of perennial species. Diversified systems strengthen ecological interactions within agroecosystems and contribute to improved pest regulation, soil fertility, and production stability. Evidence shows that agricultural diversification enhances ecosystem services such as pollination, biological pest control, and nutrient cycling (Tamburini et al., 2020).

Integrated pest management (IPM) also plays a key role in agroecological LLs. Instead of relying on chemical pesticides, these initiatives promote biological control, habitat management, and diversified cropping systems. Participatory experimentation allows farmers to monitor pest dynamics and evaluate ecological pest control strategies, which can increase knowledge and adoption of sustainable pest management approaches (Pretty et al., 2018).

Another important focus is soil health management. LLs frequently test practices such as reduced tillage, cover cropping, compost application, and green manure. These strategies improve soil organic matter, stimulate microbial activity, and enhance nutrient cycling. Increasing soil organic carbon also contributes to climate change mitigation through carbon sequestration (Enebe et al., 2025).

Finally, LLs emphasize knowledge co-creation and the use of digital monitoring technologies. Collaboration between farmers and researchers enables the development of locally adapted solutions, while digital tools such as sensors and remote sensing support data-driven evaluation of agroecological practices (Gardezi et al., 2024; Wineman, 2025).

Benefits for environmental and human safety. The implementation of agroecological practices within LLs generates multiple environmental and social benefits. These benefits derive from agroecology's core principles, which emphasize biodiversity, ecological processes, and reduced dependence on external agricultural inputs. The main environmental and human well-being benefits associated with agroecological practices in LLs are summarized in Table 2.

Table 2. Environmental and human well-being benefits of agroecological practices in LLs

Benefit category	Agroecological mechanisms	Key outcomes	References
<i>Reduced chemical inputs</i>	Ecological pest control, nutrient recycling, diversified cropping systems	Lower pesticide and fertilizer use, reduced soil and water pollution	Pretty et al., 2018
<i>Improved soil health</i>	Cover crops, reduced tillage, organic fertilization, compost	Higher soil organic matter, improved nutrient cycling, carbon sequestration	Enebe et al., 2025
<i>Biodiversity conservation</i>	Diversified landscapes, habitat integration, reduced chemical inputs	Increased pollinators and beneficial species, stronger ecosystem resilience	Tamburini et al., 2020
<i>Human health and safety</i>	Reduced pesticide exposure, ecological pest management	Safer working conditions for farmers and safer food products for consumers	Pretty et al., 2018
<i>Food quality and nutrition</i>	Diversified cropping systems and local food networks	Greater dietary diversity, improved food security, shorter supply chains	Wezel et al., 2020
<i>Climate resilience</i>	Diversified production systems and improved soil management	Greater resilience to droughts, floods, and climate variability	Duru et al., 2015
<i>Participatory monitoring in LLs</i>	Collaboration between farmers and researchers in data collection	Evidence-based evaluation and improved adoption of agroecological practices	Pretty et al., 2018

One of the most important outcomes is the reduction of chemical inputs. Conventional agriculture often relies on synthetic fertilizers and pesticides that can cause soil degradation, water pollution, and biodiversity loss. Agroecological practices promote ecological pest control, nutrient recycling, and diversified cropping systems, allowing agricultural production with lower chemical dependence (Pretty et al., 2018).

Agroecological practices also improve soil health. Techniques such as cover cropping, reduced tillage, and organic fertilization increase soil organic matter and microbial activity. These processes enhance soil fertility, improve water retention, and contribute to climate change mitigation through carbon sequestration (Enebe, 2025).

Biodiversity conservation represents another key benefit. Diversified agroecosystems create habitats for pollinators, beneficial insects, and other organisms that support ecosystem services essential for agricultural productivity (Tamburini et al., 2020).

In addition to environmental benefits, agroecological practices contribute to human health and food quality. Reduced pesticide use decreases health risks for farmers and consumers, while diversified cropping systems improve nutritional diversity and support local food networks (Pretty et al., 2018; Wezel et al., 2020).

Finally, agroecological systems tend to be more resilient to climate variability due to diversified production systems and improved soil management. Within LLs, these benefits can be evaluated through participatory monitoring, where farmers and researchers jointly assess environmental and production indicators to support the wider adoption of agroecological practices (Duru et al., 2015).

Challenges and opportunities for agroecological LLs. Agroecological LLs provide important opportunities for advancing sustainable agriculture, but several challenges may affect their implementation and long-term sustainability. These challenges relate primarily to governance, financial continuity, and institutional frameworks supporting agroecological innovation. The main challenges and opportunities associated with agroecological LLs identified in the literature are summarized in Table 3.

One major challenge relates to governance and coordination among stakeholders. LLs bring together farmers, researchers, policymakers, and private sector actors, which can complicate decision-making processes. Effective governance structures, transparent communication, and clearly defined roles are therefore essential for maintaining collaboration and stakeholder engagement (Wineman, 2025).

Table 3. Challenges and opportunities for agroecological LLs

Category	Key issue	Description in LLs	Implications / potential solutions	References
<i>Governance and coordination</i>	Multi-stakeholder complexity	LLs involve farmers, researchers, policymakers, private sector actors, and civil society, which may create coordination and decision-making challenges.	Establish transparent governance structures, clear roles, and participatory decision-making mechanisms to maintain stakeholder engagement.	Wineman, 2025
<i>Financial sustainability</i>	Dependence on project funding	Many LLs operate within short-term research projects, creating uncertainty about long-term continuation.	Develop mixed funding models combining public support, private sector investment, and farmer participation.	Duru et al., 2015
<i>Institutional and policy barriers</i>	Conventional agricultural frameworks	Agricultural policies and market structures often favor high-input conventional farming systems.	Introduce policy incentives, strengthen extension services, and develop supportive regulatory frameworks for agroecology.	Wezel et al., 2020
<i>Research–practice integration</i>	Bridging knowledge gaps	LLs connect scientific research with practical farming knowledge through participatory experimentation.	Improve applicability of innovations and facilitate adoption by farmers.	Wineman, 2025
<i>International collaboration</i>	Knowledge exchange networks	Cross-regional collaboration enables sharing of methods, experiences, and successful agroecological practices.	Supports scaling of living lab initiatives and broader sustainability transitions in agriculture.	Wezel et al., 2020

Financial sustainability represents another key challenge, as many living lab initiatives depend on short-term research funding. Developing diversified funding models that combine public support, private sector involvement, and farmer participation is therefore critical for ensuring long-term continuity (Duru et al., 2015).

Institutional barriers may also limit the adoption of agroecological innovations, since current agricultural policies and market systems often favor conventional high-input farming models. Supporting agroecological transitions requires policy incentives, improved advisory services, and regulatory frameworks that encourage sustainable practices (Wezel et al., 2020).

Despite these constraints, agroecological LLs create important opportunities for sustainable innovation. Their participatory structure supports knowledge co-creation, strengthens the link between research and practice, and facilitates the development of locally adapted solutions. International collaboration among living lab networks can further support knowledge exchange and the scaling of successful agroecological practices.

Conclusions

1. Agroecological LLs function as collaborative innovation platforms that enable the co-creation, testing, and contextual adaptation of sustainable agricultural practices under real farming conditions.
2. Participatory approaches implemented within LLs enhance knowledge exchange between researchers, farmers, and other stakeholders, fostering mutual learning and increasing the relevance and adoption of innovative practices.
3. Agroecological practices promoted in living lab environments contribute to improved ecosystem functioning by enhancing soil health, conserving biodiversity, and reducing dependence on synthetic agricultural inputs.
4. The expansion of agroecological LLs can accelerate the transition toward more resilient and environmentally sustainable agricultural systems.

Acknowledgements

This work was supported by the projects EcoFlourish, BOOST4BIOEAST, BEAMING, Cellu4Heal, as well as by the Core Program within the National Research, Development and Innovation Plan 2022-2027, carried out with the support of MRID, project no.101, contract no 7N/2022

References

1. Anderson, C. R., Bruil, J., Chappell, M. J., Kiss, C., & Pimbert, M. P. (2019). From transition to domains of transformation: Getting to sustainable and just food systems through agroecology. *Sustainability*, 11(19), 5272. <https://doi.org/10.3390/su11195272>
2. Duru, M., Therond, O., & Fares, M. (2015). Designing agroecological transitions: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35, 1237–1257. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0318-x>
3. Enebe, M. C., Ray, R. L., & Griffin, R. W. (2025). Carbon sequestration and soil responses to soil amendments – A review. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 18, 100714. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2025.100714>
4. Gardezi, M., Abuayyash, H., Adler, P. R., Alvez, J. P., Anjum, R., Badireddy, A. R., Brugler, S., Carcamo, P., Clay, D., Dadkhah, A., Emery, M., & Faulkner, J. (2024). The role of living labs in cultivating inclusive and responsible innovation in precision agriculture. *Agricultural Systems*, 216, 103908. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2024.103908>
5. McPhee, C., Bancierz, M., Mambrini-Doudet, M., Chrétien, F., Huyghe, C., & Gracia-Garza, J. (2021). The defining characteristics of agroecosystem living labs. *Sustainability*, 13(4), 1718. <https://doi.org/10.3390/su13041718>
6. Potters, J., Collins, K., Schoorlemmer, H., Stræte, E. P., Kilis, E., Lane, A., & Leloup, H. (2022). Living labs as an approach to strengthen agricultural knowledge and innovation systems. *EuroChoices*, 21(3), 23–29. <https://doi.org/10.1111/1746-692X.12342>
7. Pretty, J., Benton, T. G., Bharucha, Z. P., et al. (2018). Global assessment of agricultural system redesign for sustainable intensification. *Nature Sustainability*, 1, 441–446. <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0114-0>
8. Rastorgueva, N., Bassignana, C. F., Angarita, E., et al. (2025). Agroecological living labs as entry points for transition towards sustainable food systems: A framework for evaluation across scales. *International Journal of Agricultural Sustainability*. <https://doi.org/10.1080/21683565.2025.2477215>
9. Stone, T. F., Alami, S., Bach, J. L., Bindelle, J., Busse, M., Ciaccia, C., et al. (2025). Agroecology living labs to transform food systems: A critical review at the science–policy–society nexus in Europe. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 1–42. <https://doi.org/10.1080/21683565.2025.2560915>
10. Tamburini, G., Bommarco, R., Wanger, T. C., Kremen, C., van der Heijden, M. G. A., Liebman, M., & Hallin, S. (2020). Agricultural diversification promotes multiple ecosystem services without compromising yield. *Science Advances*, 6(45), eaba1715. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aba1715>
11. Wezel, A., Gemmill-Herren, B., Bezner Kerr, R., Barrios, E., Rodrigues Gonçalves, A. L., & Sinclair, F. (2020). Agroecological principles and elements and their implications for transitioning to sustainable food systems. *Agronomy for Sustainable Development*, 40, 40. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00646-z>
12. Wineman, A. (2025). Agricultural transition processes and sustainability: A review with a focus on low-income settings. *Global Environmental Change Advances*, 5, 100025. <https://doi.org/10.1016/j.gecadv.2025.100025>
13. Wittman, H., Chappell, M. J., Abson, D. J., et al. (2017). A social–ecological perspective on harmonizing food security and biodiversity conservation. *Regional Environmental Change*, 17, 1291–1301. <https://doi.org/10.1007/s10113-016-1045-9>

Received March, 2026, published April, 2026

Marian BUTU. National Institute of Research and Development for Biological Sciences; Research Institute for Agricultural Economics and Rural Development, Romania; INOSTAR, Romania, Senior researcher, Dr. Address: Splaiul Independenței 296, 060031, Bucharest, Romania. Phone: +40723 822 573, e-mail: marian_butu@yahoo.com

Audrone ISPYRIAN. Vytautas Magnus University, Agriculture Academy, Senior researcher, Address: Studentų str. 11, Akademija, Lithuania. Phone: +370 672 90015, e-mail: audrone.ispiryan@vdu.lt

Alina BUTU. National Institute of Research and Development for Biological Sciences, Splaiul Independenței 296, 060031, Bucharest, Romania; National University of Science and Technology POLITEHNICA Bucharest, Splaiul Independenței 313, 060042, Bucharest, Romania; Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Bioeconomy Research Institute, Senior Researcher, Dr., Address: Studentų str. 11, LT- 53361, Kaunas, Lithuania. Phone: +40722 708 382, e-mail: alina_butu@yahoo.com

Steliana RODINO. National Institute of Research and Development for Biological Sciences, Splaiul Independenței 296, 060031, Bucharest, Romania; Research Institute for Agricultural Economics and Rural Development, Bulevardul Mărăști 61, sector 1, Bucharest, Romania.

PERSPECTIVES ON THE POLLINATION OF FRUITS AND BERRIES

Marie Charlotte Anstett

CNRS-Université Bourgogne Europe, France

Fruits and berries are vital for human nutrition and health. 85% of these crops depend on animal pollination. However, the biodiversity crisis is also affecting pollinating insects, whose populations are in freefall, leading to a decline in pollination services and lower crop yields. Solutions include introducing managed pollinators such as honeybees or mason bees (*Osmia sp.*), which sometimes incur high costs. Restoring wild pollinators through agroecology (flower strips, hedgerows, and reduced pesticide use) proves more sustainable, enhancing not only pollination but also natural pest control. Gradual transitions, as seen in Burgundy's blackcurrant farms, demonstrate that agroecological practices can boost yields by 30% while reducing chemical inputs, fostering a virtuous cycle for biodiversity and farming resilience.

Keywords: Pollination crisis, agroecology, ecosystemic services, fruit and berries.

Introduction

Fruits and berries represent a key resource for human alimentation and health, providing essential nutrients such as vitamins, minerals, dietary fibres, and antioxidants which combat oxidative stress and chronic diseases (Slavin and Lloyd, 2012). In developed countries, fruit consumption helps to counteract the rise in obesity, diabetes and heart disease (Alahmari 2024), while in developing countries, it enhances food security and prevents micronutrient deficiencies. World fruit production is increasing linearly, representing 17% of primary crop values, second only to cereals (29%) and vegetables (19%) (Peireira Gonzatto and Scherer Santos 2025).

Animal pollination is essential for the pollination of 87.5% of all flowering plants (Ollerton et al. 2011), for 75% of crop plants and 85 % of cultivated fruits and berries in Europe (Klein et al. 2006). Better pollination improves both fruit set, fruit size and quality in fruits and berries (Ochola et al. 2025). Pollination is thus a vital ecosystem service. For millions of years, pollinators have been essential for plant reproduction and, more recently, for food production.

However, pollinators are not immune to the widespread biodiversity crisis and are experiencing a general decline (Wagner 2020; Gebremariam 2024; Saunders et al. 2025), including common species (Sánchez-Bayo and Wyckhuys 2019). This has led to a 28-61% limitation in crop yields worldwide (Turo et al. 2024).

Pollinator and pollination ecosystemic service was the subject of the first IPBES assessment (IPBES 2016; Hinsch et al. 2024). Pollination was also identified by the World Health Organisation as a key impact of biodiversity on human health (Jacob et al. 2020). The Convention on Biological Diversity (CBD) has prioritised the conservation and sustainable use of pollinators, launching an international pollinator initiative (IPI) in 2000. The Plan of Action 2018-2030 for the IPI invited the Food and Agriculture Organisation of the United Nations (FAO) to facilitate its implementation (Stout and Dicks 2022). The EU also launched a pollinator initiative with the aim of improving knowledge on pollinators and their conservation, and tackling the causes of their decline.

The five drivers of biodiversity loss are i) change in land use, ii) direct exploitation, iii) climate change, iv) pollution, and v) invasive alien species. For crop pollinators, the two main drivers are pollution, especially from pesticides and insecticides, and changes in land use resulting in the loss of many semi-natural habitats, as this has caused them to lose most of their food sources and nesting sites.

Here, I will review the diversity of pollinators and their interactions with fruit crops, as well as the different strategies that can be implemented to increase pollination.

Pollinators, honey bees, bees and the other

For non-specialists, the European honey bee is considered the primary and most prevalent pollinator. However, there are more than 20,000 species of bees worldwide, including 2,131 in Europe and 983 in France (Ropars et al., 2025). Hoverflies (Diptera: Syrphidae) are another important group of pollinating insects, visiting at least 72% of global food crops (Doyle et al., 2020). Hoverflies are particularly efficient at long-distance pollination, and their decline is probably slower than that of bees (Biesmeijer et al., 2006). Hoverfly larvae are also efficient predators of pests such as aphids and can play an important role in their biocontrol. A third group of insects is represented by butterflies and hawkmoths (Ollerton, 2017; Hahn & Brühl, 2016). Beetles are often overlooked, yet they represent the oldest plant-pollinator interactions (Muinde and Katumo, 2024). As canthrophily shares many characteristics with wind pollination, including the production of large quantities of pollen, many clades, such as the palm family (Arecaceae, comprising 2,500 species), were previously thought to be entirely wind-pollinated. However, recent scientific research has documented wind

pollination in a single genus (*Howea*, 2sp), while all other pollination studies on palm pollination concluded on insect-pollination, primarily by beetles (Henderson, 2024). Other plant pollinators include birds (Barreto et al., 2024), especially hummingbirds, as well as bats (Kunz et al., 2011) and lizards (Romero-Egea et al., 2023), and even lemurs (Steffens et al., 2022).

Pollinators are often inconspicuous when visiting flowers, and the most inconspicuous species can be the most important. The story of the multi-million-dollar weevil (Krantz and Poinard, 2004) illustrates the risks of misidentifying the pollinator. In the late 1970s, the oil palm *Elaeis guineensis* was introduced to Malaya from Africa. However, fruit production was extremely low, so planters developed a costly hand-pollination technique. Later, Syed et al. (1982) discovered that the oil palm was not wind-pollinated, but rather pollinated by several species of weevil belonging to the genus *Elaeidobius*. The subsequent introduction of these weevils led to satisfactory pollination without the need for human intervention, enabling growers to return to profitability.

Many pollinators are often overlooked. For example, for three small fruit species (*Rubus idaeus*, *Ribes rubrum* and *Ribes nigrum*), nocturnal pollinators were found to make a significant, previously unsuspected contribution to seed and fruit set (Blareau and Requier 2025). Recent studies also demonstrate significant spatio-temporal variation in plant-pollinator interactions (Hervias-Parejo et al. 2023), highlighting the lability of these interactions. These examples demonstrate the importance of identifying the actual pollinators of crops and the potential significance of neglected non-bee pollinators.

Pollination success depends on the quality and quantity of pollen deposited. The “perfect” pollinator will deposit pollen of the correct species, with no incompatibility, and in sufficient quantity. Incompatible pollen (from the wrong species or with incompatibility) may result in the formation of a callose plug and preclude any further fecundation (Bala et al. 2023). The quantity and quality of the pollen deposited by the pollinators depend on their morphology and behaviour. For instance, apple flowers receive a greater quantity of pollen grains from solitary bees (*Andrena*, *Eucera*, *Osmia*) than from social bees, with Diptera and Coleoptera depositing an intermediate quantity (Roquer-Beni et al. 2022). Flower handling behaviour is usually associated with pollination effectiveness (Roquer-Beni et al. 2022). The pollen carried by a pollinator also depends on the number of species visited during a foraging bout (Freudenfeld et al. 2025) and on the distance between visited flowers; insects that visit many flowers on the same plant are more likely to deposit auto pollen, which may result in auto-incompatibility (Travis and Kohn 2023). Interspecific pollinator interaction can modify these parameters. A recent meta-analysis shows that the combined use of alternative managed pollinators and honeybees can have a synergistic effect on yield (Hünicken et al. 2022).

When pollinators are missing ... buying some?

Measuring pollination decrease: Yield is the result of many highly variable factors, such as pest attack, water availability, frost, temperature, and pollination. As the availability of pollinators has steadily decreased since the mid-20th century, our perception has been distorted. For example, the number of pollinators along a 100-meter transect in blackcurrant orchards plummeted from over 200 in 1981 to fewer than two in 2018 (Anstett et al. 2019). Most farmers were unaware of this significant change in pollinator availability. In most cases, an experimental approach is needed to determine the exact extent of the deficit (e.g., for pears: Lenzi et al. 2026; for apples: Olhunuud et al. 2022; and for blueberries: Eraerts et al. 2023). Once this deficit has been quantified, there are several ways to increase pollination.

Honeybees: The most common method is to introduce additional honey bees (*Apis mellifera*). For instance, approximately 2 million honey bee colonies were needed in California's Central Valley in 2028 to pollinate almonds, accounting for 81% of all managed honey bee colonies in the United States (Durant et al., 2020). However, honey bees are not easily used in greenhouses due to a lack of resources and the risk of bee stings. Honey bees typically forage within a 2-3 km radius of the hive, selecting the most suitable resources available using a waggle dance (Shackleton et al. 2023; Okada et al. 2023). The least favoured flowers will receive few or no visits if a better source is available. This is the case with blackcurrants, whose small flowers contain little nectar and pollen that is difficult to collect, and are therefore shunned by bees in favour of rapeseed, mustard or fruit trees.

Bumblebees are specialists in buzz pollination, a method common among the Solanaceae family (Vallejo-Marin et al. 2022). They are widely used to pollinate greenhouse tomatoes. Their size enables them to remain active at fairly low temperatures (around 10°C). However, bumblebees can also act as nectar thieves, piercing the corolla from the side to drink the nectar without pollinating (Souto-Vilarós et al. 2026). This behaviour is particularly prevalent in *Bombus terrestris*, an invasive species in South America, following repeated introductions (Fontúrbel et al. 2021). Like honeybees, bumblebees prefer flowers that are rich in nectar and pollen. They have a large foraging range, enabling them to choose from a variety of food sources. In the case

of blackcurrants, however, bumblebees are not particularly drawn to these small flowers, whose nectar and pollen are difficult to access (Anstett *et al.* 2022).

Osmia bees: several species of *Osmia* bee (*O. lignaria*, *cornifrons*, *bicornis*, *cornuta*...) have proven to be powerful pollinators of various fruit crops, enhancing both fruit set and fruit quality (Lyu *et al.* 2024; Azevedo *et al.* 2025). Some species are commercially available locally, along with their nesting materials, such as cardboard or bamboo tubes (Zajdel *et al.* 2024). In response to a severe shortage of pollination, blackcurrant growers in Franche-Comté have set up an on-farm breeding program for *Osmia bicornis*. After initially purchasing cocoons, the farmers place them in the orchards for pollination, ensuring there is sufficient space for the bees to reproduce. The following summer, the new cocoons are brought indoors, then treated for parasites and cleaned during the winter, ready to start the cycle again the following year. The number of *Osmia* bees increases year on year, with some farmers managing to quadruple their *Osmia* bee population from one year to the next. *Osmia* bee reproduction is more successful in areas with plenty of semi-natural habitats, such as natural meadows and wild hedgerows (Wild *et al.* 2026) or where farmers have sown strips of wildflowers to provide food for the bumblebees outside the blackcurrant flowering period. The presence of these pollinators increases yields by 20-30% for commercial orchards of the Noir de Bourgogne variety (Anstett *et al.* 2022).

Restoring wild pollinators

Although commercial pollinators can increase the quantity and quality of the harvest, they nevertheless represent a cost that can sometimes be significant for farmers (Breeze *et al.* 2017). This cost can be reduced for honeybees if their services are provided in exchange for access to floral resources for honey production. However, if hives need to be rented or bumblebee nests purchased, the cost can run to several hundred euros per hectare. The cost can be reduced for mason bees, as breeders can rear them themselves (Anstett *et al.* 2022).

However, the most obvious and least expensive solution for restoring pollination services is to restore wild pollinator populations that work for free! Moreover, they are often much more effective than commercial pollinators (Page *et al.* 2021). There are various ways to achieve this. First and foremost, we must reduce or even stop using pesticides, particularly insecticides and neonicotinoids, which are extremely toxic to insects. Even in conventional farming, it is possible to reduce pesticide use while maintaining or even increasing farmer income, particularly in the context of the international energy crisis (Faure *et al.* 2025).

However, a full transition to agroecology is necessary to enable the recovery of a fully functional biodiversity that benefits farmers. This transition should be based on the restoration of ecosystem services such as pollination and crop protection (Berger *et al.*, 2024). Various agroecological measures can be implemented to this end. In particular: i) flower strips sown with wildflowers (Knapp *et al.* 2019; Albrecht *et al.* 2020). Although wild flower seeds are more expensive, they have a much greater impact on pollinator populations restoration (Jachowicz *et al.* 2025). ii) the maintenance, preservation and creation of hedgerows using wild and local species, and iii) the use of biocontrol solutions with low persistence and toxicity (Belliard 2025) and the phasing out of conventional plant protection products. These agroecological measures have the dual benefit of restoring pollinator populations and increasing the number of beneficial insects that reduce pest damage. In blackcurrant cultivation, for example, the introduction of flower strips has been shown to improve pollination and reduce the impact of various pests by around 30%. (Decoopman and Anstett *et al.* in prep).

Discussion

We have seen that restoring pollination services can greatly improve fruit and berry production, either by introducing commercial pollinators or by restoring the ecosystem service provided by natural pollinators. There are many biocontrol solutions for berries (Gutiérrez-Cárdenas *et al.*, 2026). However, the transition from conventional to agroecological farming presents several challenges for farmers (Fig. 1).

In conventional farming, pests have been treated with pesticides for years. This has also led to a decline in populations of beneficial insects, such as crop-protecting insects (Fig. 1). If a farmer were to stop using pesticides overnight, they would be at high risk of suffering significant pest infestations, as was the case for beet growers in France in 2024. Conversely, the significant presence of beneficial insects and pollinators in an agroecosystem with good biodiversity ensures better pollination and reduces pest damage, which in turn allows for the use of fewer pesticides (Fig. 1). This is the approach we have taken with blackcurrant producers in Burgundy. The transition to agroecology began with the introduction of *Osmia* bees and the restoration of

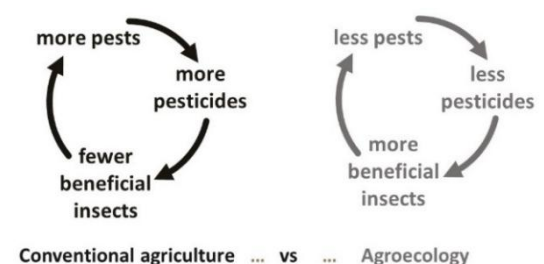


Fig. 1. Transition from conventional agriculture towards agroecology

pollinator services, directly increasing yields by 30%. Initially, farmers realised that the insecticides they were using were having a detrimental effect on pollinator populations, thereby affecting crop yields. From that point on, preserving biodiversity became one of the farmers' key objectives. The increase in yields has helped them gain trust and encouraged them to reduce their use of pesticides. When supporting farmers' transition to agroecology, it is crucial to take socio-economic factors into account.

Conclusions

Intensive farming has led to a gradual decline in pollinator populations, a trend which farmers have often failed to recognise. This decline significantly impacts the yield of fruit and berries. The first step is to raise awareness among farmers of the importance of pollination for yields, enabling the introduction of domestic pollinators or the implementation of agroecological measures to restore agroecosystem services. These measures benefit pollinators. Increasing beneficial insect populations and reducing chemical inputs helps enter a virtuous cycle of agroecology, where preserving beneficial insects makes chemical inputs unnecessary. We believe that this approach will contribute to a widespread transition to agroecology among fruit and berry growers.

Acknowledgements

MCA thanks Juliette Decoopman for her help in preparing the manuscript. This work was supported by the project EcoFlourish, project no.123, contract no S-AGROECOLOGY-26-2 and the project Evol'Cassis-OFB, AAP Dephy Expé 3 “experimentations agroécologiques pour un usage des pesticides en ultime recours”.

References

1. Alahmari, L.A. (2024). Dietary fiber influence on overall health, with an emphasis on CVD, diabetes, obesity, colon cancer, and inflammation. *Front. Nutr.*, 11, 1510564.
2. Albrecht, M., Kleijn, D. et al. (2020). The effectiveness of flower strips and hedgerows on pest control, pollination services and crop yield: A quantitative synthesis. *Ecol. Lett.*, 23.
3. Anstett, M.C., Léon de Tréveret, M., Louapre, P. (2019). La pollinisation du cassis : État des lieux dans un contexte de changements anthropiques. *Bourgogne-Franche-Comté Nature*, 29.
4. Anstett, M.-C., Duchet-Annez, M., Denis, C. (2022). Projet Cassis : Approche pluridisciplinaire pour des mesures agroécologiques. *Bourgogne-Franche-Comté Nature*.
5. Azevedo, M., Figueiredo, E. et al. (2025). Supporting wild *Osmia* populations in Mediterranean orchards: nesting success across different substrates and landscapes. *J Insect Conserv*, 29, 51.
6. Bala, M., Rehana, S., Singh, M.P. (2023). Self-incompatibility: a targeted, unexplored pre-fertilization barrier in flower crops of Asteraceae. *J Plant Res*, 136, 587–612.
7. Barreto, E., Boehm, M.M.A. et al. (2024). Macroevolution of the plant-hummingbird pollination system. *Biol. Rev. Camb. Philos. Soc.*, 99(5), 1831–1847.
8. Belliard, P.R. (2025). Key challenges and solutions for sustainable pest management in organic farming. In: *CABI Books*, pp. 334–344.
9. Berger, I., Kamble, A. et al. (2024). Agroecological transition delivers win–win outcomes for people and nature. *Preprint* (Version 1).
10. Biesmeijer, J.C., Roberts, S.P.M. et al. (2006). Parallel declines in pollinators and insect-pollinated plants in Britain and the Netherlands. *Science*, 313(5785), 351–354.
11. Blareau, E., Requier, F. (2025). Is nocturnal pollination important for crop production? Experimental evidence from small fruit crops. *J. Appl. Entomol.*, in press.
12. Breeze, T.D., Dean, R., Potts, S.G. (2017). The costs of beekeeping for pollination services in the UK – An explorative study. *J. Apic. Res.*, 56, 310–317.
13. Doyle, T., Hawkes, W.L.S. et al. (2020). Pollination by hoverflies in the Anthropocene. *Proc. Biol. Sci.*, 287, 20200508.
14. Durant, J., Goodrich, B. et al. (2020). Growers follow the label: An analysis of bee-toxic pesticide use in almond orchards during bloom. *Calif. Agric.*, 75(2), 90–99.
15. Eeraerts, M., DeVetter, L.W. et al. (2023). Synthesis of highbush blueberry pollination research reveals region-specific differences in the contributions of honey and wild bees. *J. Appl. Ecol.*
16. Faure, J., Gaba, S. et al. (2025). Economic viability of reduced agricultural inputs in farmer-co-designed large-scale experimental trials in western France. *Commun. Earth Environ.*, 6, 881.
17. Fontúrbel, F.E., Murúa, M.M., Vieli, L. (2021). Invasion dynamics of the European bumblebee *Bombus terrestris* in the southern part of South America. *Sci. Rep.*, 11, 15306.

18. Freudenfeld, M., Štenc, J. et al. (2025). Interannual differences in pollinator contributions to pollen transfer are mainly driven by changes in pollinator abundance. *AoB PLANTS*, 17.
19. Gebremariam, G. H. (2024). A systematic review of insect decline and discovery: Trends, drivers, and conservation strategies over the past two decades. *Psyche*, 2024, 5998962.
20. Gutiérrez-Cárdenas, O. G., López-Macías, H. J. et al. (2026). Advances in micro- and macrobiological strategies for pest control in berry production systems. *Plants (Basel)*, 15, 144.
21. Hahn, M., Brühl, C. A. (2016). The secret pollinators: An overview of moth pollination with a focus on Europe and North America. *Arthropod-Plant Interact.*, 10, 21–28.
22. Henderson, A. (2024). Pollination systems of palms (Arecaceae). *J. Pollinat. Ecol.*, 36.
23. Hervías-Parejo, S., Colom, P. et al. (2023). Spatio-temporal variation in plant–pollinator interactions: A multilayer network approach. *Oikos*, 2023, e09818.
24. Hinsch, M., Zulian, G. et al. (2024). Assessing pollinator habitat suitability considering ecosystem condition in the Hannover Region, Germany. *Landsc Ecol*, 39, 47.
25. Hünicken, P., Morales, C. L. et al. (2022). Evaluation of interactions between honeybees and alternative managed pollinators: A meta-analysis of their effect. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 340.
26. IPBES. (2016). The assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production. *Zenodo*.
27. Jachowicz, I., Sigsgaard, L. (2025). Highly diverse flower strips promote natural enemies more in annual field crops: A review and meta-analysis. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 381, 109412.
28. Jacob, A., Johnson, K. et al. (2020). Incorporating natural ecosystems into global health and food security programmes. *Bull. World Health Organ.*, 98, 576–578.
29. Klein, A. -M., Vaissière, B. E. et al. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proc. R. Soc. B*, 274, 303–313.
30. Knapp, J. L., Shaw, R.F., Osborne, J. L. (2019). Pollinator visitation to mass-flowering courgette and co-flowering wild flowers. *Basic Appl. Ecol.*, 34, 85–94.
31. Krantz, G. W., Poinar Jr., G. O. (2004). Mites, nematodes and the multimillion dollar weevil. *J. Nat. Hist.*, 38(2), 135–141.
32. Kunz, T. H., Braun de Torrez, E. et al. (2011). Ecosystem services provided by bats. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 1223(1), 1–38.
33. Lenzi, L., Arnan, X. et al. (2026). Widespread pollination deficits in pear (*P. communis* L.) orchards: The role of pollinators, landscape context and pesticide risk. *Agr. Ecosyst. Envi.*, 398.
34. Lyu, Z., Feng, M. et al. (2024). Evaluation of the Pollination Efficiency of Apple Trees by *Osmia excavata* Alfken (Hymenoptera: Megachilidae). *Neotrop Entomol*, 53, 490–498.
35. Muinde, J., Katumo, D.M. (2024). Beyond bees and butterflies: The role of beetles in pollination systems. *J. Nat. Conserv.*, 77, 126523.
36. Novljan, M., Bohinc, T. et al. (2023). The indigenous species of predatory mites (Acari: Phytoseiidae) as biological control agents of plant pests in Slovenia. *Acarologia*, 63.
37. Ochola, A.C., Njoroge, D.M. et al. (2025). Global meta-analysis shows an indispensable role of pollinator diversity in promoting fruit quality. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 393.
38. Okada, R., Ikeno, H. et al. (2023). Honey Bee Waggle Dance as a Model of Swarm Intelligence. *JRM*, 35, 901–910.
39. Ollerton, J. (2017). Pollinator diversity: Distribution, ecological function, and conservation. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, 48, 353–376.
40. Page, M.L., Nicholson, C.C. et al. (2021). A meta-analysis of single-visit pollination effectiveness comparing honeybees and other floral visitors. *Am. J. Bot.*, 108(11), 2196–2207.
41. Pereira Gonzatto, M., Scherer Santos, J. (2025). Introductory chapter: Worldwide fruit crops production and research. *Food Science and Nutrition*. IntechOpen.
42. Romero-Egea, V., Robles, C. et al. (2023). Assessing the Role of Lizards as Potential Pollinators of an Insular Plant Community and Its Intraspecific Variation. *Animals*, 13, 1122.
43. Ropars, L., Aubert, M. et al. (2025). Mise à jour de la liste des abeilles de France métropolitaine (Hymenoptera: Apocrita: Apoidea). *Osmia*, 13, 1–48.
44. Roquer-Beni, L., Arnan, X. et al. (2022). What makes a good pollinator? Relationship between pollinator traits and pollination effectiveness in apple flowers. *Entomol. Gen.*, 42(6).
45. Sánchez-Bayo, F., Wyckhuys, K. A. G. (2019). Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. *Biol. Conserv.*, 232, 8–27.
46. Saunders, M. E., Lees, A.C., Grames, E. M. (2025). Understanding and counteracting the denial of insect biodiversity loss. *Curr. Opin. Insect Sci.*, 68, 101338.

47. Shackleton, K., Balfour, N. J. et al. (2023). Honey bee waggle dances facilitate shorter foraging distances and increased foraging aggregation. *Animal Behaviour*, 198, 11–19.
48. Slavin, J. L., Lloyd, B. (2012). Health benefits of fruits and vegetables. *Adv. Nutr.*, 3, 506–516.
49. Souto-Vilarós, D., Martin, V. N. et al. (2026). Yeast volatiles promote larceny in bumble bee behavior. *iScience*, 29, 114946.
50. Steffens, K.J.E., Sanamo, J., Razafitsalama, J. (2022). The role of lemur seed dispersal in restoring degraded forest ecosystems in Madagascar. *Folia Primatol.*, 93, 1–19.
51. Stout, J.C., Dicks, L.V. (2022). From science to society: implementing effective strategies to improve wild pollinator health. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 377.
52. Syed, R.A., Law, I.H., Corley, R.H.V. (1982). Insect pollination of oil palm: Introduction, establishment and pollinating efficiency of *E. kamerunicus*. *Planter (Kuala Lumpur)*, 58.
53. Travis, D.J., Kohn, J.R. (2023). Honeybees (*Apis mellifera*) decrease the fitness of plants they pollinate. *Proc. R. Soc. B.*, 290, 20230967.
54. Turo, K.J., Reilly, J.R. et al. (2024). Insufficient pollinator visitation often limits yield in crop systems worldwide. *Nat. Ecol. Evol.*, 8, 1612–1622.
55. Vallejo-Marín, M., Pereira Nunes, C.E., Russell, A.L. (2022). Anther cones increase pollen release in buzz-pollinated *Solanum* flowers. *Evolution*, 76, 931–945.
56. Wagner, D.L. (2020). Insect declines in the Anthropocene. *Annu. Rev. Entomol.*, 65, 457–480.
57. Wild, C., Zelychenko, J. et al. (2026). Semi-natural habitat cover, edge density and landscape conservation context shape the occupancy, species richness and reproductive performance of cavity-nesting Hymenoptera in an agricultural landscape. *Landsc Ecol.*
58. Woodcock, B.A., Cook, S. et al. (2025). Agroecological farming promotes yield and biodiversity but may require subsidy to be profitable. *J. Appl. Ecol.*, 62(8), 1902–1913.
59. Zajdel, B., Borański, M. et al. (2024). The Population Development of the Red Mason Bee, *Osmia bicornis* L., for Different Types of Nesting Materials. *Animals*, 14, 3600.

Received March, 2026, published April, 2026

Marie Charlotte ANSTETT. Université Bourgogne Europe, CNRS, Biogéosciences UMR 6282, 21000 Dijon, France. Senior researcher, Phone (33) 6 10 79 53 41, e-mail: marie-charlotte.anstett@cnrs.fr

CAN TREATED WASTEWATER BE USED FOR IRRIGATION WITHOUT COMPROMISING VEGETABLE QUALITY?

Tina Smrke¹, Uros Kavkler¹, Blaz Germsek¹, Borut Solina², Branko Lah², Katja Kuzmic³, Matjaz Fras³, Antoaneta Kuhar¹, Andreja Zibrat Gasparic¹, Nika Cvelbar Weber¹

¹Agricultural Institute of Slovenia, ²Municipal company Ptuj, Slovenia · ³Regional Development Agency for Podravje - Maribor (RRA Podravje - Maribor), Slovenia

Irrigation of plants in agriculture will become a problem in the future due to water shortages. One of the most appropriate solutions is to irrigate plants with treated wastewater from treatment plants. In our study, we irrigated pepper, carrot, and onion plants with fresh water, water treated by reverse osmosis, and water treated by ultrafiltration. We analysed the effect of each treatment on the content of individual vitamins in the edible parts of the plants. The results showed that irrigation with treated wastewater does not affect the content of individual vitamins in peppers and carrots. In onions, only the riboflavin (B2) content differed between treatments, with the highest content detected at treated wastewater. The study provided some promising results, as we did not detect any negative impact of irrigation with treated wastewater on the quality of the edible parts of peppers, carrots, and onions. In the future, it would be good to focus on testing other plant species, such as strawberries.

Keywords: Treatment plant, vitamins, reverse osmosis, ultrafiltration.

Introduction

Due to the growing world population, food production and consumption are also increasing, which is not possible without irrigation. Irrigation is required because of a lack of natural precipitation or its uneven temporal distribution (Atamaleki et al., 2021). In recent years, the world's supply of clean freshwater has been constantly decreasing, as the supply does not meet the growing demand. Irrigation in agriculture is one of the main consumers of clean freshwater globally, accounting for approximately 70%-80% of consumption (Ali et al., 2019; Hashem and Qi, 2025). Therefore, it is necessary to find an alternative solution to this problem, as it is expected that the consumption of fresh water in agriculture will increase even further in the future (Hashem and Qi, 2025). One of the fastest and most appropriate solutions is the reuse of wastewater (Cirelli et al., 2012). Wastewater contains higher levels of nutrients compared to fresh water and can therefore reduce the use of chemical fertilizers in agriculture. On the other hand, the presence of ions and heavy metals in such water can have a toxic effect on plants and thus a negative impact on human health (Demir and Sahin, 2017). Treated wastewater is defined as "water that has received at least secondary treatment and basic disinfection and is reused after flowing out of a domestic wastewater treatment facility" (Hashem and Qi, 2025). The safety of treated wastewater remains uncertain, so it is tested for various chemical compounds and microorganisms before reuse. The impact of irrigation with treated water on the quality of different vegetables and fruits is still poorly studied; therefore, the aim of our study was to analyse the effect of fresh water (control) and wastewater treated by two methods (reverse osmosis and ultrafiltration) on the vitamin content of pepper, carrot, and onion. This research was conducted as part of the Europe Horizon CircSyst project.

Research methodology

Research was conducted in the experimental field of the Agricultural Institute of Slovenia, Infrastructural Centre Ptuj (latitude: 46,407396, longitude: 15,879535, altitude: 224 m) on three vegetable species: pepper, carrot and onion. Each plant species was grown in its own greenhouse. Uniform young seedlings of pepper Enix F1 were grown from seed at the Centre and transplanted into the greenhouse on 19th of May 2025. Carrot (cv. Laguna F1) was direct seeded on 25 April 2025 into previously prepared raised beds in the greenhouse. Onion seedlings of the cultivar 'Ptujška rdeča' (a Slovenian autochthonous variety) were grown from seed and transplanted into the greenhouse on 15th of April 2025. All crop species were cultivated on raised beds in a single row system. For onion and pepper, the raised beds were covered with perforated strawberry growing PE foil, which allowed us to avoid herbicide use for weed management. Throughout the season, standard plant protection practices were applied to control diseases and pests. At the beginning of July, support structures were installed for the pepper plants. During the period of intensive growth, plant height was measured for all crop species. The experimental design followed a randomized complete block (RCB) method with four replicates, identical for all plant species.

Plants were irrigated (drop irrigation) with fresh water, treated wastewater by reverse osmosis and treated wastewater by ultrafiltration. Irrigation was supplied using T tape drip lines with emitters spaced 10 cm apart and a discharge rate of 0.57 L h⁻¹ per emitter. Irrigation of all crop species began two days prior to transplanting

or sowing, depending on the species. Irrigation doses were determined separately for each species, based on the growth stage and soil moisture measurements. Soil moisture was monitored using high precision sensors placed at 10 cm intervals down to a depth of 60 cm. For all species, irrigation initially consisted of 10 minutes per day, split into two irrigation events. During the period of maximum crop water demand, the total daily irrigation duration was increased to 30 minutes, divided into five events. Irrigation in each greenhouse was controlled by a programmable timer, which operated according to the measured parameters and the growth stage of the plants. Irrigation of carrot was terminated on 10th of August. In onion, irrigation doses were reduced during the maturation stage and completely stopped on 6th of July. Pepper plants were irrigated until the final harvest on 1st of October 2025.

As part of the CIRCSYST research and development project, a pilot plant for tertiary treatment of treated effluent was established and commissioned at the Ptuj Wastewater Treatment Plant. Its purpose is to produce Class A water in accordance with Regulation (EU) 2020/741 on minimum requirements for water reuse. The system, designated TEHNO MF/UF RO CP OXY/ZON, is officially named the Pilot Plant for the Preparation and Distribution of UF Filtrate and RO Permeate for Irrigation Purposes. It was custom built according to our specifications and leased from the Slovenian company Tehnobi, which integrates equipment from various manufacturers.

The plant produces two water qualities – ultrafiltrated water (UF filtrate) and reverse osmosis water (RO permeate) – used for irrigating selected greenhouse crops (carrots, peppers, onions, and strawberries) and for evaluating their suitability for agricultural use.

The ultrafiltration unit consists of an equalization tank, submerged UF membrane modules, and the associated instrumentation. Treated wastewater is pumped into the tank, where the UF modules operate under negative pressure. Particles larger than 0.08 µm (suspended solids, colloids, microorganisms) are retained on the membrane surface, while the filtrate passes through. After each filtration cycle, an automatic backwash with UF filtrate restores membrane permeability. Key parameters such as turbidity, temperature, flow, and pressure are continuously monitored. The process is supported by oxygenation and ozonation (TEHNO OXY/ZON) in the equalization tank to enhance filtration efficiency, to provide higher oxygen concentration in the water, to ensure sterile conditions and reduce fouling. A disinfection dosing unit adds peroxide at the beginning of the process to ensure compliance with Class A water standards. The UF filtrate is stored in a dedicated tank and is used directly for irrigation of the crops.

In the second stage, the UF filtrate passes through the reverse osmosis module, where dissolved salts, micropollutants, organic compounds, and remaining microbiological contaminants are removed (if there are any left). The remaining concentrate is removed into a separate reservoir. The RO permeate is stored in a dedicated tank and is used directly for irrigation of the crops.

Water quality is assessed according to the limits set by Regulation (EU) 2020/741:

- *E. coli*: <10 mpn/100 mL
- Turbidity: <5 NTU
- BOD₅: ≤10 mg/L
- Suspended solids: ≤10 mg/L

For the analysis of individual vitamins in peppers, carrots and onions, the following methods were used: For riboflavin (B2), pyridoxine (B6) and folic acid (B9), a method described in Zia et al. (2023), for vitamins A and E, a method described in Zamljen et al. (2025) and for vitamin C, a method described in Zamljen et al. (2021). For each vitamin, analysis was made in 4 replicates. Values were expressed in mg 100 g⁻¹ of fresh weight.

Statistical analysis was performed in statistical programme R commander (R 4.5.2). Statistically significant differences between treatments were determined by one-way analysis of variance (ANOVA). Significant differences between treatments are represented by different letters.

Results and discussion

Vegetables are an important part of human diet, since they are a rich source of different chemical compounds, such as dietary fiber, phytochemicals, minerals and vitamins. Among vitamins, peppers, carrots and onions contain vitamins B (B2, B6, B9), vitamin A, vitamin E and vitamin C (Dias, 2022). These vitamins were also found during the analysis in our fruit samples, with the exception of vitamin E that was not found in onions (Figures 1–3). Significant differences between different irrigation regimes were detected only in vitamin B2 (riboflavin) content in onions, where the highest values contained onions irrigated with treated wastewater. It is believed that nutrients, such as nitrogen, phosphorus and potassium remain in the wastewater after the treatment and act as additional nutrient that could affect plant metabolism and therefore vitamins synthesis (Al-Ansari et al., 2013; Sibanda et al., 2025). However, the exact mechanisms remain unclear. Therefore, these results should be interpreted cautiously and the lack of data on nutrient uptake and metabolic

changes represents a limitation of this study. Regarding other analyzed vitamins, no significant differences in their contents in all three selected vegetables were found. This can be considered a positive result, as growers want to irrigate their plants optimally, even with treated wastewater, without any negative impact on the plants, yield, and its quality.

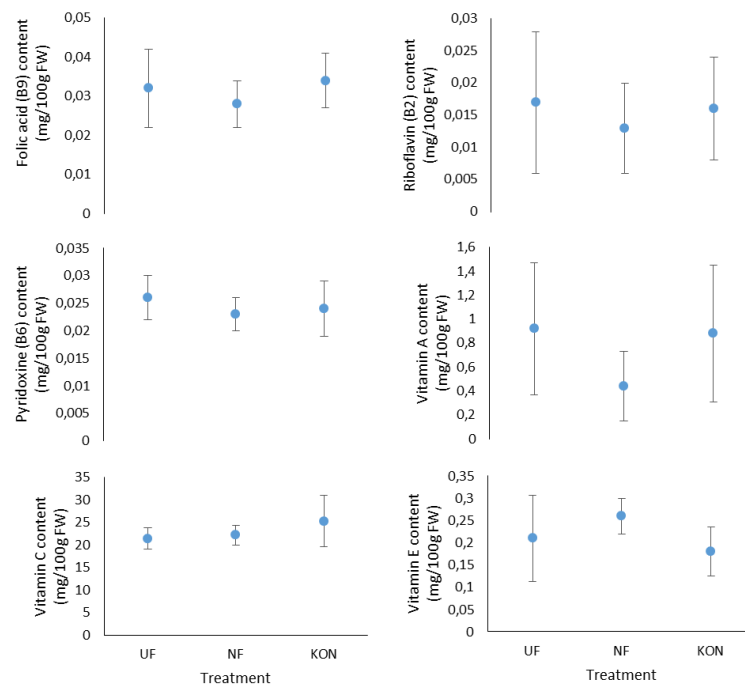


Fig. 1 The contents of folic acid (B9), riboflavin (B2), pyridoxine (B6), vitamin A, vitamin C and vitamin E (mg 100 g⁻¹) in peppers at individual treatment

Data are presented as the mean $\pm$ standard error calculated from four replicates per treatment. Differences between the treatments were determined using Tukey's test and were found to be significant at $\alpha < 0.05$.

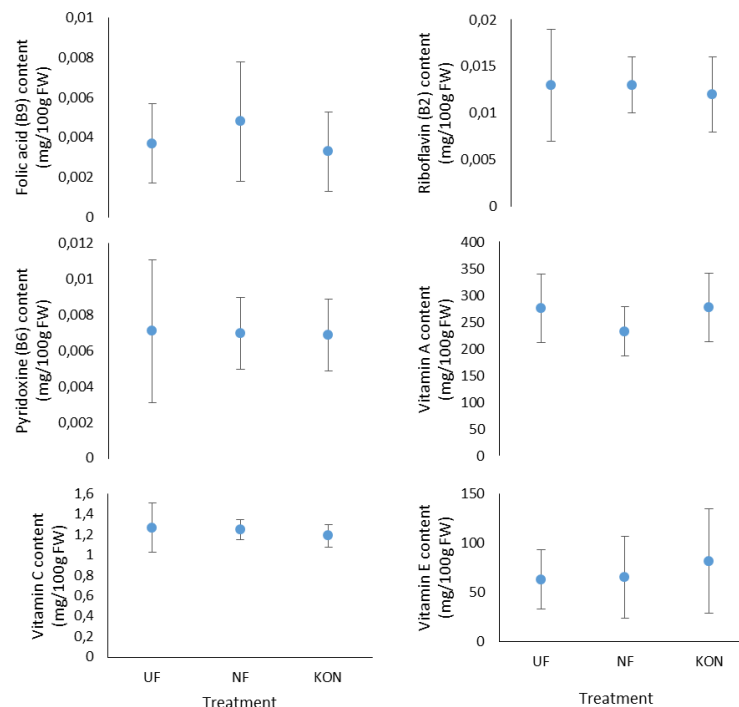


Fig. 2. The contents of folic acid (B9), riboflavin (B2), pyridoxine (B6), vitamin A, vitamin C and vitamin E (mg 100 g⁻¹) in carrots at individual treatment

Data are presented as the mean $\pm$ standard error calculated from four replicates per treatment. Differences between the treatments were determined using Tukey's test and were found to be significant at $\alpha < 0.05$.

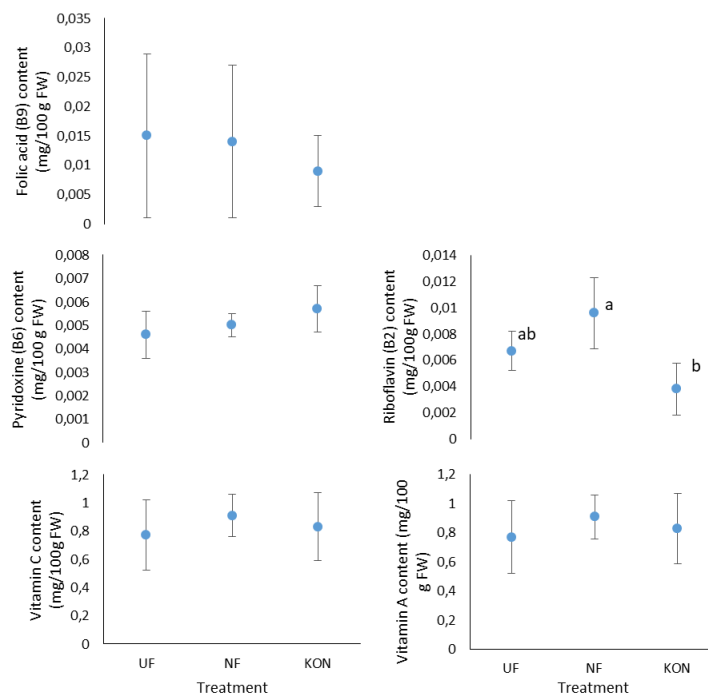


Fig. 3. The contents of folic acid (B9), riboflavin (B2), pyridoxine (B6), vitamin A and vitamin C (mg 100 g⁻¹) in onions at individual treatment

Data are presented as the mean $\pm$ standard error calculated from four replicates per treatment. Differences between the treatments (a-b) were determined using Tukey's test and were found to be significant at $\alpha < 0.05$.

Conclusions

In our research, irrigation of three different vegetables, pepper, carrot and onion with fresh water and wastewater treated with reverse osmosis and ultrafiltration and its impact individual vitamin content was evaluated. The results showed that irrigation with treated wastewater did not have any negative impact on the quality of the edible parts of peppers, carrots, and onions. From our results, we can conclude that this method of irrigation is suitable for use in agronomy, as it would save fresh water and at the same time preserve the content of the analysed vitamins in vegetables at their original level. For the future research it would be appropriate to evaluate the impact of irrigation with such water on other vegetables or fruit species, such as strawberries.

Acknowledgements

The authors acknowledge the financial support of the research programme Next Generation Agriculture (P4-0431), funded by the Slovenian Research and Innovation Agency (ARIS). The research was conducted within the CircSyst project, funded by the European Union in the framework of Horizon Europe Research and Innovation Programme under Grant Agreement No. 101135505.

References

1. Al-Ansari, N., Aldardor, W., Siergieiev, D., Knutsson, S. (2013). Effect of treated wastewater irrigation on vegetables. *J. Environ. Hydrol.*, 21, 1–12.
2. Ali, F., Rehman, S.U., Tareen, N.M., Ullah, K., Ullah, A., Bibi, T., Laghari, S. (2019). Effect of waste water treatment on the growth of selected leafy vegetable plants. *Appl. Ecol. Environ. Res.*, 17, 1585–1597. https://doi.org/10.15666/aecr/1702_15851597
3. Atamaleki, A., Yazdanbakhsh, A., Fakhri, Y., Salem, A., Ghorbanian, M., Mousavi Khaneghah, A. (2021). A Systematic Review and Meta-analysis to Investigate the Correlation Vegetable Irrigation with Wastewater and Concentration of Potentially Toxic Elements (PTES): a Case Study of Spinach (*Spinacia oleracea*) and Radish (*Raphanus raphanistrum* subsp. *sativus*). *Biol. Trace Elem. Res.*, 199, 792–799. <https://doi.org/10.1007/s12011-020-02181-0>
4. Cirelli, G.L., Consoli, S., Licciardello, F., Aiello, R., Giuffrida, F., Leonardi, C. (2012). Treated municipal wastewater reuse in vegetable production. *Agric. Water Manag.*, 104, 163–170. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.12.011>

5. Demir, A. D., Sahin, U. (2017). Effects of different irrigation practices using treated wastewater on tomato yields, quality, water productivity, and soil and fruit mineral contents. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 24, 24856–24879. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0139-3>
6. Dias, J. C. da S. (2022). Nutritional Quality and Health Benefits of Vegetables. *Emerg. Trends Dis. Heal. Res.*, 4, 7–35. <https://doi.org/10.9734/bpi/etdhr/v4/15660d>
7. Hashem, M.S., Qi, X. (2025). *Treated Wastewater Irrigation*. A Review, 1–37.
8. Sibanda, J., Parwada, C., Mvumi, C. (2025). Effects of wastewater irrigation on soil physico-chemical properties and vegetables quality: A review. *Int. J. Hortic. Sci.*, 31, 7–16.
9. Zamljen, T., Jakopič, J., Hudina, M., Veberič, R., Slatnar, A. (2021). Influence of intra and inter species variation in chilies (*Capsicum* spp.) on metabolite composition of three fruit segments. *Sci. Rep.*, 11, 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-84458-5>
10. Zamljen, T., Jamnik, P., Vidrih, R., Grohar, M.C., Slatnar, A. (2025). Biochemical transformations in fermented chili pastes: Impact of cultivar and fermentation type on flavor and bioactive compounds. *Food Res. Int.*, 222, 117739. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.117739>
11. Zia, H., Fischbach, N., Hofsommer, M., Slatnar, A. (2023). Development and validation of HPLC-MS/MS method for simultaneous analysis of B vitamins present naturally or after fortification in fruit juices. *Lwt* 184, 115103. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115103>

Received March, 2026, published April, 2026

Tina SMRKE. Agricultural Institute of Slovenia, Department of Infrastructure, Research and Knowledge Transfer, dr. Address: Hacquetova str. 17, SI-1000 Ljubljana. Phone: +386(0)31 682 578, e-mail: tina.smrke@kis.si
 Uros KAVKLER. Agricultural Institute of Slovenia, Department of Infrastructure, Research and Knowledge Transfer, Address: Hacquetova str. 17, SI-1000 Ljubljana. E-mail: uros.kavkler@kis.si
 Blaz GERMSEK. Agricultural Institute of Slovenia, Department of Infrastructure, Research and Knowledge Transfer, dr., head of Department. Address: Hacquetova str. 17, SI-1000 Ljubljana. Phone: +386 (0)1 280 51 01 | +386 (0)41 956 303, e-mail: blaz.germsek@kis.si
 Borut SOLINA. Municipal company Ptuj, Address: Puhova str. 10, SI-2250 Ptuj. Phone: +386 (0)31 293 557, e-mail: borut.solina@komunala-ptuj.si
 Branko LAH. Municipal company Ptuj, dr. Address: Puhova str. 10, SI-2250 Ptuj. Phone: +386 (0)2 780 54 667, e-mail: branko.lah@komunala-ptuj.si
 Katja KUZMIC. Regional Development Agency for Podravje - Maribor (RRA Podravje - Maribor). Address: Pobreska str. 20, SI-2000 Maribor. Phone: +386 (0)51 411 363, e-mail: katja.kuzmic@rra-podravje.si
 Matjaz FRAS. Regional Development Agency for Podravje - Maribor (RRA Podravje - Maribor), mag. Address: Pobreska str. 20, SI-2000 Maribor. Phone: +386 (0)41 522 412, e-mail: matjaz.fras@rra-podravje.si
 Antoaneta G. KUHAR. Agricultural Institute of Slovenia, Project Office, dr., Project Office Manager. Address: Hacquetova str. 17, SI-1000 Ljubljana. Phone: +386 (0)1 280 51 03, e-mail: antoaneta.kuhar@kis.si
 Andreja ZIBRAT GASPARIC. Agricultural Institute of Slovenia, Project Office, dr., Address: Hacquetova str. 17, SI-1000 Ljubljana. Phone: +386 (0)1 280 51 41, e-mail: andreja.zibrat-gasparic@kis.si
 Nika CVELBAR WEBER. Agricultural Institute of Slovenia, Department of Infrastructure, Research and Knowledge Transfer, dr. Address: Hacquetova str. 17, SI-1000 Ljubljana. Phone: +386(0)31 682 578, e-mail: nika.weber@kis.si

THE ROLE OF GRAM-NEGATIVE BACTERIAL OUTER MEMBRANE VESICLES IN PLANT–PATHOGEN INTERACTIONS

Giedrė Valdonė Sakalauskienė¹, Daniele Bellucci²

¹Lithuanian University of Health Sciences, Lithuania, ²University of Perugia, Italy

Outer membrane vesicles (OMVs) are small membrane fragments released by Gram-negative bacteria during growth. In plant-pathogenic bacteria, OMVs contain proteins, enzymes and other bacterial components that may contribute to interactions with plant hosts. Compared with human pathogens, the role of OMVs in plant-associated bacteria has been described less consistently. This work summarizes published studies on OMVs produced by Gram-negative plant pathogens, with a focus on their involvement in bacterial virulence and plant immune responses. Available data show that OMVs transport biologically active molecules that support bacterial survival and colonization of plant tissues. At the same time, vesicles can be perceived by plants and trigger immune reactions that differ from responses induced by single bacterial factors. Taken together, current evidence suggests that OMVs participate in both disease development and plant defense signaling. Their functions represent an additional, still insufficiently explored aspect of plant–bacterium interactions.

Keywords: Outer membrane vesicles, gram-negative plant pathogens, plant–pathogen interactions, plant immunity, plant protection.

Introduction

Ensuring sustainable food production represents one of the major challenges facing modern society. Current demographic estimates indicate that the global population may reach approximately 9.7 billion by 2050, which is expected to necessitate an increase in food production of around 70% compared with current consumption levels (Cole et al., 2018).

In this context, crop production is substantially threatened by plant diseases caused by microbial pathogens. Among them, Gram-negative bacteria represent a major group of phytopathogens responsible for economically significant crop losses worldwide. Bacterial genera such as *Xanthomonas*, *Pseudomonas*, *Ralstonia*, *Agrobacterium*, *Erwinia*, *Xylella*, *Pectobacterium*, and *Dickeya* infect a broad range of agricultural crops, including vegetables, fruits, and field plants. Diseases caused by these pathogens commonly affect vascular tissues and are often accompanied by tissue maceration, necrotic lesions, or soft rot development, leading to reduced yields, compromised crop quality, and increased post-harvest losses. Therefore, such infections pose a persistent challenge to sustainable agriculture and global food security (Rooney et al., 2020, Sharma et al., 2025).

Although outer membrane vesicles (OMVs) have been extensively investigated in human Gram-negative pathogens, including clinically important ESKAPE bacteria (Sakalauskienė, et al., 2025), accumulating evidence indicates that plant-pathogenic Gram-negative bacteria also actively produce OMVs during growth and host colonization (Bahar et al., 2016). OMVs are naturally released from the outer membrane of Gram-negative bacteria during growth and host colonization, enabling the encapsulation and coordinated delivery of multiple bioactive components (Rudnicka et al., 2022, Sakalauskienė et al., 2025). OMVs carry a diverse molecular cargo, including lipopolysaccharides, outer membrane proteins, enzymes, and nucleic acids, which facilitates bacterial interactions with plant tissues (Katsir & Bahar, 2017, Sakalauskienė et al., 2025) (Fig. 1). Importantly, OMV composition may differ from that of the parental outer membrane due to selective cargo enrichment, providing protection from environmental and host-derived degradation and supporting effective delivery during host colonization (Rudnicka et al., 2022).

In this context, the aim of the present work is to analyse and synthesize current scientific literature addressing interactions between outer membrane vesicles produced by Gram-negative plant-pathogenic bacteria and plant immune systems. In particular, this study evaluates OMVs as platforms of bacterial virulence and discusses their potential relevance in the context of future sustainable plant protection strategies.

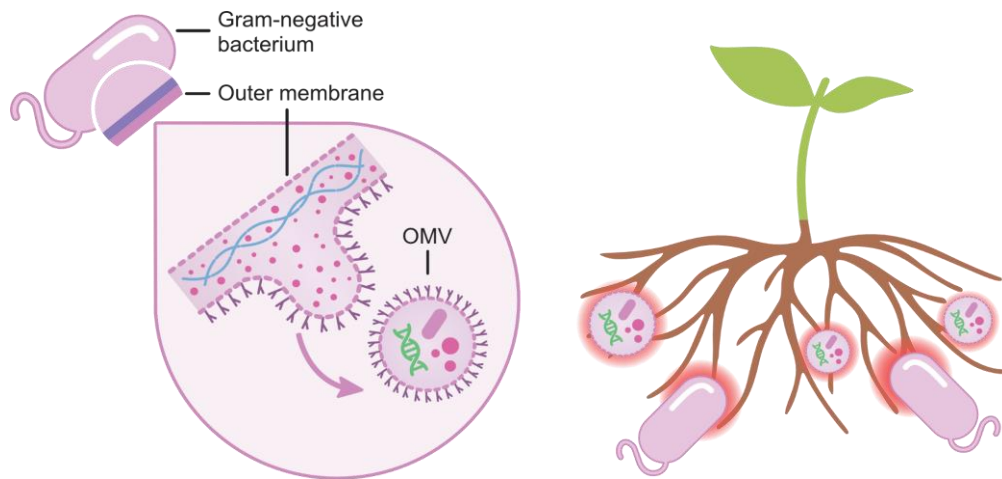


Fig. 1. Formation and cargo of OMVs

1 pav. Išorinės gramneigiamų bakterijų membranos pūslelių susidarymas ir krūvis

Research methodology

This work is based on a narrative review of scientific literature retrieved from PubMed and Google Scholar. The analysis focused primarily on studies published since 2016, with selected earlier studies included where necessary to provide foundational context. Relevant publications were identified using keywords related to Gram-negative plant pathogens, outer membrane vesicles, plant immunity, bacterial virulence, and plant protection.

Outer membrane vesicles as virulence determinants in Gram-negative plant pathogens

Unlike classical secretion systems that transport individual effectors, OMVs act as multifunctional nanocarriers that package enzymes, toxins, adhesins, and membrane-associated components into a single, protected delivery unit. This vesicle-mediated strategy facilitates the delivery of virulence-associated factors both proximal and distal to the site of bacterial cells, thereby extending the spatial range of pathogenic activity (Rudnicka et al., 2022).

Evidence from diverse phytopathogens indicates that OMV cargo composition is adapted to pathogen-specific infection strategies. In *Xanthomonas campestris* pathovars, proteomic analyses revealed that OMVs from *X. campestris* pv. *campestris* are enriched in type III secretion system (T3SS)-associated effectors involved in suppressing hypersensitive responses and promoting host colonization (Sidhu et al., 2008; Rudnicka et al., 2022). In contrast, OMVs from *X. campestris* pv. *vesicatoria* predominantly carry type II secretion system (T2SS) enzymes, such as lipases, proteases, and xylanases, which contribute to plant cell wall degradation and tissue maceration (Solé et al., 2015; Rudnicka et al., 2022). These findings suggest that OMVs may act as alternative or complementary secretion routes that enhance virulence in a niche-dependent manner.

A comparable strategy has been described for *Xylella fastidiosa*, a xylem-inhabiting pathogen lacking a functional T3SS. In this bacterium, OMVs serve as vehicles for adhesins, hydrolytic enzymes, porins, and pectin-degrading factors, facilitating long-distance degradation of plant cell wall components within xylem tissues (Ionescu et al., 2014; Feitosa-Junior et al., 2019). Quorum sensing-regulated OMV production further contributes to biofilm formation and bacterial dispersion during disease progression in planta (Bahar et al., 2014; Katsir & Bahar, 2017).

Similar OMV-mediated virulence mechanisms have been reported in *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* T1 and DC3000, where vesicles transport effectors associated with hypersensitive responses, phytotoxins, proteases, and plant cell wall-modifying enzymes, thereby enhancing invasiveness and symptom development during plant infection (Chowdhury & Jagannadham, 2013; Janda et al., 2021).

The contribution of OMVs to virulence is further exemplified by soft rot-causing bacteria such as *Pectobacterium brasiliense*, a major pathogen of potato (*Solanum tuberosum*). OMVs produced by this pathogen contain multiple plant cell wall-degrading enzymes capable of inducing tissue maceration independently of bacterial cells and are embedded within biofilm-like matrices in plant tissues, supporting both virulence and colonization. In addition, vesicle-associated bacteriocins and secretion system effectors may enhance pathogen fitness by suppressing competing microorganisms within plant-associated niches (Maphosa & Moleleki, 2021).

Thus, these studies demonstrate that OMVs are integral to Gram-negative phytopathogen virulence by facilitating protected, coordinated, and spatially extended delivery of pathogenic factors that support disease development and persistence in plant hosts (Rudnicka et al., 2022).

OMV-mediated activation and modulation of plant immune responses

Unlike single purified microbe-associated molecular patterns (MAMPs), OMVs represent complex nanostructures that simultaneously deliver multiple immunogenic components, including lipopolysaccharides, peptidoglycan fragments, outer membrane proteins, and conserved bacterial proteins such as elongation factor Tu and flagellin-associated epitopes (Katsir & Bahar, 2017).

Experimental evidence indicates that plants perceive OMVs through pattern recognition receptors (PRRs), thereby activating pattern-triggered immunity (PTI). Treatment of *Arabidopsis thaliana* with OMVs from *X. campestris* pv. *campestris* induced extensive transcriptional reprogramming toward immune activation, including upregulation of defense-related genes and receptor-associated pathways. Transcriptomic analyses further revealed that OMV-induced responses partially overlap with classical PAMP-triggered immunity but extend beyond it, indicating a broader and more integrated immune output (Chalupowicz et al., 2023).

At the signaling level, OMV perception induces sustained activation of mitogen-activated protein kinases (MAPKs), which persists longer than MAPK activation triggered by the canonical PAMP flg22. This prolonged signaling likely reflects the simultaneous delivery of multiple immune-active components within a single vesicle (McMillan et al., 2021). Importantly, OMV-induced immune activation is not dependent on a single PRR, as mutations in receptors such as FLS2 or EFR, as well as the co-receptor BAK1, do not abolish OMV-mediated protection, supporting redundancy and convergence of multiple receptor-mediated pathways (Chalupowicz et al., 2023).

Beyond local immune activation, OMVs are capable of priming plants for enhanced resistance. Pretreatment with bacterial OMVs reduced pathogen growth upon subsequent infection by bacterial and oomycete pathogens, demonstrating the induction of a protective immune state in planta (Katsir et al., 2017). This priming response involves both salicylic acid-dependent and -independent pathways and varies with bacterial origin and OMV cargo composition (Zhou et al., 2022). For example, OMVs from pathogenic *Pseudomonas syringae* elicited stronger salicylic acid-associated responses than OMVs from beneficial bacteria, indicating that plants can discriminate between vesicles from different microbial sources. This selective immune tuning suggests that OMVs contribute to fine-scale regulation of plant defense rather than acting as nonspecific immune elicitors (McMillan et al., 2021; Zhou et al., 2022).

Importantly, OMV-mediated immune modulation is not limited to activation but may also involve targeted immune suppression. Recent studies demonstrated that OMVs from phytopathogenic bacteria can deliver regulatory small RNAs (sRNAs) into plant cells, thereby interfering with immune signaling pathways. In *X. oryzae* pv. *oryzicola*, OMV-associated sRNAs suppressed stomatal immunity by downregulating jasmonate-associated defenses, facilitating pathogen entry and increasing host susceptibility (Wu et al., 2024).

Thus, these findings demonstrate that OMVs function as complex immunogenic entities capable of activating, modulating, and priming plant immune responses, highlighting their multifaceted role at the plant–bacterium interface (Katsir & Bahar, 2017; Zhou et al., 2022).

Discussion

Recent studies have identified that OMVs contribute to plant disease development by delivering virulence-associated enzymes, effectors, and immunogenic molecules, while simultaneously modulating host immune signaling pathways (Bahar & Katsir, 2017; Chalupowicz et al., 2018; McMillan et al., 2021; Rudnicka et al., 2022). Although substantial progress has been made in elucidating OMV-associated mechanisms, research on phytopathogen-derived OMVs has largely remained descriptive, with limited emphasis on their applied potential in plant protection.

The capacity of OMVs to package multiple MAMPs, enzymes, and regulatory factors into a single, protected structure enables sustained immune activation that differs from responses triggered by individual purified elicitors. In plants, OMV perception induces prolonged MAPK activation, defense-related transcriptional reprogramming, and enhanced resistance to subsequent pathogen challenge (Chalupowicz et al., 2018; McMillan et al., 2021). These findings suggest that OMVs function as integrated immune stimuli rather than isolated signals; however, their practical exploitation in agricultural systems remains hypothetical.

Beyond vaccination, OMVs have been engineered to deliver antibiotics and immunostimulatory molecules, enhancing therapeutic efficacy while protecting cargo from degradation (Collins et al., 2021; Gonçalves et al., 2025). In oncology research, OMVs have also been investigated as vehicles for targeted drug

delivery and immune activation within the tumor microenvironment, including combination strategies integrating photodynamic or chemotherapeutic approaches (Li et al., 2023).

Extrapolating these advances to plant protection suggests several potential strategies. OMVs derived from non-pathogenic or attenuated bacteria could function as natural immune elicitors, priming plant defense responses without introducing live microorganisms. In addition, OMVs may serve as carriers for antimicrobial compounds, plant-protective enzymes, or immune-modulating molecules, enabling targeted and sustained delivery within plant tissues. Nevertheless, in contrast to human medicine, experimental evidence supporting OMV-based applications in agriculture remains limited. Key challenges—including OMV uptake by plant cells, environmental stability, biosafety, and scalability—must be addressed before practical implementation is feasible.

Overall, current evidence supports the view that OMVs represent a promising yet underexplored tool for plant protection, warranting further interdisciplinary research integrating plant pathology, microbiology, and nanobiotechnology.

Conclusions

1. Plant-pathogenic Gram-negative bacteria produce outer membrane vesicles that actively contribute to virulence
2. OMVs play an important role in the activation and modulation of plant immune responses.
3. Further research is required to explore the potential of OMVs for future plant protection strategies.

References

1. Bahar, O., Mordukhovich, G., Luu, D. D., Schwessinger, B., Daudi, A., Jehle, A. K., Felix, G., & Ronald, P. C. (2016). Bacterial outer membrane vesicles induce plant immune responses. *Molecular Plant–Microbe Interactions*, 29(5), 374–384. <https://doi.org/10.1094/MPMI-12-15-0270-R>
2. Bahar, O., Pruitt, R., Luu, D. D., Schwessinger, B., Daudi, A., Liu, F., Ruan, R., Fontaine-Bodin, L., Koebnik, R., & Ronald, P. (2014). The Xanthomonas Ax21 protein is processed by the general secretory system and is secreted in association with outer membrane vesicles. *PeerJ*, 2, e242. <https://doi.org/10.7717/peerj.242>
3. Chalupowicz, L., Mordukhovich, G., Assoline, N., Katsir, L., Sela, N., & Bahar, O. (2023). Bacterial outer membrane vesicles induce a transcriptional shift in Arabidopsis towards immune system activation leading to suppression of pathogen growth in planta. *Journal of Extracellular Vesicles*, 12(1), e12285. <https://doi.org/10.1002/jev2.12285>
4. Chowdhury, C., & Jagannadham, M. V. (2013). Virulence factors are released in association with outer membrane vesicles of *Pseudomonas syringae* pv. tomato T1 during normal growth. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Proteins and Proteomics*, 1834(1), 231–239.
5. Cole, M. B., Augustin, M. A., Robertson, M. J., & Manners, J. M. (2018). The science of food security. *NPJ Sci Food*, 2. Article 14. <https://doi.org/10.1038/s41538-018-0021-9>
6. Collins, S. M., & Brown, A. C. (2021). Bacterial outer membrane vesicles as antibiotic delivery vehicles. *Frontiers in Immunology*, 12, 733064. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2021.733064>
7. Feitosa-Junior, O. R., Stefanello, E., Zaini, P. A., Nascimento, R., Pierry, P. M., Dandekar, A. M., Lindow, S. E., & da Silva, A. M. (2019). Proteomic and Metabolomic Analyses of *Xylella fastidiosa* OMV-Enriched Fractions Reveal Association with Virulence Factors and Signaling Molecules of the DSF Family. *Phytopathology*, 109(8), 1344–1353.
8. Gonçalves, M. O., Lins P. M. P., Kassab, G., Bagnato, V., & Zucolotto, V. (2025). Outer membrane vesicles (OMVs) and their therapeutic potential as anti-infectious agents. *Nano Trends*, 11, 100129. <https://doi.org/10.1016/j.nwnano.2025.100129>
9. Ionescu, M., Zaini, P. A., Baccari, C., Tran, S., da Silva, A. M., & Lindow, S. E. (2014). *Xylella fastidiosa* outer membrane vesicles modulate plant colonization by blocking attachment to surfaces. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(37), E3910–E3918. <https://doi.org/10.1073/pnas.1414944111>
10. Janda, M., Rybak, K., Krassini, L., Meng, C., Feitosa-Junior, O., Stigliano, E., Szulc, B., Sklenar, J., Menke, F. L. H., Malone, J. G., Brachmann, A., Klingl, A., Ludwig, C., & Robatzek, S. (2023). Biophysical and proteomic analyses of *Pseudomonas syringae* pv. tomato DC3000 extracellular vesicles suggest adaptive functions during plant infection. *mBio*, 14(4), e03589-22. <https://doi.org/10.1128/mbio.03589-22>
11. Katsir, L., & Bahar, O. (2017). Bacterial outer membrane vesicles at the plant-pathogen interface. *PLoS Pathogens*, 13(6), e1006306. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1006306>

12. Li, D., Zhu, L., Wang, Y., Zhou, X., & Li, Y. (2023). Bacterial outer membrane vesicles in cancer: Biogenesis, pathogenesis, and clinical application. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 165, 115120. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2023.115>
13. Maphosa, S., & Moleleki, L. N. Isolation and Characterization of Outer Membrane Vesicles of *Pectobacterium brasiliense* 1692. (2021). *Microorganisms*, 9(9), 1918. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9091918>
14. McMillan, H. M., Zebell, S. G., Ristaino, J. B., Dong, X., & Kuehn, M. J. (2021). Protective plant immune responses are elicited by bacterial outer membrane vesicles. *Cell Reports*, 34(3), 108645. <https://doi.org/10.1016/j.celrep.2020.108645>
15. Rooney, W. M., Chai, R., Milner, J. J., & Walker, D. (2020). Bacteriocins Targeting Gram-Negative Phytopathogenic Bacteria: Plantibiotics of the Future. *Frontiers in Microbiology*, 11, 575981. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.575981>
16. Rudnicka, M., Noszczyńska, M., Malicka, M., Kasperkiewicz, K., Pawlik, M., Piotrowska-Seget, Z. (2022). Outer Membrane Vesicles as Mediators of Plant-Bacterial Interactions. *Frontiers in Microbiology*, 13, 902181. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.902181>
17. Sakalauskienė, G. V., & Radzevičienė, A. (2025). Biofilm and Outer Membrane Vesicle Formation in ESKAPE Gram-Negative Bacteria: A Comprehensive Review. *International International Journal of Molecular Sciences*, 26(20), 9857. <https://doi.org/10.3390/ijms26209857>
18. Sharma, K., Yadav, R., Sharma, J., & Devi, E. P. (2025). Virulence Mechanism in Gram Negative Plant Pathogenic Bacteria. *International Journal on Emerging Technologies*, 16(2), 102–107.
19. Sidhu, V. K., Vorhölter, F. J., Niehaus, K., & Watt, S. A. (2008). Analysis of outer membrane vesicle associated proteins isolated from the plant pathogenic bacterium *Xanthomonas campestris* pv. *campestris*. *BMC Microbiology*, 8, 87. <https://doi.org/10.1186/1471-2180-8-87>
20. Solé, M., Scheibner, F., Hoffmeister, A. K., Hartmann, N., Hause, G., Rother, A., Jordan, M., Lautier, M., Arlat, M., & Büttner, D. (2015). *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* Secretes Proteases and Xylanases via the Xps Type II Secretion System and Outer Membrane Vesicles. *Journal of Bacteriology*, 197(17), 2879–2893. <https://doi.org/10.1128/JB.00322-15>
21. Wu, Y., Wang, S., Wang, P., Nie, W., Ahmad, I., Sarris, P. F., Chen, G., & Zhu, B. (2024). Suppression of host plant defense by bacterial small RNAs packaged in outer membrane vesicles. *Plant Communications*, 5(4), 100817. <https://doi.org/10.1016/j.xplc.2024.100817>
22. Zhou, Q., Ma, K., Hu, H., Xing, X., Huang, X., & Gao, H. (2022). Extracellular vesicles: Their functions in plant-pathogen interactions. *Molecular Plant Pathology*, 23(6), 760–771. <https://doi.org/10.1111/mpp.13170>

Giedrė Valdonė Sakalauskienė¹, Daniele Bellucci²

Išorinės gramneigiamų bakterijų membranos pūslelių vaidmuo bakterijos ir augalo sąveikai

¹Lietuvos sveikatos mokslų universitetas, ²Perudžos universitetas, Italija

Išorinės augalų gramneigiamų patogeninių bakterijų membranos pūslelės (IMP) atlieka svarbų vaidmenį augalo–mikroorganizmo sąveikose, tačiau jų indėlis į bakterijų virulentiškumą ir augalų imuninius atsakus dar nėra nuosekliai apibendrintas. Šio tyrimo tikslas – išanalizuoti mokslinę literatūrą apie augalų gramneigiamų patogeninių bakterijų IMP biologines funkcijas, ypatingą dėmesį skiriant jų įtakai vaidmeniui bakterijų virulentiškumui ir augalų imuninės sistemos moduliacijai. Apžvelgti duomenys rodo, kad IMP veikia kaip daugiafunkcės virulentiškumo veiksmų ir imunogeninių molekulių pernašos sistemos, sukeliančios sudėtingus ir ilgalaikius augalų imuninius atsakus. Šie rezultatai pabrėžia dvejopą IMP vaidmenį augalų ligų vystymosi procesams ir imunitetui bei jų potencialią reikšmę taikant ateities augalų apsaugos strategijas.

Raktiniai žodžiai: išorinės membranos pūslelės, gramneigiamos augalų bakterijos, augalo-bakterijos sąveikos, augalų imunitetas, augalų apsauga.

Gauta 2026 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2026 m. balandžio mėn.

Giedrė Valdonė SAKALAUŠKIENĖ. Lietuvos sveikatos mokslų universiteto Fiziologijos ir farmakologijos instituto docentė. Adresas: A. Mickevičiaus g. 9, LT-44307, Kaunas, tel. +370 65279369, el. paštas: giedrevaldone.sakalauskiene@lsmu.lt

Giedrė Valdonė SAKALAUŠKIENĖ. Lithuanian University of Health Sciences, Institute of Physiology and Pharmacology, assoc. prof. Address: A. Mickevičiaus g. 9, LT-44307, Kaunas. Phone: +370 65279369, e-mail: giedrevaldone.sakalauskiene@lsmu.lt

Daniele BELLUCCI. University of Perugia, Department of Chemistry, Biology and Biotechnology, Master's student in (A.E.B) Agricultural and Environmental Biotechnologies. Address: Piazza dell'Università, 1, 06123 Perugia (PG), Italy. Phone: +39 333 199 3377, e-mail: daniele.bellucci2@studenti.unipg.it

BACTERIOPHAGES AS REGULATORS OF PLANT-ASSOCIATED BACTERIAL COMMUNITIES

Giedrė Valdonė Sakalauskienė¹, Daniele Bellucci²

¹Lithuanian University of Health Sciences, Lithuania, ²University of Perugia, Italy

Bacteriophages regulate plant-associated bacterial populations and influence plant disease dynamics. This work aimed to review current literature on bacteriophage–plant-pathogenic bacterium interactions, focusing on their mechanisms and relevance for plant health. Available studies indicate that bacteriophages can reduce phytopathogen populations, modulate virulence, and affect disease progression, highlighting their potential for targeted plant disease management.

Keywords: Bacteriophages, plant-associated bacteria, plant disease.

Introduction

Crop pathogens and pests substantially reduce both the yield and quality of agricultural production, resulting in significant economic losses and posing a serious threat to food security at household, national, and global levels (Savary et al., 2019). Plant diseases arise from infections caused by diverse pathogens, including fungi, bacteria, viruses, and nematodes, and disrupt key physiological processes such as nutrient uptake, photosynthesis, growth, and reproduction, often leading to severe yield decline or plant death (Gai & Wang, 2024). In addition to crop losses, plant diseases may indirectly affect human health by reducing food availability and contaminating food with toxic metabolites such as mycotoxins (Al-Sadi, 2017). Conventional plant disease management strategies, including the extensive use of synthetic fungicides and antimicrobial compounds, raise growing concerns related to environmental sustainability, human health, and the emergence of pathogen resistance. In this context, bacteriophages – viruses that selectively infect bacterial pathogens – have attracted increasing attention as highly specific and environmentally compatible alternatives for plant disease control. Their targeted mode of action enables the suppression of bacterial pathogens in both pre-harvest and post-harvest settings, potentially reducing reliance on chemical pesticides throughout the plant lifecycle (Hoffmann et al., 2025). The aim of this work is to review current knowledge on the role of bacteriophages in plant–bacterium interactions and to discuss their potential application as biologically based agents for plant disease management.

Research methodology

This work is based on a narrative analysis of peer-reviewed literature retrieved from PubMed and Google Scholar, published mainly between 2016 and 2026, with selected earlier studies included for conceptual background.

Bacteriophages and plant-associated bacterial pathogens

Bacteriophages are the most abundant biological entities in nature and play an important role in regulating bacterial populations across diverse ecosystems (Naureen et al., 2020). They display marked genomic and structural diversity, with genome sizes ranging from <5 kbp to >280 kbp and virions composed of a capsid, often a tail, and multiple structural proteins (Sahu et al., 2023) (Fig.1). Bacteriophages can be broadly classified into virulent and temperate types according to their life cycle strategies (Halawa, 2023). These viruses typically consist of either DNA or RNA genomes enclosed within a protein capsid, and their structural diversity reflects functional adaptation to different bacterial targets (Naureen et al., 2020).

Bacteriophages are generally described as exhibiting several distinct life cycle strategies, of which the lytic and lysogenic cycles are the best characterized, while pseudolysogenic and chronic infection cycles represent alternative and less well understood lifestyles. In the lytic cycle, phage genetic material is introduced into the bacterial cell and immediately directs host metabolic machinery toward the production of new phage particles. Following genome replication and virion assembly, phage-encoded lytic proteins disrupt the bacterial cell envelope, resulting in host cell lysis and release of progeny phages into the surrounding environment (Jaglan, et al., 2024, Bisen et al., 2024).

The lysogenic cycle is characterized by stable maintenance of the phage genome within the bacterial cell without immediate host destruction. In this state, the phage genome is integrated into the host chromosome or maintained as an extrachromosomal element and replicated alongside the bacterial genome during cell division. External stimuli, including physical or chemical stress, may induce a switch from lysogeny to lytic replication (Jaglan, et al., 2024, Bisen et al., 2024, Thi Trang Nhung, et al, 2025).

Pseudolysogeny refers to a transient infection state in which phage nucleic acid persists within the bacterial cell without integration into the host genome and without active replication. This interaction is

typically observed under unfavorable conditions that limit bacterial growth and may allow phages to persist until conditions become suitable for productive infection (Jaglan, et al., 2024, Bisen et al., 2024).

In chronic infection cycles, phage progeny are produced continuously without causing immediate host cell lysis. Newly formed virions are released through extrusion or budding mechanisms, allowing long-term coexistence between phage and host. This infection strategy is most commonly associated with filamentous bacteriophages (Jaglan, et al., 2024). Phages have been detected across diverse habitats, including aquatic systems, soils, extreme environments, and host-associated ecosystems. Through their interactions with bacterial hosts, phages influence microbial abundance, diversity, evolution, and community structure within specific ecological niches (Naureen et al., 2020).

In plant-associated environments, bacteriophages predominantly infect bacterial taxa that include major phytopathogens, such as species of *Pseudomonas*, *Xanthomonas*, *Ralstonia*, *Dickeya*, and soft rot-causing members of the genera *Erwinia* and *Pectobacterium*. These bacterial groups are responsible for economically important diseases affecting a wide range of crops worldwide such as potatoes, tomatoes, grapevines, onions, lettuces, radishes, leeks, oranges, grapefruit, mushrooms, pear and apple trees. By selectively infecting and lysing susceptible bacterial hosts, phages can reduce pathogen population size and influence the composition and dynamics of plant-associated bacterial communities, thereby indirectly affecting plant disease development (Buttimer et al., 2017, Kering et al., 2018, Thi Trang Nhung et al., 2025, Hoffmann et al., 2025).

Mechanisms of bacteriophage–plant-pathogenic bacterium interactions

Bacteriophages modulate plant disease dynamics primarily through their interactions with plant-pathogenic bacteria, rather than through direct contact with plant tissues. The most prominent mechanism is lytic infection, during which phage replication leads to bacterial cell lysis and a rapid reduction in pathogen population size (Buttimer et al., 2017, Halawa, 2023). Lytic bacteriophages replicate through a well-defined sequence of events that includes host recognition and attachment, genome entry into the bacterial cell, transcription and replication of phage genetic material, assembly of progeny virions, and ultimately disruption of the host cell. This process culminates in bacterial cell death and the release of newly formed phage particles into the surrounding environment (Brady et al., 2021, Bisen et al., 2024). Host lysis is mediated by phage-encoded lytic enzymes, such as lyases, which degrade structural components of the bacterial cell wall and enable efficient release of phage progeny (Hasan & Ahn, 2022, Bisen et al., 2024). Thus, this process can interfere with pathogen establishment, spread, and persistence in plant-associated environments such as the phyllosphere, rhizosphere, and vascular tissues (Buttimer et al., 2017, Halawa, 2023).

In addition to lytic interactions, lysogenic relationships enable long-term coexistence between phages and their bacterial hosts through integration of phage genetic material into the bacterial genome (Buttimer et al., 2017). Prophage (a heritable phage-derived genetic element integrated into the bacterial genome or maintained extrachromosomally) carriage may alter bacterial fitness, stress tolerance, motility, or virulence, thereby indirectly influencing disease development (Buttimer et al., 2017, Wendling, 2023). In this strategy, the phage genome is maintained within the bacterial chromosome and replicates together with the host genome until specific stimuli induce a switch to the lytic cycle. Such induction can be triggered by chemical or physical factors, including UV radiation or elevated temperature. Notably, certain plant-derived compounds have also been reported to promote prophage induction (Buttimer et al., 2017). For example, prophages ECA41 and ECA29 were shown to increase motility in *Pectobacterium atrosepticum*, a key soft rot pathogen (Evans et al., 2010, Buttimer et al., 2017).

In addition, prophages may harbor toxin-encoding genes or facilitate horizontal gene transfer through transduction, raising concerns regarding the dissemination of virulence-associated traits among bacterial populations (Abedon & Lejeune, 2005, Griffiths et al., 2000, Buttimer, 2017). Filamentous phages represent another non-lytic interaction strategy, establishing chronic infections with continuous phage production without host cell lysis. Such interactions can have variable effects on host virulence; for instance, infection of *Ralstonia solanacearum* by the filamentous phage ϕ RSS1 was associated with increased bacterial virulence (Yamada, 2013, Buttimer, 2017). These properties highlight why lysogenic and chronic phages are generally avoided in classical biocontrol strategies (Buttimer, 2017).

Nevertheless, field and soil-based studies indicate that effective disease suppression does not always require rapid or complete bacterial lysis. A notable example is phage ϕ RSL1, which, despite exhibiting limited lytic activity against *R. solanacearum*, provided strong disease control by establishing a stable equilibrium that suppressed pathogen virulence while maintaining phage persistence in the rhizosphere (Fujiwara et al., 2011, Buttimer, 2017).

Thus, these findings underscore that phage–bacterium interactions relevant to plant disease management extend beyond strictly lytic dynamics and must be evaluated within their ecological context (Buttimer et al., 2017).

Bacteriophages in environmentally compatible plant disease management

Bacteriophages have gained increasing attention as biologically based tools for the management of bacterial plant diseases, offering an alternative to conventional chemical control strategies. Unlike broad-spectrum antimicrobials such as copper-based compounds, which may accumulate in soil, disrupt non-target microbial communities, and select for resistant strains, bacteriophages exhibit high host specificity and minimal environmental impact (Buttimer et al., 2017; Hoffmann et al., 2025, Thi Trang Nhung, et al, 2025). Phages have been also successfully applied in both pre-harvest and post-harvest contexts, including foliar sprays, soil drenches, seed treatments, and post-harvest washing of fruits and vegetables, resulting in reduced bacterial loads and improved crop quality (Hoffmann et al., 2025) such as tomato, potato, citrus, grapevine, and apple. Successful examples include phage-based control of *Ralstonia solanacearum*, *Xanthomonas* spp., *Pseudomonas syringae*, and soft-rot pathogens such as *Pectobacterium* and *Dickeya* (Buttimer et al., 2017, Haq et al., 2024, Hoffmann et al., 2025).

To overcome the narrow host range of individual phages and to limit the rapid emergence of phage-resistant bacterial variants, phage cocktails have been developed. These formulations combine multiple phages with complementary host specificities, enhancing pathogen coverage and improving treatment robustness under variable environmental conditions. Studies indicate that phage cocktails often outperform single-phage applications by providing broader efficacy and reducing the likelihood of resistance development within pathogen populations (Fig.2) (Kering, 2019, Thi Trang Nhung, et al, 2025, Jaglan et al., 2024).

Beyond bacterial diseases, viruses such as baculoviruses are also used as bioinsecticides, offering host-specific and environmentally safe control of insect pests (Halawa et al., 2023).

Additionally, bacteriophages have gained attention as promising tools for controlling bacterial contamination in water and food systems. Their ability to penetrate and disrupt bacterial biofilms via endolysins and depolymerases makes them effective against persistent microbial reservoirs in food-processing environments (Bisen, et al., 2024, Hoffmann, et al., 2025). Lytic phages have been also applied as biocontrol agents in various food products, including meat, seafood, fresh produce, and dairy, to reduce pathogen contamination in an environmentally friendly manner (Bisen, et al, 2024).

Despite their promise, the application of bacteriophages in agriculture faces several practical and biological challenges. Phages may be rapidly inactivated by UV radiation, show limited persistence in the phyllosphere or rhizosphere, or fail to reach target bacteria under dry conditions. Additional concerns include narrow host range, emergence of phage-resistant bacterial strains, and the unintended use of temperate phages capable of lysogeny or transduction as well as use of various chemical fertilizers (Buttimer et al., 2017, Halawa, 2023, Haq, 2024, Hoffmann et al., 2025).

Multiple strategies have been proposed to overcome these limitations. Protective formulations and timing of application (e.g., evening or post-rain treatments) can reduce UV inactivation, while phage cocktails broaden host range and limit resistance development. The use of strictly lytic phages is recommended to avoid lysogen formation and horizontal gene transfer. Improved formulation stability, including encapsulation or conversion to powder-based products, may enhance shelf life and field performance. In woody plants, vascular delivery has been explored as a means to improve phage distribution across large leaf surfaces. However, regulatory frameworks for phage products in agriculture remain underdeveloped and large-scale production, formulation, and delivery strategies require further optimization (Haq et al., 2012; Buttimer et al., 2017; Hoffmann et al., 2025).

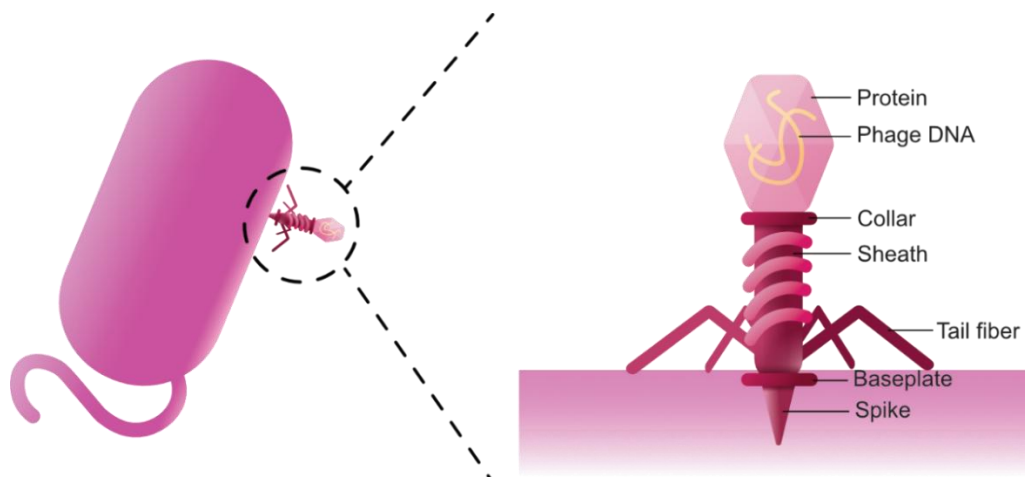


Fig. 1. Structure of bacteriophage
1 pav. Bakteriofago struktūra

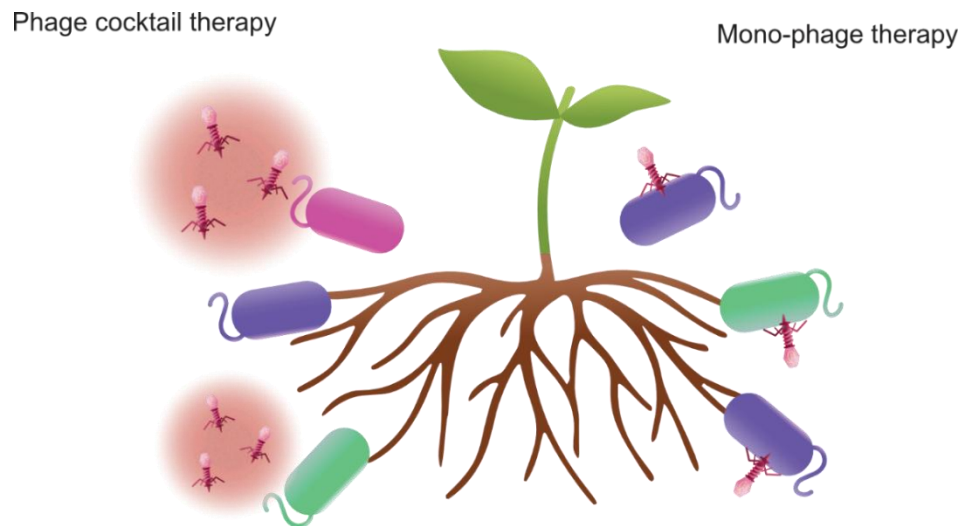


Fig. 2. Bacteriophage therapy
2 pav. Bakteriofagų terapija

Conclusions

1. Bacteriophages function as natural regulators of plant-pathogenic bacteria by shaping bacterial population structure and virulence expression.
2. Through diverse infection strategies, phages indirectly influence plant disease dynamics and plant health without direct interaction with host tissues.
3. While phage-based approaches show strong potential as environmentally compatible tools for plant disease management, their effective application requires careful consideration of ecological context, formulation strategies, and field conditions.

References

1. Abedon, S. T., & Lejeune, J. T. (2005). Why bacteriophage encode exotoxins and other virulence factors. *Evolutionary Bioinformatics Online*, 1, 97–110.
2. Al-Sadi, A. M. (2017). Impact of plant diseases on human health. *International Journal of Nutrition, Pharmacology, Neurological Diseases*, 7(2), 21–22. https://doi.org/10.4103/ijnpnd.ijnpnd_24_17
3. Bisen, M., Kharga, K., Mehta, S., Jabi, N., & Kumar, L. (2024). Bacteriophages in nature: Recent advances in research tools and diverse environmental and biotechnological applications. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(15), 22199–22242. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-32535-3>
4. Brady, A., Felipe-Ruiz, A., Gallego Del Sol, F., Marina, A., Quiles-Puchalt, N., & Penadés, J. R. (2021). Molecular basis of lysis–lysogeny decisions in Gram-positive phages. *Annual Review of Microbiology*, 75, 563–581. <https://doi.org/10.1146/annurev-micro-033121-020757>
5. Buttimer, C., McAuliffe, O., Ross, R. P., Hill, C., O'Mahony, J., & Coffey, A. (2017). Bacteriophages and bacterial plant diseases. *Frontiers in Microbiology*, 8, 34. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00034>
6. Evans, T. J., Coulthurst, S. J., Komitopoulou, E., & Salmond, G. P. C. (2010). Two mobile *Pectobacterium atrosepticum* prophages modulate virulence. *FEMS Microbiology Letters*, 304(2), 195–202. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2010.01901.x>
7. Fujiwara, A., Fujisawa, M., Hamasaki, R., Kawasaki, T., Fujie, M., & Yamada, T. (2011). Biocontrol of *Ralstonia solanacearum* by treatment with lytic bacteriophages. *Applied and Environmental Microbiology*, 77(12), 4155–4162. <https://doi.org/10.1128/AEM.02847-10>
8. Gai, Y., & Wang, H. (2024). Plant disease: A growing threat to global food security. *Agronomy*, 14(8), 1615. <https://doi.org/10.3390/agronomy14081615>
9. Griffiths, A. J. F., Miller, J. H., Suzuki, D. T., Lewontin, R. C., & Gelbart, W. M. (2000). *An introduction to genetic analysis* (7th ed.). W. H. Freeman.
10. Halawa, E. M. (2023). Challenges of bacteriophages application in controlling bacterial plant diseases and how to overcome them. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 21(1), 98. <https://doi.org/10.1186/s43141-023-00549-y>

11. Haq, I. U., Rahim, K., & Paker, N. P. (2024). Exploring the historical roots, advantages and efficacy of phage therapy in plant diseases management. *Plant Science*, 346, 112164. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2024.112164>
12. Hasan, M., & Ahn, J. (2022). Evolutionary dynamics between phages and bacteria as a possible approach for designing effective phage therapies against antibiotic-resistant bacteria. *Antibiotics*, 11(7), 915. <https://doi.org/10.3390/antibiotics11070915>
13. Hoffmann, A., Sadowska, K., Zenelt, W., & Krawczyk, K. (2025). Bacteriophages as a sustainable tool for plant disease management: Benefits and challenges. *Agronomy*, 15(11), 2507. <https://doi.org/10.3390/agronomy15112507>
14. Yamada, T. (2013). Filamentous phages of *Ralstonia solanacearum*: Double-edged swords for pathogenic bacteria. *Frontiers in Microbiology*, 4, 325. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2013.00325>
15. Jaglan, A. B., Vashisth, M., Sharma, P., Verma, R., Virmani, N., Bera, B. C., Vaid, R. K., Singh, R. K., & Anand, T. (2024). Phage-mediated biocontrol: A promising green solution for sustainable agriculture. *Indian Journal of Microbiology*, 64(2), 318–327. <https://doi.org/10.1007/s12088-024-01204-x>
16. Kering, K. K., Kibii, B. J., & Wei, H. (2019). Biocontrol of phyto-bacteria with bacteriophage cocktails. *Pest Management Science*, 75(7), 1775–1781. <https://doi.org/10.1002/ps.5324>
17. Naureen, Z., Dautaj, A., Anpilogov, K., Camilleri, G., Dhuli, K., Tanzi, B., Maltese, P. E., Cristofoli, F., De Antoni, L., Beccari, T., Dundar, M., & Bertelli, M. (2020). Bacteriophages presence in nature and their role in the natural selection of bacterial populations. *Acta Biomedica*, 91(13-S), e2020024. <https://doi.org/10.23750/abm.v91i13-S.10819>
18. Sahu, R., Singh, A. K., Kumar, A., Singh, K., & Kumar, P. (2023). Bacteriophages: Concept and applications—A review on phage therapy. *Current Pharmaceutical Biotechnology*, 24(10), 1245–1264. <https://doi.org/10.2174/1389201024666221104142457>
19. Savary, S., Willocquet, L., Pethybridge, S. J., Esker, P., McRoberts, N., & Nelson, A. (2019). The global burden of pathogens and pests on major food crops. *Nature Ecology & Evolution*, 3, 430–439. <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0793-y>
20. Thi Trang Nhung, T., Verma, S., Ponne, S., Meghwanshi, G. K., Schön, T., & Kumar, R. (2025). Bacteriophage-based strategies for biocontrol and treatment of infectious diseases. *Computational and Structural Biotechnology Journal*, 27, 2924–2932. <https://doi.org/10.1016/j.csbj.2025.06.046>
21. Wendling, C. C. (2023). Prophage-mediated control of higher-order interactions: Insights from multi-level approaches. *Current Opinion in Systems Biology*, 35, 100469. <https://doi.org/10.1016/j.coisb.2022.100469>

Giedrė Valdionė Sakalauskienė¹, Daniele Bellucci²

Bakteriofagai – augalų aplinkos bakterinių bendrijų reguliatoriai

¹Lietuvos sveikatos mokslų universitetas, ²Perudžos universitetas, Italija

Bakteriofagai reguliuoja augalų aplinkoje esančių bakterijų populiacijas ir daro įtaką augalų ligų dinamikai. Šio darbo tikslas – apžvelgti literatūrą apie bakteriofagų ir augalų patogeninių bakterijų sąveikas, atkreipiant dėmesį jų veikimo mechanizmus ir reikšmę augalų sveikatai. Tyrimai rodo, kad bakteriofagai gali mažinti fitopatogenų gausą, moduluoti virulentiškumą ir paveikti augalų ligų eigą.

Raktiniai žodžiai: bakteriofagai, augalų bakterijos, augalų ligos.

Gauta 2026 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2026 m. balandžio mėn.

Giedrė Valdionė SAKALAUSKIENĖ. Lietuvos sveikatos mokslų universiteto Fiziologijos ir farmakologijos instituto docentė. Adresas: A. Mickevičiaus g. 9, LT-44307, Kaunas, tel. +370 652 79369, el. paštas: giedrevaldone.sakalauskiene@lsmu.lt

Giedrė Valdionė SAKALAUSKIENĖ. Lithuanian University of Health Sciences, Institute of Physiology and Pharmacology, assoc. prof. Address: A. Mickevičiaus g. 9, LT-44307, Kaunas. Phone: +370 65279369, e-mail: giedrevaldone.sakalauskiene@lsmu.lt

Daniele BELLUCCI. University of Perugia, Department of Chemistry, Biology and Biotechnology, Master's student in (A.E.B) Agricultural and Environmental Biotechnologies. Address: Piazza dell'Università, 1, 06123 Perugia (PG), Italy. Phone: +39 333 199 3377, e-mail: daniele.bellucci2@studenti.unipg.it

SHIFTS IN ENVIRONMENTAL RISK PERCEPTION AND RECOVERY POTENTIAL IN GREEN SPACES

Kadri Maikov

Estonian university of Life Sciences, Estonia

This study examines shifts in environmental risk perception and perceived recovery potential within green environments through the NordPlus educational project *Healing Greenery*. It investigates how students' understanding of environmental risks evolves before and after engagement with the course, with particular attention to changes in risk-related language, meaning-making and health interpretation. Student feedback (123 responses) was collected over five years. NotebookLM was used to organize, summarize and refine the text, while AI-based tools supported language correction and textual enhancement. All interpretations remain the author's responsibility and visuals were generated using napkin.ai. The analysis emphasizes emotional, cognitive and behavioural health dimensions. Cognitively, students reported increased understanding and awareness, often expressed through reflections such as "I realized" or "I understood," reflecting a shift from intuitive to structured environmental knowledge. Prior to the course, environmental risks were typically described using vague, personal stress-related language and nature was seen as a pleasant, but passive backdrop. Over the course, nature came to be understood as an active health determinant and a "living partner" in educational practice.

Keywords: *Green Care*, Environmental risk perception, Restorative potential, Interdisciplinary education, Nature-based therapy.

Introduction

Environmental risks are often perceived as distant or abstract issues that do not directly affect daily life. On the individual level, this study found that a higher level of climate change risk perception is exhibited by more educated individuals (Ergun et al 2024). Similarly, ...studies of Estonian residents show that while many people consider environmental issues and nature conservation important, systematic understanding and perception of environmental risks remain low or fragmented (Keskkonnaministeerium, 2020). These findings highlight the need to explore not only intuitive awareness but also structured, experiential understanding of environmental risks, including how risks are framed—ambiguous versus concrete, personal versus structural—and how nature is perceived, initially as a "pleasant backdrop" and later as a "health determinant."

According to Kaplan and Kaplan (1989) exposure to natural environments produces measurable restorative effects on both psychological and physiological well-being. The Attention Restoration Theory (Kaplan & Kaplan, 1989) posits that interaction with nature replenishes directed attention, reduces mental fatigue and supports cognitive functioning, while Ulrich's Stress Reduction Theory (2023) emphasizes that natural settings can lower stress, promote positive affect and facilitate emotional recovery. These foundational theories provide a conceptual basis for Green Care interventions, highlighting how structured engagement with landscapes and other natural elements can actively contribute to participants' emotional, cognitive and behavioural development.

Green Care is an evidence-based, structured approach that uses natural and outdoor environments to support physical, mental and emotional well-being. It integrates therapeutic use of landscapes, gardens, agriculture and natural settings to promote health and quality of life across social, healthcare, educational and environmental domains (Sempik et al., 2010; COST Action 866). The Green Care Quality Manual emphasizes safety, accessibility and responsibility, including careful management of poisonous and allergenic plants (Luke & THL, 2017). Landscape and garden design play a key role in creating safe, inclusive and therapeutically effective Green Care spaces, while Green empowerment approaches support preventive activities that enhance overall well-being (Visnapuu, 2021). By bridging Green Care, environmental psychology and restorative environment research, it provides a comprehensive understanding of how structured nature-based learning can foster well-being, professional competence and pro-environmental behaviour. The Green Care course serves as a controlled educational and experiential environment that enables the testing of changes in participants' environmental perception and recovery-related experiences.

The Healing Greenery course is interdisciplinary one-week intensive program engaging students and lecturers from social work, medicine, landscape architecture, agronomy and business technology. The course deliberately uses natural environments as learning and therapeutic contexts. The study is based on self-reported essays, meaning that the findings reflect participants' subjective experiences, perceptions and interpretations of the course. The following types of change are expected: shifts in environmental risk perception, perceived recovery potential and professional competencies.

Hypothesis: interdisciplinary Green Care course positively influences participants' emotional, cognitive and behavioural development, enhances environmental awareness and perception of environmental risks and

strengthens professional competencies across diverse fields, while engagement with natural environments increases perceived recovery potential and promotes pro-environmental behaviour.

Research questions are as follows:

How does Green Care training affect emotional, cognitive and behavioural outcomes?
How does engagement with natural environments influence perception of environmental risks?

Research methodology

This research (Graph 1) is based on a longitudinal analysis of an interdisciplinary *Green Care* course conducted between 2021 and 2025, combining thematic course design with qualitative self-reported data. Year course topic 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, in 2024 (23) Green therapy for different age groups, in 2025 *Green Care* concept elements for personal wellbeing (33).

Participant selection was coordinated by lecturers in each country, who compiled the participant lists. In some cases, the groups also included students from the lecturers' private courses, as well as participants originating from different countries.

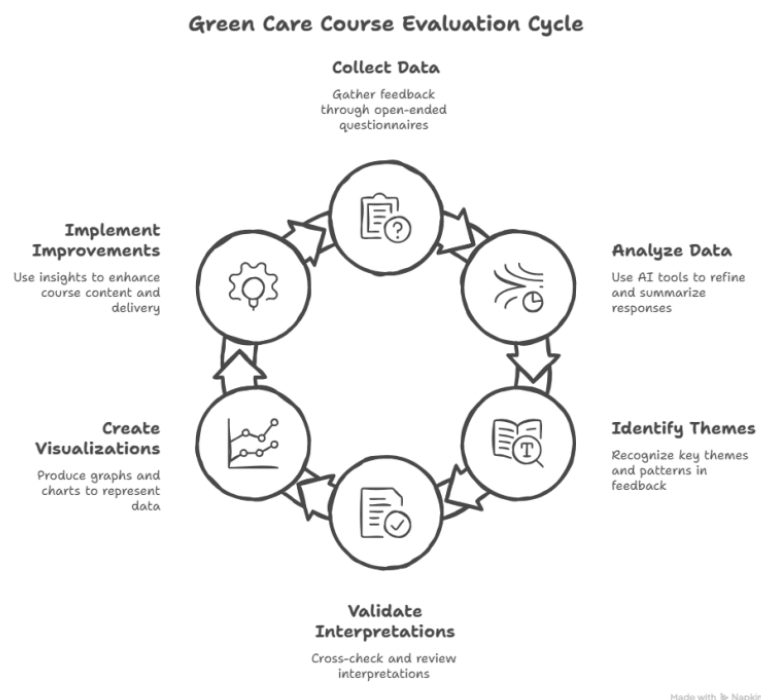


Fig. 1. *Green Care* course evaluation cycle

Data were collected through an open-ended questionnaire in essay format, gathering feedback on course content, learning outcomes and the overall experience to support course evaluation and development. Irrelevant responses – such as answers without meaningful content, incomplete or fragmented statements or entries where one response ended and another began without coherence – were removed from the dataset prior to analysis. Key themes identified and interpretations validated through cross-checking and author review. To support clarity and structure, textual data were further processed using AI-assisted linguistic refinement, which facilitated paraphrasing, simplification and organization of the text while preserving the original meaning and key insights in Notebook LM.

Graphs and visualisations are produced by the author using napkins.ai.

Results and discussion

This section addresses RQ1: How does engagement with natural environments influence perception of environmental risks?

The largest shifts were (table 1) in recognizing nature as a health-promoting element (from decorative to therapeutic) and in professional responsibility to create accessible environments for diverse social groups. Before the course, students' perception of risks was often intuitive or limited to personal anxiety, but through the learning process they began to understand structural problems such as urbanization and human

disconnection from nature. Students recognized how personal and societal detachment from natural environments contributes to stress and reduced well-being (Alienation from nature) and participants gained awareness of broader systemic challenges, including urban expansion, biodiversity loss and environmental degradation (structural and global risks).

"I learned of how disconnected people in the cities might be from the nature". 2021
 "People are informed about global warming and overpopulation in the cities,
 I think that they are not thinking about the consequences enough". 2022
 "I also felt sad while I was listening about future projections for living in the cities...
 I don't like the idea of having no nature that is getting destroyed by people". 2022

The concept highlights a gap between intuitive fears or misconceptions about nature and structured understanding within a theoretical framework. Students initially experienced anxiety or apprehension toward natural environments, reflecting personal or culturally influenced fears. Through guided learning and structured *Green Care* activities, these perceptions were contextualized, allowing participants to move beyond the “nature-loving bubble” and recognize both the benefits of engagement with nature and the environmental risks inherent in human-nature interactions.

"Before the course, I had a general interest in the connection between nature and well-being, but my understanding was mostly intuitive. I had experienced the calming effects of green spaces in my daily life, but I didn't have a structured or theoretical framework to explain why and how these effects occur". 2025
 "Surprised that there are people who are afraid of nature, like not able to step out for road to the forest or meadow without fear. That made me reflect on how I live in a 'nature-loving bubble' and that not everyone feels safe or comfortable in nature". 2025

The main shift involved perceiving nature not as a passive “pleasant backdrop” but as an active contributor to health and a “living partner” in well-being. Students began to recognize that natural environments directly support mental and physical health, rather than serving only aesthetic or recreational purposes (nature as an active partner). Engagement with nature was understood to have measurable psychological and physiological benefits, supported by evidence from *Green Care* and restorative environment research (scientifically grounded recovery). Participants reported feelings of deep relaxation, reduced stress and enhanced emotional balance during nature-based activities, illustrating the restorative potential of green spaces (inner calm and grounding).

Table 1. Student responses: Themes, frequencies and key insights

Theme category	Mention frequency	Key focus points and examples
Environmental risks: alienation and structural issues	25%	Focus on urban dwellers' disconnection from nature, fears about global warming and urban overpopulation; sadness over environmental degradation.
Recovery potential: nature as a health determinant	90%	Majority of students emphasize nature's role in mental health, stress relief and finding inner calm. Nature is seen as a “living partner.”
Professional shift: functionality and inclusivity	50%	Shift from aesthetics to function: accessibility for people with special needs, child safety and interdisciplinary collaboration (social work and architecture) are highlighted.
Perception of individual risks and trauma	15%	Specific focus on refugee experiences and war trauma influencing nature perception, cultural differences (e.g., Ukraine vs Estonia) and fear of “wild” nature.
"Nature is a source of peace, so most of the time I felt relaxed and calm". 2022 "I now see greenery not just as decoration, but as a living partner in well-being". 2025 "During the course, I gained deeper insight into the psychological and physiological benefits of healing greenery. I learned about different types of restorative environments, the role of sensory engagement". 2025 "I discovered how important the natural environment is for maintaining mental health, and how forests, parks and green spaces can be used for therapeutic purposes". 2025 "I also experienced first-hand the power of nature to create a sense of grounding and inner peace". 2025		

Students' perception of risks became a practical tool, guiding design decisions based on healing potential rather than aesthetics alone. Landscape and garden planning began to prioritize health-promoting features, safety and restorative experiences for users (designing for well-being). Consideration of accessibility and diverse needs

became central, ensuring that environments support people of all abilities and backgrounds (inclusivity as ethical design). Nature-based interventions and thoughtfully designed spaces were recognized as tools to reduce stress and prevent burnout in both educational and professional contexts (counteracting burnout).

"Good landscape design affects physical and mental well-being. I do not evaluate anything only by how it looks. I started thinking more about the safety to kids of the design I'm creating". 2021

"I could share my opinion, for example, about effectiveness of landscape, such as accessibility for people with disabilities". 2023

"I have started noticing more the availability of surrounding areas for people with functional disabilities, such as whether a wheelchair would be able to move about the particular road coverage". 2023

"Before taking this course, I was feeling burned out and overwhelmed... I had the opportunity to participate in a practical activity in the forest paths. This experience had a very calming effect on me—it helped me relax, reduce stress and ease my anxiety". 2025

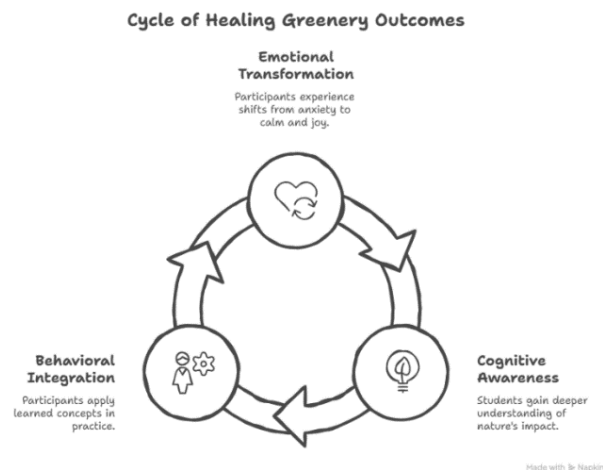


Fig. 2. Cycle of Healing greenery outcomes

Student responses indicate a shift from intuitive enjoyment of nature toward a conscious and structured understanding, where green environments are recognized as an essential solution to contemporary societal challenges, including mental health and environmental risks.

This section addresses RQ2: How does *Green Care* training affect emotional, cognitive and behavioural outcomes?

The findings of this study support the hypothesis that interdisciplinary *Green Care* course positively influences participants' emotional, cognitive, and behavioural development, enhance environmental awareness and strengthen professional competencies (Graph 2, Table 2 and 3).

Table 2. Participants' emotional, cognitive and behavioural development

Emotional Responses	Cognitive Changes	Behavioral Shifts
Calmness and inner peace: Time spent in natural environments, particularly during forest therapy sessions, induced deep relaxation, grounding and stress relief. Many students noted that nature served as a "source of silence and peace," helping them recover from daily routines and fatigue. Joy and inspiration: Initial apprehension – due to language barriers or intensive work – shifted toward feelings of joy, excitement, and enthusiasm. Inspiration was drawn from both the passion of lecturers and international collaboration. Presence and mindfulness: Activities in nature, such as sensory observation and forest walks, enhanced students' ability to remain "in the present moment,"	Systematic understanding of nature's impact: Students recognized that nature is not merely an attractive backdrop or decoration but an active health determinant with scientifically supported psychological and physiological benefits. "I realized..." insights: Students highlighted the importance of nature for child development, mental health and creativity. Even small elements, like a few plants or natural scents, were understood to significantly enhance social atmosphere and mood. Professional awareness: Interdisciplinary collaboration helped students understand the	Using nature as a tool: Social work and education students planned to incorporate nature, gardens and forest therapy into their future therapeutic programs. New approach to design: Landscape architecture students reported that they no longer judge objects solely by appearance but now consider healing, safety and social cohesion in their designs. For example, they learned to value "natural disorder," which offers children opportunities for adventure and freedom. Practical application: Students expressed a desire to create community gardens or green oases in their local areas and

Emotional Responses	Cognitive Changes	Behavioral Shifts
helping them organize their thoughts and reconnect with themselves. Hope and motivation: Participants expressed hope and motivation to apply the concepts learned in their home countries and future professional practice.	importance of integrating landscape architecture and social work to create inclusive and accessible environments. Sustainable mindset: The course strengthened awareness of environmental stewardship and the need for sustainable engagement with nature.	personally committed to spending more time in nature to reduce stress. Social courage: International group work encouraged students to present, communicate with strangers and operate confidently in multicultural settings.

Table 3. Student outcomes by theme

Theme category	Mention frequency	Content and source examples
Emotional perception	95%	Nearly all students describe their feelings (calmness, reduced anxiety).
Cognitive development	75%	Most highlight new knowledge, scientific frameworks and professional understanding (e.g., impact of <i>Green Care</i> on mental health).
Behavioural/practical level	65%	Students describe new skills (SketchUp, teamwork), practical activities (forest walks, animal-assisted therapy) and intentions to change their professional practices.

Student reflections show a clear shift from intuitive enjoyment of nature toward a conscious and structured understanding, recognizing green environments as active contributors to well-being rather than passive backdrops. Engagement with nature promoted both restorative experiences—including inner calm, grounding and stress reduction—and a broader awareness of environmental risks, such as urbanization, biodiversity loss and human disconnection from natural environments. These results confirm the hypothesis that the *Green Care* course promotes emotional, cognitive and professional development, increases environmental awareness and professional growth while encouraging pro-environmental attitudes and behaviours. Professionally, participants reported that risk perception became a practical tool, guiding design decisions and promoting inclusivity, functionality and ethical considerations in landscape and garden planning. This indicates that the course not only fostered personal well-being but also developed transferable skills relevant to interdisciplinary professional practice. The educational and experiential perspective represents an important complement to technocratic risk models, which often assume a rational, information-processing decision-maker. In practice, however, risk perception emerges through lived experience, emotion and social mediation. An educational lens makes it possible to examine how risk perception can be shaped, transformed and reflected upon through learning processes, thereby influencing behavioural choices. The findings do not claim to establish a universal model of risk perception. Rather, they illustrate how risk perception can shift through learning and reflective experience, underscoring its contextual, developmental and adaptive character. It should also be noted that the study is situated within a European/Estonian context and generalization of the findings to other countries or cultural settings may be limited.

Conclusions

1. Shift from intuitive to structured understanding of nature: Students recognized natural environments as active contributors to well-being.
2. Increased awareness of environmental risks: Both personal and structural risks, including urbanization and biodiversity loss, became clearer.
3. Demonstrated restorative effects: Nature engagement promoted calmness, inner peace, stress reduction, joy, presence and motivation.
4. Cognitive and professional growth: Enhanced understanding of nature's role in health, interdisciplinary collaboration, and inclusive, ethical design.
5. Behavioural and practical application: Students planned to use Green Care methods in therapy, design and pro-environmental activities.
6. Green Care as a learning and therapy model: Nature-based education fosters well-being, professional skills, environmental consciousness and problem-solving.

References

1. Ergun, S. J., Karadeniz, Z. D., & Rivas, M. F. (2024). Climate change risk perception in Europe: country-level factors and gender differences. *Humanities and Social Sciences Communications*, 11(1), Article 1573. <https://doi.org/10.1057/s41599-024-03761-4>

2. Kaplan, R., & Kaplan, S. (1989). *The experience of nature: A psychological perspective*. Cambridge University Press.
3. Keskkonnaministeerium. (2020). *Uuring: 80% Eesti elanikest peab end keskkonnateadlikuks*. <https://kliimaministeerium.ee/uudised/uuring-80-eesti-elanikest-peab-end-keskkonnateadlikuks>
4. Luke and THL (2017). *Green Care Quality Manual The Natural Resources Institute Finland and the National Institute on Health and Welfare*. Online publication.
5. 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
6. Ulrich, R. S. (2023). Stress reduction theory. In D. Marchand, E. Pol & K. Weiss (Eds.), *100 key concepts in environmental psychology* (pp. 143–146). New York, NY: Routledge.
7. Visnapuu, Ü. (2021) *Roheteraapia rehabilit eeriv olemus*. Tallinna Tehnikakõrgkool, Sotsiaaltöö õppekava.

Received March, 2026, published April, 2026

Kadri MAIKOV. Estonian university of Life Sciences, Institute of Agricultural and Environmental Sciences, Department of landscape architecture, lecturer. Address: Kreutzwaldi 56/1, EE-51006, Tartu Phone: +372 55598155, e-mail: kadri.maikov@emu.ee

VĖJO ŽALOS RIZIKOS VERTINIMAS LIETUVOS MIŠKUOSE TAIKANT GIS TECHNOLOGIJAS

Audrius Dėdelė, Greta Rekšytė

Vytauto Didžiojo universitetas

Dėl klimato kaitos ir didėjančio ekstremalių meteorologinių reiškinių dažnio vėjo sukelta žala miškams tampa vis aktualesne aplinkos ir visuomenės saugumo problema. Šio tyrimo tikslas yra įvertinti vėjo žalos riziką Lietuvos miškams, taikant GIS technologijas ir erdvinės analizės metodus. Tyrimui panaudoti 2013–2025 m. vėjo greičio ir gūsių duomenys iš 25 meteorologinių stočių, taip pat detalios raiškos miško tipų (spygliuočių ir lapuočių) rastriniai duomenys. Erdvinė analizė atlikta taikant ArcGIS Pro programą, naudojant IDW interpoliaciją ir daugiakriterinį vertinimą. Rezultatai rodo aiškų vėjo stiprumo gradientą iš rytų į vakarus, didžiausias reikšmes fiksuojant Klaipėdos apskrityje. Apie 39,4 % Lietuvos medynų patiria bent minimalų vėjo sukeltą stresą. Didžiausia rizika nustatyta spygliuočių miškams, ypač pajūrio zonoje, kur vėjo greitis viršija 15 m/s, o gūšiai – 25 m/s. Lapuočių miškai pasižymi didesniu atsparumu, o padidinta rizika jiems būdinga tik ribotose pajūrio teritorijose. Gauti rezultatai leidžia identifikuoti didžiausios rizikos zonas ir gali būti naudojami miškų valdymo, planavimo bei prevencinių priemonių formavimui, siekiant mažinti klimato kaitos sukeltą žalą.

Raktiniai žodžiai: klimato kaita, vėjo žala miškams, GIS erdvinė analizė, miškų rizikos vertinimas.

Ivadas

Vėjo sukelta žala miškams pastaraisiais dešimtmečiais tampa vis aktualesne problema dėl klimato kaitos ir didėjančio ekstremalių meteorologinių reiškinių dažnio. Stiprėjant audroms ir didėjant vėjo greičio svyravimams, miško ekosistemos patiria vis didesnę spaudimą, kuris gali lemti medžių išvartas, nulaužtas šakas, sumažėjusį medynų stabilumą ir didesnę pažeidžiamumą kitiems aplinkos veiksniams. Tyrimai rodo, kad Europoje vėjo sukelta žala nuo 1950 iki 2000 metų paveikė daugiau nei pusę medynų, o ateities prognozės rodo, kad ši tendencija gali dar labiau stiprėti dėl klimato kaitos poveikio atmosferos cirkuliacijai ir ekstremalių reiškinių dažnėjimo (Schelhaas et al., 2003; Forzieri et al., 2021).

Nepaisant didėjančio šios problemos aktualumo, daugelyje regionų vis dar trūksta detalių tyrimų ir ilgalaikio monitoringo, leidžiančio tiksliai įvertinti vėjo poveikį miško ekosistemoms. Ypač tai pastebima Baltijos jūros regione, kuriame išsamūs duomenys apie vėjo sukeltą žalą ir jos erdvinį pasiskirstymą yra riboti. Lietuvoje trūksta sistemingų tyrimų, kurie analizuotų vėjo greičio, gūsių intensyvumo ir realios miškų žalos tarpusavio ryšius. Taip pat nepakankamai vertinamas audrų poveikis atskiriems miškų plotams bei skirtingiems medynų tipams. Tokių duomenų trūkumą pabrėžia ir kitų Baltijos regiono šalių mokslininkai, teigdami, kad išsamus vėjo ir audrų poveikio vertinimas yra būtinas siekiant geriau suprasti klimato kaitos keliamas grėsmes miškų ekosistemoms (Rutgersson et al., 2022).

Papildomą riziką Lietuvos miškams kelia biologiniai veiksniai, ypač žievėgraužos kenkėjų plitimas. Pastaraisiais metais Lietuvoje fiksuojamas reikšmingas šių kenkėjų populiacijos augimas, kuris daro didelę žalą spygliuočių medynams. Kenkėjų pažeisti medžiai tampa silpnesni, praranda dalį struktūrinio stabilumo ir tampa labiau pažeidžiami stiprių vėjų bei audrų poveikio (VMT, 2024). Tyrimai rodo, kad tokie biotiniai pažeidimai gali reikšmingai padidinti medynų jautrumą vėjo sukeltiems išvartoms ir kitiems mechaniniams pažeidimams (Štraus, Bončina, 2025).

Vertinant aplinkos procesus, svarbu suprasti ir pačią rizikos sąvoką. Rizika apibrėžiama kaip galimų neigiamų pasekmių tikimybė. Rizikos lygis didėja didėjant pavojaus intensyvumui, dažnumui arba pažeidžiamumui. Kai rizika pasiekia tam tikrą kritinį lygį, gali įvykti nelaimė, pavyzdžiui, stichinė audra ar masinės miško išvartos (van Westen et al., 2013; UNDRR, 2017). Todėl siekiant tinkamai įvertinti galimas pasekmes būtina identifikuoti pavojų šaltinius, jų pasireiškimo tikimybę ir galimą poveikį aplinkai.

Šiuolaikiniai pavojų ir rizikos vertinimo metodai vis dažniau remiasi geografinėmis informacinėmis sistemomis (GIS), kurios leidžia analizuoti erdvinius duomenis ir modeliuoti įvairių veiksmų sąveiką. GIS technologijos suteikia galimybę integruoti skirtingus duomenų šaltinius, meteorologinius duomenis, reljefo ypatybes, dirvožemio charakteristikas, augalijos tipą bei istorinius žalos įrašus ir juos analizuoti vieningoje erdvinėje sistemoje. Toks metodas leidžia nustatyti teritorijas, kuriose pavojus gali būti didžiausias, ir įvertinti, kokie aplinkos veiksniai labiausiai prisideda prie rizikos formavimosi (van Westen et al., 2013).

Miškų ekosistemose vėjo daromos žalos mastas priklauso nuo daugelio veiksnių, tokių kaip dirvožemio tipas, reljefo ypatybės, medžių rūšis, jų amžius ir bendras medyno struktūrinis stabilumas. Ankstesni tyrimai rodo, kad didžiausia žala dažniausiai nustatoma spygliuočių miškuose, ypač augančiuose smėlinguose ar vidutinio drėgnumo dirvožemiuose, kur šaknų sistema gali būti mažiau stabili. Taip pat pastebėta, kad stipriausi vėjo gūšiai, siekiantys apie 35 m/s, sukelia didžiausius miško pažeidimus (Schindler et al., 2011).

Skirtingos medžių rūšys pasižymi nevienodu atsparumu vėjui. Lietuvoje labiausiai paplitusi medžių rūšis yra paprastoji pušis (*Pinus sylvestris*), kuri pradeda patirti pastebimą žalą, kai vidutinis vėjo greitis viršija apie 8,5 m/s. Didėjant vėjo greičiui, žalos mastas sparčiai didėja, ypač kai vėjo gūsiai viršija 25 m/s (Gardiner et al., 1995; Valta et al., 2019). Tuo tarpu lapuočių medžiai, tokie kaip paprastasis ąžuolas (*Quercus robur*) ar uosis (*Fraxinus excelsior*), dažniausiai pasižymi didesniu atsparumu dėl stipresnių šaknų sistemų ir sezoninio lapų numetimo, kuris sumažina vėjo pasipriešinimą medyno lajoje (Gardiner, 2021; Bélouard et al., 2012).

Lietuvoje vėjo režimas pasižymi aiškiu erdvinio pasiskirstymu. Stipriausi vidutiniai vėjai fiksuojami vakarinėje šalies dalyje, ypač pajūryje, kur jų vidutinis greitis gali siekti apie 7 m/s. Centrinėje Lietuvos dalyje vėjai paprastai siekia 5–6 m/s, o silpniausi – mažesni nei 4,5 m/s – būdingi pietryčių ir šiaurės rytų regionams (Katinas et al., 2014). Panaši tendencija stebima ir vertinant maksimalias vėjo gūsių reikšmes: pajūrio teritorijose jos gali viršyti 35 m/s, o tolstant nuo Baltijos jūros paprastai mažėja iki maždaug 30 m/s (Vaidogas, Juocevičius, 2011).

Atsižvelgiant į šias aplinkybes, tampa svarbu įvertinti galimą vėjo žalos riziką Lietuvos miškuose, integruojant meteorologinius ir aplinkos duomenis erdvinėje analizėje. Šio darbo tikslas, preliminarai įvertinti vėjo sukeliama riziką Lietuvos miškams, naudojant turimus vėjo greičio ir gūsių duomenis bei atsižvelgiant į skirtingų medynų tipų, spygliuočių ir lapuočių, pasiskirstymą. Tokia analizė gali padėti nustatyti didžiausios rizikos teritorijas ir sudaryti prielaidas efektyvesniam miškų valdymui bei klimato kaitos poveikio mažinimui.

Tyrimų metodika

Tyrimo teritorija apima visą Lietuvos Respublikos teritoriją, suskirstytą pagal administracines 10 apskričių ribas. Erdvinė analizė, žemėlapių sudarymas ir duomenų apdorojimas atlikti naudojant geografinės informacijos sistemų programinę įrangą *ArcGIS Pro* (3.5.0). Geoduomenų bazės sudarymui buvo panaudoti meteorologiniai duomenys, gauti iš Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos meteorologinių matavimo stočių. Analizei atrinkti duomenys iš 25 meteorologinių stočių, kuriose vėjo greitis ir vėjo gūsiai matuojami 10 metrų aukštyje virš žemės paviršiaus. Naudoti duomenys apima 2013–2025 metų laikotarpį.

Tyrimo buvo taikytos specifinės vėjo greičio ribinės vertės, nustatytos remiantis literatūros analizėje aptartais ankstesniais tyrimais. Spygliuočių medynams vertinti pasirinktos dvi ribos ≥ 9 m/s ir ≥ 15 m/s, o lapuočių medynams – ≥ 15 m/s vėjo greitis. Vėjo gūsių analizei pasirinkta minimali 25 m/s riba, kuri laikoma potencialiai pavojinga miško ekosistemoms. Pagrindiniams analizės sluoksniams suformuoti panaudotas 2023 m. dominuojančių medžių tipų (spygliuočių ir lapuočių) rastrinis duomenų rinkinys.

Prieš atliekant erdvinę analizę buvo sudaryti žemėlapiai, vaizduojantys vidutines ir maksimalias vėjo greičio bei vėjo gūsių reikšmes. Šie duomenys buvo apdoroti taikant *Inverse Distance Weighting* (IDW) interpoliacijos metodą. IDW interpoliacija naudojama rastriniams paviršiams sudaryti ir leidžia apskaičiuoti nežinomas reikšmes tarp matavimo stočių. Šis metodas remiasi prielaida, kad arčiau esantys matavimo taškai turi didesnę įtaką interpoliuojamai vertei nei toliau esantys taškai. IDW metodas apskaičiuoja nežinomą reikšmę remiantis žinomų taškų atributų vertėmis, jų tarpusavio atstumais bei svoriniais koeficientais, kurie lemia kiekvieno taško įtaką galutiniam rezultatui.

Sudaryti IDW interpoliacijos žemėlapiai buvo naudojami tolimesniam duomenų apdorojimui. Analizės metu šie rastriniai sluoksniai buvo susieti su Lietuvos apskričių ribomis bei dominuojančių medžių tipų sluoksniais. Į analizę buvo įtrauktos maksimalios vėjo greičio ir vėjo gūsių vertės, siekiant nustatyti teritorijas, kuriose gali pasireikšti didžiausia vėjo sukelta žala. Gauti plotai buvo apskaičiuoti ir konvertuoti į hektarus (ha), taip paruošiant duomenis tolimesnei erdvinei analizei.

Statistinei duomenų analizei atlikti naudotos integruotos *ArcGIS Pro* funkcijos ir programa *Microsoft Excel* (2512 versija). Atliekant skaičiavimus buvo nustatytos maksimalios vėjo greičio reikšmės, apskaičiuotas 95 % pasikliautinasis intervalas bei įvertintas procentinis teritorijos plotas, patenkantis į nustatytas vėjo poveikio kategorijas. Gauti rezultatai panaudoti vertinant vėjo žalos rizikos pasiskirstymą Lietuvos miškuose.

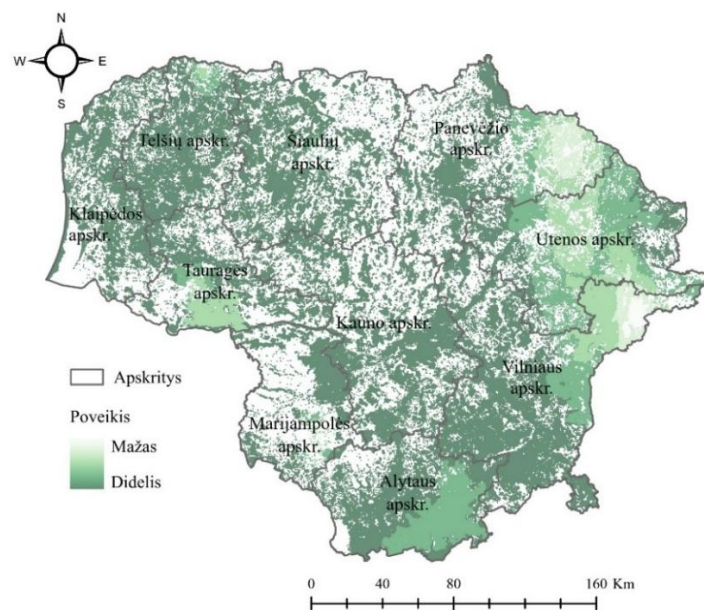
Rezultatai ir aptarimas

Remiantis 2013–2025 m. laikotarpio meteorologiniais duomenimis ir sudarytais erdviniais žemėlapiais, nustatyta aiški vėjo greičio pasiskirstymo tendencija Lietuvos teritorijoje. Mažiausios maksimalios vėjo greičio reikšmės fiksuojamos rytinėje šalies dalyje, ypač Utenos ir Vilniaus apskrityse, o didžiausios, vakarinėje Lietuvos dalyje, Klaipėdos apskrityje. Gauti rezultatai rodo aiškų vėjo greičio gradientą, didėjantį judant iš rytų į vakarus. Vidutinės maksimalios vėjo greičio reikšmės (apie 9–10 m/s) nustatytos centrinėje Lietuvos dalyje, besitęsiančioje nuo šiaurės iki pietų. Analogiškos tendencijos pastebimos ir vertinant maksimalias vėjo gūsių reikšmes. Šiuo atveju dar ryškiau išsiskiria pajūrio teritorijos, kuriose fiksuojami stipriausi gūsiai Lietuvoje, apie 22–25 m/s, o mažiausi gūsiai taip pat registruojami rytinėje šalies dalyje.

Netolygus vėjo greičio ir gūsių pasiskirstymas rodo stiprią Baltijos jūros ir pajūrio zonos įtaką Lietuvos vėjo režimui. Pietrytinėje ir rytinėje dalyje stebimos mažesnės vėjo reikšmės gali būti iš dalies susijusios su didesniu miškingumu, nes tankūs miškų masyvai gali mažinti vėjo greitį dėl didesnio aerodinaminio pasipriešinimo (Adedipe et al., 2020). Tačiau ši tendencija nėra universalė, nes kai kuriose mažiau miškingose teritorijose taip pat fiksuojami mažesni vėjo greičiai. Todėl galima daryti prielaidą, kad svarbiausią įtaką turi geografinė padėtis Baltijos jūros atžvilgiu bei vyraujantys vakarų krypties vėjai. Pajūrio teritorijose papildomą poveikį daro jūros brizų cirkuliacija, kai dėl temperatūrų skirtumo tarp sausumos ir vandens dienos bei nakties metu susidaro intensyvesni vietiniai vėjai (NOAA).

Erdvinė analizė parodė, kad didžioji dalis Lietuvos spygliuočių medynų patenka į teritorijas, kuriose maksimalus vėjo greitis siekia ne mažiau kaip 9 m/s (1 pav.). Išimtis stebima tik rytinėje Lietuvos dalyje bei atskirose Alytaus, Marijampolės, Tauragės ir Šiaulių apskričių vietose. Vis dėlto reikia pažymėti, kad kai kuriose šių regionų teritorijose miškingumas yra mažesnis nei kitose šalies dalyse. Likusi didžioji dalis spygliuočių miškų patenka į ≥ 9 m/s vėjo greičio zoną. Ši riba buvo pasirinkta remiantis literatūros duomenimis, kurie rodo, kad nuo tokio vėjo greičio spygliuočių medžiai gali pradėti patirti minimalų mechaninį stresą. Pagal Boforto skalę toks vėjas apibūdinamas kaip gaivus brizas, galintis sukelti matomą medžių šakų lingavimą (NOAA).

Vertinant spygliuočių medynų pasiskirstymą pagal apskritis, didžiausi paveikti plotai nustatyti Kauno (100 %), Klaipėdos (99,94 %), Šiaulių (99,11 %), Marijampolės (98,11 %) ir Telšių (96,19 %) apskrityse. Mažiausi paveikti plotai nustatyti Vilniaus (65,57 %), Panevėžio (60,67 %) ir Utenos (33,18 %) apskrityse, kurios taip pat pasižymi mažesnėmis vėjo greičio reikšmėmis. Analizuojant didesnę 15 m/s ribinę vertę, rezultatai ryškiai skiriasi. Tokį vėjo greitį patiria tik nedidelė teritorija pietvakarinėje Klaipėdos apskrities dalyje, daugiausia Kuršių nerijos ir Ventės rago apylinkėse. Šiose teritorijose medžiai patiria didžiausią mechaninį stresą, galintį sukelti fizinius pažeidimus. Pagal Boforto skalę toks vėjas laikomas gana stipriu ir gali sukelti reikšmingą medžių lajų judėjimą. Klaipėdos apskrityje tokie vėjo greičiai paveikia apie 4,03 % spygliuočių medynų.



1 pav. Vėjo daromas poveikis spygliuočių miškams

Fig. 1. The impact of wind on coniferous forests

Panašios tendencijos nustatytos ir vertinant lapuočių medynus. Didžiausia rizika taip pat koncentruojasi pajūrio teritorijose – Kuršių nerijoje ir Ventės rago apylinkėse. Lapuočiai medžiai paprastai pasižymi didesniu atsparumu vėjui, todėl jų analizei pasirinkta aukštesnė 15 m/s ribinė vertė. Dėl to paveikiamas plotas yra gerokai mažesnis nei spygliuočių medynuose. Klaipėdos apskrityje tokie vėjo greičiai paveikia apie 0,93 % lapuočių miškų.

Vėjo gūsių analizė parodė, kad šių reiškinų poveikį įvertinti sudėtingiau, nes gūsiai yra trumpalaikiai ir labai priklauso nuo lokalių meteorologinių sąlygų. Vis dėlto literatūroje nurodoma, kad 25 m/s gūsiai yra mažiausia riba, nuo kurios gali būti fiksuojama žala tiek spygliuočių, tiek lapuočių medynams. Pagal atliktą analizę tokie gūsiai nustatyti nedidelėje teritorijoje Klaipėdos apskrityje, kurios plotas siekia apie 14,66 ha. Didžiąją šios teritorijos dalį sudaro lapuočių medynai (13,93 ha), o spygliuočiai užima tik 0,73 ha. Lyginant su visa Klaipėdos apskrities miškų teritorija, tai sudaro tik apie 0,0105 % miškų ploto. Vis dėlto reikia

pažymėti, kad tokie gūsiai gali pasireikšti ir gretimose teritorijose, tačiau tyrimo metu nustatytos būtent tos vietos, kuriose rizika yra didžiausia pagal turimus duomenis.

Apibendrinant rezultatus nustatyta, kad didžiausi visų miškų (spygliuočių ir lapuočių) paveikti plotai pagal apskritis yra Alytaus (66,28 %), Telšių (47,3 %) ir Klaipėdos (45,66 %) regionuose. Mažiausi paveikti plotai nustatyti Kauno (37,43 %), Panevėžio (21,81 %) ir Utenos (14,4 %) apskrityse. Bendrai vertinant Lietuvos miškus nustatyta, kad apie 39,41 % medynų patiria tam tikrą vėjo sukeltą stresą.

Vertinant poveikį visam apskričių plotui, didžiausia potenciali vėjo poveikio zona nustatyta Alytaus apskrityje, kur ji sudaro apie 33,12 % teritorijos. Toliau pagal paveiktą plotą seka Vilniaus (19,07 %), Telšių (16,87 %), Tauragės (14,01 %), Klaipėdos (12,18 %), Kauno (11,49 %), Šiaulių (10,78 %), Marijampolės (9,66 %), Panevėžio (6,17 %) ir Utenos (5,59 %) apskritys. Apibendrinti rezultatai rodo, kad apie 13,49 % visos Lietuvos sausumos teritorijos turi tam tikrą riziką patirti vėjo sukeltą žalą miško ekosistemoms (1 lentelė).

1 lentelė. Bendras paveiktų miškų plotas hektarais ir procentais bei paveiktas plotas pagal atskiras apskritis

Table 1. Total area of affected forests in hectares and percent, and the affected area by individual district

Apskritis <i>district</i>	Miškų paveiktas plotas (ha) <i>Forest-affected area (ha)</i>	Miškų paveiktas plotas (%) <i>Percentage of forest-affected area (%)</i>	Paveiktas apskr. plotas (%) <i>Affected area of the district (%)</i>
Alytaus	179429,67	66,28	33,12
Kauno	92923,16	37,43	11,49
Klaipėdos	63609,23	45,66	12,18
Marijampolės	43133,25	41,47	9,66
Panevėžio	48591,81	21,81	6,17
Šiaulių	92027,73	40,85	10,78
Tauragės	61765,22	42,42	14,01
Telšių	73387,88	47,3	16,87
Utenos	40180,26	14,4	5,59
Vilniaus	185511,17	41,78	19,07

Šie rezultatai patvirtina, kad vėjo poveikis Lietuvos miškams yra nevienodas ir stipriausiai pasireiškia pajūrio bei vakarinėse šalies teritorijose.

Išvados

1. Didžiausios maksimalaus vėjo greičio ir gūsių vertės Lietuvoje fiksuojamos Klaipėdos apskrityje pajūryje ≥ 15 m/s vėjo greičiai ir ≥ 25 m/s vėjo gūsiai, todėl šioje teritorijoje medžiai turi didžiausią riziką patirti stresą ir žalą.
2. Spygliuočių medynai yra labiausiai paveikiami vėjo, ypač kai vėjo greitis siekia ≥ 9 m/s. Didžiausias dėmesys jų apsaugai turėtų būti skiriamas Alytaus, Vilniaus ir Telšių apskrityse, nors net ir mažiausiai paveikta Utenos apskrities teritorija patiria tam tikrą riziką.
3. Spygliuočių medžiai, patyrę ≥ 15 m/s vėjo greitį, lokalizuojami tik Klaipėdos apskrityje, kur jie patiria didžiausią fizinį stresą ir aukščiausią tikimybę būti pažeistiems vėjo sukeltos žalos.
4. Lapuočių medynai yra žymiai stabilesni vėjui, o paveikti plotai Lietuvoje ribojasi tik Klaipėdos apskrityje – Kuršių Nerijoje ir Ventės rago teritorijoje, todėl didžiausias susirūpinimas turėtų būti būtent šio regiono miškams.
5. Vėjo gūsiai ≥ 25 m/s kelia ypatingą riziką, tačiau jų dažnumas ir tikslūs matavimai reikalauja papildomų tyrimų, kad būtų galima tiksliai įvertinti poveikį medynams.
6. Apie 39,41 % visų Lietuvos medynų patiria vėjo sukeltą stresą, todėl būtina plėsti tyrimus, stebėti rizikingas zonas ir kurti priemones medynų sveikatai užtikrinti, ypač spygliuočių medynuose.

Literatūra

1. Adedi Adedipe, T. A., Chaudhari, A. & Kauranne, T. (2020). Impact of different forest densities on atmospheric boundary-layer development and wind-turbine wake. *Wind Energy*, 23(5), 1165–1180.
2. Bélouard, T., Marchadier, R., Merzeau, D., Meredieu, C., Bruneot, Y., Drouineau, S., Paillassa, E. & Riou-Nivert, P. (2012). Évaluation des facteurs de résistance au vent des peuplements de pin maritime après la tempête Klaus à l'aide des données de l'inventaire forestier. *Conseil Régional d'Aquitaine*.

3. Gardiner, B. A. (2021). Wind damage to forests and trees: a review with an emphasis on planted and managed forests. *Journal of Forest Research*, 26(4), 248–266.
4. Katinas, V., Sankauskas, D., Markevičius, A. & Perednis, E. (2014). Investigation of the wind energy characteristics and power generation in Lithuania. *Renewable Energy*, 66, 299–304.
5. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). (2023). *The Sea Breeze*. <https://www.noaa.gov/jetstream/ocean/sea-breeze>
6. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) & National Weather Service (NWS). (2022). *Beaufort Wind Scale*. <https://www.weather.gov/mfl/beaufort>
7. Rutgersson, A., Kjellström, E., Haapala, J., Stendel, M., Danilovich, I., Drews, M., Jylhä, K., Kujala, P., Larsén, X. G., Halsnæs, K., Lehtonen, I., Luomaranta, A., Nilsson, E., Olsson, T., Särkkä, J., Tuomi, L. & Wasmund, N. (2022). Natural hazards and extreme events in the Baltic Sea region. *Earth System Dynamics*, 13, 251–301.
8. Schelhaas, M. J., Nabuurs, G. J. & Schuck, A. (2003). Natural disturbances in the European forests in the 19th and 20th centuries. *Global Change Biology*, 9(11), 1620–1633.
9. Schindler, D., Grebhan, K., Albrecht, A., Schönborn, J. & Kohnle, U. (2011). GIS-based estimation of the winter storm damage probability in forests: a case study from Baden-Wuerttemberg (Southwest Germany). *International Journal of Biometeorology*, 56, 57–69.
10. Štraus, H. & Bončina, A. (2025). The vulnerability of four main tree species in European forests to seven natural disturbance agents: lessons from Slovenia. *European Journal of Forest Research*, 144, 267–282.
11. United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). (2017). *The Sendai Framework Terminology on Disaster Risk Reduction*. "Disaster risk". <https://www.undrr.org/terminology/disaster-risk>
12. Vaidogas, E. R. & Juocevičius, V. (2011). A Critical Estimation of Data on Extreme Winds in Lithuania. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 19(2), 178–188.
13. Valstybinė miškų tarnyba (VMT). (2025). *Lietuvos valstybinių miškų 2024 m. sanitarinės būklės apžvalga*. Miško sanitarinės apsaugos skyrius.
14. Valta, H., Lehtonen, I., Laurila, T. K., Venäläinen, A., Laapas, M. & Gregow, H. (2019). Communicating the amount of windstorm induced forest damage by the maximum wind gust speed in Finland. *Advances in Science and Research*, 16(16), 31–37.
15. van Westen, C. J. (2013). Remote Sensing and GIS for Natural Hazards Assessment and Disaster Risk Management. *Remote Sensing and GIScience in Geomorphology*, 3, 259–298 p.

Audrius Dėdelė, Greta Rekšytė

Assessment of Wind Damage Risk in Lithuanian Forests Using GIS Technologies

Vytautas Magnus University, Lithuania

Due to climate change and the increasing frequency of extreme meteorological events, wind-induced damage to forests is becoming an increasingly relevant environmental and public safety issue. The aim of this study is to assess the risk of wind damage to forests in Lithuania using GIS technologies and spatial analysis methods. The study used wind speed and gust data from 25 meteorological stations for the period 2013–2025, as well as high-resolution raster data on forest types (coniferous and deciduous). Spatial analysis was carried out using ArcGIS Pro software, applying IDW interpolation and multi-criteria evaluation.

The results show a clear gradient of wind intensity from east to west, with the highest values recorded in Klaipėda district. Approximately 39.4% of Lithuania's forest stands experience at least minimal wind-induced stress. The highest risk was identified for coniferous forests, particularly in the coastal zone where wind speeds exceed 15 m/s and gusts reach over 25 m/s. Deciduous forests demonstrate greater resistance, with elevated risk occurring only in limited coastal areas. The obtained results allow the identification of the highest-risk zones and can be used for forest management, planning, and the development of preventive measures aimed at reducing damage caused by climate change.

Keywords: Climate change, wind damage to forests, GIS spatial analysis, forest risk assessment.

Gauta 2026 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2026 m. balandžio mėn.

Audrius DĖDELĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Gamtos mokslų fakulteto, Aplinkotyros katedros profesorius. Adresas: Universiteto g. 10, LT-53361, Akademija, Kauno r., tel. +370 659 14241, el. paštas: audrius.dedele@vdu.lt

Audrius DĖDELĖ. Vytautas Magnus University Faculty of Natural Science, Department of Environmental Sciences, prof. Address: Universiteto g. 10, LT-53361, Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 659 14241, e-mail: audrius.dedele@vdu.lt

Greta REKŠYTĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Gamtos mokslų fakulteto, Aplinkotyros katedros Aplinkotyros ir aplinkosaugos studijų programos bakalaūrė. Adresas: Universiteto g. 10, LT-53361, Akademija, Kauno r., tel. +370 682 86990, el. paštas: greta.rekstyte@stud.vdu.lt

Greta REKŠYTĖ. Vytautas Magnus University Faculty of Natural Science, Department of Environmental Sciences, Bachelor of Environmental Science and Protection. Address: Universiteto g. 10, LT-53361, Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 682 86990, e-mail: greta.rekstyte@stud.vdu.lt

DARBO APLINKOS TRIUKŠMO POVEIKIS DARBUOTOJŲ SVEIKATAI BALDŲ GAMYBOS ĮMONĖJE

Rasa Surmilavičienė, Sandra Andrušaitytė

Vytauto Didžiojo universitetas

Darbo aplinkos triukšmas gamybos sektoriuje dažnai vertinamas remiantis norminių reikalavimų laikymosi kriterijais, nepakankamai atsižvelgiant į jo kompleksinį poveikį darbuotojų funkicinei būklei, emocinei savijautai ir darbo našumui. Šio tyrimo tikslas – nustatyti subjektyviai patiriamo triukšmo sąsajas su darbuotojų sveikatos rodikliais baldų gamybos įmonėje. Tyrimas atliktas taikant anketinę apklausą ($N = 122$), duomenys analizuoti naudojant aprašomąją statistiką, koreliacinę ir tiesinę regresinę analizę. Nustatyta, kad didesnis triukšmo intensyvumas statistiškai reikšmingai siejasi su didesniu nuovargiu, emociniu išsekimu, dirglumu, miego sutrikimais ir sumažėjusiu darbingumu ($p < 0,05$). Regresinės analizės rezultatai parodė, kad triukšmo intensyvumas yra reikšmingas darbuotojų sveikatos prediktorius ($\beta = 0,80$) ir paaiškina 49,8 % sveikatos rodiklių variacijos. Gauti rezultatai patvirtina, kad triukšmas turėtų būti vertinamas kaip kompleksinis profesinės rizikos veiksnys ir integruojamas į darbo aplinkos valdymo sprendimus.

Raktiniai žodžiai: darbo aplinkos triukšmas, darbuotojų sveikata, emocinė savijauta, profesinė rizika.

Įvadas

Darbo aplinkos triukšmas išlieka vienu dažniausių profesinių rizikos veiksnių pramonėje ir pastaraisiais metais vis dažniau vertinamas ne tik kaip klausos pažeidimų priežastis, bet ir kaip kompleksinis sveikatą lemiantis veiksnys. Naujausi epidemiologiniai tyrimai rodo, kad triukšmo sukeltas profesinis klausos praradimas išlieka viena labiausiai paplitusių su darbu susijusių ligų, o sergamumo rodikliai pasižymi ryškiomis regioninėmis ir socialinėmis disproporcijomis, susijusiomis su darbo sąlygų skirtumais, apsaugos priemonių prieinamumu ir darbuotojų informuotumu (Gong et al., 2025; D. Liu, Ji, Chen, & Li, 2025; Wang et al., 2025).

Pastarųjų metų eksperimentiniai ir stebėsenos tyrimai vis aiškiau pagrindžia triukšmo vaidmenį kaip psichofiziologinį stresorių. Nustatyta, kad ilgalaikis triukšmo poveikis reikšmingai siejasi su padidėjusiu dirglumu, lėtiniu nuovargiu, miego struktūros sutrikimais, emocinės savijautos blogėjimu bei kognityvinių funkcijų, ypač dėmesio ir reakcijos greičio, prastėjimu (Cao, Lu, Zheng, & Qin, 2025; Hahad et al., 2024; Sakthivel, Perumal Kamalakannan, Shanmugam, & Venugopal, 2025; Sukowski, 2025). Šie poveikiai aiškinami fiziologiniais streso mechanizmais, susijusiais su autonominės nervų sistemos aktyvacija ir kortizolio sekrecijos pokyčiais, per kuriuos triukšmas gali prisidėti prie padidėjusios širdies ir kraujagyslių ligų rizikos ir sustiprinti ilgalaikes neigiamas pasekmes darbuotojų sveikatai. Tyrimai rodo, kad darbuotojai, pasižymintys didesniu jautrumu triukšmui, dažniau patiria streso simptomus, emocinį išsekimą ir psichikos sveikatos sutrikimus, nepriklausomai nuo objektyviai išmatuoto triukšmo lygio (Alimohammadi et al., 2025; Fallah Madvari, Malekinezhad, Sharifpour, Derakhshan, & Abbasi, 2026).

Šio tyrimo naujumas grindžiamas integruotu požiūriu į darbo aplinkos triukšmą, vertinant jį ne tik kaip fizikinį veiksnių, bet ir kaip kompleksinį profesinės rizikos determinantą, apimančią subjektyvų triukšmo suvokimą, darbuotojų sveikatos, emocinės savijautos ir darbo produktyvumo rodiklius viename modelyje. Tyrimo aktualumą lemia didėjantis triukšmo poveikio sveikatos padariniai dėmesys šiuolaikinėje darbo medicinoje bei gamybos sektoriaus darbuotojų nuolatinė ekspozicija intensyviu akustiniam fonui. Šio tyrimo tikslas – nustatyti subjektyviai patiriamo darbo aplinkos triukšmo sąsajas su darbuotojų sveikatos būkle ir emocine savijauta baldų gamybos įmonėje.

Tyrimų metodika

Tyrimas atliktas baldų gamybos įmonėje, kurioje darbo procesai pasižymi intensyviu mechanizuotos įrangos naudojimu, todėl triukšmas laikomas vienu pagrindinių profesinės rizikos veiksnių. Duomenų rinkimui taikyta anoniminė anketinė apklausa. Klausimynas parengtas remiantis moksline literatūra ir ankstesniais triukšmo poveikio tyrimais bei pritaikytas baldų gamybos sektoriaus specifikai. Apklausą sudarė trys pagrindinės dalys: respondentų demografiniai ir darbo organizavimo duomenys, subjektyvus triukšmo suvokimas bei darbuotojų savijautos, nuovargio, streso vertinimas. Atsakymai daugiausia rinkti naudojant penkiabalę Likerto skalę. Apklausa vykdyta 2025 m. liepos–rugsėjo mėn. elektroniniu būdu, naudojant „Microsoft Forms“ platformą. Tyrimo dalyvavo 122 įmonės darbuotojai iš skirtingų gamybos padalinių, kas leido įvertinti triukšmo poveikį įvairiose darbo vietose. Visi respondentai buvo informuoti apie tyrimo tikslą, savanorišką dalyvavimą ir duomenų anonimiškumą, laikantis tyrimų etikos principų.

Kintamųjų pasiskirstymui ir imties charakteristikoms aprašyti naudota aprašomoji statistika. Ryšiams tarp subjektyviai patiriamo triukšmo ir darbuotojų sveikatos rodiklių įvertinti taikyta Spirmeno koreliacinė analizė

bei tiesinė regresija. Siekiant užtikrinti kompleksinį triukšmo poveikio vertinimą buvo sudaryti sudėtiniai rodikliai – darbo vietos triukšmo intensyvumo indeksas (TDVII) ir darbuotojų sveikatos indeksas (SI). TDVII apskaičiuotas kaip visų triukšmo suvokimo ir vertinimo dalies klausimų vidurkis kiekvienam respondentui, leidžiantis apibendrintai įvertinti subjektyviai patiriamą akustinę apkrovą. Šio indekso vidinis patikimumas buvo pakankamas (Kronbacho $\alpha = 0,74$), patvirtinantis, kad indekso teiginiai tarpusavyje dera ir matuoja tą pačią latentinę konstrukciją. Sveikatos indeksas (SI) sudarytas remiantis 10 sveikatos būklę aprašančių teiginių, apskaičiuojant jų aritmetinį vidurkį kiekvienam respondentui. Šio indekso patikimumas buvo aukštas (Kronbacho $\alpha = 0,88$), rodantis labai gerą vidinį nuoseklumą ir patvirtinantis, kad naudojami teiginiai patikimai atspindi bendrą darbuotojų sveikatos ir emocinės savijautos konstrukciją. Statistinis reikšmingumas nustatytas esant $p < 0,05$. Statistinė duomenų analizė atlikta naudojant SPSS 29.0 programinę įrangą.

Rezultatai ir aptarimas

Tyrimo imtį daugiausia sudarė moterys (83,6 %), kas atspindi faktinę įmonės darbuotojų struktūrą. Respondentų amžiaus vidurkis buvo 44,6 metai, o tai rodo, kad tyrime dalyvavo darbuotojai, turintys reikšmingą profesinę patirtį. Dauguma apklaustųjų turėjo vidurinį arba aukštesnįjį specialųjį išsilavinimą, būdingą baldų gamybos sektoriui. Vidutinis darbo stažas įmonėje siekė 10,8 metų, o tai leidžia vertinti triukšmo poveikį ilgalaikėje perspektyvoje.

Rezultatai rodo, kad darbuotojai dažniausiai sutiko, jog darbo vietoje vyrauja nuolatinis triukšmas ($3,80 \pm 0,99$), tačiau bendras triukšmo vertinimas pagal indeksą atskleidžia vidutinio intensyvumo subjektyviai patiriamą akustinę apkrovą ($3,09 \pm 0,58$) (1 lentelė). Triukšmo sukeliamas diskomfortas ($2,98 \pm 0,99$), koncentracijos sutrikdymas ($2,61 \pm 1,02$) ir klaidų padidėjimas ($2,61 \pm 0,96$) buvo vertinami žemiau skalės vidurio, kas leidžia manyti apie dalinę darbuotojų adaptaciją prie triukšmingos aplinkos. Triukšmo poveikis tarpusavio komunikacijai įvertintas vidutiniškai ($2,97 \pm 1,14$), o mažiausia įtaka nustatyta atsipalaidavimui po darbo ($2,39 \pm 0,94$). Aukštas įmonės pastangų skatinti klausos apsaugos priemonių naudojimą įvertinimas ($4,25 \pm 0,84$) rodo prevencinių priemonių matomumą, tačiau vidutinis darbuotojų apsaugos priemonių naudojimo dažnis ($3,18 \pm 1,22$) leidžia daryti prielaidą, kad praktinis jų taikymas turėtų būti stiprinamas.

1 lentelė. Triukšmo patirties teiginių vertinimas
Table 1. Evaluation of Noise Exposure Statements

Teiginys <i>Statements</i>	Vidurkis (SN) <i>Mean (SD)</i>
Mano darbo vietoje vyrauja nuolatinis triukšmas (q7_1) <i>There is constant noise at my workplace (q7_1)</i>	3,80 (0,99)
Triukšmas kelia diskomfortą (q7_2) <i>Noise causes discomfort (q7_2)</i>	2,98 (0,99)
Triukšmas trukdo susikaupti (q7_3) <i>Noise interferes with concentration (q7_3)</i>	2,61 (1,02)
Dirbant triukšmingoje aplinkoje padaugėja klaidų (q7_4) <i>Working in a noisy environment increases the number of errors (q7_4)</i>	2,61 (0,96)
Triukšmas trukdo bendrauti su kolegomis (q7_5) <i>Noise interferes with communication with colleagues (q7_5)</i>	2,97 (1,14)
Įprastai naudoju klausos apsaugos priemones (q7_6) <i>I usually use hearing protection devices (q7_6)</i>	3,18 (1,22)
Įmonė skatina naudoti apsaugos priemones (q7_7) <i>The company encourages the use of protective equipment (q7_7)</i>	4,25 (0,84)
Man prieinamos tylesnės darbo zonos (q7_8) <i>Quieter work areas are available to me (q7_8)</i>	3,04 (1,06)
Triukšmas trukdo po darbo atsipalaiduoti (q7_9) <i>Noise interferes with relaxation after work (q7_9)</i>	2,39 (0,94)
Darbo vietos triukšmo intensyvumo indeksas (TDVII) <i>Workplace Noise Intensity Index (TDVII)</i>	3,09 (0,58)

Pastaba: 1 – visiškai nesutinku, 5 – visiškai sutinku.

Note: 1 – strongly disagree, 5 – strongly agree.

Nustatyta, kad didžiausias triukšmo poveikis pasireiškė fiziniu ir emociniu nuovargiu po darbo ($3,66 \pm 0,99$) bei emociniu išsekimu ($3,01 \pm 1,05$), kas rodo kumuliacinį ilgalaikės akustinės apkrovos efektą ir atitinka naujausių tyrimų išvadas apie triukšmo sąsajas su streso mechanizmų aktyvacija bei perdegimo rizika (Hahad & Al-Kindi, 2025; Sakthivel et al., 2025) (2 lentelė). Vidutiniai galvos skausmo, įtampos, streso ir dirglumo įverčiai ($2,75$ – $2,84$) patvirtina, kad triukšmo poveikis dažniausiai sąveikauja su kitais darbo aplinkos veiksniais, tokiais kaip darbo krūvis ir psichosocialinė įtampa (Cao et al., 2025). Miego kokybės pablogėjimo

įvertinimai ($2,70 \pm 1,13$) rodo, kad triukšmo poveikis daliai darbuotojų išlieka ir po darbo, kaip nurodoma stebėsenos tyrimuose (Hahad & Al-Kindi, 2025), o mažesnis subjektyvus poveikis darbingumui, motyvacijai ir girdėjimo kokybei gali būti siejamas su adaptacijos reiškiniais, nors literatūra pabrėžia galimas ilgalaikes pasekmes (Gong et al., 2025; Permatasari, 2025). Bendras sveikatos indeksas ($2,78 \pm 0,65$) patvirtina vidutinį neigiamą triukšmo poveikį darbuotojų fizinei ir psichologinei gerovei bei holistinio triukšmo valdymo poreikį.

2 lentelė Triukšmo poveikio darbuotojų sveikatai ir emocinei savijautai vertinimas

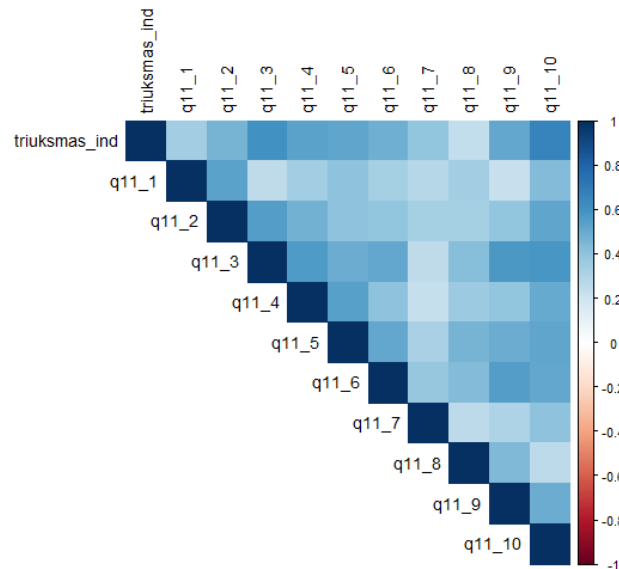
Table 2. Assessment of the Impact of Noise on Employees' Health and Emotional Well-being

Teiginys Statements	Vidurkis (SN) Mean (SD)
Po darbo dažnai jaučiu nuovargį (q11_1) <i>I often feel fatigued after work (q11_1)</i>	3,66 (0,99)
Dažnai jaučiu galvos skausmus, įtampą (q11_2) <i>I often experience headaches and tension (q11_2)</i>	2,81 (0,95)
Triukšmas man sukelia dirglumą ar susierzinimą (q11_3) <i>Noise causes irritability or annoyance (q11_3)</i>	2,75 (1,05)
Dėl triukšmo sunkiau užmigti ar išsimiegoti (q11_4) <i>Due to noise, it is harder to fall asleep or get enough sleep (q11_4)</i>	2,70 (1,13)
Mano emocinė savijauta blogėja dėl darbo aplinkos (q11_5) <i>My emotional well-being worsens due to the work environment (q11_5)</i>	2,66 (0,89)
Jaučiu, kad mano darbingumas sumažėjęs (q11_6) <i>I feel that my work performance has decreased (q11_6)</i>	2,53 (0,86)
Girdėjimo kokybė per metus pablogėjo (q11_7) <i>My hearing quality has deteriorated over the past year (q11_7)</i>	2,38 (0,89)
Jaučiu spaudimą ar stresą darbe (q11_8) <i>I experience pressure or stress at work (q11_8)</i>	2,84 (0,97)
Triukšmas veikia mano motyvaciją (q11_9) <i>Noise affects my motivation (q11_9)</i>	2,43 (0,84)
Po darbo triukšmingoje aplinkoje jaučiuosi emociškai išsekęs (q11_10) <i>After working in a noisy environment, I feel emotionally exhausted (q11_10)</i>	3,01 (1,05)
Sveikatos indeksas (SI) <i>Health Index (SI)</i>	2,78 (0,65)

Pastaba: 1 – visiškai nesutinku, 5 – visiškai sutinku.

Note: 1 – strongly disagree, 5 – strongly agree.

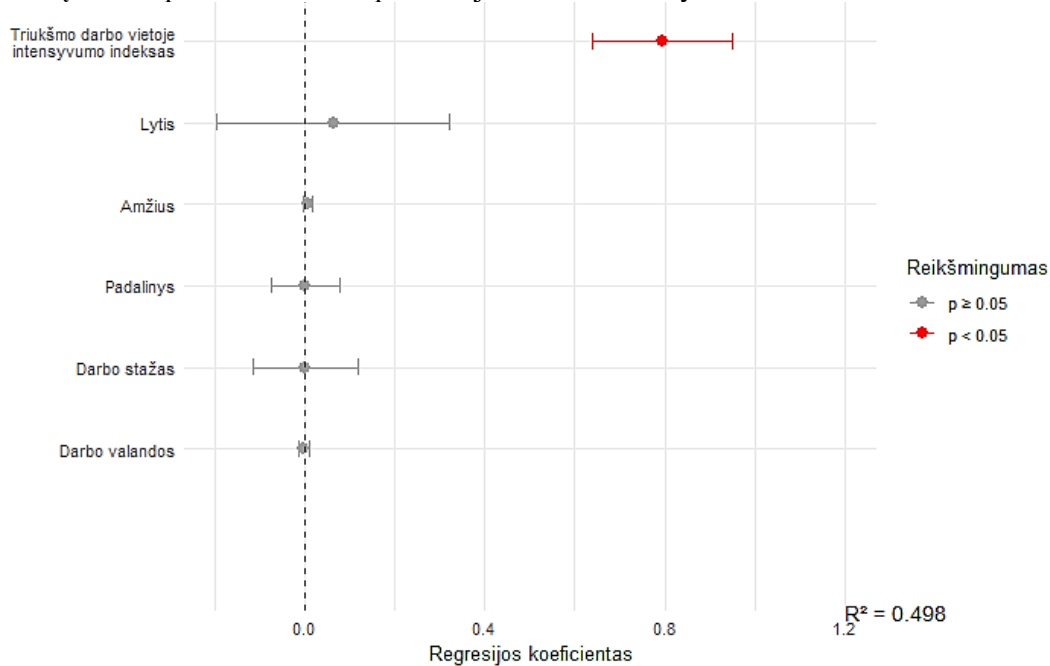
Spirmeno koreliacinės analizės rezultatai patvirtino, kad darbo aplinkos triukšmas veikia kaip psichofiziologinis stresorius (1 pav.). Stipriausia sąsaja nustatyta tarp triukšmo intensyvumo ir emocinio išsekimo ($r = 0,663$), kas atitinka O. Hahad ir kt. (2024) (Hahad & Al-Kindi, 2025) bei R. Sakthivel ir kt. (2025) (Sakthivel et al., 2025) išvadas apie ilgalaikės triukšmo ekspozicijos ryšį su perdegimo simptomais. Reikšmingi ryšiai su dirglumu ($r = 0,609$), miego sutrikimais ($r = 0,530$) ir emocinės savijautos blogėjimu ($r = 0,525$) patvirtina triukšmo poveikį psichoemocinei būklei ir atsistatymo procesams (Cao et al., 2025; Sukowski, 2025). Vidutinio stiprumo koreliacijos su darbingumo sumažėjimu ($r = 0,485$), motyvacijos mažėjimu ($r = 0,517$), galvos skausmais ($r = 0,468$) ir klausos kokybės pablogėjimu ($r = 0,396$) dera su epidemiologinių tyrimų duomenimis, rodančiais kompleksinį triukšmo poveikį darbuotojų sveikatai ir produktyvumui (Gong et al., 2025; Permatasari, 2025). Šie rezultatai patvirtina, kad triukšmo poveikis yra kumuliacinis ir apima tiek fizines, tiek psichoemocines darbuotojų sveikatos dimensijas.



1 pav. Triukšmo intensyvumo indekso ir sveikatos rodiklių koreliacijos

Fig. 1. Correlations between the noise intensity index and health indicators

Daugiamatės tiesinės regresijos analizės rezultatai atitinka naujausių tyrimų išvadas, kuriose triukšmas identifikuojamas kaip vienas stipriausių nepriklausomų darbo aplinkos sveikatos rizikos veiksnių. Pavyzdžiui, I. Alimohammadi ir kt. (2025) (Alimohammadi et al., 2025) bei C. Huang ir kt. (2024) (Huang, Lai, Chen, & Lin, 2024) nustatė, kad subjektyviai patiriamas darbo aplinkos triukšmas reikšmingai prognozuoja darbuotojų psichologinės gerovės, streso ir bendros sveikatos rodiklius net kontroliuojant demografinius bei darbo organizavimo veiksnius. Panašus naujas ilgalaikės ekspozicijos triukšmui tyrimas parodė, kad darbdavio triukšmo poveikis darbuotojų psichofiziologiniams rodikliams (reakcijos laikui, kortizolio lygiui ir metaboliniams rodikliams) išlieka reikšmingas net kontroliuojant demografinius ir darbo organizavimo veiksnius, pabrėžiant triukšmo poveikio struktūrinį nepriklausomumą sveikatos rezultatuose (M. Liu et al., 2023). Šio tyrimo rezultatai, rodantys vidutinį modelio paaiškinamumą ($R^2 = 0,498$) ir dominuojantį triukšmo intensyvumo indekso vaidmenį, papildė šias išvadas ir empiriškai pagrindžia triukšmo vertinimą kaip savarankišką, aukštos prioritetinės svarbos profesinės rizikos determinantą, kuris turėtų būti sistemingai integruojamas į darbo aplinkos sveikatos prevencijos ir rizikos valdymo sistemas.



2 pav. Ryšys tarp darbo triukšmo intensyvumo ir darbuotojų sveikatos

Fig. 2. Relationship between workplace noise intensity and employees' health

Išvados

1. Nustatyta, kad subjektyviai patiriamas darbo aplinkos triukšmas statistiškai reikšmingai siejasi su darbuotojų sveikatos ir emocinės savijautos blogėjimu, ypač su nuovargiu, emociniu išsekimu, dirglumu, miego sutrikimais ir motyvacijos mažėjimu ($p < 0,01$).
2. Triukšmo intensyvumo indeksas buvo stipriausias darbuotojų sveikatos indekso rodiklis ir paaiškino beveik pusę sveikatos rodiklių variacijos ($R^2 = 0,498$), patvirtindamas triukšmą kaip dominuojantį profesinės rizikos veiksnį.
3. Demografiniai ir darbo organizavimo veiksniai (amžius, lytis, darbo stažas, darbo valandos ir padalinys) neturėjo statistiškai reikšmingo poveikio darbuotojų sveikatos vertinimui ($p > 0,05$), kas rodo, kad triukšmo neigiamas poveikis sveikatai pasireiškia nepriklausomai nuo darbuotojų struktūrinių charakteristikų.

Literatūra

1. Agaba, B., Nakku, D., Nakasagga, E., & Atwine, D. (2025). Prevalence, risk factors and knowledge of noise-induced hearing loss among metal fabricators in Mbarara city, Uganda: a cross-sectional study. *BMJ Public Health*, 3(2), e001839. <https://doi.org/10.1136/bmjph-2024-001839>
2. Alimohammadi, I., Rafieepour, A., Ashtarinezhad, A., Hosseini, A. F., Tabatabaei, S. H., Jafari, H., & Asadi, R. (2025). Occupational noise annoyance and sensitivity as potential contributors to oxidative stress in metal industry workers. *Scientific Reports* 2025, 15(1), 30280. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-16023-3>
3. Cao, X., Lu, Y., Zheng, D., & Qin, P. (2025). Investigating the effects of construction industry noise on workers' cognitive performance and learning efficiency. *Frontiers in Human Neuroscience*, 19, 1549824. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2025.1549824>
4. Carvalhais, C., Ribeiro, L. A., & Pereira, C. C. (2025). Unveiling Stress Vulnerability and Occupational Noise Perception as Burnout Predictors: Results of an Exploratory Study in Industrial Environments. *Environments*, 12(6), 208. <https://doi.org/10.3390/environments12060208>
5. Fallah Madvari, R., Malekinezhad, M., Sharifpour, M., Derakhshan, J., & Abbasi, M. (2026). The effect of occupational noise exposure and noise sensitivity on noise annoyance, mental health, and cognitive failure: A structural equation modeling analysis of paper-making industry workers. *Noise & Vibration Worldwide*. <https://doi.org/10.1177/09574565261419570>
6. Gong, X., Yi, M., Jiang, C., Xiong, Q., Xu, B., Weng, F., ... Zhang, Q. (2025). Global burden and trends of occupational noise-induced hearing loss (1990–2021) and projection to 2040. *Frontiers in Public Health*, 13, 1682413. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2025.1682413>
7. Hahad, O., & Al-Kindi, S. (2025). Physical activity and air pollution: context matters for cardiovascular health. *The Lancet Regional Health - Western Pacific*, 60. <https://doi.org/10.1016/j.lanwpc.2025.101612>
8. Hahad, O., Kuntic, M., Al-Kindi, S., Kuntic, I., Gilan, D., Petrowski, K., ... Münzel, T. (2024). Noise and mental health: evidence, mechanisms, and consequences. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology* 2024 35:1, 35(1), 16–23. <https://doi.org/10.1038/s41370-024-00642-5>
9. Huang, C.-Y., Lai, A.-J., Chen, C.-C., & Lin, Y.-L. (2024). Effect of Occupational Noise on Employee Health: A Longitudinal Study. *Noise and Health*, 26(123), 514–522. https://doi.org/10.4103/nah.nah_66_24
10. Liu, D., Ji, H., Chen, Y., & Li, W. (2025). Global impact of Occupational Noise-Induced Hearing Loss (ONIHL): trends, gender disparities, and future projections: 1990–2036. *Frontiers in Global Women's Health*, 6, 1584639. <https://doi.org/10.3389/fgwh.2025.1584639>
11. Liu, M., Meijer, P., Lam, T. M., Timmermans, E. J., Grobbee, D. E., Beulens, J. W. J., ... Lakerveld, J. (2023). The built environment and cardiovascular disease: an umbrella review and meta-meta-analysis. *European Journal of Preventive Cardiology*, 30(16), 1801–1827. <https://doi.org/10.1093/eurjpc/zwad241>
12. Permatasari, S. (2025). Noise Exposure and Hearing Loss Among Manufacturing Industry Workers. *Journal of Environmental and Occupational Health Safety*, 1(1), 51–62.
13. Sakthivel, R., Perumal Kamalakannan, L., Shanmugam, R., & Venugopal, V. (2025). Nonauditory Impacts of Industrial Noise Exposures: A Case Study From a Steel Manufacturing Industry. *Safety and Health at Work*, 16(2), 243–248. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2025.01.004>
14. Shooshtari, S., & Klumpp, M. (2025). Human-centric manufacturing and occupational noise: A review regarding what we know and what we should know. *IFAC-PapersOnLine*, 59(10), 1820–1825. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2025.09.306>

15. Sukowski, H. (2025). Effects of noise on employees during a concentration task: Results from performance and subjective assessments and a critical view of the chosen performance test. *Applied Acoustics*, 231, 110533. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2025.110533>
16. Wang, Y., Zhang, N., Li, X., Du, W., Wang, H., & Shi, X. (2025). Global health burden and inequality patterns of occupational noise exposure from 1990 to 2019. *Scientific Reports* 2025 15:1, 15(1), 24844-. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-09575-x>

Rasa Surmilavičienė, Sandra Andrusaitytė

Impact of Occupational Noise on Employees' Health in a Furniture Manufacturing Company

Vytautas Magnus University, Lithuania

Occupational noise in the manufacturing sector is often assessed primarily based on compliance with regulatory limits, with insufficient consideration of its complex effects on workers' functional capacity, and emotional well-being. The aim of this study was to determine the associations between subjectively perceived noise and employees' health indicators in a furniture manufacturing company. A questionnaire survey was conducted (N = 122), and the data were analyzed using descriptive statistics, correlation analysis, and linear regression. The results showed that higher noise intensity was significantly associated with increased fatigue, emotional exhaustion, irritability, and sleep disturbances ($p < 0.05$). Regression analysis indicated that noise intensity was a significant predictor of employee health ($\beta = 0.80$), explaining 49.8% of the variance in health indicators. These findings confirm that noise should be treated as a complex occupational risk factor and integrated into workplace environmental management strategies.

Keywords: Occupational noise, employee health, emotional well-being, occupational risk.

Gauta 2026 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2026 m. balandžio mėn.

Rasa SURMILAVIČIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Gamtos mokslų fakulteto, Aplinkotyros katedros Aplinkosaugos organizavimo studijų programos magistrantė. Adresas: Universiteto g. 10, LT-53361, Akademija, Kauno r., tel. +370 611 16928, el. paštas: rasa.surmilaviciene@vdu.lt

Rasa SURMILAVIČIENĖ. Vytautas Magnus University Faculty of Natural Science, Department of Environmental Sciences, Master's student in Environmental Management. Address: Universiteto g. 10, LT-53361, Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 611 16928, e-mail: rasa.surmilaviciene@vdu.lt

Sandra ANDRUŠAITYTĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Gamtos mokslų fakulteto, Aplinkotyros katedros docentė. Adresas: Universiteto g. 10, LT-53361, Akademija, Kauno r., tel. +370 684 37989, el. paštas: sandra.andrusaityte@vdu.lt

Sandra ANDRUŠAITYTĖ. Vytautas Magnus University Faculty of Natural Science, Department of Environmental Sciences, assoc. prof. Address: Universiteto g. 10, LT-53361, Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 684 37989, e-mail: sandra.andrusaityte@vdu.lt

MAŽO ALKALOIDINGUMO *LUPINUS ANGUSTIFOLIUS* L. VEISLĖS KAIP AUGALINIO BALTYMO ŠALTINIS

Zita Maknickienė, Rita Asakavičiūtė

Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centro Žemdirbystės instituto Vokės filialas

Lupinus angustifolius yra pagrindinė Lietuvoje auginama lubinų rūšis, pasižyminti trumpu vegetacijos periodu ir geru prisitaikymu prie vietinių agroklimatinių sąlygų. Darbo tikslas – įvertinti naujai sukurtų maistinės paskirties siauralapių lubinų veislių agronomines ir biochemines savybes. Tyrime analizuotos mažo alkaloidingumo veislės ‘VB Rausviai’, ‘VB Pilkiai’ ir ‘VB Ainiai’. Nustatyta, kad jų vegetacijos trukmė siekia 82–92 dienas, sėklų derlingumas – 2,4–3,5 t ha⁻¹, o alkaloidų kiekis yra labai mažas (0,011–0,012 %). Visos veislės pasižymi dideliu baltymų kiekiu (30,3–32,6 %) ir atsparumu sausrui bei grybinėms ligoms. Gauti rezultatai patvirtina šių veislių potencialą kaip vietinės kilmės augalinio baltymo šaltinio tvariai žemės ūkio gamybai Lietuvoje.

Raktiniai žodžiai: siauralapiai lubinai, maistinės paskirties veislės, augaliniai baltymai, mažas alkaloidų kiekis, selekcija.

Įvadas

Prognozuojama, kad iki 2050 m. pasaulio gyventojų skaičius pasieks 9,7 mlrd., o gyvūninių baltymų paklausa padvigubės, didindama spaudimą gamtiniais ištekliais ir aplinkai (FAO, 2023). Šios tendencijos skatina ieškoti tvarių, ekonomiškai efektyvių ir technologiniu požiūriu universalių augalinės kilmės baltymų šaltinių, galinčių pakeisti arba papildyti gyvūninės kilmės baltymus maisto produktuose (Musco et al., 2017). Augaliniai baltymai išsiskiria mažesniu aplinkosauginiu pėdsaku, geresniu prieinamumu ir plačiomis pritaikymo galimybėmis maisto technologijose, ypač kuriant funkcinį, augalinės kilmės ir alternatyvų maistą.

Ankštiniai augalai laikomi viena perspektyviausių žaliavų maisto pramonei dėl didelio baltymų kiekio, pakankamos aminorūgščių sudėties, skaidulinių medžiagų ir biologiškai aktyvių junginių gausos (Náthia-Neves et al., 2025). Be maistinės vertės, ankštinių augalų baltymai pasižymi svarbiomis technologinėmis savybėmis, tokiomis kaip emulsifikacija, vandens ir riebalų surišimas, putų stabilumas ir struktūros formavimas, kurios yra itin reikšmingos kuriant baltyminius koncentratų, mėsos analogus, fermentuotus bei funkcinis maisto produktus (Abreu et al., 2023).

Lubinai (*Lupinus* spp.) yra viena seniausiai žmonių mityboje naudojamų ankštinių kultūrų, pasižyminti didele biologine ir genetinė įvairove bei dideliu baltymų kiekiu (Lucas et al., 2015). Šiuolaikinėje maisto žaliavų gamyboje svarbiausios keturios lubinų rūšys, iš kurių siauralapis lubinas (*Lupinus angustifolius* L.) išsiskiria geru prisitaikymu prie vėsesnio klimato regionų, įskaitant Lietuvą, bei stabilia ir prognozuojama žaliavos kokybe (Maknickienė et al., 2013). Nors baltažiedis lubinas pasižymi didesniu baltymų kiekiu ir pakankamomis technologinėmis savybėmis, jo ilgesnė vegetacija riboja žaliavos tiekimą Lietuvos agroklimatinėmis sąlygomis, todėl siauralapis lubinas laikomas perspektyviausia vietine alternatyva augalinės kilmės baltymų gamybai.

Siauralapių lubinų sėklos pasižymi dideliu baltymų, skaidulinių medžiagų ir fenolinių junginių kiekiu, tačiau jų panaudojimą žmonių mityboje ir maisto technologijose ilgą laiką riboja didesnis alkaloidų kiekis, kartus skonis ir ribotas technologinis pritaikomumas. Pastaraisiais metais kryptingos selekcijos būdu sukurtos maistinės paskirties siauralapių lubinų veislės, pasižyminčios mažu alkaloidų kiekiu, atveria naujas galimybes jų naudojimui maisto pramonėje – baltymų koncentratų ir izoliatų gamyboje, fermentuotų produktų kūrimo, augalinės kilmės mėsos analoguose bei kituose funkcinio maisto produktuose.

Nepaisant didėjančio susidomėjimo augaliniais baltymais, Lietuvoje trūksta nuoseklių, vietos sąlygoms pritaiktų tyrimų, kurie kompleksškai įvertintų naujai sukurtų maistinės paskirties siauralapių lubinų veislių cheminę sudėtį, biochemines savybes ir jų tinkamumą taikyti maisto technologijų procesuose. Tokie tyrimai yra būtini siekiant pagrįsti šių veislių pritaikomumą pramoniniam perdirbimui ir skatinti vietinės, didelės pridėtinės vertės augalinės kilmės baltymų žaliavos naudojimą.

Darbo tikslas – įvertinti naujai sukurtų maistinės paskirties siauralapių lubinų veislių agronomines ir biochemines savybes bei nustatyti jų potencialą kaip vietinės kilmės augalinio baltymo žaliavos maisto technologijų sektoriui Lietuvos agroklimatinėmis sąlygomis.

Darbo hipotezė – kryptingos selekcijos būdu sukurtos maistinės paskirties siauralapių lubinų veislės, pasižyminčios mažu alkaloidų kiekiu, dideliu baltymų kiekiu ir pakankamomis biocheminėmis bei technologinėmis savybėmis, yra tinkamos perdirbti ir naudoti žmonių mityboje kaip tvari, vietinės kilmės alternatyva importuojamiems augaliniams baltymams.

Tyrimų metodika

Siauralapių lubinų selekcijoje taikomi tarpveislinės hibridizacijos, masinės ir individualios atrankos metodai. Naujos veislės sukūrimas trunka vidutiniškai 8–12 metų. Selekcinis darbas vykdomas nuosekliai pagal šią schemą: kolekcija → kryžminimo augynas → hibridinis augynas (F_1 – F_3) → selekcinis augynas → kontrolinis augynas → veislių pradiniai bandymai → veislių konkursiniai bandymai.

Hibridiniuose ir selekcinuose augnuose vegetacijos metu atliekami fenologiniai stebėjimai, registruojant sudygimo, žydėjimo pradžios, pilno žydėjimo ir subrendimo tarpsnius. Taip pat vertinamas hibridų alkaloidingumas lauko sąlygomis, taikant spalvinės reakcijos metodą (Dragendorfo reagentą), bei analizuojami pagrindiniai morfologiniai ir genetiniai požymiai, produktyvumas, vegetacijos periodo trukmė, atsparumas grybinėms ligoms, sausras ir ankščių sproginėjimui (Maknickienė et al., 2013).

Pradiniuose ir konkursiniuose bandymuose tiriamos perspektyviausios siauralapių sideracinių, pašarinių ir maistinių lubinų selekcinės linijos. Atrinktų maistinės paskirties selekcinų linijų sėklų miltų ir baltymų ekstraktų cheminė sudėtis nustatoma taikant standartinius analitinius metodus: suminis azotas – Kjeldalio metodu, baltymų kiekis baltymų tirpaluose – spektrofotometrinio metodu, riebalų kiekis – Soksleto metodu, proteolitinis aktyvumas – spektrofotometrinio metodu, krakmolo kiekis – poliarimetriniu metodu (Bartkienė et al., 2016).

Papildomai atliekama baltymų frakcijų kokybinė ir kiekybinė analizė, baltymų analizė jonų mainų chromatografijos metodu, nustatoma albuminų ir globulinų molekulinė masė. Taip pat vertinamos baltymų funkcinės savybės, įskaitant baltymų tirpumą, *in vitro* virškinamumą ir proteazių inhibitorinio aktyvumo nustatymą.

Žali baltymai buvo nustatyti taikant Kjeldalio metodą pagal AOAC (2023). Žalių riebalų kiekis buvo analizuojamas ekstrahuojant Soxhlet pagal AOAC 920.39 metodą.

Duomenys apdoroti taikant aprašomosios statistikos metodus, pateikiant aritmetinius vidurkius ($\pm$ SD). Skirtumams tarp veislių nustatyti taikyta vienfaktorė dispersinė analizė (ANOVA).

Rezultatai ir aptarimas

Pastaruoju metu Lietuvoje auginama viena lubinų rūšis – siauralapiai lubinai (*Lupinus angustifolius* L.). Ši rūšis, palyginti su kitomis lubinų rūšimis, pasižymi didesniu atsparumu grybinėms ligoms, trumpu vegetacijos periodu bei pakankamai dideliu sėklų ir žaliosios masės derlingumu. Dėl šių savybių siauralapiai lubinai yra perspektyvūs tiek maistiniam, tiek pašariniam naudojimui.

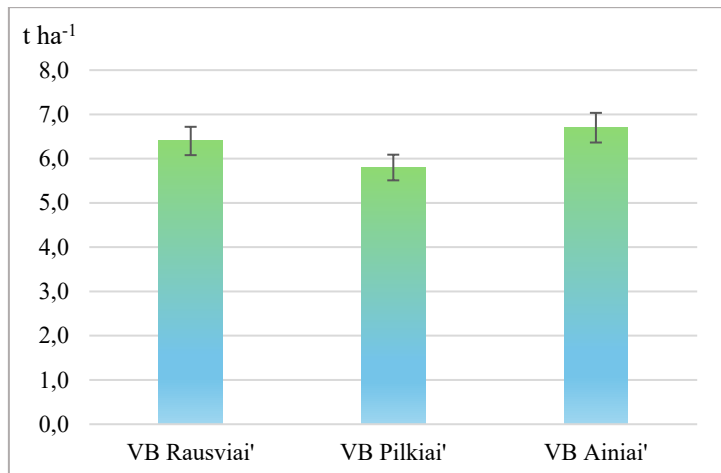
Maistinės paskirties siauralapiai lubinai neturi ryškiai išskirtinių morfologinių savybių, tačiau jiems būdingas mažas alkaloidų kiekis, kuris yra esminis veislės tinkamumo maistui kriterijus. Tai savidulkiai, 30–60 cm aukščio augalai, pasižymintys stipria ir gilia šaknų sistema bei dekoratyviais žiedais.

Žiedų spalva priklauso nuo veislės ar hibrido ir gali būti balta, rožinė, šviesiai rožinė, žydra ar tamsiai mėlyna. Vegetacijos trukmė siekia 77–90 dienų, augalai subręsta liepos pabaigoje. Ankstyse, priklausomai nuo jų dydžio, išauga po 2–6 sėklas. Šviežios sėklos pieninės brandos tarpsniu yra šviesiai žalsvos, o vaškinės brandos metu įgauna veislei ar hibridui būdingą spalvą.

Nustatyta, kad sėklų spalva tiesiogiai susijusi su žiedų spalva: kuo šviesesni žiedai, tuo šviesesnės ir sėklos. Pavyzdžiui, augalų su beveik baltais žiedais sėklos būna gelsvos, su rožiniais žiedais – gelsvai pilkos, o su mėlynais žiedais – tamsiai pilkos spalvos.

Naujai sukurtų maistinės paskirties siauralapių lubinų veislių aprašai

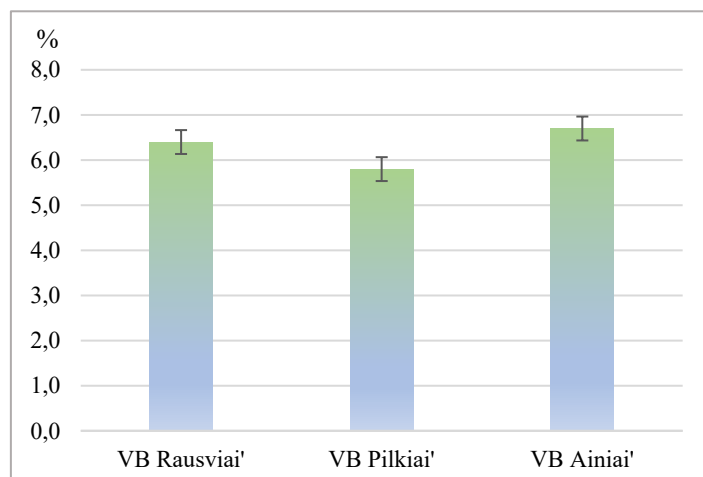
Siauralapių lubinų (*Lupinus angustifolius* L.) mažo alkaloidingumo veislė ‘VB Rausviai’ sukurta Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centras Žemdirbystės instituto Vokės filiale, taikant tarpveislinės hibridizacijos metodą. Veislė gauta sukryžminus ‘Brianskij 74’ × ‘VB Antaniai’, atliekant tolesnę individualią palikuonių atranką alkaloidų kiekio mažinimo kryptimi. Žiedynas – šviesiai rožinės spalvos kekė, sudaryta iš 15–25 žiedų. Pagrindiniame stiebe užsimezga 6–12 ankščių, ant šoninių atžalų – nuo 3 iki 27 ankščių, priklausomai nuo šoninių atžalų skaičiaus. Ankstyje formuojasi 3–5 sėklos. Vidutinis sėklų derlingumas siekia 2,8–3,5 t ha⁻¹ (1 pav.). Veislė gausiau dera derlingesnėse dirvose dėl intensyvaus šakojimosi. Atspari sausras ir pagrindinėms grybinėms ligoms, ankstyva, vegetacijos periodo trukmė – 82–90 dienų. Sėklos margos, pilkos spalvos pagrindu su rudais ir baltais taškeliiais. 1000 sėklų masė – 165–180 g. Veislė pasižymi mažu alkaloidų kiekiu ir geromis maistinėmis savybėmis (Bartkienė et al., 2016): alkaloidai – 0,011 %, baltymai – 30,3 %, riebalai – 6,4 %. Sėklose nustatytas didelis mikro- ir makroelementų kiekis bei didelis nepakeičiamųjų aminorūgščių lygis, ypač metionino (1,38 %) ir histidino (9,27 %).



1 pav. Siauralapių lubinų veislių derlingumo ($t\ ha^{-1}$) rodikliai (vidurkis $\pm$ SD)

Fig. 1. Yield indicators ($t\ ha^{-1}$) of narrow-leaved lupine varieties (mean $\pm$ SD)

Siauralapių lubinų mažo alkaloidingumo veislė 'VB Pilkiai' sukurta Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centro Žemdirbystės instituto Vokės filiale, sukryžminus 'Konstant 2' $\times$ 'Svalöv', taikant individualią palikuonių atranką alkaloidų mažinimo kryptimi. Žiedynas – mėlynos spalvos kekė, sudaryta iš 15–20 žiedų. Pagrindiniame stiebe užsimezga 6–9 ankščių, ant šoninių atžalų – 5–22 ankštys. Ankštyje formuojasi 4–5 sėklos. Vidutinis sėklų derlingumas – 2,4–3,3 $t\ ha^{-1}$. Veislė pasižymi geru prisitaikymu prie derlingesnių dirvų, atspari sausrui ir grybinėms ligoms, ankstyva. Vegetacijos periodo trukmė – 84–92 dienos. Pagal E. Bartkienė ir kt. (2016), veislė pasižymi mažu alkaloidų kiekiu (0,012 %), dideliu baltymų kiekiu (31,9 %) ir vidutiniu riebalų kiekiu (5,8 %). Sėklose nustatytas didelis mikro- ir makroelementų kiekis.



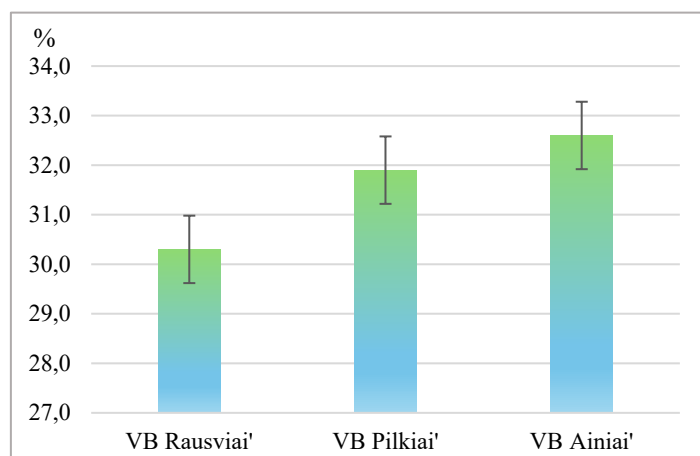
2 pav. Siauralapių lubinų veislių alkaloidų (%) rodikliai (vidurkis $\pm$ SD)

Fig. 2. Alkaloid content (%) in narrow-leaved lupine varieties (mean $\pm$ SD)

Siauralapių lubinų mažo alkaloidingumo veislė 'VB Ainiai' sukurta Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centro Žemdirbystės instituto Vokės filiale, sukryžminus Populiaciją 113 $\times$ 'VB Vilniai', taikant individualią palikuonių atranką alkaloidų kiekio mažinimo kryptimi. Žiedynas – baltos spalvos kekė, sudaryta iš 15–23 žiedų. Ant augalo užsimezga 10–20 ankščių, priklausomai nuo šoninių atžalų išsivystymo. Ankštyje formuojasi 4–5 sėklos. Vidutinis sėklų derlingumas – 2,5–3,36 $t\ ha^{-1}$. Veislė sėklinės paskirties, pasižymi greitu augimo tempu visuose ontogenezės tarpsniuose, atspari sausrui ir grybinėms ligoms. Vegetacijos periodo trukmė – 82–90 dienų. Pagal E. Bartkienė ir kt. (2016), veislė pasižymi mažu alkaloidų kiekiu (0,011 %), dideliu baltymų kiekiu (32,6 %) ir riebalų kiekiu (6,7 %). Sėklose nustatytas didelis mikro- ir makroelementų kiekis.

Šio darbo rezultatai patvirtina, kad *Lupinus angustifolius* yra labiausiai Lietuvos agroklimatei sąlygoms pritaikyta lubinų rūšis, ypač vertinama dėl trumpo vegetacijos periodo, atsparumo biotiniams ir abiotiniams stresams bei pakankamų sėklų cheminės sudėties rodiklių. Palyginti su kitomis lubinų rūšimis, siauralapiai lubinai pasižymi stabilesniu derlingumu ir mažesne rizika dėl grybinėmis ligomis pažeidžiamų pasėlių, o tai yra itin svarbu Šiaurės Europos regionuose, kur vegetacijos sezonas ribotas.

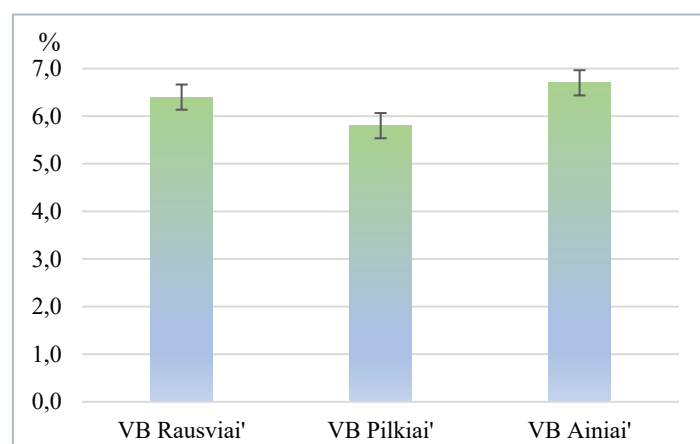
Vienas svarbiausių maistinės paskirties siauralapių lubinų pranašumų – mažas alkaloidų kiekis (2 pav.), kuris lemia jų tinkamumą žmonių mitybai ir pašarų gamybai be papildomo technologinio apdorojimo. Analizuotos veislės ‘VB Rausviai’, ‘VB Pilkiai’ ir ‘VB Ainiai’ pasižymi itin mažu alkaloidų kiekiu (0,011–0,012 %), kuris atitinka tarptautinius reikalavimus maistiniams lubinams. Tai patvirtina, kad selekcijoje taikyta kryptinga individuali palikuonių atranka buvo efektyvi ir leido sukurti saugias, maistiniu požiūriu vertingas veisles.



3 pav. Siauralapių lubinų veislių baltymų (%) rodikliai (vidurkis $\pm$ SD)

Fig. 3. Protein content (%) in narrow-leaved lupin varieties (mean $\pm$ SD)

Gauti duomenys taip pat rodo, kad tirtos veislės pasižymi dideliu baltymų kiekiu (30,3–32,6 %), kuris prilygsta ar net viršija daugelio kitų ankštinių augalų baltymingumą (3 pav.). Šis aspektas yra ypač aktualus didėjant augalinės kilmės baltymų poreikiui ir ieškant alternatyvų importuojamai sojai. Be to, sėklose nustatytas pakankamas nepakeičiamųjų aminorūgščių profilis, ypač didelis metionino ir histidino kiekis. Tai didina siauralapių lubinų potencialą kaip funkcinės žaliavos maisto ir pašarų pramonei.



4 pav. Siauralapių lubinų veislių riebalų (%) rodikliai (vidurkis $\pm$ SD)

Fig. 4. Fat content (%) of narrow-leaved lupin varieties (mean $\pm$ SD)

Veislių tarpusavio palyginimas atskleidė tam tikrus morfologinius ir agronominius skirtumus, turinčius praktinę reikšmę. ‘VB Rausviai’ išsiskyrė intensyviu šakojimusi ir didesniu ankščių skaičiumi, ypač derlingesnėse dirvose, todėl ši veislė gali būti rekomenduojama intensyvesnio ūkininkavimo sąlygoms. ‘VB Pilkiai’ pasižymėjo geru prisitaikymu ir stabiliu derlingumu, o ‘VB Ainiai’ – greitu augimo tempu visuose ontogenezės tarpsniuose, kas gali būti svarbu siekiant sumažinti riziką dėl nepakankamų meteorologinių sąlygų vegetacijos pradžioje.

Svarbus diskusijos aspektas – sėklų morfologinių požymių ir žiedų spalvos sąsaja. Nustatyta, kad sėklų spalva tiesiogiai koreliuoja su žiedų spalva, kas gali būti naudojama kaip papildomas vizualinis požymis veislių identifikavimui ir selekciniam darbui. Be to, 1000 sėklų masės variacija (120–250 g) rodo genetinį potencialą tolesniam veislių tobulinimui, orientuojantis į konkrečius naudojimo tikslus – maistinius ar pašarinius.

Siauralapiai lubinai laikomi viena iš perspektyviausių alternatyvų tradiciniams augaliniams baltymų šaltiniams Europoje. Lyginant su kitais ankštiniais augalais, tokiais kaip soja (*Glycine max*), žirniai (*Pisum sativum*) ar pupos (*Vicia faba*), lubinai pasižymi panašiu arba net didesniu baltymų kiekiu bei palankia

aminorūgščių sudėtimi (Lucas et al., 2015; Boschini & Arnoldi, 2011). Nustatyta, kad siauralapių lubinų sėklose baltymų kiekis gali siekti 30–40 %, todėl jie laikomi svarbia alternatyva importuojamai soja, ypač Europos klimato sąlygomis (Cowling, 2020). Be to, lubinai turi agronominių privalumų, palyginti su kitais baltymingais augalais. Skirtingai nei soja, kuri yra jautresnė klimatinėms sąlygoms ir dažniausiai importuojama iš kitų regionų, siauralapių lubinai gerai prisitaiko prie vidutinio klimato zonos ir gali būti sėkmingai auginami rūgštesnėse dirvose. Palyginti su žirniais ar pupomis, lubinai taip pat pasižymi didesniu atsparumu sausrui ir geresniu gebėjimu augti mažiau derlingose dirvose, todėl jie laikomi svarbia kultūra tvarios žemdirbystės sistemose (Nathia-Neves et al., 2025).

Mokslininkų tyrimai rodo, kad mažo alkaloidingumo lubinų veislės gali būti plačiai naudojamos maisto pramonėje kaip augalinių baltymų ingredientas įvairiuose produktuose – nuo baltyminių koncentratų iki augalinių gėrimų ar mėsos alternatyvų (Nathia-Neves et al., 2025). Todėl naujų, mažo alkaloidingumo ir didelio baltymingumo lubinų veislių kūrimas yra svarbi selekcijos kryptis, prisidedanti prie vietinių augalinių baltymų išteklių plėtros ir maisto sistemų tvarumo.

Išvados

1. Tyrimo duomenys patvirtino, kad *Lupinus angustifolius* yra labiausiai Lietuvos agroklimatinėms sąlygoms pritaikyta lubinų rūšis, pasižyminti trumpu vegetacijos periodu, geru atsparumu sausrui ir grybinėms ligoms bei stabiliu sėklų ir žaliosios masės derlingumu.
2. Naujai sukurtos maistinės paskirties siauralapių lubinų veislės ‘VB Rausviai’, ‘VB Pilkiai’ ir ‘VB Ainiai’ pasižymi itin mažu alkaloidų kiekiu (0,011–0,012 %), todėl yra tinkamos naudoti maistui ir pašarams be papildomo detoksikavimo.
3. Visos tirtos veislės išsiskiria dideliu baltymų kiekiu (30,3–32,6 %) ir pakankamų nepakeičiamųjų aminorūgščių profiliu, kas didina jų potencialą kaip vietinės kilmės augalinio baltymo šaltinio ir alternatyvos importuojamai soja.
4. Nustatyti veislių morfologiniai ir agronominiai skirtumai turi praktinę reikšmę: ‘VB Rausviai’ labiau tinka derlingesnėms dirvoms ir intensyvesniam ūkininkavimui, ‘VB Pilkiai’ pasižymi stabilumu ir geru prisitaikymu, o ‘VB Ainiai’ – sparčiu augimu ir sėklinės paskirties savybėmis.
5. Sėklų spalvos ryšys su žiedų spalva bei 1000 sėklų masės variacija rodo genetinį potencialą tolesnei selekcijai ir gali būti naudojami kaip papildomi požymiai veislių identifikavimui bei kryptingam veislių tobulinimui.
6. Apibendrinant, naujosios siauralapių lubinų veislės sudaro prielaidas plėtoti tvarią, vietiniais ištekliais pagrįstą augalinės kilmės baltymų gamybą Lietuvoje, o jų įtraukimas į sėjomainas gali prisidėti prie agroekosistemų stabilumo ir žemės ūkio tvarumo didinimo.

Literatūra

1. Abreu, B., Lima, J., & Rocha, A. (2023). Consumer Perception and Acceptability of Lupin-Derived Products: A Systematic Review. *Foods*, 12(6), 1241.
2. AOAC Official Method 920.39. Fat (Crude) or Ether Extract in Animal Feed', in Nancy J Wendt Thiex (ed.), Fat, in Dr. George W Latimer, Jr. (ed.), *Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL*, 22nd Edition (New York, 2023; online edn, AOAC Publications, 4 Jan. 2023)
3. Bartkiene, E., Bartkevicius, V., Starkute, V., Krungleviciute, V., Cizeikiene, D., Zadeike, D., ... & Maknickiene, Z. (2016). Chemical composition and nutritional value of seeds of *Lupinus luteus* L., *L. angustifolius* L. and new hybrid lines of *L. angustifolius* L. *Zemdirbystė-Agriculture*, 103(1), 83–90.
4. Boschini, G., & Arnoldi, A. (2011) Legumes are valuable sources of tocopherols. *Food Chem.*, 127(3), 1199–203.
5. Cowling, W. (2020). Genetic diversity in narrow-leaved lupin breeding after the domestication bottleneck. In K. B. Singh, L. G. Kamphuis & M. N. Nelson (eds), *The Lupin Genome*. Springer, Switzerland, pp. 1–17.
6. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2023). *FAOSTAT: Crops and livestock products, lupin production*. <https://www.fao.org/faostat/>
7. Lucas, M. M., Stoddard, F. L., Annicchiarico, P., Frías, J., Martínez-Villaluenga, C., Sussmann, D., Duranti, M., Seger, A., Zander, P. M., & Pueyo, J. J. (2015). The future of lupin as a protein crop in Europe. *Frontiers in Plant Science*, 6, 705.
8. Maknickiene, Z., Asakaviciute, R., Baksienė, E., & Razukas A. (2013) Alkaloid content variations in *Lupinus luteus* L. and *Lupinus angustifolius* L. *Archives of Biological Sciences*, 65(1), 107–112.
9. Musco, N., Cutrignelli, M. I., Calabrò, S., Tudisco, R., Infascelli, F., Grazioli, R., Lo Presti, V., Gresta, F., & Chiofalo, B. (2017). Comparison of nutritional and antinutritional traits among different

species (*Lupinus albus* L., *Lupinus luteus* L., *Lupinus angustifolius* L.) and varieties of lupin seeds. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 101(6), 1227–1241.

10. Náthia-Neves, G., Getachew, A. T., Santana, Á. L., & Jacobsen, C. (2025). Legume Proteins in Food Products: Extraction Techniques, Functional Properties, and Current Challenges. *Foods*, 14(9), Article 1626.

Zita Maknickienė, Rita Asakaviciute

Low-alkaloid Varieties of *Lupinus angustifolius* L. as a Source of Vegetable Protein

Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry, Institute of Agriculture, Vokė Branch, Lithuania

Lupinus angustifolius is the main species of lupine grown in Lithuania, characterized by a short vegetation period and good adaptation to local agroclimatic conditions. The aim of this study was to evaluate the agronomic and biochemical properties of newly developed food-type narrow-leaved lupine varieties. The study analyzed the low-alkaloid varieties 'VB Rausviai', 'VB Pilkiai' and 'VB Ainiai'. It was found that their vegetation period lasts 82–92 days, seed yield is 2.4–3.5 t ha⁻¹, and alkaloid content is very low (0.011–0.012%). All varieties are characterized by high protein content (30.3–32.6%) and good resistance to drought and fungal diseases. The results confirm the potential of these varieties as a source of plant protein of local origin for sustainable agricultural production in Lithuania.

Keywords: Narrow-leaved lupins, edible varieties, plant proteins, low alkaloid content, selection.

Gauta 2026 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2026 m. balandžio mėn.

Zita MAKNICKIENĖ. Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centro, Žemdirbystės instituto Vokės filialo mokslo darbuotoja. Adresas: Žalioji a. 2, LT-02232, Vilnius, tel. +370 5 2645439, el. pastas: zita.maknickiene@lammc.lt

Rita ASAKAVIČIŪTĖ. Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centro, Žemdirbystės instituto Vokės filialo mokslo darbuotoja; Vilniaus kolegijos docentė. Adresas: Žalioji a. 2, LT-02232, Vilnius, tel. +370 5 2645439, el. paštas: rita.asakaviciute@lammc.lt

Zita MAKNICKIENE. Researcher at the Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry, Institute of Agriculture, Vokė Branch. Address: Žalioji a. 2, LT-02232, Vilnius. Phone: +370 5 2645439, e-mail: zita.maknickiene@lammc.lt

Rita ASAKAVICIUTE. Researcher at the Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry, Institute of Agriculture, Vokė Branch; Associate Professor at Vilnius College. Address: Žalioji a. 2, LT-02232, Vilnius. Phone: +370 5 2645439, e-mail: rita.asakaviciute@lammc.lt

THE IMPACT OF AMBIENT AIR TEMPERATURE ON MENTAL HEALTH AND CARDIOVASCULAR DISEASES: A NARRATIVE REVIEW

Sonata Čerkauskaitė

SMK College of Applied Sciences, Lithuania

Ambient air temperature significantly affects human health, especially in patients with cardiovascular diseases (CVD) or mental disorders. Both low and high temperatures have been found to be associated with adverse health outcomes, so it is important to assess the differences in their effects. The aim of the study is to review the differences in the impact of low and high ambient air temperatures on mental health status and the course of CVD, based on data from the scientific literature. The reviewed studies show that air temperature, seasonality and its fluctuations have a significant, interrelated impact on the health of patients with mental and CVD. Low temperatures and sudden changes are associated with more frequent cases of depression, anxiety and poorer well-being, while moderately warmer conditions are associated with better emotional state. Extreme cold and heat increase the load on the heart and the risk of hospitalizations, therefore ambient temperature is considered an important complex factor affecting health.

Keywords: Air temperature, effect, cardiovascular disease, mental health.

Introduction

The living environment has a significant impact on a person's overall well-being, including physical and psychological well-being (Chang et al., 2020). Despite many of the latest treatments and disease management methods, cardiovascular diseases (CVD) remain the leading cause of death, both in Lithuania and worldwide (Mensah et al., 2017). Worldwide, CVD is responsible for approximately 18.6 million deaths, which is about 32%. In the European region, CVD is also the leading cause of disability and premature death, accounting for more than 42.5% of all deaths per year, which is about 10,000 deaths every day (World Health Organization, 2024).

Studies show that exposure to extreme temperatures is associated with a variety of mortality and morbidity outcomes. The greatest physiological effects of temperature are increased body temperature and cardiovascular events. More temperature-related deaths have been found to be caused by cold (7.29%) than heat (0.42%). The impact of days with extreme temperatures is significantly greater than that of milder days (Gasparrini et al., 2015). Neurological and psychological processes have also been found to be sensitive to heat (Crank et al., 2023). Chronic heat stress can lead to increased stress, anxiety and cognitive impairment. The most vulnerable population groups include the very young, older adults and individuals with pre-existing mental health conditions (Rony et al., 2023).

In the context of ongoing climate change, the relevance of temperature-related health risks is increasing. Global warming is associated not only with a gradual rise in average temperatures, but also with more frequent and intense heat waves, unstable seasonal transitions and extreme weather events. These changes may disproportionately affect individuals with chronic diseases, including CVD and mental disorders (Eldos et al., 2025).

This analysis allows us to reveal the impact of temperature on emotional well-being and CVD health, creating the basis for more targeted preventive and interventional measures. The results obtained can contribute to data-based decision-making, shaping public health policy and strengthening emotional and cardiovascular health monitoring. Therefore, the interaction between environmental factors and human health should be analyzed not only as an acute phenomenon, but also as a long-term adaptation challenge for health care systems and vulnerable populations. Understanding these mechanisms is essential for developing climate-resilient public health strategies.

The aim of the study is to review the differences in the effects of low and high ambient air temperatures on mental health status and the course of CVD, based on data from scientific literature.

The object of the study is the effect of ambient air temperature (low and high) on the health of people with mental health and cardiovascular disease.

Research methodology

A narrative literature review was conducted in PubMed, ScienceDirect databases. The narrative analysis method was chosen to combine the results of different studies and highlight the associations between ambient air temperature, mental health, and CVD outcomes.

The scientific literature search was performed using the following keywords in English: air temperature, exposure/impact/effect, cardiovascular disease/CVD, emotional/mental health. The literature search was conducted using combinations of Boolean operators (AND, OR) to ensure comprehensive coverage of relevant publications.

The criteria for selecting articles were: publication year 2001–2025, peer-reviewed scientific articles, empirical, clinical studies, relevance of the topic to the impact of ambient temperature in the context of CVD and emotional health. The selected sources were analyzed using thematic analysis of publications, and the obtained data were summarized in an analytical review of the results.

Results and discussion

The literature allows us to distinguish several interrelated groups: the complex impact of absolute air temperature, seasonality, temperature fluctuations, and adaptive abilities on the mental well-being and health of patients with CVD (Table 1).

Research shows that air temperature and seasonality are increasingly being examined as significant factors influencing the mental, emotional and general well-being of patients with CVD. Studies show that ambient temperature is associated with mental health indicators in patients after cardiac surgery. It has been found that low ($<0.35^{\circ}\text{C}$) air temperature is associated with higher incidence of depression, anxiety and phobic anxiety symptoms, so cold may act as an additional psychological stress factor. Meanwhile, moderately warm ($>16.25^{\circ}\text{C}$) air temperature is associated with lower rates of depression and anxiety, especially when such conditions occur outside the midsummer period. It has also been found that the effect of air temperature on mental state is usually not manifested on the same day, but after 1–2 days, which indicates a delayed effect of environmental factors on psychological well-being (Venclovienė et al., 2023).

Similar trends were found in patients with coronary heart disease, where not only the absolute level of air temperature was analyzed, but also its fluctuations and seasonality. It was found that the subjective mental, emotional and physical well-being of patients changes most not at stable high or low temperatures, but during transitional periods of the seasons, when weather conditions change abruptly. Psychological symptoms, such as poorer mood, reduced energy and emotional discomfort, occurred more often and more pronounced than physical or cardiovascular symptoms, especially among individuals who considered themselves sensitive to changes in weather conditions. In addition, it was found that the effect of temperature on well-being differed depending on gender and time of year, emphasizing the interaction of individual and seasonal factors (Martinaitienė et al., 2022).

In the long term, the effect of seasonality remains significant in assessing health-related quality of life in patients with coronary heart disease. Research data show that mental and emotional well-being is better in the warm season, while emotional difficulties and poorer general well-being are more common in the cold season. Physical and cardiovascular symptoms also show seasonality, but their fluctuations are not as pronounced as changes in psychological indicators. These seasonal differences are associated with environmental factors, such as air temperature, sunlight exposure and physical activity levels, which can have a complex impact on both emotional state and cardiac function (Martinaitienė et al., 2025).

The relationship between seasonality and mental health is also discussed in theoretical models linking seasonal mood swings to CVD risk. It is argued that depression and other seasonal psychological changes that occur during the winter period may contribute to increased morbidity and mortality from heart disease. This relationship is explained by the possible suppression of immune system functions and activation of inflammatory processes in atherosclerotic plaques, although these biological mechanisms remain hypothetical. Previous studies have shown that depression is associated with a higher risk of CVD occurrence, morbidity and mortality, and seasonal mood changes are quite common in the general population, so individuals who experience pronounced seasonal emotional fluctuations may be more vulnerable during the cold season (Sher, 2001).

Summarizing the significance of seasonality, depression and adaptive capacity, it becomes obvious that the impact of ambient temperature on health is particularly pronounced during periods of extreme weather conditions. Studies show that high air temperatures are associated with increased mortality and the number of hospitalizations due to cardiovascular diseases, as heat increases the load on the heart, the risk of dehydration and arrhythmias. At the same time, negative effects on mental health are also identified – more frequent exacerbations of mental disorders, hospitalizations and an increased risk of suicide, especially among older people and patients with chronic heart disease. These links complement previous data on the importance of depression, seasonality and adaptation, allowing us to assess climate warming and increasing heat waves as a complex risk factor with a significant impact on both mental and cardiovascular health (Amoatey et al., 2025).

Temperature has been shown to have a significant impact on mental health. Both high and low minimum temperatures (especially nighttime) have been found to increase the risk of schizophrenia hospitalizations. It is the minimum daily temperature that is most associated with hospitalizations, with an increased risk observed when the air temperature exceeds 30°C or falls below 3°C (Crank et al., 2023).

In addition to its direct impact on mental and emotional well-being, depression is also associated with patients' behavior and ability to adapt to adverse environmental conditions. It has been found that individuals with depressive symptoms, especially older people and those living in rural areas, are characterized by lower

self-care activity in the field of health care and poorer adaptation to high air temperatures during the summer period. Although the direct impact of heat has not been analyzed in detail, it has been found that global warming and increasing heat waves increase the risk of CVD in patients, therefore reducing depression and strengthening adaptive abilities become important factors in ensuring more effective self-care and health management during the warm season (Zang et al., 2025).

Literature data show that air temperature, seasonality and temperature fluctuations have a significant complex effect on the health and mental well-being of patients with CVD. By acting both directly on physiological processes and indirectly through mental well-being and adaptive abilities. Adverse or suddenly changing environmental conditions are associated with increased cardiac load and, at the same time, more frequent symptoms of depression and anxiety, which can weaken self-care, physical activity and the ability to adapt to environmental influences. The interaction of these factors is especially pronounced during periods of extreme temperatures and contributes to poorer general well-being, a higher risk of complications and worse CVD outcomes. Therefore, environmental temperature and seasonality should be considered as important factors with a complex effect on the health and quality of life of patients with CVD.

Table 1. Summary of research on the effects of air temperature on the health of patients with mental and CVD

Group of factors	Determined	Authors, year
Absolute air temperature	Low air temperatures ($< 0.35^{\circ}\text{C}$) are associated with higher rates of depression, anxiety, and phobic anxiety in patients after cardiac surgery. Moderately warm temperatures ($> 16.25^{\circ}\text{C}$) are associated with better mental well-being, with the effects of temperature often being delayed (after 1–2 days).	Vencloviienė et al., 2023; Crank et al., 2023
Temperature fluctuations	Mental, emotional, and physical well-being fluctuates most during seasonal transitions when weather conditions change abruptly. Psychological symptoms are more pronounced than physical symptoms, especially among individuals who are sensitive to weather changes.	Martinaitienė et al., 2022
Seasonality (seasons)	Mental and emotional well-being is better in the warmer months, while emotional difficulties and poorer general well-being are more common in the cold season. Physical symptoms also show seasonality, but less pronounced than psychological symptoms.	Martinaitienė et al., 2025; Sher, 2001
Extreme weather conditions (heat)	High air temperatures are associated with increased mortality and hospitalizations due to cardiovascular disease, as well as exacerbations of mental disorders and a higher risk of suicide, especially for vulnerable groups.	Amoatey et al., 2025; Zang et al., 2025

Conclusions

1. Air temperature, seasonality and temperature fluctuations have a significant impact on the health of patients with mental health and cardiovascular disease. Low temperatures and sudden changes in weather are associated with poorer emotional well-being and more frequent symptoms of depression and anxiety, while moderately warmer conditions are associated with better mental health.
2. Extreme temperatures, both hot and cold, increase cardiac workload and the risk of hospitalization and can negatively affect mental health. Therefore, ambient temperature should be considered as an important complex factor affecting the health and quality of life of patients with cardiovascular disease.
3. Future research would be appropriate to focus more on long-term observations and practical intervention studies that would help to better understand how people adapt to temperature changes and how negative health consequences can be more effectively prevented.

Acknowledgments

Sincere thanks to Professor Dr. Jonė Vencloviienė from the Department of Environmental Sciences at Vytautas Magnus University for her professional introduction to the science of how environmental factors affect health and for encouraging interest in this field.

References

1. Amoatey, P., Xu, Z., Odebeatu, C. C., Singh, N., Osborne, N. J., & Phung, D. (2025). Impact of extreme heat on health in Australia: a scoping review. *BMC Public Health*, 25(1), 522. <https://doi.org/10.1186/s12889-025-21677-9>

2. Crank, P. J., Hondula, D. M., & Sailor, D. J. (2023). Mental health and air temperature: Attributable risk analysis for schizophrenia hospital admissions in arid urban climates. *The Science of the total environment*, 862, 160599. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160599>
3. Eldos, H. I., Tahir, F., Athira, U. N., Mohamed, H. O., Samuel, B., Skariah, S., Al-Ghamdi, S. G., Al-Ansari, T., & Sultan, A. A. (2025). Mapping climate change interaction with human health through DPSIR framework: Qatar Perspective. *Heliyon*, 11(3), Article e42455. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e42455>
4. Gasparrini, A., Guo, Y., Hashizume, M., Lavigne, E., Zanobetti, A., Schwartz, J., Tobias, A., Tong, S., Rocklöv, J., Forsberg, B., Leone, M., De Sario, M., Bell, M. L., Guo, Y. L., Wu, C. F., Kan, H., Yi, S. M., de Sousa Zanotti Stagliorio Coelho, M., Saldiva, P. H., Honda, Y., ... Armstrong, B. (2015). Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study. *Lancet* (London, England), 386(9991), 369–375. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)62114-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)62114-0)
5. Martinaitienė, D., & Raskauskienė, N. (2022). Effects of Changes in Seasonal Weather Patterns on the Subjective Well-Being in Patients with CAD Enrolled in Cardiac Rehabilitation. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(9), 4997. <https://doi.org/10.3390/ijerph19094997>
6. Martinaitienė, D., Sampaio, F., Demetrovics, Z. et al. The role of seasonality on evaluating health-related quality of life in patients with coronary artery disease. *Sci Rep* 15, 15248 (2025). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-99478-8>
7. Rony, M. K. K., & Alamgir, H. M. (2023). High temperatures on mental health: Recognizing the association and the need for proactive strategies-A perspective. *Health Science Reports*, 6(12), e1729. <https://doi.org/10.1002/hsr2.1729>
8. Sher L. (2001). Effects of seasonal mood changes on seasonal variations in coronary heart disease: role of immune system, infection, and inflammation. *Medical Hypotheses*, 56(1), 104–106. <https://doi.org/10.1054/mehy.2000.1122>
9. Vencloviene, J., Beresnevaite, M., Cerkauskaitė, S., Lopatiene, K., Grizas, V., & Benetis, R. (2023). The effects of weather on depressive symptoms in patients after cardiac surgery. *Psychology, Health & Medicine*, 28(3), 682–692. <https://doi.org/10.1080/13548506.2022.2132411>
10. World Health Organization (2024). *WHO/Europe report warns of lethal levels of salt consumption and uncontrolled high blood pressure*. <https://www.who.int/europe/news/item/15-05-2024-cardiovascular-diseases-kill-10-000-people-in-the-who-european-region-every-day--with-men-dying-more-frequently-than-women>
11. Zang, Y., Wang, L., Choi, K. C., & Du, H. (2025). Impact of Depression on Activation and Summer Heat Adaptation in Older Adults With Cardiovascular Concerns: Empirical Research Quantitative. *Nursing Open*, 12(4), e70203. <https://doi.org/10.1002/nop2.70203>

Sonata Čerkauskaitė

Aplinkos oro temperatūros poveikis psichikos sveikatai bei širdies ir kraujagyslių ligoms: naratyvinė apžvalga

SMK Aukštoji mokykla

Aplinkos oro temperatūra reikšmingai veikia žmonių sveikatą, ypač sergančiųjų širdies ir kraujagyslių ligomis (ŠKL) ar psichikos sveikatos sutrikimais. Nustatyta, kad tiek žema, tiek aukšta temperatūra siejama su nepalankiomis sveikatos baigtimis, todėl svarbu vertinti jų poveikio skirtumus. Tyrimo tikslas – remiantis mokslinės literatūros duomenimis apžvelgti žemos ir aukštos aplinkos oro temperatūros poveikio skirtumus psichikos sveikatos būklei ir ŠKL eigai. Apžvelgti tyrimai rodo, kad oro temperatūra, sezoniškumas ir jos svyravimai daro reikšmingą, tarpusavyje susijusį poveikį psichikos ir ŠKL sergančiųjų sveikatai. Žema temperatūra ir staigūs pokyčiai siejami su dažnesniais depresijos, nerimo atvejais bei prastesne savijauta, o vidutiniškai šiltesnės sąlygos su geresne emocine būkle. Ekstremalus šaltis ir karštis didina širdies apkrovą bei hospitalizacijų riziką, todėl aplinkos temperatūra laikoma svarbiu kompleksiniu sveikatai įtakos turinčiu veiksnium.

Raktiniai žodžiai: oro temperatūra, poveikis, širdies ir kraujagyslių ligos, psichikos sveikata.

Gauta 2026 m. vasario mėn., atiduota spaudai 2026 m. balandžio mėn.

Sonata ČERKAUSKAITĖ. SMK Aukštoji mokykla, mokslo daktarė, asistentė tyrėja. Adresas: Vilties g. 2, LT-46326, Kaunas, tel. +370 604 73 638, el. paštas: sonata.cerkauskaite@smk.lt

Sonata Čerkauskaitė. SMK College of Applied Sciences, PhD, Assistant Researcher. Address: Vilties str. 2, LT-46326, Kaunas. Phone: +370 604 73 638, e-mail: sonata.cerkauskaite@smk.lt

POLICHROMINIUS MENO KŪRINIUS KOLONIZUOJANTYS MIKROSKOPINIAI GRYBAI IR JŲ POVEIKIS DAILĖJE NAUDOJAMIEMS PIGMENTAMS

Gabrielė Butėnaitė^{1,2}, Eglė Malachovskienė¹, Olga Ščit²

¹Valstybinio mokslinių tyrimų instituto Gamtos tyrimų centras, ²Lietuvos nacionalinio dailės muziejaus Prano Gudyno restauravimo centras

Mikroskopinių grybų sąlygoti meno kūrinių pažeidimai kelia grėsmę kultūriniam paveldui. Siekiant jį išsaugoti, svarbu išskirti ir identifikuoti juos kolonizuojančius mikroskopinius grybus, tirti jų savybes ir išaiškinti mechanizmus, kurie lemia meno kūrinių pažeidimus. Šio tyrimo tikslas – išskirti ir identifikuoti polichrominius meno kūrinius kolonizuojančius mikroskopinius grybus bei įvertinti jų potencialą sukelti dailėje naudojamų pigmentų spalvos pokytį. Prano Gudyno restauravimo centre nuo 4-ųjų darbų buvo paimti sporų mėginiai. Išskirti grybai buvo identifikuojami remiantis fenotipiniais požymiais, o tolimesniems tyrimams buvo pasirinkti dažniausiai meno kūrinius kolonizuojančių genčių (*Penicillium*, *Aspergillus*, *Chaetomium*) atstovai. Mikroskopiniai grybai buvo auginami ant agarizuotos mitybinės terpės su organiniais (kruplakas, šafranas, košenilis) ir neorganiniais (sintetinis ultramarinas, verdigris) pigmentais. Po 7 parų buvo išmatuotas grybų kolonijų skersmuo ir įvertintas terpės spalvos pokytis. Didžiausias *Aspergillus* sp. C3 izoliato kolonijos skersmuo nustatytas terpėje su kruplaku, *Penicillium* sp. E3 – su sintetiniu ultramarinu, o *Chaetomium* sp. K2 – su šafranu. Pažymėtina, kad mikroskopiniai grybai neaugo terpėje su verdigriu. *Penicillium* sp. E3 izoliatas sąlygojo visų tirtų pigmentų spalvos pokytį (visoje lėkštelėje arba zonoje aplink koloniją), o *Aspergillus* sp. C3 ir *Chaetomium* sp. K2 izoliatai pakeitė terpės su košeniliu spalvą. Tyrimai parodė, kad pigmentas verdigris pasižymėjo fungicidiniu poveikiu, o *Penicillium* sp. E3 izoliato produkuojamos rūgštys, tikėtina, sąlygojo tirtų pigmentų spalvos pokytį.

Raktiniai žodžiai: mikroskopiniai grybai, pigmentai, meno kūriniai, restauravimas.

Įvadas

Mikroskopiniai grybai yra prisitaikę prie įvairių aplinkos sąlygų ir geba kolonizuoti daugelį substratų. Šių mikroorganizmų išskiriami ekstralastinginiai fermentai ir rūgštys leidžia skaidyti organines ir neorganines medžiagas (Zucconi ir kt., 2022). Meno kūriniai dažnai yra kompleksiniai ir savo sudėtyje turi daug skirtingų junginių, mikroskopinių grybų naudojamų kaip maisto šaltinis. Grunte, dažuose, rišikliuose, klijuose būna aliejų, želatinos, dervos, kiaušinio, dekstrino, o pagrindą sudaro celiuliozinės medžiagos (popierius, drobė, medis), akmuo, oda ir kt. Meno kūrinių paviršius – reljefinis, todėl sporos lengvai prisitvirtina, o susidarius palankioms aplinkos sąlygoms – sudygsa. Taip nutinka kūrinius laikant drėgnose, prastai ventiliuojamose, retai valomose patalpose (Văcar ir kt., 2022). Mikroskopinių grybų micelis skverbiasi į substratą, todėl objekto paviršių sudarantys sluoksniai gali atsiskirti, pradėti trupėti. O dėl grybų išskiriamų pigmentų ir rūgščių atsiranda spalvinių pakitimų (Zucconi ir kt., 2022).

Mikroskopinių grybų destruktinė veikla naikina kultūrinį paveldą, jis praranda savo vertę ir estetinę išvaizdą. Norint jį išsaugoti, restauratoriams reikia turėti kuo išsamesnių duomenų apie mikroskopinių grybų savybes. Jų identifikacija ir veikimo mechanizmų išaiškinimas leidžia sužinoti meno kūrinių pakitimo priežastis ir lengviau nuspėti pradinę jų išvaizdą. Taip pat svarbu ištirti, ar restauravimo metu naudojami junginiai yra bioreceptyvūs ir ar mikroorganizmų augimas keičia jų savybes. Siekiama, kad eksponato atkūrimui naudojamos medžiagos būtų kuo atsparesnės jį kolonizavusiems mikroskopiniams grybams ir būtų išvengta pakartotinių pažaidų (Borges ir kt., 2018).

Ant meno kūrinių dažniausiai aptinkami mikroskopiniai grybai priklauso *Aspergillus*, *Alternaria*, *Penicillium*, *Cladosporium*, *Chaetomium*, *Fusarium* gentims, tačiau, priklausomai nuo kūrinių sudarančios medžiagos ir laikymo sąlygų, aptinkama ir kitų genčių atstovų. Pavyzdžiui, *Coniosporium* genties grybai aptinkami ant keratino turinčių substratų, tokių kaip oda ar vilna, *Trichoderma* – ant drėgnų celiuliozinių medžiagų, o *Aureobasidium* – ant akmens (Sterflinger, 2010; Andersen ir kt., 2011; Pinheiro ir kt., 2019; Silva ir kt., 2022). Dauguma meno kūrinių yra polichrominiai ir jų spalvų įvairovė nebūtų įmanoma be pigmentų. Dailėje naudojami pigmentai skirstomi į natūralius ir sintetinius. Natūralūs organiniai pigmentai išgaunami iš gyvūnų ir augalų, o neorganiniai – iš mineralų (Han, 2026). Kai kurie mikroskopiniai grybai dėl savo metabolinės veiklos gali lemti dailėje naudojamų pigmentų spalvos pakitimus, tokius kaip išblukimas, patamsėjimas, spalvos intensyvumo sumažėjimas ar net visiškas spalvos pokytis (Văcar ir kt., 2022; Zucconi ir kt., 2022). Šio tyrimo tikslas – išskirti ir identifikuoti polichrominius meno kūrinius kolonizuojančius mikroskopinius grybus bei įvertinti jų potencialą sukelti dailėje naudojamų pigmentų spalvos pokytį.

Tyrimų metodika

2025 m. vasario ir kovo mėn. į Prano Gudyno restauravimo centrą buvo atvežti 4 polichrominiai meno kūriniai (1 lentelė), turintys arba prieš restauravimą turėję vizualiai matomų mikroskopinių grybų kolonijų.

1 lentelė. Informacija apie meno kūrinius

Table 1. Information about artworks

Kūrinio duomenys <i>Details about an artwork</i>	Būklė ir laikymo sąlygos <i>Condition and storage conditions</i>	Medžiagos <i>Materials</i>
Knyga „Our Empire Story“ H. E. Marshall, 1908 m.	Matoma daug mikroskopinių grybų kolonijų, dažų spalvos intensyvumas nevienodas, knyga įsigyta iš aukciono	Drobė ir popierius
Knyga „Our Island Story“ H. E. Marshall, 1908 m.	Matoma daug mikroskopinių grybų kolonijų, dažų spalvos intensyvumas nevienodas, knyga įsigyta iš aukciono	Drobė ir popierius
Kazys Morkūnas „Angelas“, Vilkaviškio Švč. M. Marijos Apsilankymo katedros vitražo eskizas, 1996–2004 m.	Matomos kelios mikroskopinių grybų kolonijos	Popierius, guašas, tušas
Józef Simmler „Sėdinti dama“, metai nežinomi	Paveikslą restauravimo protokoluose nurodyta, kad anksčiau ant kūrinio buvo mikroskopinių grybų kolonijų	Aliejiniai dažai ant drobės

Ėminiai buvo paimti nuo ne mažesnio nei 10 cm² ploto, steriliu vatos tamponu atsargiai braukiant per kūrinių paviršių. Vatos tamponas buvo perkeltas į sterilią Petri lėkštelę ir užpildas steriliu distiliuotu vandeniu. Po sumaišymo 1 ml suspensijos buvo perkeltas į naują Petri lėkštelę, užpildas agarizuota salyklo ekstrakto (MEA) terpe (Liofilchem, Italija) ir tolygiai paskirstytas. Lėkštelės inkubuotos 26 °C temperatūroje 5–7 paras. Mikroskopiniai grybai buvo identifikuoti remiantis fenotipiniais požymiais (Lugauskas ir kt., 2002; Koval ir Mytkivska, 2011) naudojant „Motic Panthera E2 Trinocular“ mikroskopą (Kinija). Identifikavimui grybai buvo auginti ant MEA (Blakeslee), kreatino sacharozės (CREA), avižų miltų (OA), dichlorano 18 % glicerolio (DG18) ir mielių ekstrakto sacharozės (YES) agarizuotų terpių 26 °C temperatūroje, o ant Čapeko mielių autolizato (CYA) terpės – 26, 30 ir 37 °C temperatūroje 7 paras (Visagie ir kt., 2014; Samson ir kt., 2014; Wang ir kt., 2016).

Tyrimams su pigmentais buvo naudota modifikuota metalų toksiškumo terpė (mMT) (pH 7): gliukozė 10 g, Na₂SO₄ 2,13 g, CaCl₂ 0,06 g, NH₄Cl 1 g, MgSO₄ 1 g, mielių ekstraktas 0,05 g, triptonas 0,5 g, agaras 15 g, pigmentai 1 g, distiliuotas vanduo 1000 ml (Văcar ir kt., 2022). Tirti organiniai pigmentai buvo gryni (kraplakas, išgautas iš *Rubia tinctorum* šaknų) arba buvo naudotos jų turinčios medžiagos – šafranas (sutrintos *Crocus sativus* purkos) ir košenilio vabzdžiai (*Dactylopius coccus*). Smulkintų vabzdžių į terpę dėta 0,13 g/l. Tirti neorganiniai pigmentai: verdigris (Cu(CH₃COO)₂·[Cu(OH)₂]₃·2H₂O) ir sintetinis ultramarinas (3Na₂O·3Al₂O₃·6SiO₂·2Na₂S). Sintetinis ultramarinas yra jautrus rūgštims ir išblunka, todėl buvo paruošta terpė, kurios pH siekė 7,6 (De La Rie ir kt., 2017). Į kontrolinę terpę pigmentų nedėta. Lėkštelės viduryje buvo užlašinta sporų suspensija (5 µl). Lėkštelės inkubuotos 7 paras, 26 °C temperatūroje. Pamatotas grybų kolonijų skersmuo (mm) ir įvertintas terpės spalvos pokytis. Bandymas buvo atliktas dviem pakartojimais.

Pigmentų spalvos pokyčius gali lemti mikroskopinių grybų išskiriamos rūgštys, todėl šios savybės įvertinimui buvo pagaminta terpė su kalcio karbonatu (pH 8): CaCO₃ 5 g, gliukozė 10 g, agaras 15 g, distiliuotas vanduo 1000 ml (Kujović ir kt., 2024). Petri lėkštelės viduryje buvo užlašinti 5 µl sporų suspensijos ir lėkštelės inkubuotos 24 °C temperatūroje 14 parų. Apie rūgščių išskyrimą sprendžiama iš skaidrios zonos, susidariusios aplink grybo koloniją ir / arba po ją.

Rezultatai ir aptarimas

Nuo tirtų meno kūrinių buvo išskirti ir identifikuoti *Aspergillus*, *Penicillium*, *Mortierella*, *Chaetomium* ir *Stachybotrys* gentims priklausančios mikroskopiniai grybai (2 lentelė). Tolimesniems tyrimams buvo pasirinkti trys dažniausiai ant meno kūrinių aptinkamų genčių atstovai: *Aspergillus* sp. C3, *Penicillium* sp. E3 ir *Chaetomium* sp. K2.

2 lentelė. Ant meno kūrinių aptikti mikroskopiniai grybai**Table 2.** Microscopic fungi found on artworks

Meno kūrinys <i>Artwork</i>	Mikroskopiniai grybai <i>Microscopic fungi</i>
Knyga „Our Empire Story“	<i>Chaetomium</i> sp. K1, <i>Aspergillus</i> sp. C3, <i>Mortierella</i> sp. P1, <i>Penicillium</i> sp. E1
Knyga „Our Island Story“	<i>Chaetomium</i> sp. K2, <i>Stachybotrys</i> sp. V1, <i>Aspergillus</i> sp. C2, <i>Penicillium</i> sp. E3
Eskizas „Angelas“	<i>Mortierella</i> sp. P2
Paveikslas „Sėdinti dama“	<i>Neaphtika</i>

Tyrimų rezultatai parodė, kad tirti pigmentai darė skirtingą įtaką mikroskopinių grybų augimui (3 lentelė). Didžiausias *Aspergillus* sp. C3 izoliato kolonijos skersmuo (16 mm) buvo ant terpės, turėjusios kraplako, nors Essaidi ir bendraautoriai (2017) nustatė, kad *R. tinctorum* šaknų pigmentuose esantys antrachinonai slopina *Aspergillus occhraceus* ir *Aspergillus niger* augimą. Didžiausia *Penicillium* sp. E3 kolonija (35 mm) buvo lėkštelėje su sintetiniu ultramarinu, tačiau Vācar ir bendraautorių (2022) tyrime *Penicillium chrysogenum* kolonija ant tokios pat sudėties terpės buvo mažesnė negu kontrolinėje lėkštelėje. Terpėje su šafranu geriausiai augo *Chaetomium* sp. K2 – kolonijos skersmuo siekė 47 mm. Andersen ir Nissen (2000) nustatė, kad augalinės kilmės medžiagų turinčios terpės labiausiai tinka *Chaetomium* genties grybų augimui. Nė vienas iš tirtų mikroskopinių grybų neaugo ant terpės su verdigriu, tai galėjo lemti jo sudėtyje esantys vario jonai, pasižymintys fungicidiniu poveikiu (Richardson, 2000).

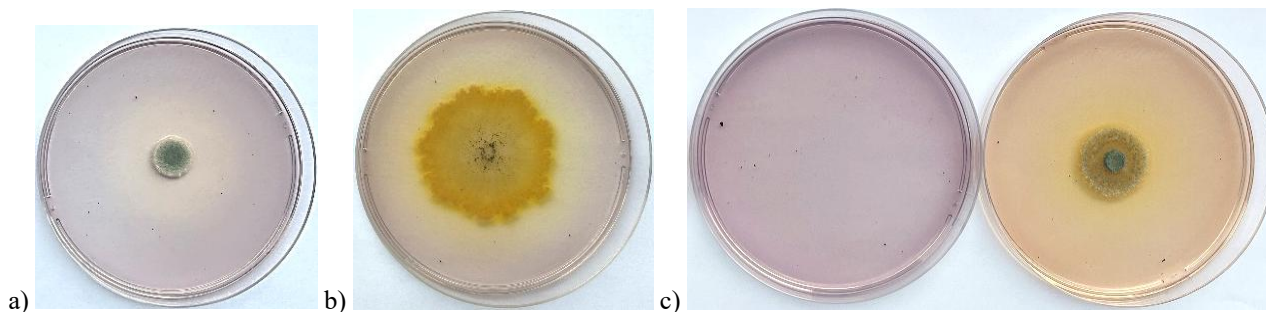
3 lentelė. Ant meno kūrinių aptikti mikroskopiniai grybai**Table 3.** Microscopic fungi found on artworks

Mikroskopinis grybas <i>Microscopic fungus</i>	Kolonijos skersmuo (mm) <i>Colony diameter (mm)</i>					
	K	KO	KR	Š	SU	V
<i>Aspergillus</i> sp. C3	14,0	14,0	16,0	13,5	12,5	0
<i>Penicillium</i> sp. E3	31,0	25,5	32,0	27,5	35,0	0
<i>Chaetomium</i> sp. K2	44,0	42,5	44,0	47,0	39,5	0

Pastaba: K – kontrolė, KO – košenilis, KR – kraplakas, Š – šafranas, SU – sintetinis ultramarinas, V – verdigris.

Note: K – control, KO – cochineal, KR – madder lake, Š – saffron, SU – synthetic ultramarine, V – verdigris.

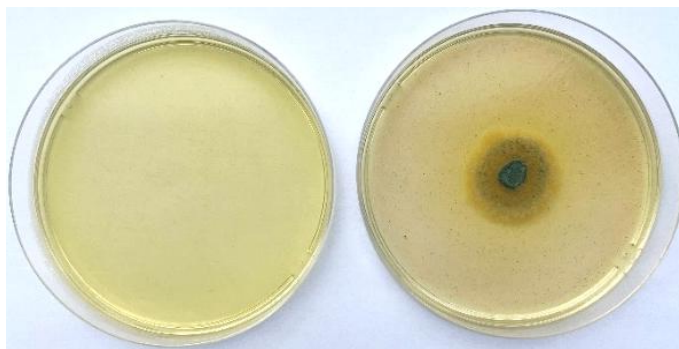
Visi tirti mikroskopiniai grybai sąlygojo terpės su košenilio vabzdžiais spalvos pokytį, bet tik *Penicillium* sp. E3 izoliatas keitė terpių su kraplaku, šafranu ir sintetiniu ultramarinu spalvą. Terpėje su košeniliu aplink *Aspergillus* sp. C3 ir *Chaetomium* sp. K2 kolonijas susidarė šviesesnė zona (1 pav. a ir b). Panašų pokytį pastebėjo ir Arroyo-Figueroa su bendraautoriais (2011) – *Trametes versicolor* rūšies grybas sąlygojo agarizuotos terpės su košenilio ekstraktu spalvos išblukimą. Terpės su vabzdžiais spalva kitaip pakito lėkštelėje, kurioje augo *Penicillium* sp. E3 – visa terpė tapo raudona (2 pav. c). Favaro ir bendraautoriai (2002) nustatė, kad košenilio vabzdžiuose esančios karmino rūgšties spalva priklauso nuo pH. Jam krentant, spalva kinta iš violetinės į raudoną, o iš šios – į oranžinę / geltoną.



1 pav. Grybų kolonijos ant mMT terpės su košenilio vabzdžiais po 7 parų inkubavimo 26 °C temperatūroje
a – *Aspergillus* sp. C3, b – *Chaetomium* sp. K2, c – dešinėje *Penicillium* sp. E3, kairėje neinokuluota terpė spalvos pokyčiui palyginti

Fig. 1. Fungal colonies on mMT culture medium with cochineal insects after 7 days of incubation at 26 °C
a – *Aspergillus* sp. C3, b – *Chaetomium* sp. K2, c – on the right *Penicillium* sp. E3, on the left uninoculated culture medium for the comparison of color change

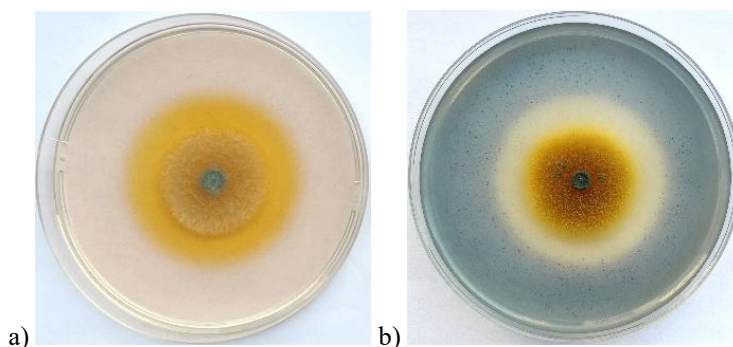
Šafrano turėjusioje terpėje buvo netirpių dalelių, kurios paraudonavo lėkštelėje su *Penicillium* sp. E3 kolonija (2 pav.). Šafrane esantys kroketinai yra raudoni pigmentai, kurie sunkiai tirpsta vandenyje, o krentant pH vertei jie kristalizuojasi (Martin ir kt., 2002; Zalacain ir kt., 2005; Manhas ir kt., 2024).



2 pav. Dešinėje – *Penicillium* sp. E3 kolonija ant mMT terpės su šafranu po 7 parų inkubavimo 26 °C temperatūroje, kairėje – neinokuliuota terpė spalvos pokyčio palyginimui

Fig. 2. On the right – *Penicillium* sp. E3 colony on mMT culture medium with saffron after 7 days of incubation at 26 °C, on the left – uninoculated culture medium for the comparison of color change

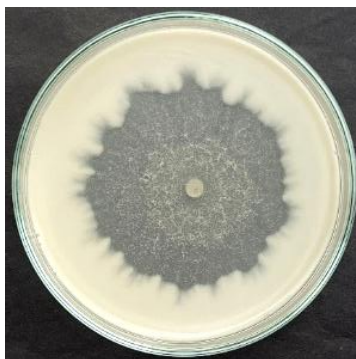
Aplink *Penicillium* sp. E3 koloniją, augusią ant terpės su kraplaku, susidarė oranžinė/geltona zona (3 pav. a). Kraplake esantys pigmentai purpurinas ir alizarinas pasižymi savybe keisti spalvą priklausomai nuo pH – kai jis tampa mažesnis už 7, šie pigmentai pageltonuoja (Jiang ir kt., 2021; Szadkowski ir kt., 2022). Sintetinio ultramarino turėjusioje terpėje taip pat matoma zona aplink *Penicillium* sp. E3 koloniją – šis pigmentas rūgštinėje aplinkoje praranda savo spalvą (3 pav. b) (De La Rie ir kt., 2017). Văcar ir bendraautoriai (2022) pastebėjo šį pokytį tokios pačios sudėties terpėje, ant kurios augo *Penicillium chrysogenum* rūšiai priklausančio grybo kolonijos.



3 pav. *Penicillium* sp. E3 kolonija ant mMT terpės su a – kraplaku, b – sintetiniu ultramarinu po 7 parų inkubavimo 26 °C temperatūroje

Fig. 3. *Penicillium* sp. E3 colony on mMT culture medium with a – madder lake, b – synthetic ultramarine after 7 days of incubation at 26 °C

Tyrimų rezultatai parodė, kad terpėje su kalcio karbonatu skaidri zona susidarė lėkštelėje, kurioje augo *Penicillium* sp. E3 – šis mikroskopinis grybas produkuoja rūgštis (4 pav.).



4 pav. *Penicillium* sp. E3 kolonija ant terpės su kalcio karbonatu po 14 parų inkubavimo 24 °C temperatūroje

Fig. 4. *Penicillium* sp. E3 colony on culture medium with calcium carbonate after 14 days of incubation at 24 °C

Atsižvelgiant į tirtų mikroskopinių grybų gebėjimą keisti pigmentų spalvas ir išskirti rūgštis, šiais grybais užkrėsti meno kūriniai turėtų būti laikomi atskirai nuo kitų vertingų objektų ir būti perduoti restauratoriams, kurie dezinfekuotų ir atkurtų pažeistą darbą. Pavojus keliamas ne tik meno kūriniams, bet ir žmonėms – mikroskopiniai grybai gali išskirti mikotoksinus, kurie yra pavojingi sveikatai ir gali sukelti įvairius susirgimus. Šie antriniai metabolitai į organizmą patenka per kvėpavimo takus ir odą, todėl patartina uždaroje patalpoje nelaikyti mikroskopinių grybų kolonijų turinčių meno kūrinių bei vengti fizinio kontakto su užkrėstais objektais, tokiais kaip knygos, brėžiniai, dokumentai ar žemėlapiai (Mayer ir kt., 2008).

Išvados

1. Ant tirtų polichrominių meno kūrinių buvo aptikti *Aspergillus*, *Penicillium*, *Mortierella*, *Chaetomium* ir *Stachybotrys* genčių mikroskopiniai grybai.
2. Nustatyta, kad *Aspergillus* sp. C3 izoliato augimui labiausiai tinkama buvo terpė su kraplaku, *Penicillium* sp. E3 – su sintetiniu ultramarinu, *Chaetomium* sp. K2 – su šafranu, o pigmentas verdigris pasižymėjo fungicidiniu poveikiu.
3. Košenilio vabzdžiuose esantys pigmentai buvo jautriausi tirtų mikroskopinių grybų metabolizmui.
4. *Penicillium* sp. E3 izoliato gebėjimas keisti visų tirtų pigmentų spalvas galėjo būti rūgščių produkcijos pasekmė.
5. Siekiant sustabdyti mikroskopinių grybų destruktinę veiklą ir tolimesnį plitimą, užkrėstus meno kūrinius rekomenduojama izoliuoti, laikyti sausiai ir dezinfekuoti.

Literatūra

1. Andersen, B., Frisvad, J. C., Søndergaard, I., Rasmussen, I. S., & Larsen, L. S. (2011). Associations between Fungal Species and Water-Damaged Building Materials. *Applied and Environmental Microbiology*, 77(12), 4180–4188. <https://doi.org/10.1128/AEM.02513-10>
2. Andersen, B., & Nissen, A. T. (2000). Evaluation of media for detection of *Stachybotrys* and *Chaetomium* species associated with water-damaged buildings. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 46(2), 111–116. [https://doi.org/10.1016/S0964-8305\(00\)00092-5](https://doi.org/10.1016/S0964-8305(00)00092-5)
3. Arroyo-Figueroa, G., Ruiz-Aguilar, G. M. L., López-Martínez, L., González-Sánchez, G., Cuevas-Rodríguez, G., & Rodríguez-Vázquez, R. (2011). Treatment of a Textile Effluent from Dyeing with Cochineal Extracts Using *Trametes versicolor* Fungus. *The Scientific World Journal*, 11, 1005–1016. <https://doi.org/10.1100/tsw.2011.99>
4. Borges, I. D. S., Casimiro, M. H., Macedo, M. F., & Sequeira, S. O. (2018). Adhesives used in paper conservation: Chemical stability and fungal bioreceptivity. *Journal of Cultural Heritage*, 34, 53–60. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2018.03.027>
5. De La Rie, E. R., Michelin, A., Ngako, M., Del Federico, E., & Del Grosso, C. (2017). Photo-catalytic degradation of binding media of ultramarine blue containing paint layers: A new perspective on the phenomenon of “ultramarine disease” in paintings. *Polymer Degradation and Stability*, 144, 43–52. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2017.08.002>
6. Essaidi, I., Snoussi, A., Ben Haj Koubaier, H., Casabianca, H., & Bouzouita, N. (2017). Effect of acid hydrolysis on alizarin content, antioxidant and antimicrobial activities of *Rubia tinctorum* extracts. *Pigment & Resin Technology*, 46(5), 379–384. <https://doi.org/10.1108/PRT-11-2015-0116>
7. Favaro, G., Miliari, C., Romani, A., & Vagnini, M. (2002). Role of protolytic interactions in photo-aging processes of carminic acid and carminic lake in solution and painted layers. *Journal of the Chemical Society, Perkin Transactions*, 2(1), 192–197. <https://doi.org/10.1039/b104595b>
8. Han, H. (2026). Recent advances and trends of non-destructive spectral identification of pigments in cultural heritage paintings. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, 235, 107378. <https://doi.org/10.1016/j.sab.2025.107378>
9. Jiang, H.-Y., Hu, X.-D., Zhu, J.-J., Wan, J., & Yao, J.-B. (2021). Studies on the photofading of alizarin, the main component of madder. *Dyes and Pigments*, 185, 108940. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2020.108940>
10. Koval, E. Z., & Mytkivska, T. I. (2011). *Mikolohichne obstezhennia muzeinykh pamiatok*. Natsionalnyi naukovo-doslidnyi restavratsiyni tsentr Ukrainy. Kijev.
11. Kujović, A., Gostinčar, C., Kavkler, K., Govedić, N., Gunde-Cimerman, N., & Zalar, P. (2024). Degradation Potential of Xerophilic and Xerotolerant Fungi Contaminating Historic Canvas Paintings. *Journal of Fungi*, 10(1), 76. <https://doi.org/10.3390/jof10010076>
12. Lugauskas, A., Paškevičius, A., & Repečkienė, J. (2002). *Patogeniški ir toksiški mikroorganizmai žmogaus aplinkoje*. Aldorija, Vilnius.

13. Manhas, D., Dhiman, S., Kour, H., Kour, D., Sharma, K., Wazir, P., Vij, B., Kumar, A., Sawant, S. D., Ahmed, Z., & Nandi, U. (2024). ADME/PK Insights of Crocetin: A Molecule Having an Unusual Chemical Structure with Druglike Features. *ACS Omega*, 9(19), 21494–21509. <https://doi.org/10.1021/acsomega.4c02116>
14. Martin, G., Goh, E., & Neff, A. W. (2002). Evaluation of the developmental toxicity of crocetin on *Xenopus*. *Food and Chemical Toxicology*, 40(7), 959–964. [https://doi.org/10.1016/S0278-6915\(02\)00040-6](https://doi.org/10.1016/S0278-6915(02)00040-6)
15. Mayer, S., Engelhart, S., Kolk, A., & Blome, H. (2008). The significance of mycotoxins in the framework of assessing workplace related risks. *Mycotoxin Research*, 24(3), 151–164. <https://doi.org/10.1007/BF03032342>
16. Pinheiro, A. C., Sequeira, S. O., & Macedo, M. F. (2019). Fungi in archives, libraries, and museums: A review on paper conservation and human health. *Critical Reviews in Microbiology*, 45(5–6), 686–700. <https://doi.org/10.1080/1040841X.2019.1690420>
17. Richardson, H. W. (2000). Copper Compounds. Wiley-VCH (Sud.), *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry (1-axis leid.)*. Wiley. https://doi.org/10.1002/14356007.a07_567
18. Samson, R. A., Visagie, C. M., Houbaken, J., Hong, S.-B., Hubka, V., Klaassen, C. H. W., Perrone, G., Seifert, K. A., Susca, A., Tanney, J. B., Varga, J., Kocsubé, S., Szigeti, G., Yaguchi, T., & Frisvad, J. C. (2014). Phylogeny, identification and nomenclature of the genus *Aspergillus*. *Studies in Mycology*, 78(1), 141–173. <https://doi.org/10.1016/j.simyco.2014.07.004>
19. Silva, N. C., Madureira, A. R., Pintado, M., & Moreira, P. R. (2022). Biocontamination and diversity of epilithic bacteria and fungi colonising outdoor stone and mortar sculptures. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 106(9–10), 3811–3828. <https://doi.org/10.1007/s00253-022-11957-4>
20. Sterflinger, K. (2010). Fungi: Their role in deterioration of cultural heritage. *Fungal Biology Reviews*, 24(1–2), 47–55. <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2010.03.003>
21. Szadkowski, B., Rogowski, J., Maniukiewicz, W., Beyou, E., & Marzec, A. (2022). New natural organic–inorganic pH indicators: Synthesis and characterization of pro-ecological hybrid pigments based on anthraquinone dyes and mineral supports. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 105, 446–462. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2021.10.004>
22. Văcar, C. L., Mircea, C., Părvu, M., & Podar, D. (2022). Diversity and Metabolic Activity of Fungi Causing Biodeterioration of Canvas Paintings. *Journal of Fungi*, 8(6), 589. <https://doi.org/10.3390/jof8060589>
23. Visagie, C. M., Houbaken, J., Frisvad, J. C., Hong, S.-B., Klaassen, C. H. W., Perrone, G., Seifert, K. A., Varga, J., Yaguchi, T., & Samson, R. A. (2014). Identification and nomenclature of the genus *Penicillium*. *Studies in Mycology*, 78(1), 343–371. <https://doi.org/10.1016/j.simyco.2014.09.001>
24. Wang, X. W., Houbaken, J., Groenewald, J. Z., Meijer, M., Andersen, B., Nielsen, K. F., Crous, P. W., & Samson, R. A. (2016). Diversity and taxonomy of *Chaetomium* and chaetomium-like fungi from indoor environments. *Studies in Mycology*, 84(1), 145–224. <https://doi.org/10.1016/j.simyco.2016.11.005>
25. Zalacain, A., Ordoudi, S. A., Blázquez, I., Díaz-Plaza, E. M., Carmona, M., Tsimidou, M. Z., & Alonso, G. L. (2005). Screening method for the detection of artificial colours in saffron using derivative UV-Vis spectrometry after precipitation of crocetin. *Food Additives and Contaminants*, 22(7), 607–615. <https://doi.org/10.1080/02652030500150051>
26. Zucconi, L., Canini, F., Isola, D., & Caneva, G. (2022). Fungi Affecting Wall Paintings of Historical Value: A Worldwide Meta-Analysis of Their Detected Diversity. *Applied Sciences*, 12(6), 2988. <https://doi.org/10.3390/app12062988>

Gabrielė Butėnaitė^{1,2}, Eglė Malachovskienė¹, Olga Ščit²

Microscopic Fungi Colonizing Polychrome Artworks and Their Effects on Pigments Used in Art

¹State Scientific Research Institute, Lithuania, ²Lithuanian National Museum of Art Pranas Gudynas Conservation Centre, Lithuania

Damage to works of art caused by microscopic fungi poses a threat to cultural heritage. In order to preserve it, it is important to isolate and identify the microscopic fungi colonizing them, study their properties and clarify the mechanisms that determine damage to works of art. The aim of this study is to isolate and identify microscopic fungi colonizing polychrome works of art and assess their potential to cause a change in the color of pigments used in art. Spore samples were taken from 4 artworks at Pranas Gudynas Restoration Center. The fungi were identified based on phenotypic characteristics and representatives of the genera that commonly colonize works of art (*Penicillium*, *Aspergillus*, *Chaetomium*) were selected for further studies. The microscopic fungi were grown on an agarized culture medium containing organic (madder lake, saffron, cochineal) and inorganic (synthetic ultramarine, verdigris) pigments. After 7 days, the diameter of the fungal colonies was measured and the change in the color of the medium was assessed. The

largest diameter of the *Aspergillus* sp. C3 isolate colony was on a medium with madder lake, *Penicillium* sp. E3 – with synthetic ultramarine, and *Chaetomium* sp. K2 – with saffron. It should be noted that microscopic fungi did not grow on a medium with verdigris. *Penicillium* sp. E3 isolate caused a change in the color of all tested pigments (in the entire plate or in the zone around the colony), while *Aspergillus* sp. C3 and *Chaetomium* sp. K2 isolates changed the color of the medium with cochineal. The studies showed that the verdigris pigment had a fungicidal effect, and the acids produced by the *Penicillium* sp. E3 isolate could be the reason that caused a change in the color of the tested pigments.

Keywords: Microscopic fungi, pigments, artworks, restoration.

Gauta 2026 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2026 m. balandžio mėn.

Gabrielė BUTĖNAITĖ. Vilniaus universitetas Gyvybės mokslų centras. Adresas: Saulėtekio al. 7, LT-10257, Vilnius, el. paštas: gabriele.butenaite@gmc.stud.vu.lt

Gabrielė BUTĖNAITĖ. Vilnius University Life Sciences Centre. Address: Saulėtekio av. 7, LT-10257, Vilnius, e-mail: gabriele.butenaite@gmc.stud.vu.lt

Eglė MALACHOVSKIENĖ. Valstybinis mokslinių tyrimų institutas Gamtos tyrimų centras Biodestruktorių tyrimo laboratorija. Adresas: Akademijos g. 2, LT-08412, Vilnius, tel. +370 52 796640, el. paštas: egle.malachovskiene@gamtc.lt

Egle MALACHOVSKIENĖ. 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

Olga ŠČIT. Lietuvos nacionalinis dailės muziejus Prano Gudyno restauravimo centras. Adresas: Rūdninkų g. 8, LT-01135, Vilnius, tel. +370 5 261 9854, +370 5 261 7605, el. paštas: olga.scit@lndm.lt

Olga ŠČIT. Lithuanian National Museum of Art Pranas Gudynas Conservation Centre. Address: Rūdninkų str. 8, LT-01135, Vilnius. Phone: +370 5 261 9854, +370 5 261 7605, e-mail: olga.scit@lndm.lt

**EKOLOGIJA,
DARNI MIŠKININKYSTĖ**
*ECOLOGY,
SUSTAINABLE FORESTRY*

FROM AWARENESS TO ACTION: PUBLIC MOTIVATION FOR BIODIVERSITY CONSERVATION AND NATURE-BASED SOLUTIONS

Anželika Dautartė, Vitas Marozas

Vytautas Magnus University, Lithuania

Biodiversity loss and climate change pose major environmental challenges, requiring effective responses such as biodiversity conservation measures and nature-based solutions (NBS). This study, conducted within the Horizon Europe project Education and Nature-Based Solutions: Enabling Society to Bend the Curve for Biodiversity (eNaBS), examines public awareness, perceptions, and motivation for biodiversity conservation and engagement with NBS in Lithuania based on an online survey of 157 respondents. The results show that over 90% of respondents associate biodiversity with the diversity of species and habitats, while 68% recognise biodiversity loss as a local environmental problem. Environmental concern is reflected in 86 open-ended responses highlighting ecosystem degradation and species decline. At the same time, although 62.4% of respondents support policy measures for biodiversity protection, 26.1% remain uncertain about their effectiveness. The findings also emphasise the importance of environmental competencies, particularly ecological knowledge and practical biodiversity conservation skills. The study highlights the need to strengthen environmental education and interdisciplinary competencies to translate environmental awareness into effective action for biodiversity conservation and the wider implementation of nature-based solutions.

Keywords: Biodiversity conservation; nature-based solutions; public awareness; environmental motivation; environmental competencies.

Introduction

Despite growing awareness of biodiversity loss and climate change, translating environmental knowledge into meaningful public action remains one of the greatest challenges of contemporary sustainability efforts. Biodiversity is declining at an unprecedented rate due to human activities, threatening ecosystem stability, ecosystem services, and the well-being of societies worldwide (IPBES, 2019; IPCC, 2022). The degradation of ecosystems weakens natural processes that regulate climate, support food production, maintain water quality, and sustain overall environmental resilience. Consequently, biodiversity conservation has become a key priority in international environmental policy and sustainability strategies.

In response to these challenges, nature-based solutions (NBS) have emerged as an important approach to addressing both biodiversity loss and climate change. Nature-based solutions are broadly defined as actions that protect, sustainably manage, and restore natural or modified ecosystems while simultaneously providing environmental, social, and economic benefits (Nature based solutions, 2025). Such approaches include ecosystem restoration, green infrastructure development, sustainable land management, and the conservation of natural habitats. Research increasingly highlights that NBS can contribute to climate change mitigation and adaptation, enhance ecosystem resilience, and support biodiversity conservation while improving human well-being (Seddon et al., 2021; Key et al., 2022). Recent studies also highlight that nature-based solutions can significantly contribute to biodiversity recovery and ecosystem resilience, particularly in urban and managed landscapes (Jambhekar et al., 2026).

At the policy level, international frameworks emphasise the importance of integrating biodiversity protection into sustainable development strategies. The Kunming–Montreal Global Biodiversity Framework calls for urgent global action to halt and reverse biodiversity loss and restore ecosystems by 2030 (CBD, 2022). Similarly, the EU Biodiversity Strategy for 2030, a core component of the European Green Deal, aims to protect natural ecosystems, restore degraded habitats, and strengthen the role of biodiversity in addressing climate change (European Commission, 2020). These strategies highlight that achieving environmental sustainability requires systemic changes in the way societies interact with nature.

However, policy measures and technological solutions alone are not sufficient to address environmental challenges. The successful implementation of biodiversity conservation strategies and nature-based solutions strongly depends on public awareness, engagement, and support. Increasingly, research emphasises that environmental governance must involve not only institutions and experts but also citizens, communities, and various stakeholder groups (Kiss et al., 2022). Public participation can enhance social acceptance of environmental initiatives, strengthen environmental responsibility, and contribute to more effective and sustainable conservation outcomes.

Although awareness of biodiversity loss and environmental problems has increased in recent years, translating knowledge into concrete action remains a major challenge. Studies indicate that understanding environmental problems does not always lead to behavioural change or active participation in conservation

activities (Chan et al., 2023). The gap between environmental awareness and action is influenced by various social, psychological, and institutional factors, including perceived personal responsibility, access to information and education, economic incentives, and opportunities to participate in environmental decision-making processes.

Motivational factors play a crucial role in encouraging individuals and communities to engage in biodiversity conservation and environmental initiatives. Education and awareness-raising activities are frequently identified as key drivers of pro-environmental behaviour, as they increase understanding of environmental issues and empower individuals to act. At the same time, tangible local benefits, financial support mechanisms, and visible environmental improvements can strengthen public motivation and willingness to participate in conservation activities (Kiss et al., 2022; Plüschke-Altof et al., 2025). Understanding these motivational factors is particularly important for promoting the wider adoption of nature-based solutions and strengthening public participation in sustainability initiatives.

Despite the growing body of research on biodiversity conservation and nature-based solutions, relatively little attention has been paid to the relationship between public awareness of environmental challenges and the motivational factors that encourage active engagement in conservation initiatives. While previous studies have explored public perceptions of biodiversity loss and the benefits of nature-based solutions, the transition from awareness to concrete action remains insufficiently understood. There is a need to better understand which factors motivate individuals to participate in biodiversity protection and how knowledge, professional background, and policy support influence this engagement.

Therefore, this study aims to analyse public motivation for biodiversity conservation and engagement with nature-based solutions, identifying key factors that encourage individuals to move from awareness to action.

Research Methodology

The study is based on data collected through an online survey conducted within the Horizon Europe project Education and Nature-Based Solutions: Enabling Society to Bend the Curve for Biodiversity (eNaBIS). The survey aimed to explore public awareness, perceptions, and engagement related to biodiversity loss, climate change, and nature-based solutions (NBS). The questionnaire was developed collaboratively by project partners and implemented using the European Commission's online survey platform EUSurvey. The survey was conducted between June and August 2024 and targeted a broad range of stakeholders across several European countries, including students, researchers, employees, representatives of public institutions, non-governmental organisations, and other professionals. The questionnaire was distributed through project partner networks, academic institutions, and professional communication channels. To ensure accessibility for respondents from different countries, the survey was translated into several languages.

Participation in the survey was voluntary and anonymous. Before completing the questionnaire, respondents were informed about the purpose of the research and the use of the collected data. Ethical principles of social research were followed throughout the data collection process, including the protection of respondents' confidentiality and compliance with European Union data protection regulations.

This study focuses on responses collected from 157 participants in Lithuania. The respondents represented diverse professional backgrounds, including education, research, public administration, business, and other sectors. Such diversity allowed the study to capture a wide range of perspectives on biodiversity conservation and the role of nature-based solutions in addressing environmental challenges. The questionnaire consisted of 29 questions designed to assess different aspects of public awareness, perceptions, and attitudes towards biodiversity loss and nature-based solutions. For the purposes of this study, a selected subset of survey questions was used for detailed analysis. Five questions were chosen as the primary analytical variables focusing on public concern about environmental challenges, perceptions of environmental policy measures, the influence of professional background on environmental understanding, professional challenges related to sustainability, and competencies considered important for addressing biodiversity and climate-related issues.

In addition, information about respondents' professional sectors was used as a contextual variable in the analysis. This variable allowed the results to be interpreted in relation to respondents' professional backgrounds and helped to identify differences in environmental perceptions and competencies across different sectors.

The collected data were analysed using descriptive statistical methods. The frequency and percentage distribution of responses were calculated in order to identify dominant patterns in public perceptions and motivational factors related to biodiversity conservation. Selected variables were also examined through cross-analysis to explore potential relationships between environmental awareness, professional background, and motivation to engage in biodiversity conservation activities. Open-ended responses were analysed using thematic categorisation to identify common themes in respondents' views regarding environmental challenges and factors influencing engagement in biodiversity conservation. The combination of quantitative and

qualitative analysis provided a broader understanding of public attitudes, perceptions, and motivations related to biodiversity protection and the implementation of nature-based solutions.

Results and discussion

Public understanding of biodiversity was assessed by asking respondents to select the definition that best matched their perspective. Most respondents (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 biodiversity 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 (Fig. 1). These results indicate that most respondents understand biodiversity primarily as an ecological system, although some interpret it through conservation or urban sustainability perspectives.

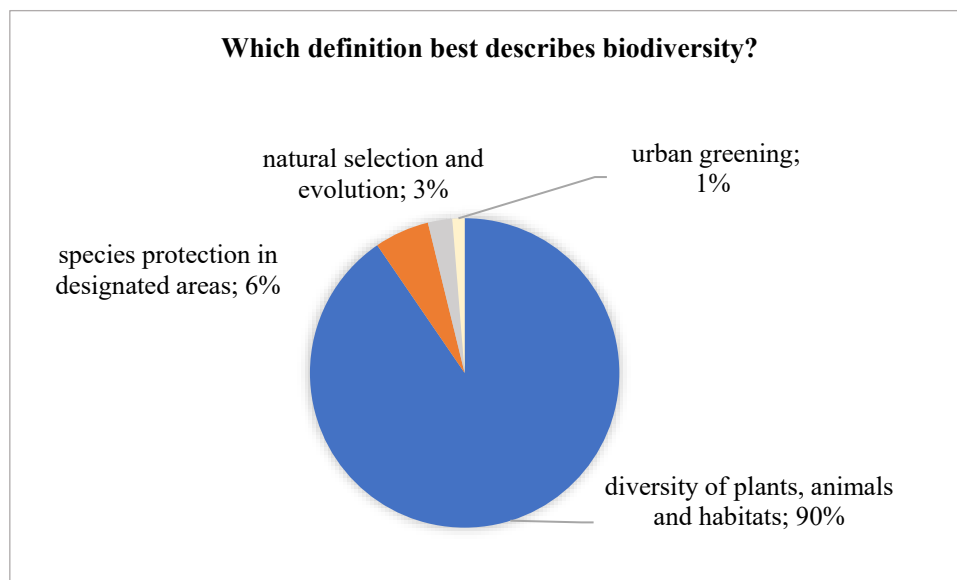


Fig. 1. Respondents' understanding of biodiversity
1 pav. Visuomenės žinios apie biologinę įvairovę

Perceptions of biodiversity loss as a local environmental problem reveal that most participants (106 respondents, 68%) recognise biodiversity loss as an issue in their region. However, 38 respondents (24%) indicated that they do not perceive it as a significant problem, while 13 respondents (8%) reported uncertainty. These findings suggest that although biodiversity loss is widely recognised among respondents, a noticeable proportion of participants remain uncertain about the extent of this issue at the local level.

Concern about environmental challenges, including the climate crisis and biodiversity loss, was explored through an open-ended question asking respondents to explain whether these issues are a source of concern. In total, 86 respondents provided open-ended responses describing their perspectives on these issues. The majority expressed clear concern about biodiversity loss and climate change, frequently referring to ecosystem degradation, the disappearance of species and habitats, and the long-term consequences of environmental change. Several respondents emphasised the importance of preserving biodiversity for future generations and maintaining ecological balance. Some responses also pointed to insufficient public awareness and limited environmental responsibility within society as barriers to effective environmental action.

Attitudes towards policy measures for biodiversity protection show that many respondents recognise the potential importance of institutional action. In total, 39 respondents (24.8%) strongly agreed, and 59 respondents (37.6%) agreed that new policies could contribute to biodiversity protection (Fig. 2). A considerable share of respondents, 41 participants (26.1%), indicated uncertainty about the effectiveness of such measures. Only a small proportion expressed negative opinions, with 12 respondents (7.6%) disagreeing and 6 respondents (3.8%) strongly disagreeing with the statement. These results suggest that while many respondents support policy interventions, a notable level of uncertainty remains regarding their practical effectiveness.

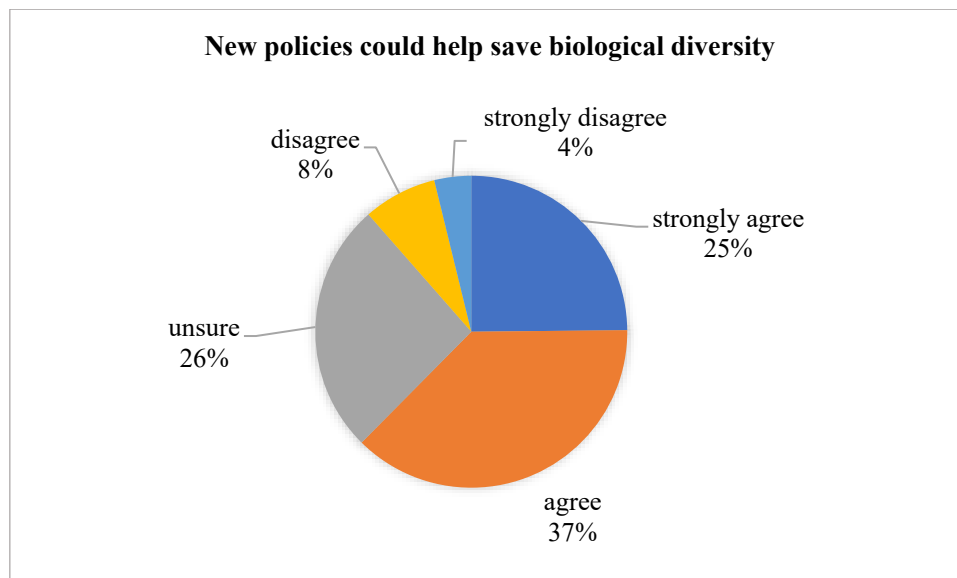


Fig. 2. Respondents' attitudes towards policy measures for biodiversity protection
2 pav. Respondentų požiūris į biologinės įvairovės apsaugos politikos priemones

The relationship between professional activities and environmental understanding was examined by asking respondents whether their profession provides a basic understanding of nature. The majority of respondents indicated that their professional activities contribute to such understanding. In total, 63 respondents (40.1%) strongly agreed, and 49 respondents (31.2%) agreed with this statement. Meanwhile, 30 respondents (19.1%) reported uncertainty, suggesting that their professional activities are not clearly connected to environmental knowledge. Only a small proportion expressed disagreement, with 11 respondents (7.0%) disagreeing and 4 respondents (2.5%) strongly disagreeing with the statement.

Professional challenges related to biodiversity loss and climate change were also evaluated. Environmental issues were perceived as a significant challenge by many respondents. In total, 20 respondents (39.2%) described the issue as challenging, while 7 respondents (13.7%) considered it very challenging. A smaller group indicated that these challenges are less significant, with 10 respondents (19.6%) stating that they are not very challenging and 4 respondents (7.8%) indicating that they are not challenging at all. Meanwhile, 9 respondents (17.6%) reported uncertainty, suggesting that the relevance of environmental challenges may vary depending on professional context.

Competencies required for addressing biodiversity loss and climate-related challenges were also examined. Respondents evaluated several knowledge areas and skills related to environmental problem solving. Environmental science and ecology were widely recognised as essential competencies, with 13 respondents (26%) strongly agreeing and 19 respondents (38%) agreeing that such knowledge is important for a good job candidate. Practical knowledge of biodiversity conservation and nature-based solutions received similarly strong support (21 respondents, 42% strongly agreed; 19 respondents, 38% agreed). Climate science was also considered relevant (10 respondents, 20% strongly agreed; 18 respondents, 36% agreed), although 17 respondents (34%) indicated uncertainty. Sustainability studies (8 respondents, 16% strongly agreed; 23 respondents, 46% agreed) and environmental policy and law (9 respondents, 18% strongly agreed; 20 respondents, 40% agreed) were also viewed as important competencies. Engineering skills were somewhat less emphasised, although 6 respondents (12%) strongly agreed and 20 respondents (40%) agreed that they are relevant. Overall, the results highlight the importance of ecological knowledge and practical biodiversity conservation skills, emphasising the need for interdisciplinary competencies in addressing biodiversity loss and climate-related challenges.

The results of this study indicate that respondents demonstrate a relatively strong understanding of biodiversity and recognise biodiversity loss as an important environmental issue. The majority associated biodiversity primarily with the diversity of species and habitats, reflecting an ecological perspective. Similar patterns have been observed in other studies analysing public perceptions of biodiversity, where respondents most frequently interpret biodiversity through visible ecological elements such as plants, animals, and ecosystems (IPBES, 2019; Seddon et al., 2021). However, the limited recognition of biodiversity's links to evolutionary processes or broader ecological systems suggests that certain aspects of biodiversity remain less understood by the public. This highlights the importance of environmental education in strengthening scientific literacy related to biodiversity and ecosystem functioning.

The findings also reveal that respondents show a considerable level of concern about biodiversity loss and climate change. Many participants referred to ecosystem degradation, species decline, and long-term environmental impacts when explaining their concerns. Similar concerns have been documented in studies examining public perceptions of environmental risks, where biodiversity loss is increasingly recognised as one of the major global environmental challenges (IPCC, 2022; Chan et al., 2023). At the same time, the results indicate that awareness does not always translate into certainty about effective solutions. Although many respondents support policy measures for biodiversity protection, a notable proportion expressed uncertainty about their potential effectiveness. This suggests that while environmental awareness may be relatively high, public confidence in policy responses may still be developing.

Another important finding relates to the role of professional background and competencies in addressing environmental challenges. A large share of respondents indicated that their professional activities contribute to their understanding of environmental issues, and many recognised the importance of ecological knowledge and sustainability-related competencies. These findings support previous research highlighting the importance of interdisciplinary knowledge and professional capacity in implementing effective biodiversity conservation and nature-based solutions (Kiss et al., 2022; Plüschke-Altof et al., 2025). Respondents particularly emphasised the importance of ecological knowledge, sustainability awareness, and practical understanding of biodiversity conservation. This suggests that strengthening environmental education and interdisciplinary competencies may play a key role in translating environmental awareness into meaningful action, supporting both biodiversity protection and the broader implementation of nature-based solutions.

Conclusions

1. Most respondents demonstrate a strong understanding of biodiversity, with over 90% (142 respondents) associating it with the diversity of plants, animals, and habitats. In addition, 68% (106 respondents) recognise biodiversity loss as a local environmental problem, although 24% (38 respondents) do not perceive it as significant.
2. Environmental concern among respondents is evident, as reflected in 86 open-ended responses describing concerns about biodiversity loss and climate change. While 62.4% of respondents support policy measures for biodiversity protection, 26.1% remain uncertain about their effectiveness.
3. Environmental competencies are widely recognised as essential for addressing biodiversity and climate challenges. A large share of respondents emphasised the importance of ecological knowledge and practical biodiversity conservation skills, highlighting the role of interdisciplinary competencies in translating environmental awareness into effective action.

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. 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. 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, 100093. <https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2023.100093>
3. European Commission. (2020). *EU biodiversity strategy for 2030*. https://ec.europa.eu/environment/strategy/biodiversity-strategy-2030_en
4. Nature-based solutions. (2025, September 9). *Research and Innovation*. https://research-and-innovation.ec.europa.eu/research-area/environment/nature-based-solutions_en
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. Jambhekar, R., Satish, R., Sharma, S., Bakhale, G., Ranganathan, P., Naidu, D. G., Deshpande, K., & Krishnaswamy, J. (2026). Nature-based solutions and urban biodiversity conservation in the Global South. *Ecological Indicators*, 183, 114627. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2026.114627>
8. Key, I. B., Smith, A. C., Turner, B., Chausson, A., Girardin, C. a. J., Macgillivray, M., & Seddon, N. (2022). Biodiversity outcomes of nature-based solutions for climate change adaptation: Characterising the evidence base. *Frontiers in Environmental Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.905767>.
9. Kiss, B., Sekulova, F., Hörschelmann, 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>
10. Plüschke-Altof, B., Loewen, B., Calderon, C., Chebotareva, M., Tuula-Fjodorov, R., & Gäckle, J. (2025). Nature-Based solutions and public Participation: Unpacking tensions in sustainable city development in Northern Europe. *Land*, 14(8), 1649. <https://doi.org/10.3390/land14081649>.
11. Seddon, N., Smith, A., Smith, P., Key, I., Chausson, A., Girardin, C., House, J., Srivastava, S., & Turner, B. (2021). Getting the message right on nature-based solutions to climate change. *Global Change Biology*, 27(8), 1518–1546. <https://doi.org/10.1111/gcb.15513>

Anželika Dautartė, Vitas Marozas

Nuo suvokimo prie veikimo: visuomenės motyvacija biologinės įvairovės apsaugai ir gamta grįžtiems sprendimams

Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademija

Biologinės įvairovės nykimas ir klimato kaita kelia reikšmingus aplinkosaugos iššūkius, todėl būtinos veiksmingos priemonės, tokios kaip biologinės įvairovės apsauga ir gamta grįšti sprendimai (GGS). Šiame tyrime, atliktame įgyvendinant programos „Horizon Europe“ projektą „Education and Nature-Based Solutions: Enabling Society to Bend the Curve for Biodiversity“ (eNaBIS), analizuojamas visuomenės sąmoningumas, požiūris ir motyvacija įsitraukti į biologinės įvairovės apsaugą bei gamta grįstų sprendimų taikymą Lietuvoje. Tyrimas pagrįstas internetinės apklausos duomenimis, surinktais iš 157 respondentų Lietuvoje. Rezultatai rodo, kad daugiau kaip 90 % respondentų biologinę įvairovę sieja su augalų, gyvūnų ir buveinių įvairove, o 68 % pripažįsta biologinės įvairovės nykimą kaip vietos aplinkos problemą. Susirūpinimą aplinkos būkle atspindi 86 atviri respondentų atsakymai, kuriuose pabrėžiamas ekosistemų degradavimas ir rūšių nykimas. Nors 62,4 % respondentų palaiko politines biologinės įvairovės apsaugos priemones, 26,1 % abejoja jų veiksmingumu. Tyrimo rezultatai taip pat išryškina aplinkosauginių kompetencijų svarbą, ypač ekologinių žinių ir praktinių biologinės įvairovės apsaugos gebėjimų. Tyrimas pabrėžia būtinybę stiprinti aplinkosauginį švietimą ir tarpdisciplinines kompetencijas, siekiant paversti visuomenės sąmoningumą realiais veiksmais biologinės įvairovės apsaugos ir gamta grįstų sprendimų įgyvendinimo srityje.

Raktiniai žodžiai: aplinkosauginės kompetencijos, aplinkosauginė motyvacija; biologinės įvairovės apsauga; gamta grįšti sprendimai; visuomenės sąmoningumas.

Gauta 2026 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2026 m. balandžio mėn.

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 37 752224, el. paštas: anzelika.dautarte@vdu.lt

Anželika DAUTARTĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Forest Sciences and Ecology, Department of Environment and Ecology, assoc. prof. Address: Studentų g. 11-519, LT-53361 Academy, Kaunas dist. Phone: +370 37 752224, e-mail: anzelika.dautarte@vdu.lt

Vitas MAROZAS Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Miškų ir ekologijos fakulteto Aplinkos ir ekologijos katedros profesorius. Adresas: Studentų g. 11-519, LT-53361 Akademija, Kauno r., tel. +370 37 752224, el. paštas: vitas.marozas@vdu.lt

Vitas MAROZAS. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Forest Sciences and Ecology, Department of Environment and Ecology, professor. Address: Studentų g. 11-519, LT-53361 Academy, Kaunas dist. Phone: +370 37 752224, e-mail: vitas.marozas@vdu.lt

FROM INDUSTRIAL RUINS TO LIVING SYSTEMS: EVALUATING NATURE-BASED SOLUTIONS IN INDUSTRIAL SITE REGENERATION THROUGH CASE STUDIES

Diana Žmėjauskaitė

Kaunas University of Technology, Lithuania

This paper explores the role of nature-based solutions (NbS) in the regeneration of post-industrial sites, focusing on their transformation from industrial ruins into living systems. Through selected case studies, the research evaluates how NbS support ecological processes and reshape relationships between human and non-human actors within regenerated landscapes. The analysis is guided by three interconnected perspectives: biocollaboration, coexistence, and empathy, which frame NbS as more than technical interventions, emphasizing relational and systemic design approaches. By applying a qualitative case study methodology, the paper highlights how NbS can mediate between industrial heritage and emerging ecosystems, challenging anthropocentric regeneration models. The study contributes to discussions on industrial site regeneration by proposing an evaluative perspective grounded in more-than-human and ecologically responsive design.

Keywords: Nature-based-solutions, biocollaboration, coexistence, post-industrial regeneration.

Introduction

Many European countries are currently facing the challenge of how they could approach their historical abandoned territories and reintegrate them into the urban system. While some redeveloped strategies have fragmented these large scale territories, often erasing their industrial identity, other approaches have been more holistic regeneration models that seek to reinterpret their full spatial and ecological potential. In recent years, nature-based solutions (NbS) have gained increasing prominence in European urban regeneration discourse, particularly in the transformation of post-industrial landscapes. However, NbS are frequently framed as technical or infrastructural interventions and are rarely evaluated through a more-than-human lens that considers relational and ecological dimensions.

This paper examines selected European case studies of industrial site regeneration that incorporate NbS, asking: to what extent do nature-based solutions enable the emergence of self-regulating ecosystems within post-industrial landscapes?

Nature-Based Solutions in Industrial Regeneration

The EU defines NbS as solutions that are inspired by or copied from nature. It is also understood as an energy potential resource that could be used for both beneficiaries: humans and non-human actors. However, for NbS to be effective, they must be adapted to local ecological and spatial conditions. Four key principles have been presented in the agenda of NbS: Enhancing sustainable urbanisation, restoring degraded ecosystems, developing climate change adaptation and mitigation, improving risk management and resilience (European Commission. Directorate General for Research and Innovation., 2015). The term encompasses a wide range of interventions, from green to blue infrastructures, aimed at enhancing ecosystem services (Casteli Figueiredo Gallardo & Bond, 2025). However, NbS remains insufficiently defined in certain practical and governance contexts. As Cohen-Shacham et al. (2019) argue, the concept often functions as an “umbrella framework,” encompassing diverse conservation and restoration approaches under a single term.

Brownfields are described as previously used but now abandoned territories. Their regeneration includes sustainable reuse, protection of the environment and regeneration of mostly industrial buildings. Existing structure reformation to new functions, partial demolition, ecological remediation is part of the regeneration term understanding (Matković & Jakovčić, 2019). This understanding shows a long-term process, closely linked to environmental restoration. In this context, NbS intersect with abandoned territories regeneration strategies. Addressing ecological degradation and supporting territorial transformation. Such a process requires interdisciplinary cooperation. In studies it has been proven that applying NbS in brownfields the quality of air, spatial areas, ecosystems indexes are widely improved, but each case is in need of a different approach (Masiero et al., 2022).

From Industrial Ruins to Living Systems

Although NbS could widely be used in regeneration need territories, which will not mean the result will restore the living system. Some approaches show that only the green infrastructure is improved. Green

infrastructure improvement focuses on vegetation that improves air quality, reduces heat islands in specific urban zones, and improves urban environment (Lopes et al., 2025). Ecosystems are dynamic, capable of self-organizing. Living-systems rely on nutrient cycling, water regulation, energy flows and species interaction networks. These systems are not equal to the controlling territories, having an ability to adapt to their changing surroundings (Giordanengo, 2023). Self-regulating systems operate through internal feedback mechanisms and do not require continuous external intervention, distinguishing them from heavily engineered NbS approaches.

Biocollaboration, Coexistence, Empathy

Biocollaboration, as a concept, has been used in science since the 17th century. While it was historically associated with biological processes and resource exchange (Vermeulen et al., 2013) it was the start of expanding the theory beyond natural science. In design and spatial practice, biocollaboration is understood as a strategy that researches the connection between human and non-human actors, integrating the needs of both sides beyond design (Wolfs, 2015).

Coexistence is easily understood by raising a question: how can a variety of different species live together? People often understand or pursue cities as a functioning mechanism rather than a living organism (Prieto Sancho, 2025). Since industrial sites are seen as obsolete fragments in the city. These spaces can become new plots where coexistence can emerge. The strong understanding between two actors and their needs: human and non-human.

Empathy by Cambridge University is described as an ability to understand feelings of others'. However, within design discourse the term remains comparatively underdeveloped and conceptually diffuse. In this research it is understood not merely as an emotion, but a spatial ethical orientation where design decision making includes understanding the needs of both human and non-human actors within regenerative processes.

Methodology

This research aims to examine how nature-based solutions (NbS) are applied within the regeneration of abandoned industrial areas. To explore this, nine European case studies were selected (Table 1) for comparative analysis. The focus lies in identifying connections between NbS implementation strategies, types of intervention, historical context, industrial origin, and the potential for ecological autonomy.

The primary selection criterion was the industrial character of the site prior to regeneration. While no rigid typological framework was imposed, climatic comparability within the European context was considered to ensure contextual relevance. The selected cases vary in scale, intervention intensity, and heritage status, allowing for a broader analytical perspective and enabling the identification of recurring design tendencies and relational patterns.

Ecological autonomy potential was assessed based on the degree to which natural processes are allowed in the territory to self-organize with minimal human intervention. Sites were categorized as:

- *Very High* indicates predominantly spontaneous ecological succession and minimal engineered management.
- *High* reflects strong ecological processes supported by design but not fully controlled by it.
- *Medium* and *Medium-High* denote hybrid conditions where ecological systems coexist with structured spatial programming.
- *Low-Medium* suggests primarily engineered or spatially controlled ecological elements with limited autonomous development.

The scale is constructed to identify tendencies across all studied cases rather than establishing fixed measurements.

Table 1. Comparative Evaluation of selected Post-Industrial Sites. *Self-Regulating Ecosystems - Self-regulating ecosystems are post-industrial landscapes in which ecological processes operate with relative autonomy, maintaining biodiversity, hydrological cycles, and soil dynamics without continuous intensive human control

1 lentelė. Atrinktų industrinių teritorijų palyginimas. *Savireguliuojančios ekosistemos – savireguliuojančios ekosistemos, kuriose ekologiniai procesai veikia santykinai savarankiškai, išlaikydami biologinę įvairovę, hidrologinius ciklus ir dirvožemio dinamiką be nuolatinės intensyvios žmogaus kontrolės

Case study	Country / City	Industrial Origin	Year Built	Heritage Status	Regeneration Period	Current Function	NbS Implemented	Intervention type (Active / Passive / Hybrid)	*Ecological Autonomy (Self-Regulation Potential)
Landschaftspark Duisburg-Nord	Germany, Duisburg	Steel plant	1901	Industrial heritage (not UNESCO, but protected within IBA context)	1990s	Ecological park	Succession, water systems, habitat mosaic	Hybrid (strong passive elements)	High
Natur-Park Schöneberger Südgelände	Germany, Berlin	Railway yard	19th century	Protected landscape & industrial remnants	1990s - 2000	Protected urban nature park	Preserved succession, habitat conservation	Mostly Passive	Very High
Walthamstow Wetlands	UK, London	Water reservoirs	Late 19th century	Historic Victorian infrastructure	2010s	Urban wetland reserve	Wetland restoration, biodiversity	Hybrid	High
Western Harbour (Västra Hamnen)	Sweden, Malmö	Shipyard	20th century	Partial industrial memory, not strongly protected	2001	Sustainable district	SUDS, green roofs, renewable systems	Active	Medium (engineered)
Parc des Docks	France, Saint-Ouen	Industrial storage zone	20th century	No major heritage status	2000s	Ecological urban park	Stormwater filtration, habitat creation	Active	Medium-High
Parc des Chantiers	France, Nantes	Shipyard / port	20th century	Retained industrial cranes as heritage elements	2000s	Waterfront public park	River edge restoration, vegetation systems	Hybrid	Medium
Gasometer City	Austria, Vienna	Gas storage tanks	1896-1899	Protected industrial monuments	1999 - 2001	Mixed-use complex	Green courtyards, limited green integration	Active	Low-Medium
Völklinger Hütte	Germany, Völklingen	Iron & steel works	1873	UNESCO World Heritage Site	1990s	UNESCO heritage site	Natural colonisation	Mostly Passive	Medium-High
Spoorpark	Netherlands, Tilburg	Railway / storage area	20th century	No formal heritage protection	2019	Urban ecological park	Soil recovery, water systems, biodiversity planting	Active	Medium

Findings

The comparison analysis of the selected areas revealed patterns of NbS within the regeneration design of each area. While nature-based solutions are applied to all of the case studies, some show significantly stronger patterns than others. As well as the intensity of intervention and ecological autonomy. Higher ecological autonomy is seen in Natur-Park Schöneberger Südgelände and Völklinger Hütte cases. Here it is seen as a central role of natural succession and biodiversity development. These areas are pursued with a low human intervention.

The opposite is seen in Western Harbour and Gasometer City cases, where NbS qualities are seen, but they are integrated as an engineering approach. Here, ecological systems are embedded within planned spatial frameworks and remain partially dependent on design and management interventions.

Finally there are some hybrid approaches, for example Landschaftspark Duisburg-Nord and Parc des Chantiers, where the historical structures coexist together with natural ecological processes. These cases require minimal human intervention for it to flourish.

Overlooking through these cases, the degree of ecological autonomy differs, but it seems to be closely related to the level of special flexibility and tolerance to the unexpected ecological processes. Cases that are closer to water, further from dense city parts are seem to be more likely to have higher ecological autonomy than others (Figure 1).

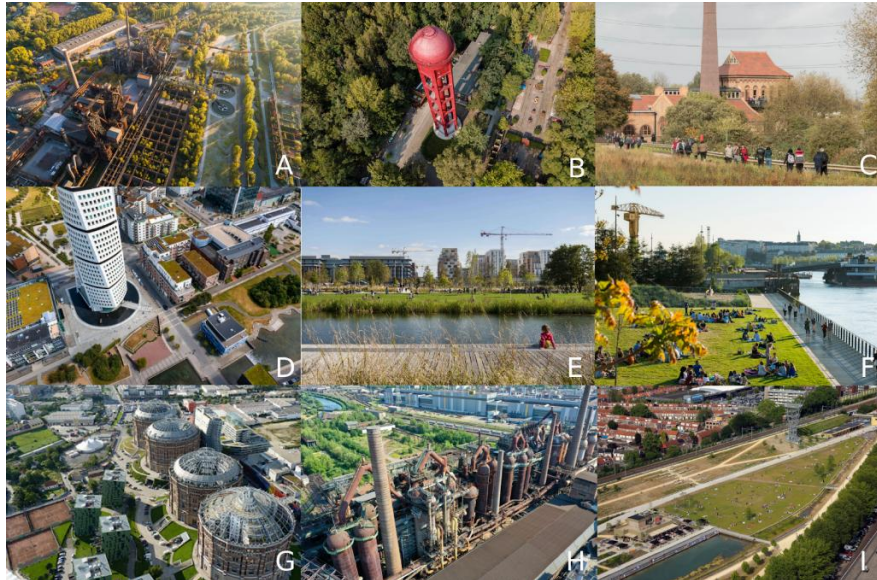


Fig. 1. A – Landschaftspark Duisburg-Nord, B – Natur-Park Schöneberger Südgelände, C – Walthamstow Wetlands, D – Western Harbour (Västra Hamnen), E – Parc des Docks, F – Parc des Chantiers, G – Gasometer City, H – Völklinger Hütte, I – Spoorpark

1 pav. A – Landschaftspark Duisburg-Nord, B – Natur-Park Schöneberger Südgelände, C – Walthamstow Wetlands, D – Western Harbour (Västra Hamnen), E – Parc des Docks, F – Parc des Chantiers, G – Gasometer City, H – Völklinger Hütte, I – Spoorpark

Conclusion

1. This study demonstrates that the application of NbS in post-industrial regeneration does not automatically result in the emergence of a self-regulating ecosystem. The cases revealed that ecological autonomy depends on how regeneration frameworks position natural processes within spatial design. Projects that allow ecological succession and environmental dynamics to unfold with limited control tend to support stronger ecological autonomy and more balanced relationships between human and non-human actors.
2. On the contrary, highly engineered NbS implementations often function primarily as environmental infrastructure embedded within planned urban systems. While these approaches improve environmental performance, they may limit the development of autonomous ecological processes. The findings suggest that the transformative potential of NbS in post-industrial landscapes lies not only in their technical application, but in the degree to which regeneration strategies allow ecological processes to actively shape spatial outcomes.
3. These results highlight the importance of shifting from purely technical interpretations of NbS toward relational and systemic approaches that acknowledge ecological agency within urban regeneration. Future research could expand the comparative framework by incorporating a broader range of European post-industrial sites in order to further examine how spatial conditions influence the emergence of self-regulating ecosystems.

References

1. 20th Century ARCHITECTURE. (n.d.). *Gasometer A*. <https://architecture-history.org/architects/architects/NOUVEL/OBJ/1995-2001,%20Gasometer%20A,%20Vienna,%20Austria.html>
2. Cambridge University Press. (n.d.). *Empathy*. In Cambridge Dictionary. <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/empathy>
3. Casteli Figueiredo Gallardo, A. L., & Bond, A. (2025). A Nature-based Solutions Framework for Embedding Climate Change Mitigation and Adaptation into Urban Land Use Plans through Strategic

- Environmental Assessment (SEA). *Environmental Management*, 75(2), 256–271. <https://doi.org/10.1007/s00267-024-02073-2>
4. European Commission. Directorate General for Research and Innovation. (2015). *Towards an EU research and innovation policy agenda for nature-based solutions & re-naturing cities: Final report of the Horizon 2020 expert group on 'Nature based solutions and re naturing cities': (full version)*. Publications Office. <https://doi.org/10.2777/765301>
5. Gasometer. (n.d.). *Die Wiener Gasometer – Eine Zeitreise*. <http://www.gasometer-city.eu/geschichte.htm>
6. Giordanengo, J. H. (2023). The Foundational Components of Self-Regulating (Sustainable) Economies and Ecosystems: Implications for Green Infrastructure and Economic Restoration. *Land*, 12(11), 2044. <https://doi.org/10.3390/land12112044>
7. IMMO9. (n.d.). *Focus Sur Le Parc Des Chantiers à Nantes*. <https://www.nantesimmo9.com/actualites/urbanisme-architecture/parc-des-chantiers-nantes>
8. Landscape architecture platform. (n.d.). *Landschaftspark Duisburg Nord*. Retrieved Landschaftspark Duisburg Nord
9. Landschaftspark Duisburg-Nord. (n.d.). *Landschaftspark Duisburg-Nord*. <https://www.route-industriekultur.ruhr/en/ankerpunkte/landschaftspark-duisburg-nord/>
10. London Wildlife Trust. (n.d.). *Walthamstow Wetlands*. <https://www.wildlondon.org.uk/nature-reserves/walthamstow-wetlands>
11. Lopes, H. S., Vidal, D. G., Cherif, N., Silva, L., & Remoaldo, P. C. (2025). Green infrastructure and its influence on urban heat island, heat risk, and air pollution: A case study of Porto (Portugal). *Journal of Environmental Management*, 376, 124446. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.124446>
12. Malmo Stad. (n.d.). *Western Harbour*. Retrieved www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjG_2OySAXpFRAIHRi1LEEQFnoECAwQAQ&url=https%3A%2F%2Fmalmo.se%2FWelcome-to-Malmo%2FSustainable-Malmo%2FSustainable-Urban-Development%2FWestern-Harbour.html&usg=AOvVaw0wDPjodPblwNNgZybiFChn&opi=89978449
13. Masiero, M., Biasin, A., Amato, G., Malaggi, F., Pettenella, D., Nastasio, P., & Anelli, S. (2022). Urban Forests and Green Areas as Nature-Based Solutions for Brownfield Redevelopment: A Case Study from Brescia Municipal Area (Italy). *Forests*, 13(3), 444. <https://doi.org/10.3390/f13030444>
14. Matković, I., & Jakovčić, M. (2019). Brownfield prostori i njihova regeneracija: Definicije i pristupi. *Prostor*, 27(2 (58)), 348–359. [https://doi.org/10.31522/p.27.2\(58\).13](https://doi.org/10.31522/p.27.2(58).13)
15. Natur Park. (n.d.). [Natur park]. Retrieved <https://www.natur-park-suedgelaende.de/>
16. Philippe, O., Hössler, M., & Agence Ter, H. B. (n.d.). *Biennal international de Paisatge Barcelona*. Parc Des Docks. Retrieved <https://landscape.coac.net/en/node/1794>
17. Reyes, M. G. C., Tung, C.-P., & Sun, S.-J. (2025). Conceptual framework for nature-based solutions: A systematic review and co-occurrence analysis. *Nature-Based Solutions*, 8, 100276. <https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2025.100276>
18. Seine-Saint-Denis Tourisme. (n.d.). *Les Docks de Saint-Ouen*. <https://www.tourisme93.com/les-docks-de-saint-ouen.html>
19. South East Hertfordshire Local Group. (n.d.). *Walthamstow Wetlands*. <https://group.rspb.org.uk/southeasthertfordshire/local-wild-places/walthamstow-wetlands>
20. Spoorpark. (n.d.). Spoorpark. Retrieved <https://spoorparktilburg.nl/>
21. UNESCO World Heritage Convention. (n.d.). *Völklingen Ironworks*. <https://whc.unesco.org/en/list/687/>
22. Vermeulen, N., Parker, J. N., & Penders, B. (2013). Understanding life together: A brief history of collaboration in biology. *Endeavour*, 37(3), 162–171. <https://doi.org/10.1016/j.endeavour.2013.03.001>
23. Vienna direct. (n.d.). *Gasometer City*. <https://www.viennadirect.com/sights/gasometer.php>
24. Visit Berlin. (n.d.). *Natur-Park Südgelände*. <https://www.visitberlin.de/de/natur-park-suedgelaende>
25. Wolfs, E. L. M. (2015). Biophilic Design and Bio-Collaboration. *Archives of Design Research*, 113(1), 71. <https://doi.org/10.15187/adr.2015.02.113.1.71>

Received March, 2026, published April, 2026

Diana ŽMĖJAUSKAITĖ. Kaunas University of Technology, Faculty of Civil Engineering and Architecture, lec., Address: Studentų g. 48, LT-51367, Kaunas Phone: +370 61 222937, e-mail: diana.zmejauskaite@ktu.lt

BLOGOS MELIORACINĖS BŪKLĖS PLOTŲ IDENTIFIKAVIMO ERDVINIŲ DUOMENŲ RINKINIUOSE PALYGINIMAS

Jolanta Valčiukienė¹, Daiva Juknelienė¹, Giedrius Balevičius^{1, 2}, Vilimantas Vaičiukynas²

¹Vytauto Didžiojo universitetas, ²Lietuvos inžinerijos kolegija

Lietuvoje melioruotos žemės sudaro apie 47 proc. šalies teritorijos, tačiau dėl nusidėvėjusių drenažo sistemų kasmet didėja blogos melioracinės būklės plotai, todėl jų identifikavimas ir analizė yra svarbi tvaraus žemės naudojimo ir žemės ūkio veiklos planavimo prielaida. Straipsnio tikslas – atlikti blogos melioracinės būklės plotų identifikavimo erdvinį duomenų rinkiniuose palyginimą. Tyrime analizuoti Lietuvos Respublikos žemių melioracinės būklės ir užmirkimo erdvinį duomenų rinkinio MEL_DR10LT, Georeferencinio pagrindo kadastro (GRPK) ir deklaruojamų žemės ūkio naudmenų duomenys. Nustatyta, kad 2024 metais Lietuvoje blogos melioracinės būklės plotai sudarė 164 571,66 ha, arba 6,2 proc. sausinamo ploto. Didžioji jų dalis koncentruojasi dirbamos žemės plotuose (73,53 proc.), o 77 proc. šių teritorijų yra deklaruojamos žemės ūkio naudmenos. Blogos melioracinės būklės teritorijose daugiausia deklaruojami žieminiai javai (30,61 proc.), taip pat rapsai (10,91 proc.) ir ankštiniai javai (6,87 proc.). Atskirose savivaldybėse blogos melioracinės būklės teritorijose deklaruotų pasėlių grupių erdvinis pasiskirstymas nėra vienodas, tačiau nustatytos tendencijos iš esmės atitinka bendrą situaciją Lietuvoje.

Raktiniai žodžiai: blogos melioracinės būklės plotai, erdviniai duomenų rinkiniai, blogos melioracinės būklės identifikavimas, deklaruojamos žemės ūkio naudmenos, georeferencinio pagrindo kadastras.

Įvadas

Lietuva priklauso perteklinio dirvožemio drėgnumo regionui, todėl melioracijos (dreanažo) sistemos šalyje yra itin plačiai išvystytos. Melioracijos požiūriu Lietuva laikoma išskirtine šalimi, nes didelė jos teritorijos dalis nusausinga dirbtinėmis drenažo sistemomis (Povilaitis ir kt., 2018). Pernelyg drėgnos žemės sudaro apie 52 proc. šalies teritorijos (Valstybės įmonė..., 2024), todėl tokios žemės gali būti efektyviai naudojamos žemės ūkio veiklai ar infrastruktūros plėtrai tik jas nusauginus ir užtikrinus tinkamą drenažo sistemų funkcionavimą. Tyrimai rodo, jog efektyviai veikiantys melioracijos įrenginiai sudaro sąlygas žemės ūkio veiklos plėtrai (Yannopoulos et al., 2020; Jacobsson, 2024), palaiko žemės ūkio naudmenų produktyvumą (Hälbac-Cotoară-Zamfir et al., 2022), užtikrina optimalias dirvožemio aeracijos ir drėgmės sąlygas augalų augimui (Kirkham, 2005; Jeffrey, Strock 2010; Miseckaitė, 2019), palengvina dirvos dirbimą ir derliaus nuėmimą (Dijksma, 1997; Maustafa, 2000; Schilling et al., 2012), taip pat prisideda prie neigiamų klimato kaitos padarinių švelninimo (Rokochinskiy et al., 2021).

Pagal melioruotų žemių santykį su dirbamų žemių plotais Lietuva ilgą laiką buvo viena iš daugiausiai melioruotų žemių turinčių valstybių. Bendras melioruotų žemių plotas siekia daugiau kaip 2 976 tūkst. ha, iš kurių apie 2 574 tūkst. ha nusausinga drenažo sistemomis. Tai sudaro apie 47 proc. šalies teritorijos arba net apie 87 proc. visų žemės ūkio naudmenų (Valstybės įmonė..., 2024). Šiose teritorijose pagaminama didžioji dalis – apie 90 proc. – visos šalies žemės ūkio produkcijos. Tačiau dauguma melioracijos sistemų buvo įrengtos prieš kelis dešimtmečius, todėl jų techninė būklė palaipsniui blogėja. Drenažo statinių ir sistemų projektinis tarnavimo laikas dažniausiai siekia apie 50 metų, tačiau daugelyje Lietuvos vietovių melioracijos sistemos yra stipriai nusidėvėjusios, o kai kuriose teritorijose – visiškai susidėvėjusios dėl nepakankamos priežiūros, tam labai trūksta ir tinkamo finansavimo (Valstybės įmonė..., 2021). Nepakankamas finansavimas melioracijos sistemų priežiūrai ir rekonstrukcijai lemia vis spartėjantį šių inžinerinių statinių būklės blogėjimą. Lietuvos Respublikos žemės ūkio ministerijos duomenimis, iki 2023 m. melioracijos sistemų rekonstrukcijai skiriamos lėšos sudarė tik 1–5 proc. šių statinių nusidėvėjimo vertės. Dėl tokio finansavimo trūkumo kasmet didėja žemės plotai, kuriuose drenažo sistemos nebeužtikrina tinkamo vandens režimo, o tai didina tiek žemės ūkio naudmenų užmirkimo – produktyvumo mažinimo, tiek gyvenamųjų teritorijų užtvindymo riziką (Valstybės įmonė..., 2024). Skaičiuojama, kad nepriklausomai nuo auginamos kultūros, nusausingų žemės ūkio naudmenų produktyvumas ekonominiu požiūriu yra maždaug tris kartus didesnis, o netinkamai veikiantis ar neįrengtas drenažas gali lemti iki 20 proc. derliaus nuostolių (Katinas, 2016). Todėl efektyvus melioracijos sistemų valdymas ir jų būklės stebėseną tampa svarbia žemės ūkio politikos ir teritorijų planavimo dalimi.

Siekiant racionaliai planuoti melioracijos infrastruktūros rekonstrukciją ir priežiūrą, būtina turėti patikimą ir aktualią informaciją apie melioracijos sistemų būklę bei probleminių teritorijų erdvinį pasiskirstymą. Pastaraisiais metais Lietuvoje kuriami ir tobulinami įvairūs erdviniai duomenų rinkiniai, leidžiantys identifikuoti užmirkusias ir blogos melioracinės būklės teritorijas, atlikti jų monitoringą bei analizuoti jų sąsajas su žemės naudojimo struktūra. Vienas iš tokių duomenų šaltinių yra Lietuvos Respublikos žemių melioracinės būklės ir užmirkimo erdvinį duomenų rinkinys MEL_DR10LT. Tačiau siekiant visapusiškai

įvertinti šių teritorijų reikšmę žemės ūkiui ir žemės naudojimui, svarbu šiuos duomenis analizuoti kartu su kitais nacionaliniais erdviniais duomenų rinkiniais.

Todėl, *straipsnio tikslas* – atlikti blogos melioracinės būklės plotų identifikavimo erdvinį duomenų rinkiniuose palyginimą. Toks kompleksinis erdvinį duomenų palyginimas leidžia sistemingai įvertinti skirtingų erdvinį duomenų rinkinių tarpusavio sąsajas ir jų taikymo galimybes identifikuojant blogos melioracinės būklės plotus. Taip pat labai svarbu identifiкуoti, kaip melioracijos būklės duomenys siejasi su faktiniu žemės naudojimu, žemės ūkio naudmenų struktūra bei deklaruojamų pasėlių pasiskirstymu skirtinguose teritoriniuose lygmenyse. Toks integruotas požiūris yra svarbus siekiant ne tik tiksliau identifiкуoti problemines teritorijas, bet ir įvertinti jų poveikį žemės ūkio veiklai bei teritorijų planavimui.

Tyrimų metodika

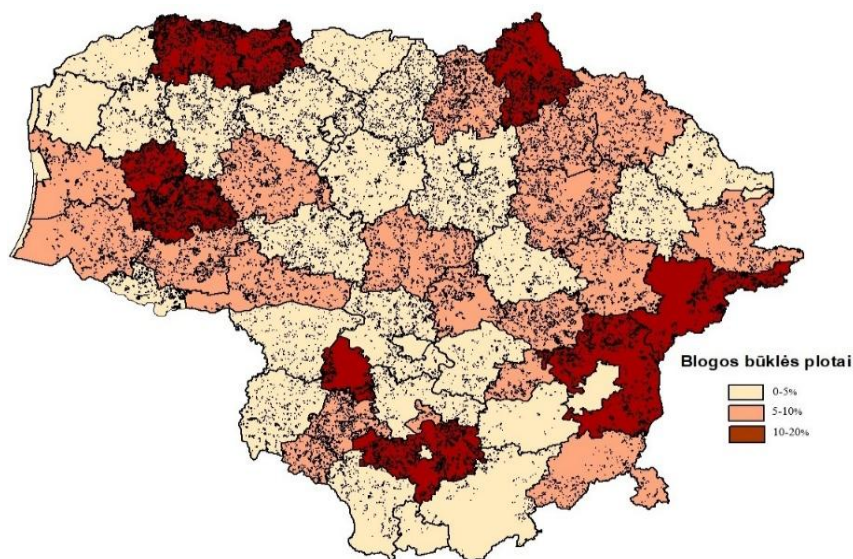
Blogos melioracinės būklės plotų identifikavimo palyginimas buvo atliktas analizuojant Lietuvos Respublikos teritorijos žemių melioracinės būklės ir užmirkimo erdvinį duomenų rinkinio (Mel_DR10LT) 2024 metų, Georeferencinio pagrindo kadastro erdvinį duomenų rinkinio (toliau – GRPK) ir Lietuvos Respublikos teritorijos žemės ūkio naudmenų ir pasėlių plotų, auginamų žemės ūkio augalų 2025 metų duomenis. Šie duomenų rinkiniai yra Žemės išteklių stebėsenos informacinės sistemos, kaip Lietuvos Respublikos žemių melioracinės būklės ir užmirkimo erdvinį duomenų rinkinys MEL_DR10LT bei Lietuvos erdvinės informacijos duomenų portalo – GRPK ir Lietuvos Respublikos teritorijos žemės ūkio naudmenų ir pasėlių plotų, auginamų žemės ūkio augalų erdvinį duomenų rinkinys – dalis, kurie viešai prieinami per portalą www.geoportal.lt ir www.zisis.lt.

Tyrimo rezultatai buvo pasiekti dviejų pagrindinių etapų metu. Pirmojo etapo metu analizuojant teritorijas Lietuvoje, kuriose yra įrengtos melioracijos sistemos, remiantis MEL_DR10LT duomenų rinkinio duomenimis buvo identifiкуoti ir nustatyti Lietuvos ir atskirų jos savivaldybių blogos melioracinės būklės/neveikiančio drenažo sistemų plotai, nustatyti jų pagrindiniai pažeidimų tipai bei numatomos blogos melioracinės būklės plotų remonto, rekonstrukcijos ar jų išbraukimo iš apskaitos (nurašymo) apimtys. Antrojo tyrimų etapo metu (palyginimo) buvo nustatyta ir apskaičiuota (ha ir procentine išraiška), kokie žemės naudmenų tipai patenka į blogos melioracinės būklės teritorijas pagal GRPK ir kokios deklaruojamos kultūros pagal Lietuvos Respublikos teritorijos žemės ūkio naudmenų ir pasėlių plotų, auginamų kultūrų 2025 metų duomenimis.

Iš esmės blogos melioracinės būklės plotų identifikavimo ir jų palyginimo su kitais erdvinį duomenų rinkiniais metu buvo taikyti geografinių informacinių sistemų pagrindu paremti erdvinės duomenų analizės metodai, taip pat naudoti duomenų sintezės, lyginamosios analizės bei apibendrinimo metodai. leidę surinkti, analizuoti, susisteminti, palyginti ir pateikti duomenis lentelių bei grafinių vaizdų – paveikslų pavidalu.

Rezultatai ir aptarimas

Nustatyta, jog blogos melioracinės būklės plotai Lietuvoje 2024 metais bendrai sudarė 164 571,66 ha arba 6,2 proc. sausinamo teritorijos ploto. Atskirose Lietuvos savivaldybėse tokių plotų apimtys skiriasi (1 pav.).



1 pav. Blogos melioracinės būklės plotai ir jų pasiskirstymas Lietuvos savivaldybėse pagal 2024 metų Mel_DB10LT duomenis

Fig. 1. Areas with poor land reclamation condition and their distribution across municipalities of the Republic of Lithuania, based on 2024 Mel_DB10LT dataset

Mažiausi blogos melioracinės būklės plotai yra praktiškai vidurio Lietuvos savivaldybėse ir kituose 1 pav. vos gelsva spalva pažymėtose savivaldybėse, kur iš esmės vystomas intensyvus žemės ūkis ir tam tose savivaldybėse yra palankios sąlygos. Tuo tarpu didžiausi blogos melioracinės būklės plotai yra Švenčionių rajono savivaldybėje (18,3 proc.). Taip pat nemaži blogos melioracinės būklės plotai yra Vilnius rajono (14,2 proc.), Pagėgių (14,1 proc.), Rietavo (13,8 proc.), Mažeikių rajono (13,1 proc.), Alytaus rajono (12,2 proc.), Biržų ir Akmenės rajonų (po 11,9 proc.), Kazlų Rūdos (11,7 proc.), Kelmės (9,9 proc.) ir Jonavos rajonų (9,7 proc.) savivaldybėse.

Pagrindinė ir reikšmingiausia blogos melioracinės būklės plotų priežastis Lietuvoje – tai žemės ūkio naudmenos neveikiančio drenažo plote, apaugusios mišku ir krūmais (DK) – 33876,05 ha, taip pat svari priežastis – žemės ūkio naudmenos neveikiančio drenažo plote virtusios pelkė (DP) – 32311,26 ha ir drenuotas plotas, užstatytas statiniais, arba jame nutiesti keliai ar kitos komunikacijos (DU) – 9660,80 ha (1 lentelė). Likusios blogos melioracinės būklės priežastys yra mažesnės. Situacija atskirose Lietuvos savivaldybėse iš esmės atitinka visos Lietuvos tendencijas.

1 lentelė. Blogos melioracinės būklės plotai Lietuvoje pagal pažeidimų tipus remiantis MEL_DR10LT duomenų rinkinio 2024 metų duomenimis

Table 1. Areas with poor land reclamation condition in Lithuania by type of damage, based on 2024 MEL_DR10LT dataset

Bendras plotas, ha <i>Total Area, ha</i>	Pažeidimų tipai / <i>Types of Injuries</i>						
	DK	DM	DP	DZ	DG	DA	DU
62560,67	33876,05	2838,08	32311,26	388,74	5631,82	5631,82	9660,80

Paaiškinimai: DK – žemės ūkio naudmenos neveikiančio drenažo plote, apaugusios mišku ir krūmais, DM – užmirkęs drenuotas plotas, DP – žemės ūkio naudmenos neveikiančio drenažo plote virtusios pelkė, DZ – žemės ūkio naudmenos neveikiančio drenažo plote, DG – grunto įsiurbimo duobės drenažo rinktųvų trasose, DA – drenuotas plotas, pagal teritorijų planavimo dokumentą ar žemėtvarkos projektą apšodintas mišku arba inventorizuotas kaip miškas, DU – drenuotas plotas, užstatytas statiniais, arba jame nutiesti keliai ar kitos komunikacijos.

Remiantis 2024 metų MEL_DR10LT duomenų rinkinio duomenimis nustatyta, jog perspektyvoje blogos melioracinės būklės plotai numatomi remontuoti, rekonstruoti ar juos išbraukti iš apskaitos apimtimi pateiktoje 2 lentelėje.

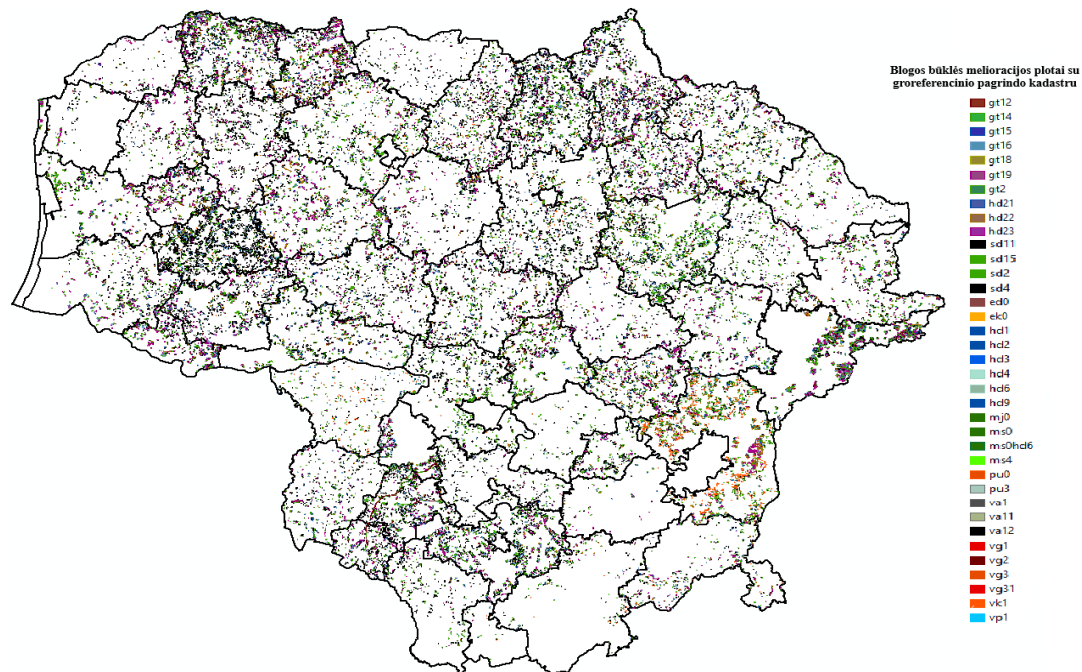
2 lentelė. Melioruotų plotų (ha) remonto, rekonstrukcijos ar išbraukimo tikslingumas pagal MEL_DR10LT 2024 metų duomenis

Table 2. Expediency of repair, reconstruction or deletion of reclaimed areas (ha) based on the MEL_DR10LT 2024 dataset

Teritorija <i>Territory</i>	Blogos būklės plotas, ha <i>Areas with poor land reclamation condition, ha</i>	Iš jų numatoma <i>It is expected from them</i>		
		remontuoti <i>repair</i>	rekonstruoti <i>reconstruction</i>	išbraukti iš apskaitos <i>deletion of reclaimed areas</i>
Iš viso Lietuvoje <i>Total in Lithuania</i>	164571,66	27571,07	39203,58	8331,05

Kaip matyti iš pateiktų duomenų, Lietuvoje blogos melioracinės būklės plotų didžiausią dalį (39203,58 ha) sudaro numatomi rekonstruoti plotai, kiek mažesnę dalį – 27571,07 ha – numatomi remontuoti ir tik 8331,05 ha numatoma išbraukti iš apskaitos. Tačiau, atkreiptinas dėmesys į tai, jog duomenis apie blogos melioracinės būklės plotus pateikusių visos 52 savivaldybės, kurios privalo tai padaryti, tačiau beveik puse savivaldybių (25), tik identifikuoja, jog turi blogos melioracinės būklės plotų ir pakankamai nemažai, tačiau nėra numatę (nepateikia duomenų) ką planuoja su šiomis teritorijomis daryti.

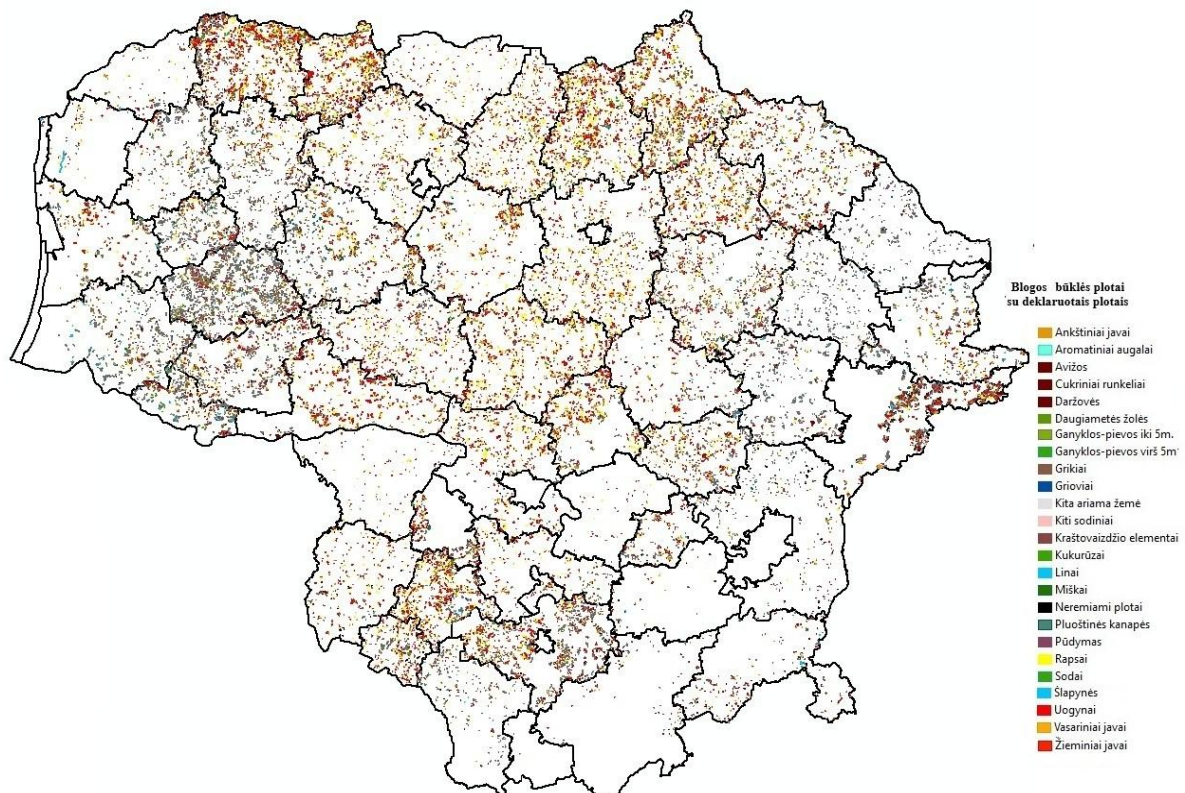
Sekančiu tyrimo etapu atlikus MEL_DR10LT duomenų rinkinio ir GRPK palyginimo tyrimą nustatyta, jog blogos melioracinės būklės plotai pagal atskiras georeferencinio pagrindo grupes sudaro 165 549,18 ha. Pastebėta, kad procentine užimamo ploto išraiška, blogos melioracinės būklės plotai koncentravosi blokuose dažniausiai susijusiuose su dirbama žeme (73,53 proc.), pievomis ir ganyklomis (7,92 proc.) bei medžių ir krūmų želdiniais (6,99 proc.). Blogos melioracinės būklės žemės naudmenų erdvinis pasiskirstymas atskirose Lietuvos savivaldybių teritorijose yra nevienodas (2 pav.). Didžiausi blogos melioracinės būklės plotai koncentruojasi dirbamos žemės (sd11) ir pievų bei natūralių ganyklų (sd2) plotuose Šilalės, Mažeikių, Pasvalio, Akmenės, Kalvarijos ir Marijampolės savivaldybėse. Tačiau labiausiai išsiskiria Vilniaus rajono savivaldybė, kur didžiausi blogos melioracinės būklės plotai yra nustatyti užstatytos teritorijos (pu0) blokuose bei Anykščių rajono savivaldybė, kur didžiausi blogos melioracinės būklės plotai nustatyti medžių ir krūmų želdinių teritorijose (sd15). Taip pat pastebima, kad savivaldybėse, kuriose yra mažiausi blogos melioracinės būklės plotai (tokiose kaip Trakų, Varėnos, Kretingos) pagal GRPK atskirų blokų išsidėstymas neišryškėja.



2 pav. Lietuvos Respublikos blogos melioracinės būklės plotų pagal žemės naudmenas (GRPK_plotai) erdvinis pasiskirstymas atskirose Lietuvos savivaldybėse 2025 metais

Fig. 2. Spatial distribution of poor land reclamation conditions areas by land use (GRPK_areas) in the municipalities of the Republic of Lithuania in 2025

Taip pat MEL_DR10LT duomenų rinkinio duomenys buvo palyginti ir su Lietuvos Respublikos teritorijos žemės ūkio naudmenų ir pasėlių plotų, auginamų žemės ūkio augalų duomenimis. Nustatyta, jog net 77 proc. blogos melioracinės būklės plotuose yra deklaruojamos žemės naudmenos, likusiuose 33 proc. deklaravimo duomenys nefiksuoti (3 pav.).



3 pav. Lietuvos Respublikos blogos melioracinės būklės teritorijose deklaruotų pasėlių plotų erdvinis pasiskirstymas pagal 2025 metų duomenis

Fig. 3. Spatial distribution of declared crop areas in poorly drained land-reclamation areas of the Republic of Lithuania, based on 2025 data

Kaip matyti iš 3 pav. blogos melioracinės būklės teritorijose deklaruotų atskirų pasėlių grupių plotų erdvinis pasiskirstymas atskirose Lietuvos savivaldybėse yra nevienodas. Didžiausia žieminių javų, rapsų deklaruotų plotų koncentracija pastebima Mažeikių, Akmenės, Marijampolės, Pasvalio savivaldybėse bei ypatingai Švenčionių rajono savivaldybės vidurio, pietrytinėje ir šiaurės rytinėje dalyje. Iš esmės šiuo atveju, išsiskiria tos pačios jau minėtos ankščiau savivaldybės (kaip Mažeikių, Pasvalio, Akmenės, Marijampolės), kuriuose koncentruojasi didžiausi blogos melioracinės būklės dirbamos žemės (sd11) plotai.

Išanalizavus detaliau deklaruotų pasėlių struktūrą blogos melioracinės būklės plotuose, nustatyta, kad beveik daugiau kaip trečdalį (30,61 proc.) deklaruotų kultūrų sudaro žieminiai javai, mažiau – rapsai (10,91 proc.) ir ankštiniai javai (6,87 proc.). Taip pat nemažą dalį užima deklaruotos ganyklos ir pievos virš 5 metų (18,39 proc.) ir iki 5 metų (5,66 proc.) (3lentelė).

3 lentelė. Lietuvos Respublikos blogos melioracinės būklės teritorijose deklaruoti pasėliai pagal 2025 metų duomenis

Table 3. Crops declared in areas with poor land reclamation conditions in the Republic of Lithuania, based on 2025 data

Deklaruotų plotų grupės <i>Groups of declared areas</i>	Plotas <i>Area</i>	
	ha	%
Ankštiniai javai	8689,27	6,87
Aromatiniai augalai	210,54	0,17
Avižos	5159,73	4,08
Cukriniai runkeliai	422,68	0,33
Daržovės	586,62	0,46
Daugiametės žolės	4973,58	3,93
Ganyklos-pievos iki 5 m	7161,27	5,66
Ganyklos-pievos virš 5 m.	23259,67	18,39
Grikliai	2161,70	1,71
Grioviai	6,70	0,01
Kita ariama žemė	2624,12	2,07
'Kiti sodiniai	577,96	0,46
Kraštovaizdžio elementai	408,01	0,32
Kukurūzai	3023,72	2,39
Linai	70,49	0,06
Miškai	1480,73	1,17
Neremiami plotai	1163,93	0,92
Pluoštinės kanapės	83,76	0,07
Pūdymas	1410,51	1,12
Rapsai	13805	10,91
Sodai	343,78	0,27
Šlapynės	1886,46	1,49
Uogynai	536,91	0,42
Vasariniai javai	7728,18	6,11
Žieminiai javai	38721,81	30,61
Iš viso:	126497,13	100,00

Taigi apibendrinant atlikto tyrimo rezultatus, galime teigti, kad blogos melioracinės būklės plotai Lietuvoje daugiausia sutampa su žemės ūkio veiklai naudojamomis teritorijomis – dirbama žeme, pievomis ir ganyklomis. Tyrimas parodė, kad net 77 proc. šių plotų yra deklaruojamos žemės ūkio naudmenos, kuriose vyrauja žieminiai javai, rapsai ir ankštiniai augalai, taip pat reikšmingą dalį sudaro pievos ir ganyklos. Tai rodo, kad net ir blogos melioracinės būklės teritorijos yra aktyviai naudojamos žemės ūkyje, todėl melioracijos sistemų būklė tiesiogiai susijusi su žemės naudojimo efektyvumu. Todėl ir skirtingų erdvių duomenų rinkinių palyginimas yra svarbus identifikuojant problemines teritorijas ir pagrindžiant melioracijos sistemų priežiūros bei rekonstrukcijos sprendimus.

Išvados

1. Nustatyta, kad Lietuvoje blogos melioracinės būklės plotai sudaro 164 571,66 ha, arba apie 6,2 proc. viso sausinamo ploto. Didžiausia šių plotų dalis nustatyta Švenčionių (18,3 proc.), Vilniaus (14,2 proc.), Pagėgių (14,1 proc.), Rietavo (13,8 proc.), Mažeikių (13,1 proc.) ir Alytaus (12,2 proc.) savivaldybėse, o mažiausi plotai nustatyti vidurio Lietuvos savivaldybėse, kur vyrauja intensyvus žemės ūkis ir

palankesnės ūkininkavimo sąlygos. Esminiai pažeidimai, sąlygojantys blogos melioracinės būklės plotus, yra žemės ūkio naudmenos neveikiančio drenažo plote, apaugusios mišku ir krūmais (33 876,05 ha) bei žemės ūkio naudmenos neveikiančio drenažo plote virtusios pelke (32 311,26 ha). Taip pat reikšmingą dalį sudaro drenuotas plotas, užstatytas statiniais ar infrastruktūra (9 660,80 ha).

2. Palyginus MEL_DR10LT ir GRPK erdvinių duomenų rinkinius, nustatyta, kad blogos melioracinės būklės plotai daugiausia koncentruojasi teritorijose, susijusiose su žemės ūkio veikla: dirbamos žemės plotuose (73,53 proc.), pievose ir ganyklose (7,92 proc.) bei medžių ir krūmų želdinių teritorijose (6,99 proc.), tačiau jų erdvinis pasiskirstymas atskirose savivaldybėse nėra vienodas.
3. Nepaisant to, jog blogos melioracinės būklės plotai iš esmės koncentruojasi su žemės ūkio veikla susijusiuose plotuose, nustatyta, kad 77 proc. blogos melioracinės būklės plotų patenka į deklaruojamas žemės ūkio naudmenas, o 23 proc. teritorijų deklaravimo duomenys nefiksuoti. Didžiausią deklaruotų kultūrų dalį šiose teritorijose sudaro žieminiai javai (30,61 proc.), taip pat rapsai (10,91 proc.) ir ankštiniai javai (6,87 proc.), be to, reikšmingą dalį sudaro pievos ir ganyklos virš 5 metų (18,39 proc.) ir iki 5 metų (5,66 proc.), kas rodo, kad net ir blogos melioracinės būklės teritorijos yra aktyviai naudojamos žemės ūkio veiklai.

Literatūra

1. Dijkema, R., Kloosterboer, E. H., Lenselink, K. J., Offringa, O. E., Oosterbaan, R. J., Penninkhof, J., Ritzema, H. P. (1997). *International Courses on Drainage Execution and Maintenance ICDEM*. Wageningen-Lelystad: ILRI.
2. *Georeferencinio pagrindo kadastro erdvinių duomenų rinkinis (GRPK)*. (2025). Prieiga per internetą: www.geoportal.lt.
3. Hălbac-Cotoară-Zamfir, R., Farias-Ramirez, A., Miranda, J., Moreno-Pizani, M., Duarte, S., Paredes-Trejo, F., Halbac-Cotoara-Zamfir, C. (2022). Simulation of subsurface drainage in the sugarcane crop under different spacing and drain depths. *Land*, 11(5). <https://doi.org/10.3390/land11050626>.
4. Jacobsson O. (2024). Reexamining reclamation: A comparative analysis of agricultural transformation in nineteenth century Sweden. *Journal of Historical geography*, 84, 108–120. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305748824000392#fn13>.
5. Jeffrey, S., Strock, P. J. (2010). Drainage water management for water quality protection. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2010, 131–136.
6. Katinas, A. 2016. *Tvarkingas drenažas – gausesnis derlius*. <https://www.valstietis.lt/ukininku-zinios/tvarkingas-drenazas-gausesnis-derliu/2446>
7. Kirkham, M. B. (2005). *Principles of Soil and Plant Water Relations*. s.l.: Elsevier Academic Press.
8. *Lietuvos Respublikos teritorijos žemės ūkio naudmenų ir pasėlių plotų, auginamų kultūrų duomenų rinkinys*. (2025). www.geoportalas.lt.
9. *Lietuvos Respublikos teritorijos žemių melioracinės būklės ir užmirkimo erdvinių duomenų rinkinis (Mel_DR10LT)*. 2024. www.zisis.lt.
10. Miseckaitė, O. (2019) Melioracija ir dirvožemio našumas. *Mano ūkis* (11). <https://manoukis.lt/mano-ukis-zurnalas/2019/11/melioracija-ir-dirvozemio-nasumas/>
11. Moustafa, M. M. A. (2020). Geostatistical approach to optimize the determination of saturated hydraulic conductivity for large-scale subsurface drainage design in Egypt. *Agricultural Water Management*, 42(3), 291–312.
12. Povilaitis, A., Živatkauskienė, I., Matikienė, J., Jarockienė, I., Minskas, A., Mickevičius, V. (2017). Kontroluojamo drenažo su denitrifikacijos bioreaktoriais pritaikymas dirvožemio drėgmės ir biogeninių medžiagų pernašų sausinamose žemėse optimizavimui. *Žemės ūkio, maisto ūkio ir žuvininkystės mokslinio tyrimo ir taikomosios veiklos programa*. Galutinė ataskaita, ASU Kaunas-Akademija. https://zum.lrv.lt/uploads/zum/documents/files/LT_versija/Veiklos_sritys/Mokslas_mokymas_ir_konsultavimas/Moksliniu_tyrimu_ir_taikomosios_veiklos_darbu_galutines_ataskaitos/2017/Kontroliuojamo%20drena%C5%BEO%20su%20denitrifikacijos.pdf.
13. Rokochinskiy, A., Mazhayskiy, Y., Volk, P., Koptiyuk, R., Volk, L., Chernikova, O. (2021). Ecological and economic aspects of optimizing the creation and functioning of drainage systems in accordance with modern requirements. *E3s Web of Conferences*, 285, 02009. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128502009>.
14. Schilling, K. E., Jindal, P., Basu N. B., Helmers, M. J. (2012). Impact of artificial subsurface drainage on groundwater travel time and baseflow discharge in an agricultural watershed, Iowa (USA). *Hydrological Processes*. John Wiley and Sons, 3092–3100. <https://doi.org/10.1002/hyp.8337>.

15. Valstybinė įmonė Žemės ūkio duomenų centras (2021). *Melioruota žemė ir melioracijos statiniai. Informacinis leidinys*, Vilnius. <https://zudc.lt/wp-content/uploads/2021/05/Suvestiniai-2021-01-01-melioruotos-zemes-ir-melioracijos-statiniai-apskaitos-duomenys.pdf>
16. Valstybinė įmonė Žemės ūkio duomenų centras (2024). *Melioruota žemė ir melioracijos statiniai. Informacinis leidinys*, Vilnius. <https://zudc.lt/wp-content/uploads/2024/05/Suvestiniai-2024-01-01-melioruotos-zemes-ir-melioracijos-statiniai-apskaitos-duomenys.pdf>
17. Yannopoulos, S., Grismer, M., Bali, K., Angelakis, A. (2020). Evolution of the materials and methods used for subsurface drainage of agricultural lands from antiquity to the present. *Water*, 12(6), 1767. <https://doi.org/10.3390/w12061767>.

Jolanta Valčiukienė¹, Daiva Juknelienė¹, Giedrius Balevičius^{1,2}, Vilimantas Vaičiukynas²

Comparison of the Identification of Areas in Poor Drainage Condition with Other Spatial Data Sets

¹Vytautas Magnus University, Lithuania, ²Lithuanian College of Engineering, Lithuania

In Lithuania, reclaimed (drained) land accounts for about 47% of the country's territory; however, due to the ageing of drainage systems, the area of land with poor drainage conditions is increasing every year. Therefore, the identification and analysis of such areas is an important prerequisite for sustainable land use and agricultural planning. The aim of the article is to compare the identification of areas with poor drainage conditions using different spatial data sets. The study analysed data from the Lithuanian land reclamation condition and waterlogging spatial dataset MEL_DR10LT, the Georeferenced Base Cadastre (GRPK), and data on declared agricultural land use. The results showed that in 2024, areas with poor drainage conditions in Lithuania covered 164,571.66 ha, or 6.2% of the drained area. The majority of these areas are concentrated in arable land (73.53%), and 77% of them are declared agricultural land. In areas with poor drainage conditions, the most frequently declared crops are winter cereals (30.61%), followed by rapeseed (10.91%) and legumes (6.87%).

Keywords: Areas with poor land reclamation condition, spatial data sets, identification of poor land reclamation condition, declared agricultural land, Georeferenced Base Cadastre (GRPK).

Gauta 2026 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2026 m. balandžio mėn.

Jolanta VALČIUKIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Inžinerijos fakulteto Žemėtvarkos ir geomatikos katedros docentė. Adresas: Studentų g. 10, LT-53362, Akademija, Kauno r., tel. +370 37 752372, +370 618 60164, el. paštas: jolanta.valciukiene@vdu.lt

Jolanta VALČIUKIENĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Land Use Planning and Geomatic, assoc. prof. Address: Studentų g. 10, LT-53362, Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 37 752372, +370 618 60164, e-mail: jolanta.valciukiene@vdu.lt

Daiva JUKNELIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Inžinerijos fakulteto Žemėtvarkos ir geomatikos katedros docentė. Adresas: Studentų g. 10, LT-53362, Akademija, Kauno r., tel. +370 37 752372, +370 683 05151, el. paštas: daiva.jukneliene@vdu.lt

Daiva JUKNELIENĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Land Use Planning and Geomatic, assoc. prof. Address: Studentų g. 10, LT-53362, Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 37 752372, +370 683 05151, e-mail: daiva.jukneliene@vdu.lt

Giedrius BALEVIČIUS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Inžinerijos fakulteto Žemėtvarkos ir geomatikos katedros lektorius. Adresas: Studentų g. 10, LT-53362, Akademija, Kauno r., tel. +370 37 752372, +370 687 19287, el. paštas: giedrius.balevicius@vdu.lt

Giedrius BALEVIČIUS. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Land Use Planning and Geomatic, lecture: Studentų g. 10, LT-53362, Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 37 752372, +370 687 19287, el. paštas: giedrius.balevicius@vdu.lt

Vilimantas VAIČIUKYNAS. Lietuvos inžinerijos kolegijos Aplinkos inžinerijos fakulteto docentas. Adresas: Tvirtovės al. 35, LT-50155, Kaunas, tel. +370 614 34230, el. paštas: vilimantas.vaiciukynas@outlook.com

Vilimantas VAIČIUKYNAS. Lithuanian College of Engineering, Faculty of Environmental Engineering, assoc. prof. Address: Tvirtovės al. 35, LT-50155, Kaunas, tel. +370 614 34230, el. paštas: vilimantas.vaiciukynas@outlook.com

SEZONINIAI MIKROSKOPINIŲ GRYBŲ GAUSUMO SVYRAVIMAI PAPRASTOJO (*QUERCUS ROBUR*) IR RAUDONOJO AŽUOLO (*Q. RUBRA*) MEDYNŲ PAKLOTĖJE IR MINERALINIAME DIRVOŽEMYJE

Svajūnė Grubinskaitė, Nijolė Petraitytė

Vytauto Didžiojo universitetas

Tyrimais nustatyta, kad tose pačiose buveinės sąlygose vietoje paprastojo ažuolo (*Quercus robur* L.) pasodinus raudonąjį ažuolą (*Q. rubra* L.) dirvožemio sąlygos pablogėja, tačiau nėra vienareikšmiškų išvadų, kaip raudonasis ažuolas veikia dirvožemio mikroskopinių grybų populiaciją. Šiame tyrime mikroskopinių grybų gausumas buvo tirtas abiejų ažuolų medynų paklotėje (Ol, Of–Oh) ir mineraliniame dirvožemyje (0–10 ir 11–20 cm) skirtingais sezonais (pavasari, vasarą ir rudenį). Didžiausias mikroskopinių grybų skaičius nustatytas abiejų medynų paklotėje, o mineraliniame dirvožemyje – žymiai mažesnis. Analizuojant sezoninius pokyčius, nustatyta skirtinga grybų gausumo dinamika tarp medynų. *Q. robur* medyno tirtuose sluoksniuose mikroskopinių grybų gausumas didžiausias buvo rudenį, tuo tarpu *Q. rubra* – pavasarį. Vasarą, užsitęsęs sausringam laikotarpiui, *Q. rubra* medyno dirvožemyje rastas daugiau nei dvigubai mažesnis mikroskopinių grybų skaičius, palyginti su *Q. robur* medynu. Gauti rezultatai rodo, kad ne tik sezoniškumas turi poveikį mikroskopiniams grybams, jų gausumas gali būti susijęs su medynų formuojamos paklotės savybėmis ir jos daroma įtaka drėgmės režimui dirvožemio sluoksniuose.

Raktiniai žodžiai: dirvožemis, mikroskopiniai grybai, paklotė, *Quercus robur*, *Q. rubra*, sezoniškumas.

Įvadas

Dirvožemyje mikroorganizmai formuoja sudėtingas bendrijas ir veikia ne pavieniui, o glaudžiai susijusiuose ryšiuose (Li et al., 2021). Jie yra vieni pagrindinių skaidytojų dirvožemiuose ir atlieka svarbų vaidmenį maistinių medžiagų apykaitos cikluose (Li et al., 2025). Mikroorganizmai vis dažniau naudojami kaip bioindikatoriai, vertinant dirvožemio kokybę ir sveikatingumą (Fan et al., 2021). Viena dominuojančių ir svarbiausių mikroorganizmų grupių, ypač miškų dirvožemiuose, yra mikroskopiniai grybai (Li et al., 2021), gebantys efektyviai ardyti kitiems mikroorganizmams sunkiai įveikiamus gamtinius polimerus, tokius kaip ligninas (Chen et al., 2024). Mikroskopinių grybų gausumas paprastai yra didesnis vėsesnio klimato zonos miškų dirvožemiuose, ypač paklotės sluoksnyje (Siles et al., 2023), o grybų bendrijų sudėtis skiriasi priklausomai nuo medžių rūšies ir dirvožemio kokybės (Piaszczyk et al., 2026).

Klimato kaita, sąmoningas ar netyčinis svetimkraščių rūšių įveisimas, taip pat intensyvėjanti miškininkystė ir žemės ūkio plėtra daro vis didesnę poveikį aplinkai (Franzén et al., 2025). Iš šių veiksmų vieną didžiausių poveikių dirvožemio savybėms ir procesams gali turėti svetimkraštės medžių rūšys (Stanek et al., 2024; Guo et al., 2026). Vienas iš paplitusių svetimkraščių medžių Europoje – raudonasis ažuolas (*Quercus rubra* L.), Šiaurės Amerikos rūšis, Europos miškuose įveistas aštuonioliktame amžiuje medienos gavybai ir dekoratyviniais tikslais (Májeková et al., 2024). Vykstant klimato kaitai, dažnėjant sausroms, *Q. rubra* dažnai laikomas perspektyvia alternatyva ūkiniuose miškuose dėl palyginti greito augimo ir atsparumo sausrai (Chmura, 2020). Nepaisant to, raudonasis ažuolas kelia prieštarīgus vertinimus dėl savo invazinio pobūdžio ir didėjančio dėmesio Europoje vietinių ažuolų rūšių išsaugojimui, tame tarpe ir paprastajam ažuolui (*Q. robur*) (Stanek et al., 2020). Paprastas ažuolas ekologiniu požiūriu yra ypač svarbi rūšis, suteikianti kritiškai svarbias buveines ir išteklius daugeliui organizmų (Thunes et al., 2021). Šiuo metu raudonasis ažuolas kai kuriose Europos šalyse, įskaitant kaimyninę Lenkiją, pripažintas invazine rūšimi (Stanek et al., 2020). Tyrimais nustatyta, kad tose pačiose buveinės sąlygose vietoje paprastojo ažuolo pasodinus raudonąjį ažuolą dirvožemio sąlygos pablogėja (Stanek et al., 2024). Tačiau nemažai tyrimų, nagrinėjančių vietinės dirvožemio ekosistemos ir svetimžemio raudonojo ažuolo sąveiką, rezultatai yra prieštarīgi: vieni tyrimai nenustatė reikšmingos raudonojo ažuolo įtakos dirvožemio savybėms ir mikrobiotai, o kiti – nustatė neigiamą poveikį: sumažėjusį mikroorganizmų aktyvumą bei bendrą biomasę ir sulėtėjusį organinės anglies mineralizacijos greitį. Manoma, kad tokius skirtumus lemia mažas tirtų vietovių skaičius, skirtingos metodikos bei abiotinių veiksnių įtaka (Stanek et al., 2023).

Raudonojo ažuolo invazyvumas Lietuvoje išlieka diskutuojama tema ir jo įtaka dirvožemio mikroorganizmams yra mažai tirta. Dėl to yra svarbu vykdyti tyrimus, siekiant įvertinti, kaip ši svetimžemė medžių rūšis veikia dirvožemio mikrobiotą.

Šio darbo tikslas – įvertinti sezoninius mikroskopinių grybų gausumo svyravimus paprastojo (*Quercus robur*) ir raudonojo ažuolo (*Q. rubra*) medynų paklotėje ir mineraliniame dirvožemyje.

Tyrimų metodika

Tyrimas atliktas 2024 m. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos dendroparke, vietinio paprastojo (*Quercus robur*) ir svetimžemio raudonojo ąžuolo (*Q. rubra*) medynuose, atitinkamai 0,31 ha ir 0,3 ha plote. Abu ąžuolynai yra apie 80 metų amžiaus, augantys giliau karbonatingame sekliai glėjiškame rudžemyje (*Endocalcari–Epihypogleic Cambisols*).

Ėminiai mikrobiologiniams tyrimams surinkti pavasarį (balandžio mėn.), vasarą (rugpjūčio mėn.) ir rudenį (lapkričio mėn.), po masinio lapakričio, iš dviejų paklotės (O_1 – šviežios nuokritos; O_F-O_h – vidutiniškai susiskaidžiusios – susiskaidžiusios nuokritos) ir viršutinio mineralinio dirvožemio (0–10 cm ir 11–20 cm) sluoksnių.

Mėginiai imti T formos transektose, ne arčiau kaip 3 metrai nuo medyno pakraščio, naudojant dirvožemio mėginių ėmimo zondą, po 3 jungtinius ėminius. Vieną jungtinį ėminį sudarė 10-yje vietų paimti ėminiai.

Mikroskopinių grybų skaitlingumui nustatyti taikytas praskiedimo ir tiesioginio užsėjimo metodas. Po 10 g dirvožemio suberta į sandariai uždengiamas kolbas ir užpilta steriliu distiliuotu vandeniu: O_1 – 300 ml, O_F-O_h – 200 ml, dirvožemiui – 100 ml. Po to kolbos sudėtos į mėginių kratyklę ir intensyviai purtytos 15 min. Iš mėginių gauta suspensija skiesta iki 1:1000.

Mikroskopiniams grybams išauginti po 1 ml paruoštų suspensijų supilta į sterilias *Petri* lėkštes ir užpilta atvėsinta agarizuota PDA (Potato Dextrose Agar) mitybine terpe, į kurią dėta chloramfenikolio (0,5 g/l) bakterijų augimui slopinti. Lėkštelės inkubuotos termostate 26 ± 2 °C temperatūroje 7 paras. Kiekvieno ėminio tyrimas atliktas trimis pakartojimais.

Mikroskopinių grybų pradų skaičius 1 g dirvožemio apskaičiuotas pagal formulę:

$$KFV = \frac{a \times b \times c}{d}, \quad (1)$$

čia *KFV* – kolonijas formuojantys vienetai, vienetai;

a – užsėtos suspensijos tūris, ml;

b – išaugusių kolonijų skaičius, vienetai;

c – praskiedimas, ml;

d – tyrimams naudojamo dirvožemio svoris, g.

Duomenys apdoroti naudojant *Microsoft Excel* programą – nustatytos tyrimo duomenų vidutinės vertės ir jų standartiniai nuokrypiai. Skirtumų statistinis reikšmingumas ($p < 0,05$) įvertintas naudojant *STATISTICA* programą (t testas).

Meteorologinės sąlygos. 2004 m., išskyrus sausio mėnesį, vidutinė oro temperatūra buvo aukštesnė už daugiamečių vidurkį (1 lentelė). Didesni temperatūrų skirtumai palyginti su daugiamečiu vidurkiu, taip pat nustatyti kovo, rugsėjo ir gruodžio mėnesiais.

Vidutinis kritulių kiekis vasario, balandžio ir liepos mėnesiais buvo 1,1–1,7 karto didesnis už daugiamečių vidurkį (1 lentelė). Likusiais mėnesiais vidutinis kritulių kiekis buvo mažesnis už daugiamečių vidurkį. Didžiausi, 2,1–2,5 karto, skirtumai užfiksuoti gegužės, birželio ir rugpjūčio mėnesiais.

1 lentelė. Vidutinė oro temperatūra ir kritulių kiekis mėnesiais 2024 m.

Table 1. Monthly mean temperature and precipitation in 2024

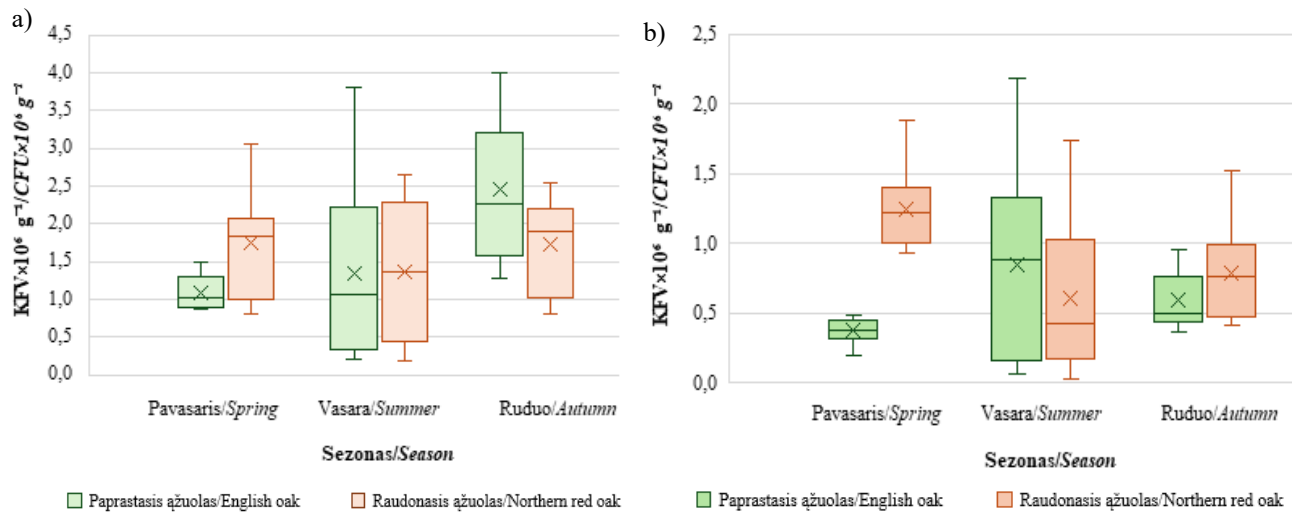
Mėn. / Month	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Oro temperatūra, °C / Air temperature, °C												
2024 m. / year	-3,9	2,9	4,4	9,1	15,6	17,8	20,1	19,7	17,3	8,6	3,7	1,9
Daugiametis vidurkis, DV* Long-term average, LTA*	-3,7	-4,7	0,3	6,9	13,2	16,1	17,7	17,3	13	6,8	2,8	-2,8
Kritulių kiekis, mm / Precipitation, mm												
2024 m. / year	31,7	60,2	13,5	63,0	25,1	36,8	109,4	40,9	40,2	27,0	40,8	35,0
Daugiametis vidurkis, DV* Long-term average, LTA*	38,1	35,1	37,5	41,3	61,7	76,9	96,6	88,9	60,0	51,0	51,0	41,9

Pastaba: *1974–2013 m. daugiamečių vidurkis.

Note: *Long-term average for the 1974–2013 period.

Rezultatai ir aptarimas

Tyrimų duomenimis, paprastojo ąžuolo medyno paklotės viršutiniame O_1 sluoksnyje mažiausias mikroskopinių grybų skaičius aptiktas pavasarį, o didžiausias – rudenį (1 pav., a), skirtumas statistiškai patikimas ($p = 0,00$). Raudonojo ąžuolo medyno O_1 sluoksnyje mažiausiai grybų rasta vasarą, o daugiausia – pavasarį, statistiškai reikšmingas skirtumas nenustatytas ($p = 0,25$) (1 pav., a).

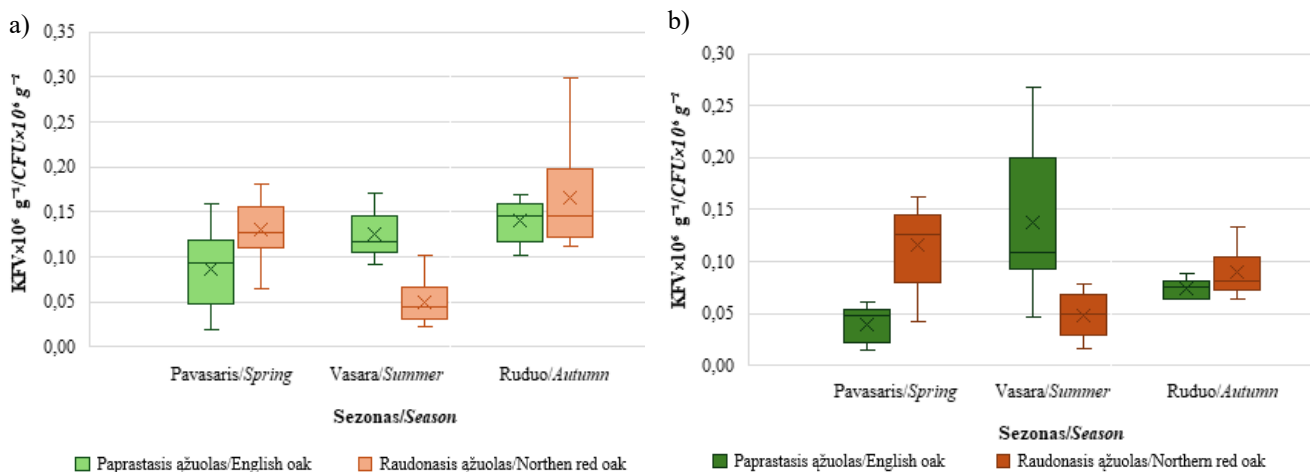


1 pav. Sezoninis mikroskopinių grybų gausumas tirtų medynų paklotėje: a) O_1 sluoksnyje; b) O_1-O_h sluoksnyje

Fig. 1. Seasonal abundance of microscopic fungi in the litter of the studied tree stands: a) O_1 layer; b) O_1-O_h layer

Mikroskopinių grybų skaičius pavasarį raudonojo ąžuolo medyno paklotės O_1-O_h sluoksnyje, lyginant su O_1 sluoksniu, buvo 29,1 proc. mažesnis (1 pav. a–b), skirtumas statistškai patikimas ($p = 0,04$). Grybų skaičiaus sumažėjimas pavasarį paprastojo ąžuolo medyno O_1-O_h sluoksnyje buvo dar didesnis – 65,1 proc. ir statistškai reikšmingas ($p = 0,00$). Mikroskopinių grybų skaičius vasarą raudonojo ąžuolo medyno O_1-O_h sluoksnyje buvo mažesnis 55,9 proc., lyginant su O_1 sluoksniu, ir statistškai patikimai skyrėsi ($p = 0,03$), o paprastojo ąžuolo medyne – 37,3 proc. Grybų skaičius rudenį raudonojo ąžuolo medyno O_1-O_h sluoksnyje buvo mažesnis 54,1 proc., lyginant su O_1 sluoksniu, tuo tarpu paprastojo ąžuolo medyne – 75,9 proc., skirtumai statistškai reikšmingi ($p = 0,00$). Nustatyti mikroskopinių grybų gausumo skirtumai tarp paklotės sluoksnių rodo, kad grybų skaičius raudonojo ąžuolo medyno O_1-O_h sluoksnyje svyravo mažiau nei paprastojo ąžuolo medyne tirtais sezonais.

Paprastojo ąžuolo medyno viršutiniame 0–10 cm mineralinio dirvožemio sluoksnyje mikroskopinių grybų daugiausiai buvo rudenį, o mažiausiai – pavasarį (2 pav., a), skirtumas statistškai patikimas ($p = 0,01$). Tačiau gilesniame, 11–20 cm sluoksnyje didžiausias grybų skaičius rastas vasarą, o mažiausias – pavasarį (2 pav., b), skirtumas statistškai patikimas ($p = 0,00$). Raudonojo ąžuolo medyno 0–10 cm sluoksnyje mikroskopinių grybų daugiausiai buvo rudenį, kaip ir paprastojo ąžuolo medyne, o mažiausiai – vasarą (2 pav., a). 11–20 cm sluoksnyje didžiausias grybų skaičius nustatytas pavasarį, o mažiausias – vasarą (2 pav., b). Tarp šių duomenų nustatyti statistškai patikimi skirtumai ($p = 0,00$).



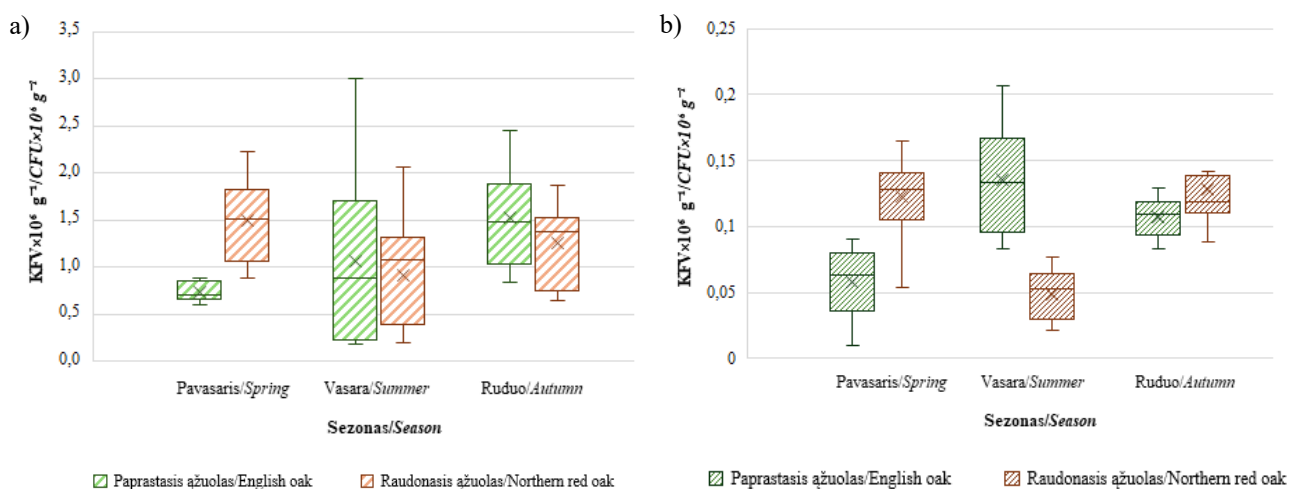
2 pav. Sezoninis mikroskopinių grybų gausumas tirtų medynų mineraliniame dirvožemyje: a) 0–10 cm sluoksnyje; b) 11–20 cm sluoksnyje

Fig. 2. Seasonal abundance of microscopic fungi in the mineral soil of the studied tree stands: a) 0–10 cm layer; b) 11–20 cm layer

Lyginant mikroskopinių grybų gausumą tarp tirtų medynų mineralinių sluoksnių vasarą, esant sausringam laikotarpiui, nustatyta, kad paprastojo ąžuolo medyno 0–10 ir 11–20 cm sluoksniuose grybų buvo daugiau nei raudonojo ąžuolo medyne (2 pav., a–b). Nustatyti statistiškai reikšmingi skirtumai ($p = 0,00$). Paprastojo ąžuolo medyno gilesniame 11–20 cm sluoksnyje mikroskopinių grybų buvo 7,1 proc. daugiau, lyginant su 0–10 cm sluoksniu. Tikėtina, kad didesnį mikroskopinių grybų skaičių vasarą gilesniame 11–20 cm mineralinio dirvožemio sluoksnyje galėjo lemti geresnė izoliacija nuo karščio ir sausros (Šipek, et al., 2023).

Tyrimo duomenimis, abiejų tirtų medynų paklotėje (O_1 – O_h sluoksnyje) mikroskopinių grybų gausumas tirtais sezonais buvo nuo 8,1 iki 19,6 kartų didesnis nei mineraliniame dirvožemyje (0–20 cm sluoksnyje) (3 pav., a–b). Paprastojo ąžuolo medyno paklotėje mikroskopinių grybų skaičius nuo pavasario iki rudens turėjo tendenciją didėti. Daugiausia grybų aptikta rudenį, 51,6 proc. daugiau nei pavasarį, skirtumas statistiškai patikimas ($p = 0,00$). Raudonojo ąžuolo medyno paklotėje mikroskopinių grybų gausiausiai buvo aptikta pavasarį, mažiausiai – vasarą (3 pav. a), skirtumas statistiškai reikšmingas ($p = 0,01$).

Paprastojo ąžuolo medyno 0–20 cm sluoksnyje mikroskopinių grybų didžiausias skaičius nustatytas vasarą (3 pav., b). Mažiausias – 51,9 proc. mažesnis nei vasarą – mikroskopinių grybų skaičius fiksuotas pavasarį, statistiškai patikimas skirtumas ($p = 0,00$). Raudonojo ąžuolo medyno mineraliniame dirvožemyje daugiausia grybų rasta rudenį (3 pav., b). Mažiausiai – 61,5 proc. mažiau nei rudenį – mikroskopinių grybų aptikta vasarą, statistiškai reikšmingas skirtumas ($p = 0,00$).



3 pav. Sezoninis mikroskopinių grybų gausumas tirtų medynų a) paklotėje (O_1 – O_h sluoksnyje); b) mineraliniame dirvožemyje (0–20 cm sluoksnyje)

Fig.3. Seasonal abundance of microscopic fungi of the studied tree stands: a) in the litter (O_1 – O_h layer); b) mineral soil (0–20 cm layer)

Išvados

1. Mikroskopinių grybų gausumas paprastojo (*Quercus robur*) ir raudonojo ąžuolo (*Quercus rubra*) medynų paklotėje ir mineraliniame dirvožemyje kito priklausomai nuo sezono, medžių rūšies ir dirvožemio horizonto.
2. Daugiausia mikroskopinių grybų rasta abiejų ąžuolų medynų paklotėje (O_1 ir O_1 – O_h), o mineralinio dirvožemio sluoksniuose (0–10 ir 11–20 cm) jų gausumas buvo ženkliai mažesnis ir mažėjo, didėjant dirvožemio gyliui.
3. *Q. robur* medyno dirvožemyje didžiausias mikroskopinių grybų gausumas buvo vasarą, *Q. rubra* – pavasarį. Vasarą, užsitęsus sausringam laikotarpiui, *Q. rubra* medyno dirvožemio sluoksniuose rastas daugiau nei dvigubai mažesnis grybų pradų skaičius nei *Q. robur* medyne.
4. Mikroskopinių grybų gausumo skirtumus mineralinio dirvožemio sluoksniuose tarp tirtų ąžuolų medynų galėjo lemti ne tik sezoniškumas, bet ir jų formuojamos paklotės savybės, darančios įtaką dirvožemio drėgmės režimui gilesniuose dirvožemio sluoksniuose.

Literatūra

1. Chen, Q., Song, Y., An, Y., Lu, Y., & Zhong, G. (2024). Soil Microorganisms: Their Role in Enhancing Crop Nutrition and Health. *Diversity*, 16(12), 734. <https://doi.org/10.3390/d16120734>

2. Chmura, D. (2020). The Spread and Role of the Invasive Alien Tree *Quercus rubra* (L.) in Novel Forest Ecosystems in Central Europe. *Forests*, 11(5), 586. <https://doi.org/10.3390/f11050586>
3. Fan, L., Tarin, M. W. K., Zhang, Y., Han, Y., Rong, J., Cai, X., . . . Zheng, Y. (2021). Patterns of soil microorganisms and enzymatic activities of various forest types in coastal sandy land. *Global Ecology and Conservation*, 28, e01625. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01625>
4. Franzén, M., Hall, M., Salis, R. *et al.* (2025). Biodiversity impacts of native versus non-native oaks. *Biol Invasions* 27, 194. <https://doi.org/10.1007/s10530-025-03649-7>
5. Guo, WY., Serra-Diaz, J.M., Guo, K. *et al.* (2026). Global functional shifts in trees driven by alien naturalization and native extinction. *Nat. Plants*, 12, 308–318. <https://doi.org/10.1038/s41477-025-02207-2>
6. Li, J., Li, X., Guo, S., Xi, J., Shao, Y., Chen, Y., & Yuan, Z. (2025). Soil microorganism distributions depend on habitat partitioning of topography in a temperate mountain forest. *Microbiology Spectrum*, 13(7). <https://doi.org/10.1128/spectrum.02056-24>
7. Li, J., Zhu, T., Singh, B. K., Pendall, E., Li, B., Fang, C., & Nie, M. (2021). Key microorganisms mediate soil carbon-climate feedbacks in forest ecosystems. *Science Bulletin*, 66(19), 2036–2044. <https://doi.org/10.1016/j.scib.2021.03.008>
8. Májeková, J., Medvecká, J., Mikulová, K. *et al.* (2024). Structure of forest stands of alien tree *Quercus rubra* in Central Europe. *Biologia* 79, 1169–1176. <https://doi.org/10.1007/s11756-023-01502-7>
9. Piaszczyk, W., Lasota, J., Foremnik, K. *et al.* (2026). Tree species determine soil microbial diversity: variation in fungal and bacterial communities in temperate forests. *Sci Rep.* <https://doi.org/10.1038/s41598-026-41297-6>
10. Siles, J. A., Vera, A., Díaz-López, M., García, C., van den Hoogen, J., Crowther, T. W., . . . Bastida, F. (2023). Land-use- and climate-mediated variations in soil bacterial and fungal biomass across europe and their driving factors. *Geoderma*, 434, 116474. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116474>
11. Stanek, M., Kapusta, P., & Stefanowicz, A. M. (2024). Effect of simulated litterfall and sapling growth of invasive *quercus rubra* and native *Q. robur* on soil in a pot experiment. *Forest Ecology and Management*, 551, 121505. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121505>
12. Stanek, M., Kushwaha, P., Murawska-Wlodarczyk, K., Stefanowicz, A. M., & Babst-Kostecka, A. (2023). *Quercus rubra* invasion of temperate deciduous forest stands alters the structure and functions of the soil microbiome. *Geoderma*, 430, 116328. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116328>
13. Stanek, M., Piechnik, Ł., & Stefanowicz, A. M. (2020). Invasive red oak (*quercus rubra* L.) modifies soil physicochemical properties and forest understory vegetation. *Forest Ecology and Management*, 472, 118253. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118253>
14. Šípek, V., Zelíková, N., Vlček, L., Toušková, J., and Tesař, M. (2023). Soil moisture regime under different forest types, *EGU General Assembly*, Vienna, Austria, 24–28 Apr 2023, EGU23-12770. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-12770>
15. Thunes, K. H., Söli, G. E. E., Thuróczy, C., Fjellberg, A., Olberg, S., Roth, S., Coulianos, C.-C., Disney, R. H. L., Starý, J. *et al.* (2021). The Arthropod Fauna of Oak (*Quercus* spp., Fagaceae) Canopies in Norway. *Diversity*, 13(7), 332. <https://doi.org/10.3390/d13070332>

Svajūnė Grubinskaitė, Nijolė Petraitytė

Seasonal Fluctuations in the Abundance of Microscopic Fungi in the Litter and Soil of Pedunculate Oak (*Quercus robur*) and Red Oak (*Q. rubra*) Stands

Vytautas Magnus University, Lithuania

Research has shown that under the same habitat conditions, replacing native pedunculate oak (*Quercus robur* L.) with northern red oak (*Q. rubra* L.) leads to a deterioration of soil conditions. However, there is a lack of unequivocal conclusions regarding the impact of *Q. rubra* on soil microfungal populations. In this study the abundance of microfungi was investigated in the forest litter (O₁, O₁–O_h horizons) and mineral soil layers (0–10 cm and 11–20 cm) of stands of both oak species across different seasons (spring, summer, and autumn). The highest microfungal counts were recorded in the forest litter of both stands, with significantly lower abundances in the mineral soil layers. Analysis of seasonal variations revealed distinct patterns in fungal abundance dynamics between the stands. In the *Q. robur* stand microfungal abundance peaked in autumn across all studied layers, whereas in the *Q. rubra* stand, it was highest in spring. During the summer, following an extended dry period, the soil in the *Q. rubra* stand exhibited a microfungal count more than twice as low as that in the *Q. robur* stand. The obtained results indicate that, in addition to seasonal effects, microfungal abundance may be influenced by the properties of the forest litter layer formed by each stand and its impact on the moisture regime within the soil layers.

Keywords: Soil, microscopic fungi, forest litter, *Quercus robur*, *Q. rubra*, seasonality.

Gauta 2026 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2026 m. balandžio mėn.

Svajūnė GRUBINSKAITĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Miškų ir ekologijos fakulteto Aplinkos ir ekologijos katedros ekologijos ir klimato kaitos magistrantė. Adresas: Studentų g. 15a, LT-53362, Akademija, Kauno r., tel. +370 37 752357, el. paštas: svajune.grubinskaite@vdu.lt

Svajune GRUBINSKAITE. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Forestry and Ecology, Department of Environment and Ecology, Ecology and Climate Change Master student.. Address: Studentų g. 15a, LT-53362, Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 37 752357, e-mail: svajune.grubinskaite@vdu.lt

Nijolė PETRAITYTĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Miškų ir ekologijos fakulteto Aplinkos ir ekologijos katedros asistentė. Adresas: Studentų g. 11, LT-53362, Akademija, Kauno r., tel. +370 37 752224, el. paštas: nijole.petraityte@vdu.lt

Nijole PETRAITYTE. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Forestry and Ecology, Department of Environment and Ecology, assistant, Address: Studentų g. 11, LT-53362, Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 37 752 224, e-mail: nijole.petraityte@vdu.lt

NUOTEKŲ DUMBLO KOMPOSTO PANAUDOJIMO TRĘŠIMUI ILGALAIKĖ ĮTAKA KAI KURIOMS ENERGINĖMS ŽOLĖMS IR DIRVOŽEMIUI

Jelena Ankuda, Eugenija Bakšienė, Almantas Ražukas, Diana Sivojienė

Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centro Žemdirbystės instituto Vokės filialas

Šiuo metu pasaulyje susidaro vis daugiau ir daugiau nuotekų dumblo. Dėl to tyrimai susiję su jo panaudojimu ir utilizacija tampa vis aktualesni. Tyrimo tikslas buvo ištirti, kaip panaudotas tręšimui nuotekų dumblo kompostas (NDK) po ilgo laiko veikia energines žoles beginklę dirsuolę ir nendrinį dryžutį, auginamas pietryčių Lietuvos regiono lengvos granulometrinės sudėties dirvožemiuose, ir patį dirvožemį. Lauko eksperimentas vyko 2018–2021 m. LAMMC Vokės filiale priesmėlio paprastajame išplautžemyje senojo eksperimento pagrindu. Tręšimo schema: be trąšų; NPK; 25, 75 ir 125 t/ha NDK sausųjų medžiagų (SM). Kadangi pavojus užteršti dirvožemį sunkiaisiais metalais ir kitomis kenksmingomis medžiagomis ir elementais visada lieka didelis, o tręšimas NDK net po 5–8 metų nedavė nei reikšmingo žolių biomasės SM derliaus padidėjimo, nei gerino žolės biomasės, kaip kietojo kuro, kokybę, buvo nustatyta, kad yra netikslinga tirtų žolių tręšimui naudoti NDK.

Raktiniai žodžiai: nuotekų dumblo kompostas, tręšimo ilgalaikis poveikis, dirvožemis, energinės žolės, biokuras.

Įvadas

Augant žmonių populiacijai, susidaro vis daugiau ir daugiau nuotekų. Miestų nuotekų valymo įmonės perpildytos nuotekų dumblo. Vis aktualesniu tampa klausimas, kur tą dumblą dėti, kaip jį panaudoti. Vienas iš būdų nuotekų dumblą utilizuoti yra panaudoti jį įvairių nemaisto augalų tręšimui. Arba pagaminti iš nuotekų dumblo įvairius produktus (digestatą, pelenus, kompostą ir t. t.) ir juos panaudoti tręšimui. Pagal Lietuvos įstatymus neapdorotą III kategorijos ir C klasės nuotekų dumblą draudžiama naudoti tręšimui (Lietuvos..., 2025). Tačiau apdorotą, „geresnį“ dumblą įstatymai leidžia naudoti, pavyzdžiui, ganykloms, pažeistoms teritorijoms, energiniams augalams tręšti. Bet nuotekų dumble ir jo produktuose be naudingų augalams ir dirvožemiui elementų dažnai yra didelės sunkiųjų metalų ir kenksmingų organinių junginių koncentracijos. Dėl to visada yra svarbu sekti jų kiekius pačiame nuotekų dumble ir jo produktuose, ir dirvožemyje. Taip pat svarbu stebėti, kaip tręšimas nuotekų dumblo ir jo produktais veikia pačius augalus, jų augimą, biomasės derlių ir kokybę. Dėl visų šių priežasčių nuotekų dumblo ir jo produktų panaudojimo tręšimui tyrimai yra šiuo metu labai svarbūs ir aktualūs.

Aprašomo eksperimento metu buvo tirta, kaip panaudotas energinių žolių tręšimui nuotekų dumblo kompostas (NDK) veikė dirvožemį ir žolių parametrus. Lauko eksperimentas buvo įvykdytas senojo eksperimento pagrindu. Senojo eksperimento metu buvo nustatyta, kad nuotekų dumblo komposto panaudojimas tręšimui nors ir didino judriojo fosforo koncentracijas dirvožemyje, tačiau beveik nedidino augintų energinių žolių biomasės sausųjų medžiagų derliaus ir negerino žolių biomasės kaip kietojo kuro rodiklių (Ankuda ir kt., 2020; Ankuda et al., 2023). Tada eksperimentas vyko 4 metus. Buvo iškelta hipotezė, kad, galbūt, tam, kad NDK maisto medžiagos taptų pilnai prieinamos augalams ir padidintų jų biomasę, reikėtų daugiau laiko. Eksperimentas buvo pratęstas dar 4 metams, ir jo rezultatai yra pristatomi šiame straipsnyje.

Aprašomo tyrimo tikslas buvo ištirti, kaip panaudotas tręšimui NDK po ilgo laiko veikia potencialias energines žoles (beginklės dirsuolės (*Bromopsis inermis* Leyss.) veislę ‘Galinda’ ir nendrinio dryžučio (*Phalaroides arundinacea* L.) veislę ‘Alaušas’, auginamas pietryčių Lietuvos regiono lengvos granulometrinės sudėties dirvožemiuose, ir patį dirvožemį.

Tyrimų metodika

Lauko eksperimentas buvo įvykdytas LAMMC ŽI Vokės filiale priesmėlio paprastajame išplautžemyje (pagal FAO UNESCO klasifikaciją – sandy loam *Haplic Luvisols*) (World..., 2015) 2018–2021 m. senojo eksperimento pagrindu.

Beginklės dirsuolės (*Bromopsis inermis* Leyss.) veislę ‘Galinda’ ir nendrinio dryžučio (*Phalaroides arundinacea* L.) veislę ‘Alaušas’ buvo pasėti 2014 m. gryname pasėlyje. Beginklės dirsuolės sėklos norma buvo 20 kg ha⁻¹. Nendrinio dryžučio – 10 kg ha⁻¹. Laukelio plotas – 16 m². Pakartojimai – 4.

2014 m. prieš eksperimento įrengimą buvo ištirtas nuotekų dumblo kompostas (NDK). Jo agrocheminių rodiklių reikšmės buvo: N_{sum} 1,34 %, P_{sum} 0,90 %, K_{sum} 0,37 %, organinė medžiaga 29,3 %, C_{org} 17,8 %, pH_{KCl} 7,1. Sunkiųjų metalų koncentracijos: švinas (Pb) 40,0 mg/kg, chromas (Cr) 40,5 mg/kg, nikelis (Ni) 25,1 mg/kg, varis (Cu) 142 mg/kg, cinkas (Zn) 710 mg/kg, kadmio (Cd) 1,81 mg/kg.

Nuotekų dumblo komposto minimali norma buvo paskaičiuota pagal suminio azoto kiekį 4 metams, t. y. jei mineralinių trąšų kasmetinis azoto kiekis yra 90 kg ha^{-1} , tai iš komposto – 4 kartus daugiau – 360 kg ha^{-1} . Tai sudarytų apie 25 t ha^{-1} komposto sausųjų medžiagų (SM).

Po 4 auginimo metų tręšimas NDK turėjo silpną poveikį tirtų augalų biomasės SM derliui, dėl to buvo nuspręsta pratęsti eksperimentą siekiant ištirti, ar dar po 4 auginimo metų NDK tręšimo poveikis biomasės derliui atsiskleis.

Lauko eksperimentas buvo dviejų faktorių:

Faktorius – A (daugiamečių žolių veislės)

1. Beginklė dirsuolė (*Bromopsis inermis* Leyss.) veislė ‘Galinda’
2. Nendrinis dryžutis (*Phalaroides arundinacea* L.) veislė ‘Alaušas’

Faktorius – B (tręšimo norma)

1. Kontrolė (be trąšų);
2. $N_{90}P_{60}K_{90}$ (2014–2017 m.) ir $N_{90}P_{60}K_{120}$ (2018–2021 m.);
3. 25 t/ha NDK sausųjų medžiagų (SM);
4. 75 t/ha NDK sausųjų medžiagų (SM);
5. 125 t/ha NDK sausųjų medžiagų (SM).

NPK trąšos buvo išberiamos kasmet pavasarį, o NDK dirvožemis buvo patręstas prieš bandymo įrengimą (2014 m.).

Nendrinio dryžučio ir beginklės dirsuolės biomasės SM derlius buvo nustatomas kiekvienais eksperimento metais rudenį.

Augalų biomasėje eksperimento pabaigoje 2021 m. buvo nustatyti rodikliai skirti apibūdinti jos tinkamumą naudoti kietajam biokurui: kalingumas, MJ kg^{-1} (tiesiogiai sudeginant) (LST CEN/TS 15400:2007); peleningumas, % (svorio metodu), azoto (N) koncentracija, % (Kjeldalio metodu); kalio (K) koncentracija, % (atomų absorbcijos spektrometriniu metodu).

Taip pat eksperimento pabaigoje 2021 m. buvo paimti dirvožemio mėginiai (0–20 cm gylyje). Juose buvo įvertinti įvairūs agrocheminiai rodikliai: pH_{KCl} (ISO 10390:2021); judrieji fosforas (P_2O_5), mg/kg ir kalis (K_2O), mg/kg (LVP D-07:2021, 11 leidimas, laboratorijos parengtas Egnerio-Rimo-Domingo (A-L) metodu); suminis azotas (N_{sum}), % (Kjeldalio (LST ISO 11261:1995)) ir organinės anglies kiekis (C_{org}), % (ISO 10694 (sausos deginimo)).

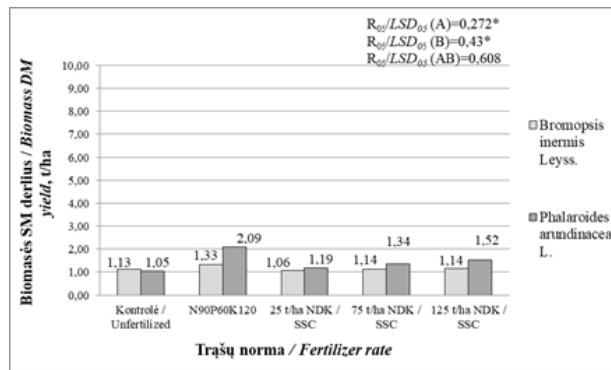
Duomenys buvo įvertinti dviejų faktorių dispersinės analizės metodu (Tarakanovas ir kt., 2003; Raudonius, 2017). Duomenų palyginimui buvo naudotas Fišerio testas (Čekanavičius ir kt., 2003; Tarakanovas ir kt., 2003; Clewer at al., 2001). Esminiai skirtumai buvo nustatyti esant 95 % arba 99 % tikimybės lygiui.

Rezultatai ir aptarimas

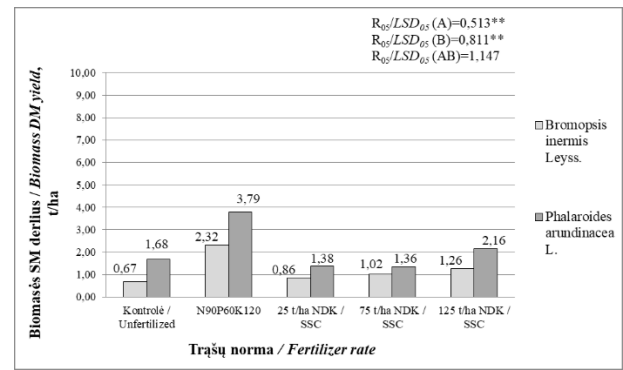
Tyrimo metu buvo nustatyta, kad pirmais, antrais ir ketvirtais tyrimo metais nendrinų dryžūčių biomasės SM derlius buvo iš esmės didesnis nei beginklės dirsuolės biomasės SM derlius ($p < 0,05$). Beginklės dirsuolės derlius buvo $0,67\text{--}4,15 \text{ t/ha}$, o nendrinio dryžučio – $1,05\text{--}9,15 \text{ t/ha}$ (1 pav.).

Tręšimas NPK visada iš esmės didino žolių biomasės SM derlių ($p < 0,05$). Tačiau buvo nustatyta, kad tręšimas NDK net po ilgo laiko vis dar silpnai veikė auginamų potencialių energinių žolių biomasės sausųjų medžiagų derlių. Tirtų augalų biomasės derlių iš esmės didino tik tręšimas didžiausia norma NDK (125 t/ha) tik 4-ais tyrimo metais (2021 m.) ($p < 0,05$). Visais kitais atvejais tręšimas NDK esmingai neveikė tirtų žolių biomasės (1 pav.).

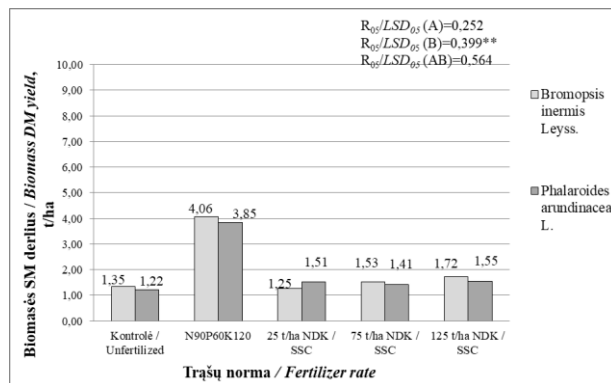
Taip pat buvo nustatyta, kad nendrinų dryžūčių suminis (2018–2021 m.) biomasės SM derlius buvo iš esmės didesnis nei beginklų dirsuolių ($p < 0,01$). Tręšimas $N_{90}P_{60}K_{120}$ esmingai didino abiejų rūšių suminį biomasės SM derlių ($p < 0,01$). Tačiau tirtų augalų suminį biomasės derlių iš esmės didino ($p < 0,05$) tik tręšimas didžiausia tirta NDK norma (125 t/ha).



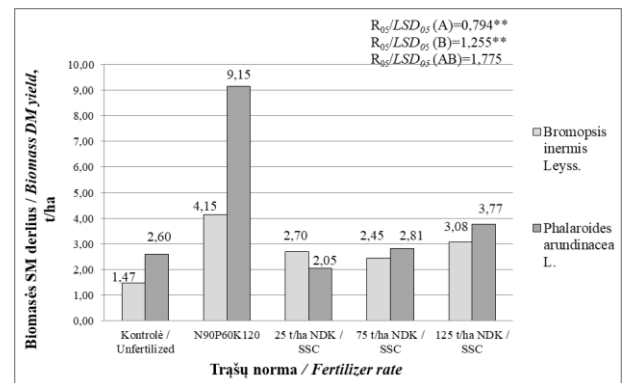
5 metų amžiaus žolės (2018) / 5 year old grasses (2018)



6 metų amžiaus žolės (2019) / 6 year old grasses (2019)



7 metų amžiaus žolės (2020) / 7 year old grasses (2020)

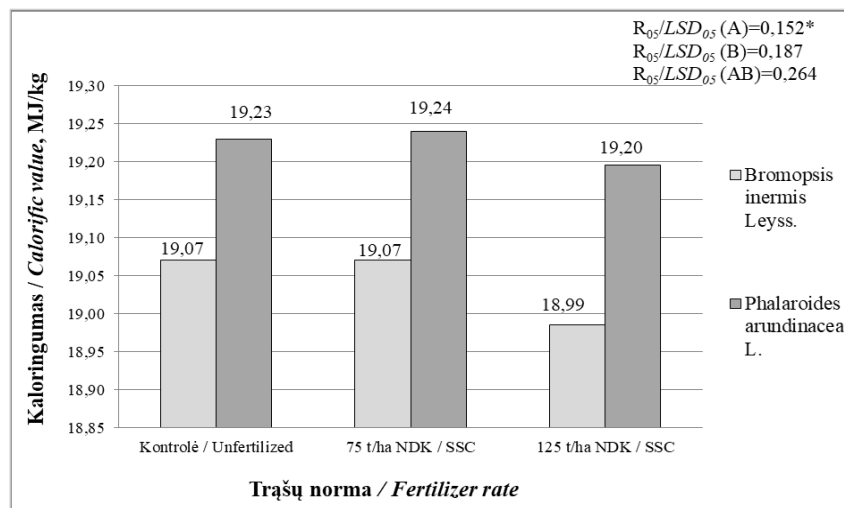


8 metų amžiaus žolės (2021) / 8 year old grasses (2021)

1 pav. Energinųjų žolių biomasės sausųjų medžiagų (SM) derlius (2018–2021 m.)

Fig. 1. Biomass dry matter (DM) yield of energy grasses (2018–2021)

Tręšimas NDK po ilgo laiko taip pat esmingai negerino beginklės dirsuolės ir nendrinio dryžučio biomasės kaip kietojo biokuro kokybės ($p > 0,05$). O augalų tręšimas 125 t/ha NDK norma net iš esmės didino K koncentraciją jų biomasėje ($p > 0,05$). Taip pat buvo nustatyta, kad beginklės dirsuolės ir nendrinio dryžučio biomasės kaip kietojo kuro kokybė yra panaši. Pagrindinis rodiklis nurodantis biomasės, kaip kietojo biokuro kokybę, yra kaloringumas (Vrubliauskas ir kt., 2005). Kuo jis aukštesnis, tuo daugiau energijos išsiskiria biomasės degimo metu (Miškinis ir kt., 2011). Nendrinio dryžučio biomasės kaloringumas buvo esmingai didesnis (19,22 MJ/kg) nei beginklės dirsuolės biomasės kaloringumas (19,04 MJ/kg) ($p < 0,05$) (2 pav.). Tačiau nendrinio dryžučio biomasėje buvo iš esmės daugiau kalio (0,758 %) nei beginklės dirsuolės biomasėje (0,626 %) ($p < 0,01$). Kalis yra vienas iš pagrindinių komponentų, lemiančių pelenų lydymosi temperatūrą ir paviršių apnašas. Tai pat kalis yra pagrindinis lakius pelenus formuojantis elementas, degimo metu išsinešantis su dūmais aerozolių pavidalu. Didelės kalio koncentracijos energinių augalų biomasėje skatina smulkių pelenų formavimąsi, o susidarę KCl sukelia šlakavimosi problemas. Tai sumažina kietojo biokuro kokybę. Tačiau yra nuomonė, kad K iš biokuro gali būti pašalintas paprastai plaunant jį vandeniu arba silpnai rūgštiniais tirpalais (Buinevičius, 2014).



2 pav. Energinųjų žolių biomasės kaloringumas

Fig. 2. The calorific value of energy grasses biomass

Pagal visus kitus rodiklius, aprašančius žolių biomasės kaip kietojo biokuro kokybę, minėtų augalų biomasė tarpusavyje nesiskyrė. Beginklės dirsuolės peleningumas buvo vidutiniškai 4,67–5,01 %, o nendrinio dryžučio – 4,78–5,20 %. Beginklės dirsuolės N koncentracija buvo vidutiniškai 0,690–0,810 %, o nendrinio dryžučio – 0,814–0,838 %.

Tyrimo metu buvo nustatyta, kad visų tirtų dirvožemio agrocheminių rodiklių reikšmės nepriklausė nuo auginamų žolių veislės, kuri buvo auginama dirvožemyje ($p > 0,05$).

Eksperimento metu buvo įvertintas dirvožemio pH. pH yra labai aktualus rodiklis, siekiant įvertinti galimą dirvožemio sunkiųjų metalų pasisavinimą augalais. Kadangi tyrimo metu, kaip trąša, buvo panaudotas nuotekų dumblo kompostas, kartu su šiuo kompostu į dirvožemį pateko papildomi sunkiųjų metalų kiekiai. Esant aukštesniam pH, sunkieji metalai pasidaro mažiau judrūs ir mažiau patenka į augalų biomasę, bet kartu, mažiau išsiplauna į požeminius vandenis.

Po ilgo laiko po NDK įterpimo į dirvožemį dirvožemio pH esmingai nepriklausė nuo tręšimo NDK. Nors tręšto NDK dirvožemio pH buvo kažkiek aukštesnis, tačiau skirtumas nebuvo statistiškai reikšmingas ($p > 0,05$). Netręšto dirvožemio pH buvo vidutiniškai 6,03–6,07, o tręšto NDK dirvožemio pH buvo 6,33–6,47.

Tręšimas 75 ir 125 t/ha NDK tręšimo normomis iš esmės didino P_2O_5 koncentraciją dirvožemyje ($p < 0,01$). Judriojo fosforo koncentracija netręštame dirvožemyje buvo vidutiniškai 195–231 mg/kg, o tręštame NDK dirvožemyje – 354–459 mg/kg. Tręšimas 125 t/ha NDK tręšimo norma iš esmės didino K_2O koncentraciją dirvožemyje ($p < 0,01$). Judriojo kalio koncentracija netręštame dirvožemyje buvo vidutiniškai 97–99 mg/kg, o tręštame NDK dirvožemyje – 110–138 mg/kg.

Rezultatai rodo, kad judriojo fosforo ir judriojo kalio koncentracijos dirvožemyje buvo iš esmės didesnės laukeliuose, kur žolės buvo tręštos NDK. Tai reiškia, kad praėjus 8-iems metams po tręšimo NDK maisto medžiagos iš komposto atsipalaidavo ir buvo prieinamos augalams. Taip pat buvo nustatyta, kad po ilgo laiko po NDK įterpimo į dirvožemį tręšimas 75 ir 125 t/ha NDK tręšimo normomis iš esmės didino suminio azoto ($N_{sum.}$) koncentraciją dirvožemyje ($p < 0,01$). Tačiau, galimai, didelė dalis suminio azoto net po 8 žolių auginimo metų liko nejudrioje ir nepasiekiamose augalams formose. Maisto medžiagų judriosiose formose tirtoms žolėms buvo nepakankama, kadangi tirtų žolių SM biomasės derlius esmingai silpnai didėjo po tręšimo NDK. $N_{sum.}$ koncentracija netręštame dirvožemyje buvo vidutiniškai 0,087–0,091 %, o tręštame NDK dirvožemyje – 0,099–0,119 %.

Taip pat buvo nustatyta, kad tręšimas 75 ir 125 t/ha NDK tręšimo normomis iš esmės didino $C_{org.}$ koncentraciją dirvožemyje ($p < 0,05$). $C_{org.}$ koncentracija netręštame dirvožemyje buvo vidutiniškai 1,09–1,13 %, o tręštame NDK dirvožemyje – 1,21–1,39 %.

Išvados

1. Buvo nustatyta, kad nendrinis dryžutis turėjo didesnę biomasės SM derlių nei beginklė dirsuolė. Tręšimas $N_{90}P_{60}K_{120}$ esmingai didino abiejų rūšių suminį biomasės SM derlių ($p < 0,01$). Tirtų augalų suminį biomasės derlių iš esmės padidino ($p < 0,05$) tik tręšimas didžiausia tirta NDK norma (125 t/ha).
2. Nendrinio dryžučio ir beginklės dirsuolės biomasės, kaip kietojo biokuro, kokybė buvo labai panaši. Nendrinio dryžučio biomasė turėjo didesnę kaloringumą, bet taip pat didesnę K koncentraciją. Tręšimas NDK esmingai negerino beginklės dirsuolės ir nendrinio dryžučio biomasės kaip kietojo biokuro kokybės ($p > 0,05$). O augalų tręšimas 125 t/ha NDK norma net iš esmės didino K koncentraciją jų biomasėje ($p > 0,05$).
3. Buvo nustatyta, kad tręšimas NDK esmingai didino $N_{sum.}$, P_2O_5 , K_2O ir $C_{org.}$ koncentracijas dirvožemyje ($p < 0,05$). Dirvožemio agrocheminių rodiklių reikšmės nepriklausė nuo tirtų žolių veislės, kuri buvo auginama dirvožemyje ($p > 0,05$).
4. Buvo nustatyta, kad tręšimas NDK iš esmės didino $N_{sum.}$, P_2O_5 , K_2O ir $C_{org.}$ koncentracijas dirvožemyje ($p < 0,05$). Tačiau, kadangi pavojus užteršti dirvožemį sunkiaisiais metalais ir kitomis kenksmingomis medžiagomis ir elementais visada lieka didelis, o tręšimas NDK net po ilgesnio laiko (5–8 metai) nedavė nei reikšmingo žolių biomasės SM derliaus padidėjimo nei gerino žolės biomasės, kaip kietojo biokuro, kokybę ($p > 0,05$), buvo nustatyta, kad yra netikslinga tirtų energinių žolių tręsimui naudoti NDK.

Literatūra

1. Ankuda, J., Bakšienė, E., Ražukas, A. ir Asakavičiūtė, R. (2020). Beginklės dirsuolės (*Bromopsis inermis* Leyss) ir nendrinio dryžučio (*Phalaroides arundinacea* L.) auginimas tręšiant juos nuotekų dumblo kompostu" (Growing of *Bromopsis inermis* Leyss and *Phalaroides arundinacea* L. using sewage sludge compost as a fertilizer). *Konferencijos mokslo straipsnių rinkinys „Žmogaus ir gamtos sauga 2020 / Human and Nature Safety 2020“*. <https://doi.org/10.7220/2538-9122.2020>, Vytauto Didžiojo universiteto leidykla, 167–170.
2. Ankuda, J., Bakšienė, E. ir Ražukas, A. (2023). Growing of *Phalaroides arundinacea* L. and *Bromopsis inermis* Leyss for biofuel using sewage sludge compost as a fertilizer. *Plants*, 12(23), 3939.

3. Buinevičius, K. (2014). Biokuro pelenai – technologiniai ir gamtosauginiai aspektai. *Pranešimo medžiaga. „Tarptautinė biomasės energetikos konferencija 2014 m.“*
4. Clewer, A. G. ir Scarisbrick, D. H. (2001). *Practical statistics and experimental desing for plant and crop science*. John Wiley & Sons, Ltd., England: 332.
5. Čekanavičius, V. ir Murauskas, G. (2003). *Statistika ir jos taikymai*. 1. Vilnius: TEV. 237 p.
6. Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2001 m. birželio 29 d. įsakymas Nr. 349 „Dėl nuotekų dumblo tvarkymo ir panaudojimo reikalavimų patvirtinimo“ (*Žin.*, 2001, Nr. 61-2196; Nauja redakcija nuo 2021-01-01. Nr. D1-410, 2020-07-03, paskelbta TAR 2020-07-03, i. k. 2020-14959; suvestinė redakcija nuo 2025-01-01).
7. Miškinis, V., Galinis, A., Konstantinavičiūtė, I., Norvaiša, E., Tarvydas, D., Lekavičius, V. ir Alėbaitė, I. (2011). *Kietojo biokuro apskaitos energijos gamybos šaltiniuose taisyklės*. Lietuvos energetikos instituto galutinė ataskaita. 70 p. https://www.lsta.lt/files/studijos/2011%20metu/A-71_LEI_atask_Kietojo%20biokuro%20apskaita.pdf
8. Raudonius, S. (2017). Application of statistics in plant and crop research: important issues. *Zemdirbyste-Agriculture*, 104(4), 377–382.
9. Tarakanovas, P. ir Raudonius, S. (2003). *Agronominių tyrimų duomenų statistinė analizė, taikant kompiuterines programas ANOVA, STAT, SPLIT–PLOT iš paketo SELEKCIJA ir IRRISTAT*. Akademija. 57 p.
10. Vrubliauskas, S. ir Pedišius, N. (2005). Kietojo biokuro standartizavimas ES ir Lietuvoje. *Energetika*, 1, 16–22.
11. World reference base for soil resources. 2014 (2015). International soil classification system for naming soil and creating legends for soil maps. *World soil resources reports*, 106. FAO, Rome, 203 p.

Jelena Ankuda, Eugenija Bakšienė, Almantas Ražukas, Diana Sivojienė

Long-term Effects of Using Sewage Sludge Compost for Fertilization on Some Energy Grasses and Soil

Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry, Institute of Agriculture, Vokė Branch, Lithuania

Currently, more and more sewage sludge is being generated in the world. As a result, research related to its use and utilization is becoming increasingly relevant. The aim of the study was to investigate how sewage sludge compost (SSC) used for fertilization affects the energy grasses *Bromopsis inermis* Leyss. and *Phalaroides arundinacea* L., grown in soil of light granulometric composition in the southeastern Lithuania, and the soil itself after a long period of time. The field experiment was carried out in 2018–2021 at the Vokė Branch of LAMMC on a soil sandy loam Haplic Luvisol (LVha) based on the old experiment. Fertilization scheme: Unfertilized; NPK; 25, 75 and 125 t/ha SSC dry matter (DM). Since the risk of soil contamination with heavy metals and other harmful substances and elements always remains high, and fertilization with SSC even after 5–8 years did not result in a significant increase in the yield of grass biomass DM or improve the quality of grass biomass as a solid fuel, it was determined that it is inappropriate to use SSC for fertilization of the investigated grasses.

Keywords: Sewage sludge compost, long-term effects of fertilization, soil, energy grasses, biofuels.

Gauta 2026 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2026 m. balandžio mėn.

Jelena ANKUDA. Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centro Žemdirbystės instituto Vokės filialo žemės ūkio mokslų srities agronomijos mokslo krypties mokslų daktarė. Adresas: Žalioji a. 2, LT-02232, Vilnius, tel. +370 612 89241, el. paštas: jelenatitovaankuda@gmail.com

Eugenija BAKŠIENĖ. Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centro Žemdirbystės instituto Vokės filialo biomedicinos mokslų srities agronomijos mokslo krypties mokslų daktarė. Adresas: Žalioji a. 2, LT-02232, Vilnius, tel. +370 685 49446, el. paštas: eugenija.baksiene@lammc.lt

Almantas RAŽUKAS. Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centro Žemdirbystės instituto Vokės filialo biomedicinos mokslų srities agronomijos mokslo krypties mokslų daktaras. Adresas: Žalioji a. 2, LT-02232, Vilnius, tel. +370 52 645439, el. paštas: almantas.razukas@lammc.lt

Diana SIVOJIENĖ. Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centro Žemdirbystės instituto Vokės filialo gamtos mokslų srities ekologijos ir aplinkotyros mokslo krypties mokslų daktarė. Adresas: Žalioji a. 2, LT-02232, Vilnius, tel.: +370 52645439, el. paštas: diana.sivojiene@lammc.lt

Jelena ANKUDA. Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry, Vokė branch of the Institute of Agriculture, doctor of agricultural sciences (agronomy). Address: Žalioji Sq. 2, LT-02232, Vilnius. Phone: +370 612 89241, e-mail: jelenatitovaankuda@gmail.com.

Eugenija BAKŠIENĖ. Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry, Vokė branch of the Institute of Agriculture, doctor of biomedical sciences (agronomy). Address: Žalioji Sq. 2, LT-02232, Vilnius. Phone: +370 685 49446, e-mail: eugenija.baksiene@lammc.lt

Almantas RAŽUKAS. Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry, Vokė branch of the Institute of Agriculture, doctor of biomedical sciences (agronomy). Address: Žalioji Sq. 2, LT-02232, Vilnius. Phone: +370 52645439, e-mail: almantas.razukas@lammc.lt

Diana SIVOJIENĖ. Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry, Vokė branch of the Institute of Agriculture, doctor of natural sciences (ecology and environmental sciences). Address: Žalioji Sq. 2, LT-02232, Vilnius. Phone: +370 52645439, e-mail: diana.sivojiene@lammc.lt

NON-TARGET *COLEOPTERA* BIODIVERSITY AND SPECIES COMPOSITION IN LITHUANIAN FORESTS REVEALED BY *IPS TYPOGRAPHUS* TRAP MONITORING

Ashley Vicente, Aurelija Ramanauskaitė, Povilas Mulerčikas

Vytautas Magnus University, Lithuania

Forest ecosystems are experiencing increasing environmental pressures associated with climate change, forest management practices, and disturbance regimes, affecting the biodiversity and composition of insect communities. This study investigates the biodiversity of non-target *Coleoptera* (beetles) captured in pheromone traps used to monitor the bark beetle *Ips typographus* in Lithuanian forests. Data was collected in 54 traps set across nine forest enterprises during the 2016 growing season. Non-target beetles collected in each trap were identified, and their diversity indices, including species richness and Shannon index, were calculated. In total, 3018 non-target beetles were collected, representing a great variety of species and families. The data showed considerable geographic variation in beetle abundance and diversity; some families, such as *Elateridae*, *Cerambycidae* and *Scarabaeidae*, constituted a high percentage of the total number of trapped beetles. The results from this study that pheromone traps set up to monitor pest species are useful for gathering data on forest biodiversity.

Keywords: *Coleoptera*, biodiversity monitoring, pheromone traps, *Ips typographus*, forest ecosystems.

Introduction

In the context of rapidly shifting global climate conditions, insect biodiversity is increasingly affected by changes in abundance, phenology, and geographical distribution. Forest ecosystems, especially those located in the northern and temperate parts of Europe, are often vulnerable to changes in climate conditions, precipitation regimes, and increasing levels of disturbance. Insects play a critical role in ecosystem stability by serving as decomposers, herbivores, predators, and prey. Consequently, changes in insect community structure may have significant ecological implications and can serve as indicators of environmental change (Grove, 2002; Stokland et al., 2012). Northern and Eastern European forests are currently experiencing measurable climatic shifts, including rising mean annual temperatures, milder winters, and more frequent droughts. Invertebrate communities live in dynamic environments due to interactions among climatic trends, disturbance regimes, pest outbreaks, and forest management techniques. However, the high cost of long-term standardized sampling, the limited spatial coverage, and the taxonomic complexity of many invertebrate groups continue to make biodiversity monitoring in forest ecosystems difficult (Siitonen, 2001; Southwood & Henderson, 2009). Among forest invertebrates, beetles (order *Coleoptera*) are among the most diverse and ecologically significant insect groups. Currently, the global species count of beetles stands at over 350,000, making *Coleoptera* the most diverse insect group (Bouchard et al., 2011). In Lithuania alone, the number of beetle species identified to date exceeds 3,000, thus forming a significant component of biodiversity (Tamutis et al., 2011). Forest beetles perform numerous ecological functions, including wood decomposition, nutrient cycling, and regulation of other invertebrate populations. Saproxylic beetles associated with deadwood play a fundamental role in forest ecosystem processes and are frequently used as indicators of habitat quality and forest continuity (Speight, 1989; Stokland et al., 2012). While studies on forest beetle communities are vital and numerous across Europe, studies focused in Lithuania are sparse and most often centre on selective taxonomic groups or agricultural settings rather than general forest ecosystems. These studies miss the chance to incorporate biodiversity monitoring into the forest health monitoring systems already in place. One of the most intensively monitored forest insects in Europe is the spruce bark beetle *Ips typographus*, a major pest of Norway spruce (*Picea abies*). Outbreaks of this species have caused significant ecological and economic damage across Central and Northern Europe (Wermelinger, 2004). In Lithuania, monitoring of *Ips typographus* is routinely conducted using pheromone traps deployed by forest protection services. While these traps are designed specifically to capture the target bark beetle, they also collect a wide range of non-target invertebrates, including numerous *Coleoptera* species. Such bycatch represents an underutilised source of biodiversity data. Although not intended as an exhaustive biodiversity sampling technique, such pheromone traps provide a spatially distributed, standardised monitoring network across the forest landscape. With the correct taxonomic treatment, bycatch from such traps could offer valuable information on species richness and composition, and on spatial variation in forest beetle communities.

The object of this study is the non-target *Coleoptera* communities captured in pheromone traps used to monitor *Ips typographus* in Lithuanian forests.

This study aims to assess the biodiversity and species composition of non-target Coleoptera communities captured in *Ips typographus* pheromone traps, and to evaluate their potential use as a supplementary biodiversity monitoring tool.

Research methodology

The study was conducted between 30 May and 20 September 2016. Pheromone traps targeting the spruce bark beetle, *Ips typographus*, were installed at nine Lithuanian forest enterprises: Alytus, Dubrava, Ignalina, Kuršėnai, Panevėžys, Raseiniai, Rietavas, Rokiškis, and Trakai. At each enterprise, six pheromone traps were deployed, resulting in a total of 54 traps across the study area. Traps were placed in recently clear-cut coniferous stands to ensure suitable conditions for monitoring bark beetles. The traps consisted of a canopy, funnel segments, a beetle collector, and a pheromone bait holder. The pheromone lure *Ipsodor* W was used, designed to attract *Ips typographus* throughout the flight season. The lure remained active for approximately twenty weeks and was replaced during the season to ensure effective attraction of both beetle generations. Traps were installed at a height of approximately 1–1.5 m above ground level and spaced at least 40 m apart to minimise interference between traps. The traps were inspected at approximately three-week intervals between May and September. During each inspection, insects collected in the traps were removed and placed in labelled containers that indicated the trap number, location, and date of inspection. The samples were subsequently frozen and preserved in alcohol to prevent decomposition. Species identification was carried out in the laboratory of the Institute of Biology and Plant Biotechnology of the Faculty of Agronomy at Aleksandras Stulginskis University. Specimens were identified to genus or species level using morphological identification keys, following standard entomological identification procedures described in the literature. After excluding the target species *Ips typographus*, biodiversity indicators were calculated for the remaining beetle assemblages. Species diversity was assessed using the Shannon diversity index (H'), which reflects both species richness and evenness in a community (Southwood, 1978; Odum, 1975).

The Shannon diversity index was calculated using the following formula:

$$H' = - \sum (p_i \ln p_i), \quad (1)$$

where H' – Shannon species diversity index; p_i – proportion of individuals belonging to species i ;
 i – index of species in the community; Σ – summation across all species in the sample.

To assess differences in beetle community composition among forest sites, hierarchical cluster analysis using Bray-Curtis dissimilarity was performed on site-by-species abundance matrices in RStudio. Additional descriptive metrics-including total abundance, species richness, and Simpson diversity were also calculated using R packages such as dplyr, tidyr, and vegan. These analytical methods were selected to allow comparison of community structure and to identify spatial patterns in beetle assemblages across study sites.

Results and discussion

A total of 3,018 non-target Coleoptera individuals representing multiple families and species were recorded across the nine study locations. Considerable variation in beetle abundance was observed among sites. The highest number of individuals was recorded in Dubrava (862 individuals), followed by Rokiškis (604) and Panevėžys (444). In contrast, Alytus (117 individuals) and Ignalina (120 individuals) exhibited the lowest total abundance. Such variation in abundance is likely associated with differences in local habitat conditions, including forest structure, availability of deadwood, and microclimatic factors influencing beetle activity.

Table 1. Summary of non-target Coleoptera abundance, species richness, Shannon and Simpson diversity indices, and dominant families at each forest site

	Site	Total Abundance	Species Richness	Shannon	Simpson	Dominant Families
1	Alytaus	117	44	3.89	0.97	<i>Elateridae</i> , <i>Carabidae</i> , <i>Cerambycidae</i>
2	Dubravos	862	73	4.81	0.99	<i>Scarabaeidae</i> , <i>Elateridae</i> , <i>Cerambycidae</i>
3	Ignalinos	120	44	4.01	0.97	<i>Elateridae</i> , <i>Scarabaeidae</i> , <i>Cerambycidae</i>
4	Kuršėnų	239	48	3.92	0.96	<i>Elateridae</i> , <i>Dermestidae</i> , <i>Mordellidae</i>
5	Panėvėžio	444	66	4.59	0.98	<i>Elateridae</i> , <i>Cerambycidae</i> , <i>Scarabaeidae</i>
6	Raseinių	133	49	4.15	0.98	<i>Elateridae</i> , <i>Scarabaeidae</i> , <i>Cerambycidae</i>
7	Rietavo	221	59	4.14	0.97	<i>Elateridae</i> , <i>Cerambycidae</i> , <i>Cleridae</i>
8	Rokiškio	604	60	4.62	0.98	<i>Scarabaeidae</i> , <i>Cerambycidae</i> , <i>Elateridae</i>
9	Trakų	278	36	3.28	0.92	<i>Elateridae</i> , <i>Silphidae</i> , <i>Scarabaeidae</i>

Species richness also varied among sampling sites. The highest number of species was recorded in Dubrava (73), while Trakai showed the lowest species richness (36). Shannon diversity index values ranged from 3.28 in Trakai to 4.81 in Dubrava, indicating variation in species diversity among the studied sites.

Simpson diversity values ranged from 0.92 to 0.99, suggesting relatively high diversity and evenness across most beetle communities. The abundance of beetle families differed substantially among locations. The family Elateridae was among the most frequently recorded groups in Panevėžys, Kuršėnai, and Rietavas.

Scarabaeidae exhibited particularly high abundance in Dubrava and Rokiškis, while *Cerambycidae* represented a significant proportion of captured individuals in Kuršėnai and Rietavas. In contrast, the site in Trakai was characterised by an unusually high abundance of *Silphidae*. These patterns demonstrate that a relatively small number of families dominate the trap catches, while many additional families occur in lower numbers. These differences suggest that certain beetle families respond strongly to local environmental conditions and resource availability, such as decaying organic matter and host tree species composition.

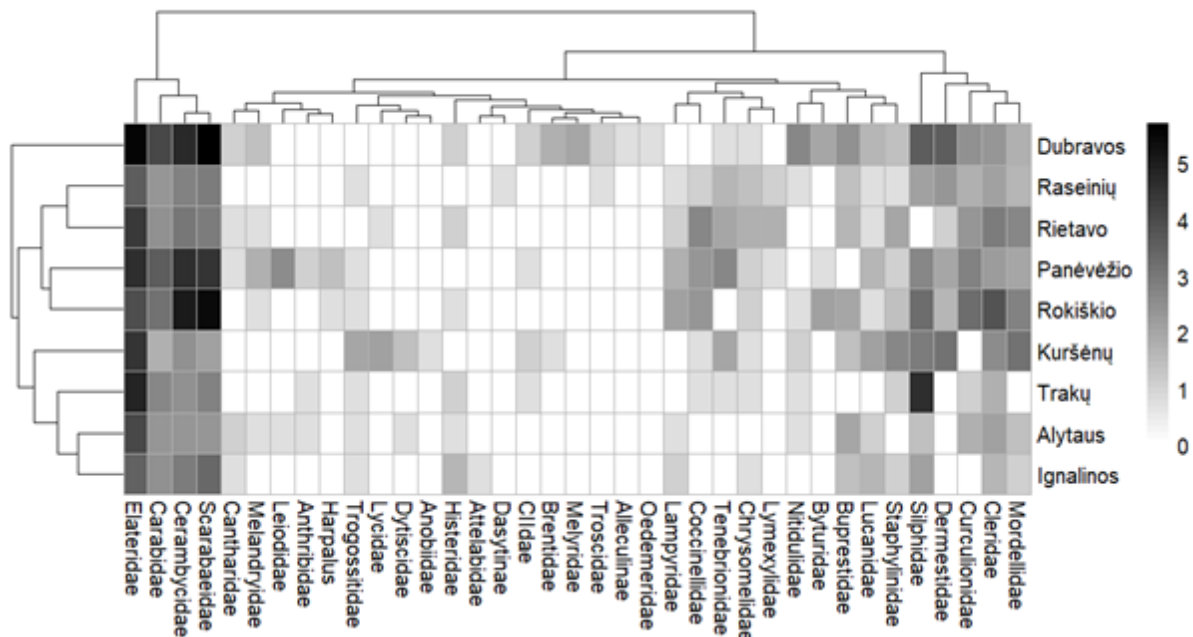


Fig. 1. Heatmap showing abundance of beetle families across the nine forest sites

Species-level analysis showed that several taxa occurred at multiple sites and contributed substantially to overall abundance. Species belonging to the families *Elateridae* and *Cerambycidae* were particularly widespread. Among the most frequently recorded species were *Melanotus castanipes*, *Ampedus pomorum*, and *Rhagium inquisitor*. These species were present at several sampling sites and formed a considerable proportion of the captured individuals. At the same time, many species were recorded only once or in small numbers, indicating the presence of numerous rare taxa within the beetle communities. Their widespread occurrence indicates that these species are well adapted to a range of forest conditions and may play an important ecological role in these ecosystems. This pattern is typical of species-rich ecological communities, where a small number of dominant species coexist with many rare species.

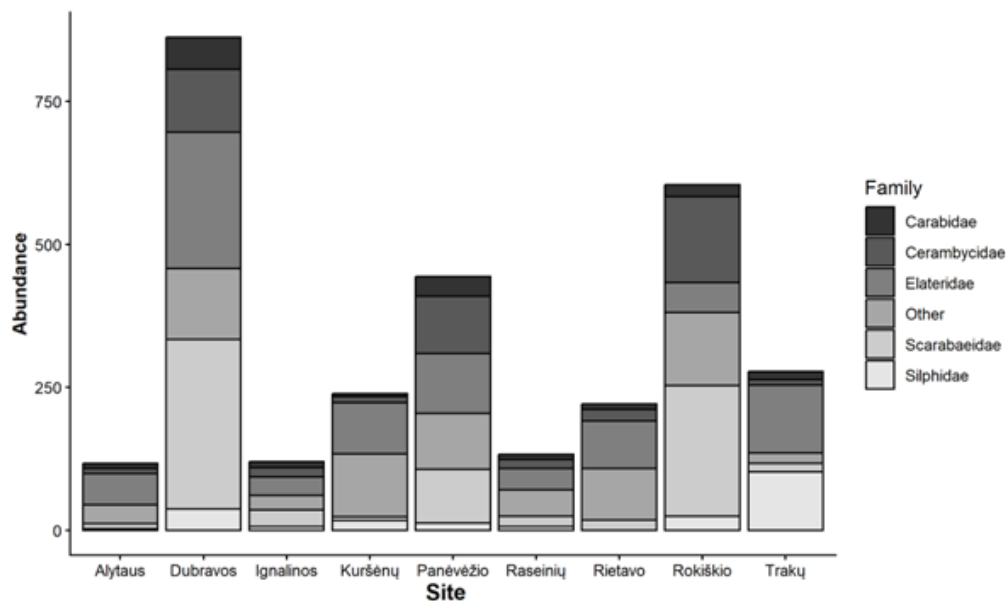


Fig. 2. Relative proportions of the top 5 beetle families and other families per forest site

The beetle community composition showed evidence of spatial variation among the forest enterprises studied. Dubrava had the highest beetle abundance and species richness, indicating more favourable local environmental conditions for supporting diverse beetle communities than the other locations studied.

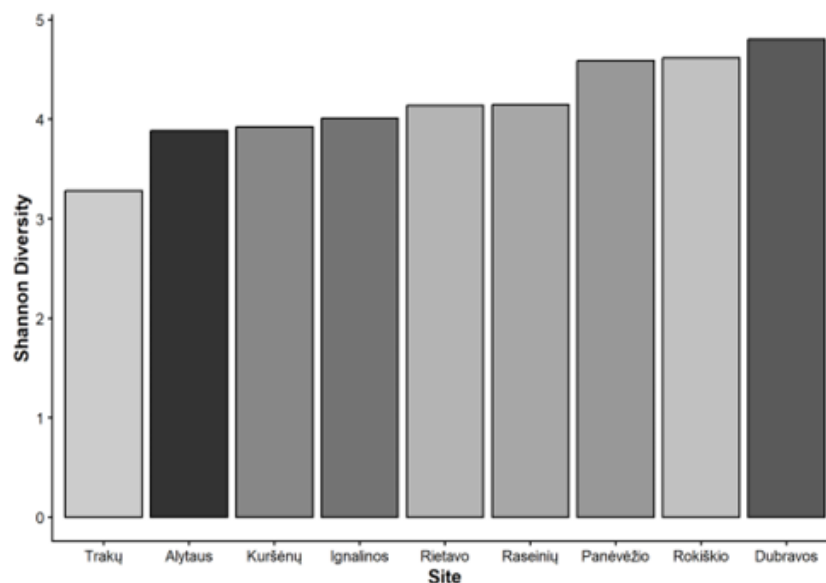


Fig. 3. Shannon diversity index of non-target *Coleoptera* communities at each forest site

Trakai had lower species richness; however, the *Silphidae* were strongly dominant at Trakai. A high abundance of *Cerambycidae* and *Elateridae* (both typically found in forest habitats with deadwood and decaying organic matter) was observed in Kuršėnai and Rietavas. These findings suggest that local forest structure, management practices, stand age, and availability of deadwood influence beetle community composition across sites.

Although the pheromone traps were originally designed for monitoring *Ips typographus*, the results demonstrate that they also capture a broad range of non-target beetle taxa. The diversity indices observed across sites indicate that pheromone trap bycatch can provide valuable supplementary information about forest beetle biodiversity. This highlights the potential for integrating biodiversity assessment into existing forest pest monitoring systems without additional sampling costs.

Several limitations should be considered when interpreting the results. First, the sampling was conducted during a single season, which restricts the ability to detect long-term trends in beetle diversity. Second, pheromone traps may selectively capture species attracted to chemical cues or those that are active fliers,

leading to an underrepresentation of other taxa. Therefore, the results should be interpreted as indicative rather than comprehensive measures of total beetle biodiversity.

Future research could expand monitoring over multiple years and incorporate additional data sources, such as citizen science observations and environmental variables, to improve understanding of temporal and spatial patterns of beetle biodiversity in Lithuanian forests.

Conclusions

1. A total of 3,018 non-target *Coleoptera* individuals representing numerous species and families were captured in pheromone traps used for monitoring *Ips typographus*.
2. Beetle abundance and species richness varied considerably among the studied forest enterprises, with the highest diversity recorded in Dubrava and the lowest in Trakai.
3. Several beetle families, particularly *Elateridae*, *Cerambycidae* and *Scarabaeidae*, dominated the trap catches across multiple sampling sites.
4. Despite the dominance of several taxa, many additional species were recorded at low abundance, indicating high overall biodiversity of forest beetle communities.
5. The results demonstrate that pheromone traps used for bark beetle monitoring can serve as a valuable supplementary tool for assessing forest beetle biodiversity.
6. The integration of non-target species analysis into existing monitoring systems represents a cost-effective approach to enhancing biodiversity assessment in forest ecosystems.

References

1. Bouchard, P., Bousquet, Y., Davies, A. E., Alonso-Zarazaga, M. A., Lawrence, J. F., Lyal, C. H. C., Newton, A. F., Reid, C. A. M., Schmitt, M., Ślipiński, A. S., & Smith, A. B. T. (2011). Family-group names in Coleoptera (Insecta). *ZooKeys*, 88, 1–972. <https://doi.org/10.3897/zookeys.88.807>
2. Grove, S. J. (2002). Saproxylic insect ecology and the sustainable management of forests. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 33, 1–23. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.33.010802.150507>
3. Odum, E. P. (1975). *Ecology: The link between the natural and the social sciences*. Holt, Rinehart and Winston.
4. Siitonen, J. (2001). Forest management, coarse woody debris and saproxylic organisms: Fennoscandian boreal forests as an example. *Ecological Bulletins*, 49, 11–41.
5. Southwood, T. R. E. (1978). *Ecological methods: With particular reference to the study of insect populations*. Chapman & Hall.
6. Southwood, T. R. E., & Henderson, P. A. (2009). *Ecological methods* (3rd ed.). Wiley-Blackwell.
7. Speight, M. C. D. (1989). Saproxylic invertebrates and their conservation. Council of Europe.
8. Stokland, J. N., Siitonen, J., & Jonsson, B. G. (2012). *Biodiversity in dead wood*. Cambridge University Press.
9. Tamutis, V., Tamutė, B., & Ferenc, R. (2011). A catalogue of Lithuanian beetles (Insecta, Coleoptera). *ZooKeys*, 121, 1–494. <https://doi.org/10.3897/zookeys.121.732>
10. Wermelinger, B. (2004). Ecology and management of the spruce bark beetle *Ips typographus*—A review of recent research. *Forest Ecology and Management*, 202(1–3), 67–82. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.07.018>

Received March, 2026, published April, 2026

Ashley VICENTE. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Forestry and Ecology, student. Address: Studentu g. 15a, LT-53362, Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 37 752357, +44 7462 408 981, e-mail: ashley.lexine.vicente.cea@vdu.lt

Aurelija RAMANAUSKAITĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Forestry and Ecology, assoc. prof. Address: Studentu g. 15a, LT-53362, Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 37 752357, e-mail: aurelija.ramanauskaite@vdu.lt

Povilas MULERČIKAS. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Forestry and Ecology, assoc. prof. Address: Studentu g. 15a, LT-53362, Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 37 752357, e-mail: povilas.mulercikas@vdu.lt

INFLUENCE OF TEMPERATURE AND SALINITY ON NUTRIENT DYNAMICS IN THE SOUTHEASTERN BALTIC SEA (2020–2024)

Syful Islam, Laima Česonienė

Vytautas Magnus University, Lithuania

Eutrophication is a major environmental issue in the Baltic Sea that is influenced by the nutrient inputs as well as the hydrographic conditions. Based on the environmental monitoring data, this paper explores the relationships between physicochemical parameters and nutrient dynamics in the southeast of Baltic Sea, along the Lithuanian coast between 2020–2024. A correlation study indicates that temperature and salinity are significant variables that affect the distribution of nutrients. Reduced dissolved oxygen levels and reduced inorganic nutrient forms were correlated with higher temperatures, indicating more stratification and biological activity at warmer temperatures. The effect of the freshwater imports of the Curonian Lagoon is emphasized with the presence of strong negative correlations of salinity and nutrients. These results suggest that the susceptibility of Baltic Sea ecosystem to eutrophication could be enhanced by climatic-induced hydrographic alterations.

Keywords: Baltic Sea; Eutrophication, nutrient dynamics, hydrographic variability, Curonian lagoon.

Introduction

The coastal area of the southeastern Baltic Sea along the coast of Lithuania is a highly dynamic coastal system that is formed by the interplay of marine and freshwater processes (Dargahi et al., 2017). The Nemunas River is one of the main factors that affect this area and supplies a lot of freshwater, sediments, and nutrient loads to the Curonian Lagoon and further into the Baltic Sea via a clearly defined zone of dispersion (Stakėnienė et al., 2023).

Eutrophication is one of the most serious environmental challenges in the Baltic Sea, mainly caused by excessive inputs of nitrogen and phosphorus from agriculture, wastewater, and riverine discharge (Aleksandrov et al., 2018), and has contributed to long-term deoxygenation trends in the Baltic Sea over the past century (Carstensen et al., 2014a). These inputs stimulate algal blooms and cause oxygen depletion in deeper layers, threatening marine biodiversity and ecosystem stability (Zillén et al., 2008). Temperature plays a key role in regulating these processes because an increase in temperature decreases oxygen solubility, increases stratification of the water column, and increases the rate of biological and biochemical reactions, which in turn facilitates nutrient cycling and primary production (Keeling et al., 2010). Furthermore, increasing temperature enhances water column stratification, which limits vertical mixing and reduces oxygen supply to deeper layers (Dargahi et al., 2017). Under such conditions, phosphorus stored in sediments can be released back into the water column, further intensifying eutrophication processes (Carstensen et al., 2014b).

Although the effect of hydrographic variability (temperature and salinity) and nutrient dynamics on various types of water bodies has been extensively monitored (Meier et al., 2019a), there is still a significant gap in the research on the interaction of the two variables in different water bodies, especially in the transitional areas like the Curonian Lagoon–Baltic Sea interface (Stakėnienė et al., 2023). Most previous studies have focused either on nutrient levels or physical characteristics individually (Dargahi et al., 2017), and combined studies on interannual variability, spatial gradients, and statistical correlations remain limited in the southeastern Baltic Sea. Despite extensive research on eutrophication and hydrographic variability in the Baltic Sea, few studies have jointly analyzed the effects of temperature and salinity on nutrient cycling in the Curonian Lagoon–Baltic Sea transition zone. By using multi-year (2020–2024) monitoring data, this study offers new evidence on how these interacting physical factors drive nutrient dynamics and eutrophication risk along the Lithuanian coast. This study is novel because it integrates multi-year (2020–2024) monitoring data and jointly evaluates the influence of temperature and salinity on nutrient dynamics in the Curonian Lagoon–Baltic Sea transition zone, which remains insufficiently explored.

Therefore, the aim of this study is to assess the spatiotemporal variability of hydrographic conditions and nutrient concentrations in the southeastern Baltic Sea along the Lithuanian coast during the period 2020–2024, and to determine the relationships between physicochemical parameters and nutrient distribution to better understand the drivers of eutrophication under changing climatic conditions.

Research methodology

Data were obtained from the Lithuanian Environmental Protection Agency monitoring database: <https://aaa.lrv.lt/lt/veiklos-sritys/vanduo/kursiu-marios-ir-baltijos-jura/valstybinis-baltijos-juros-ir-kursiu-mariu-monitoringas/kursiu-mariu-ir-baltijos-juros-monitoringo-rezultatai/>

Water quality was assessed according to the values of water quality indicators: total N, mg/l. NO₂-N, mg/l N; NO₃-N, mg/l N; NH₄-N, mg/l N; total P, mg/l; PO₄-P, mg/l P; Si, mg/l; dissolved, mg/l O₂; pH; Salinity, ‰; and Water temperature, °C.

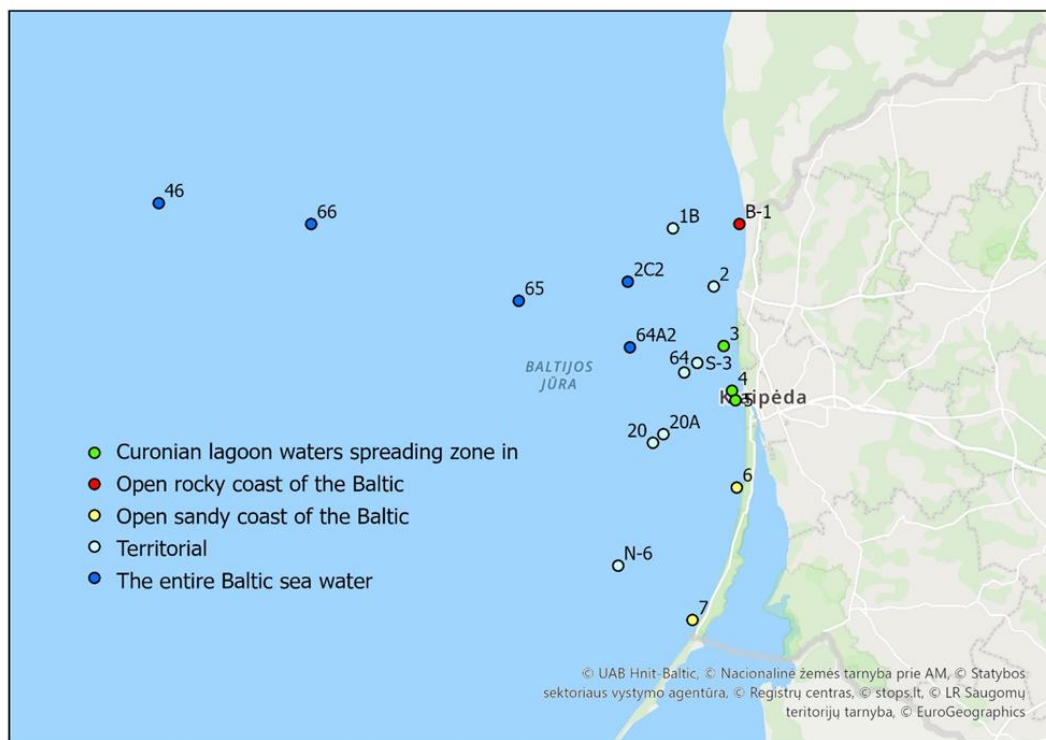


Fig. 1. Baltic Sea in 2020–2024 at different monitoring sites: Open rocky coast of the Baltic Sea B-1; Open rocky coast of the Baltic Sea - 6; Open rocky coast of the Baltic Sea -7; Curonian lagoon waters spreading zone in Baltic Sea 3, Curonian lagoon waters spreading zone in Baltic Sea -4; Curonian lagoon waters spreading zone in Baltic Sea - 5; Territorial sea1B; Territorial sea - 2; Territorial sea - 20; Territorial sea - 20A; Territorial sea – 64; Territorial sea - N-6; Territorial sea – S-3; The entire Baltic Sea water area 2C2; The entire Baltic Sea water area - 64A2.

The results of the studies were evaluated after mathematical statistical processing, the mathematical statistical program Microsoft EXCEL and "STATISTICA 10" were used for statistical analysis of data. In order to assess the relationships between the water quality indicators total N, NO₂-N, NO₃-N, NH₄-N, total P, PO₄-P, Si concentrations and dissolved oxygen; pH; Salinity, ‰; and Water temperature, °C values, correlation coefficients were calculated using the "STATISTICA 10" program. Significance level $p < 0.05$. Conclusions about the strength of the correlation relationship are drawn based on the size of the correlation coefficient.

The linear relationship is stronger, the closer the $|r|$ value is to 1. If $r > 0$, then as the values of one random variable increase, the values of the other increase linearly. If $r < 0$, then as the values of one random variable increase, the values of the other decrease linearly, if $r = 0$, then there is no linear relationship, but there may be a nonlinear relationship.

Results and discussion

Hydrographic Variability and Nutrient Trends (2020–2024)

Assessment of five years of monitoring data (2020–2024) revealed clear interannual variability in hydrographic and nutrient parameters in the southeastern Baltic Sea.

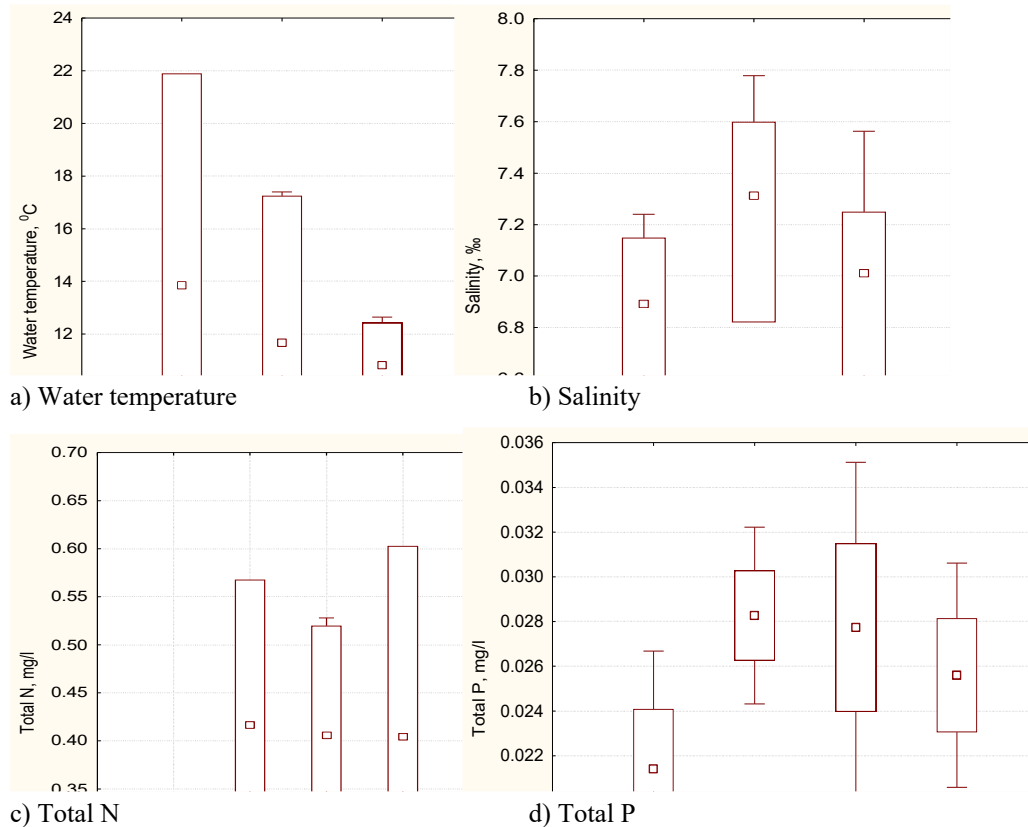


Fig. 2. Box plot showing interannual variability (2020–2024) of a) Water temperature b) Salinity c) Total N d) Total P in the southeastern Baltic Sea

Figure 2 illustrates these patterns: water temperature and salinity (panels a–b) and total nitrogen and total phosphorus (panels c–d). Surface water temperature displayed cooling in 2021–2022 followed by a marked increase in 2024, consistent with climatic oscillations previously reported for the Baltic region (Liblik et al., 2025; Schimanke et al., 2012).

Salinity remained relatively stable during the study period, although slightly lower values were observed near the Curonian Lagoon plume, reflecting freshwater influence. Both total N and total P were on an upward trend to 2024, especially at near-shore locations where lagoon waters exerted a strong influence. Moreover, total nitrogen showed greater variability during 2022–2023, as indicated by wider minimum-maximum ranges and larger dispersion in the box plots. Similar results have been reported in earlier studies (Stakėnienė et al., 2023; Vybernaite-Lubiene et al., 2022) and indicate that sustained nutrient enrichment continues despite management efforts. In general, the trends in Figure 2 illustrate that the combination of temperature and freshwater inflow is controlling the variability of nutrients in the Lithuanian coast, indicating the increasing sensitivity of the system to climate-based stratification.

Relationships between physicochemical parameters values and nutrient concentrations in the Baltic Sea water

Table 1. Correlation of relationships between nutrient concentrations, physical and chemical parameters in the Baltic Sea water

	Total N, mg/l	NO ₂ -N, mg/lN	NO ₃ -N, mg/lN	NH ₄ -N, mg/lN	Total P, mg/l	PO ₄ -P, mg/lP	Si, mg/l	Dissolved O ₂ , mg/l O ₂	pH
Water Temperature, °C	$r = 0.53$ $p = 0.027$	$r = -0.38$ $p = 0.000$	$r = -0.39$ $p = 0.000$	$r = -0.15$ $p = 0.145$	$r = -0.44$ $p = 0.000$	$r = -0.42$ $p = 0.000$	$r = -0.28$ $p = 0.005$	$r = -0.37$ $p = 0.000$	$r = 0.45$ $p = 0.000$
Salinity, ‰	$r = -0.61$ $p = 0.000$	$r = -0.40$ $p = 0.000$	$r = -0.64$ $p = 0.000$	$r = -0.56$ $p = 0.000$	$r = -0.18$ $p = 0.049$	$r = -0.25$ $p = 0.014$	$r = 0.02$ $p = 0.841$	$r = 0.12$ $p = 0.234$	$r = 0.28$ $p = 0.045$
Dissolved O ₂ , mg/l O ₂	$r = -0.06$ $p = 0.556$	$r = -0.06$ $p = 0.575$	$r = -0.05$ $p = 0.652$	$r = -0.30$ $p = 0.003$	$r = -0.04$ $p = 0.717$	$r = 0.004$ $p = 0.989$	$r = 0.264$ $p = 0.010$	1 $p = ---$	$r = -0.19$ $p = 0.047$
pH	$r = -0.21$ $p = 0.042$	$r = -0.02$ $p = 0.877$	$r = -0.31$ $p = 0.002$	$r = -0.13$ $p = 0.197$	$r = -0.22$ $p = 0.029$	$r = -0.27$ $p = 0.007$	$r = -0.22$ $p = 0.034$	$r = -0.19$ $p = 0.047$	1 $p = ---$

A correlation analysis was carried out to measure these linkages (Table 1). Temperature was positively correlated with total nitrogen ($r = 0.53$, $p = 0.027$) but negatively correlated with dissolved oxygen ($r = -0.37$)

and most forms of inorganic nutrients, which is expected based on the processes of increased biological uptake under warm stratified conditions, as previously described (Carstensen et al., 2014b). The negative relationships between salinity and nutrient concentrations ($r = -0.40$ to -0.64) confirm the fact that the inflow of freshwater into the Curonian Lagoon is a significant source of nutrient enrichment. The absence of significant correlation between the salinity and dissolved oxygen ($r = 0.12$, $p > 0.05$) indicates that the oxygen levels change was not directly correlated with salinity. This means that the local physical mixing processes and temperature based stratification likely controlled the variability in oxygen and not the variations in oxygen solubility. These results align with previous observations of lagoon–sea exchange effects on eutrophication processes (Stakėnienė et al., 2023).

Hydrographic Influence on Oxygen and Eutrophication Dynamics

Rising temperature reduces oxygen solubility and strengthens vertical density gradients, limiting oxygen transfer to deeper layers (Carstensen et al., 2014b; Keeling et al., 2010). Recent modelling results further demonstrate that warm saltwater inflows intensify deep-water hypoxia in the western Baltic Sea by transporting heat into bottom layers and accelerating oxygen depletion (Barghorn et al., 2025). Under such stratified conditions, sediment-bound phosphorus is released into the water column (Conley et al., 2009). This mechanism is supported by the covariation of warmer conditions, decreased dissolved oxygen, and increased total phosphorus. These interactions describe the typical feedback cycle of Baltic eutrophication: warming → stratification → oxygen depletion → internal phosphorus loading → intensified phytoplankton growth. Recent studies (Liblik et al., 2025; Meier et al., 2019b) also report similar links between hydrographic stagnation and increased hypoxia, confirming the regional relevance of the current findings.

Implications for Ecosystem Management

The summation of Figure 2 and Table 1 illustrates that temperature increase and the discharge of freshwater variables have become significant alterations of nutrient cycling in the south east Baltic Sea. Such hydrographic processes may compromise nutrient-reduction policies unless they are incorporated into management policies. The successful management of eutrophication should thus tackle both external (agricultural and urban runoff) and internal mechanisms accelerated by climate-induced stratification (Carstensen et al., 2014b). The new idea of nutrientscape ecology emphasizes the value of nutrient connectivity across land-sea interfaces by managing a whole-system approach that considers physical, ecological, and social processes (Palola et al., 2025). Integrating this point of view can enhance adaptive coastal management to climate and hydrological variability. This five-year analysis of hydrography and nutrient behaviour is therefore a combined analysis that integrates the hydrography and nutrient behaviour and the necessity of adaptive, climate-conscious nutrient management in the Baltic coastal zone.

Conclusions

1. It was found that the primary hydrographic drivers of nutrient dynamics in the southeastern Baltic Sea during 2020-2024 are temperature and salinity.
2. Rise in water temperature related to decreased dissolved oxygen levels and decreased inorganic nutrient forms, signifying enhanced biological activity and stronger stratification of the water column.
3. Freshwater inlet through the Curonian Lagoon played a major role in enriching the nutrient of the coastline as indicated by the negative correlation between salinity and nutrient levels.
4. The findings indicate that climate-induced hydrographic alterations can increase the threat of eutrophication, which is why climate variability should be taken into account in nutrient management plans in the Baltic Sea.

References

1. Aleksandrov, S., Krek, A., Bubnova, E., & Danchenkov, A. (2018). Eutrophication and effects of algal bloom in the south-western part of the Curonian Lagoon alongside the Curonian spit. *Baltica*, 31(1), 1–12. <https://doi.org/10.5200/baltica.2018.31.01>
2. Barghorn, L., Meier, H. E. M., Radtke, H., Neumann, T., & Naumov, L. (2025). Warm saltwater inflows strengthen oxygen depletion in the western Baltic Sea: Warm saltwater inflows strengthen...: L. Barghorn et al. *Climate Dynamics*, 63(1). <https://doi.org/10.1007/s00382-024-07501-x>
3. Carstensen, J., Andersen, J. H., Gustafsson, B. G., & Conley, D. J. (2014a). Deoxygenation of the Baltic Sea during the last century. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(15), 5628–5633. <https://doi.org/10.1073/pnas.1323156111>
4. Carstensen, J., Conley, D. J., Bonsdorff, E., Gustafsson, B. G., Hietanen, S., Janas, U., Jilbert, T., Maximov, A., Norkko, A., Norkko, J., Reed, D. C., Slomp, C. P., Timmermann, K., & Voss, M. (2014b).

- Hypoxia in the Baltic Sea: Biogeochemical cycles, benthic fauna, and management. *Ambio*, 43(1), 26–36. <https://doi.org/10.1007/s13280-013-0474-7>
5. Conley, D. J., Paerl, H. W., Howarth, R. W., Boesch, D. F., Seitzinger, S. P., Havens, K. E., Lancelot, C., & Likens, G. E. (2009). Ecology - Controlling eutrophication: Nitrogen and phosphorus. *Science*, 323(5917), 1014–1015. <https://doi.org/10.1126/science.1167755>
6. Dargahi, B., Kolluru, V., & Cvetkovic, V. (2017). Multi-layered stratification in the Baltic Sea: Insight from a modeling study with reference to environmental conditions. *Journal of Marine Science and Engineering*, 5(1). <https://doi.org/10.3390/jmse5010002>
7. Keeling, R. F., Körtzinger, A., & Gruber, N. (2010). Ocean deoxygenation in a warming world. *Annual Review of Marine Science*, 2(1), 199–229. <https://doi.org/10.1146/annurev.marine.010908.163855>
8. Liblik, T., Siht, E., Buschmann, F., Kaljumäe, M., Kikas, V., Lips, U., Luik, S. T., Maslova, D., Pärt, K., Salm, K., Samlas, O., Siiriä, S. M., Sildever, S., Skudra, M., Tikka, K., & Tuomi, L. (2025). Recent stagnation period and unprecedented deoxygenation in the Baltic Sea: Causes and consequences. *Frontiers in Earth Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/feart.2025.1638978>
9. Meier, H. E. M., Dieterich, C., Eilola, K., Gröger, M., Höglund, A., Radtke, H., Saraiva, S., & Wåhlström, I. (2019a). Future projections of record-breaking sea surface temperature and cyanobacteria bloom events in the Baltic Sea. *Ambio*, 48(11), 1362–1376. <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01235-5>
10. Meier, H. E. M., Eilola, K., Almroth-Rosell, E., Schimanke, S., Kniebusch, M., Höglund, A., Pemberton, P., Liu, Y., Väli, G., & Saraiva, S. (2019b). Disentangling the impact of nutrient load and climate changes on Baltic Sea hypoxia and eutrophication since 1850. *Climate Dynamics*, 53(1–2), 1145–1166. <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4296-y>
11. Palola, P., Pittman, S. J., Collin, A., Benkwitt, C. E., Thomson, E., Malhi, Y., Graham, N. A. J., & Wedding, L. M. (2025). Nutrientscape ecology: a whole-system framework to support the understanding and management of coastal nutrient connectivity. In *Landscape Ecology*, 40(3). Springer Science and Business Media B.V. <https://doi.org/10.1007/s10980-025-02060-w>
12. Schimanke, S., Meier, H. E. M., Kjellström, E., Strandberg, G., & Hordoir, R. (2012). The climate in the Baltic Sea region during the last millennium simulated with a regional climate model. *Climate of the Past*, 8(5), 1419–1433. <https://doi.org/10.5194/cp-8-1419-2012>
13. Stakėnienė, R., Jokšas, K., Kriaučiūnienė, J., Jakimavičius, D., & Raudonytė-Svirbutavičienė, E. (2023). Nutrient Loadings and Exchange between the Curonian Lagoon and the Baltic Sea: Changes over the Past Two Decades (2001–2020). *Water (Switzerland)*, 15(23). <https://doi.org/10.3390/w15234096>
14. Vybernaite-Lubiene, I., Zilius, M., Bartoli, M., Petkuvienė, J., Zemlys, P., Magri, M., & Giordani, G. (2022). Biogeochemical Budgets of Nutrients and Metabolism in the Curonian Lagoon (South East Baltic Sea): Spatial and Temporal Variations. *Water (Switzerland)*, 14(2). <https://doi.org/10.3390/w14020164>
15. Zillén, L., Conley, D. J., Andrén, T., Andrén, E., & Björck, S. (2008). Past occurrences of hypoxia in the Baltic Sea and the role of climate variability, environmental change and human impact. *Earth-Science Reviews*, 91(1–4), 77–92. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2008.10.001>

Received March, 2026, published April, 2026

Syful ISLAM. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Forest Sciences and Ecology, Department of Environment and Ecology, student. Address: Studentų g. 11, LT-53362, Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 62832770, e-mail: Syfulislamj5@gmail.com

Laima ČESONIENĖ. Vytautas Magnus University, Faculty of Forest Sciences and Ecology, Department of Environment and Ecology, prof. Address: Studentų str. 11-518 LT-53361 Akademija, Kauno dist. Phone: +37061468442, e-mail: laima.cesonienel@vdu.lt

NEVĖŽIO UPĖS TIES KĖDAINIAIS EKOLOGINĖ BŪKLĖ

Kristina Boguševičiūtė, Laima Česonienė

Vytauto Didžiojo universitetas

Paviršinių vandens telkinių ekologinės būklės vertinimas Lietuvoje yra grindžiamas aiškia ir nuoseklia teisine sistema. Ši sistema nustato ne tik ekologinės būklės siektinus tikslus, bet ir konkrečius vertinimo kriterijus, monitoringo reikalavimus. Straipsnyje nagrinėjami Aplinkos apsaugos agentūros 2012–2025 m. monitoringo duomenys. Šio tyrimo laikotarpiu kasmet Nevėžio upėje buvo atliekami nitratų azoto, amonio azoto, bendro azoto, bendro fosforo, biocheminio deguonies suvartojimo per 7 paras ir prisotinio deguonimi koncentracijos vandenyje matavimai. Nevėžio upės ties Kėdainiais duomenis 2012–2025 m. nustatyta, kad Nevėžio upė pagal bendrąjį fosforą dažniausiai atitiko labai geros ekologinės būklės klasę. Pagal bendrąjį azotą – nuo labai geros 2021 m. iki vidutinės ekologinės būklės klasės 2014–2016, 2022–2025 m. pagal BDS7 vertes labai geros ekologinės būklės klasę 2014; 2016 m. 2023–2025 m., labai bloga – 2020 ir 2022 m.

Raktiniai žodžiai: vandens kokybė, tarša, koncentracija, BDS7, ekologinė būklė.

Įvadas

Paviršinių vandens telkinių ekologinė būklė yra vienas svarbiausių aplinkosaugos klausimų tiek Europos Sąjungos, tiek nacionaliniu mastu, nes vandens ekosistemų būklė tiesiogiai susijusi su biologinės įvairovės išsaugojimu, visuomenės sveikata ir darniu teritorijų vystymusi. Lietuvoje reikšminga dalis upių vis dar neatitinka geros ekologinės būklės kriterijų, o tai rodo, kad vandens telkiniams daromas antropogeninis poveikis išlieka aktuali ir neišspręsta problema Česonienė, Šileikienė ir Dapkienė (2019).

Ypač jautrios ekologiniu požiūriu yra Vidurio Lietuvos lygumų upės, kurių hidrologinis režimas pasižymi nedideliu nuotėkiu, ryškiu sezoniškumu ir glaudžiu ryšiu su aplinkiniu baseinu. Tokiose teritorijose intensyvi žemės ūkio veikla, urbanizacija, pramonė ir nuotekų tvarkymo ypatumai daro reikšmingą poveikį paviršinių vandens telkinių būklei. Nevėžio upė, kaip viena svarbiausių Vidurio Lietuvos upių, yra paveikta tiek pasklidusios, tiek taškinės taršos, todėl jos ekologinė būklė tampa svarbiu aplinkosauginiu klausimu regioniniu ir nacionaliniu lygmeniu (Aplinkos apsaugos agentūra, 2025).

Nevėžio upės ekologinės būklės analizė ties Kėdainiais yra aktuali dėl šio ruožo urbanizacijos, pramoninės veiklos ir intensyvaus žemės ūkio poveikio. Šioje teritorijoje susikerta skirtingi antropogeniniai veiksniai, kurie leidžia kompleksiskai vertinti, kaip žmogaus veikla ir gamtinės sąlygos sąveikauja formuojant upės ekologinę būklę Česonienė, Dapkienė ir Šileikienė (2021).

Žemės ūkio poveikis vandens telkiniams dažnai pasižymi difuziniu pobūdžiu, todėl jį sudėtinga identifikuoti ir valdyti. Dugan ir kt. (2022), analizuodami žemės ūkio praktikų poveikį vandens, dirvožemio ir nuosėdų savybėms, pabrėžia, kad teršalų pernaša priklauso ne tik nuo trąšų naudojimo intensyvumo, bet ir nuo sezoniškumo, kritulių kiekio bei dirvožemio savybių. Tai reiškia, kad net ir laikantis tam tikrų aplinkosauginių reikalavimų, žemės ūkio veikla gali išlikti reikšmingu paviršinių vandens telkinių taršos šaltiniu.

Pramoninė veikla taip pat išlieka reikšmingu paviršinių vandens telkinių ekologinės būklės blogėjimo veiksniu. Pramonės įmonių nuotekos gali būti cheminių teršalų, sunkiųjų metalų ir kitų toksiškų junginių šaltinis, kurie kaupiasi vandens telkiniuose ir jų nuosėdose. Česonienė, Šileikienė ir Dapkienė (2019), vertindamos Lietuvos upių cheminius rodiklius, nurodo, kad pramonės paveiktuose ruožuose dažniau nustatomi padidėję cheminių medžiagų kiekiai, galintys neigiamai veikti vandens organizmus.

Tyrimo tikslas – įvertinti Nevėžio upės ties Kėdainiais ekologinės būklės dinamiką 2022–2025 m.

Tyrimų metodika

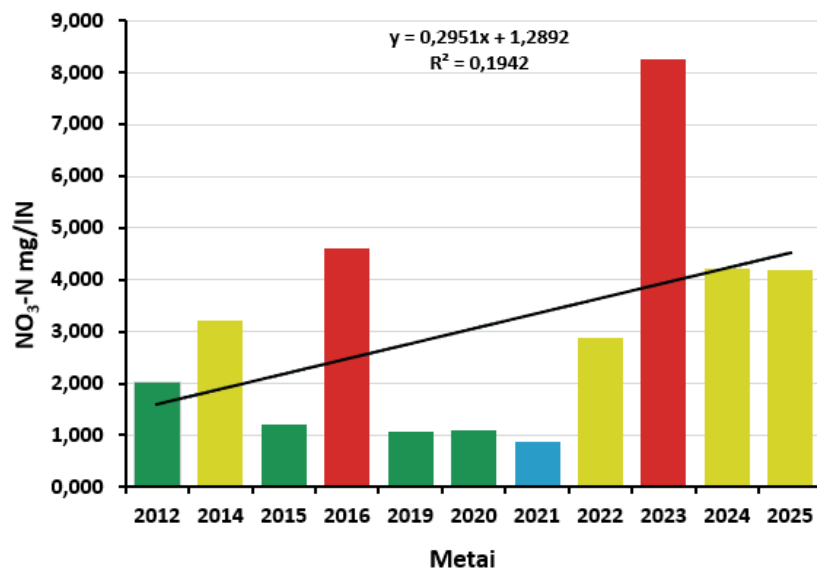
Tyrimui atlikti naudoti Aplinkos apsaugos agentūros valstybinio upių monitoringo 2012–2025 m. duomenys. Surinkti duomenys buvo lyginami su ribinėmis vertėmis, nurodytomis Paviršinių vandens telkinių būklės nustatymo metodikoje. Pagal šią metodiką upių ekologinė būklė vertinama remiantis pagrindiniais fizikiniais-cheminiais vandens kokybės rodikliais: nitratų azoto ($\text{NO}_3\text{-N}$), amonio azoto ($\text{NH}_4\text{-N}$), bendro azoto ($\text{N}_{\text{bendras}}$), bendro fosforo ($\text{P}_{\text{bendras}}$), biocheminio deguonies suvartojimo per 7 paras (BDS_7) ir ištirpusio deguonies (O_2) kiekiu vandenyje.

Visi tyrimo duomenys susisteminti naudojant „Microsoft Excel“ programa, sugrupuoti pagal metus ir pagal fizikinius-cheminius kokybės rodiklius.

Rezultatai ir aptarimas

Nevėžio upės ekologinės būklės analizė ties Kėdainiais atlikta remiantis pagrindiniais fizikiniais cheminiais vandens kokybės rodikliais: $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{N}_{\text{bendras}}$, $\text{P}_{\text{bendras}}$, BDS_7) ir ištirpusio deguonies (O_2) kiekiu vandenyje.

1 paveiksle pateikiama $\text{NO}_3\text{-N}$ koncentracijos dinamika Nevėžio upės vandenyje 2012–2025 metais.

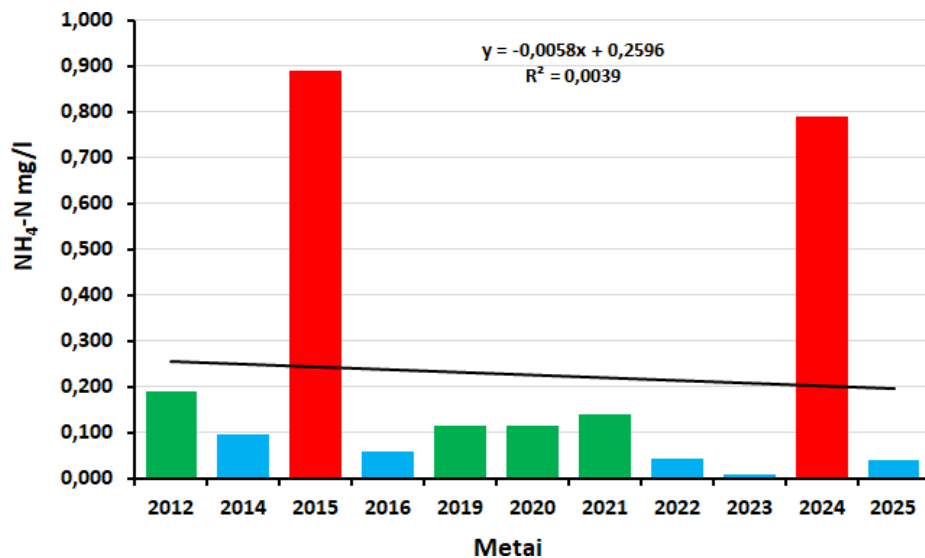


1 pav. Nitratų azoto koncentracijos dinamika Nevėžio upės vandenyje 2012–2025 metais

Fig. 1. Dynamics of nitrate nitrogen concentration in the waters of the Nevėžis River in 2012–2025

Rezultatai pateikti 1 paveiksle rodo jog nitratų azoto koncentracija svyravo intervale nuo 0,879 mg/lN (labai gera ekologinė būklė) 2021 metais iki 8,270 mg/lN (labai bloga ekologinė būklė) 2023 metais. Nevėžio upės vandenyje 2012–2025 metų periode nustatyta $\text{NO}_3\text{-N}$ koncentracijos didėjimo tendencija ($R^2 = 0,19$).

2 paveiksle pateikiama $\text{NH}_4\text{-N}$ koncentracijos dinamika Nevėžio upės vandenyje 2012–2025 metais.

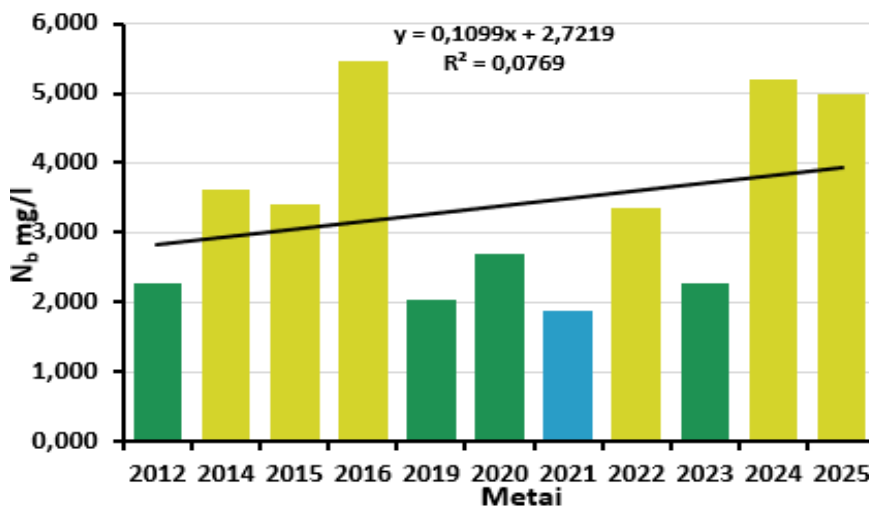


2 pav. Amonio azoto koncentracijos dinamika Nevėžio upės vandenyje 2012–2025 metais

Fig. 2. Dynamics of ammonium nitrogen concentration in the waters of the Nevėžis River in 2012–2025

Vertinant amonio azoto koncentracijos dinamiką Nevėžio upės vandenyje nustatyta, jog pagal šio rodiklio vertes upė atitiko labai gerai ekologiškai būklei keliamus reikalavimus 2014 metais (0,095 mg/l), 2016 metais (0,058 mg/l), 2022 metais (0,041 mg/l), 2023 metais (0,009 mg/l) bei 2025 metais (0,038 mg/l), tačiau $\text{NH}_4\text{-N}$ koncentracija vandenyje labai padidėjo 2015 metais (0,888 mg/l) ir 2024 metais (0,788 mg/l), kuomet buvo tenkinami tik labai blogos ekologinės būklės reikalavimai. Taip pat nustatyta, jog tyrimo laikotarpiu $\text{NH}_4\text{-N}$ koncentracija pasižymėjo labai nežymia mažėjimo tendencija ($R^2 = 0,004$) (žr. paveikslą 2).

3 paveiksle pateikiama N_b koncentracijos dinamika Nevėžio upės vandenyje 2012–2025 metais.

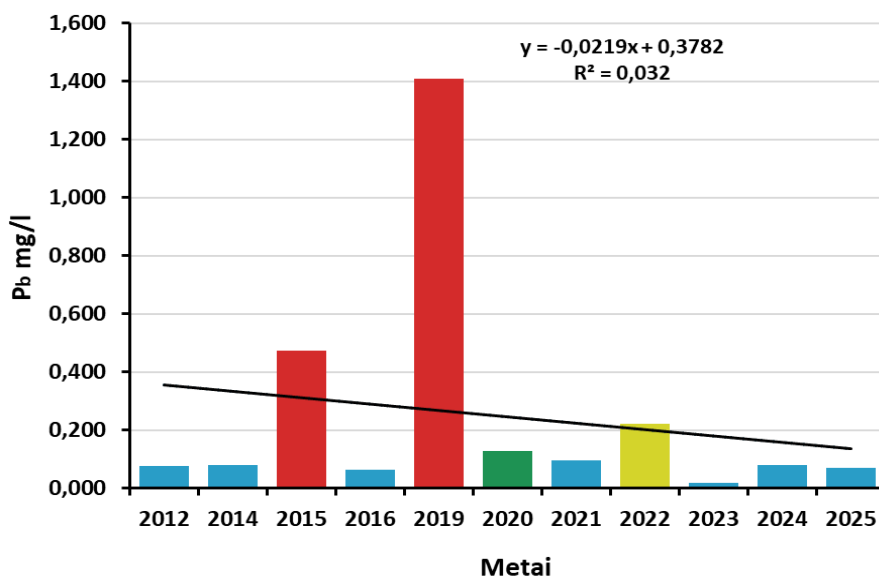


3 pav. Bendro azoto koncentracijos dinamika Nevėžio upės vandenyje 2012–2025 metais

Fig. 3. Dynamics of total nitrogen concentration in the waters of the Nevėžis River in 2012–2025

Vertinant N_b koncentracijos pokyčius Nevėžio vandenyje 2012–2025 metais nustatyta, kad pagal šio rodiklio koncentracijas upės ekologinė būklė kito nuo labai geros (2021 metais) iki geros (2012, 2019, 2020 ir 2023 metais) ir vidutinės (2014–2016, 2022, 2024–2025 metais). Mažiausia bendro azoto koncentracija buvo užfiksuota 2021 metais (1,870 mg/l), o didžiausia – 2016 metais (5,450 mg/l) (žr. paveikslą 3). Nustatyta, N koncentracijos menka didėjimo tendencija ($R^2 = 0,08$) (žr. 3 paveikslą).

4 paveiksle pateikiama P_b koncentracijos dinamika Nevėžio upės vandenyje 2012–2025 metais.

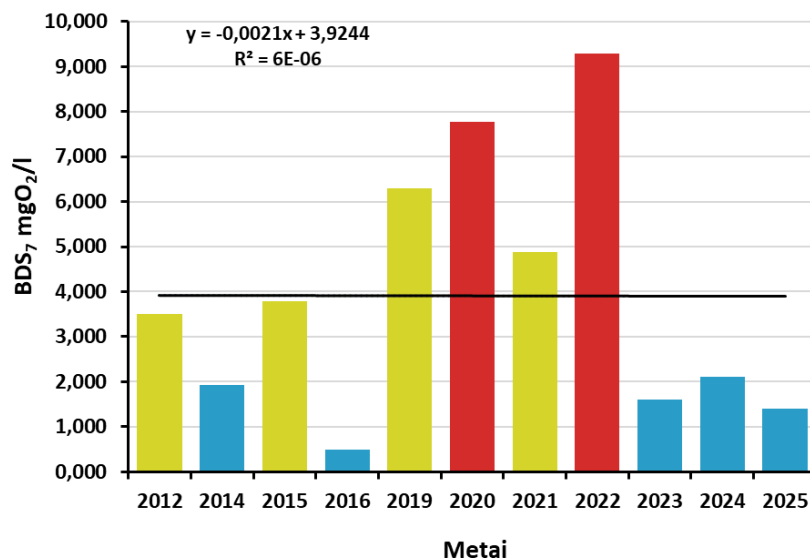


4 pav. Bendro fosforo koncentracijos dinamika Nevėžio upės vandenyje 2012–2025 metais

Fig. 4. Dynamics of total phosphorus concentration in the waters of the Nevėžis River in 2012–2025

Išanalizavus duomenis nustatyta, kad didžiąją tyrimo laikotarpio dalį Nevėžio upėje vanduo pagal bendrojo fosforo koncentracijas atitiko labai geros ekologinės būklės kriterijus (2012 metais 0,076 mg/l), 2014 metais (0,081 mg/l), tačiau 2015 metais (0,474 mg/l) ir ypač 2019 metais (1,410 mg/l) vandenyje esančio bendro fosforo koncentracija padidėjo, todėl upės būklė pagal šį rodiklį sumažėjo iki labai blogos (žr. 4 pav.). Nustatyta, P koncentracijos menka mažėjimo tendencija – $R^2 = 0,032$.

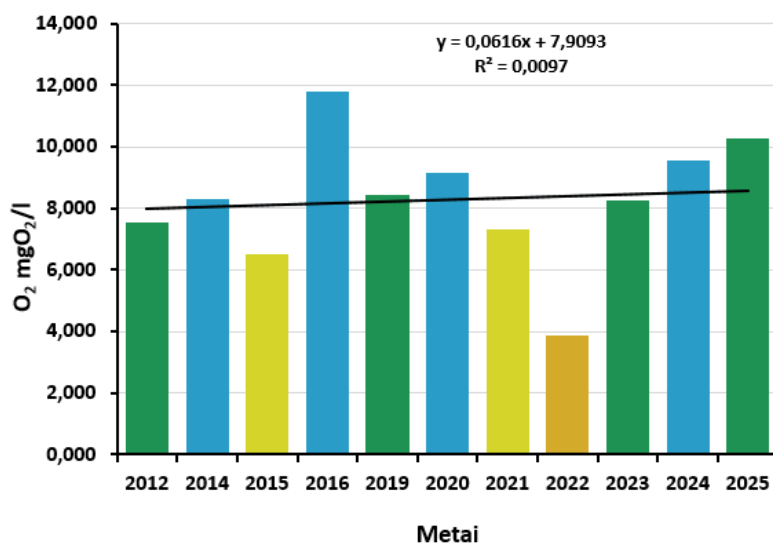
5 paveiksle pateikiama BDS_7 vertės dinamika Nevėžio upės vandenyje 2012–2025 metais.



5 pav. BDS₇ vertės dinamika Nevėžio upės vandenyje 2012–2025 metais
 Fig. 5. BDS₇ value dynamics in the waters of the Nevėžis River in 2012–2025

Vertinant biocheminio deguonies suvartojimo per 7 paras vertės kitimo dinamiką Nevėžio upės vandenyje 2012–2025 metais nustatyta, jog BDS₇ vertės pokytis buvo beveik nepastebimas ($R^2 = 6E-06$). Didžiausios biocheminio vandens suvartojimo per 7 paras vertės buvo užfiksuotos 2020 metais (7,780 mg/l O₂) ir 2022 metais (9,280 mg/l O₂) (bloga ekologinė būklė), o mažiausios – 2016 metais (0,500 mg/l O₂), 2025 metais (1,400 mg/l O₂), (žr. 5 paveikslą).

6 paveiksle pateikiama O₂ koncentracijos dinamika Nevėžio upės vandenyje 2012–2025 metais.



6 pav. O₂ koncentracijos dinamika Nevėžio upės vandenyje 2012–2025 metais
 Fig. 6. O₂ concentration dynamics in the waters of the Nevėžis River in 2012–2025

Tyrimo metu nustatyta, kad Nevėžyje vandens prisotinimas deguonimi minimalias vertes pasiekė 2022 metais (3,860 O₂ mg/l O₂, bloga ekologinė būklė), o maksimalias vertes – 2016 metais (11,800 O₂ mg/l O₂, labai gera ekologinė būklė). Taip pat paaiškėjo, jog 2012–2025 metais Nevėžio upėje buvo fiksuota silpna vandens prisotinimo deguonimi didėjimo tendencija ($R^2 = 0,001$) (žr. 6 paveikslą).

Išvados

1. Įvertinus Nevėžio upės ties Kėdainiais duomenis 2012–2025 m. matome, kad Nevėžio upė pagal bendrąjį fosforą dažniausiai atitiko labai geros ekologinės būklės klasę. Pagal bendrąjį azotą – nuo labai geros 2021 m. iki vidutinės ekologinės būklės klasę 2014–2016, 2022–2025 m. pagal BDS₇ vertes labai geros ekologinės būklės klasė 2014; 2016 m. 2023–2025 m., labai bloga – 2020 ir 2022 m.
2. Nustatyta nitratų azoto koncentracijos didėjimo tendencija 2012–2025 metais. Vertinant amonio azoto koncentracijos dinamiką Nevėžio upės vandenyje padidėjo 2015–2024 metais. 2012–2025 metais

nustatyta menka bendro azoto koncentracijos didėjimo tendencija. Nevėžio upėje 2012–2025 metais buvo nustatyta nedidelė bendro fosforo koncentracijos mažėjimo tendencija. Vertinant biocheminio deguonies suvartojimo per 7 paras vertės kitimo dinamiką Nevėžio upės vandenyje 2012–2025 metais nustatyta, jog pokytis buvo beveik nepastebimas.

Literatūra

1. Dugan I., ir kt. (2022). Agriculture management and seasonal impact on soil properties, water, sediment and chemicals transport in hazelnut orchard (Croatia). *Science of The Total Environment*, 839.
2. Česonienė, L., Šileikienė, D., Dapkienė, M. (2019). Assessment of chemical and microbiological parameters on the Leite River Lithuania. *Environmental Science and Pollution Research*. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-019-04665-6>
3. Aplinkos apsaugos agentūra (2025). *Vandens telkinių monitoringo duomenys*. <https://aaa.lrv.lt/lt/naujienos/interaktyviame-zemelapyje-informacija-apie-lietuvos-pavirsiniu-vandens-telkiniu-bukle-ir-rizikos-veiksnius/>
<https://experience.arcgis.com/experience/8148b39e88064e3380a7a54bcf068d6a>

Kristina Boguševičiūtė, Laima Česonienė

Ecological Status of the Nevėžis River near Kėdainiai

Vytautas Magnus University, Lithuania

The assessment of the ecological status of surface water bodies in Lithuania is based on a clear and consistent legal framework. This system sets not only the targets for ecological status, but also specific assessment criteria and monitoring requirements. The article analyses the monitoring data of the Environmental Protection Agency for 2012–2025. During the study period, annual measurements of nitrate nitrogen, ammonium nitrogen, total nitrogen, total phosphorus, biochemical oxygen demand over 7 days, and oxygen saturation concentrations in water were carried out in the Nevėžis River. Data for the Nevėžis River near Kėdainiai for 2012–2025 show that the Nevėžis River most often met the very good ecological status class in terms of total phosphorus. In terms of total nitrogen, it ranged from very good in 2021 to average ecological status in 2014–2016 and 2022–2025, with very good ecological status in 2014 according to BDS7 values; 2016; 2023–2025, very poor – 2020 and 2022.

Keywords: Water quality, pollution, concentration, BDS7, ecological status.

Gauta 2026 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2026 m. balandžio mėn.

Kristina BOGUŠEVIČIŪTĖ. 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. +370 689 35357, el. paštas: kristina.boguseviciute@vdu.lt

Laima ČESONIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Miškų ir ekologijos fakulteto Aplinkos ir ekologijos katedros profesorė, daktarė. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361, Akademija, Kauno r., tel. +370 614 68442, el. paštas: laima.cesonienel@vdu.lt

Kristina BOGUŠEVIČIŪTĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Master's student at the Department of Environment and Ecology, Faculty of Forest Sciences and Ecology. Address: Studentų g. 11, LT-53361, Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 689 35357, e-mail: kristina.boguseviciute@vdu.lt

Laima ČESONIENĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Associate Professor, Doctor. Department of Environment and Ecology, Faculty of Forest Sciences and Ecology. Address: Studentų g. 11, LT-53361, Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 614 68442, e-mail: laima.cesonienel@vdu.lt

BIRŽULIO EŽERO VANDENS DINAMIKA 2012–2025 M. LAIKOTARPIU

Kristina Jankauskienė, Laima Česonienė

Vytauto Didžiojo universitetas

Biržulio ežeras yra Telšių rajone, Varnių regioniniame parke, Biržulio botaninio-zoologinio draustinio teritorijoje, plotas – 106,8 ha. 1932–1950 m. buvo nusaustas. Saugomų teritorijų direkcija yra išsikėlusi užduotį – regeneruoti Biržulio ežerą. Prieš atliekant ežero atkūrimo darbus tikslinga įvertinti ežero ekologinę būklę. Tyrimo tikslas nustatyti Biržulio ežero vandens kokybės rodiklių verčių dinamiką 2012–2025 laikotarpiu. Pateikti ežero ekologinės būklės atliktų tyrimų rezultatai. Nustatyta, kad 2012, 2014, 2015, 2017, 2024, 2025 m. pagal bendrojo deguonies suvartojimo per 7 paras (BDS_7) ežeras atitiko gerą ekologinės būklės klasę, pagal bendrojo azoto (N_b) vertes priskirtas skirtingoms ekologinėms klasėms, pagal bendrojo fosforo (P_b) vertes ežeras taip pat pasižymėjo kintančia ekologine būkle. Išvada, Biržulio ežero būklė 2012–2025 m. laikotarpiu pasižymėjo stabiliai gera ekologine klase pagal bendrojo deguonies suvartojimo per 7 paras (BDS_7) vertes, palankiausi buvo 2012, 2017 m., kai bendrojo azoto (N_b) vertės atitiko gerą ekologinę klasę ir 2014, 2015 m. bendrojo fosforo (P_b) vertės atitiko labai gerą ekologinę klasę. Blogiausia 2014, 2025 m., kai bendrojo azoto (N_b) vertės pasiekė labai blogos ir blogos ekologinės būklės klasės ribas, o bendrojo fosforo (P_b) vertės 2012 m. priskirtos blogai klasei ir 2025 m. priskirtos vidutinei klasei.

Raktiniai žodžiai: Biržulio ežeras, rezultatai, klasė, vertės, ekologinė būklė.

Įvadas

Tyrimo objektas – Biržulio ežero paviršinis vanduo. Biržulio ežeras jau ilgą laiką patiria intensyvių antropogeninės veiklos poveikį. Jau XX a. pradžioje carinė administracija susidomėjo Ventos-Dubysos kanalo baigimu ir ieškojo papildomų vandens išteklių Biržulio ežere. Nuo 1932 iki 1950 m. Biržulio ežeras buvo palaipsniui sausinamas siekiant išgauti kuo daugiau derlingų žemės plotų. 1952–1955 m. buvo suplanuota pagilinti Virvytės upės vagą taip, kad ežeras visiškai išnyktų ir jo vietoje atsirastų žemės ūkio naudmenos. Buvo rašomi įvairūs raštai vyriausybei, daug diskutuota spaudoje, tačiau šios pastangos nesustabdė proceso – Biržulio ežeras vis tiek buvo nuleistas. Šie veiksmai nulėmė galutinį Biržulio ežero likimą. Tik 1968 m. buvo pradėta ieškoti būdų kaip atkurti padarytą žalą. Buvo priimtas sprendimas nusausti šiaurinę ežero dalį, sumažinant gruntinio vandens lygį, o pietinėje dalyje šliuzo – regulatoriaus pagalba pakelti iki ankstesnio. Tačiau dėl stipriai pažeistos gruntinio vandens pusiausvyros šiaurinėje ežero dalyje ir neefektyvios vandens lygio reguliavimo sistemos neigiamas poveikis persidavė ir pietinei Biržulio daliai. Prasidėjo sparti ežero eutrofikacija. Šiuo metu didžioji ežero dalis yra apaugusi nendrynais, o pakrantes juosia tankūs, sunkiai įžengiami brūzgynai.

Zimblienės (2015) teigimu, Varnių regioninio parko tvarkymo plane iškelta esminė užduotis – regeneruoti Biržulio ežerą. Tačiau siekiant įgyvendinti šią užduotį, pirmiausia būtina tiksliai nustatyti regeneruojamos teritorijos ekologinę vertę. Dabartinė pelkinė Biržulio ekosistema, nors ir praradusi dalį ankstesnio gamtinio potencialo, yra susiformavusi ir stabilizavusi naujus ekologinius ryšius. Todėl prieš pradedant regeneracijos darbus būtina išsamiai įvertinti galimą žalą ir naudą (Zimblienė, 2015).

Pasak Žolynaitės (2023), vienas pagrindinių veiksnių, lemiančių paviršinių vandens telkinių būklės prastėjimą, yra nuolatinė ir didėjanti pasklidoji tarša, kylanti dėl žemės ūkio veiklos. Be to, kai kurių vandens telkinių būklę blogina koncentruota tarša, ilgalaikis hidromorfologinių pokyčių poveikis, natūralūs procesai ir vis labiau kintančios klimato sąlygos (Žolynaitė ir kt., 2023).

2022 m. Aplinkos apsaugos agentūros parengtoje ataskaitoje apie Lietuvos aplinkos būklę ir jos pokyčius teigiama, kad didžiausią neigiamą poveikį vandens telkinių būklei daro pasklidoji tarša, susidaranti dėl žemės ūkio veiklos. Nurodoma, kad net 41 proc. reikšmingai paveiktų vandens telkinių būklės blogėjimą lemia būtent šis taršos tipas (Aplinkos apsaugos agentūra, 2022).

Europos komisija savo 2022 m. ataskaitoje nurodo, kad visoje Europoje būtina spartesnė pažanga siekiant apsaugoti vandens išteklius. Pabrėžiama, kad dar reikia atlikti daug darbų, kad būtų pasiekti ES keliame gėlo vandens kokybės ir kiekybės tikslai. Ataskaitoje teigiama, jog vidutinė ES paviršinio vandens telkinių būklė išlieka itin svarbi, tačiau gerą ekologinę būklę pasiekė tik 39,5 proc. paviršinių vandens telkinių, o gerą cheminę būklę – vos 26,8 proc. (Europos komisija, 2022).

Gailiušio (2021) teigimu, vandens telkiniams tenkantis rekreacinis vaidmuo yra ypač svarbus, tačiau žmogaus ūkinė veikla keičia natūralią vandens apykaitą ir blogina vandens telkinių ekologinę būklę, taip mažindama ežerų, upių ir tvenkinių vertę. Reguluojant žmogaus ūkinę veiklą dažnai susiduriama su nustatytų vandens išteklių naudojimo sąlygų pažeidimais arba nusistovėjusios daugiametės pusiausvyros trikdymu (Gailiušis ir kt., 2021).

Tyrimų metodika

Tyrimo vieta: Telšių rajono paviršiniai vandens telkiniai – Biržulio ežeras. Tyrimo objektas: Biržulio ežero paviršinis vanduo.

Surinkti paviršinio vandens mėginiai iš 6 vietų. Vanduo imtas keturis kartus dviejų metų laikotarpyje nuo 2024 m. pavasario iki 2025 m. žiemos. Vertinimui naudoti 2012, 2017 metų valstybinio monitoringo duomenys, 2014, 2015 metų duomenys iš atliktos studijos „Rizikos vandens telkinių būklės tyrimų, taršos šaltinių ir kitų priežasčių, lemiančių rizikos vandens telkinio būklę, identifikavimas, būklės gerinimo priemonių parinkimas. II dalis Ežerai ir tvenkiniai“ ir 2024, 2025 m. tyrimų duomenys. Vandens mėginių vietos pateiktos 1 paveiksle.



1 pav. Vandens mėginių ėmimo vietos

Fig. 1. Water sampling locations

Atlikus vandens tyrimus, rezultatai lyginami su ribinėmis vertėmis. Tirta ežero ekologinė būklė vertinama pagal fizinių – cheminių kokybės elementų rodiklius: bendrus duomenis apibūdinančius rodiklius – bendrą azotą (N_b), biocheminį deguonies suvartojimą per 7 paras (BDS_7) ir bendrą fosforą (P_b). Tirta ežero vandens kokybės rodiklių vertės yra vertinamos pagal Paviršinių vandens telkinių būklės nustatymo metodiką, patvirtintą Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2007 m. balandžio 12 d. įsakymu Nr. D1-210 „Dėl paviršinių vandens telkinių būklės nustatymo metodikos patvirtinimo“. Ežero vandens kokybė yra priskiriama vienai iš penkių išskirtų ekologinės būklės klasių: labai gera, gera, vidutinė, bloga ir labai bloga. Vandens ekologinės būklės klasės žymėjimas pagal spalvas pateiktas 1 lentelėje.

1 lentelė. Vandens ekologinės būklės klasės žymėjimas pagal spalvas

Table 1. Color coding of water ecological status class

Būklė Condition	Labai geros ekologinės būklės Very good ecological status	Geros ekologinės būklės Good ecological status	Vidutinės ekologinės būklės Average ecological status	Blogos ekologinės būklės Poor ecological status	Labai blogos ekologinės būklės Very poor ecological status
Spalva Color					

Tyrimų rezultatai buvo vertinti po matematinio statistinio apdorojimo, matematine statistine programa Microsoft EXCEL ir duomenų statistinei analizei buvo naudota „STATISTICA 10“ programa.

Rezultatai ir aptarimas

Biržulio ežero būklė buvo vertinama pagal fizikinių-cheminių vandens kokybės rodiklių vertes, lyginant jas su ribinėmis rodiklių vertėmis, kurios yra reglamentuotos Paviršinių vandens telkinių būklės nustatymo metodikoje, patvirtintoje Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2007 m. balandžio 12 d. įsakymu Nr. D1-210 „Dėl paviršinių vandens telkinių būklės nustatymo metodikos patvirtinimo“. Biržulio ežero ekologinė būklė vertinta pagal 2012 ir 2017 metais atlikto valstybinio monitoringo duomenis, pagal 2014 ir 2015 metais Studijoje „Rizikos vandens telkinių būklės tyrimų, taršos šaltinių ir kitų priežasčių, lemiančių rizikos vandens telkinio būklę, identifikavimas, būklės gerinimo priemonių parinkimas. II dalis Ežerai ir tvenkiniai“ pateiktus duomenis ir pagal 2024–2025 metais atliktus Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Miškų ir ekologijos fakulteto Aplinkos ir ekologijos katedros Aplinkotyros laboratorijoje tyrimus. Ekologinė Biržulio ežero būklė pagal spalvas pateikta 2 lentelėje.

2 lentelė. Biržulio ežero ekologinė būklė
 Table 2. Ecological status of lake Biržulis

Metai, Year	BDS ₇ , mg/O ₂ BOD ₇ , mg/O ₂	N _b , mg/l N _b , mg/l	P _b , mg/l P _b , mg/l	
2012	2.56	1.25	0.096	
2014	2.65	7.51	0.019	
2015	2.90	2.30	0.030	
2017	2.88	1.25	0.040	
2024	3.42	2.51	0.055	
2025	3.52	4.86	0.062	

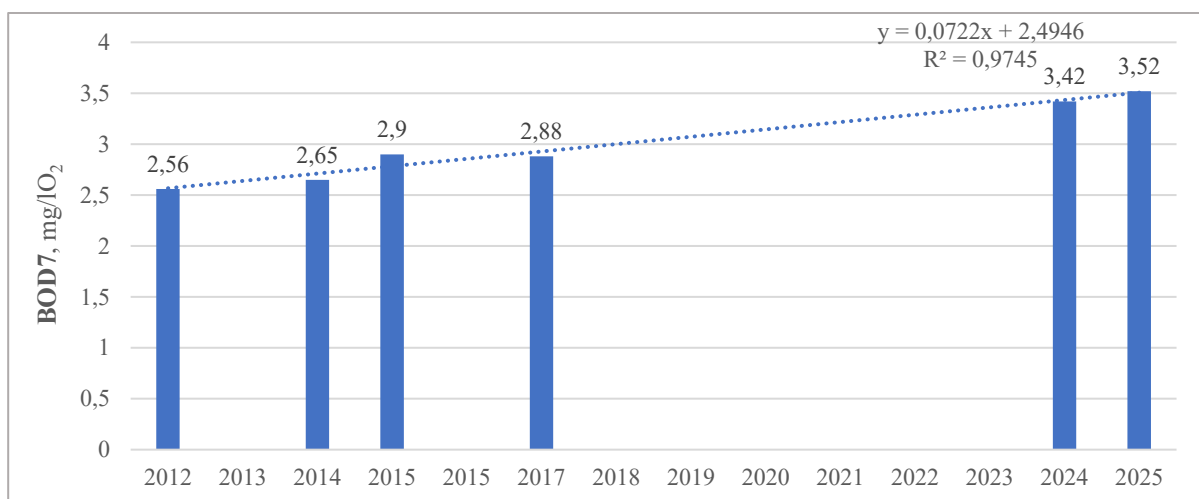
Pagal biocheminio deguonies suvartojimo per 7 paras (BDS₇) vertes Biržulio ežeras visais vertintais metais atitiko gerą ekologinės būklės klasę, nes biocheminio deguonies suvartojimo per 7 paras (BDS₇) koncentracija kito intervale nuo 2,56 iki 3,52 mg/l O₂, t. y. neviršijo gerai klasei būdingų ribinių verčių (2,3–4,2 mg/l O₂). Tai rodo, kad organinių medžiagų apkrova ežere buvo nedidelė ir santykinai pastovi, o vandens aeracija – pakankama.

Pagal bendrojo azoto (N_b) vertes Biržulio ežeras skirtingais metais priskirtas skirtingoms ekologinėms klasėms. Geriausia ekologinė būklė pagal bendrojo azoto (N_b) nustatyta 2012 ir 2017 metais, kai rodiklių reikšmės (1,25 mg/l) atitiko gerą ekologinę klasę. 2015 ir 2024 metais (N_b) vertės (2,30 ir 2,51 mg/l) priskiriamos vidutinei klasei, o 2025 m. rodiklis (4,86 mg/l) atitiko blogą ekologinę klasę, rodančią didesnę maistinių medžiagų apkrovą. Blogiausia situacija pagal bendrojo azoto (N_b) nustatyta 2014 m., kai vertė siekė 7,51 mg/l ir atitiko labai blogą ekologinę būklę.

Pagal bendrojo fosforo (P_b) vertes Biržulio ežeras taip pat pasižymėjo kintančia ekologine būkle. 2014 ir 2015 metais bendrojo fosforo (P_b) vertės kito intervale nuo 0,019–0,030 mg/l ir atitiko labai gerą klasę, 2017 ir 2024 metais kito intervale nuo 0,040–0,055 mg/l ir atitiko – gerą klasę. 2025 m. bendrojo fosforo (P_b) koncentracija (0,062 mg/l) priskiriama vidutinei ekologinei klasei, o 2012 m. bendrojo fosforo (P_b) koncentracijos vertė (0,096 mg/l) atitiko blogą ekologinę būklę, rodančią padidėjusią eutrofikacijos riziką.

Biržulio ežero vandens kokybės dinamika nagrinėta laikotarpyje 2012–2025 metais, pagal vidutinę metų vertę, imant mėginius 4 kartus per metus. Mėginiai analizuojami pagal fizikinius-cheminius kokybės rodiklius: biocheminio deguonies suvartojimo per 7 paras (BDS₇) vertes, bendrojo azoto (N_b), bendrojo fosforo (P_b) koncentracijas.

Biocheminio deguonies suvartojimo per 7 paras (BDS₇) vertės dinamika Biržulio ežero vandenyje pateikta 2 paveiksle.

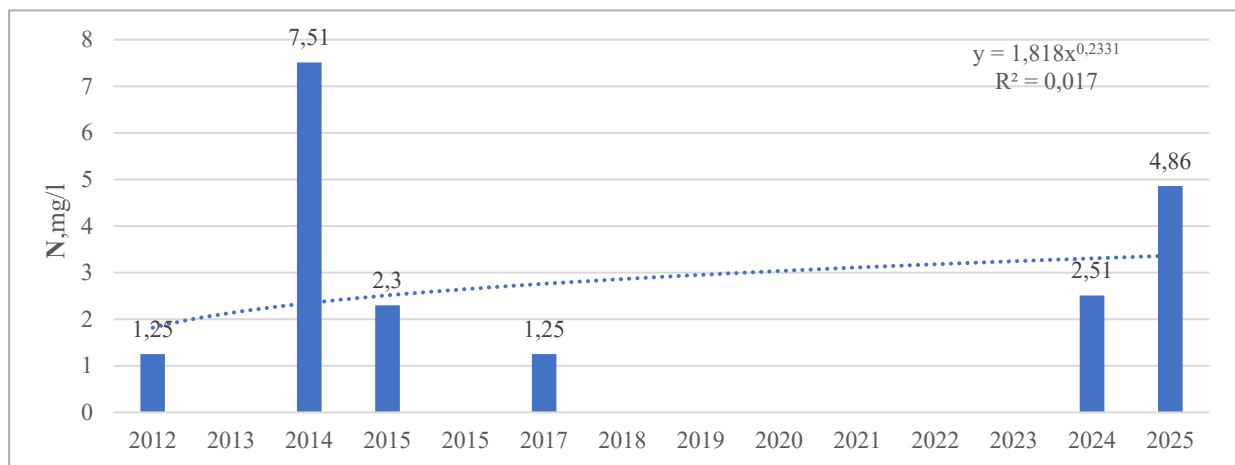


2 pav. Vidutinės biocheminio deguonies suvartojimo per 7 paras (BDS₇) koncentracijos Biržulio ežero vandenyje
 Fig. 2. Average concentrations of biochemical oxygen demand over 7 days (BOD₇) in the water of lake Biržulis

Išanalizavus Biržulio ežero vandens biocheminio deguonies suvartojimo per 7 paras (BDS₇) vertes nustatyta, kad mažiausia biocheminio deguonies suvartojimo (BDS₇) vertė nustatyta 2012 metais – 2,56 mg/l O₂, didžiausia – 2025 metais – 3,52 mg/l O₂. Visu tirtu laikotarpiu biocheminio deguonies suvartojimo per 7 paras (BDS₇) koncentracijų tendencija buvo didėjanti.

Vertinant biocheminio deguonies suvartojimo per 7 paras (BDS_7) vertės dinamiką taikytas tiesinis trendas ir apskaičiuotas determinacijos koeficientas. Matoma biocheminio deguonies suvartojimo per 7 paras (BDS_7) vertės ženkliai didėjimo tendencija (funkcija teigiama, determinacijos koeficientas – $R^2 = 0.97$). Sudaryta regresijos formulė, pagal kurią galima prognozuoti biocheminio deguonies suvartojimo per 7 paras (BDS_7) koncentraciją sekančiais metais.

Bendrojo azoto (N_b) koncentracijos dinamika Biržulio ežero vandenyje pateikta 3 paveiksle.



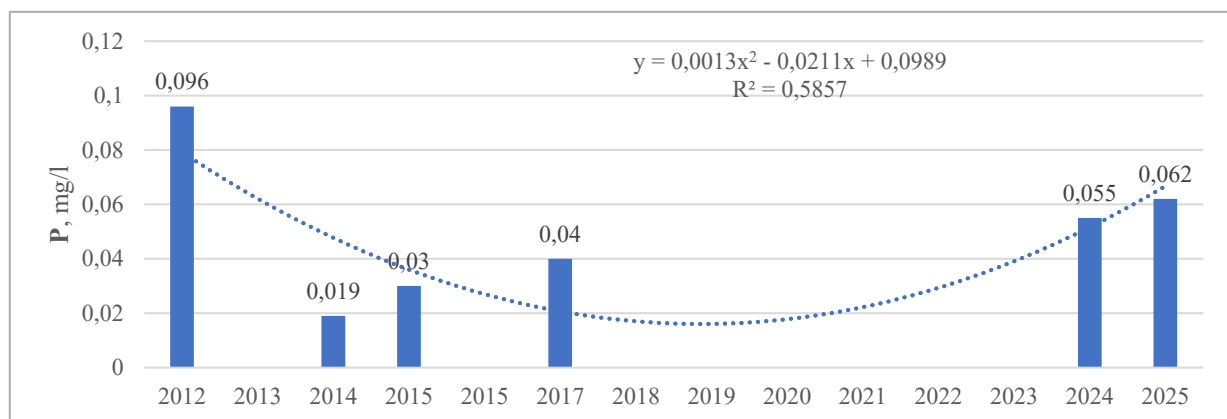
3 pav. Vidutinės bendrojo azoto (N_b) koncentracijos Biržulio ežero vandenyje

Fig. 3. Average concentrations of total nitrogen (N_b) in the water of lake Biržulis

Išanalizavus Biržulio ežero vandens vidutinės bendrojo azoto (N_b) koncentracijas nustatyta, kad mažiausia N koncentracija nustatyta 2012 ir 2017 metais – 1,25 mg/l, didžiausia 2014 metais – 7,51 mg/l. Visu tirtu laikotarpiu bendrojo azoto (N_b) koncentracijų tendencija buvo menkai didėjanti.

Vertinant N koncentracijos dinamiką taikytas Power trendas ir apskaičiuotas determinacijos koeficientas. Matoma N koncentracijos menka didėjimo tendencija (funkcija teigiama, determinacijos koeficientas – $R^2 = 0.01$). Sudaryta regresijos formulė, pagal kurią galima prognozuoti bendrojo azoto (N_b) koncentraciją sekančiais metais.

Bendrojo fosforo (P_b) koncentracijos dinamika Biržulio ežero vandenyje pateikta 4 paveiksle.



4 pav. Vidutinės bendrojo fosforo (P_b) koncentracijos Biržulio ežero vandenyje

Fig. 4. Average concentrations of total phosphorus (P_b) in the water of lake Biržulis

Išanalizavus Biržulio ežero vandens vidutinės bendrojo fosforo (P_b) koncentracijas nustatyta, kad mažiausia P koncentracija nustatyta 2014 metais – 0,019 mg/l, didžiausia 2012 metais – 0,096 mg/l. Visu tirtu laikotarpiu P koncentracijų tendencija buvo menkai didėjanti.

Vertinant bendrojo fosforo (P_b) koncentracijos dinamiką taikytas Polynomial trendas ir apskaičiuotas determinacijos koeficientas. Matoma bendrojo fosforo (P_b) koncentracijos menka didėjimo tendencija (funkcija teigiama, determinacijos koeficientas – $R^2 = 0.58$). Sudaryta regresijos formulė, pagal kurią galima prognozuoti bendrojo fosforo (P_b) koncentraciją sekančiais metais.

Išvados

1. Biržulio ežero būklė 2012–2025 m. laikotarpiu pasižymėjo stabiliai gera ekologine klase pagal biocheminio deguonies suvartojimo per 7 paras (BDS₇) vertes, pagal bendrojo azoto (N_b) ir bendrojo fosforo (P_b) vertes ežeras pasižymėjo kintama ekologine būkle: palankiausi metai buvo 2012 ir 2017, kai bendrojo azoto (N_b) vertės atitiko gerą ekologinę klasę ir kai 2014 ir 2015 m. bendrojo fosforo (P_b) vertės atitiko labai gerą ekologinę klasę. Blogiausia situacija nustatyta 2014 ir 2025 metais, kai bendrojo azoto (N_b) koncentracijos pasiekė labai blogos ir blogos ekologinės būklės klasės ribas, o bendrojo fosforo (P_b) vertės 2012 m. priskirtos blogai klasei ir 2025 m. priskirtos vidutinei klasei.
2. Biržulio ežero vandens kokybės rodiklių analizė parodė, kad 2012–2025 m. laikotarpiu biocheminio deguonies suvartojimo per 7 paras (BDS₇) vertės nuosekliai didėjo, nors ir viso tyrimo laikotarpiu atitiko gerą ekologinę klasę. Bendrojo azoto (N_b) ir bendrojo fosforo (P_b) koncentracijos taip pat turėjo didėjančią, tačiau žymiai mažesnę tendenciją, su ryškiais pikais 2014 ir 2025 metais, kai bendrojo azoto (N_b) rodiklių reikšmės priskirtos labai blogai ir blogai ekologinei būklei, o 2012 m. bendrojo fosforo (P_b) rodiklių reikšmė priskirta blogai ekologinei būklei.

Literatūra

1. Aplinkos apsaugos agentūra. (2012). *Valstybinio ežerų monitoringo duomenys*. <https://Vanduo.old.gamta.lt/Cms/Index?RubricId=8ea41f73-9742-4d71-Aa10-0a5988713fe5>.
2. Aplinkos apsaugos agentūra. (2017). *2017 m. ežerų vandens kokybė pagal atskirus rodiklius*. <https://www.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=5641b97966e54f93ba90306c40caa6ee>
3. Aplinkos apsaugos agentūra. (2022). *Apibendrinta Lietuvos aplinkos būklės ir jos pokyčių ataskaita 2022 m.* Arcgis.com. <https://experience.arcgis.com/experience/08b18f0d2704442cbd47c902f71f9a87/page/vanduo>
4. Aplinkos apsaugos agentūra. (2023). *Apibendrinta Lietuvos aplinkos būklės ir jos pokyčių ataskaita 2023 m.* <https://Experience.arcgis.com/Experience/Ee4ccd892bf641debedca3b6c46bb853/Page/VANDUO?Draft=True>.
5. Aplinkos apsaugos agentūra, Aleksandro Stulginskio universitetas. (2017). *Rizikos vandens telkinių būklės tyrimų, taršos šaltinių ir kitų priežasčių, lemiančių rizikos vandens telkinio būklę, identifikavimas, būklės gerinimo priemonių parinkimas. II dalis ežerai ir tvenkiniai*. <https://failai.gamta.lt/files/Rizikos%20vandens%20telkini%C5%B3%20studija.%20E%C5%BEer%C5%B3%20dalis.pdf>
6. Dėl 2000 m. rugsėjo 19 d. nutarimo Nr. 1114 „Dėl Lietuvos Respublikos upių, ežerų ir tvenkinių valstybės kadastro steigimo ir jo nuostatų patvirtinimo. (2022). Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.108992>
7. Dėl 2007 m. balandžio 12 d. įsakymo Nr. D1-210 „Dėl Paviršinių vandens telkinių būklės nustatymo metodikos patvirtinimo“. (2021). <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.296626/asr>
8. Valiuškevičius, G. (2022). *Apie vandenį be lygčių*. Mokslo ir enciklopedijų leidybos centras.
9. Zimblienė, I. (2015). *Gaivinant Žemaitijos Žuvintą....* Žaliasis pasaulis. <https://zpasaulis.lt/gaivinant-zemaitijos-zuvinta/>
10. Žolynaitė, R., Pocius, S. ir Česonienė, L. (2023). Influence of organic agricultural production on the condition of surface water. *Biologija*, 69(2). Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.6001/biologija.2023.69.2.3>
11. Europos komisija. (2022). *Komisijos tarnybų darbinis dokumentas*. https://environment.ec.europa.eu/document/download/cf367940-3210-4a88-9a80-00ca66074f2e_en?filename=Lithuania%20%20EIR%20Country%20Report%202022%20%28LT%29.PDF
12. Jucyte-Cicine, A., Lorre, E., Petkuvienė, J., Gasiunaite, Z. R., Durcova, E., Vybernaite-Lubiene, I., & Zilius, M. (2025). Understanding the impact of summer festival on the dynamic of micropollutant delivery to coastal wastewater treatment plant. *Emerging Contaminants*, 11(2), 100465. <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2024.100465>
13. Gailiūšis, B., Tomkevičienė, A., & Jurgelėnaitė, A. (2021). Lietuvos vandens telkinių antropogeninių pokyčių žalos vertinimas. *Energetika*, 67(1). <https://doi.org/10.6001/energetika.v67i1.4538>

Kristina Jankauskienė, Laima Česonienė

Water Dynamics of Lake Biržulis in the Period 2012–2025

Vytautas Magnus University, Lithuania

Lake Biržulis is located in the Telšiai district, within Varniai regional park and the Biržulis botanical and zoological reserve, covering an area of 106,8 hectares. It was drained between 1932 and 1950. The Directorate of protected areas has set the goal of restoring lake Biržulis. Before undertaking restoration work on the lake, it is advisable to assess its ecological condition. The objective of the study is to determine the dynamics of water quality indicators for lake Biržulis during the 2012–2025 period. The results of previous studies on the lake's ecological condition are presented. It was determined that in 2012, 2014, 2015, 2017, 2024, and 2025, based on 7-day total oxygen demand (BDS7), the lake met the criteria for a good ecological status class, based on total nitrogen (Nb) values, it was assigned to different ecological status classes and based on total phosphorus (Pb) values, the lake also exhibited a fluctuating ecological status. Conclusion: the status of lake Biržulis during the 2012–2025 period was characterized by a consistently good ecological class based on 7-day total oxygen consumption (BDS7) values, the most favorable years were 2012, 2017, when total nitrogen (Nb) values met the criteria for a good ecological class, and 2014 and 2015, when total phosphorus (Pb) values met the criteria for a very good ecological class. The worst years were 2014 and 2025, when total nitrogen (Nb) values reached the thresholds for very poor and poor ecological status classes, while total phosphorus (Pb) values were classified as poor in 2012 and as moderate in 2025.

Keywords: Lake Biržulis, results, class, values, ecological status.

Gauta 2026 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2026 m. balandžio mėn.

Kristina JANKAUSKIENĖ. 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 37 752224, el. paštas: kristina.jankauskiene@stud.vdu.lt

Kristina JANKAUSKIENĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Forest sciences and Ecology, Department of Environment and Ecology, student. Address: Student street 11, LT-53361, Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 37 752224, e-mail: kristina.jankauskiene@stud.vdu.lt

Laima ČESONIENĖ Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Miškų ir ekologijos fakulteto Aplinkos ir ekologijos katedros profesorė. Adresas: Studentų g. 11-518, LT-53361 Akademija, Kauno r. tel. +370 37 752224, el. paštas: laima.cesonienel@vdu.lt

Laima ČESONIENĖ Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Forestry and Ecology, Department of Environment and Ecology, prof. Address: Student street 11-518, LT-53361 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 37 752224, e-mail: laima.cesonienel@vdu.lt

BIODIESEL SYNTHESIS FROM PUMPKIN SEED OIL WITH ETHANOL & LIPASE AS A BIOCATALYST

Temiloluwa Daniel Ajayi, Ieva Pinkė

Vytautas Magnus University, Lithuania

The increasing demand for sustainable transport fuels has intensified efforts to develop efficient and environmentally compliant biodiesel production systems. This study investigates biodiesel synthesis via lipase-catalyzed transesterification of pumpkin seed oil as a potential alternative feedstock. Process optimization was performed using Response Surface Methodology (RSM) evaluating four variables: reaction duration (4–14 h), temperature (25–70 °C), ethanol-to-oil molar ratio (4–10), and catalyst concentration (5–15 wt %). Ester yield was quantified using gas chromatography in accordance with EN 14105. Ethanol-to-oil molar ratio and catalyst concentration were identified as the most statistically significant factors, while temperature exhibited significant nonlinear and interaction effects. The highest experimental ester yield achieved was 97.91 wt% under moderate temperature conditions. These findings demonstrate that lipase-catalysed transesterification of pumpkin seed oil represents a technically viable and environmentally sustainable alternative to conventional chemical processes.

Keywords: Biodiesel, biocatalyst, pumpkin seed oil, response surface methodology.

Introduction

The global switching toward sustainable energy systems has intensified research into renewable transportation fuels that are capable of reducing greenhouse gas emissions and dependence on fossil resources. Biodiesel has emerged as one of the most promising alternatives to petroleum diesel due to its biodegradability, renewability, low sulfuric content, and favorable combustion characteristics (Ramos et al, 2016). Produced primarily through transesterification of triglycerides derived from vegetable oils, animal fats, or waste cooking oils, biodiesel consists of fatty acid methyl esters (FAME) that can be blended with conventional diesel without significant engine modification (Sundaramahalingam et al, 2021). Increasing regulatory pressures, particularly within the European Union and other industrialized regions, have accelerated the adoption of biodiesel and stimulated ongoing research into sustainable feedstocks and improved production technologies (Moschona et al, 2024).

Despite its advantages, biodiesel production remains economically and technically constrained by feedstock cost, catalyst efficiency, and process optimization. Feedstock typically accounts for 70–90% of total production cost, prompting exploration of non-conventional and underutilized oils (Moschona et al, 2024, Tan et al, 2010). Pumpkin seed oil represents a potential alternative feedstock with suitable fatty acid composition for biodiesel synthesis (Durgut et al, 2025). However, efficient conversion requires careful control of reaction conditions and catalyst performance.

Conventional biodiesel production commonly employs homogeneous acid or base catalysts due to their high reaction rates and industrial maturity. Nevertheless, these methods present drawbacks, including soap formation in the presence of free fatty acids, difficult product purification, catalyst non-reusability, and environmental concerns associated with chemical waste generation (Moschona et al, 2024). Enzymatic catalysis using lipases has therefore gained increasing attention as a sustainable alternative. Lipase-catalyzed transesterification operates under milder reaction conditions, exhibits higher tolerance to free fatty acids, minimizes soap formation, and simplifies glycerol separation. However, enzymatic systems are more sensitive to process variables such as temperature, alcohol concentration, and catalyst loading, necessitating increased optimization strategies.

Response Surface Methodology (RSM) provides a powerful statistical and mathematical framework for modeling and optimizing complex multivariable systems. Compared with one-factor-at-a-time experimentation, RSM evaluates interaction effects and nonlinear behavior, thereby reducing experimental runs while maximizing predictive accuracy. The Box–Behnken design, in particular, is well suited for quadratic model development in biochemical and catalytic processes.

This study aims to optimize biodiesel production from pumpkin seed oil using lipase as a heterogeneous biocatalyst. The specific objectives are to (i) evaluate the effects of reaction duration, temperature, ethanol-to-oil molar ratio, and catalyst concentration on ester yield; (ii) develop and validate a quadratic RSM model; (iii) determine optimal reaction conditions. By integrating catalytic analysis with statistical modeling and biodegradability assessment, this work contributes to the advancement of sustainable enzymatic biodiesel production systems.

Research methodology

Oil transesterification. Lipase selection was conducted using Thin Layer Chromatography (TLC). Reaction products were spotted onto silica gel plates, developed in a solvent system (petroleum ether: diethyl ether: acetic acid, 80:20:1), and visualized using iodine vapor. Spot intensity and migration were compared with reference standards (Gaide et al, 2022). Transesterification reactions were performed using pumpkin seed oil and ethanol in conical flasks connected to reflux condensers at 250 rpm stirring. After reaction completion, mixtures were filtered, washed with distilled water, and dried via rotary evaporation at 110°C (Gaide et al, 2022).

Gas chromatography. Ester yield was determined according to the amount of glycerides in the samples. Glycerol, monoglycerides, diglycerides, and triglycerides were analyzed using a gas chromatograph, Perkin Elmer Clarus 500 (City, State Abbr., Country, detector – FID, column – Restek MXT- Biodiesel TG (0.15 m–0.32 mm–0.10 µm) based on the requirements of standard EN 14105 (Gaide et al, 2022).

Ester yield was calculated according to Eq. (1) (Gaide et al, 2022).

$$EY = \frac{\sum A - AEI}{AEI} \times \frac{WEI}{W} \times 100, \quad (1)$$

where *EY* – ester yield, %;

$\sum A$ – the total peak area from methyl ester in C6:0 to that in C24:1;

AEI – the peak area corresponding to nonadecanoic acid methyl ester;

WEI – the weight (mg) of the nonadecanoic acid methyl ester being used as internal standard;

W – the weight (mg) of the sample.

Response surface analysis. Response surface methodology (RSM) via Box-Behnken design (BBD) was applied to evaluate the influences of transesterification response on the reaction parameters of biodiesel production. Analysis of variance (ANOVA) was adopted to investigate several parameters of the quadratic polynomial model.

Results and discussion

Design Expert version 8.01 was used to determine the conditions for the transesterification of pumpkin seed oil with ethanol and lipase as a heterogeneous catalyst. Four independent variables were selected: ethanol-to-oil molar ratio (mol: mol) (4 to 10), process temperature (25 to 70°C), catalyst concentration (5 to 15 wt%), and reaction duration (4 to 14 h). The experimental design consisted of 30 randomized runs. After all experimental trials were conducted, the results were analyzed, and the model was applied. The selected model showed the values of independent variables that give the maximum ester yield. The highest ester yield obtained experimentally was 97.91 wt% at 14 h duration, 25°C temperature, 4:1 ethanol-to-oil molar ratio, and 15 wt% catalyst concentrations. The lowest yield observed was 12.33 wt%, indicating strong sensitivity to operating parameters.

The quadratic RSM model demonstrated excellent fit ($R^2 = 0.991$; Adjusted $R^2 = 0.983$; $p < 0.0001$). Temperature, ethanol ratio, and catalyst concentration were statistically significant factors. High temperatures negatively affected yield, likely due to lipase deactivation.

The fitted quadratic model demonstrated excellent statistical performance ($R^2 = .991$; Adjusted $R^2 = .983$; $F = 118.911$; $p < .001$), indicating that the model adequately explains variation in ester yield.

Diagnostic plots confirmed model adequacy, with residuals randomly distributed and predicted values closely aligned with experimental observations. The enzymatic process demonstrated environmental advantages and strong potential for sustainable biodiesel production.

Table 1. ANOVA

Source	Sum of Squares	df	F	p
Duration	284.0044	1	37.0979	0.0000
Temperature	4.2277	1	0.5522	0.4689
Ethanol Ratio	1778.279	1	232.2868	0.0000
Catalyst	852.5614	1	111.3654	0.0000
Residual	114.833	15		

Interaction effects between temperature and ethanol ratio, as well as temperature and catalyst concentration, were significant, validating the need for simultaneous optimization of multiple parameters rather than single-variable adjustment. As it is shown in Figure 1, lower reaction temperature, as well as lower alcohol amount, lead to higher ester yield. However, to obtain maximum ester yield higher catalyst concentration is needed.

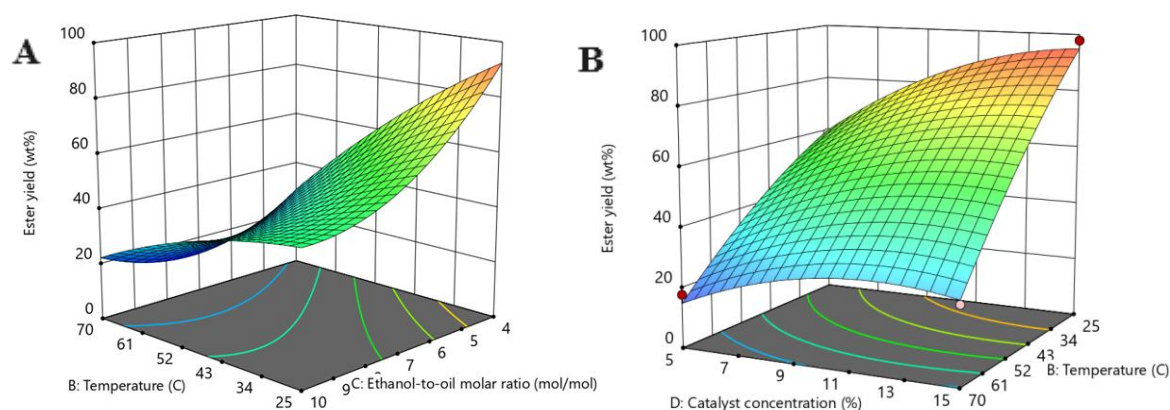


Fig. 1. Response surface contour plot for the interaction between: (A) – the reaction temperature and the molar ratio of alcohol to oil, (B) – the catalyst concentration and the reaction temperature

Numerical optimization predicted a theoretical maximum yield of 96.6 wt%. The experimentally validated optimum was obtained 97.91 wt% under optimum conditions (Table 2.).

Table 2. Optimization Comparison

Duration of reaction, h	Reaction temperature, °C	Ethanol to oil molar ratio, mol/mol	Concentration of catalyst, wt% (from oil mass)	Predicted ester yield, wt%	Experimental ester yield, wt%
12	25	4:1	15	96.6	97.51

Conclusions

1. Lipase-catalyzed biodiesel production from pumpkin seed oil can achieve high conversion efficiency under moderate temperature and optimized catalyst concentration.
2. Response surface methodology effectively captured nonlinear interactions.
3. The findings support enzymatic biodiesel production as an environmentally sustainable alternative to conventional chemical catalysis.

References

1. Durgut, M. R. (2025). Optimized Biodiesel Production from Pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) Seed Oil: A Response Surface Methodology for Microwave-Assisted Transesterification. *Processes*, 13(2), 572.
2. Gaide, I., Makareviciene, V., Sendzikiene, E., & Gumbyte, M. (2022). Application of dolomite as solid base catalyst for transesterification of rapeseed oil with butanol. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 52, 102278. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102278>
3. Moschona, A., Spanou, A., Pavlidis, I. V., Karabelas, A. J., & Patsios, S. I. (2024). Optimization of Enzymatic Transesterification of Acid Oil for Biodiesel Production Using a Low-Cost Lipase: The Effect of Transesterification Conditions and the Synergy of Lipases with Different Regioselectivity. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 196(11), 8168–8189. <https://doi.org/10.1007/s12010-024-04941-3>
4. Ramos, M., Dias, A. P., Puna, J. F., Gomes, J., & Bordado, J. C. (2019). Biodiesel Production Processes and Sustainable Raw Materials. *Energies*, 12(23), 4408. <https://doi.org/10.3390/en12234408>
5. Sundaramahalingam, M. A., Amrutha, C., Sivashanmugam, P., & Rajeshbanu, J. (2021). An encapsulated report on enzyme-assisted transesterification with an allusion to lipase. *3 Biotech*, 11(11), 481. <https://doi.org/10.1007/s13205-021-03003-3>
6. Tan, T., Lu, J., Nie, K., Deng, L., & Wang, F. (2010). Biodiesel production with immobilized lipase: A review. *The Biorefinery: Sustainably Renewable Route to Commodity Chemicals, Energy, and Materials*, 28(5), 628–634. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2010.05.012>

Received March, 2026, published April, 2026

Temiloluwa D. AJAYI. Vytautas Magnus University, Agricultural Academy, Faculty of Forest Sciences and Ecology, Department of Environment and Ecology, M.Sc. Address: Studentu str. 15a, LT-53362, Akademija, Kaunas dist. Lithuania. Phone: +370 636 66840, e-mail: temiloluwa.daniel.ajayi@vdu.lt
Ieva PINKĖ. Vytautas Magnus University, Agricultural Academy, Faculty of Forest Sciences and Ecology, Department of Environment and Ecology. Address: Vytautas Magnus University, Donelaičio str. 58, LT-44248 Kaunas, Lithuania, e-mail: ieva.pinke@vdu.lt

SUDOTĖLIO EŽERO BŪKLĖS DINAMIKA 2007–2025 METAIS

Rasa Čibirienė, Laima Česonienė

Vytauto Didžiojo universitetas

Ežerų eutrofikacija ir vidinis maistmedžiagų išsiskyrimas iš nuosėdų išlieka reikšminga vandens kokybės problema, ribojančia gėlo vandens išteklių ekologinį stabilumą. Tyrimo tikslas – įvertinti Sudotėlio ežero ekologinės būklės dinamiką ir savaiminio apsivalymo procesus po nuotekų išleidimo nutraukimo. 2023–2025 m. atlikti sezoniniai vandens tyrimai (BDS₇, bendrasis azotas, bendrasis fosforas, skaidrumas) ir palyginti su 2007 m. duomenimis, taikant statistinę analizę ir procentinį pokyčių vertinimą. Nustatyta, kad 2007–2025 m. BDS₇ sumažėjo 89 %, bendrasis azotas – 94 %, fosforas – 97 %, o skaidrumas padidėjo 165 %. Rezultatai rodo perėjimą iš labai blogos į gerą–labai gerą ekologinę būklę ir patvirtina sustiprėjusius ilgalaikius savaiminio apsivalymo procesus.

Raktiniai žodžiai: eutrofikacija, savaiminis apsivalymas, maistmedžiagų dinamika, ekologinė būklė, Sudotėlio ežeras.

Įvadas

Spartus socialinis ir ekonominis vystymasis lėmė padidėjusį antropogeninių teršalų išleidimą į gamtinę aplinką, o tai smarkiai pablogina upių ir ežerų vandens kokybę visame pasaulyje (Mekonnen and Hoekstra, 2016). Šis iššūkis yra neatsiejama pasaulinės gėlo vandens išteklių krizės dalis, kuriai būdingas erdvės ir laiko pasiskirstymo disbalansas, mažėjantis hidrocheminis vientisumas (Ting et al., 2020; Jianyong, 2020; Islam et al., 2024). Nepaisant didžiulės Žemės hidrosferos, gėlo vandens, prieinamo tiesiogiai žmonėms, dalis išlieka kritiškai ribota, todėl gėlo vandens trūkumas tapo pagrindine XXI amžiaus planetos krize (Srinivasan et al., 2012). Ežerų eutrofikacija ir dažnas melsvabakterių žydėjimas išlieka viena iš opiausių vandens ekologinių ir aplinkosaugos problemų visame pasaulyje (Mekonnen and Hoekstra, 2016; Ting et al., 2020). Nepaisant didelės pažangos kontroliuojant vandens telkinių išsklaidytą taršą, dėl kurios sumažėjo bendras išorinių maistinių medžiagų kiekis ežeruose, azoto ir fosforo koncentracijos ežerų vandenyje nesumažėjo iki laukiamo lygio, o dumblių žydėjimas ir toliau pasitaiko dažnai (Jianyong, 2020; Islam et al., 2024). Vis daugiau įrodymų rodo, kad be nuolatinio poreikio veiksmingai kontroliuoti išorinių maistinių medžiagų kiekį, vidinis maistinių medžiagų išsiskyrimas tapo pagrindiniu veiksniu, palaikančiu eutrofikaciją gėlo vandens sistemose (Srinivasan et al., 2012; Attua, et al., 2014; Gandla et al., 2023).

Nuosėdos yra pagrindinis ežerų ekosistemų elementas. Jie tarnauja ne tik kaip dinamiški esminių maistinių medžiagų, tokių kaip azotas ir fosforas, šaltiniai ir saugyklos, bet ir kaip vertingi geocheminiai archyvai, skirti rekonstruoti ir įvertinti tiek šiuolaikines sąlygas, tiek istorines ežerų taršos tendencijas. Nuosėdos jautriai reaguoja į geocheminių ir hidrodinaminių sąlygų pokyčius, atspindėdamos sudėtingus procesus, įskaitant maistinių medžiagų nusėdimą, molekulinę difuziją ir resuspensiją (Ding et al., 2021; Yong et al., 2021). Veikiant vėjo sukeltų bangų veikimui arba bentoso bioturbacijai, nuosėdose susikaupęs azotas ir fosforas gali būti mobilizuoti ir išpilti į viršutinį vandens sluoksnį per porų vandens ištekėjimą, o tai sukelia antrinę taršą ir dar labiau paaštrina eutrofikaciją (Wu et al., 2017). Dėl to nuosėdų sukulto maistinių medžiagų išsiskyrimo reiškinys sulaukė didelio mokslininkų ir aplinkosaugos institucijų dėmesio.

Upės ir ežero savaiminis apsivalymas, apibrėžiamas kaip vidinis vandens sistemos gebėjimas sumažinti teršalų koncentraciją per susietus fizinius, cheminius ir biologinius mechanizmus (Raj et al., 2021; Pooja et al., 2024), veikia kaip itin svarbus ekologinis buferis. Tačiau šis prisitaikymo mechanizmas priklauso nuo daugelio sąveikaujančių kintamųjų, įskaitant srauto greitį, terminį režimą, geomorfinę struktūrą ir teršalų rūšiavimąsi (Mercedes et al., 2024). Savaiminio apsivalymo procesų erdvės ir laiko dinamikos išaiškinimas yra būtinas kuriant mokslu pagrįstas vandens išteklių valdymo strategijas ir įgyvendinant tikslines taršos mažinimo priemones (Xianqi et al., 2022; Desty et al., 2023). Svarbu tai, kad vandens savaiminis apsivalymas turi būdingas ribas, čia apibrėžiamas kaip asimiliacinis pajėgumas. Asimiliacinis pajėgumas atitinka maksimalią teršalų apkrovą, kurią vandens telkinys gali priimti neviršydamas savo savaiminio apsivalymo ribos, kurią peržengus, įvyksta negrįžtamas vandens ekosistemų degradavimas (Ten et al., 2019; Xu et al., 2023). Paviršinio vandens telkinio savaiminis apsivalymas yra sudėtingas biogeocheminis procesas, kuomet mikrobu bendruomenės nuosekliai transformuoja teršalus į mažiau kenksmingus junginius (Sui et al., 2016; Lu et al., 2016). Bakterijų konsorciškai skatina šį procesą fermentiškai skaidydami sudėtingus organinius substratus (pvz., angliavandenius, baltymus, lipidus) į neorganinius galutinius produktus (CO₂, vandenį ir maistines medžiagas), kurie vėl patenka į biogeocheminius ciklus (Masamichi, 1994).

Tyrimų metodika

Sudotėlis – ežeras (1 paveikslas) Lietuvoje, Švenčionių rajone, 4 km į pietus nuo Švenčionių, 0,08 km į rytus nuo Žeimenos upės.



1 pav. Sudotėlio ežeras

Fig. 1. Map of the Sudotėlis Lake area

Ežeras 34 metus nuo 1975 metų buvo tarsi nuotekų valymo įrenginių dalis – jame vyksta antrinis organinių medžiagų, skendinčių medžiagų, azoto ir fosforo apsivalymas. 2008 metais pastatyti šiuolaikiški nuotekų valymo įrenginiai, ežero teršimas nutrauktas.

Sudotėlio ežero vandens mėginiai intensyviai buvo imami 2023–2025 metų laikotarpyje skirtingais metų periodais. Vandens tyrimų duomenys lyginami su 2007 metų tyrimo duomenimis – Sudotėlio ežero valymas ir gamtosauginis tvarkymas (projektas).

Stebėjimų periodiškumas: 4 kartus per metus – šiltuoju metų periodu. balandžio mėn. II pusėje–gegužės mėn., liepos mėn. II pusėje, rugpjūčio mėn. II pusėje, rugsėjo mėn. II pusėje–spalio mėn. I pusėje. Buvo vertinama kaip metų eigoje keitėsi fizikinių-cheminių rodiklių vertės tam tikrais metų periodais. Paviršinio vandens būklė vertinta pagal šių fizikinių-cheminių rodiklių vertes: biocheminis deguonies suvartojimas per 7 paras (BDS₇), bendrasis azotas (N_b), bendrasis fosforas (P_b), vandens skaidrumas S.

Vandens kokybės rodikliai yra vertinami juos palyginus su ribinėmis rodiklių vertėmis, ar neviršijama leistinos normos. Rodiklių vertės yra reglamentuojamos teisinio dokumento „Paviršinių vandens telkinių būklės nustatymo metodika“, kuri patvirtinta Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2021 metų lapkričio 4 d. įsakymu Nr. D1-645 redakcija. Vandens ekologinės būklės klasės žymėjimas pagal spalvas pateiktas 1 lentelėje.

1 lentelė. Vandens ekologinės būklės klasės žymėjimas pagal spalvas

Table 1. Color coding of water ecological status class

Būklė	Labai geros ekologinės būklės	Geros ekologinės būklės	Vidutinės ekologinės būklės	Blogos ekologinės būklės	Labai blogos ekologinės būklės
Spalva					

Tyrimų rezultatai buvo vertinti po matematinio statistinio apdorojimo, matematine statistine programa Microsoft EXCEL. Duomenų statistinei analizei buvo naudota „STATISTICA 10“ programa.

Vandens kokybės rodiklių verčių dinamika, lyginant 2025 metų su 2007 metų tyrimų duomenimis, vertinami paskaičiuojant procentinę išraišką. Taikyta formulė:

$$\text{Dinamika \%} = \frac{X(2025) - X(2007)}{X(2007)} \times 100, \quad (1)$$

X – vandens kokybės rodiklio vertė.

Rezultatai ir aptarimas

Norint įvertinti Sudotėlio ežero būklės dinamiką, vandens kokybės tyrimai atlikti 2023–2025 metais. Rezultatai lyginami su 2007 metais atliktais Sudotėlio ežero vandens tyrimais. Vidutiniai metiniai fiziniai-cheminiai kokybės elementų rodikliai, pagal kuriuos galime nustatyti upės ekologinę būklę, pateikti 2 lentelėje.

2 lentelė. Sudotėlio ežero ekologinė būklė pagal fizikinių-cheminių rodiklių vertes

Table 2. Ecological status of Lake Sudotėlis according to the values of physicochemical indicators

	BDS ₇ , BOD ₇ , mg/IO ₂	N, mg/lN	P mg/lP	Skaidrumas, Transparency S, m
2007	28,00	23,50	2,950	0,80
2023	2,65	1,80	0,058	1,91
2024	5,04	1,53	0,136	2,50
2025	3,00	1,44	0,084	2,12

Sudotėlio ežero vandens kokybės dinamikos analizė 2007–2025 m. laikotarpiu rodo esminę ekologinės būklės pagerėjimą pagal pagrindinius fizikinius-cheminius rodiklius (BDS₇, bendrąjį azotą, bendrąjį fosforą ir skaidrumą). 2007 m. fiksuotos itin aukštos BDS₇ (28,0 mg/l O₂), bendrojo azoto (23,5 mg/l) ir bendrojo fosforo (2,95 mg/l) vertės rodo intensyvią eutrofikaciją ir stiprią organinę taršą. Tokie rodikliai literatūroje dažniausiai siejami su nevalytų ar nepakankamai išvalytų nuotekų poveikiu, difuzine žemės ūkio tarša bei fosforo išsiskyrimu iš nuosėdų (Søndergaard et al., 2003; Smith & Schindler, 2009). 2007 metais visi pagrindiniai fizikinių-cheminių kokybės elementai (bendrasis azotas, bendrasis fosforas ir BDS₇) rodė labai blogą ekologinę būklę, būdingą stipriai eutrofikuojamam ir organiškai užterštam vandens telkiniui.

2023 metais situacija iš esmės pasikeitė – pagal BDS₇, bendrąjį azotą ir skaidrumą Sudotėlis atitiko geros ekologinės būklės klasę. 2023 m. nustatytas staigus BDS₇ (2,65 mg/ O₂), bendrojo azoto (1,80 mg/l) ir fosforo (0,058 mg/l) sumažėjimas bei reikšmingai padidėjęs skaidrumas (1,91 m) rodo trofinės būklės pagerėjimą. Panašios tendencijos aprašomos daugelyje Europos ežerų, kur įgyvendinus nuotekų valymo modernizavimą ir sumažinus maistmedžiagių apkrovą, per 10–20 metų laikotarpį stebimas reikšmingas vandens kokybės atsistatymas (Jeppesen et al., 2005; Carvalho et al., 2013). Ypač reikšmingas yra bendrojo fosforo sumažėjimas – būtent fosforas dažnai yra ribojantis veiksnys gėlavandenių ežerų eutrofikacijos procese.

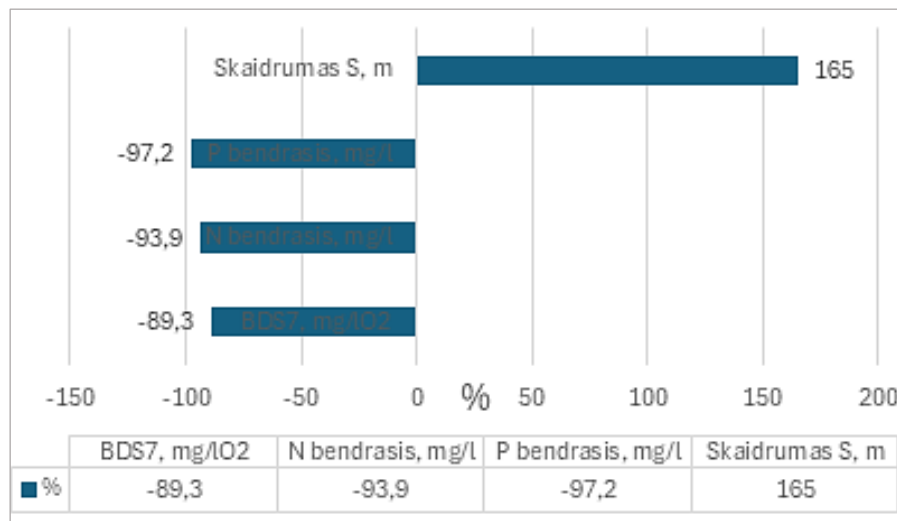
2024 metais užfiksuotas trumpalaikis pablogėjimas, kai fosforo koncentracija perėjo į blogos būklės ribą, o BDS₇ atitiko vidutinės būklės klasę. Tai gali būti siejama su hidrometeorologinėmis sąlygomis ar fosforo išplovimu. Vidaus apkrovos reiškinys plačiai aprašytas eutrofikuojuose ežeruose ir gali lemti trumpalaikius fosforo koncentracijos šuolius net sumažinus išorinę taršą (Søndergaard et al., 2003). Klimato kaitos kontekste tokie svyravimai Europoje tampa dažnesni dėl ilgesnių šiltų periodų ir intensyvių kritulių epizodų.

2025 metais ekologinė būklė vėl gerėjo: pagal BDS₇ bendrojo azoto vertės Sudotėlis atitiko gerą ekologinės būklės klasę, pagal bendrojo fosforo koncentraciją – vidutinės, o pagal skaidrumo vertes – labai geros klasės. Bendra tendencija rodo nuoseklų vandens kokybės gerėjimą laikotarpiu nuo 2007 metais, nepaisant laikino svyravimo 2024 metais. Skaidrumo didėjimas iki 2,12 m rodo sumažėjusią fitoplanktono biomasę bei geresnę šviesos skvarbą, kas dažnai siejama su trofinės būklės mažėjimu ir ekosistemos stabilizacija (Jeppesen et al., 2005).

Visų keturių vandens kokybės rodiklių verčių dinamika rodo aiškų Sudotėlio ežero ekologinės būklės gerėjimą. Biogeninių medžiagų sumažėjimas (N, P) sumažino eutrofikacijos intensyvumą; mažėjantis BDS rodo mažesnę organinę taršą; didėjantis skaidrumas patvirtina šviesesnes, labiau aeruotas ir ekologiškai stabilias vandens sąlygas.

Tai leidžia teigti, kad per analizuojamą laikotarpį sustiprėjo ežero savaiminio apsivalymo procesai, sumažėjo antropogeninis poveikis, o vandens kokybė tapo labiau atitinkanti geros ekologinės būklės kriterijus.

Vandens kokybės rodiklių verčių dinamika, lyginant 2007 metų su 2025 metų tyrimų duomenis, vertinami paskaičiuojant procentinę išraišką. Rezultatai pateikti 2 paveiksle.



2 pav. Vandens kokybės rodiklių verčių pokyčiai 2007 ir 2025 metais %

Fig. 2. Changes in water quality indicator values in 2007 and 2025 %

Lyginant 2007 ir 2025 metų duomenis, akivaizdu, kad vandens telkinio būklė ženkliai pagerėjo pagal visus pagrindinius fizikinių-cheminių kokybės elementus. Organinės taršos rodiklis BDS₇ sumažėjo 89 %, bendrasis azotas – net 94 %, o bendrasis fosforas – 97 %, t. y. telkinys perėjo iš labai blogos į gerą arba vidutinę ekologinę būklę. Tuo pačiu skaidrumas padidėjo 165 %, rodydamas geresnę trofinę struktūrą ir mažesnę dumblių gausą. Tai leidžia teigti, kad nuo 2007 metų iki 2025 metų vandens telkinyje vyksta nuoseklus ir ryškus ekologinės būklės gerėjimas, sumažėjus maistmedžiagių apkrovai ir organinei taršai.

Ežero ekosistema per 17 metų labai sustiprėjo natūralūs sedimentacijos procesai pašalina fosforą ir azotą iš vandens, mikrobiologinė veikla sumažino organinę medžiagą, pagerėjo vandens ir dugno aeracija, sumažėjo eutrofikacijos intensyvumas. Kai sumažėja maistinė apkrova, ekosistema pereina į mažesnio fitoplanktono dominavimo būseną; skaidresnio vandens fazę; geresnį deguonies režimą. Tai yra būdinga savaiminio apsivalymo procesų sėkmei.

Nuo 2007 iki 2025 metų Sudotėlio ežero vandens kokybė ženkliai pagerėjo. Biogeninių medžiagų ir organinės taršos sumažėjimas rodo sumažėjusį antropogeninį poveikį, veiksmingus savaiminio apsivalymo procesus. Skaidrumo padidėjimas +165 % yra vienas geriausių įrodymų, kad ežere atkuriamas ekologinė pusiausvyra ir gerėja ekosistemų funkcionavimas.

Išvados

1. Nustatyta, kad 2007; 2023–2025 m. laikotarpiu Sudotėlio ežero vandens kokybė reikšmingai pagerėjo, sumažėjus organinės taršos ir biogeninių medžiagų koncentracijoms bei padidėjus vandens skaidrumui, kas rodo teigiamą ekologinės būklės dinamiką po nuotekų išleidimo nutraukimo.
2. Didelis organinės ir biogeninės taršos sumažėjimas (BDS₇ -89 %, N -94 %, P -97 %) bei skaidrumo padidėjimas (+165 %) patvirtina, kad Sudotėlio ežere vyksta intensyvūs ir ilgalaikiai savaiminio apsivalymo procesai, susiję su sumažėjusia antropogeneine apkrova ir aktyvia biogeochemine apykaita.

Literatūra

1. Attua, E. M., Jennifer, A., Pabi, O. (2014). Relating land use and land cover to surface water quality in the Densu River basin, Ghana. *Int. J. River Basin Manag.*, 12, 57–68. <https://doi.org/10.1080/15715124.2014.880711>
2. Carvalho, L., McDonald, C., de Hoyos, C., Mischke, U., Phillips, G., Borics, G., Poikane, S., Skjelbred, B., Solheim, A. L., Van Wichelen, J., & Cardoso, A. C. (2013). Water Framework Directive: Intercalibration of lake ecological status classifications based on phytoplankton. *Hydrobiologia*, 704, 35–51.
3. Desty, P., Dadan, S., Dina, O., Sunardi, S. (2023). Water quality influences self-purification in the Cihawuk and Majalaya segments upstream of the Citarum River, West Java, Indonesia. *Water*, 15, 2998. <https://doi.org/10.3390/w15162998>
4. Ding, S., Liu, Y., Dan, S. F., Jiao, L. (2021). Historical changes of sedimentary P-binding forms and their ecological driving mechanism in a typical “grass-algae” eutrophic lake. *Water Res.*, 204, Article 117604.

5. Gandla, V., Chiluka, M., Gupta, H., Sinha, S. N., Chakraborty, P. (2023). Sediment-water partitioning and risk assessment of organochlorine pesticides along the urban, peri-urban and rural transects of Krishna River Basin, Peninsular India. *Sci. Total Environ.* <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162360>
6. Islam, S. T., Rahman, S. H., Matin, M. A., Dey, A., Talukder, B., Sanyal, N., Asadujjaman, M., Akand, K. (2024), State of the World's Rivers. *Annu. Rev. Env. Resour.* <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-111022-020951>
7. Jeppesen, E., Søndergaard, M., Jensen, J. P., Havens, K. E., Anneville, O., Carvalho, L., Coveney, M. F., Deneke, R., Dokulil, M. T., Foy, B., Gerdeaux, D., Hampton, S. E., Hilt, S., Kangur, K., Köhler, J., Lammens, E., Lauridsen, T. L., Manca, M., Miracle, M. R., Moss, B., ... Winder, M. (2005). Lake responses to reduced nutrient loading – an analysis of contemporary long-term data from 35 case studies. *Freshwater Biology*, 50, 1747–1771.
8. Jianyong, W. (2020). Challenges for safe and healthy drinking water in China *Curr. Environ. Health Rep.*, 7, 292–302. <https://doi.org/10.1007/s40572-020-00274-5>
9. Lu, Y., Chen, J., Zheng, J., Hu, G., Wang, J., Huang, C., Lou, L., Wang, X., Zeng, Y. (2016). Mucosal adherent bacterial dysbiosis in patients with colorectal adenomas. *Sci. Rep.*, 6, Article 26337, <https://doi.org/10.1038/srep26337>
10. Masamichi, W. (1994). Relationship between bacteria decomposing organic substances and water pollution in river water. *Nippon Eiseigaku Zasshi (Japanese J. Hyg.)*, 49, 82–790, 10.1265/jjh.49.782
11. Mekonnen, M.M., Hoekstra A.Y. (2016), Four billion people facing severe water scarcity. *Sci. Adv.*, 2, Article e1500323, 10.1126/sciadv.1500323
12. Mercedes, K. A., Regine, D. C., Divina, S. K. E., Jones, T. N. (2024). Self-purification in tropical upland rivers as affected by environmental factors: the case of Balili River in Benguet, Philippines. *Int. J. Phytoremediation*, 26, pp. 2234–2249. <https://doi.org/10.1080/15226514.2024.2380751>
13. Pooja, B., Dharendra Singh, B., Sudhir KSumit Singh., R. (2024). Self-purification of upper reaches of Yamuna River, Uttarakhand, *India J. Environ. Bio-Sci.*, 38, 51, <https://doi.org/10.59467/jeb.2024.38.51>
14. Raj P.S.A., Divahar R., Arun R.N., Aswin S., Bipeesh B. (2021), Study of self depuration capability of river Pamba *J. Phys. Conf. Ser.*, 2040 Article 12039, 10.1088/1742-6596/2040/1/012039.
15. Smith, V. H., & Schindler, D. W. (2009). Eutrophication science: Where do we go from here? *Trends in Ecology & Evolution*, 24(4), 201–207.
16. Søndergaard, M., Jensen, J. P., & Jeppesen, E. (2003). Role of sediment and internal loading of phosphorus in shallow lakes. *Hydrobiologia*, 506–509, 135–145
17. Srinivasan V., Lambin E.F., Gorelick S.M., Thompson B.H., Rozelle S. (2012), The nature and causes of the global water crisis: syndromes from a meta-analysis of coupled human-water studies. *Water Resour. Res.*, 48. 10.1029/2011WR011087
18. Sui Q., Liu C., Zhang J., Dong H., Zhu Z., Wang Y. (2016), Response of nitrite accumulation and microbial community to free ammonia and dissolved oxygen treatment of high ammonium wastewater *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 10.1007/s00253-015-7183-z
19. Tien Z., Nieke K., Agus S. (2019), The self-purification ability in the Rivers of Banjarmasin, Indonesia *J. Ecol. Eng.*, 20, pp. 177–182. 10.12911/22998993/97286.
20. Ting M., Siao S., Guangtao F., Jim W.H., Yong N., Lihuan H., Jiawei Y., Na Z., Yunyan D., Tao P., Weiming C., Ci S., Chuanglin F., Chenghu Z. (2020), Pollution exacerbates China's water scarcity and its regional inequality *Nat. Commun.*, 11. 10.1038/s41467-020-14532-5
21. Tong Y., Xu X., Qi M., Sun J., Zhang Y., Wei Z., Wang M., Xuejun W. (2021), Lake warming intensifies the seasonal pattern of internal nutrient cycling in the eutrophic lake and potential impacts on algal blooms. *Water Res.*, 188 Article 116570.
22. Wu, Z., Liu, Y., Liang, Z.Y., Wu, S.F., Guo, H.C. (2017). Internal cycling, not external loading, decides the nutrient limitation in eutrophic lake: a dynamic model with temporal Bayesian hierarchical inference. *Water Res.*, 116, 231–240.
23. Xianqi, Z., Peng, C., Yonghua, H., Xing, C., Shengnan, D. (2022). Quantitative analysis of self-purification capacity of non-point source pollutants in watersheds based on SWAT model. *Ecol. Indic.*, 143, Article 109425. 10.1016/j.ecolind.2022.109425.
24. Xu, R., Zhang W., Fu, Y., Fan, F., Zhou, Z., Chen, J., Liu, W., Meng, F. (2023). The positive roles of influent species immigration in mitigating membrane fouling in membrane bioreactors treating municipal wastewater. *Water Res.*, 235, Article 119907. 10.1016/j.watres.2023.119907.

Rasa Čibirienė, Laima Česonienė

Dynamics of the State of Lake Sudotėlis in 2007–2025

Vytautas Magnus University, Lithuania

Eutrophication of lakes and internal release of nutrients from sediments remains a significant water quality problem, limiting the ecological stability of freshwater resources. The aim of the study is to assess the dynamics of the ecological status of Lake Sudotėlis and the self-purification processes after the cessation of wastewater discharge. Seasonal water tests (BOD₇, total nitrogen, total phosphorus, transparency) were carried out in 2023–2025 and compared with the data of 2007, using statistical analysis and percentage assessment of changes. It was found that in 2007–2025 BOD₇ decreased by 89%, total nitrogen – 94%, phosphorus – 97%, and transparency increased by 165%. The results indicate a transition from very poor to good–very good ecological status and confirm the strengthened long-term self-purification processes.

Keywords: Eutrophication, self-purification, nutrient dynamics, ecological status, Lake Sudotėlis.

Gauta 2026 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2026 m. balandžio mėn.

Rasa ČIBIRIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Miškų ir ekologijos fakulteto Aplinkos ir ekologijos katedros magistrantė. Adresas: Studentų g. 11, LT-53362, Akademija, Kauno r., tel. +370 37 752224, el. paštas: cibirasa@gmail.com

Rasa CIBIRIENE. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Forestry sciences and Ecology, Department of environment and ecology, student. Address: Studentų g. 11, LT-53362, Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 37 752224, e-mail: cibirasa@gmail.com

Laima ČESONIENĖ Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Miškų ir ekologijos fakulteto Aplinkos ir ekologijos katedros profesorė. Adresas: Studentų g. 11-518, LT-53361 Akademija, Kauno raj. Tel. +370 37 752224, el. paštas: laima.cesonienel@vdu.lt

Laima CESONIENĖ Vytautas Magnus University, Faculty of Forestry and Ecology, Department of Ecology and Environment, prof. Address: Studentu street 11-518 LT-53361 Akademija, Kauno dist. Tel. +370 37 752224, e-mail: laima.cesonienel@vdu.lt

MASČIO EŽERO VANDENS KOKYBĖS DINAMIKA 2012–2025 METAIS

Robertta Norkevičienė, Laima Česonienė

Vytauto Didžiojo universitetas

Straipsnyje aptariama Masčio ežero, esančio Telšių rajone, fizikinių-cheminių rodiklių dinamika 2012–2025 metais ir 2025 metais esančių rodiklių palyginimas su prieš ežero valymą buvusių rodiklių vertėmis. Analizuoti rodikliai: bendrasis azotas, bendrasis fosforas, biocheminis deguonies suvartojimas. Nustatyta, kad pagal Paviršinio vandens telkinių nustatymo metodiką Masčio ežero vanduo vis dar yra blogos ir labai blogos ekologinės būklės, nepaisant to, kad bendrojo fosforo ir biocheminio deguonies suvartojimo vertės mažėja.

Raktiniai žodžiai: bendrasis azotas, bendrasis fosforas, ežeras, biocheminis deguonies suvartojimas, ekologinė būklė.

Įvadas

Žemė yra vadinama mėlynąja planeta, apie 70 procentų jos teritorijos dengia vanduo, kurio ištekliai yra neišsemiami, nes dalyvauja uždame vandens apykaitos rate (Meilutytė-Barauskienė ir kt., 2008). Tačiau tai nereiškia, kad vandens kokybė nekinta. Dėl įvairios žmogaus veiklos, didėjančios taršos, sparčiai vystomos urbanizacijos, kylančios aplinkos temperatūros vandens išteklių kokybė prastėja, to pasekoje daroma neigiama įtaka žmonių sveikatai, ekonomikai, ekosistemoms (Stets et al., 2020).

Vanduo yra reikalingas ne tik ekosistemų išgyvenimui, taip pat jis yra vienas iš natūralių būdų valdant klimato kaitą ir mažinant jos sukeltus padarinius (Ray et al., 2025). Klimato kaita apima temperatūros, kritulių ir jūros lygio pokyčius. Teigiama, kad klimato kaitos poveikis paviršinio vandens ištekliams nėra visame pasaulyje vienodas (Hughes et al., 2021) ir jis gali kisti priklausomai nuo regiono, klimatinės sąlygų ir jau esančių dirgiklių (Ray et al., 2025). Dėl kylančios temperatūros vyksta intensyvesnis garavimo procesas iš vandens telkinių. Dėl to intensyvėjant šiluminei stratifikacijai uždaruose vandens telkiniuose mažėja ištirpusio deguonies kiekis ir prastėja gyvenimo sąlygos vandens organizmams, didėja eutrofikacijos rizika (Ray et al., 2025).

Pastaraisiais metais ypač pastebimas pakitęs kritulių pasiskirstymas erdvėje ir jų intensyvumo pokyčiai. Vienuose regionuose fiksuojamas kritulių sumažėjimas, kituose – padidėjimas, užsitęsia audros ir stiprūs potvyniai, dėl to vandens lygis staigiai kinta ir yra trikdomas hidrologinis ciklas, potvyniai padidina vandens užterštumą sausumoje esančiais teršalais ir nuosėdomis (Ray et al., 2025).

Vandens telkinių būklė blogėja sparčiai. Europos aplinkos agentūros duomenimis, 2021 metais tik 37 proc. Europoje esančių paviršinio vandens telkinių yra geros ir labai geros ekologinės būklės (Europos..., 2024), kai 2017 metais šis procentas buvo kiek didesnis – apie 40 proc. (Europos..., 2018). Lietuvoje tendencija panaši kaip ir Europoje: 2014–2019 metų duomenimis, 37 proc. upių ir 36 proc. ežerų yra geros ekologinės būklės, tačiau nei Kuršių marios, nei Baltijos jūros priekrantės vandenys geros ekologinės būklės neatitinka (Aplinkos..., 2022).

Tyrimo objektas – Masčio ežero vanduo. Ežero plotas užima 274,9 ha, vidutinis gylis – 2,6 m. 2006 metais dėl anksčiau vykdytos taršos iš pramonės įmonių nevalytomis nuotekomis ežeras neatitiko geros ekologinės būklės (Aplinkos..., 2009), todėl 2009–2012 metais vykdytas dalies Masčio ežero valymas šalinant dumblą.

Tyrimo tikslas – įvertinti Masčio ežero ekologinę būklę pagal fizikinius-cheminius rodiklius ir įvertinti vandens kokybės pokyčius prieš ežero valymą ir po ežero valymo.

Tyrimų metodika

Masčio ežero vanduo tirtas 2012–2025 metais. Naudojami 2014 metų ir 2015 metų duomenys iš studijos „Rizikos vandens telkinių būklės tyrimų, taršos šaltinių ir kitų priežasčių, lemiančių rizikos vandens telkinio būklę, identifikavimas, būklės gerinimo priemonių parinkimas“ (Vytauto..., 2017), 2012, 2017, 2020 ir 2023 metų – Aplinkos apsaugos agentūros vykdyto monitoringo duomenys (Aplinkos..., 2025), 2024–2025 metais tyrimai atlikti imant mėginius 9 Masčio ežero vietose 4 kartus per metus. Tyrimai atlikti VDU ŽŪA Miškų ir ekologijos fakulteto Aplinkotyros laboratorijoje. Vandens ėminių vietos pažymėtos 1 paveiksle ir yra parinktos atsižvelgiant į galimus taršos šaltinius (žemės ūkio veikla, išleistuvai, įtekantis upelis). Nustatytos fizikinių-cheminių rodiklių vertės: bendrojo fosforo (Pb) ir bendrojo azoto (Nb) koncentracijos, biocheminio deguonies suvartojimo per 7 paras (BDS7) vertės. Jos lyginamos su Paviršinio vandens telkinių būklės nustatymo metodikoje, patvirtintoje Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2007 m. balandžio 12 d. įsakymu Nr. D1-210 „Dėl Paviršinių vandens telkinių būklės nustatymo metodikos patvirtinimo“ (Dėl Paviršinių..., 2021) nustatytomis vertėmis. Metodikoje nustatyti ežerų ekologinės būklės klasių kriterijai pagal fizikinių-cheminių kokybės elementų rodiklių vertes ir pagal tai nustatoma Masčio ežero ekologinė būklė tiriamais metais.

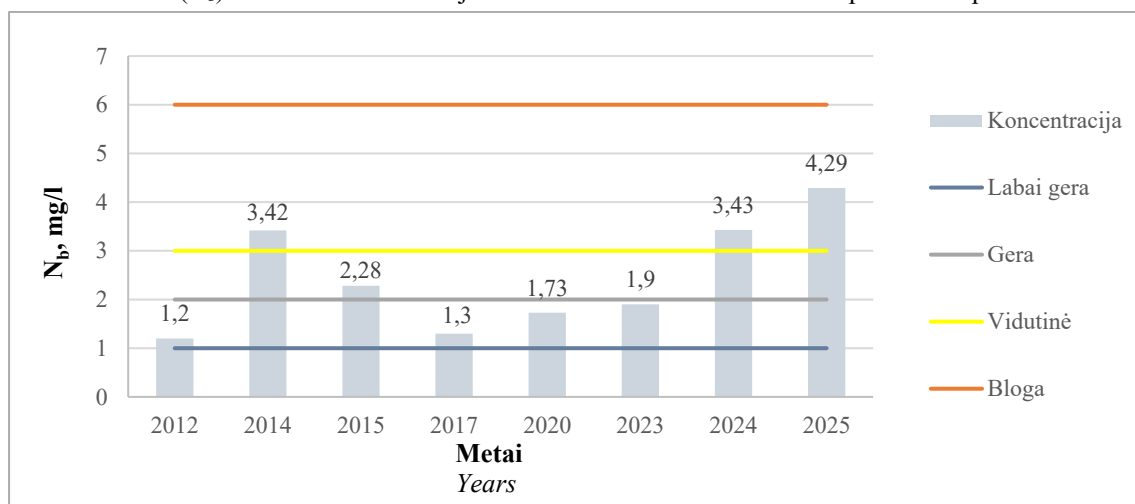
Duomenys apdorojami naudojant *MS Excel* ir *Statistica 8* programines įrangas. Rodiklių verčių kitimo tendencijai nustatyti naudojama krypties linija. 2025 metais tirtų rodiklių vertės lyginamos su prieš Masčio ežero valymą buvusiomis vandens kokybės rodiklių vertėmis (Telšių..., 2009).



1 pav. Vandens ėmimo vietos Masčio ežere
Fig. 1. Water sampling location in Mastis Lake

Rezultatai ir aptarimas

Masčio ežeras priskiriamas skirtingoms ekologinės būklės klasėms pagal fizikinių-cheminių rodiklių vertes: bendrojo fosforo (P_b) ir bendrojo azoto (N_b) koncentracijos, biocheminio deguonies suvartojimo per 7 paras (BDS_7) vertės. Bendro azoto (N_b) vidutinės koncentracijos Masčio ežere 2012–2025 metais pateiktos 2 paveiksle.

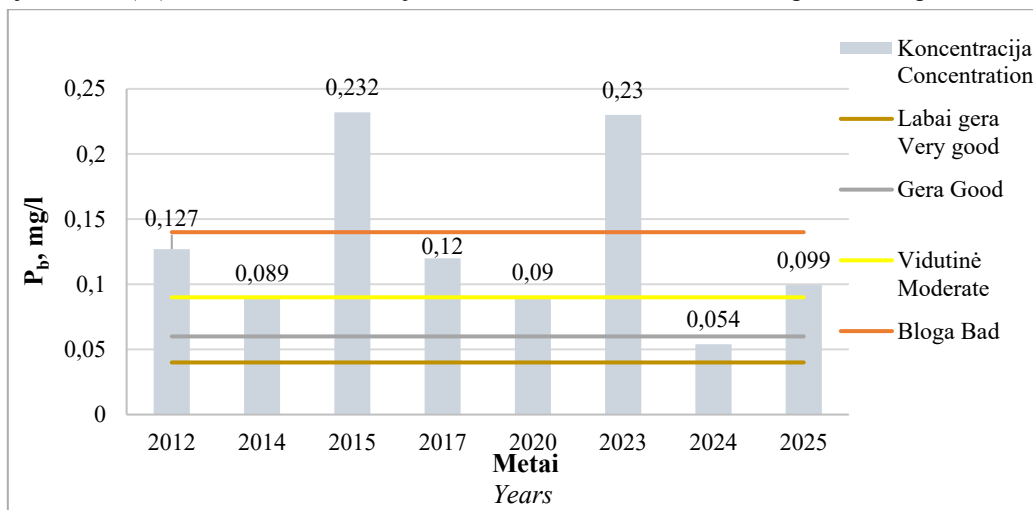


2 pav. Bendro azoto (N_b) koncentracija Masčio ežere 2012–2025 metais
Fig. 2. Total nitrogen (P_b) concentration in Mastis Lake during 2012–2025

Masčio ežeras tyrimų atlikimo laikotarpiu pagal bendro azoto vertes neatitiko labai geros ekologinės būklės klasės kriterijaus, 2012, 2017, 2020 ir 2023 metais atitiko gerą, 2015 metais – vidutinę, o 2014, 2024 ir 2025 metais – blogą ekologinę būklę. Mažiausia bendrojo azoto koncentracija užfiksuota 2012 metais (1,2 mg/l), didžiausia – 2025 metais (4,29 mg/l). Duomenys rodo, kad po santykinai stabilaus laikotarpio 2017–2023 m., kai vyravo gera ekologinė būklė, 2024–2025 m. stebimas ryškus bendrojo azoto koncentracijos didėjimas. Lyginant 2009 m. buvusią bendrojo azoto koncentraciją (2,32 mg/l) su 2025 metų bendrojo azoto koncentracija (4,29 mg/l), ji yra padidėjusi 1,8 karto.

Ši tendencija gali būti siejama su padidėjusia biogeninių medžiagų apkrova bei hidrometeorologinių sąlygų kaita ir rodo didėjančią eutrofikacijos procesų intensyvėjimo riziką Masčio ežere.

Bendrojo fosforo (P_b) vidutinės koncentracijos Masčio ežere 2012–2025 metais pateiktos 3 paveiksle.

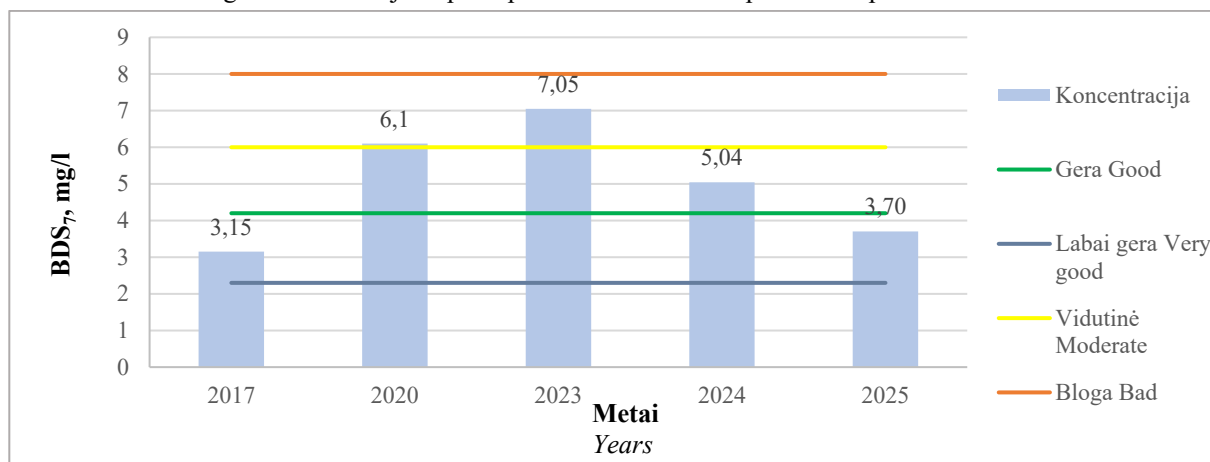


3 pav. Bendro fosforo (P_b) koncentracija Masčio ežere 2012–2025 metais

Fig. 3. Total phosphorus (P_b) concentration in Mastis Lake during 2012–2025

Masčio ežeras tyrimų atlikimo laikotarpiu pagal bendro fosforo vertes neatitiko labai geros ekologinės būklės kriterijaus, 2024 metais atitiko gerą, 2014 ir 2020 metais – vidutinę, 2012, 2017 ir 2025 metais – blogą, o 2015 ir 2023 metais ekologinė būklė buvo labai bloga. Mažiausia bendrojo fosforo koncentracija užfiksuota 2024 metais (0,054 mg/l), didžiausia – 2015 metais (0,232 mg/l). Lyginant 2009 m. buvusią bendrojo fosforo koncentraciją (0,132 mg/l) su 2025 metų bendrojo azoto koncentracija (0,099 mg/l), ji yra sumažėjusi 1,3 karto. Labai geros ekologinės būklės ribinė vertė per visą tyrimo laikotarpį nebuvo pasiekta. Gauti rezultatai rodo epizodinį fosforo koncentracijos sumažėjimą 2024 m., tačiau bendroje daugiametėje perspektyvoje išlieka padidintos fosforo apkrovos tendencija, didinanti eutrofikacijos procesų riziką Masčio ežere.

Biocheminio deguonies suvartojimo per 7 paras vidutinės vertės pateiktos 4 paveiksle.



4 pav. Biocheminio deguonies suvartojimo (BDS_7) vertės Masčio ežere 2012–2025 metais

Fig. 4. Biochemical oxygen demand (BDS_7) values in Mastis Lake during 2012–2025

Tyrimų atlikimo laikotarpiu nei vienais metais Masčio ežeras neatitiko labai geros ekologinės būklės pagal biocheminio deguonies suvartojimo per 7 paras vertes, 2017 ir 2025 metais atitiko gerą ekologinę būklę, 2024 metais – vidutinę ekologinę būklę, o 2020 ir 2023 – blogą ekologinę būklę. Mažiausia BDS_7 vertė užfiksuota 2017 metais (3,15 mg/l O_2), didžiausia – 2023 metais (7,05 mg/l O_2). Lyginant 2009 m. buvusią BDS_7 vertę (18,6 mg/l) su 2025 metų BDS_7 verte (3,7 mg/l), ji yra sumažėjusi 5 kartus. Gauti rezultatai rodo, kad 2020–2023 m. laikotarpiu padidėjęs organinės medžiagos kiekis galėjo lemti didesnę deguonies suvartojimą ir potencialią hipoksijos riziką, tačiau 2024–2025 m. stebima BDS_7 mažėjimo tendencija leidžia daryti prielaidą apie tam tikrą vandens kokybės stabilizaciją.

Išvados

1. Masčio ežero ekologinės būklės vertinimas pagal bendrojo azoto (N_b), bendrojo fosforo (P_b) koncentracijas ir biocheminio deguonies suvartojimo per 7 paras (BDS_7) rodiklius atskleidė reikšmingus daugiametės

dinamikos svyravimus ir skirtingą atskirų parametrų kaitos pobūdį. Tyrimų laikotarpiu ežeras nėra vienas metais neatitiko labai geros ekologinės būklės kriterijų pagal nagrinėtus fizikinius-cheminius rodiklius, o ekologinė klasė kito nuo geros iki labai blogos.

2. Bendrojo azoto koncentracijų analizė parodė blogėjančią tendenciją pastaraisiais metais – 2024–2025 m. fiksuotos blogos ekologinės būklės reikšmės, o 2025 m. nustatyta didžiausia koncentracija per visą nagrinėtą laikotarpį. Lyginant su 2009 m., N_b koncentracija padidėjo 1,8 karto, kas rodo augančią biogeninių medžiagų apkrovą ir stiprėjančią eutrofikacijos riziką.
3. Bendrojo fosforo koncentracijų kaita pasižymėjo epizodiniais pikais, ypač 2015 ir 2023 m., kai nustatyta labai bloga ekologinė būklė. Nors 2024 m. fiksuotas laikinas būklės pagerėjimas, ilgalaikėje perspektyvoje išlieka padidintos fosforo apkrovos požymiai. Vis dėlto, lyginant su 2009 m., P_b koncentracija 2025 m. buvo 1,3 karto mažesnė, kas leidžia konstatuoti dalinį ilgalaikį teigiamą pokytį.
4. Biocheminio deguonies suvartojimo (BDS_7) rodiklio dinamika rodo reikšmingą ilgalaikį pagerėjimą – palyginti su 2009 m., 2025 m. vertė sumažėjo apie 5 kartus, kas indikuoja sumažėjusią organinės taršos apkrovą. Tačiau 2020–2023 m. laikotarpiu stebėti laikini pablogėjimai rodo, kad ežero ekosistema išlieka jautri išorinių veiksnių poveikiui.
5. Apibendrinant galima teigti, kad Masčio ežero ekologinė būklė formuojama kompleksinės biogeninių medžiagų apkrovos ir hidrometeorologinių sąlygų sąveikos. Nors organinės taršos rodikliai rodo ilgalaikę gerėjimo tendenciją, didėjanti azoto koncentracija pastaraisiais metais gali turėti lemiamą reikšmę eutrofikacijos procesų intensyvėjimui, todėl būtinas integruotas baseino masto maistinių medžiagų srautų valdymas ir nuolatinė monitoringinė kontrolė.

Literatūra

1. Aplinkos apsaugos agentūra (2009). *Restauruotinių Lietuvos ežerų nustatymas ir preliminarus restauravimo priemonių parinkimas šiems ežerams, siekiant pagerinti jų būklę*. Galutinė ataskaita, II dalis. <https://failai.gamta.lt/files/REST%20EZERU%20ATASKAITA%20II%20dalis.pdf>.
2. Aplinkos apsaugos agentūra (2022). *Šiandien minima Pasaulinė vandens diena*. https://aaa.lrv.lt/lt/naujienos/siandien-minima-pasauline-vandensdiena/?fbclid=IwAR39qjCp4dNMDL_8g8E1H6bIb-Z2CLrJgTvt2PCHFR9izdrqYjnXJO-gUxU.
3. Aplinkos apsaugos agentūra (2025). *Lietuvos Respublikos upių, ežerų ir tvenkinių monitoringas*. <https://aaa.lrv.lt/lt/veiklos-sritys/vanduo/upes-ezerai-ir-tvenkiniai/valstybinis-upiu-ezeru-ir-tvenkiniu-monitoringas/ezeru-ir-tvenkiniu-monitoringo-rezultatai/>.
4. Europos aplinkos agentūra (2018). European waters -- Assessment of status and pressures 2018. Prieiga per internetą: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/state-of-water#tab-news-and-articles>.
5. Europos aplinkos agentūra (2024). *Žemės ūkis*. <https://climate-adapt.eea.europa.eu/lt/eu-adaptation-policy/sector-policies/agriculture/index.html>.
6. Hughes, A., Mansour, M., Ward, R., Kieboom, N., Allen, S., Seccombe, D., Charlton, M., & Prudhomme, C. (2021). The impact of climate change on groundwater recharge: National-scale assessment for the British mainland. *Journal of Hydrology*, 598, 126336. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126336>.
7. Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija (2007). *Dėl Paviršinių vandens telkinių būklės nustatymo metodikos patvirtinimo*. <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.296626/asr>
8. Meilutytė-Barauskienė, D., Kovalenkovicienė, M., Irbinskas, V. (2008). Lietuvos upių vandens ištekliai klimato kaitos fone. *Geografija*, 2(44). https://www.researchgate.net/profile/Diana-Meilutyte-Lukauskiene/publication/272160681_Lietuvos_upiu_vandens_istekliai_klimato_kaitos_fone/links/54dc63520cf23fe133b14884/Lietuvos-upiu-vandens-istekliai-klimato-kaitos-fone.pdf.
9. Ray, R. L., Tikuye, B. G. (2025). Impact of Climate Change on Surface Water Resources. *IntechOpen EBooks*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.1011407>.
10. Stets, E. G., Sprague, L. A., Oelsner, G. P., Johnson, H. M., Murphy, J. C., Ryberg, K., Vecchia, A. V., Zuellig, R. E., Falcone, J. A., & Riskin, M. L. (2020). Landscape Drivers of Dynamic Change in Water Quality of U.S. Rivers. *Environmental Science & Technology*, 54(7), 4336–4343. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b05344>.
11. Telšių rajono savivaldybės administracija (2009). *Vandens tyrimai*.
12. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademija (2017). *Rizikos vandens telkinių būklės tyrimų, taršos šaltinių ir kitų priežasčių, lemiančių rizikos vandens telkinio būklę, identifikavimas, būklės gerinimo priemonių parinkimas*. Studija.

Roberta Norkevičienė, Laima Česonienė

Dynamics of Water Condition of Mastis Lake 2012–2025

Vytautas Magnus University, Lithuania

The article discusses dynamics of the physicochemical parameters of Mastis Lake, located in the Telsiai district, during the period 2012–2025, and compares the values recorded in 2025 with those measured before the lake restoration works. The analyzed parameters include total nitrogen, total phosphorus, and biochemical oxygen demand. It was determined that, according to the Methodology for the Assessment of Surface Water Bodies, the water quality of Lake Mastis still falls into poor and very poor ecological status categories, despite the decreasing values of total phosphorus and biochemical oxygen demand.

Keywords: Total nitrogen, total phosphorus, biochemical oxygen demand, lake, ecological status.

Gauta 2026 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2026 m. balandžio mėn.

Roberta NORKEVIČIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Miškų ir ekologijos fakulteto Aplinkos ir ekologijos katedros studentė. Adresas: Studentų str. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r., tel. +370 629 33915, el. paštas: roberta.ubartaite@vdu.lt

Roberta NORKEVIČIENĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Academy Faculty of Forest Sciences and Ecology Environment and Ecology Institute student, researcher. Address: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 629 33915, e-mail: roberta.ubartaite@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 37 752224, 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, Kauno dist. Phone: +370 37 752224, e-mail: laima.cesonienel@vdu.lt

COMPARATIVE ASSESSMENT OF THE CONDUCTIVITY AND P- ENERGY VALUE ON MOROCCAN AND LITHUANIAN HONEY QUALITY

Sara Aniba, Daiva Šileikienė

Vytautas Magnus University, Lithuania

This research aims to address the issue of using electrical conductivity and Potential energy as reliable physicochemical and electrochemical indicators for assessing the effects of climate-dependent changes on the composition and quality of monofloral and forest honeys. Different climates, such as the regulated continental climate of Lithuania and the Mediterranean desert-like climate of Morocco. Honey of different flora collected in the Meknès area of Morocco and Lithuania was investigated by standardized methods of electrical conductivity, P energy, pH, and other associated physicochemical parameters. Honeys from Lithuania have low electrical conductivity ($0.15\text{--}0.94\text{ mS cm}^{-1}$), reflecting the average content of minerals in the soil, which is high due to the continental climate, while the electrical conductivity of the investigated honeys of Morocco was high, for example, for the carob honey, it was about 0.62 mS cm^{-1} , reflecting the arid climate of the dry Mediterranean zone, and Energy density (energy P) ranged from $0.25\text{ to }1.55\text{ kJ g}^{-1}$, with forest honey (Lithuania) and carob honey (Morocco) having the highest values, suggesting greater therapeutic potential..

Keywords: Electrical conductivity, electrochemical indicators, Climate variability, Mineral Content, Monofloral honey.

Introduction

This study looks at how climate affects the quality of honey and focuses on its electrical conductivity (EC) and Potential Energy. The study uses two countries as case studies: Lithuania and Morocco. These countries have different climates. Lithuania has a climate with cold winters and warm summers, while Morocco has a hot and dry climate. The quality of honey is affected by things like temperature, rainfall, and all the types of flowers that are in the bees' environment. These things can change the composition of the nectar that bees collect to make honey. They can also affect the amount of minerals and other substances that are in the honey. One important thing about honey is its conductivity. It can tell us about the types of substances that are in the honey. Electrical conductivity is a factor in determining the quality and authenticity of honey. It can help us figure out where the honey came from and what type of flowers the bees collected nectar from. This is a measure of the honey's oxidation levels. It gives us a picture of the honey's electrochemical state. The study of honey and its electrochemical state is important for understanding how climate affects the quality of honey (Acquarone et al., 2007)

Electrical conductivity and Potential energy allow for a comparison of mineralisation patterns between cooler, wetter Lithuanian landscapes and warmer, drier Moroccan environments. Together, these indicators provide a simple but informative method for comparing honey composition and quality across regions that are already experiencing the effects of climate variability. A common method used in research to classify honey from different geographical locations describes the behavior of pH, P energy and EC with changes in different honey concentrations (Lakhmili et al., 2025). Researchers in different papers studied the geographically unique honey compositions by looking at a range of empirical values for EC representing different places of origin. EC replaces ash content as a focal parameter for quality indication (Scholz et al., 2020a). The origin of honey is also important to identify if the honey is from a single origin. Monofloral honey is in demand, and the need to identify it against polyfloral honey is on the rise. According to standards, electrical conductivity, measured in $\mu\text{S cm}^{-1}$, should be less than $500\text{ }\mu\text{S cm}^{-1}$ for single-source honey, while EC for multi-source honey ranges from $500\text{ to }800\text{ }\mu\text{S cm}^{-1}$. EC replaces ash content tests to identify and control the botanical honey origin (El Sohaimy et al., 2015; Pauliuc et al., 2020). While the P energy value calculated from pH and redox potential complements conductivity by integrating the acid–base and oxidation–reduction status of honey into a single indicator of its electrochemical state, which can be influenced by both environmental conditions and floral sources.

Research Methodology

Electrical conductivity. There are 6 types of Lithuanian honey. 18 small beakers (laboratory cups) were prepared in order to make 3 repetitions for every type, with appropriate labelling of each sample. Each of the empty beakers was weighed using a weighing balance. The mass of each beaker was zeroed using the tare button present in the weighing balance. 10 grams of honey were carefully measured into each empty beaker; after which, 50 grams of distilled water were added. The mixture of honey and distilled water was consistently stirred using a glass rod to obtain a homogeneous solution of honey and distilled water. The electrical conductivity of the solution was examined using a bench-top electrical conductivity meter, the WTW inoLab

Series 730. This was carried out by first cleaning the electrode with distilled water; after which, the meter was calibrated using another sample of distilled water. After the calibration, the electrode was rinsed with distilled water and immersed in the sample solution, ensuring the electrodes were fully submerged and free of air bubbles. The reading was taken when the electrical conductivity values on the screen were stable. After each measurement, the electrode was rinsed with distilled water and dried gently to prevent contamination. For optimal accuracy, the sample was ensured, re-stirred, and repeatedly measured until a constant value was obtained. For every measurement of the conductivity of the mixture, variation in temperature was displayed via the built-in temperature sensor for automatic temperature compensation and was properly recorded. The same protocol was carried out using both Moroccan and Lithuanian honey (Chakir et al., 2011; Kaškonienė et al., 2010; Scholz et al., 2020b; Terrab et al., 2003).

Calculation and Visualization of Potential Energy. The energy output from potential dilute honey samples (approximately 20%) was calculated using the following empirical equation: P is expressed as follows: $P = [29.07(rH - (2 \text{ pH})^2 rH - 1)]$ where rH is the value of rH , determined from measured Oxidation Reduction Potential (after adjustment for pH) as a reflection of the degree of redox potential; pH is the value of the pH of the solution; and rH_0 is the reference rH value used for the normalization of the measurement. The value of 29.07 was derived empirically, corresponding to the scaling factor that is associated with the range of power produced by photoluminescent light sources.

The performance of data collection, analysis and statistical analysis; the application of descriptive statistics based on the sample size (mean and standard error); graphical representation (distribution charts, comparative graphs); and retrieval of data (as listed above) was accomplished using Statistica® software.



Fig. 1. Prepared Lithuanian Honey Solutions

Samples of honey from Lithuania were prepared for physicochemical analysis with distilled water to various ratios before placing them in test tubes. The solutions prepared from the samples were subjected to measurements of electrical conductivity and P-energy. The differences in the intensity of color observed between the multiple samples demonstrate differences in the concentration of honey within each sample tested.



Fig. 2. Prepared Moroccan Honey Solutions

Moroccan Honey in distilled water for the measurement of electrical conductivity and P-energy. The labelled test tubes shown are labelled as Honey-water mixtures and are shown in different shades from a very pale yellow shade of color to Amber. The aspects of the variance in shade of color show the different sample types and compositions/concentrations prior to testing.

Results and discussion

Physical and chemical properties of all tested samples of Lithuanian Honey are shown within the table below and include the following: the humidity, pH , redox potential (mV), and relative humidity for 5 different types of honey from Lithuania, namely the Linden, Buckwheat, Rapeseed, Heather, and Forest varieties of

honey. Differences in all parameters can be detected between the different types of honey; however, it is possible to characterize both Rapeseed Honey & Forest Honey as having the highest pH and REDOX values.

Table 1. Physicochemical parameters of Lithuanian honey samples

Types of Honey	Experimental Results of Lithuanian Honey Parameters			
	Humidity	pH	REDOX (mV)	rH
Linden	47.39	3.85	23.7	15.16
Buckwheat	46.116	3.14	25	13.78
Rapeseed	46.116	3.37	26.5	14.29
Heather	46.116	3.79	23.5	15.03
Forest	46.116	4.05	26	15.64

The presented dataset includes measured values (humidity, pH, redox potential (mV), and rH) for different types of honey indigenous to Morocco (*Euphorbia echinus*, *Eucalyptus*, Carob, Orange, Ziziphus, and Thyme) as a measure of their quality. Among the honey types, as indicated by the data, Carob honey exhibited the highest values for both pH and REDOX compared with the other Moroccan honeys sampled.

Table 2. Physicochemical parameters of Moroccan honey samples

Types of Honey	Experimental Results of Moroccan Honey Parameters			
	Humidity	pH	REDOX (mV)	rH
<i>Euphorbia echinus</i>	56.96	3.62	17.1	14.47
<i>Eucalyptus</i>	50.18	3.553	17	14.34
Carob	45.01	3.693	15.5	14.56
Orange	52.52	3.543	17.4	14.33
Ziziphus	56.45	3.633	16.8	14.49
Thyme	56.87	3.66	17	14.55

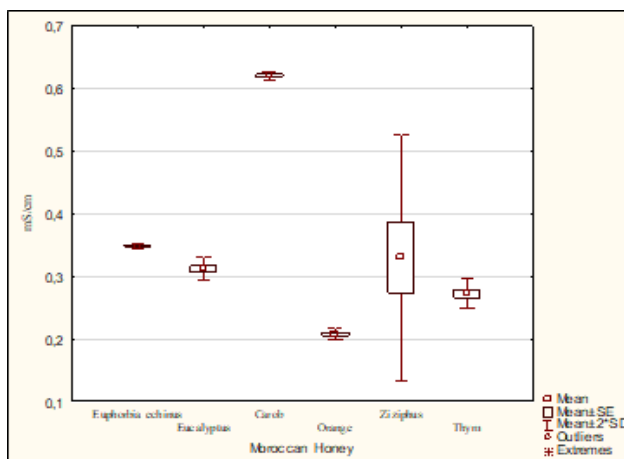


Fig. 3. Conductivity Test Results of Moroccan Honey

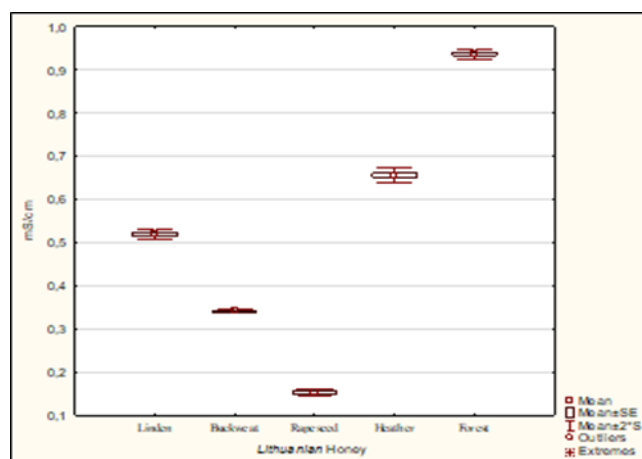


Fig. 4. Conductivity Test Results of Lithuanian Honey

For the Lithuanian honey samples examined, the electrical conductivity ranged across a wide spectrum with a maximum value of 0.93 mS cm^{-1} and a minimum value of 0.15 mS cm^{-1} , rising to a mean value of $0.51 \text{ mS cm}^{-1} \pm 0.17 \text{ mS cm}^{-1}$. Among the tested honey types, rapeseed honey had the lowest conductivity, thereby underlining physical characteristics consistent with low density (or less mineral content), while honey produced from linden and buckwheat flowers had extremely high conductivity owing to the richer ion and organic acid concentrations found in honey produced from multiple floral sources. Heather honey had a conductivity reading of 0.65 mS cm^{-1} , and forest honey produced from coniferous trees had an extraordinarily high conductivity of 0.93 mS cm^{-1} due to increased mineral content and possibly the addition of honeydew (shown in research to be common for values higher than 0.8 mS cm^{-1}). In terms of conductivity, Lithuanian honey samples span a wide range, from samples with extremely low conductivity values produced by blossom polls to samples that have the highest conductivity values produced from honeydews of either forest or coniferous trees. Lithuanian honey samples have higher geographical diversity in comparison to Moroccan honey, primarily as a result of a regulated moderate climate with more diversity in types of floras and nectars that are available.

There are differences in electrical conductivity values for Moroccan honey samples from different plant families. The honey from the orange had the lowest electrical conductivity at 0.2 mS cm^{-1} , indicating that the honey is made mostly from blossom sources with a relatively low amount of minerals. The honeys made from *euphorbia echinus* (0.34 mS cm^{-1}), *eucalyptus* (0.31 mS cm^{-1}), *Ziziphus* (0.33 mS cm^{-1}), and thyme (0.272 mS cm^{-1}) have moderate amounts of inorganic minerals and organic acids. This group of honey samples can be classified as having a blended floral and environmental background. Carob honey is markedly different from all the other Moroccan honeys, as it has the highest electrical conductivity value of any of the honey samples measured in this set (0.61 mS cm^{-1}); which indicates that carob honey has a significantly higher concentration of elements that produce an electric charge than any other paralleled Moroccan honeys, accounting for the major distinction of carob honey from the other Moroccan honeys measured in this study. Electrical conductivity differences support the findings that, even within a study region of similar dry Mediterranean climate conditions, there are significant botanical differences that affect the chemical composition of Moroccan honey, and that the carob honey is the botanical type found in this dataset that has the highest mineral content.

The measured electrical conductivity of Moroccan and Lithuanian honey samples demonstrated that there are distinct differences between the two countries and their honey composition, with each of their climatic regions. For Moroccan flower pure honey samples, electrical conductivities ranged from 0.2 mS cm^{-1} to 0.61 mS cm^{-1} , with values for the orange flower honey being lower than, and carob flower honey being greater than 0.61 mS cm^{-1} . These data seem to suggest that the degree of mineralization present in the honeys (depending on the source) is caused by the transition from relatively "light" citrus (sugar) based honey types and "highly" mineralized (carob sugar) based honey types when both climates are arid-Mediterranean type. For the Lithuanian honey measured from Rapeseed (0.15 mS cm^{-1}), through Linden, to Heather and into Forest [Forest: 0.93 mS cm^{-1}] honeys - refer to the range of $0.15\text{--}0.93 \text{ mS cm}^{-1}$.

This phenomenon is consistent with documented reports indicating that conductivity is heavily influenced by the botanical origin of the honey. Dark, forest, or honeydew-type honeys have been shown to have higher conductivity values than light blossom honeys. Moroccan thyme, *Ziziphus*, and carob honey conductivities are within the ranges previously reported for Mediterranean honeys from similar plants. Lithuanian linden and forest honey conductivities align with studies demonstrating that mixed forest and honeydew honeys from Northern and Central Europe frequently exceed $0.5\text{--}0.8 \text{ mS cm}^{-1}$. The current data generally support previous researchers' conclusions that conductivity is a reliable indicator of mineral content and floral or landscape provenance. Furthermore, the findings highlight the influence of climate and vegetation structure on the composition of honey in Lithuania and Morocco.

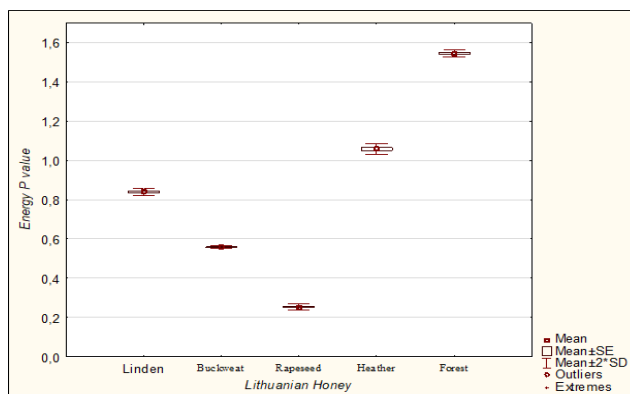


Fig. 5. Energy P values in Lithuanian honey samples.

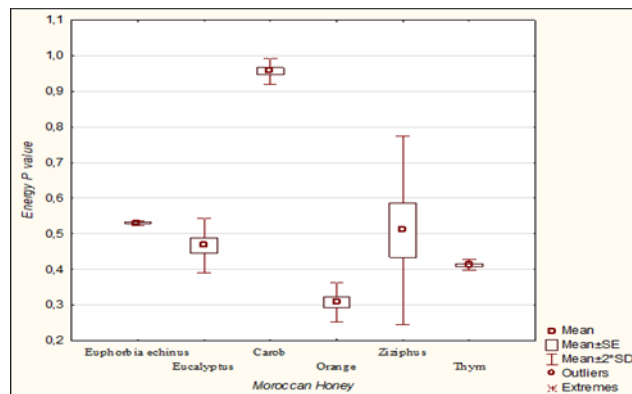


Fig. 6. Energy P values in Moroccan honey samples

Energy P Value for Lithuanian Honey Varieties

The Energy P values of the five Lithuanian honey varieties ranged from 0.25 to 1.52, with the mean Energy P value of forest honey (≈ 1.52) being significantly higher than that of all the other Lithuanian varieties examined (Figure 5). This result is consistent with the high mean Energy P value of forest honey being associated with the complex botanical and honeydew-derived composition of forest honey, which includes secretions from multiple plant species and aphid-mediated exudates, thus resulting in a different biochemical energy profile. Heather honey, the second most common variety in Lithuania, had a mean Energy P value of approximately 1.00, which is consistent with the high sugar density and elevated viscosity of Heather honey, which are known factors that contribute to its relatively high energy content.

The intermediate mean Energy P value of about 0.85 for linden honey was supported by a relatively narrow standard error (SE) band, representing low intra-group variability and homogeneous sample composition. Buckwheat honey had a mean Energy P value of about 0.55, although it lies in the middle of the Lithuanian grouping, and the narrowness of the mean $\pm$ 2SD interval indicates that the samples were highly consistent in composition. The mean Energy P value of rapeseed honey ($\approx$ 0.25) was the lowest of all Lithuanian varieties, and its low variance again reflected the biochemical homogeneity of this monofloral honey type. The narrowness of the standard error intervals for all five varieties would also provide statistical support for the differences observed between the varieties.

Energy P Values of Moroccan Honey Varieties

The Energy P values of the six Moroccan honey varieties ranged from approximately 0.42 to 0.97 (the lower and upper limits of the range are shown in Figure 6), which is a narrower range than that of the Lithuanian cohort (Figure 6). The mean Energy P value of carob honey was 0.97, which is similar to the value for Lithuanian Heather honey, and the relatively small mean $\pm$ SE indicates that the group was relatively consistent. The mean Energy P value for thyme honey was approximately 0.60, with an extreme value at the upper end of the distribution, which may indicate that a few samples had atypically high nectar concentration due to microenvironmental or seasonal variation in thyme flowering.

The mean of approximately 0.55 and very narrow dispersion of euphorbia echinus honey suggests a very homogeneous composition between samples. Orange honey had a mean Energy P value of approximately 0.52, with the broadest Mean $\pm$ 2SD interval (approximately 0.30 to 0.75) among Moroccan varieties, which indicates considerable heterogeneity among samples, probably due to variability in the composition of floral nectar, geographical origin of sampling sites, or apicultural conditions.

The mean Energy P value for Eucalyptus honey was approximately 0.48, with an outlier data point visible below the main distribution that could be removed in subsequent analyses using formal outlier detection procedures. Among Moroccan types, Ziziphus honey exhibited the lowest mean Energy P value ($\approx$ 0.42) and a rather narrow spread, consistent with the compositionally homogeneous monofloral product.

A comparison of the two geographic cohorts revealed that Lithuanian honey varieties exhibited a significantly wider range of Energy P values (0.25–1.52) compared to Moroccan varieties (0.42–0.97). This finding suggests that the Lithuanian sample set contains a greater degree of inter-variety energetic diversity. Forest honey, which lacks a direct botanical equivalent in the Moroccan samples, was the primary factor contributing to the elevated mean Energy P values observed in the Lithuanian cohort. The Energy P value ranges of both cohorts become more comparable when forest honey is removed from the analysis; Lithuanian varieties (0.25–1.00) and Moroccan varieties (0.42–0.97) show significant overlap.

The narrow standard error intervals for most varieties in both cohorts are consistent with the reported mean values being statistically sound and representative of the sampled populations, but the increased dispersion observed for orange honey (Moroccan) and the presence of extreme values in Thyme honey suggest these two varieties would be better characterized with larger sample sizes in future studies. In general, these results are consistent with the conclusion that honey's botanical origin is the primary factor driving the energy profile of honey, with honeydew-derived and dark monofloral varieties tending to have higher energy profiles than light monofloral types.

Conclusions

1. The Energy P parameter, which reflects the potential energy content or bioactive energetic value of honey, is significantly influenced by its botanical origin. Lithuanian Forest (0.95) and Heather (0.67) honeys show the highest levels, followed by Moroccan Carob (0.64), which is the leading Mediterranean exception.
2. Electrical conductivity reliable indicator of honey composition and electrochemical state in both regions.
3. Lithuanian honeys had a wider and higher conductivity range, particularly in forest and heather types, indicating stronger mineralisation than most Moroccan honeys.
4. Moroccan honeys had moderate conductivity, with carob honey the most mineralised and citrus/thyme closer to typical blossom-honey values. Together, conductivity shows that climate and floral origin jointly influence honey quality and allow meaningful comparison between Lithuanian and Moroccan honeys.

References

1. Acquarone, C., Buera, P., & Elizalde, B. (2007). Pattern of pH and electrical conductivity upon honey dilution as a complementary tool for discriminating geographical origin of honeys. *Food Chemistry*, 101(2), 695–703.

2. Chakir, A., Romane, A., Barbagianni, N., Bartoli, D., & Ferrazzi, P. (2011). *Major and trace elements in different types of Moroccan honeys*.
3. El Sohaimy, S. A., Masry, S. H. D., & Shehata, M. G. (2015). Physicochemical characteristics of honey from different origins. *Annals of Agricultural Sciences*, 60(2), 279–287.
4. Kaškonienė, V., Venskutonis, P. R., & Čeksterytė, V. (2010). Carbohydrate composition and electrical conductivity of different origin honeys from Lithuania. *LWT-Food Science and Technology*, 43(5), 801–807.
5. Lakhmili, H., El-Abbassi, A., Warda, K., Alamri, A. S., & Galanakis, C. M. (2025). Comparative study on the physicochemical characteristics and botanical diversity of Moroccan honeys. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*, 10(3), 1711–1723.
6. Pauliuc, D., Dranca, F., & Oroian, M. (2020). Antioxidant activity, total phenolic content, individual phenolics and physicochemical parameters suitability for Romanian honey authentication. *Foods*, 9(3), 306.
7. Scholz, M. B. dos S., Quinhone Júnior, A., Delamuta, B. H., Nakamura, J. M., Baudraz, M. C., Reis, M. O., Kato, T., Pedrão, M. R., Dias, L. F., & Dos Santos, D. T. R. (2020a). Indication of the geographical origin of honey using its physicochemical characteristics and multivariate analysis. *Journal of Food Science and Technology*, 57(5), 1896–1903.
8. Terrab, A., González, A. G., Díez, M. J., & Heredia, F. J. (2003). Mineral content and electrical conductivity of the honeys produced in Northwest Morocco and their contribution to the characterisation of unifloral honeys. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83(7), 637–643

Received March, 2026, published April 2026

Sara ANIBA. 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 37 752357, +370 000 00000, el. paštas: Sara.aniba@vdu.lt

Sara ANIBA Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Engineering and Safety, assoc. prof. Address: Studentų g. 15a, LT-53362, Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 37 752357, +370 000 00000, e-mail: sara.aniba@vdu.lt

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

METEOROLOGINIŲ SĄLYGŲ ĮTAKA GRIKIŲ (*FAGOPYRUM ESCULENTUM* MOENCH) VEISLĖS 'VB NOJAI' PRODUKTYVUMUI LIETUVOJE

Danuta Romanovskaja, Almantas Ražukas

Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centro Žemdirbystės instituto Vokės filialas

Grikių produktyvumas priklauso nuo daugelio veiksnių įtakos, todėl žinios apie grikių produktyvumo kitimo priežastis dėl klimato veiksnių įtakos svarbios siekiant išsiaiškinti produktyvumo didinimo galimybes. Tyrimų tikslas – nustatyti Lietuvoje sukurtos grikių veislės 'VB Nojai' produktyvumą priklausomai nuo vegetacijos sezono hidroterminio režimo variavimo. Tyrimai atlikti LAMMC ŽI Vokės filiale 2015–2024 m. Atlikus tyrimus nustatyta, kad esant nepakankamai drėgnam birželio mėnesiui, kai $HTK < 1,5$, grikių grūdų derlius mažėjo ($r = 0,48$). Liepos mėnesį drėgnesnės meteorologinės sąlygos grūdų derlių didino, tačiau pastebėta ir derliaus mažėjimo tendencija, kai $HTK > 2,0$ ($r = 0,44$). Grūdų brandimo laikotarpiu (rugpjūčio mėn.), drėgmės perteklius (kai $HTK > 1,5$) buvo nepalankus grikiams ir turėjo įtakos grūdų derliaus sumažėjimui ($r = 0,49$).

Raktiniai žodžiai: gričiai, produktyvumas, hidroterminis režimas.

Įvadas

Gričiai yra specifinių biologinių savybių turintys augalai, jų produktyvumas glaudžiai siejasi tiek su vabzdžių lankymusi, tiek su meteorologinėmis sąlygomis vegetacijos laikotarpiu. Tyrimais, atliktais užsienio šalyse nustatyta, kad grikių grūdų derlius labiausiai priklauso nuo kritulių kiekio per vegetaciją. Pažymima, kad hidroterminis režimas turėjo didelę įtaką apdulkinimo periodo trukmei, o drėgmės trūkumas skatino greitesnį grūdų brandimą (Maletić et al., 2003). Čekijos mokslininkai nustatė, kad hidroterminis režimas grikių žydėjimo ir grūdų užmezgimo laikotarpiu (liepos mėn.) turėjo lemiamos įtakos sėklų endospermo ir lukšto formavimuisi. Teigiama, kad ypač aukšta temperatūra ir drėgmės trūkumas gali nutraukti sėklų užuomazgų vystymąsi (Kalinová et al., 2002). Japonijoje buvo atlikti tyrimai siekiant nustatyti, kokių meteorologinių veiksnių įtaka grikių produktyvumui buvo dominuojanti. Modelinių tyrimų rezultatai atskleidė, kad grikių augalų vegetatyvinis augimas ir žiedų kiekis teigiamai koreliavo su oro temperatūra, bet apdulkinant žiedų kiekis neigiamai koreliavo su kiekvienos dienos kritulių kiekiu (Inoue et al., 1998).

Gričiai auginami daugelyje pasaulio šalių, kuriose klimato sąlygos skiriasi. Ateityje grikių plitimą ir plotų didėjimą turėtų lemti sveiko maisto ir ekologinių produktų paklausos augimas, nes didėja vartotojų sąmoningumas apie sveikatą ir maistingumą, auga ekologiškų produktų poreikis. Be to, naujų panaudojimo būdų paieška suteikia grikiams galimybę įsitvirtinti kaip vertingai ir perspektyviai kultūrai žemės ūkyje ir maisto pramonėje. Todėl žinios apie šių augalų produktyvumo kitimo priežastis dėl klimato veiksnių įtakos svarbios siekiant išsiaiškinti produktyvumo didinimo galimybes.

Tyrimų tikslas – nustatyti Lietuvoje sukurtos grikių veislės 'VB Nojai' produktyvumą priklausomai nuo vegetacijos sezono hidroterminio režimo variavimo.

Tyrimų metodika

Tyrimai atlikti Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centro Žemdirbystės instituto Vokės filiale 2015–2024 m. Dirvožemis – priemolio paprastas išplautžemis (pagal FAO – UNESCO klasifikaciją *Haplic Luvisols* LVh). Dirvožemio agrocheminė charakteristika: pH_{KCl} 5,2–6,2, Corg. – 1,56 %, judriojo fosforo (P) 48–67 mg kg⁻¹, judriojo kalio (K) 125–137 mg kg⁻¹.

Buvo tirta sėjamojo gričio (*Fagopyrum esculentum* Moench) veislė 'VB Nojai' (LT). Pavasarį iki grikių sėjos eksperimento laukas 2 kartus kultivuotas – akėtas. Laukelių dydis 1 m². Sėklų išsėjimo norma 3 mln. ha⁻¹. Sėjos gylis – 3–4 cm. Visais tyrimų metais gričiai pasėti gegužės III dešimtadienį.

Meteorologiniai duomenys (vidutinė temperatūra ir kritulių kiekis) tyrimams atlikti buvo naudoti iš Lietuvos hidrometeorologinės tarnybos skelbiamų hidrometeorologinių biuletenių už 2015–2024 m. laikotarpį (www.meteo.lt). Trakų Vokės vietovėje, pagal standartinę klimato normą, vasaros mėnesių vidutinė temperatūra yra 16,3–18,5 °C ir iškrenta vidutiniškai 65–92 mm kritulių (233 mm per vasarą). Vidutiniais pastarojo dešimtmečio (2015–2024 m.) duomenimis, meteorologinės sąlygos eksperimento vykdymo metu, pagal iškritusių kritulių kiekį, atitiko standartinei klimato normai (233 mm per vasarą). Pastarojo dešimtmečio vidutinė mėnesio temperatūra buvo aukštesnė už vidutinę daugiametę birželio (+1,7 °C) ir rugpjūčio (+1,0 °C) mėnesiais, liepos mėnesį atitiko vidutinę daugiametę.

Tyrimų duomenys buvo statistiškai apdoroti naudojant dispersinės analizės ir koreliacinės-regresinės analizės metodus, naudojant programinę įrangą ANOVA, programinės įrangos paketą „Selekcija“ (Tarakanovas ir kt., 2003).

Rezultatai ir aptarimas

Grikių grūdų derlius gaunamas mažas ir turi nepastovumo tendenciją. Mažo derliaus potencialo priežastys susijusios su būdinga grikiams alogamija ir heterostilija, dėl ko apdulkinimui būtina vabzdžių pagalba (Ogasahara et al., 1995). Legitimio apdulkinimo procesas ir užsimezgusių grūdų kiekis priklauso nuo tinkamų žiedadulkių patekimo ant žiedo purkos ir palankių meteorologinių sąlygų. Nustatyta, kad daugiausia tinkamų žiedadulkių (38,6–39,3 vnt.) patenka ant žiedo purkos, esant palankioms meteorologinėms sąlygoms, tačiau jų žymiai sumažėja esant vėsiam (25,7–25,8 vnt.) ar vėjuotam (17,9–11,9 vnt.) orui (Ogasahara et al., 1995). Mažas tinkamų žiedadulkių kiekis, patenkantis ant žiedo purkos, arba ribotas apdulkintojų aktyvumas, ypač lietingu oru, turėjo įtakos silpnam apdulkinimui ir žemam derliaus potencialui. Tai rodo, kokios svarbios grikių augimui bei grūdų formavimuisi yra meteorologinės sąlygos.

Mūsų atliktų tyrimų laikotarpiu, kuris apėmė dešimtmetį, meteorologinės sąlygos, pagal vidutinę temperatūrą ir kritulių kiekį, buvo artimos standartinei klimato normai, tačiau kiekvienų metų vasaros mėnesių meteorologinės sąlygos gerokai skyrėsi nuo vidutinių reikšmių. Iškritusių kritulių kiekio ir vidutinės oro temperatūros santykis padeda įvertinti hidroterminį režimą augalų vegetacijos laikotarpiu, todėl kasmetinės meteorologinės sąlygos eksperimento vykdymo laikotarpiu, pateiktos lentelėje apskaičiuotais hidroterminiais koeficientais (HTK) (1 lentelė).

1 lentelė. Hidroterminis režimas vasaros sezonu Trakų Vokėje 2015–2024 m. laikotarpiu
Table 1. Hydrothermal regime in the summer season in Traku Voke by 2015–2024 y. period

Metai <i>Year</i>	Hidroterminis koeficientas (HTK) <i>Hydrothermal coefficient (HTC)</i>		
	Birželis <i>June</i>	Liepa <i>July</i>	Rugpjūtis <i>August</i>
2015	0,36	1,27	0,42
2016	0,56	1,61	1,18
2017	2,75	2,32	2,41
2018	0,75	1,98	0,93
2019	0,44	0,94	1,80
2020	1,18	1,27	1,36
2021	0,94	1,35	2,91
2022	2,42	2,07	0,87
2023	0,68	0,99	1,98
2024	0,93	3,04	0,35

Nustatyta, kad pastaruosiu dešimtmečiu vasaros sezonais optimalaus drėgnumo mažiau lietingus laikotarpius (kai HTK < 1,5) keitė perteklinio drėgnumo laikotarpiai (kai HTK > 1,5) arba atvirkščiai. Remiantis standartine klimato norma, birželio mėnuo yra optimalaus drėgnumo (HTK = 1,33). Tačiau per pastaruosius 10 metų šis mėnuo dvejus tyrimų metus (2017 m. ir 2022 m.) buvo perteklinio drėgnumo. Likusiais tyrimų metais hidroterminis režimas birželio mėnesį buvo sausringas (išskyrus 2020 m., kuriais buvo optimalaus drėgnumo). Kai liepos mėnesį meteorologinės sąlygos atitinka standartinę klimato normą, hidroterminis režimas yra perteklinio drėgnumo (HTK = 1,60). Pažymėtina, kad liepos mėnesio hidroterminis režimas buvo žymiai drėgnesnis nei klimato norma 6-šerius tyrimų metus iš 10-ties. Rugpjūčio mėnesio hidroterminis režimas pagal standartinę klimato normą yra optimalaus drėgnumo (HTK = 1,39). Tačiau mūsų tyrimuose 2015–2024 m. laikotarpiu rugpjūčio mėnesio meteorologinės sąlygos 4-erius metus iš 10-ties buvo drėgnesnės už vidutines daugiametes.

Pažymėtina, kad ne tik apdulkinimo procesui, bet ir augalų augimui turi įtakos vasaros mėnesių meteorologinės sąlygos. Lietuvos klimato sąlygomis, birželio mėnesį vyksta intensyvus grikių vegetatyvinis augimas ir biomasės formavimasis, todėl drėgnesnės meteorologinės sąlygos (kai HTK > 1,5) birželio mėnesį buvo palankesnės nei sausesnės ir turėjo teigiamos įtakos grikių produktyvumui (1 pav. A). Tai patvirtina ir statistinės analizės rezultatai, kurie rodo, kad koreliacijos koeficientai tarp kritulių kiekio birželio ir liepos mėnesiais ir grikių veislės 'VB Nojai' grūdų derliaus buvo teigiami (birželio mėn. $r = 0,42$; liepos mėn. $r = 0,34$) (2 lentelė). Fiziologiškai grikių žydėjimas ir grūdų formavimasis vyksta vienu metu ir trunka apie 2,5 mėnesio (nuo birželio pabaigos iki rugsėjo vidurio). Šio laikotarpio hidroterminis režimas gali turėti įtakos žiedų susiformavimui, jų apdulkinimo procesams ir taip nulemti grikių grūdų derlių. Japonijoje sukurtas modelis

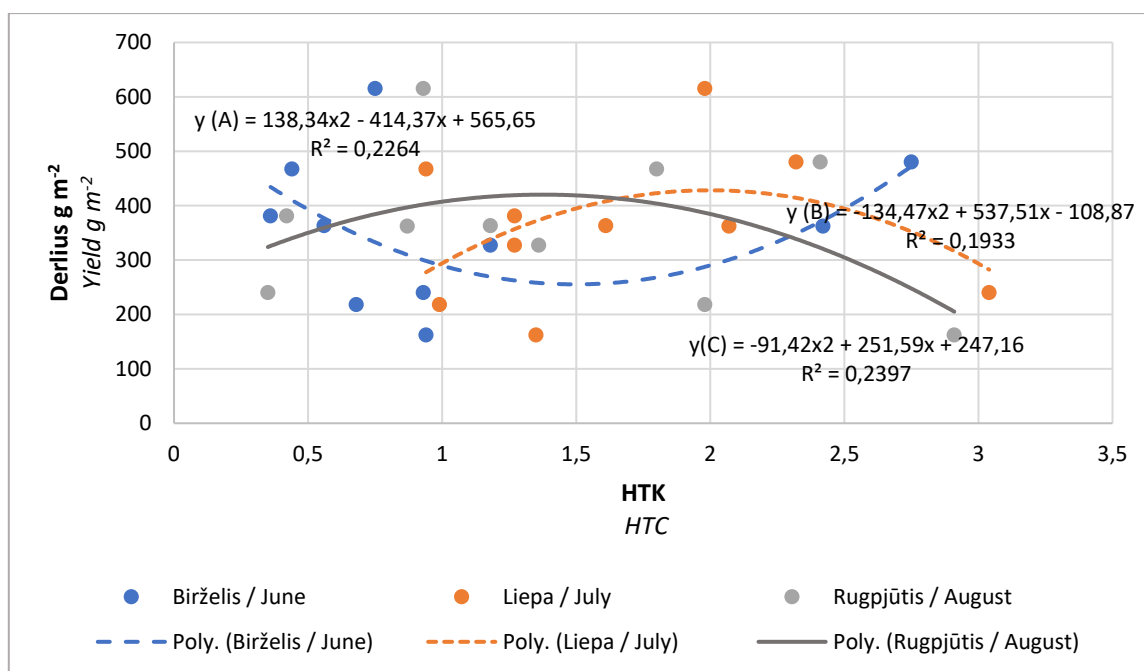
padėjo įvertinti įvairių veiksnių įtaką įvairiems grikių parametrų. Derliaus indeksui (angliškai „harvest index (HI)“) apskaičiuoti buvo remtasi suformuotų žiedų, apdulintų žiedų ir subrendusių grūdų kiekiais, įvertinus grikių fiziologiją ir ekologinius veiksnus skirtingais vegetacijos sezonais. Buvo nustatyta, kad grikių vegetatyvinis augimas ir žiedų susiformavimas teigiamai koreliavo su vidutine paros temperatūra, tačiau neigiamai koreliavo su dienos diapazono temperatūra. Tuo tarpu apdulintų žiedų kiekis neigiamai koreliavo tiek su dienos ilgumu, tiek su kiekvienos dienos kritulių kiekiu (Inoue et al., 1998). Tai reiškia, kad aukšta temperatūra dienos metu turėjo neigiamą įtaką žiedų susiformavimui, o didelis kritulių kiekis – grikių žiedų apdulkinimo procesui.

2 lentelė. Koreliacijos koeficientai tarp meteorologinių sąlygų ir grikių veislės 'VB Nojai' grūdų derliaus ($n = 10$)

Table 2. Correlation coefficients between meteorological conditions and buckwheat variety 'VB Nojai' grain yield ($n = 10$)

Koreliacijos poros <i>Pair of correlation</i>	Mėnuo <i>Month</i>		
	Birželis <i>June</i>	Liepa <i>July</i>	Rugpjūtis <i>August</i>
Grūdų derlius, $g\ m^{-2} \times$ temperatūra, $^{\circ}C$ <i>Grain yield, $g\ m^{-2} \times$ temperature, $^{\circ}C$</i>	-0,44	-0,49	0,53
Grūdų derlius, $g\ m^{-2} \times$ krituliai, mm <i>Grain yield, $g\ m^{-2} \times$ precipitation, mm</i>	0,42	0,34	-0,55

Lietuvoje atliktų tyrimų duomenimis, 11-os grikių veislių vidutinis derlius stipriai koreliavo su liepos ($r = 0,83^{**}$) ir rugpjūčio ($r = 0,63^{**}$) mėnesių hidroterminiu režimu (Asakaviciute et al., 2015). Būtent šių dviejų mėnesių laikotarpio meteorologinių sąlygų įtaka derliui sudarė 40–69 % visų veiksnių įtakos. Mūsų tyrimų duomenys rodo, kad per pastaruosius 10 metų liepos mėnesio hidroterminio režimo įtaka tirtos grikių veislės 'VB Nojai' grūdų derliui buvo silpnesnė ($R^2 = 0,1933$ arba $r = 0,44$) nei rugpjūčio mėnesio ($R^2 = 0,2397$ arba $r = 0,49$) (1 pav. B).



1 pav. Koreliacija tarp vasaros mėnesių (A – birželio mėn., B – liepos mėn., C – rugpjūčio mėn.) hidroterminio režimo (HTK) ir grikių veislės 'VB Nojai' grūdų derliaus

Fig. 1. Correlation between the hydrothermal regime (HTC) of the summer months (A – June, B – July, C – August) and buckwheat variety 'VB Nojai' grain yield

2015–2024 m. laikotarpiu atliktų tyrimų duomenimis, liepos mėnesį perteklinio drėgnumo hidroterminis režimas (iki ribos, kai HTK neviršijo 2,0) grikių grūdų derlių didino. Hipotetiškai hidroterminis režimas, atitinkantis HTK = 2,0, liepos mėnesį susidaro, kai kritulių iškrenta apie 25 % daugiau nei klimato norma. Remiantis mūsų ir užsienio mokslininkų paskelbtais tyrimų rezultatais galėtume teigti, kad grikiams didesnis drėgmės kiekis jų intensyvaus žydėjimo laikotarpiu (liepos mėnesį) yra reikalingas ir turi teigiamos įtakos grūdų derliui. Serbijos ir Juodkalnijos mokslininkai teigia, kad gričiai labiau tinkami auginti drėgnesniuose regionuose. Nurodoma, kad didesnis grikių grūdų derlius buvo gautas tose vietovėse, kuriose liepos mėnesių kritulių suma tyrimų metais buvo didesnė (Maletić et al., 2003). Tačiau nemažą reikšmę, nuo ko priklauso

teigiama perteklinio vandens kiekio įtaka, turi dirvožemio tipas. Pažymėtina, kad mūsų tyrimai atlikti lengvos granulimetrinės sudėties priesmėlio dirvožemyje (*Haplic Luvisols*), kuriame kritulių infiltracijos režimas yra intensyvus. Priesmėlio dirvožemyje vasaros sezono metu infiltruojasi iki 40,5 % iškritusių atmosferos kritulių (Tripolskaja et al., 2013). 1987–2007 m. vidutiniais duomenimis, daugiau kritulių prasisunkė liepos ($16,6 \text{ l m}^{-2}$) ir rugpjūčio ($15,2 \text{ l m}^{-2}$) mėnesiais, mažiau – birželio mėnesį ($5,8 \text{ l m}^{-2}$) (Tripolskaja et al., 2014). Todėl lengvos granulimetrinės sudėties dirvožemiuose, kuriuose grikliai auginami dažniausiai, net labai drėgnomis vasaromis dėl intensyvios infiltracijos nebūna drėgmės pertekliaus. Tuo tarpu sausesnės meteorologinės sąlygos gali sudaryti nepalankias sąlygas grikių augimui ir derliaus formavimuisi. Tai patvirtino mūsų tyrimų duomenys, kurie parodė, kad dėl nepakankamai drėgno birželio grikių veislės 'VB Nojai' grūdų derlius mažėjo (1 pav. A). Birželio mėnesį vyksta intensyvus grikių vegetatyvinis augimas, kuriam būtinas didesnis vandens kiekis, užtikrinantis normalią fiziologinių procesų eigą ir biomasės padidėjimą. Būtent todėl drėgnesnės meteorologinės sąlygos ši mėnesį buvo palankesnės nei sausesnės ir turėjo įtakos didesniai grūdų derliui susiformuoti. Vegetacijos laikotarpiu, priklausomai nuo augimo tarpsnių, grikiams reikia skirtingo hidroterminio režimo. Nustatyta, kad nuo grikių sudygimo apie 2/3 viso vegetacijos laikotarpio pakankamai drėgnas hidroterminis režimas buvo palankus jų produktyvumui. Grūdų brendimo laikotarpiu, priešingai, per didelis kritulių kiekis neturėjo teigiamos įtakos grūdų derliui ($r = -0,55$) (2 lentelė). Mūsų atliktų tyrimų rezultatai rodo, kad esant $\text{HTK} > 1,5$ pastebėta grūdų derliaus mažėjimo tendencija ($R^2 = 0,2397$) (1 pav. C). Todėl galima teigti, kad grūdų brendimo laikotarpiu, kuris sutampa su rugpjūčio mėnesiu, būtinas optimalaus drėgnumo hidroterminis režimas ($\text{HTC} = 1,0 \dots 1,5$).

Išvados

1. Nustatyta, kad grikių veislės 'VB Nojai' didesniai grūdų derliui suformuoti būtinas optimalaus drėgnumo hidroterminis režimas ($\text{HTK} = 1,0 \dots 1,5$) augalų vegetacijos pradžioje (birželio mėn.) ir grūdų brendimo laikotarpiu (rugsjūčio mėn.) bei drėgnas liepos mėnesio hidroterminis režimas (jei HTK neviršija 2,0).
2. Nustatyta, kad grikių veislės 'VB Nojai' produktyvumo didėjimas priklausė nuo birželio ir liepos mėnesių kritulių kiekio didėjimo ($r = 0,34 \dots 0,42$) ir rugsjūčio mėnesio vidutinės temperatūros didėjimo ($r = 0,53$). Produktyvumo mažėjimo tendencijos pasireiškė didėjant birželio ir liepos mėnesių vidutinei temperatūrai ir rugsjūčio mėnesio kritulių kiekiui.

Literatūra

1. Asakaviciute, R., Romanovskaja, D., Maknickiene, Z. & Razukas, A. (2015). Breeding and Productivity Aspects of Narrow-leaved Lupine and Buckwheat in Lithuania. *Weber Agricultural Research & Management*, 1(1), 113, 81–86.
2. Inoue, N., Hagiwara, M. Kim, H. Y. and Matano, T. (1998). A preliminary study for modeling seed production in common buckwheat. *Fagopyrum*, 15, 35–41.
3. Kalinová, J., Moudrý, J., Čurn, V. (2002). Technological quality of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench.). *Rostlinna výroba*, 48(6), 279–284.
4. Maletić, R. and Jevdjović, R. (2003). The influence of meteorological conditions on major quantitative and qualitative traits of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench.). *Journal of Agricultural Sciences*, 48(1), 11–19.
5. Ogasahara, S., Kaji, C., Hagiwara, M. and Matano, T. (1995). Pollination of Common Buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) as Influenced by Meteorological Conditions. *Current Advances in Buckwheat Research*, 475–481.
6. Tarakanovas, P., Raudonius, S. (2003). *Agrominių tyrimų duomenų statistinė analizė, taikant kompiuterines programas Anova, Stat, Split-Plot iš paketo Selekcija ir Irristat*. Akademija, Kauno r.
7. Tripolskaja, L., Pirogovskaja, G. (2013). Impact of climate variability in Lithuania and Belarus on atmospheric precipitation infiltration: lysimetric study. *Zemdirbyste-Agriculture*, 100(4), 369–376.
8. Tripolskaja, L., Verbylienė, I., Razukas, A., Baksienė, E., Sidlauskas, G. (2014). Changes in cation migration in Luvisol resulting from the application of different forms of mineral fertilizers. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 12(2), 701–705.

Danuta Romanovskaja, Almantas Ražukas

Influence of Meteorological Conditions on Buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) Variety 'VB Nojai' Productivity in Lithuania

Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry, Institute of Agriculture, Vokė Branch, Lithuania

Buckwheat productivity depends on the influence of many factors, therefore, knowledge about the causes of buckwheat productivity variation due to the influence of climate factors is important in order to clarify the possibilities of increasing productivity. The aim of the research is to determine the productivity of the buckwheat variety 'VB Nojai' created in Lithuania depending on the variation of the hydrothermal regime of the vegetation season. The research was conducted at the Voke Branch of the Institute of Agriculture of Lithuanian Research Centre of Agriculture and Forestry in 2015–2024. The research found that in the case of insufficiently humid June, when $HTK < 1.5$, the buckwheat grain yield decreased ($r = 0.48$). In July, wetter meteorological conditions increased the grain yield, but a tendency to decrease the yield was also observed when $HTK > 2.0$ ($r = 0.44$). During the grain ripening period (August), excess moisture (when $HTK > 1.5$) was unfavorable for buckwheat and had an impact on the decrease in grain yield ($r = 0.49$).

Keywords: Buckwheat, productivity, hydrothermal regime.

Gauta 2026 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2026 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 5 2645439, el. paštas: 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 5 2645439, el. paštas: almantas.razukas@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, tel.: +370 5 2645439, e-mail: danuta.romanovskaja@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, tel. +370 5 2645439, e-mail: almantas.razukas@lammc.lt

MEDAUS KOKYBINIAI HOLISTINIŲ RODIKLIŲ SKIRTUMAI URBANIZUOTOSE MIESTŲ TERITORIJOSE

Jurgita Malažinskienė, Daiva Šileikienė, Paulius Chockevičius

Vytauto Didžiojo universitetas

Straipsnyje analizuojami medaus kokybinių holistinių rodiklių skirtumai urbanizuotose miestų teritorijose siekiant įvertinti urbanistinės aplinkos poveikį miesto bičių surenkamo medaus savybėms. Holistinis požiūris leidžia medaus kokybę vertinti ne pavienių rodiklių pagrindu, o kaip tarpusavyje sąveikaujančių rodiklių visumą. Tikslui pasiekti pasirinkti ir išanalizuoti keturi skirtingos urbanistinės struktūros miestai, besiskiriantys želdynų, gyvenamųjų ir pramoninių zonų proporcijomis: Ryga, Vilnius, Kaunas ir Klaipėda. Analizuojami pH, redokso potencialo, savitojo elektros laidumo ir energijos P vertės rodikliai, kurie leidžia medaus kokybę vertinti kaip tarpusavyje susijusių rodiklių visumą. Siekiant objektyvaus rodiklių palyginimo, rezultatams taikoma *Z-score* standartizacija, leidžianti suvienodinti skirtingais vienetais išreikštus rodiklius. Nustatyti reikšmingi skirtumai tarp tirtų miestų mėginių leidžia teigti, kad urbanistinė struktūra turi apčiuopiamą poveikį miesto bičių surenkamo medaus savybėms.

Raktiniai žodžiai: medaus kokybė, urbanizuotos teritorijos, holistinis vertinimas, elektrocheminės savybės, *Z-score* standartizacija.

Įvadas

Apdulkinimas, kurį atlieka vabzdžiai, yra viena svarbiausių ekosistemų paslaugų, turinti lemiamą reikšmę tiek gamtai, tiek žmonijai. Bitės ir kiti apdulkinantys vabzdžiai ne tik užtikrina augalų reprodukciją, bet ir teikia papildomą naudą per bičių produktus, kurie naudojami apiterapijoje ir kaip aplinkos taršos bioindikatoriai. (Oddie ir Dahle, 2024; Papa ir kt., 2022). Medus yra natūralus, biologiškai aktyvus produktas, pasižymintis baktericidinėmis ir stimuliuojančiomis savybėmis. Jo sudėtis ir kokybiniai rodikliai priklauso nuo botaninės kilmės, geografinės vietovės, klimato sąlygų ir aplinkos veiksnių. Klimato kaita ir spartėjanti urbanizacija daro vis didesnę poveikį bitininkystės sektoriui. Ekstremalūs meteorologiniai reiškiniai ir aplinkos pokyčiai didina bičių šeimų nykimo riziką bei veikia jų produktyvumą. Bičių biologinės įvairovės rodikliams smarkiai mažėjant, imamasi veiksmų aktyviau plėtoti miesto bitininkystę, kaip vieną iš tvarių sprendimų bičių išsaugojimui. (Remmers ir Frantzeskaki, 2024). Pastaraisiais dešimtmečiais daugelyje didžiųjų pasaulio miestų pastebimas didėjantis susidomėjimas miesto bitininkyste. Bitininkystę miestuose plėtoja ne tik bitininkai mėgėjai, auginantys bites balkonuose, bet ir profesionalūs bitininkai, turintys daug avilių visame mieste. Dėl šios priežasties bičių šeimų tankumas didėja. (Etzegarai-Legarreta ir Sanchez-Famoso, 2022; Ropars ir kt., 2019). Nepaisant bičių šeimų augimo urbanizuotose teritorijose, susiduriama su specifinėmis aplinkos sąlygomis – didesne oro tarša, sunkiųjų metalų koncentracija, intensyviu transporto srautu bei pakitusiu mikroklimatu. Kita vertus, miestų kraštovaizdžiai gali pasiūlyti didesnę floristinių išteklių įvairovę ir ilgesnį žydėjimo laikotarpį. (Fauviau ir kt., 2024; Gomes ir kt., 2025; Mahdizadeh Gharakhanlou ir kt., 2025). Nepaisant to, kad miesto bitininkystė vertinama kaip perspektyvi tvarios urbanistinės plėtros kryptis, išlieka nepakankamai ištirtas urbanistinės struktūros poveikis bičių surenkamo medaus kokybiniais rodikliais. Daugelis atliekamų tyrimų apsiriboja pavienių rodiklių analize, tačiau medaus kokybė turėtų būti vertinama kompleksiskai, atsižvelgiant į tarpusavyje sąveikaujančių fizikocheminių rodiklių visumą. Holistinis požiūris leidžia įvertinti ne tik atskirus rodiklius, bet ir jų tarpusavio sąsajas bei bendrą medaus kokybės charakteristiką urbanizuotoje aplinkoje. Atsižvelgiant į tai, tyrimo objektu pasirinktas skirtingų miestų – Rygos, Vilniaus, Kauno ir Klaipėdos – miestų medus. Tyrimo tikslas – nustatyti medaus kokybinių holistinių rodiklių skirtumus tarp skirtingos urbanistinės struktūros miestų ir įvertinti jų sąsajas su urbanistiniais aplinkos veiksniais.

Tyrimų metodika

Tyrimas atliktas naudojant 2025 metais surinktą miesto medų, keturiuose skirtinguose Baltijos regiono miestuose: Rygoje, Vilniuje, Kaune ir Klaipėdoje. Iš kiekvieno miesto analizei paruošti trys mėginiai (iš viso $n = 12$). Visų mėginių analizė vykdyta identiškomis laboratorinėmis sąlygomis: tirpalai ruošiami kambario temperatūroje, naudojant distiliuotą vandenį, užtikrinant vienodą mėginių paruošimo ir matavimo seką.

Kiekvienas cheminis rodiklis nustatytas trimis pakartojimais. Remiantis Ramanauskas ir kt., (2025) pateikiamais duomenimis tiriamų miestų urbanistinė struktūra apibūdinta pagal bendrą miesto plotą (ha), populiaciją bei pagrindinių funkcinių zonų – gyvenamųjų teritorijų, žaliųjų zonų ir pramoninių teritorijų – proporcijas. Šie rodikliai naudoti siekiant įvertinti galimas sąsajas tarp urbanistinių veiksnių ir medaus kokybinių rodiklių (1 lentelė).

1 lentelė. Miestų struktūros vertinimo rodikliai, 2025 m.**Table 1.** Urban structure assessment indicators, 2025

Eil. Nr. / No	Miestų pavadinimai / Names of the cities	Bendras miesto plotas, ha / Total city area, ha	Populiacija, 2024, tūkst. / Population in 2024, thousand	Pagrindinės funkcinės sritys / Main functional areas					
				Gyvenamoji zona / Residential area		Žaliosios zonos ir želdynai / Green areas and green spaces		Pramonės zona / Industrial area	
				ha	%	ha	%	ha	%
1	Ryga	30717	605,3	6700	21,8	11365	37	5245	17
2	Vilnius	40044	606,6	9642	24	15532	39	1820	5
3	Kaunas	15688	298,9	5020	33	4736	30	1600	10
4	Klaipėda	9795	159,4	1720	18	3288	34	1350	14

Medaus savybės – pH, EC, ORP buvo tiriamos naudojant Tarptautinės medaus komisijos (2009 m.) rekomenduojamus standartinius metodus. Medaus savybių nustatymui naudoti 10 g medaus ir 50 g distiliuoto vandens tirpalai. Tyrimams naudoti „Consort C3060“. „WTW inoLab Cond 730“ „Hanna Instruments edge HI2002“ įrenginiai.

Mėginių energijos P vertė apskaičiuota taikant Walter Nernst lygtį. Šis rodiklis naudotas kaip apibendrinantis elektrocheminių savybių indikatorius, leidžiantis kompleksiskai įvertinti medaus oksidacinę–redukcijos būklę bei joninę sudėtį.

Siekiant objektyviai palyginti medaus kokybės rodiklių skirtumus ir įvertinti jų tarpusavio sąveiką, skirtingų matavimo vienetų rodiklių vertės buvo suvienodintos taikant *Z-score* standartizaciją. *Z-score* yra statistinis matavimas, apibūdinantis vertės santykį su verčių grupės vidurkiu. (Mikča ir Huttmanová, 2025). Šis matavimas buvo apskaičiuotas taikant formulę:

$$Z - score = (x - \mu) / \sigma, \quad (1)$$

čia x – kokybės rodiklis;

μ – visų miestų kokybės rodiklio vidurkis;

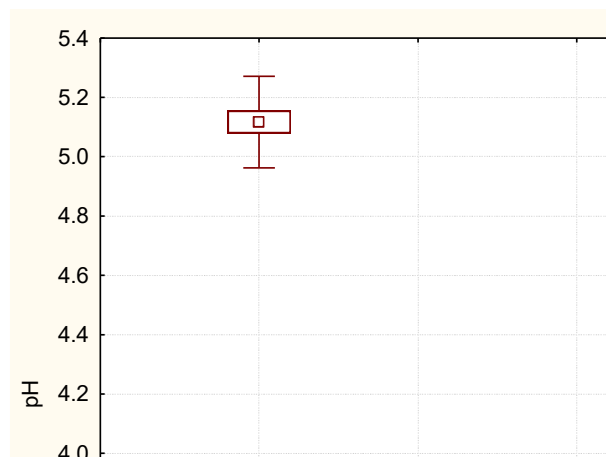
σ – kokybės rodiklio standartinis nuokrypis.

Duomenų statistinė analizė atlikta naudojant STATISTICA 8 ir „MS Excel“ programinę įrangą. Skirtumams tarp miestų nustatyti taikyta nepriklausomų imčių „t-test“ analizė. T testas buvo naudojamas nepriklausomas, pagal kintamuosius. Statistinis reikšmingumo lygmuo nustatytas $p < 0,05$.

Rodiklių integruotai analizei taikytas holistinis vertinimo principas, kuris leido medaus kokybę vertinti ne kaip pavienių rodiklių rinkinį, o kaip tarpusavyje susijusių fizikocheminių ir energetinių rodiklių sistemą.

Tyrimų rezultatai

Analizuotų mėginių vidutinės pH vertės svyravo nuo 3,41 iki 5,12. Mažiausia vidutinė pH vertė nustatyta Kauno miesto meduje, didžiausia pH vertė buvo nustatyta mėginiuose iš Rygos. (1 pav.).



1 pav. pH reikšmių diagrama

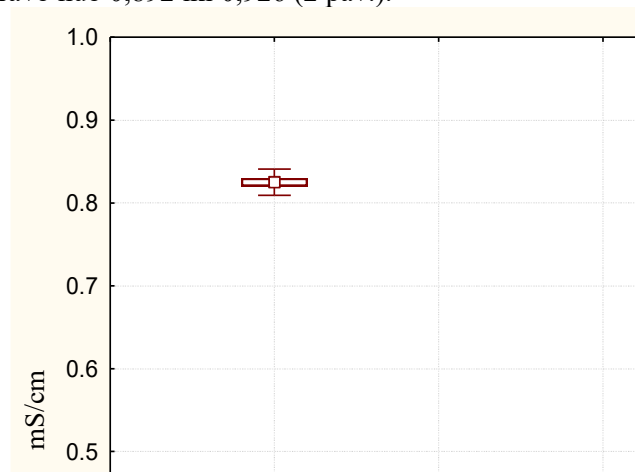
Fig. 1. pH value chart

Nepriklausomų imčių „t-test“ analizė parodė, kad Rygos miesto medaus pH vidutinė vertė statistiškai reikšmingai skyrėsi nuo kitų miestų mėginių ($p < 0,05$). Įvertinus skirtingų miestų pH porinius skirtumus nustatyti reikšmingi skirtumai tarp Rygos ir Vilniaus ($p = 0,000012$), Rygos ir Kauno ($p = 0,000057$), Rygos ir Klaipėdos ($p = 0,000033$) medaus pH verčių. Rezultatai pateikiami pH reikšmių diagramoje.

Lyginant pH rezultatus su miestų teritorinės struktūros duomenimis (1 lentelė) galime pastebėti tendenciją, kad aukštesnės pH vertės Rygos meduje siejasi su didesne žaliųjų zonų proporcija 37 proc.

Aukštesnės Rygos mėginių pH vertės gali būti siejamos ne tik su didesne žaliųjų zonų dalimi, bet ir šių augalų rūšine sudėtimi. Cekstere ir kt., (2008) teigia, kad labiausiai paplitusi medžių rūšis Rygos gatvių želdiniuose yra paprastoji liepa (*Tilia x vulgaris*), iš kurios gaunamas medus pasižymi vidutinėmis arba šiek tiek aukštesnėmis pH reikšmėmis.

Savitasis elektrinis laidumas (EC) Rygos medaus mėginiuose svyravo nuo 0,816 iki 0,831 mS/cm, Vilniaus medaus vertės svyravo nuo 0,456 iki 0,464 mS/cm, Kauno medaus EC svyravo nuo 0,212 iki 0,232, Klaipėdos medaus vertės svyravo nuo 0,892 iki 0,926 (2 pav.).



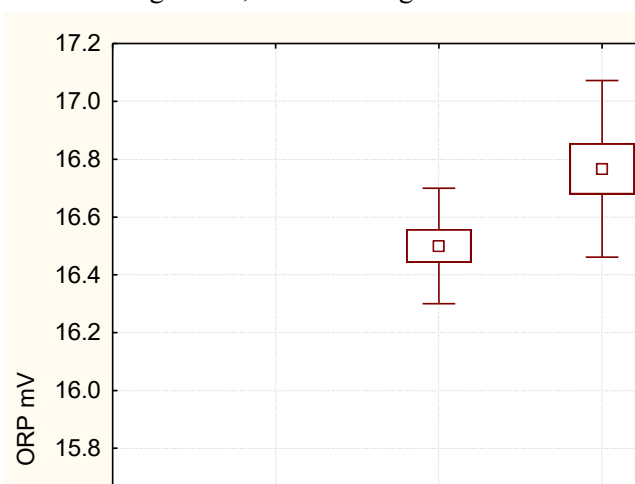
2 pav. Savitojo elektros laidumo reikšmės skirtingų miestų meduje

Fig. 2. Specific electrical conductivity values in honey from different cities

Atlikus nepriklausomų imčių „t-test“ analizę nustatyta, kad visų miestų medaus EC vidurkiai statistškai skiriasi tarpusavyje, visų porinių palyginimų $p < 0,001$. Didžiausias EC rodiklis nustatytas Klaipėdos meduje – 0,91 mS/cm, kuris statistškai reikšmingai viršijo visų kitų miestų vertes. Mažiausias rodiklis nustatytas Kauno meduje – 0,22 mS/cm, šio medaus EC taip pat yra statistškai reikšmingai mažesnis nei kitų miestų. 2 paveiksle matome, kad Vilniaus ir Kauno mėginių EC vertės buvo mažesnės nei 0,8 mS/cm, būdingos žiedų medus reikšmėms, o tai reiškia, kad šios vertės atitinka ES medaus direktyvoje numatytas EC ribas. Rygos medaus mėginių EC vertės yra artimos žiedų medui nustatytai ribinei vertei ($< 0,8$ mS/cm). Klaipėdos medaus mėginiai šią ribą viršija. Padidėjusios EC vertės gali būti siejamos su medaus kilme, kadangi didesnis EC būdingas lipčiaus medui arba medui, turinčiam didesnę mineralinių medžiagų kiekį nei žiedų medus.

Redokso potencialo (ORP) vertės analizuotuose mėginiuose svyravo intervale nuo 15,1 iki 16,8 mV. Mažiausias vidutinis ORP nustatytas Rygos meduje ($15,1 \pm 0,15$ mV), o didžiausias – Kauno meduje ($16,8 \pm 0,15$ mV). Vilniaus ir Klaipėdos mėginių vertės buvo tarpinės, tačiau artimesnės Rygos rezultatams. ORP skaitinės vertės pateikiamos 3 pav.

Literatūroje nurodoma, kad gryno medaus ORP vertės svyruoja tarp 70–180 mV, priklausomai nuo botaninės kilmės, tačiau matuojant praskiestus medaus tirpalus, kurių koncentracija yra apie 20 proc., kas yra būdinga ir šiame tyrime analizuotiems mėginiams, ORP vertės gali kristi iki keliolikos milivoltų.

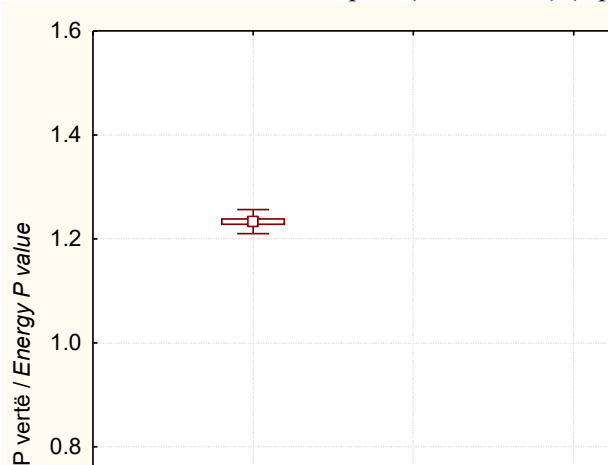


3 pav. Redokso potencialo skaitinės vertės skirtinguose mėginiuose

Fig. 3. Redox potential numerical values in different samples

Poriniai nepriklausomų imčių t-test rezultatai parodė, kad Rygos ir Kauno medaus ORP vidurkiai statistiškai reikšmingai skyrėsi ($p < 0,05$). Nors absoliutūs skirtumai tarp miestų yra nedideli, nustatytas 1,7 mV skirtumas daugiau nei aštuonis kartus viršija naudoto prietaiso paklaidą ($\pm 0,2$ mV). Tai rodo, kad fiksuoti skirtumai atspindi realius elektrocheminius pokyčius, o ne instrumentinį netikslumą.

Analizuotų mėginių vidutinės energijos P vertės svyravo nuo 0,34 iki 1,38. Mažiausia vidutinė P vertė nustatyta Kauno meduje ($0,34 \pm 0,02$). Didžiausios P vertės buvo nustatytos mėginiuose iš Rygos ($1,23 \pm 0,01$) ir Klaipėdos ($1,38 \pm 0,03$). Vilniaus medaus P vertė buvo tarpinė ($0,70 \pm 0,01$) (4 pav.).



4 pav. Energijos P reikšmės skirtinguose mėginiuose

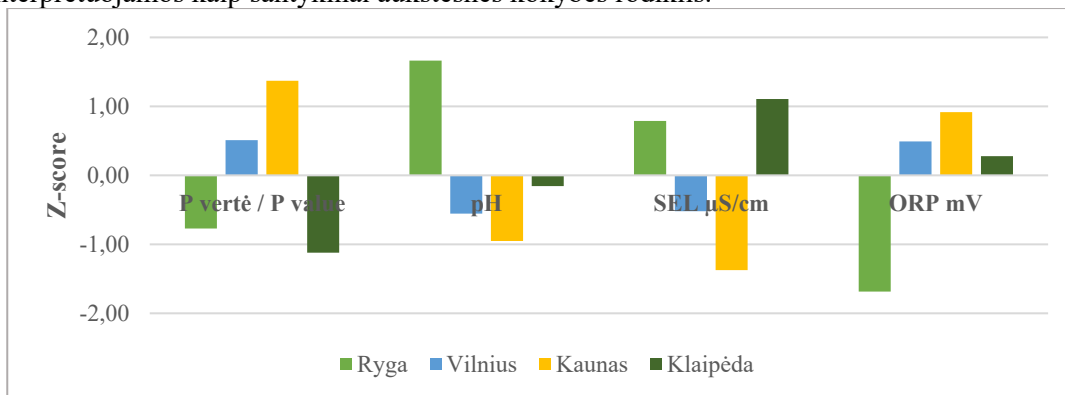
Fig. 4. Energy P values in different samples

Skirtumams tarp miestų įvertinti atlikti poriniai nepriklausomų imčių t-test palyginimai. Nustatyta, kad energijos P vertės tarp miestų statistiškai reikšmingai skyrėsi ($p < 0,05$). Galime pastebėti, kad skirtumų kryptis yra nuosekli ir atitinka kitų elektrocheminių rodiklių tendencijas.

Energijos P rodiklis apskaičiuotas remiantis pH, ORP ir EC vertes pagal Walter Nernst lygtį, todėl laikytinas apibendrinančiu elektrocheminės sistemos būklės indikatoriumi. Jis atspindi rūgštingumo, joninės sudėties ir redokso pusiausvyros sąveiką. Didžiausios P vertės nustatytos pajūrio miestuose (Ryga ir Klaipėda), kuriems būdingos ir aukštesnės EC vertės, o mažiausia P vertė Kaune sutampa su žemiausiu pH ir EC rodikliais. Tai rodo, kad P rodiklis atspindi bendrą elektrocheminių parametrų visumą, o ne pavienių rodiklių svyravimus.

Siekiant įvertinti galimas sąsajas tarp miesto struktūros charakteristikų ir medaus kokybės rodiklių, buvo atlikta koreliacinė analizė tarp urbanistinių rodiklių (miesto ploto, populiacijos dydžio, gyvenamųjų, žaliųjų ir pramoninių zonų dalies) ir standartizuotų medaus kokybės rodiklių. Statistiškai reikšmingų ryšių nenustatyta ($p > 0,05$), o tai gali būti susiję su ribotu stebėjimų skaičiumi ($n = 4$).

Standartizuotų rodiklių (Z-score) analizė leido palyginti skirtingais vienetais išreikštus medaus kokybės rodiklius ir įvertinti jų tarpusavio santykį miestų kontekste (5 pav.). Energijos P vertė analizėje pateikta invertuotu pavidalu, t. y. didesnės reikšmės atitinka palankesnę kokybinį profilį. Todėl teigiamos P Z-score reikšmės interpretuojamos kaip santykinai aukštesnės kokybės rodiklis.



5 pav. Medaus kokybės rodiklių Z-score reikšmės skirtinguose miestuose

Fig. 5. Z-score values for honey quality indicators in different cities

Pagal P vertės Z-score, aukščiausias teigiamas nuokrypis nustatytas Kauno mėginiuose ($Z \approx 1,37$), o mažiausias – Klaipėdos ($Z \approx -1,12$). Tai rodo, kad pagal integruotą elektrocheminį indeksą Kauno medus pasižymi palankesniu kokybiniu profilu nei kitų miestų mėginiai. pH ir EC rodikliai atskleidžia skirtingą

pasiskirstymo tendenciją: Rygoje nustatytas didžiausias pH nuokrypis ($Z \approx 1,66$), o Klaipėdoje – didesnis EC nuokrypis ($Z \approx 1,11$). ORP rodiklio atžvilgiu didžiausias nuokrypis nustatytas Kauno mėginiuose, tuo tarpu Rygoje fiksuotas neigiamas nuokrypis, rodantis žemesnes ORP reikšmes nei bendras vidurkis.

Miestų skirtumai nėra pavienių rodiklių svyravimai – jie formuoja nuoseklų, sisteminių elektrocheminių rodiklių derinį. Tai rodo, kad medaus kokybė urbanizuotose teritorijose turėtų būti vertinama kompleksiskai, o integruota analizė leidžia išsamiau įvertinti rodiklių tarpusavio sąsajas nei kiekvieno rodiklio analizė atskirai.

Išvados

1. Tyrimo metu nustatyta, kad skirtingų miestų medaus mėginių kokybiniai rodikliai statistiškai reikšmingai skiriasi. Nustatyti nuoseklūs skirtumai elektrocheminiuose tarpusavyje susijusiuose rodikliuose viršijo taikytų matavimo metodų paklaidas, todėl laikytini realiais, o ne instrumentinės paklaidos sąlygotais svyravimais.
2. *Z-score* standartizacijos reikšmių ir energijos P rodiklio koreliacija patvirtino, kad miesto medaus kokybė formuojasi kaip tarpusavyje sąveikaujančių elektrocheminių savybių sistema, įtakojama elektrocheminių miesto medaus rodiklių.
3. Holistinis vertinimo principas patvirtino nuoseklus miesto lygmens elektrocheminių rodiklių išskyrus Klaipėdą mažėjimo tendencijas, kurios nėra pilnai atskleidžiamos vertinant rodiklius kiekvieną atskirai.

Padėka

UAB „Miesto bitininkai“ (Urbanbee.lt) už tyrimams suteiktus miesto medaus mėginius.

Literatūra

1. Cekstere, G., Nikodemus, O., ir Osvalde, A. (2008). Toxic impact of the de-icing material to street greenery in Riga, Latvia. *Urban Forestry & Urban Greening*, 7(3), 207–217. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2008.02.004>
2. Etxegarai-Legarreta, O., ir Sanchez-Famoso, V. (2022). The Role of Beekeeping in the Generation of Goods and Services: The Interrelation between Environmental, Socioeconomic, and Sociocultural Utilities. *Agriculture*, 12(4), 551. <https://doi.org/10.3390/agriculture12040551>
3. Fauviau, A., Fiordaliso, W., Fisogni, A., Fortel, L., Francis, F., Geslin, B., Hautekèete, N., Heiniger, C., Lambert, O., Feon, V. L., Massol, F., Michelot-Antalik, A., Michez, D., Mouret, H., Noël, G., Piquot, Y., Ropars, L., Schurr, L., Reeth, C. V., Henry, M. (2024). Larger cities host richer bee faunas, but are no refuge for species with concerning conservation status: Empirical evidence from Western Europe. *Basic and Applied Ecology*, 79, 131–140. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2024.06.002>
4. Gomes, I. N., Silva, V. H. D., Gonçalves, R. B., Ordóñez-Parra, C. A., Procópio-Santos, C. P., Queroz, S. O., Castro, D. M. P., Pena, J. C., ir Maruyama, P. K. (2025). Exploring the determinants of bee diversity in tropical urban areas and their implications for conservation. *Landscape and Urban Planning*, 263, 105440. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2025.105440>
5. Mahdizadeh Gharakhanlou, N., Vadnais, J., Perez, L., ir Coallier, N. (2025). Urban buzz or urban bust? Beekeeping challenges, suitability, and survival insights in Montreal, Canada. *Ecological Informatics*, 90, 103296. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2025.103296>
6. Mikča, R., ir Huttmanová, E. (2025). Measuring the Sustainability Performance of EU Countries through a Composite Multidimensional Index. *European Journal of Sustainable Development*, 14(3), 915–915. <https://doi.org/10.14207/ejsd.2025.v14n3p915>
7. Oddie, M. A. Y., ir Dahle, B. (2024). One for all and all for one: A review on the commonality of risk to honeybees and wild pollinators and the benefits of beekeepers in conservation. *Frontiers in Bee Science*, 2. <https://doi.org/10.3389/frbee.2024.1305679>
8. Papa, G., Maier, R., Durazzo, A., Lucarini, M., Karabagias, I. K., Plutino, M., Bianchetto, E., Aromolo, R., Pignatti, G., Ambrogio, A., Pellecchia, M., ir Negri, I. (2022). The Honey Bee *Apis mellifera*: An Insect at the Interface between Human and Ecosystem Health. *Biology*, 11(2), 233. <https://doi.org/10.3390/biology11020233>
9. Ramanauskas, E., Bukantis, A., Dringelis, L., Kaveckis, G., ir Jonkutė-Vilkė, G. (2025). Urban Environment and Structure of Lithuanian Cities: Their Assessment in the Context of Climate Change and Other Potential Threats. *Land*, 14(9), 1759. <https://doi.org/10.3390/land14091759>
10. Remmers, R., ir Frantzeskaki, N. (2024). Bees in the city: Findings from a scoping review and recommendations for urban planning. *Ambio*, 53(9), 1281–1295. <https://doi.org/10.1007/s13280-024-02028-1>

11. Ropars, L., Dajoz, I., Fontaine, C., Muratet, A., ir Geslin, B. (2019). Wild pollinator activity negatively related to honey bee colony densities in urban context. *PLOS ONE*, 14(9), e0222316. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222316>

Jurgita Malažinskienė, Daiva Šileikienė, Paulius Chockevičius

Quality Differences of Holistic Honey Indicators in Urbanized City Areas

Vytautas Magnus University, Lithuania

The article analyzes differences in qualitative holistic indicators of honey in urbanized areas in order to assess the impact of the urban environment on the properties of honey collected by urban bees. A holistic approach allows honey quality to be assessed not on the basis of individual parameters, but as a set of interacting indicators. To achieve this goal, four cities with different urban structures, differing in the proportions of green areas, residential and industrial zones, were selected and analyzed: Riga, Vilnius, Kaunas, and Klaipėda. The indicators analyzed are pH, redox potential, specific electrical conductivity, and energy P value, which allow the quality of honey to be assessed as a set of interrelated indicators. In order to achieve an objective comparison of indicators, the results are standardized using *Z-score*, which allow parameters expressed in different units to be standardized. The significant differences found between the samples from the cities studied suggest that urban structure has a tangible impact on the properties of honey collected by urban bees.

Keywords: honey quality, urbanized areas, holistic assessment, electrochemical properties, *z-score* standardization

Gauta 2026 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2026 m. balandžio mėn.

Jurgita MALAŽINSKIENĖ. 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. +370 623 13208, el. paštas: jurgita.malazinskiene@vdu.lt

Jurgita MALAZINSKIENE. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Forest Sciences and Ecology, Department of Environment and Ecology, postgraduate. Address: Student str. 15a, LT-53362, Academy, Kaunas dist. Phone: +370 623 13208, e-mail: jurgita.malazinskiene@vdu.lt

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 SILEIKIENE. 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

Paulius CHOCKEVIČIUS. UAB „Miesto bitininkai“ įkūrėjas. Adresas: Radvilų dvaro g. 2A, LT-48319, Kaunas, tel. +370 613 31592, el. paštas: info@urbanbee.lt

Paulius CHOCKEVICIUS. UAB „Miesto bitininkai“ founder. Address: Radvilu dvaro str. 2A, LT-48319, Kaunas, Phone: +370 613 31592, e-mail: info@urbanbee.lt

BALTIJOS JŪROS PAKRANTĖS SMĖLIO SAVITOJO AKTYVUMO TYRIMAS IR VERTINIMAS

Gražina Grigaliūnaitė-Vonsevičienė, Artūras Jukna

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Šiame darbe įvertinta natūralios ir antropogeninės kilmės radionuklidų koncentracijos tyrimų galimybė, palyginant radionuklidų koncentracijas, nustatytas gama-spektrometrijos būdu, smėlyje Baltijos jūros priekrantės zonoje, Juodkrantėje. Smėlio bandiniai tyrimui paimti prie kranto linijos, 2–6 metrų atstumu nuo vandens, esant jūros bangų aukščiui nedidesniam nei 10–15 cm bei smėlio kopos, nuo vandens nutolusios 40–50 m, viršuje bei neužliejamos jūros vandens net ir tuomet, kai jūroje šėlsta audra. Bandinių analizė atlikta naudojant NaI detektorius, registruojantį gama spinduliuotę 30–1670 keV energijų intervale. Nustatyta, kad radionuklidų koncentracija priekrantės smėlyje gali net iki 3,2 kartų viršyti radionuklidų koncentraciją smėlyje kopos viršuje. Gauti rezultatai aiškinami priekrantės smėlio sąveika su jūros vandeniu. Jūros bangai užliejus smėlį, vanduo susigeria, bei pasiekęs jūros vandens lygį vėl sugrįžta į jūrą. Vandeniui susigeriant į smėlį, dalį vandenyje neištirpusių organinių ir neorganinių medžiagų sulaiko smėlis, kaip natūralus jūros vandens filtras. Rezultatai leidžia daryti išvadą, jog vandeniu užliejamas smėlis gali kaupti radionuklidus, tad jo tyrimų rezultatai gali būti panaudoti vykdant jūros vandens taršos radionuklidais monitoringą.

Raktiniai žodžiai: radionuklidų savitasis aktyvumas, gama spektrometrija, Baltijos jūros pakrantė, Juodkrantė.

Įvadas

Radionuklidų koncentracijos ir pasiskirstymo ore, dirvožemyje bei vandenyje tyrimai – esminė žmogaus ir gamtos saugos priemonė, leidžianti įvertinti gyvų organizmų apšvitą ir jonizuojančiosios spinduliuotės galimą poveikį tiek prokariotiniams, tiek ir eukariotiniams organizmams. Sisteminga radionuklidų koncentracijos pokyčių stebėseną sudaro prielaidas laiku identifikuoti padidėjusios rizikos zonas bei užkirsti kelią potencialiems sveikatos sutrikimams.

Baltijos jūra laikoma viena labiausiai radionuklidais užterštų jūrų pasaulyje (United Nations Publications, 2008). Dėl ribotos vandens apykaitos – per metus atsinaujina tik apie 3,5 proc. viso vandens tūrio – teršalai joje gali išlikti dešimtmečius. Į jūros vandenį radionuklidai patenka tiek iš natūralių šaltinių (t. y. su atmosferiniais krituliais), tiek iš antropogeninių šaltinių (t. y. branduolinių jėgainių eksploatacijos ar avarijų metu atsirandančių iš metalų, pvz. dėl avarijos Černobylio atominėje elektrinėje). Baltijos jūros pakrantėje lokalizuotos net penkios atominės elektrinės (AE): Forsmarko AE ir Oskarshamno AE (Švedijoje), Olkiluoto AE (Suomija), Loviisa AE (Suomija) ir Leningrado AE (Rusijoje). (žr. 1 pav.).



1 pav. Baltijos jūros baseine, arčiausiai Baltijos jūros, veikiančios atominės elektrinės (AE)

Fig. 1. Baltic Sea Basin with the Nearest Operating Nuclear Power Plants (NPPs) Marked

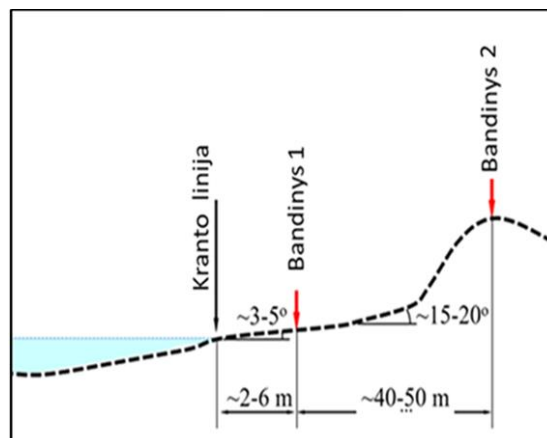
Klestinti civilizacija neišvengimai didina teršalų radionuklidais kiekį Baltijos jūroje. Turint mintyje, jog kai kurie radionuklidai – ilgaamžiai, tokios taršos pasekmės dažnai būna ilgalaikės (Yi et al., 2020),

(Koitilainen et al., 2021), (Lopez-Lora et al., 2023) ir (Olszewski et al., 2018). Dažniausiai į mokslinėse publikacijose minimų radionuklidų sąrašą pakliūva ^{239}Pu (skylimo pusamžis $T_{1/2} = 24110$ m), ^{137}Cs ($T_{1/2} = 30,08$ m), ^{90}Sr ($T_{1/2} = 28,9$ m), ^{131}I ($T_{1/2} = 8,02$ d) ir ^{133}Xe ($T_{1/2} = 5,25$ d). Minėti radionuklidai gali patekti į atmosferą ar tiesiogiai į Baltijos jūros vandenį dėl neatsargios žmogaus veiklos jėgainių veikos stabdymo ar remonto metu bei dėl nenumatytų jų techninių gedimų. Patekę į atmosferą, radionuklidai gali iškristi atmosferinių kritulių pavidalu, tačiau nebūtinai netoliese jų emisijos vietos. Konkreti vieta ar jūroje ar jūros pakrantėje priklauso nuo konkrečių meteorologinių sąlygų, vėjo stiprio ir krypties. Pakliuvę tiesiai į jūros vandenį, dėl jūros srovių, radionuklidai gali būti nunešti toli nuo jų emisijos vietos, ir pasiekti krantą bangai užliejant priekrantės smėlį.

Šio darbo rezultatai, gauti gama spektrometru (NaI detektoriumi) ištyrus Baltijos jūros priekrantės smėlio radionuklidų gama spektrus, leidžia daryti išvadą, jog bangomis užliejamas smėlis, pasižymintis radionuklidų didesne koncentracija, lyginant ją su smėlio bandiniais, paimtais kopos viršuje (t. y. neužliejamais jūros vandeniu), atlieka jūros vandens natūralaus filtro vaidmenį. Darbe daroma prielaida, jog, skverbdamasis pro smėlio granules vanduo gali palikti smėlyje dalį neištirpusių organinių ir neorganinių medžiagų bei kartu ir prie jų prikibusių radionuklidų, tokiu būdu natūraliai apsivalydamas tiek nuo natūralios, tiek ir nuo antropogeninės kilmės radionuklidų.

Tyrimų metodika

Šiame darbe naudojama smėlio bandinių paėmimo ir tyrimų metodika, detaliau aprašyta publikacijoje Jukna ir kt., 2025. Priekrantės smėlio, užliejamo jūros bangomis, santykinai sausi bandiniai (bandinys 1) paimti atstumu 2–6 m nuo vandens linijos (žr. 2 pav.), 2021 m. birželio mėn. saulėtą dieną, bangų aukščiui neviršijant 10–15 cm (Kelpšaitė ir kt., 2008), Baltijos jūros pakrantės zonoje, Juodkrantėje ($55^{\circ}34'57.8''\text{N}$, $21^{\circ}06'12.9''\text{E}$), Lietuva. Siekiant įsitikinti, jog vandeniui susigėrus į smėlį ir grįžtant į jūrą, dalis radionuklidų gali pasilikti smėlyje (Onwuka et al., 2023), priekrantės smėlio bandiniai paimti iš įvairių gylių taip, kad giliausiai paimtas bandinys pasiektų į jūrą grįžtančio vandens lygį, kuris (dėl susisiekančių indų) įvertintas ~40–50 cm.



2 pav. Bandinių ėmimo vietų schema kranto linijos atžvilgiu

Fig. 2. Schematic of sampling sites relative to the shoreline

Kontroliniai bandiniai (bandinys 2) paimti viršūnėje kopos, nutolusios nemažiau nei 40–50 m atstumu nuo vandens linijos, tačiau taip, kad kopos viršūnės smėlio ir priekrantės smėlio paėmimo vietos būtų vienoje linijoje, išvestoje statmenai kranto linijai. Kopos aukštis, bandinio paėmimo vietoje, buvo apytiksliai 6–8 m atžvilgiu jūros lygio. Tai leido daryti prielaidą, jog bandinio paėmimo vieta ypatingai retai užliejama jūros vandeniu net ir labai audringos jūros atveju (Kelpšaitė ir kt., 2008).

Išdžiovinti 3–4 val. krosnyje, esant 500–600 K temperatūrai ir per ~2–3 val. atvėsinti iki apytiksliai 320 K temperatūros, bandiniai vienas po kito nedelsiant įdėti į gamą spektrometrą, siekiant, kad bandinys kuo trumpesnę laiką sąveikautų su aplinkos drėgme, bet tuo pačiu pilnai apgaubtų cilindro formos gama spindulių NaI ($76 \times 76 \text{ mm}^2$) detektorį. Detektorius registravo smėlio bandinių gama spinduliuotės spektrą energijų intervale nuo 30 iki 1670 keV. Kiekvieno bandinio spinduliuotė matuota apytiksliai 72 val., taip siekiant gauti kuo patikimesnius, kiekvieno iš bandinių, gama spindulių spektro rezultatus. Spektro analizė ir radionuklidų identifikacija atlikta kompiuterine programa, atsižvelgiant į natūralios ir antropogeninės kilmės radionuklidus, kurių identifikavimo tikimybės koeficientas (I_d) viršijo 0,8.

Radionuklidų-savitieji aktyvumai skaičiuoti iš lygties (Butkus ir kt., 2008; Abbasi et al., 2020):

$$A_{\gamma} = \frac{(S/t) + (S_f/t_f)}{m \cdot \varepsilon \cdot \eta}, \quad (1)$$

čia A_{γ} – radionuklido savitasis aktyvumas bandinyje, Bq/kg;
 S, S_f – radionuklido ir fono spinduliuotės spektre užregistruotų smailių plotai atitinkamai, imp;
 t, t_f – radionuklido bandinyje ir foninės spinduliuotės aktyvumo matavimo laikai, s;
 m – bandinio masė, kg;
 ε – spektrometro detektoriaus efektyvumas;
 η – radionuklido spinduliuotės energinė kvantinė išeiga.

Matavimų paklaida ($\pm 5\%$) nustatyta naudojant spektrometro programinę įrangą (Genie 2000. Gamma Acquisition & Analysis V3.2.1. 26 August 2009, by Canberra Industries), su radionuklido atpažinimo neapibrėžtimi (Bq), nurodyta programoje.

Žinant radionuklido savitąjį aktyvumą medžiagoje ir gryųjų radionuklidų savitąjį aktyvumą, radionuklido bandinyje masė m_r :

$$m_r = \frac{A_{\gamma}}{A_g \cdot m}, \quad (2)$$

čia A_{γ}, A_g – radionuklido bandinyje ir gryno, savitieji aktyvumai, Bq/kg;
 m – bandinio masė.

Grynojo radionuklido savitasis aktyvumas A_g apskaičiuojamas naudojantis lygtimi:

$$A_g = \frac{N_A \ln 2}{M_r T_{1/2}}, \quad (3)$$

čia N_A – Avogadro skaičius, mol^{-1} ;
 M_r – radionuklido molinė masė, g/mol;
 $T_{1/2}$ – radionuklido gyvavimo pusamžis, s.

Apskaičiuotas ir procentinis radionuklido masių skirtumas ΔM bandiniuose naudojantis lygtimi:

$$\Delta M = \left(\frac{m_{rbi} - m_{rbj}}{m_{rbi}} \right) \cdot 100\%, \quad (4)$$

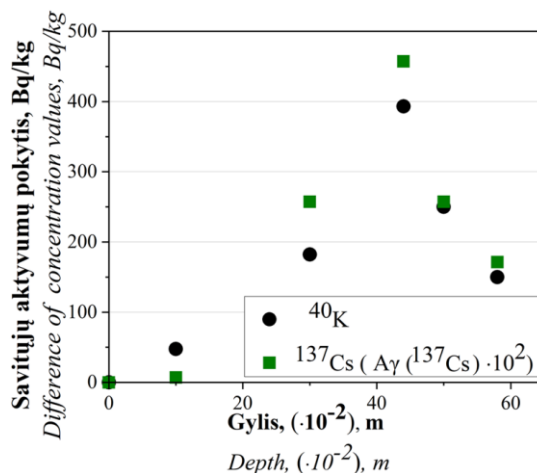
čia m_{rbi}, m_{rbj} – radionuklido masė i ir j bandiniuose, $\mu\text{g/kg}$;
 ΔM – procentinė radionuklido masių skirtumas.

Metodas gali būti naudojamas tiek natūralios tiek antropogeninės kilmės radionuklidų savitiesiems aktyvumams, bei jų masėms bandiniuose, skirtinguose gyliuose nustatyti, be papildomo cheminio paruošimo. Metodas – nedestruktyvus, todėl bandinius galima naudoti tolimesniems tyrimams.

Rezultatai ir aptarimas

Norint įsitikinti prielaidos, jog Baltijos jūros vanduo susigerdamas į priekrantės smėlį palieka jame nešmenis, buvo nustatyti radionuklidų ^{40}K ir ^{137}Cs savitieji aktyvumai 1-ame ir 2-ame atkaitintuose bandiniuose. Spektrų analizė atlikta naudojantis kompiuterine programa, leido nustatyti spektrų smailes ir priskirti jas konkrečioms radionuklidams, pagal programos bibliotekoje turimus duomenis. Atsižvelgta tik į tuos atvejus, kai identifikavimo patikimumas (Id) viršijo nustatytą ribą (0,8), taip sumažinant klaidingų rezultatų tikimybę. Naudojantis (1) lygtimi gauti pakrantės smėlio radionuklidų aktyvumai palyginti su kopos paviršiaus smėlio radionuklidų aktyvumais.

Apskaičiuoti A_{γ} kranto sm (bandinys 1) ir A_{γ} kopos viršuje sm (bandinys 2) savitųjų aktyvumų santykiai, priekrantės smėlio bandinio, paimto gylyje nuo 0 iki 60 cm ir smėlio kopos paviršiuje (0–10 cm) atvejais. Savitųjų aktyvumų vertės pasirinktų natūralios kilmės ^{40}K ir antropogeninės kilmės ^{137}Cs radionuklidų bandiniuose, paimtuose 30–50 cm gylyje, net 2,3–3,2 karto didesnės nei bandinių ant kopos viršaus. Siekiant natūralios ir antropogeninės kilmės radionuklidų aktyvumus pavaizduoti viename grafike, ^{137}Cs radionuklido aktyvumo vertės padaugintos iš 100. Radionuklidų aktyvumų skirtumai išryškina radionuklidų pasiskirstymo priklausomybę nuo bandinio paėmimo gylio, kaip parodyta 3 pav.

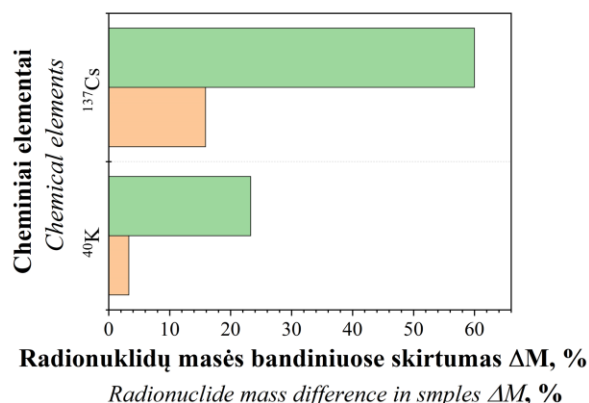


3 pav. ^{40}K ir ^{137}Cs savitieji aktyvumai priekrantės smėlio bandiniuose, paimtuose įvairiuose gyliuose

Fig. 3. Specific activities of ^{40}K and ^{137}Cs in foreshore sand samples collected at various depths

Įvertinus radionuklido savitąjį aktyvumą medžiagoje ir grynųjų ^{40}K ; ^{137}Cs radionuklidų savitąjį aktyvumą, apskaičiuota radionuklidų masė m_r bandinyje, naudojantis (2) ir (3) lygtimis.

Suskaičiuotas ^{40}K ir ^{137}Cs radionuklidų masių skirtumas ΔM (procentais), naudojantis (4) lygtimi, priekrantės (žalia spalva) ir kopos paviršiaus bandiniuose (oranžinė spalva) parodytas 4 pav. Lyginant ΔM parametro vertes natūralios ^{40}K ir antropogeninės kilmės ^{137}Cs radionuklidų atveju, bandiniuose paimtuose priekrantės smėlio paviršiuje, t. y. 0–20 cm gylyje, su 20–60 cm gylyje, gauta, jog ΔM parametras ^{40}K ir ^{137}Cs radionuklidų atvejais priekrantės smėlyje didesnis nei kopos viršuje, atitinkamai 59,9 % ir 23,1 %. Nustatyta, kad ^{137}Cs radionuklido masė bandiniuose priekrantės smėlio paviršiuje ir paviršiniame smėlyje kopos viršuje paklaidų ribose sutampa, tačiau ^{40}K atveju – skirtumas siekia 15,9 %.



4 pav. ^{40}K ir ^{137}Cs radionuklidų masių skirtumas ΔM priekrantės smėlio (žalia spalva) žemiau paviršiaus ir ant kopos viršaus (oranžinė spalva)

Fig. 4. Percentage radionuclides mass difference ΔM in dune and foreshore sand surfaces (orange), and on the surface of foreshore sand with with an average value at depth (20-60 cm) (green)

Tyrimais nustatyta, jog radionuklidų savitasis aktyvumas bangomis užliejamame priekrantės smėlyje gali gerokai viršyti aktyvumą, registruojamą smėlyje kopos viršuje. Toks savitųjų aktyvumų skirtumas gali atsirasti tik dėl jūros vandens sąveikos su priekrantės smėliu. Bangų atneštam vandeniui sunkiantis pro smėlį, vandenyje esantys organinės ir neorganinės rūšies teršalai ar floros ir faunos dalys bei prie jų prikibę ar juose esantys radionuklidai, gali neprasisunkti pro smėlio granules ir likti įstrigę tarp jų. Tai vienintelė logiškai pagrįsta priežastis lemianti radionuklidų savitojo aktyvumo padidėjimą smėlyje, sąveikaujančiame su jūros vandeniu (Jukna ir kt. 2025). Šios sąveikos intensyvumas ir tuo pačiu radionuklidų savitojo aktyvumo paklaidos neabejotinai priklauso nuo kiekvienos konkrečios Baltijos pajūrio reljefo, kranto aukščio jūros lygio atžvilgiu, vietos charakteringų oro sąlygų, vyraujančių vėjų krypties, jūros srovių intensyvumo ir kt.

Radionuklidų koncentracijos pokytis ilguoju laikotarpiu gali keistis. Šiame darbe remtasi 2021 m. birželio mėnesį gautais duomenimis. Tačiau šie duomenys – tai ne vienos ar kelių dienų priekrantės smėlio sąveikos su vandeniu rezultatas. Kita vertus, nors, kaip nustatyta, radionuklidai kaupiasi priekrantės smėlyje, tačiau jūros bangos dalį paviršinio smėlio gali nuplauti ir nusinešti į jūrą ir / arba pernešti į kitas priekrantės zonas.

Todėl didžiausia radionuklidų koncentracija turėtų būti ten, kur priekrantės zonoje susigėręs vanduo pasiekia jūros lygį.

Kopos smėlyje radionuklidų koncentracija mažesnė, bet taip pat išmatuojama tiek natūralios, tiek ir antropogeninės radionuklidų kilmės atvejais. Tai leidžia daryti prielaidą, jog antropologinės kilmės radionuklidai kopos viršuje gali atsirasti dėl atmosferinių kritulių. Pastarųjų taršą taip pat gali lemti neatsargi žmogaus veikla branduolinių jėgainių stabdymo ir/ar remonto atvejais bei dėl jėgainių nenumatytų techninių gedimų.

Šiame darbe naudotas tyrimų metodas nereikalauja radionuklidų ar jų nešlių sudėtingų, brangių ir, laiko prasme, lėtų cheminių koncentravimo procedūrų, ilgalaikio bandinio džiovinimo, siekiant ištirti jūros vandens kokybę.

Išvados

1. Atliktas tyrimas parodė, kad priekrantės smėlis – tai natūralus radionuklidų kaupiklis, galintis suteikti informacijos apie jūros vandens taršos radionuklidais pokyčius. Jūros vandens tarša priekrantės smėlyje gali būti kaupiama ilgą laiką, o ištirta – priekrantės smėlio bandinį paėmus jūros vandens kokybės tyrėjo pasirinktu laiku.
2. Maksimali priekrantės smėlio tarša radionuklidais pastebėta gilyje, kuriame smėliu prasisunkęs vanduo pasiekia jūros lygį (susiekiantys indai).
3. Lyginant įvairiu metu paimtų priekrantės smėlio bandinių gama spektrus, galima įvertinti taršos radionuklidais kitimą (vykdyti monitoringą) ilguoju laikotarpiu. Paprastesnis, ekonomiškėsnis ir kartu informatyvus aplinkos taršos radionuklidais kontrolės metodas gali prisidėti prie ilgalaikės ekosistemų ir visuomenės sveikatos apsaugos.

Literatūra

1. Abbasi, A. Mirekhtari, F. (2020). Heavy metals and natural radioactivity concentration in sediments of the Mediterranean Sea coast. *Marine pollution bulletin*, 154, 111041.
2. Butkus, D., Konstantinova, M. (2008). Modelling vertical migration of ¹³⁷Cs in Lithuanian soils. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 16(1), 23–29.
3. Jukna A., Grigaliūnaitė-Vonsevičienė, G. (2025). Assessment of Radionuclide Contamination in Foreshore Sands of the Baltic Sea near Juodkrante in Lithuania. *Sustainability*, 17(16), 7441.
4. Yi, P., Aldahan, A., Hansen, V., Possnert, G., Hou, X.L. (2011). Iodine isotopes (¹²⁹I and ¹²⁷I) in the Baltic Proper, Kattegat, and Skagerrak basins. *Environmental science & technology*, 45(3), 903–9.
5. Olszewski, G., Andersson, P., Lindahl, P., Eriksson, M. (2018) On the distribution and inventories of radionuclides in dated sediments around the Swedish coast. *Journal of Environmental Radioactivity*, 186, 142–151.
6. Onwuka, M., Ononugbo, C., Ikirigo, J. (2023). Effect of grain size on radionuclide content in sediment samples from Kolo Creek, Bayelsa state, Nigeria. *Asian Journal of Research and Reviews in Physics*, 7, 25–34.
7. López-Lora, M., Olszewski, G., Chamizo, E., Törnquist, P., Pettersson, H., Eriksson, M. (2023) Plutonium Signatures in a Dated Sediment Core as a Tool to Reveal Nuclear Sources in the Baltic Sea. *Environmental science & technology*, 57(5), 1959–1969.
8. Kelpšaitė, L.; Hermann, H.; Soomere, T. (2008). Wave regime differences along the eastern coast of the Baltic Proper. *Oceanography*, 57, 225–231.
9. Kotilainen, A. T., Kotilainen, M. M. Vartti, V.-P., Hutri, K. L. Virtasalo, J. J. (2021). Chernobyl still with us: ¹³⁷Caesium activity contents in seabed sediments from the Gulf of Bothnia, northern Baltic Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 172, 112924.
10. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. (2000). *Report to the general assembly, with scientific annexes*. United Nations Publications, Annex B, 1-76.

Gražina Grigaliūnaitė-Vonsevičienė, Artūras Jukna

Research and Assessment of the Specific Activity of Baltic Sea Coast Sand

Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania

This study evaluates the potential for investigating concentrations of radionuclides of natural and anthropogenic origin by comparing radionuclide concentrations determined by gamma spectrometry in sand from the coastal zone of the Baltic Sea in Juodkrante, in Lithuania. Sand samples for analysis were collected near the shoreline, at a distance of 2 to 6 m from the water, under sea wave conditions not exceeding 10 to 15 cm in height, as well as from the top of a sand dune

located 40 to 50 m from the water and not inundated by seawater even during storm conditions. Sample analysis was performed using a NaI detector, recording gamma radiation in the energy range of 30–1670 keV. The results showed that the concentrations of radionuclides in the coastal sand were up to 3.2 times higher than those measured in the sand collected from the top of the dune. These findings are explained by the interaction between nearshore sand and seawater. When sea waves inundate the sand, the water infiltrates into it and, after reaching the seawater level, returns to the sea. During infiltration, the sand retains some of the undissolved organic and inorganic substances present in the water, acting as a natural filter for seawater. The results suggest that sand periodically inundated by seawater can accumulate radionuclides; therefore, analyses of sand can be used for long-term monitoring of radionuclide contamination in seawater.

Keywords: Activity concentration, gamma spectroscopy, Foreshore of the Baltic Sea, Juodkrante.

Gauta 2026 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2026 m. balandžio mėn.

Gražina GRIGALIŪNAITĖ-VONSEVIČIENĖ. Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Fundamentinių mokslų fakulteto Fizikos katedros docentė. Adresas: Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, tel. +370 52 512476, el. paštas: g.grigaliunaite-vonseviciene@vilniustech.lt

Gražina GRIGALIŪNAITĖ-VONSEVIČIENĖ. Vilnius Gediminas Technical University, Faculty of Fundamental Sciences, Department of Physics, assoc.prof. Address: Saulėtekio av. 11, LT-10223 Vilnius. Phone: +370 52 512476, e-mail: g.grigaliunaite-vonseviciene@vilniustech.lt

Artūras JUKNA. Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Fundamentinių mokslų fakulteto Fizikos katedros, Fotoelektros technologijų laboratorijos profesorius. Adresas: Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, tel. +370 52 512462, el. paštas: arturas.jukna@vilniustech.lt

Artūras JUKNA. Vilnius Gediminas Technical University, Faculty of Fundamental Sciences, Department of Physics, Photovoltaic Technologies Laboratory, prof. Address: Saulėtekio av. 11, LT-10223 Vilnius. Phone: +370 52 512462, e-mail: arturas.jukna@vilniustech.lt

ECOLOGICAL POTENTIAL OF KAUNAS LAGOON

Nazrin Hajiyeva, Anželika Dautartė

Vytautas Magnus University, Lithuania

The Kaunas Lagoon is the largest artificial reservoir in Lithuania and is classified as a heavily modified water body. This study assessed the ecological potential of Kaunas Lagoon using the ecological assessment methodology for artificial and heavily modified water bodies, based on water samples collected between June and October 2025. Seasonal and spatial analyses showed that total phosphorus concentrations exceeded the threshold for good ecological potential at all sampling sites throughout the study period, with mean values 3–10 times higher than the established threshold. Total nitrogen concentrations also exceeded threshold values at most sites, particularly during autumn. BOD₇ levels surpassed the threshold during the summer months but showed improvement in autumn. Overall, the results indicate that during the second half of 2025 the ecological potential of Kaunas Lagoon, with respect to phosphorus, nitrogen, and organic matter indicators, ranged from moderate to poor.

Keywords: Kaunas Lagoon, ecological potential, heavily modified water body, Water Framework Directive.

Introduction

The European Union (EU) Water Framework Directive (WFD, 2000/60/EC) requires EU member states to achieve good ecological status for all water bodies. Unlike the natural lakes, heavily modified water bodies (HMWBs), including the reservoirs, are assessed using ecological potential rather than the ecological status (Erba et al., 2019; Pinto et al., 2021).

Kaunas Lagoon is the largest artificial reservoir in Lithuania. It covers an area of 63.5 km², is 80 km long, and reaches a maximum width of 3.3 km. The lagoon is located 223.4 km from the mouth of the Nemunas River. Its maximum depth is recorded between 22 m and 24.6 m, depending on the source, while the average depth is 7.3 m. Kaunas Lagoon was created by damming the Nemunas River for hydropower generation; construction of the Kaunas Hydroelectric Power Plant began in October 1955, and the Nemunas channel was successfully dammed in July 1959. Subsequently, all four generating units started operating in April 1960 (Visuotinė lietuvių enciklopedija, n.d.).

The Lithuanian Environmental Protection Agency (EPA) has classified Kaunas Lagoon as a heavily modified water body. According to the latest 2024 data, the average total phosphorus (TP) concentration in the Kaunas Lagoon was 0.129 mg/L, corresponding to the "very bad" ecological potential (EPA, 2024). Previous studies have evaluated the water quality of the Kaunas Lagoon. According to Karols and Česonienė (2021), total nitrogen (TN) and nitrate nitrogen (NO₃-N) concentrations were above the good ecological potential thresholds at all sampling sites in 2019–2020, while BOD₇ generally met the criteria for good status. However, seasonal assessment of the lagoons' ecological potential was lacking. Furthermore, understanding the dynamics of nutrients and organic matter is essential for evaluating the ecological potential.

The current study aims to evaluate the ecological potential of Kaunas Lagoon using seasonal and spatial data collected between June and October 2025, in accordance with the Lithuanian ecological assessment methodology. The specific objectives of the study are: (1) to analyze seasonal variations of key physicochemical parameters; (2) to compare upstream (Nemunas inflow) and downstream (outflow) water quality; and (3) to determine the overall ecological potential class.

Research methodology

Sample Collection: Water samples were collected from 20 locations between June and October 2025. The sampling network included 18 stations within Kaunas Lagoon and two stations on the Nemunas River (sites #11 and #13). In two lagoon stations, labelled as AP/AG (54°49.700' N, 24°12.695' E), samples were taken from two depths: surface (AP) and 5.2 m (AG) to assess vertical stratification. Sampling was conducted on five separate dates: June 2, July 14, August 18, September 18, and October 22, 2025.

Sampling locations were mapped using QGIS 3.40. Coordinates were imported from a CSV file as point geometry (EPSG:4326-WGS 84) using the Delimited Text Layer tool. A base map was added using the OpenStreetMap XYZ tile layer. Sampling points were represented as red circles (3–5 mm in diameter) with site labels. No interpolation was applied, as the objective was to display exact sampling locations. The sampling area and site distribution are illustrated in Figure 1.

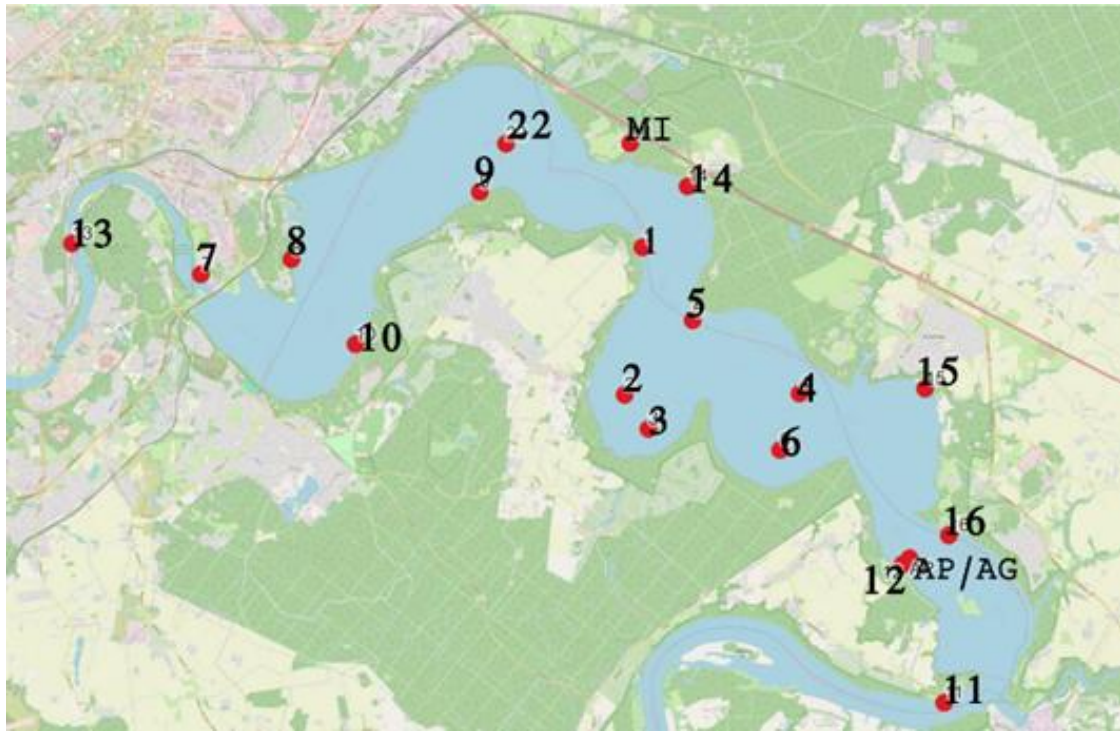


Fig. 1. Spatial distribution of sampling stations to assess water quality patterns in Kaunas Lagoon generated with QGIS

1 pav. Mėginių ėmimo vietų erdvinis išsidėstymas Kauno mariose (sudaryta naudojant QGIS)

Laboratory analysis: Water samples were analyzed using standard laboratory methods. BOD₇ is measured using an oximeter. Nutrient concentrations (NO₃-N, NO₂-N, NH₄-N, PO₄-P) were analyzed using a spectrometer, while total nitrogen was measured with a TOC analyzer.

Data analysis: The Lagoon was assessed by comparing measured values with Lithuanian regulatory thresholds for artificial and heavily modified water bodies. The overall ecological potential class was determined using the one-out-all-out principle based on the Water Framework Directive (WFD). Data normality was tested using the Shapiro–Wilk test. Seasonal differences in total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), and biochemical oxygen demand (BOD₇) were assessed using one-way analysis of variance (Welch's ANOVA). Differences between upstream (site #11) and downstream (site #13) sampling stations were evaluated using an independent-samples t-test. Pearson correlation analysis was conducted to examine the correlation between TN, TP, and BOD₇ concentrations. All statistical analyses were performed using Jamovi statistical software (version 2.6).

Results

Total phosphorus (TP) concentrations showed substantial seasonal variation throughout the sampling period, with concentrations exceeding the ecological potential threshold for heavily modified water bodies (0.030–0.050 mg/L; Figure 2, Table 1). The highest average TP concentration was observed in July (0.450 mg/L) and the lowest in September (0.201 mg/L). The maximum TP value of 1.094 mg/L was detected at site #14, while the minimum level (0.0015 mg/L) was measured at site AP in August. Comparison of seasonal TP levels across all sites showed a significant difference in months of measurement ($p < 0.001$), with the lowest TP levels observed in August and September.

These seasonal differences with the summer peak and late summer decrease suggest a possibility of internal phosphorus loading. During the summer, thermal stratification can create anoxic conditions in the sediments, leading to phosphorus release into the water. The decline in September can be caused by a lack of thermal stratification and vertical mixing.

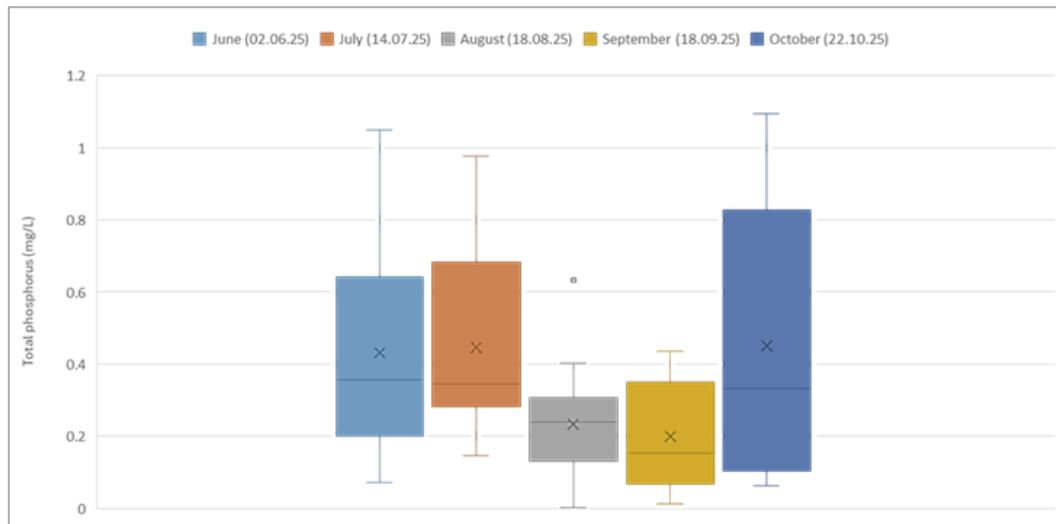


Fig. 2. Seasonal distribution of total phosphorus in Kaunas Lagoon

2 pav. Bendrojo fosforo sezoninis pasiskirstymas Kauno mariose

Table 1. Monthly average concentrations of water quality parameters in Kaunas Lagoon (2025)

1 lentelė. Vandens kokybės rodiklių mėnesinės vidutinės koncentracijos Kauno mariose (2025 m.)

Parameter	June	July	August	September	October
Total Nitrogen (mg/L)	2.92	2.20	2.15	3.38	3.61
Total Phosphorus (mg/L)	0.44	0.45	0.25	0.20	0.44
BOD7 (mg/L)	5.68	4.15	2.03	0.71	0.66

Total nitrogen (TN) levels were above the good ecological potential threshold (1.00–2.00 mg/L) at most sampling sites throughout the study period. The approximate lowest monthly TN average was recorded in August (2.15 mg/L) and the highest in October (3.61 mg/L; Figure 3, Table 1). The maximum TN concentration (4.65 mg/L) was measured at the site AG in October. Comparison of seasonal TN levels across study sites showed a statistically significant difference among months of measurement ($p < 0.001$), with the lowest TN levels in July and August.

Total nitrogen (TN) increased towards autumn, which can be related to rainfall and surface runoff. This can relocate the nutrients from the Nemunas River to the lagoon. The elevated TN at the site AG supports the hypothesis of external nutrient loading, as it is near the river.

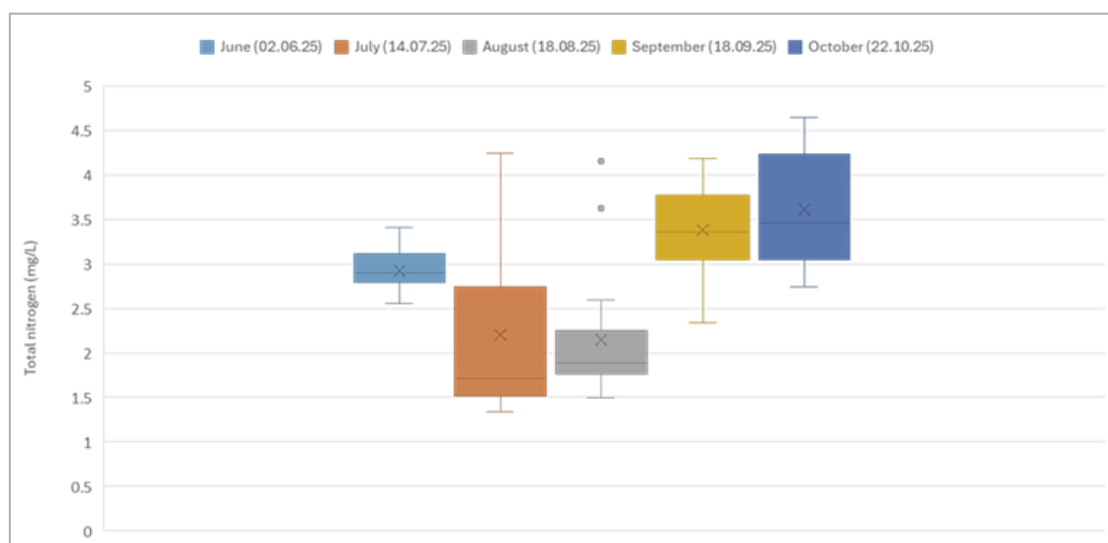


Fig. 3. Seasonal distribution of total nitrogen concentrations in Kaunas Lagoon

3 pav. Bendrojo azoto koncentracijų sezoninis pasiskirstymas Kauno mariose

Biochemical Oxygen Demand (BOD_7) showed notable seasonal fluctuations, with the highest value recorded in June (5.68 mg/L), exceeding the good ecological potential threshold (1.8–3.2 mg/L). The maximum BOD_7 value (7.25 mg/L) was recorded at site AP in July, and the minimum (0.07 mg/L) at sites 15 and 16 in September. At the same time, there was a notable reduction in BOD_7 levels over the months from summer until the autumn (Table 1, Figure 4). Especially, in October, the average BOD_7 level was measured at 0.50 mg/L, classified in the "very good" category. Comparison of BOD_7 levels across the study sites confirmed statistically significant differences between monthly measurements ($p < 0.001$).

The high BOD_7 in early summer was likely due to algal blooms in the water. Warm weather and available nutrients are likely a good environment for algae to grow fast. The decrease of BOD_7 in the autumn could be related to the lagoon being cleaned by less organic matter being entered into the lagoon from the sources.

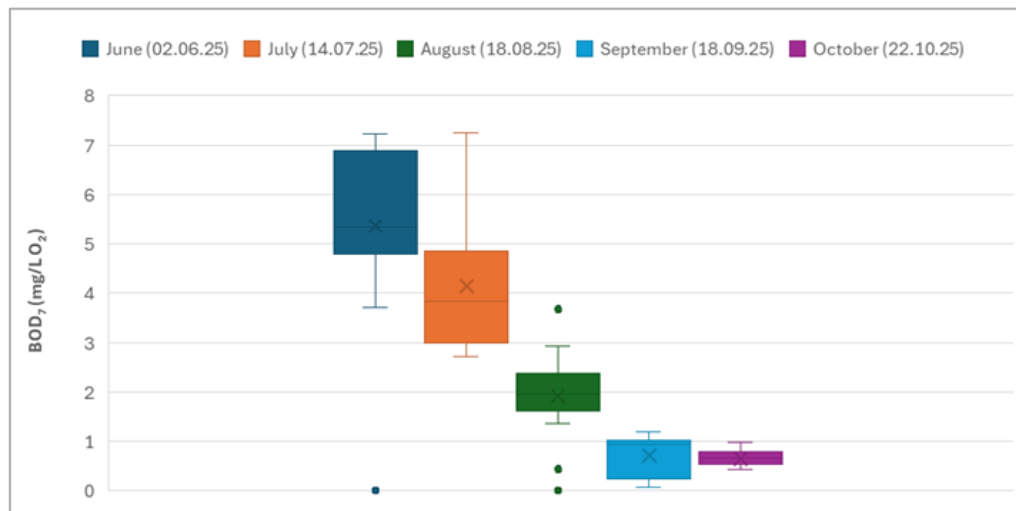


Fig. 4. Seasonal distribution of biochemical oxygen demand (BOD_7) in Kaunas Lagoon

4 pav. Biocheminio deguonies suvartojimo (BDS_7) sezoninis pasiskirstymas Kauno mariose

In the correlation analysis, there was a weak but statistically significant positive correlation between TP and BOD_7 ($r = 0.225$, $p = 0.026$), indicating that higher phosphorus concentrations were associated with increased organic matter levels. At the same time, a moderate negative correlation was observed between TN and BOD_7 ($r = -0.352$, $p < 0.001$), while no significant correlation was detected between TP and TN ($p = 0.518$).

Spatial analysis comparing upstream (site 11, representing Nemunas River inflow) and downstream (site 13, near the dam) stations showed no statistically significant differences in TP ($p = 0.265$), TN ($p = 0.886$), and BOD_7 ($p = 0.433$) concentrations. GIS-based mapping identified areas near the Nemunas River inflow (sites AG, AP, and 22) as having consistently higher nutrient concentrations, particularly for TN and TP, suggesting allochthonous nutrient loading from the river catchment as a primary pressure (Figure 1). The central and western parts of the lagoon generally showed lower nutrient levels, although localized hotspots were observed.

Discussion

The current study analyzed total nitrogen, total phosphorus, and biochemical oxygen demand (BOD_7) levels in the Kaunas Lagoon between June and October 2025. Analysis findings indicate that, based on the worst-indicator principle (Ministry of Environment, 2021), Kaunas Lagoon shows ecological potential characteristic of the lowest category according to the one-out-all-out principle.

Based on the results, total phosphorus exceeded the good ecological potential threshold at all sites throughout the study period, with mean concentrations 3–10 times higher than the threshold. These values are consistent with the EPA 2024 report, which classified the ecological potential of the Kaunas Lagoons as very bad, based on an average TP concentration of 0.129 mg/L. In this case, phosphorus is the main factor that limits the good ecological potential.

At most sites, total nitrogen concentrations exceeded thresholds, with the highest values observed in autumn. Similar seasonal patterns have been reported in other aquatic systems. For example, Lake Yangzong showed elevated concentrations during autumn and winter, indicating continued external nutrient inputs (Xu et al., 2022). Likely, spatial analyses can reveal the presence of external nitrogen loading near the Nemunas River, identifying it as a major nitrogen source.

Biochemical oxygen demand (BOD₇) exceeded thresholds during summer but decreased in autumn. The summer increase is attributed to algal growth stimulated by warm temperatures and nutrient availability. Following algal senescence, oxygen demand rises. The lower BOD₇ levels in autumn suggest that organic pollution persists seasonally and may serve as an indicator of the lagoon's overall health.

Kaunas Lagoon was previously investigated in 2019–2020. According to the Karols and Česonienė findings, BOD₇ concentrations increased from 2.58 mg/L at the beginning of the Kaunas Lagoon to 4.11 mg/L downstream of the dam. In addition to this fact, total nitrogen concentrations increased slightly from 2.89 mg/L at the lagoon inflow to 3.04 mg/L downstream of the reservoir. It suggests that the lagoon may contribute to nitrogen enrichment and organic matter in the Nemunas River. These findings partially agree with our findings, which also reported elevated organic matter and nitrogen concentrations downstream of the Kaunas reservoir (Karols & Česonienė, 2021).

Under the Water Framework Directive (WFD), heavily modified water bodies are evaluated based on the Maximum Ecological Potential, which refers to the best achievable condition that can be reached without restricting their main function (Pinto et al., 2021). Due to permanent hydromorphological alterations, including water-level fluctuations and altered flow regimes, the lagoon cannot attain natural lake quality (Cantonati et al., 2020). Nevertheless, appropriate management measures may still be needed to produce improvements.

Conclusions

1. The ecological potential of Kaunas Lagoon during June–October 2025 was classified as moderate to poor, primarily due to total phosphorus and total nitrogen concentrations exceeding the thresholds defined for heavily modified water bodies.
2. The study revealed clear seasonal variability in water quality parameters: total phosphorus concentrations were highest during summer, total nitrogen increased in autumn, while BOD₇ values peaked in early summer and declined towards autumn.
3. The absence of statistically significant differences in TP, TN, and BOD₇ concentrations between the Nemunas River inflow and the outflow near the dam suggests a relatively homogeneous distribution of nutrients and organic matter within the lagoon during the study period.

References

1. Cantonati, M., Poikane, S., Pringle, C. M., Stevens, L. E., Turak, E., Heino, J., Richardson, J. S., Bolpagni, R., Borrini, A., & Cid, N. (2020). Characteristics, main impacts, and stewardship of natural and artificial freshwater environments: consequences for biodiversity conservation. *Water*, 12(1), 260.
2. Erba, S., Terranova, L., Cazzola, M., Cason, M., & Buffagni, A. (2019). Defining Maximum Ecological Potential for heavily modified lowland streams of Northern Italy. *Science of The Total Environment*, 684, 196–206.
3. Aplinkos apsaugos agentūra. (2024). *Ežerų ir tvenkinių monitoringo rezultatai*. <https://aaa.lrv.lt/lt/veiklos-sritys/vanduo/upes-ezerai-ir-tvenkiniai/valstybinis-upiu-ezeru-ir-tvenkiniu-monitoringas/ezeru-ir-tvenkiniu-monitoringo-rezultatai/>
4. Karols, M., & Česonienė, L. (2021). Kauno marių poveikis Nemuno vandens būklei. In *Proceedings of the 24th Conference for Junior Researchers “Science – Future of Lithuania”*. <https://doi.org/10.3846/aainz.2021.13>
5. Pinto, I., Rodrigues, S., Lage, O. M., & Antunes, S. C. (2021). Assessment of water quality in Aguieira reservoir: Ecotoxicological tools in addition to the Water Framework Directive. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 208, 111583.
6. Visuotinė lietuvių enciklopedija. (n.d.). Kauno marios. <https://www.vle.lt/straipsnis/kauno-marios/>
7. European Parliament & Council of the European Union. (2000). 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. *Official Journal of the European Communities*, L327, 1–73. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32000L0060>
8. Lietuvos Respublikos aplinkos ministras. (2021). *Paviršinių vandens telkinių ekologinės būklės ir ekologinio potencialo nustatymo metodika* (įsakymas Nr. D1-210, su vėlesniais pakeitimais). <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.881D6E973D28/asr>
9. Xu, W., Duan, L., Wen, X., Li, H., Li, D., Zhang, Y., & Zhang, H. (2022). Effects of seasonal variation on water quality parameters and eutrophication in Lake Yangzong. *Water*, 14(17), 2732.

Nazrin Hajiyeva, Anželika Dautartė

Kauno marių ekologinis potencialas

Vytauto Didžiojo universitetas

Biologinės įvairovės nykimas ir klimato kaita kelia reikšmingus aplinkosaugos iššūkius, todėl būtinos veiksmingos Kauno marios yra didžiausias dirbtinis vandens telkinys Lietuvoje ir laikomas stipriai pakeistu vandens telkiniu. Šiame tyrime, taikant dirbtinių ir stipriai pakeistų vandens telkinių ekologinio vertinimo metodiką, buvo įvertinta Kauno marių vandens kokybė remiantis 2025 m. birželio–spalio mėn. surinktų mėginių duomenimis. Sezoninė ir erdvinė analizė parodė, kad bendrojo fosforo koncentracija visose tyrimo vietose viso laikotarpio metu viršijo gero ekologinio potencialo ribą, o vidutinės koncentracijos buvo 3–10 kartų didesnės už nustatytą ribinę vertę. Bendrojo azoto koncentracijos taip pat daugelyje vietų viršijo ribines vertes, ypač rudenį. BDS₇ vasaros mėnesiais viršijo nustatytas ribas, tačiau rudenį vandens kokybė pagerėjo. Apibendrinant galima teigti, kad 2025 m. antroje pusėje Kauno marių ekologinis potencialas, vertinant fosforo, azoto ir organinių medžiagų rodiklius, buvo nuo vidutinio iki prasto.

Raktiniai žodžiai: Kauno marios, ekologinis potencialas, stipriai pakeistas vandens telkinys, Vandens pagrindų direktyva.

Received March, 2026, published April, 2026

Nazrin HAJIYEVA. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Forestry and Ecology, Department of Environment and Ecology, master student. Address: Studentų g. 11, 53361 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 692 76022, e-mail: nazrin.hajiyeva@stud.vdu.lt

Nazrin HAJIYEVA. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Miškų ir ekologijos fakulteto Aplinkos ir ekologijos katedros magistrantė. Adresas: Studentų g. 11, 53361 Akademija, Kauno r., tel. +370 692 76022, el. paštas: nazrin.hajiyeva@stud.vdu.lt

Anželika DAUTARTĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Forestry and Ecology, Department of Environment and Ecology, assoc. prof., Head of Department. Address: Studentu g. 11-518, LT-53362, Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 37 752224, e-mail: anzelika.dautarte@vdu.lt

Anželika DAUTARTĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Miškų ir ekologijos fakulteto Aplinkos ir ekologijos katedros docentė. Adresas: Studentų g. 11-518, 53361 Akademija, Kauno r., tel. +370 37 752 224, el. paštas: anzelika.dautarte@vdu.lt

EKOLOGIŠKO KANAPIŲ SĖKLŲ ALIEJAUS BIOCHEMINIŲ RODIKLIŲ VERTINIMAS

Gabrielė Morkūnienė¹, Daiva Šileikienė¹, Linas Kreiza²

¹Vytauto Didžiojo universitetas, ²E. H. Jastramsko ekologinis ūkis

Augant ekologinės gamybos reikšmei aplinkai, ekologinis žemės ūkis tampa ypač svarbus klimato kaitos ir tvaraus vystymosi kontekste. Tyrimo tikslas – įvertinti pluoštinių kanapių (*Cannabis sativa* L.) sėklų aliejaus, užauginto ekologinėje ir neekologinėje žemės ūkio sistemose, kokybę, taikant biocheminių rodiklių analizę. Tyrime vertinti keturi kanapių sėklų aliejaus mėginiai iš skirtingų auginimo sistemų. Aliejaus kokybę vertinta nustatant pH, savitąjį elektros laidį (SEL), redokso potencialą, drėgmę, rūgštingumą ir apskaičiuojant energijos P vertę. Duomenų analizei taikytas nepriklausomų imčių t testas. Tyrimo rezultatai parodė, kad pH, SEL ir redokso potencialo skirtumai tarp mėginių nebuvo statistiškai reikšmingi ($p > 0,05$), tačiau E. H. Jastramsko ekologinio ūkio aliejus pasižymėjo didesniu vidiniu stabilumu pagal energijos P vertę. Gauti duomenys patvirtina, kad aliejaus kokybę grindžiama kompleksiskai vertinant biocheminius ir energetinius rodiklius.

Raktiniai žodžiai: ekologinis žemės ūkis, kanapių sėklų aliejus, biocheminiai rodikliai, aliejaus stabilumas, tvarumas.

Įvadas

Klimato kaita yra didžiausias šiandienos iššūkis, kuris veikia auginamos produkcijos kokybę, cheminę sudėtį, maistinę ir energetinę vertę bei produkcijos stabilumą (IPCC, 2023, European Commission, n.d.). Grigorjeva ir kt. (2023) savo atliktoje tyrimų analizėje atkreipia dėmesį, kad klimato kaita sukuria svyravimus ir ekstremalius pokyčius, kurie lemia temperatūrų svyravimus, sausras, dirvožemio degradaciją. Pastarasis aspektas lemia riebalų rūgščių pakitimus ir suintensyvėjusius oksidacinius procesus augaliniuose aliejuose, todėl tvarus ekologinis ūkininkavimas ir produkcija, kuri orientuota į dirvožemio apsaugą yra neatsiejama būtinybė.

Daugelis mokslininkų, tarp jų ir Yang ir kt. (2024) atkreipia dėmesį į tai, kad žemės ūkis, kaip sistema, aprūpina maistu, tačiau jis prisideda prie šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų augimo ir tyrėjai savo tyrimuose kalba, kad žemės ūkio perėjimas prie tvarios gamybos gali būti sprendimas klimato kaitai sušvelninti. Ekologinis žemės ūkis yra alternatyva, galinti sumažinti neigiamą poveikį aplinkai, didinti anglies kaupimą dirvožemyje ir užtikrinti tvarų išteklių naudojimą (Bocean, 2025; Boshiero ir kt., 2023).

Pluoštinės kanapės (*Cannabis sativa* L.) per pastarąjį dešimtmetį sulaukia daug dėmesio dėl jų atsparumo ligoms ir kenkėjams, daug mažesnio vandens ir trąšų poreikio bei gebėjimo prisidėti prie anglies sekvstracijos (Jansen ir kt., 2022; Žydelis ir kt., 2022). Kanapių aliejus yra priskiriamas supermaistui, kaip funkcionalus produktas pasižymintis palankia riebalų rūgščių sudėtimi, tačiau, skirtingai nei kiti aliejai, kanapių aliejaus kokybė dažnai priklauso nuo to, kokia buvo žaliavos kilmė, jos technologinis apdorojimas (Madhu Kamle ir kt., 2024). Nors pluoštinės kanapės potencialas didelis, nėra pakankamai atlikta tyrimų, įvertinant jų biocheminių ir elektrocheminių parametų pokyčius keičiantis klimatui, tai nėra pakankamai ištirta sritis, todėl kokybės rodiklių, tokių kaip rūgščių skaičius, drėgmė, pH ar oleino rūgšties kiekis, analizė leidžia geriau suprasti tiek kanapės kaip žaliavos stabilumą, tiek pačios gamybos jautrumą aplinkos pokyčiams (Gerasimenko ir Tur'yan, 2012; Callaway, 2019). Atlikto tyrimo tikslas – įvertinti pluoštinių kanapių (*Cannabis sativa* L.) sėklų aliejaus, užauginto ekologinėje ir neekologinėje žemės ūkio sistemose, kokybę, taikant biocheminių rodiklių analizę.

Tyrimų metodika

Tyrimas atliktas siekiant palyginti ekologinėje ir neekologinėje žemės ūkio sistemoje užaugintų pluoštinių kanapių sėklų aliejaus kokybę. Tyrimo mėginiams buvo pasirinkti keturi kanapių sėklų aliejaus mėginiai, aliejus įsigytas iš ekologinio E. H. Jastramsko ekologinio kanapių ūkio (toliau – EKO_J) ir trys komerciniai aliejai įsigyti skirtingose prekybos vietose, iš kurių du ekologiški (toliau – EKO_B ir EKO_V) ir vienas neekologiškas (toliau – IPR_1).

Aliejų kokybę vertinta taikant biocheminių rodiklių analizę. Tyrimai buvo atliekami Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Miškų ir ekologijos katedros Aplinkos tyrimų laboratorijoje. Tyrimo pradžioje visi 4 mėginiai buvo išimti iš šaldytuvo ir palikti 20 min., kad prisitaikytų prie laboratorijos patalpos temperatūros (20 °C). Toks aliejaus laikymas leido tyrimo eigoje išvengti temperatūrinių svyravimų ir jų įtakos tolimesniems tyrimams, įvertinant pH, savitąjį elektros laidį (toliau – SEL), redokso potencialą. pH, SEL, rūgštingumo nustatymo tyrimas buvo atliktas tą pačią dieną po atidarymo, o redokso potencialo ir drėgmės kiekio kanapių aliejuje nustatymo tyrimai buvo atlikti kitu metu. Aliejaus mėginiai buvo sandariai uždaryti,

siekiant suvaldyti oksidacijos riziką iki minimalios. Tyrime siekiama palyginti aliejus, o ne įvertinti jų pokyčius, todėl skirtingi tyrimų laikotarpiai nėra reikšmingi šiame tyrime.

1 lentelė. Kanapių sėklų aliejaus kokybės vertinimo rodikliai ir analizės metodai

Table 1. Quality assessment indicators and analytical methods of hemp seed oil

Vertinimo rodiklis <i>Investigated parameter</i>	Tyrimo pagrindimas <i>Rationale for assessment</i>	Analizės metodas <i>Analytical method</i>
Rūgščių kiekis, mg KOH/g <i>Total acid content, mg KOH/g</i>	Siekiant įvertinti aliejaus rūgštingumo pobūdį ir galimus hidrolizės procesus, nes rūgštingumo, t. y. laisvųjų riebalų rūgščių kiekis nusako aliejaus kokybę, įvertinus rūgščių vertes, įvertiname kaip intensyviai veikia oksidaciniai procesai. Galime įvertinti oksidacijos greitį, nes jis siejamas su dideliu rūgštingumu, vadinasi, kuo didesnis rūgštingumo rezultatas, tuo aliejaus stabilumas yra mažesnis ir gali keisti skonį, spalvą ir galiojimo terminą. (Flores ir kt., 2021).	ISO 660:2009
Savitasis elektros laidis (SEL), S/cm <i>Electrical conductivity (EC), S/cm</i>	SEL gali atspindėti technologinio apdorojimo ar laikymo sąlygas bei oksidacinius ir hidrolizinius pokyčius (Jana ir kt., 2024). Todėl šis rodiklis yra svarbus, siekiant įvertinti aliejaus kokybę. Naudotas standartas yra adaptuotas vandens kokybės tyrimui, tačiau šiame tyrime buvo naudojamas aliejus, nes SEL yra jonų matavimas vandens terpėje, todėl aliejus, sumaišytas su vandeniu atitinka standartą.	LST EN 27888:1999
Redokso potencialo reikšmė (Eh), mV <i>Redox potential value, mV</i>	Leidžia įvertinti oksidacinę stadiją, nes parodo elektronų perdavimą ir gebėjimą veikti kaip oksidatoriui arba reduktoriui. Atlikdami šį tyrimą, gauname visą reikalingą informaciją apie aliejuje vykstančius lipidų oksidacijos procesus ir jų mastą (Flores ir kt., 2021).	Potenciometras su stiklo elektrodu
pH <i>pH value</i>	Augalinis aliejus neturi vienareikšmiškai apibrėžto pH, nes jame nėra vandens fazės, todėl nevyksta vandenilio jonų aktyvumas. Gauti rezultatai yra laikomi netiesioginiu, bet atspindinčiu hidrolizės ir oksidacijos procesus, o ne absoliutų rūgštingumą, rodikliu. Literatūra apibrėžia, kad šviežių, tik išspausėtų aliejų pH svyruoja nuo 6,0-7,0 pH, o nukrypimai nuo šio skaičiaus yra siejami su gedimo procesais (Flores ir kt., 2021). Todėl šiame tyrime pH yra vertinamas kompleksiskai su kitais biocheminiais rodikliais.	Potenciometras su stiklo elektrodu
Drėgmė, % <i>Moisture content, %</i>	Augaliniame aliejuje drėgmė yra vienas svarbiausių rodiklių vertinant kokybę, nes net maži kiekiai vandens (0,01-0,5 proc.) gali pagreitinti riebalų rūgščių hidrolizę ir paskatinti peroksido formavimąsi bei lemti aliejaus kokybę po atidarymo. Gharby ir kt. (2025) teigė, kad aliejus, kuris turi daug polinesočiųjų rūgščių, tai būtent kanapių aliejus, yra tiesiogiai susijęs su drėgmės kiekiu, kuris yra tiesiogiai susijęs su oksidaciniu nestabilumu ir rizika, kad gali susidaryti hidrolizės produktai.	Džiovinimas džiovyklėje, 110 C temperatūroje, 60 min.

Šiame tyrime buvo apskaičiuota energetinė P vertė, kuri apjungia pH, redokso potencialo ir SEL duomenis bei leidžia įvertinti aliejaus vidinį energijos balansą, bei cheminį stabilumą. Maža energetinė P vertė yra siejama su stabilia oksidacine būsena ir maža hidrolizės rizika, o būtent šis veiksnys atitinka augalinių aliejų kokybės vertinimo principą (Flores ir kt., 2024). Šiame tyrime P vertė leidžia kompleksiskai palyginti skirtingus aliejus tarp gamybos sistemų ir paaiškinti bei pagrįsti jų stabilumą tvarios gamybos atžvilgiu (Suardi ir kt., 2024; Jensen ir kt. 2022). Energetinė P vertė buvo apskaičiuota pagal formulę:

$$P = [29,07 (rH - 2pH)]^2 \times rho - 1, \quad (1)$$

čia rH – absoliuti redokso potencialo skaitinė vertė;

rho – perskaičiuotas savitasis elektros laidis;

pH – vandenilio jonų koncentracija (pH įvertinimo intervalas nuo 0 iki 14).

2 lentelė. Kanapių sėklų aliejaus mėginių kodų identifikacija – legenda**Table 2. Identification of hemp seed oil sample codes – legend**

Mėginio kodas <i>Sample code</i>	Mėginio aprašymas <i>Sample description</i>
EKO_J	E. H. Jastramsko ekologinio ūkio kanapių sėklų aliejaus mėginys.
EKO_B	Ekologiškas komercinis kanapių sėklų aliejus, įsigytas prekybos vietoje.
EKO_V	Ekologiškas komercinis kanapių sėklų aliejus, įsigytas prekybos vietoje.
IPR_1	Neekologiškas, komercinis kanapių sėklų aliejus, įsigytas prekybos vietoje.

Pasirinktos metodikos pagrindu kanapių sėklų aliejaus kokybiniam vertinimui atlikti pH, redokso potencialo, savitojo elektros laidžio, drėgmės bei rūgščių kiekių matavimai.

Rezultatai ir aptarimas

Gauti rezultatai parodė, kad visų mėginių pH reikšmės yra artimos neutraliai terpei, o statistiškai reikšmingų skirtumų tarp aliejaus gamybos sistemų nenustatyta. Tyrimai rodo, kad pH rodiklis augaliniuose aliejuose labiau priklauso nuo oksidacijos bei hidrolizės procesų nei nuo auginimo sistemos (Flores ir kt., 2021). SEL skirtumai tarp mėginių yra nedideli, tačiau IPR_1 aliejus pasižymėjo žemesniu SEL, kas gali rodyti mažesnę jonizuotų priemaišų kiekį. Panašias tendencijas pastebi kiti tyrimai, siejantys SEL su technologiniu grynumu ir mažesniu polinių junginių kiekiu (Radu ir kt., 2024). Redokso potencialo analizė nustatė, kad EKO_J mėginys pasižymėjo žemiausiomis reikšmėmis, todėl gali būti laikomas stabilesniu oksidaciniu požiūriu, lyginant su kitais aliejais. Drėgmės kiekis visuose mėginiuose buvo labai mažas, o neigiama IPR_1 reikšmė siejama su kondensatu drėgmės absoravimu iš aplinkos ar temperatūrų svyravimais, kurie galėjo lemti svėrimų paklaidą. Tokie svyravimai būdingi mažos drėgmės terpėms, ypač aliejui, ir siejami su matavimo jautrumu bei aplinkos sąlygų įtaka rezultatams (Flores ir kt., 2021). Energetinė P vertės analizė parodė, kad EKO_J aliejus pasižymėjo didesniu vidiniu stabilumu, o tai leidžia teigti, jog ekologinės gamybos žaliava gali prisidėti prie palankesnių energetinių ir struktūrinių aliejaus savybių. Tai patvirtina ir kitų autorių išvados (Suardi ir kt., 2024; Jensen ir kt., 2022).

Rūgščių skaičius, kaip laisvųjų riebalų rūgščių kiekį ir hidrolizės procesus atspindintis rodiklis, parodė, kad mėginiuose šios reikšmės išlieka žemos. Kanapių sėklų aliejus pasižymi dideliu nesočiųjų riebalų rūgščių, ypač oleino rūgšties kiekiu, todėl jo rūgštingumas jautrus technologiniams ir laikymo veiksniams. Gauti rezultatai rodo, kad reikšminga riebalų hidrolizė nevyko, o aliejai išlaikė gerą cheminį stabilumą. Tai patvirtina, kad abiejų sistemų kanapių sėklų aliejai išlaikė būdingą, oleino rūgštimi paremtą, struktūrinį stabilumą.

3 lentelė. Nepriklausomų imčių t testo rezultatai kanapių sėklų aliejaus tiriamų rodiklių palyginimui**Table 3. Results of the independent samples t-test for comparison of hemp seed oil parameters**

Kanapių sėklų aliejaus gaminio pavadinimas <i>Product name of hemp seed oil</i>	pH <i>pH value</i>		Savitasis elektros laidis (SEL), S/cm <i>Electrical conductivity (EC), S/cm</i>	
	<i>t-test</i>	<i>p</i>	<i>t-test</i>	<i>p</i>
EKO_J ir EKO_V	-0,97838	0,383282	0,352288	0,742400
EKO_J ir EKO_B	-0,09769	0,926878	0,497531	0,644922
EKO_J ir IPR_1	0,35864	0,737993	0,209025	0,844642
EKO_V ir EKO_B	0,73869	0,501091	0,150662	0,887535
EKO_V ir IPR_1	1,34297	0,250421	-0,142523	0,893558
EKO_B ir IPR_1	0,39819	0,710827	-0,290220	0,786072
Kanapių sėklų aliejaus gaminys <i>Product name of hemp seed oil</i>	Redokso potencialo reikšmė (Eh), mV <i>Redox potential value, mV</i>		Drėgmė, % <i>Moisture content, %</i>	
	<i>t-test</i>	<i>p</i>	<i>t-test</i>	<i>p</i>
EKO_J ir EKO_V	-1,75446	0,742400	0,20593	0,846901
EKO_J ir EKO_B	-2,00641	0,644922	1,68579	0,167115
EKO_J ir IPR_1	0,67058	0,844642	-0,59789	0,582117
EKO_V ir EKO_B	-0,56389	0,887535	1,51328	0,204763
EKO_V ir IPR_1	1,51983	0,893558	-0,74915	0,495418
EKO_B ir IPR_1	1,82160	0,786072	-2,04748	0,110005

Kanapių sėklų aliejaus gaminys <i>Product name of hemp seed oil</i>	Rūgščių kiekis, mg KOH/g <i>Total acid content, mg KOH/g</i>		Oleino rūgštis (%) <i>Oleic acid (%)</i>	
	<i>t-test</i>	<i>p</i>	<i>t-test</i>	<i>p</i>
EKO_J ir EKO_V	-60,5970	0,000000	-39,8917	0,000002
EKO_J ir EKO_B	14,7442	0,000123	-40,3523	0,000002
EKO_J ir IPR_1	-35,6802	0,000004	-55,1135	0,000001
EKO_V ir EKO_B	73,4372	0,000000	6,5818	0,002759
EKO_V ir IPR_1	27,3206	0,000011	5,0349	0,007308
EKO_B ir IPR_1	-49,9673	0,000001	-2,8823	0,044909

Remiantis gautais nepriklausomų imčių t testo rezultatais (3 lentelė) nustatyta, kad nei viena tiriamų aliejų pora, vertinant pH, SEL, redokso potencialą ir drėgmės kiekį, nepasižymėjo statistiškai reikšmingais skirtumais. Tačiau buvo nustatytas statistiškai reikšmingas ryšys tarp rūgščių skaičiaus ir oleino rūgšties kiekio.

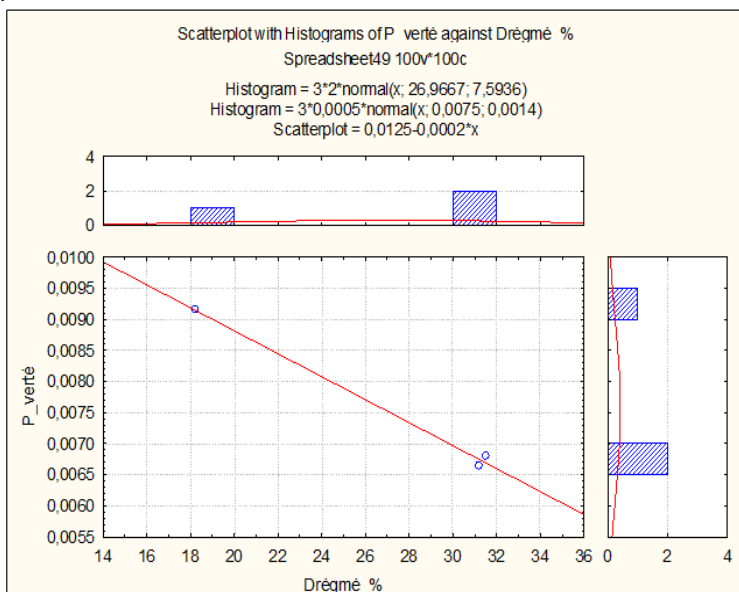
Apibendrinus rezultatus, galima teigti, kad aliejų skirtumai atsiskleidžia per oleino rūgščių kiekį ir rūgščių skaičių.

4 lentelė. Energetinė P kanapių sėklų aliejaus vertė

Table 4. Energy P value of hemp seed oil

Kanapių sėklų aliejaus gaminys	EKO_J	EKO_V	EKO_B	IPR_1
P (μW)	0,014	0,011	0,010	0,012

Apskaičiuotos elektrocheminės energijos rodiklio energetinė P vertė (4 lentelė) skirtinguose kanapių sėklų aliejaus mėginiuose skiriasi nežymiai. Didžiausia energijos P vertė nustatyta EKO_J aliejuje (0,014), o mažiausia EKO_B mėginyje (0,010). Apibendrinus gautus rezultatus, galima daryti išvadą, kad energijos P vertės tarp skirtingų kanapių sėklų aliejaus mėginių skaitinėmis vertėmis yra panašios ir statistiškai reikšmingo skirtumo nenustatyta.



1 pav. Energijos P vertės priklausomybė nuo drėgmės procento

Fig. 1. Dependence of the energy p-value on humidity percentage

Įvertinus atliktą sklaidos diagramą (1 pav.), nustatyta aiški neigiama priklausomybė tarp drėgmės ir pH verčių – didėjant drėgmės kiekiui, mažėja pH rodiklis. Apibendrinus gautus rezultatus, galime teigti, kad drėgmė didina oksidacinių procesų intensyvumą ir rūgština terpę. Apibendrinus visų atliktų biocheminių tyrimų gautus rezultatus, galima teigti, kad tirtų kanapių sėklų aliejaus mėginiai rodo panašias biochemines savybes. Aiškūs statistiškai reikšmingi skirtumai nustatyti tarp rūgščių skaičiaus ir oleino rūgšties kiekio. Teigiamos ir neigiamos koreliacijos rodo procesų pokyčius įvairiomis kryptimis. Įvertinus gautus įverčius, stipriausiai aliejaus kokybę lemia riebalų rūgščių sudėtis.

Išvados

1. Biocheminių rodiklių, tokių kaip pH, savitasis elektros laidis, redokso potencialo reikšmė bei drėgmė, skaitinės vertės statistiškai reikšmingai nesiskyrė. Nustatytas statistiškai reikšmingas ryšis tarp rūgščių skaičiaus ir oleino rūgšties kiekio.
2. Energijos P vertė tarp tirtų skirtingų kanapių sėklų aliejaus mėginių statistiškai reikšmingai nesiskyrė, tačiau stebima tendencija, kad palankesnės skaitinės vertės žmogaus organizmui nustatytos ekologinės žemės ūkio gamybos sistemoje.
3. Drėgmės kiekis kanapių sėklų aliejuje gali veikti oksidacinių procesų intensyvumą ir rūgštinti aliejaus terpę. Nustatyta, kad drėgmės kiekis tiesiogiai lemia aliejaus terpės rūgštėjimą ir daro ją mažiau palankią žmogaus organizmui.

Literatūra

1. Bocean, C. G. (2025). The role of organic farming in reducing greenhouse gas emissions from agriculture in the European Union. *Agronomy*, 15(1), 198. https://www.researchgate.net/publication/388045494_The_Role_of_Organic_Farming_in_Reducing_Greenhouse_Gas_Emissions_from_Agriculture_in_the_European_Union
2. Boschiero, M., De Laurentiss, V., Caldeira, C. ir Sala, S. (2023). Comparison of organic and conventional cropping systems: Asystematic review of life cycle assessment studies. *Environmental Impact Assessment Review*, 102, 10787. <https://www.sciencedirect.com.ezproxy.vdu.lt:2443/science/article/pii/S0195925523001531>
3. Callaway, J. C. (2019). *FINOLA Developmental Morphology*. https://finola.fi/wp-content/uploads/2019/12/Finola_Development_and_Morphology.pdf
4. IPCC. (2023). AR6 synthesis report: Climate change 2023. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>
5. Flores, M., Avendaño, V., Bravo, J., Valdés, C., Forero-Doria, O., Quitral, V., Vilcanqui, Y., ir Ortiz-Viedma, J. (2021). Edible Oil Parameters during Deterioration Processes. *International Journal of Food Science*, 2021, 7105170. <https://doi.org/10.1155/2021/7105170>
6. Gerasimenko, E. O. ir Tur'yan, Ya. I. (2012). Automated flow pH-method for the determination of total free fatty acids content in edible oils. *Food Chemistry*, 132(3), 1562–1565. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.11.094>
7. Gharby, S., Asbbane, A., Ahmed, M. N., Gagour, J., Hallouch, O., Oubannin S., Bijla, L., Goh, K. W., Bouyahya, A., Ibourki, M. (2025). Vegetable oil oxidation: Mechanisms, impacts on quality, and approaches to enhance shelf life, *Food Chemistry: X*, 28, 102541, ISSN 2590-1575, <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.102541>
8. Grigorieva, E., Livenets, A. ir Stelmakh, E. (2023). Adaptation of agriculture to climate change: A scoping review. *Climate*, 11(10), 202. <https://www.mdpi.com/2225-1154/11/10/202>
9. Jana, S. R., Shiek, J. ir Ponnusamy, M. (2024). Green dielectric exploration: spectrographic analysis and technical feasibility of vegetable oils in EDM via PIV, TOPSIS, and MOORA evaluation methods. *Discover Applied Sciences*, 6(10). <https://doi.org/10.1007/s42452-024-06157-w>
10. Jensen, G., Meyer, G. ir Dissanayake, S. T. M. (2022). *Industrial hemp: A review of economic potential, carbon sequestration, and bioremediation*. Portland State University – Institute of Sustainable Solutions. <https://www.pdx.edu/sustainability/sites/sustainability.web.wdt.pdx.edu/files/2022-09/Industrial%20Hemp%20%20A%20review%20of%20economic%20potential%20carbon%20sequetra tion%20and%20bioremediation%20ver16%20August18%202022.pdf>
11. Madhu Kamle, Dipendra Kumar Mahato, Sharma, B., Gupta, A., Ajay Kumar Shah, Mahmud, C., Agrawal, S., Singh, J., Prasad Rasane, Amrutesh Chandra Shukla ir Kumar, P. (2024). Nutraceutical potential, phytochemistry of hemp seed (*Cannabis sativa* L.) and its application in food and feed: A review. *Food Chemistry advances*, 4, 100671-100671. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772753X24000674>
12. Radu, M. C., Herghelegiu, E., Tampu, C., Chirita, B., Schnakovszky, C., Radu, P. ir Ghiorghe, O. (2024). Use of vegetable oils as dielectric fluids for electrical discharge machining. A case study. *Heliyon*, 10(11), e31772–e31772. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31772>
13. Suardi, A., Bravo, I., Beni, C., Papetti, P. ir Rana, R. L. (2024). Carbon footprint of hemp and sunflower oil in southern Italy: A case study. *Ecological Indicators*, 160, 111786-111786. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X24002437>
14. Yang, Y., Tilman, D., Jin, Z., Smith, P., Barrett, C. B., Zhu, Y. G., Burney, J., D'Odorico, P., Fantke, P., Fargione, J., Finlay, J. C., Rulli, M. C., Sloat, L., West, J.P. C., Ziska, L., Michalak, A. M., Lobell, D. B.,

- Clark, M. ir Colquhoun, J. (2024). Climate change exacerbates the environmental impacts of agriculture. *Science*, 385 (6713). <https://www.science.org/doi/10.1126/science.adn3747>
15. Žydelis, R., Herbst, M., Weinhermüller, L., Ruzgas, R., Volungevičius, J., Barčauskaitė, K. ir Tilvikienė, V. (2022). Yield potential and factors influencing yield gap in industrial hemp cultivation under nemoral climate conditions. *European Journal of Agronomy*, 139, 126576. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1161030122001241?via%3Dihub>

Gabrielė Morkūnienė¹, Daiva Šileikienė¹, Linas Kreiza²

Evaluation of the Biochemical Indicators of Organic Hemp Seed Oil

¹Vytautas Magnus University, ²Lithuania, E. H. Jastramskas Organic Farm, Lithuania

With the increasing importance of environmentally friendly production, organic agriculture is becoming particularly significant in the context of climate change and sustainable development. The aim of the study was to evaluate the quality of hemp (*Cannabis sativa L.*) seed oil produced in organic and conventional agricultural systems using biochemical parameter analysis. Four hemp seed oil samples from different cultivation systems were analysed. Oil quality was assessed by determining pH, electrical conductivity (EC), redox potential, moisture content, acidity, and by calculating the energy P value, while data were analysed using an independent samples t-test. The results showed that differences in pH, EC, and redox potential among the samples were not statistically significant ($p > 0.05$); however, oil from E. H. Jastramskas organic farm exhibited higher internal stability based on the energy P value. The findings confirm that oil quality is determined through a comprehensive evaluation of biochemical and energetic parameters.

Keywords: Organic agriculture, hemp seed oil, biochemical indicators, oil stability, sustainability.

Gauta 2026 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2026 m. kovo mėn.

Gabrielė MORKŪNIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Aplinkos ir ekologijos katedros magistrantė. Adresas: Studentų g. 15a, LT-53362, Akademija, Kauno r., tel. +370 676 52622, el. paštas: gabriele.morkuniene@stud.vdu.lt

Gabriele MORKUNIENE. Master's student at the Department of Environment and Ecology, Agriculture Academy, Vytautas Magnus University. Address: Studentų str. 15a, LT-53362 Akademija, Kaunas dist., Lithuania. Phone: +370 676 52622, e-mail: gabriele.morkuniene@stud.vdu.lt

Daiva ŠILEIKIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Aplinkos ir ekologijos katedros docentė. Studentų g. 15a, LT-53362, Akademija, Kauno r., tel. +370 652 55443, el. paštas: daiva.sileikiene@vdu.lt

Daiva SILEIKIENE. Associate Professor at the Department of Environment and Ecology, Agriculture Academy, Vytautas Magnus University. Address: Studentų str. 15a, LT-53362 Akademija, Kaunas dist., Lithuania. Phone: +370 652 55443, e-mail: daiva.sileikiene@vdu.lt

Linas KREIZA. E. H. Jastramsko ekologinis ūkis. Šventėžio g. 44, LT-67205, Šventėžio k., Lazdijų r., +370 600 3148, el. paštas: info@ekologinis.lt

Linas KREIZA. E. H. Jastramskas Organic Farm. Address: Šventėžio str. 44, LT-67205 Šventėžis Village, Lazdijai dist., Lithuania. Phone: +370 600 3148, e-mail: info@ekologinis.lt

PENICILLIUM LINK, 1809 GENTIES GRYBAI PUŠYNO DIRVOŽEMYJE

Simas Kasputis, Jurgita Švedienė

Valstybinis mokslinių tyrimų institutas Gamtos tyrimų centras

Miškų ekosistemos yra svarbūs biologinės įvairovės centrai, o didelė šios įvairovės dalis slypi miško dirvožemyje. Jame gyvenantys mikroorganizmai atlieka svarbias funkcijas, tokias kaip organinių medžiagų skaidymas, mineralizacija ir humuso formavimas, todėl jie yra labai svarbūs dirvožemio funkcionavimui. Viena iš gausiausių mikroskopinių grybų genčių yra *Penicillium*, kurių šiuo metu žinoma apie 354 rūšis. Gamtoje šie grybai prisideda prie augalų augimo, didina fosforo prieinamumą ir gamina įvairius bioaktyvius junginius. Darbo tikslas: išskirti ir identifikuoti *Penicillium* genties mikroskopinius grybus iš pušyno viršutinio dirvožemio sluoksnio. Tyrimo metu nustatyta, kad tirtu pušyno OH dirvožemio horizonte mikroskopinių grybų kolonijas sudarančių vienetų (KSV) skaičius siekė $(3,6 \pm 0,2) \times 10^{-4}$ KSV/ab.s.d.g., o M horizonte $(5,3 \pm 0,2) \times 10^{-3}$ KSV/ab.s.d.g. Iš tirtu pušyno miško dirvožemio buvo išskirti 39 mikroskopinių grybų izoliatai (OH – 13; M – 26), iš kurių 19 priklausė *Penicillium* genčiai. Identifikuotos 6 *Penicillium* genties grybų rūšys: *P. montanense*, *P. flavisclerotiatum*, *P. subspinosum*, *P. corylophilum*, *P. chrysogenum* ir *P. daleae*. Nustatyta, kad *P. chrysogenum* ant YES, CYA ir MEA agarizuotų terpių augo sparčiau nei *P. daleae*, taip pat *P. chrysogenum* pasižymi stipresniu rūgščių produkavimu nei *P. daleae*.

Raktiniai žodžiai: *Penicillium*, dirvožemis, pušynas, bioįvairovė.

Įvadas

Miškai yra viena didžiausių ir svarbiausių Žemės ekosistemų, kuri užima didesnę nei 40 milijonų km² plotą, o tai sudaro 30 % viso pasaulio sausumos ploto (Keenan et al., 2015). Miškų ekosistemos – pasaulinės biologinės įvairovės židiniai, turintys didelę reikšmę ekologiniu ir ekonominiu požiūriu (Diaz et al., 2006). Yra žinoma, kad reikšminga miškų biologinės įvairovės dalis būtent ir slypi miško dirvožemyje. Jame esantys mikroorganizmai dalyvauja daugelyje svarbių procesų, įskaitant organinių medžiagų skaidymą, mineralizaciją ir humifikaciją (Hartman et al., 2012). Nepaisant to, paskelbtų mokslinių publikacijų apie dirvožemio mikroorganizmų bendrųjų sudėtį nėra daug ir jis vis dar yra fragmentiškas (Žifčáková et al., 2016), nors dirvožemio mikroorganizmų bendrųjų įvairovė ir sudėtis turi didelę įtaką jo funkcionavimui (Klimek et al., 2016).

Penicillium Link, 1809 genties mikroskopiniai grybai priklauso Ascomycota skyriui ir šiai dienai yra patvirtinta apie 354 rūšių, tai yra viena iš skaitlingiausių mikroskopinių grybų genčių. *Penicillium* genties grybų kolonijos auga greitai, yra žalsvos spalvos (kartais balsvos), sudarytos iš tankiai susiformavusių konidijakočių. Šakų skaičius, esantis ant konidijakočių, yra pagrindinis požymis, padedantis atskirti rūšis. *Penicillium* genties grybai formuoja trumpesnes ar ilgesnes konidijų grandinėles ant filiadžių, o pačios konidijos yra rutuliškos, elipsiškos arba spygliuotos (Srinivasan et al., 2020). *Penicillium* spp. mikroskopiniai grybai gamtoje atlieka daug funkcijų: didina fosforo biologinį prieinamumą, gamina augalų augimą skatinančius fitohormonus, gamina sideroforą, amoniaką ir kitus bioaktyvius junginius (Khan et al., 2008; Leitão & Enguita, 2016), jie taip pat gali būti naudojami ir bioremediacijai (Bhargavi & Savitha, 2014). *Penicillium* genties mikroskopiniai grybai yra vieni svarbiausių vaistų gamybos srityje (Tiwari et al., 2011). Nustatyta, kad *Penicillium* genties atstovai gamina daugiau nei 900 mums žinomų bioaktyvių junginių (Berdy, 2005). Be to, iš *Penicillium* buvo išskirti vienos svarbiausių farmacinių medžiagų (penicilinas, kompaktinas) taip pat žinoma, kad jie gali gaminti labai toksiškus mikotoksinus (Kamel & Rashed, 2014). Dėl didžiulės įvairovės ir jų gebėjimo augti įvairiose sąlygose, *Penicillium* genties mikroskopiniai grybai turi didelį potencialą panaudojimui įvairioms aplinkosaugos, biotechnologinėms ir pramonės reikmėms (Yadav et al., 2018). Šio tyrimo tikslas buvo išskirti ir identifikuoti *Penicillium* (*Aspergillaceae*, *Eurotiales*) genties mikroskopinius grybus iš pušyno viršutinio dirvožemio sluoksnio.

Tyrimų metodika

Tyrimui atlikti buvo pasirinktas brandus pušynas, kuriame vyraujanti medžių rūšis buvo paprastoji pušis (lot. *Pinus sylvestris* L., 1753). Dirvožemio mėginiai buvo imami 2025 m. rugpjūčio mėnesį Švenčionių rajone, Strūnaičio seniūnijoje, Eglynėlio miške ties Kulbokiškės kaimu (55°00.353' N, 26°09.724' E). Miško dirvožemio tipas – pasotintasis smėlžemis (*Eutric ARENOSOL*). Mikroskopiniai grybai buvo išskiriami iš 0–15 cm gylio viršutinio dirvožemio sluoksnio (pašalinus paviršines nuokritas, augalus bei kitas stambias priemaišas), naudojant serijinio praskiedimo metodą. Tinkamo praskiedimo suspensija po 100 µL sėjama ant Rose Bengal (Liofilchem, Italija) agarizuotos terpės su 250 mgL⁻¹ chloramfenikolio, kuris slopina bakterijų augimą. Lekštelės su pasėliais buvo inkubuotos termostate 26 ± 1°C temperatūroje 5 paras. Bandymas atliekamas 2 pakartojimais. Praėjus nustatytam laiko tarpui buvo skaičiuojamos išaugusių mikroskopinių

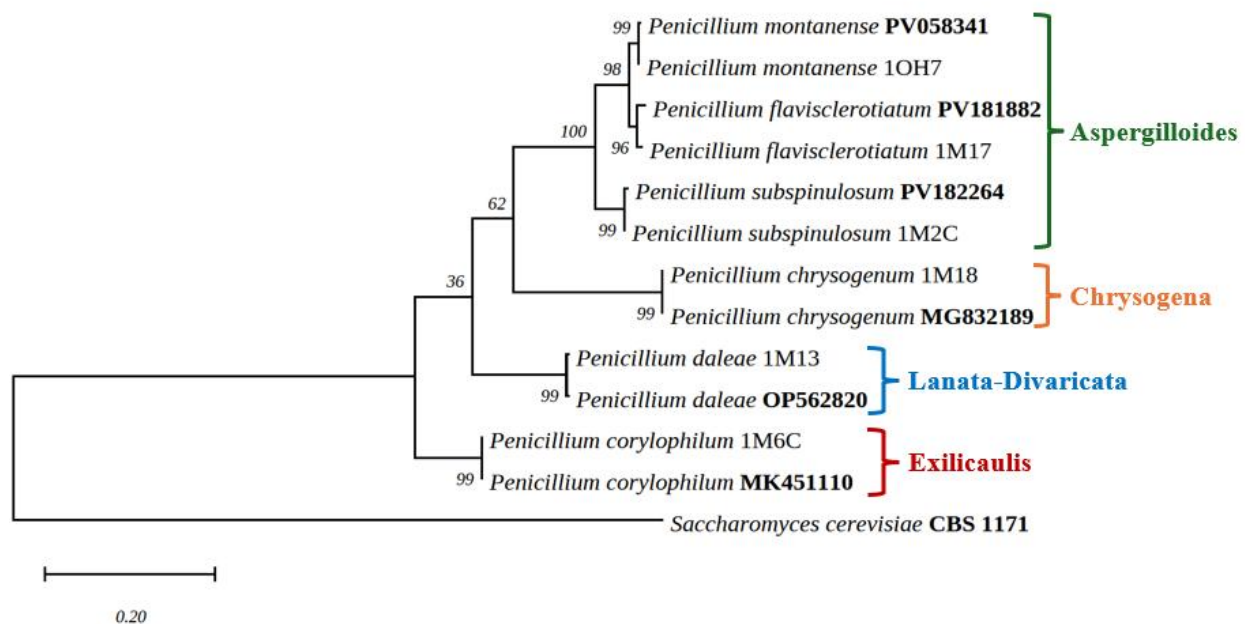
grybų kolonijos ir apskaičiuojamas jų kolonijas sudarančių vienetų skaičius 1g absoliučiai sauso dirvožemio (ab.s.d.g.). Tolesniems tyrimams grynos mikroskopinių grybų kultūros buvo persėjamos ant agarizuotos bulvių dekstrozės (Liofilchem, Italija) terpės ir laikomos šaldytuve $\pm 4^{\circ}\text{C}$ temperatūroje.

Pagal mikroskopinių grybų morfologinius požymius buvo atrinkta 19 izoliatų, galimai priklausančių *Penicillium* genčiai, o 6 morfologiškai skirtingi mikroskopinių grybų izoliatai buvo detaliau tiriami. Remiantis Visagie ir bendraautorių (2014) pateiktais metodiniais nurodymais, *Penicillium* genties izoliatų mėginiai detaliai jų identifikacijai buvo auginami ant skirtingų agarizuotų terpių 7 dienas: CYA (Pitt, 1979), MEA (Visagie, 2014), CREA – gebėjimo produkuoti rūgštis nustatymui (Frisvad, 1981) ir YES (Frisvad, 1981), esant $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$ temperatūrai. Mikroskopinių grybų kultūros buvo sėjamos 3 taškų principu po 2 μL suspensijos. Praėjus nustatytam laiko tarpui buvo analizuojami kultūrų mikro ir makro morfologiniai požymiai, matuojamas kolonijos dydis (mm), stebimas kolonijos kraštas, spalva, tekstūra ir formuojami eksudatai. Mikro–morfologiniai mikroskopinių grybų požymiai buvo fiksuojami mikroskopu Leica DM750 (Leica, Vokietija), o makro–morfologiniai požymiai fiksuoti fotoaparatu Canon EOS 6D Mark II (Canon Inc., Japonija).

Penicillium genties mikroskopinių grybų izoliatai buvo identifikuojami ir molekuliniiais metodais, naudojant β -tubulino geną. Šis geno fragmentas buvo amplifikuotas naudojant specifinius pradmenis Bt2a (5'-GGTAACCAAATCGGTGCTGCTTTC-3') ir Bt2b (5'-ACCCTCAGTGTAGTGACCCTTGGC-3') (Glass & Donaldson, 1995), taikant standartinę PGR (polimerazės grandininės reakcijos) procedūrą. Amplifikaciniame mėgintuvėlyje buvo paruoštas reakcijos mišinys (25 μL): KAPATaq Ready-Mix (KAPABiosystems, JAV) mišinio 12,5 μL , po 1 μL kiekvieno Bt2a ir Bt2b pradmens, 9,5 μL dist. H_2O bei 1 μL tiriamo mikroskopinio grybo DNR. PGR reakcija buvo vykdoma naudojant Techne TC-5000 termociklerį (Bibby Scientific Ltd, JK). Amplifikacija buvo atliekama pradiniu DNR denatūravimu 94°C temperatūroje 5 minutes. Po to sekė 35 padauginimo ciklai: denatūracija – 30 sekundžių 95°C temperatūroje; pradmenų prilydimas – 1 minutę 57°C temperatūroje; polimerizacija – 1 minutę ir 20 sekundžių 72°C temperatūroje. Galutinis sintezės etapas – 1 minutę 72°C temperatūroje. Gauti PGR produktai buvo valomi naudojant egz nukleazę I (Thermo Fisher Scientific, JAV) ir šarminę fosfatazę (Thermo Fisher Scientific, JAV). Išvalyti PGR produktai išsiųsti sekvenavimui į BaseClear B.V. (Leidenas, Nyderlandai), o sekoskaitos rezultatai buvo analizuojami DNR LaserGene SeqMan Pro (DNASTAR, Madisonas, JAV) programinę įrangą ir pateikiami filogenetinei analizei, naudojant MEGA12 programą.

Rezultatai ir aptarimas

Atlikus tyrimus buvo nustatyta, kad mikroskopinių grybų skaičius tirtame pušyno OH dirvožemio horizonte siekė $(3,6 \pm 0,2) \times 10^{-4}$ KSV/ab.s.d.g., o M horizonte $(5,3 \pm 0,2) \times 10^{-3}$ KSV/ ab.s.d.g. Išskirtų mikroskopinių grybų skaičius yra šiek tiek mažesnis lyginant su kitų autorių darbais, pavyzdžiui, Bååth ir bendraautorių tyrime (2005) buvo nustatyta, kad tirtuose Švedijos spygliuočių miškuose mikroskopinių grybų skaičius siekė $1,5 \times 10^{-6}$ KSV/g. Kultivuojamų mikroskopinių grybų gausumus dirvožemyje gali labai skirti dėl įvairiausių priežasčių: organinės medžiagos kiekio, dirvožemio struktūros ar aplinkos sąlygų (Rossel et al., 2020). Iš tirta dirvožemio buvo išskirti 39 mikroskopinių grybų izoliatai (OH – 13; M – 26). Pagal pirminius fenotipinius požymius buvo atrinkta 19 izoliatų galimai priklausančių *Penicillium* grybų genčiai. Remiantis morfologiniais ir molekuliniiais metodais, buvo identifikuotos ir aprašytos 6 *Penicillium* genties rūšys (1 pav.): *P. montanense*; *P. flavisclerotiatum*; *P. subspinulosum*; *P. chrysogenum*; *P. daleae* bei *P. corylophilum*. Nustatytos rūšys priklausė 4 *Penicillium* genties sekcijoms: Lanata–Divaricata (*P. daleae*); Aspergilloides (*P. montanense*; *P. flavisclerotiatum*; *P. subspinulosum*); Chrysogena (*P. chrysogenum*) ir Exilicaulis (*P. corylophilum*) (Visagie et al., 2014). Didžiausia dalis identifikuotų *Penicillium* rūšių priklausė Aspergilloides sekcijai (1 pav.).



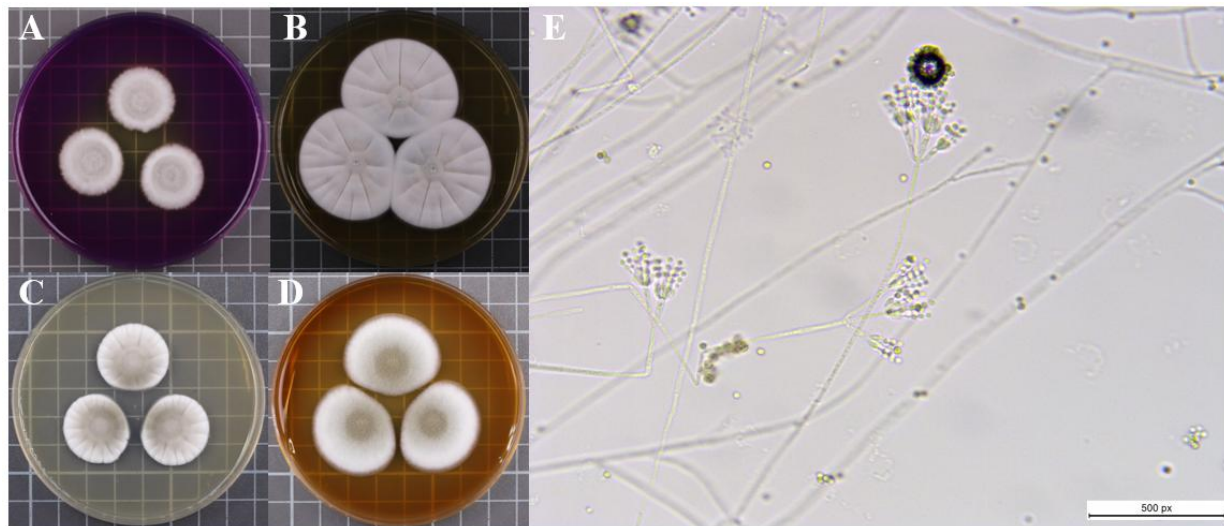
1 pav. Identifikuotų *Penicillium* genties grybų rūšių filogenetinis medis, suformuotas remiantis β -tubulino geno sekoskaita. Filogenetinis medis buvo braižomas naudojant maksimalaus tikėtimumo metodą ir naudojant Kimura-2 + I parametrinį modelį ir 1000 iteracijų (Kimura et al., 1980). Procentinis skaičius šalia šakų žymi taksonų panašumą. Paryškintos *Penicillium* rūšių sekos žymi referentines sekas, o spalvos žymi skirtingas *Penicillium* sekcijas. Išorinė grupė – *Sacharomyces cerevisiae*

Fig. 1. Phylogenetic tree of identified microscopic species of the genus *Penicillium*, based on β -tubulin gene sequencing. The phylogenetic tree was constructed using the maximum likelihood method using the Kimura-2 + I parametric model and 1000 iterations (Kimura et al., 1980). The percentage number next to the branches indicates the similarity of the taxa. Bolded sequences of *Penicillium* species indicate reference sequences, and colors indicate different sections of the genus *Penicillium*. Outgroup – *Sacharomyces cerevisiae*

Yra žinoma, kad dažniausiai miškuose aptinkamos *Penicillium* genties rūšys priklauso Aspergilloides, Canescentia, Chrysogena, Lanata-Divaricata ir Brevicompacta sekcijoms (Bååth & Arnebrant, 1993; Houbraken et al., 2012; Houbraken et al., 2014), dauguma jų (Aspergilloides, Chrysogena, Lanata-Divaricata) atstovų buvo aptikta ir šio tyrimo metu. Toliau pateikiamas detalesnis dviejų dažniausiai šiame tyrime išskiriamų rūšių – *P. daleae* ir *P. chrysogenum*, aprašymas.

***Penicillium daleae* Zalesky, 1927**

P. daleae (2 pav.) pirmą kartą aptiktas Lenkijoje, tiriant spygliuočių miškus (Ragavendran et al., 2017). Šis mikroskopinis grybas yra saprotrofas, dalyvauja augalinių medžiagų skaidyme, gamina specifines pektinazes. Yra gerai žinomas dėl savo gebėjimo degraduoti ramnogalakturonaną-II, kuris laikomas vienu sudėtingiausių sienelės komponentų augalų ląstelėse (Vidal et al., 1999). *P. daleae* yra plačiai paplitęs, randamas miškų dirvožemyje Vokietijoje, Lenkijoje, Pietų Korėjoje, Prancūzijoje (Cho et al., 2005; Kwaśna & Nirenberg 2005). Mokslininkas Szewczyk 2013 metais tirdamas Lenkijos miškų draustinius nustatė, kad net 75 % visų tirtų izoliatų priklausė *P. daleae* rūšiai.

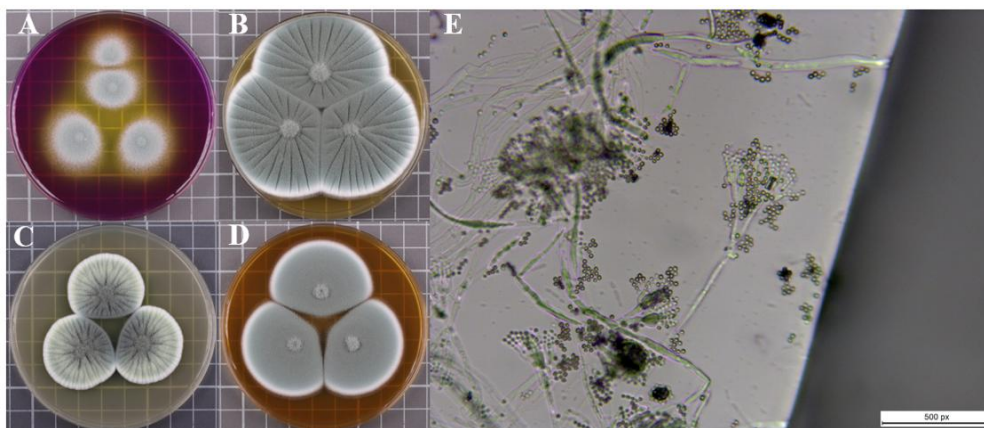


2 pav. *Penicillium daleae* kolonijų makro (A–D) morfologiniai vaizdai ant skirtingų agarizuotų terpių, E – mikroskopinis vaizdas. A – CREA; B – YES; C – CYA; D – MEA, kultūros inkubuotos 7 paras 26 °C temperatūroje
Fig. 2. Macro (A–D) and micro (E) morphological images of *Penicillium daleae* colonies on different agarized media. A – CREA; B – YES; C – CYA; D – MEA, cultures grown for 7 days at 26 °C

Šiai rūšiai yra būdingas orinis, tankus micelis, kurio spalva pilkšvai balta/žalia (2 pav. A–D). Šios rūšies mikroskopiniai grybai formuoja skaidrius eksudatus (2 pav., B). Kolonijų dydis ant CREA mitybinės terpės (2 pav., A) siekė $23,0 \pm 1,0$ mm; ant YES – $41,0 \pm 1,0$ mm (2 pav., B); ant CYA – $25,0 \pm 1,0$ mm (2 pav., C); ant MEA – $34,0 \pm 1,0$ mm, esant 25 °C temperatūrai, kultivuojant 7 paras. Pastebėta, kad *P. daleae* rūšis silpnai produkuoja rūgštis, matomos skaidrios zonos ant CREA terpės (2 pav., A). Rūšiai būdingi hialiniai, lygiasieniai ir septuoti konidijakočiai. Sudaro *Penicillium* genčiai būdingą šluotelę, ant fialidžių formuojasi apvalios, lygiasienės konidijos (2 pav., E).

Penicillium chrysogenum Thom, 1910

Penicillium chrysogenum (dar žinomas kaip *P. rubens*) yra plačiai paplitęs saprotrofinis grybas, kuris kolonizuoja negyvus organinės kilmės substratus (Samson & Hourbraken, 2011), aptinkamas ir Tenerifės pūšynų dirvožemyje (Rodríguez et al., 1994). Šis grybas buvo naudojamas pramoninei penicilino gamybai jau nuo praėjusio amžiaus penktojo dešimtmečio, taip atverdamas antibiotikų erą, kuri iš esmės pakeitė mediciną (Fierro et al., 2022). *P. chrysogenum* taip pat yra naudojamas daugybėje eksperimentų, atkreipiamas dėmesys į jo gebėjimą sintetinti didelį kiekį antrinių metabolitų, jis naudojamas ir įvairiems biotechnologijų tyrimams (García-Estrada et al., 2020).



3 pav. *Penicillium chrysogenum* kolonijų makro (A–D) morfologiniai vaizdai ant skirtingų agarizuotų terpių, E – mikroskopinis vaizdas. A – CREA; B – YES; C – CYA; D – MEA, kultūros inkubuotos 7 paras 26 °C temperatūroje
Fig. 3. Macro (A–D) and micro (E) morphological images of *Penicillium chrysogenum* colonies on different agarized media. A – CREA; B – YES; C – CYA; D – MEA, cultures grown for 7 days at 26 °C

P. chrysogenum būdingas greitai augantis, orinis, miltingas micelis, kurio spalvos linkusios į žalsvumą ir melsvumą, o kolonijos kraštas būna baltas (3 pav., A–D). Ši rūšis išskiria žalios spalvos eksudatus (3 pav., C). Kolonijų dydis ant CREA mitybinės terpės (2 pav., A) siekė $22,0 \pm 1,0$ mm; ant YES – $58,0 \pm 1,0$ mm

(2 pav., B); ant CYA – $35,0 \pm 1,0$ mm (2 pav., C); ant MEA – $45,0 \pm 1,0$ mm, esant 25 °C temperatūrai, kultivuojant 7 paras. Pastebėta, kad *P. chrysogenum* rūgštis produkuoja stipriau (3 pav., A) lyginant su aukščiau minėta *P. daleae* rūšimi (2 pav., A). *P. chrysogenum* konidijakočiai lygiasieniai, septuoti ir šakoti. Ant fialidžių gausiai formuojasi konidijos, jos sudaro grandinėles, yra apvalios. Tankūs fialidžių kuokštai konidijakočio viršūnėje yra būdingas *P. chrysogenum* požymis.

Remiantis gautais rezultatais nustatyta, kad *P. chrysogenum* pasižymi intensyvesniu augimu daugumoje tirtų terpių. Šis mikroskopinis grybas sparčiau augo ant YES, CYA ir MEA terpių, lyginant su *P. daleae*. Galima daryti išvadą, jog tai rodo geresnį *P. chrysogenum* prisitaikymą prie skirtingų maistinių substratų bei gebėjimą efektyviau panaudoti maistines medžiagas esančias mitybinėse terpėse. Tuo tarpu ant CREA terpės abiejų rūšių augimas buvo panašus, vis dėlto nustatyta, kad *P. chrysogenum* rūgščių produkavimas buvo stipresnis nei *P. daleae*, kas leidžia manyti, jog ši rūšis pasižymi intensyvesniu metaboliniu aktyvumu. Likusios 4 *Penicillium* genties grybų rūšys yra toliau tiriamos ir gauti rezultatai bus pateikti tolimesnėse mokslinėse publikacijose.

Išvados

1. Nustatyta, kad mikroskopinių grybų skaičius tirtame pušyno OH dirvožemio horizonte siekė $(3,6 \pm 0,2) \times 10^{-4}$ KSV/ab.s.d.g. o M horizonte $(5,3 \pm 0,2) \times 10^{-3}$ KSV/ab.s.d.g. Iš tirtų pušyno miško viršutinio dirvožemio sluoksnio buvo išskirti 39 mikroskopinių grybų izoliatai (13 iš OH bei 26 iš M horizonto), 19 jų priklausė *Penicillium* genčiai.
2. Identifikuotos 6 *Penicillium* genčiai priklausančios rūšys: *Penicillium montanense*; *P. flavisclerotiatum*; *P. subspinosum*; *P. chrysogenum*; *P. daleae* bei *P. corylophilum*. Dažniau pasitaikančios rūšys – *P. daleae* bei *P. chrysogenum*.
3. Nustatyta, kad *P. chrysogenum* ant YES, CYA ir MEA agarizuotų terpių augo sparčiau nei *P. daleae*, taip pat *P. chrysogenum* pasižymi stipresniu rūgščių produkavimu nei *P. daleae*.

Literatūra

1. Bååth, E. & Arnebrant, K. (1993). Microfungi in coniferous forest soils treated with lime or wood ash. *Biology and Fertility of Soils*, 15(2), 91–95.
2. Bååth, E., Díaz-Raviña, M., Bakken, L. R. (2005). Microbial biomass, community structure and metal tolerance of a naturally Pb-enriched forest soil. *Microbial Ecology*, 50(4), 496–505.
3. Berdy, J., 2005. Bioactive microbial metabolites. *The Journal of antibiotics*, 58(1), 1–26.
4. Bhargavi, S. D. & Savitha, J. (2014). Arsenate resistant *Penicillium coffeae*: a potential fungus for soil bioremediation. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 92(3), 369–373.
5. Cho, H. S., Hong, S. B., Go, S. J. (2005). First report of *Penicillium brasilianum* and *P. daleae* isolated from soil in Korea. *Mycobiology*, 33(2), 113–117.
6. Díaz, S., Fargione, J., Chapin III, F. S., Tilman, D. (2006). Biodiversity loss threatens human well-being. *PLoS biology*, 4(8), e277.
7. Fierro, F., Vaca, I., Castillo, N. I., García-Rico, R. O., Chávez, R. (2022). *Penicillium chrysogenum*, a vintage model with a cutting-edge profile in biotechnology. *Microorganisms*, 10(3), 573.
8. Frisvad, J. C. (1981). Physiological criteria and mycotoxin production as aids in identification of common asymmetric penicillia. *Applied and environmental microbiology*, 41(3), 568–579.
9. García-Estrada, C., Martín, J. F., Cueto, L., Barreiro, C. (2020). Omics approaches applied to *Penicillium chrysogenum* and penicillin production: Revealing the secrets of improved productivity. *Genes*, 11(6), 712.
10. Glass, N. L. & Donaldson, G. C. (1995). Development of primer sets designed for use with the PCR to amplify conserved genes from filamentous ascomycetes. *Applied and environmental microbiology*, 61(4), 1323–1330.
11. Hartmann, M., Howes, C. G., VanInsberghe, D., Yu, H., Bachar, D., Christen, R., ... Mohn, W. W. (2012). Significant and persistent impact of timber harvesting on soil microbial communities in Northern coniferous forests. *The ISME journal*, 6(12), 2199–2218.
12. Houbraken, J., Frisvad, J. C., Seifert, K. A., Overy, D. P., Tuthill, D. M., Valdez, J. G., Samson, R. A. (2012). New penicillin-producing *Penicillium* species and an overview of section Chrysogena. *Persoonia—Molecular Phylogeny and Evolution of Fungi*, 29(1), 78–100.
13. Houbraken, J., Visagie, C. M., Meijer, M., Frisvad, J. C., Busby, P. E., Pitt, J. I., ... Samson, R. A. (2014). A taxonomic and phylogenetic revision of *Penicillium* section Aspergilloides. *Studies in mycology*, 78, 373–451.

14. Kamel, E. A. R. & Rashed, M. E. (2014). Electrophoretic protein banding patterns among *Penicillium* strains isolated from Saudi Arabia. *International Journal of Applied Sciences and Biotechnology*, 2(3), 283–290.
15. Keenan, R. J., Reams, G. A., Achard, F., de Freitas, J. V., Grainger, A., Lindquist, E. (2015). Dynamics of global forest area: Results from the FAO Global Forest Resources Assessment 2015. *Forest ecology and management*, 352, 9–20.
16. Khan, S. A., Hamayun, M., Yoon, H., Kim, H. Y., Suh, S. J., Hwang, S. K., ... Kim, J. G. (2008). Plant growth promotion and *Penicillium citrinum*. *BMC microbiology*, 8(1), 231.
17. Kimura M. (1980). A simple method for estimating evolutionary rate of base substitutions through comparative studies of nucleotide sequences. *Journal of Molecular Evolution*, 16, 111–120
18. Klimek, B., Chodak, M., Jaźwa, M., Niklińska, M., 2016. Functional diversity of soil microbial communities in boreal and temperate Scots pine forests. *European Journal of Forest Research*, 135(4), 731–742.
19. Kwaśna, H. & Nirenberg, H. I. (2005). Delimitation of *Penicillium virgatum* sp. nov. and *P. daleae* on the basis of morphological and molecular characters. *Mycological research*, 109(9), 974–982.
20. Leitão, A. L., & Enguita, F. J. (2016). Gibberellins in *Penicillium* strains: challenges for endophyte–plant host interactions under salinity stress. *Microbiol. Res*, 183(2), 8–18.
21. Pitt, J. I. (1979). *The genus Penicillium and its teleomorphic states Eupenicillium and Talaromyces* (pp. 634).
22. Ragavendran, C., Mariappan, T., Natarajan, D. (2017). Larvicidal, histopathological efficacy of *Penicillium daleae* against larvae of *Culex quinquefasciatus* and *Aedes aegypti* plus biotoxicity on *Artemia nauplii* a non–target aquatic organism. *Frontiers in pharmacology*, 8, 773.
23. Rodríguez, A., Carnicero, A., Perestelo, F., De la Fuente, G., Milstein, O., Falcón, M. A. (1994). Effect of *Penicillium chrysogenum* on lignin transformation. *Applied and Environmental Microbiology*, 60(8), 2971–2976.
24. Rossel, R. V., Yang, Y., Bissett, A., Behrens, T., Dixon, K., Nevil, P., & Li, S. (2022). Environmental controls of soil fungal abundance and diversity in Australia's diverse ecosystems. *Soil Biology and Biochemistry*, 170, 108694.
25. Samson, R. A. & Houbraken, J. (Eds.). (2011). *Phylogenetic and taxonomic studies on the genera Penicillium and Talaromyces*. Utrecht, The Netherlands: CBS–KNAW Fungal Biodiversity Centre.
26. Srinivasan, R., Prabhu, G., Prasad, M., Mishra, M., Chaudhary, M., Srivastava, R. (2020). *Penicillium*. In *Beneficial microbes in agro–ecology* (pp. 651–667). Academic Press.
27. Szewczyk, W. (2013). Soil fungi communities from young Scots pine plantations affected with root rot. *Acta Mycologica*, 42(2), 239–244.
28. Tiwari, K. L., Jadhav, S. K., Kumar, A. (2011). Morphological and molecular study of different *Penicillium* species. *Middle–East J Sci Res*, 7(2), 203–210.
29. Vidal, S., Salmon, J. M., Williams, P., Pellerin, P. (1999). *Penicillium daleae*, a soil fungus able to degrade rhamnogalacturonan II, a complex pectic polysaccharide. *Enzyme and Microbial Technology*, 24(5–6), 283–290.
30. Visagie, C. M., Houbraken, J., Frisvad, J. C., Hong, S. B., Klaassen, C. H. W., Perrone, G., ... Samson, R. A. (2014). Identification and nomenclature of the genus *Penicillium*. *Studies in mycology*, 78(1), 343–371.
31. Yadav, A. N., Verma, P., Kumar, V., Sangwan, P., Mishra, S., Panjiar, N., ... Saxena, A. K. (2018). Biodiversity of the genus *Penicillium* in different habitats. In *New and future developments in microbial biotechnology and bioengineering* (pp. 3–18). Elsevier.
32. Žifčáková, L., Větrovský, T., Howe, A., Baldrian, P. (2016). Microbial activity in forest soil reflects the changes in ecosystem properties between summer and winter. *Environmental microbiology*, 18(1), 288–301.

Simas Kasputis, Jurgita Švedienė

Distribution of Fungi of the Genus *Penicillium* Link, 1809 in Coniferous Forest Soil

Nature Research Centre, Laboratory of Biodeterioration Research, Lithuania

Forest ecosystems are important centres of biodiversity, and a large part of this diversity lies in forest soils. Soil microorganisms perform important functions such as organic matter decomposition, mineralization and humus formation, and are therefore of great importance for soil functioning. One of the most abundant genera of microscopic fungi is *Penicillium*, of which about 354 species are currently known. In nature, these fungi contribute to plant growth, increase phosphorus availability and produce various bioactive compounds. A high number of cultivable (colony forming units

(CFU)) fungi has been determined – 3.6×10^{-7} CFU/g in the OH horizon and 5.3×10^{-6} CFU/g in the M horizon. Such an abundance of microscopic fungi indicates an active and abundant community of soil microorganisms, which is usually characteristic of biologically active, well-conditioned and fertile, developing soils. During the study, 6 species of fungi of the genus *Penicillium* were identified in the soil of a coniferous forest (Kulbokiškė village, Švenčionys district): *P. montanense*, *P. flavisclerotiatum*, *P. subspinulosum*, *P. chrysogenum*, *P. daleae* and *P. corylophilum*.

Keywords: *Penicillium*, microscopic fungi, coniferous forests, biodiversity.

Gauta 2026 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2026 m. balandžio mėn.

Simas KASPUTIS. Valstybinis mokslinių tyrimų instituto Gamtos tyrimų centro Biodestruktorių tyrimo laboratorijos aplinkotyros ir ekologijos doktorantas. Adresas: Akademijos g. 2, LT-08412, Vilnius, tel. +370 5 2796640, el. paštas: simas.kasputis@gamtc.lt

Simas KASPUTIS. Nature Research Centre, Laboratory of Biodeterioration Research, PhD candidate for Ecology and environmental sciences. Address: Akademijos str. 2, LT-08412 Vilnius. Phone: +370 5 2796640, e-mail: simas.kasputis@gamtc.lt

Jurgita ŠVEDIENĖ. Valstybinis mokslinių tyrimų instituto Gamtos tyrimų centro Biodestruktorių tyrimo laboratorijos biomedicinos mokslų daktarė. Adresas: Akademijos g. 2, LT-08412, Vilnius, tel. +370 5 2796640, 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 5 2796640, e-mail: jurgita.svediene@gamtc.lt.

BIOPREPARATO GTC/GVT 2021 IR MINERALINIŲ PRIEDŲ ĮTAKA NAFTOS PRODUKTAIS UŽTERŠTO GRUNTO VALYMU

Jurgita Švedienė¹, Konstantinas Iljasevičius², Jonas Žvirgždas¹,
Ieva Paunksnytė-Markevičienė², Irma Galginienė², Algimantas Paškevičius¹

¹Valstybinis mokslinių tyrimų institutas Gamtos tyrimų centras, ²UAB „Toksika“

Naftos produktai vieni pavojingiausių teršalų, nes yra patvarūs, sunkiai suyra, turi sunkiųjų metalų. Naftos produktais užterštas gruntas (nafta, dyzelinas, tepalai ir kiti naftos produktai) kelia pavojų aplinkai: mažina dirvožemio derlingumą, naikina mikroorganizmus, gali pasiekti ir užteršti gruntinius ir požeminius vandenius. Mikroorganizmai, dumbliai ir augalai geba suskaidyti, transformuoti įvairius naftos ir jos produktų teršalus. Organizmų sugebėjimas skaidyti naftos teršalus priklauso nuo jų gaminamų specifinių fermentų. Šį natūralų apsivalymo procesą galima pagreitinti pagerinus dirvožemio aeraciją, parinkus optimalias pH, temperatūros, drėgmės reikšmes, pridėjus naftą oksiduojančių mikroorganizmų. Darbo tikslas – naftos produktais užteršto grunto modelinis biologinis valymas, naudojant mineralinius priedus ir biopreparatą (GTC/GVT 2021) laboratorinėmis sąlygomis. Mineralinis priedas – skirtingos amonio nitrato, superfosfato ir kalio chlorido koncentracijos. Biopreparatas (GTC/GVT 2021) įnešamas bandymo pradžioje, po mėnesio ir 3 mėnesių. Bandymo trukmė 6 mėnesiai. Naftos produktų kiekis dirvožemyje buvo nustatomas kiekvieną mėnesį. Praėjus 6 mėnesiams liekamoji naftos produktų koncentracija dirvožemyje sumažėjo nuo 18,5 iki 4,0 g/kg. Naftą oksiduojančių bakterijų skaičius bandymo metu svyravo nuo 10^4 iki 10^7 , o mikroskopinių grybų nuo 10^3 iki 10^5 ksv/l g absoliučiai sauso dirvožemio (d).

Raktiniai žodžiai: bakterijos, mikroskopiniai grybai, naftos produktai, tarša, valymas.

Įvadas

Nafta yra labai svarbus energijos šaltinis ir viena iš pagrindinių pramonės žaliavų kasdienio gyvenimo produktams bei žemės ūkio trąšoms sintetinti (Liu ir kt. 2022). Naftos gavybos, jos perdirbimo bei naftos ir jos produktų transportavimo ar saugojimo metu galima tiek dirvožemio, tiek vandens tarša naftos produktais. Naftos produktais (nafta, dyzelinas, tepalai ir kitais naftos produktais) užterštas dirvožemis kelia pavojų aplinkai: mažina dirvožemio derlingumą, naikina mikroorganizmus, tarša taip pat gali pasiekti ir užteršti gruntinius ir požeminius vandenius. Dirvožemyje gyvena įvairių mikroorganizmų (jų biomasė įvairuoja nuo 3 iki 7–8 t ha⁻¹ sausosios medžiagos): bakterijų, grybų, aktinobakterijų ir dumblių, gebančių skaidyti ir transformuoti įvairius naftos ir jos produktų teršalus.

Mikroorganizmai asimiliacijos, metabolizmo ir ląstelių skilimo procesų metu naftos produktus paverčia nekenksmingu anglies dioksidu ir vandeniu, be šalutinių medžiagų ar antrinės taršos (Zhang ir kt., 2021; Chunyan ir kt., 2023). Mikrobiologinis teršalų skaidymas, kitaip nei cheminė degradacija, vyksta artimomis natūralioms sąlygomis ir nereikalauja didelių investicijų. Šį natūralų apsivalymo procesą galima pagreitinti pagerinus dirvožemio aeraciją, parinkus optimalias pH, temperatūros ir drėgmės reikšmes, bei pridėjus naftą oksiduojančių mikroorganizmų. Mikroorganizmų augimui dirvožemyje ir bioremediacijos procesui stimuliuoti reikia palaikyti tam tikrą jų ląstelių koncentraciją aplinkoje. Todėl būtina dirvožemyje užtikrinti mitybinių medžiagų (azoto, fosforo, kalio, sieros, kartais ir geležies) reikiamą kiekį (Das ir Chandran, 2011). Dažniausiai bioremediacijos procese yra naudojamos trąšos turinčios azoto ir fosforo (Elshafei ir Mansour, 2024). NPK trąšos pagerina dirvožemio katalazinę, dehidrogenazinę, ureazinę ir fosfatazinę aktyvumą (Wei ir kt., 2020). Mineraliniai priedai su kalcio oksidu gali pagerinti dirvožemio savybes ir padidinti augalams prieinamų medžiagų kiekį (Wyszkowski ir Ziórkowska, 2008).

Darbo tikslas – naftos produktais užteršto grunto modelinis biologinis valymas, naudojant mineralinius 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 s. m.) buvo patalpintas į stiklinius eksikatorius po 4 kg. Sudaryti bandymo variantai:

K1 – kontrolė be mineralinio priedo, be biopreparato;

K2 – kontrolė be mineralinio priedo, su biopreparatu;

1 variantas: NH₄NO₃ – 0,18 g/kg; miltinis superfosfatas – 0,105 g/kg; KCI – 0,075 g/kg;

2 variantas: NH_4NO_3 – 0,36 g/kg; miltinis superfosfatas – 0,210 g/kg; KCl – 0,15 g/kg;

3 variantas: NH_4NO_3 – 0,72 g/kg; miltinis superfosfatas – 0,420 g/kg; KCl – 0,30 g/kg.

Biopreparatas (GVT/GTC 2021) į užterštą dirvožemį įnešamas (1,65 ml/kg, mikroorganizmų koncentracija 10^9 ksv/ml), bandymo pradžioje, praėjus mėnesiui ir praėjus 3 bandymo mėnesiams. Bandymo trukmė 6 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 ir mikroskopinių grybų) ir naftą oksiduojančių (bakterijų ir mikroskopinių grybų) skaičius. Bendram bakterijų skaičiui dirvožemyje nustatyti buvo naudojama triptono sojos agarizuota terpė (Liofilchem, Italija), bendram mikroskopinių grybų skaičiui Bengalo rožinio agarizuota terpė (Liofilchem, Italija). Naftą oksiduojančių bakterijų išskyrimo terpė (g/L): NH_4Cl – 2,0, NaCl – 5,0, Na_2HPO_4 – 3,0, KH_2PO_4 – 0,1, $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ – 2,0, $\text{CaCl}_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$ – 0,01, $\text{MnSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$ – 0,02, $\text{FeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,01, naftos produktas – 10 ml/L, Tween 80 – 1 ml/L, agaras – 25,0. Naftą oksiduojančių mikroskopinių grybų išskyrimo terpė (g/L): $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ – 5,0, K_2HPO_4 – 0,15, KH_2PO_4 – 0,85, $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,5, NaCl – 0,1, CaCl_2 – 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 3–5 paras 26 ± 2 °C temperatūroje. Naftą oksiduojančios bakterijos ir mikroskopiniai grybai inkubuojamos 5–7 paras 26 ± 2 °C temperatūroje. Mikroorganizmų skaičius išreiškiamas kolonijas sudarančiais vienetais (ksv)/1 g absoliučiai sauso (abs) dirvožemio (d).

Rezultatai ir aptarimas

Bandymo metu nustatytas bendras ir naftą oksiduojančių bakterijų skaičius pateikiamas 1 lentelėje.

1 lentelė. Bendras ir naftą oksiduojančių bakterijų skaičius bandymo eigoje

Table 1. Amounts of total and oil-degrading bacteria during the test

Variantas Variant	Bendras bakterijų skaičius, ksv/1 g abs.d. Total amount of bacteria, cfu/g			Naftą oksiduojančių bakterijų skaičius, ksv/1 g abs.d. Amount of oil-degrading bacteria, cfu/g		
	1 mėn.	3 mėn.	6 mėn.	1 mėn.	3 mėn.	6 mėn.
K1	$(1,9 \pm 0,6) \times 10^8$	$(6,4 \pm 0,1) \times 10^8$	$(5,2 \pm 0,2) \times 10^5$	$(6,8 \pm 0,2) \times 10^5$	$(2,9 \pm 0,2) \times 10^7$	$(2,3 \pm 0,3) \times 10^4$
K2	$(3,6 \pm 0,6) \times 10^8$	$(9,8 \pm 0,1) \times 10^8$	$(4,3 \pm 0,1) \times 10^5$	$(3,0 \pm 0,7) \times 10^6$	$(4,3 \pm 0,1) \times 10^7$	$(8,0 \pm 0,2) \times 10^4$
1	$(2,1 \pm 0,2) \times 10^8$	$(4,4 \pm 0,2) \times 10^8$	$(1,5 \pm 0,3) \times 10^6$	$(3,9 \pm 0,2) \times 10^6$	$(4,7 \pm 0,3) \times 10^7$	$(1,8 \pm 0,1) \times 10^5$
2	$(2,7 \pm 0,6) \times 10^8$	$(1,8 \pm 0,4) \times 10^8$	$(1,7 \pm 0,4) \times 10^6$	$(7,2 \pm 0,2) \times 10^6$	$(3,9 \pm 0,2) \times 10^7$	$(8,3 \pm 0,3) \times 10^4$
3	$(3,9 \pm 0,1) \times 10^8$	$(5,2 \pm 0,2) \times 10^8$	$(1,2 \pm 0,3) \times 10^6$	$(4,5 \pm 0,3) \times 10^6$	$(3,1 \pm 0,6) \times 10^7$	$(1,6 \pm 0,2) \times 10^5$

Bendras bakterijų skaičius per 6 mėn. bandymo laikotarpį sumažėjo nuo 10^8 iki 10^6 ksv/1 g, o kontroliniuose variantuose iki 10^5 ksv/1 g. Naftą oksiduojančių bakterijų skaičius bandymo metu taip pat mažėjo. Priežastys gali būti įvairios: naftos degradacijos metu susidarė bakterijoms žalingos medžiagos, pakito dirvožemio pH, sunaudoti lengvai pasiekiami naftos produktai, o sunkiosios naftos frakcijos yra lėčiau ir sunkiau ardamos (Aziz ir kt., 2024).

Bendras ir naftą oksiduojančių mikroskopinių grybų skaičius pateikiamas 2 lentelėje.

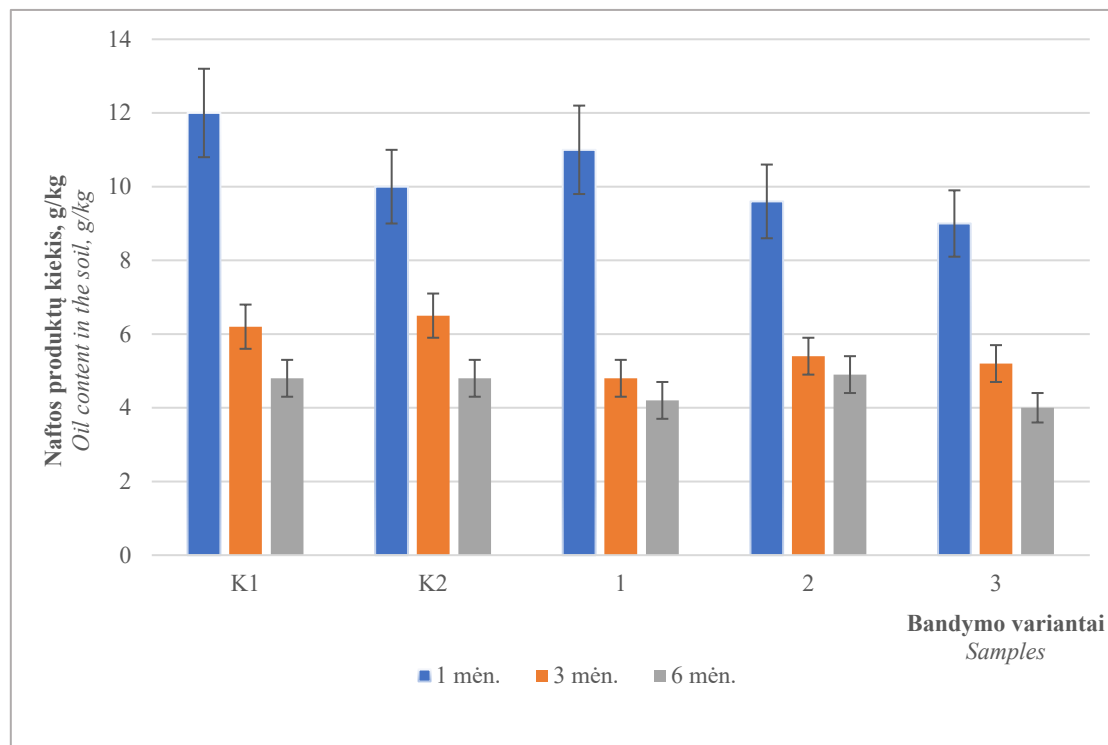
2 lentelė. Bendras ir naftą oksiduojančių mikroskopinių grybų skaičius bandymo eigoje

Table 2. Amounts of total and oil-degrading microscopic fungi during the test

Variantas Variant	Bendras mikroskopinių grybų skaičius, ksv/1 g abs.d. Total amount of microscopic fungi, cfu/g			Naftą oksiduojančių mikroskopinių grybų skaičius, ksv/1 g abs.d. Amount of oil-degrading microscopic fungi, cfu/g		
	1 mėn.	3 mėn.	6 mėn.	1 mėn.	3 mėn.	6 mėn.
K1	$(2,8 \pm 0,1) \times 10^5$	$(5,4 \pm 0,1) \times 10^5$	$(1,6 \pm 0,3) \times 10^4$	$(1,6 \pm 0,4) \times 10^5$	$(4,4 \pm 0,8) \times 10^4$	$(5,2 \pm 0,3) \times 10^3$
K2	$(5,7 \pm 0,5) \times 10^4$	$(4,2 \pm 0,2) \times 10^5$	$(1,4 \pm 0,2) \times 10^4$	$(2,0 \pm 0,4) \times 10^4$	$(6,7 \pm 0,2) \times 10^4$	$(3,1 \pm 0,1) \times 10^3$
1	$(2,8 \pm 0,2) \times 10^5$	$(4,6 \pm 0,3) \times 10^5$	$(1,7 \pm 0,4) \times 10^4$	$(1,4 \pm 0,8) \times 10^5$	$(3,1 \pm 0,4) \times 10^5$	$(2,8 \pm 0,2) \times 10^3$
2	$(2,5 \pm 0,3) \times 10^5$	$(1,7 \pm 0,5) \times 10^5$	$(1,7 \pm 0,2) \times 10^4$	$(9,6 \pm 0,2) \times 10^4$	$(5,2 \pm 0,6) \times 10^4$	$(4,9 \pm 0,4) \times 10^3$
3	$(3,0 \pm 0,3) \times 10^5$	$(4,3 \pm 0,2) \times 10^5$	$(2,2 \pm 0,1) \times 10^4$	$(1,0 \pm 0,7) \times 10^5$	$(5,5 \pm 0,5) \times 10^4$	$(3,4 \pm 0,1) \times 10^3$

Bendras mikroskopinių grybų skaičius tiek kontroliniuose, tiek bandymo variantuose eksperimento pabaigoje šiek tiek sumažėjo ir siekė 10^5 – 10^6 ksv/1 g. Naftą oksiduojančių mikroskopinių grybų skaičius bandymo pabaigoje taip pat sumažėjo. Mikroskopinių grybų skaičiaus mažėjimo priežastys yra tokios pat kaip ir aukščiau minėtų bakterijų. Mineraliniai priedai tiek bakterijų, tiek mikroskopinių grybų skaičiui įtakos neturėjo. Tačiau literatūroje teigiama, kad cheminiai priedai gali turėti teigiamą poveikį tiek bendram mikroorganizmų skaičiui, tiek naftą skaidančių mikroorganizmų skaičiui. Cheminių priedų teigiamas poveikis taip pat gali skirtis priklausomai nuo biologinio naftos produktų skilimo laikotarpio (Žukauskaitė ir kt., 2021).

Liekamųjų naftos produktų koncentracijos kaita šešių mėnesių eksperimento metu pateikta 1 pav.



1 pav. Liekamųjų naftos produktų kiekio kaita bandymo eigoje

Fig. 1. Oil content in soil during the test

Praėjus šešiems bandymo mėnesiams mažiausiai liekamųjų naftos produktų buvo 3 bandymo variante (NH_4NO_3 – 0,72 g/kg; miltinis superfosfatas – 0,420 g/kg; KCl – 0,30 g/kg.) ir siekė 4 g/kg. Mineraliniai priedai ir įvairios jų koncentracijos turėjo įtakos liekamųjų naftos produktų koncentracijai, lyginant su kontroliniais variantais. Bandymo variantuose liekamųjų naftos produktų koncentracija svyravo nuo 4,0 iki 4,9 g/kg.

Naftą oksiduojantys mikroorganizmai gyvena nuolat besikeičiančioje aplinkoje, todėl sėkmingam jų išgyvenimui ir dauginimuisi būtina sudaryti tinkamas sąlygas. Grunte esantys naftos produktai ir kiti teršalai užtikrina reikiamą anglies kiekį, o kitas reikalingas medžiagas (azotą, fosforą ir kalį) būtina įnešti papildomai.

Išvados

1. Nustatyta, kad po 6 mėnesių bandymo laboratorinėmis sąlygomis liekamųjų naftos produktų koncentracija dirvožemyje siekė nuo 4,0 iki 4,9 g/kg.
2. Naftą oksiduojančių bakterijų skaičius siekė nuo 10^4 iki 10^7 , o mikroskopinių grybų nuo 10^3 iki 10^5 ksv/1 g.abs. sauso dirvožemio.

Literatūra

1. Zhang, X., Kong, D., Liu, X., Xie, H., Lou, X., Zeng, C. (2021) Combined microbial degradation of crude oil under alkaline conditions by *Acinetobacter baumannii* and *Talaromyces* sp. *Chemosphere*, 273, 129666.
2. Liu, H., Yang, G., Hui Jis, H., Sun, B. (2022) Crude Oil Degradation by a Novel Strain *Pseudomonas aeruginosa* AQNU-1 Isolated from an Oil-Contaminated Lake Wetland. *Processes*, 10, 307. <https://doi.org/10.3390/pr10020307>.
3. Chunyan, X., Qaria, M. A., Daochen, X. Q. Z. (2023) The role of microorganisms in petroleum degradation: Current development and prospects. *Science of the Total Environment*, 865, 161112. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.161112>
4. Aziz, Z.S., Jazza, S. H., Hiba N. Dageem, H. N., Banoon, S. R., Balboul, B. A., Abdelzaher, M. A. (2024) Bacterial biodegradation of oil-contaminated soil for pollutant abatement contributing to achieve sustainable development goals: A comprehensive review. *Results in Engineering*, 22, 102083. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102083>
5. Žukauskaitė, A., Jakubauskaitė, V., Ambrazaitienė, D., Zabukas, V., Paulauskienė, T. (2012) The impact of chemical additives on the process of biodegradation of oil products. *Journal of Environmental of Engineering and Landscape Management*, 20(1), 17–26. doi.org/10.3846/16486897.2011.633336

6. Wyszowski, M., Ziórkowska, A. (2008) Effect of Petrol and Diesel Oil on Content of Organic Carbon and Mineral Components in Soil. *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*, 2(1), 54–60.
7. Das, N., Chandran, P. (2011) Microbial degradation of petroleum hydrocarbon contaminants: an overview. *Biotechnology Research International*, Article ID 941810.
8. Elshafei, A. M., Mansour, R. (2024) Microbial bioremediation of soils contaminated with petroleum hydrocarbons. *Discover Soil*, 1, 9.
9. Wei, X., Bocharnikova, E. A., Matichenkov, V. V., Demin, D. V. (2020) Effect of fertilization practice on biological properties of crude oil-polluted soil. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, 921, 012028.

Jurgita Švedienė¹, Algimantas Paškevičius², Jonas Žvirgždas¹, Ieva Paunksnytė-Markevičienė², Irma Galginiene², Konstantinas Iljasevičius¹

Effect of the Biopreparation GTC/GVT 2021 and Mineral Additives on Oil-Contaminated Soils

¹ State Scientific Research Institute Nature Research Centre, Lithuania, ²UAB „Toksika“, Lithuania

Oil products are among the most dangerous pollutants because they are persistent, difficult to break down, and contain heavy metals. Soil contaminated with petroleum products (petrol, diesel, lubricants) poses a threat to the environment: it reduces soil fertility, destroys microorganisms, and can reach and contaminate groundwater. Microorganisms, algae, and plants can break down and transform various oil pollutants. The ability of organisms to break down oil pollutants depends on the specific enzymes they produce. This natural purification process can be accelerated by improving soil aeration, selecting optimal pH, temperature, and moisture values, and adding special types of microorganisms. The aim of the work is to model the biological remediation of soil contaminated with oil products using mineral additives and the biopreparation (GTC/GVT 2021) under laboratory conditions. The mineral additive has different concentrations of ammonium nitrate, superphosphate, and potassium chloride. The biopreparation (GTC/GVT 2021) is added at the beginning of the test, after one month, and after three months. The test duration is six months. The amount of oil products in the soil was determined every month. After 6 months, the amount of oil products in the soil decreased from 4.6 to 4.0 times. The number of oil-oxidizing bacteria during the test ranged from 10⁴ to 10⁷, and microscopic fungi from 10³ to 10⁵ ksv/1 g of soil.

Keywords: Bacteria, fungi, oil product, pollution, bioremediation.

Gauta 2026 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2026 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 5 2796640, el. paštas: jurgita.svediene@gamtc.lt

Jurgita ŠVEDIENĖ. State Scientific Research Institute Nature Research Centre, Laboratory of Biodeterioration Research, doctor of biomedicine sciences. Address: Akademijos str. 2, LT-08412 Vilnius. Phone: +370 5 2796640, e-mail: jurgita.svediene@gamtc.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

Jonas ŽVIRGŽDAS. Valstybinio mokslinių tyrimų instituto Gamtos tyrimų centro Biodestruktorių tyrimo laboratorijos doktorantas. Adresas: Akademijos g. 2, LT-08412, Vilnius, tel. +370 5 2796640, el. paštas: jonas.zvirgzdas@gmail.com

Jonas ŽVIRGŽDAS. State Scientific Research Institute Nature Research Centre, Laboratory of Biodeterioration Research, PhD student. Address: Akademijos str. 2, LT-08412 Vilnius. Phone: +370 5 2711723, e-mail: Akademijos str. 2, LT-08412, Vilnius. Phone: +370 5 2796640, e-mail: jonas.zvirgzdas@gmail.com

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 67 120845, el.paštas: i.galginiene@toksika.lt

Irma GALGINIENĖ. UAB „Toksika“ chemist. Address: Birbinčių g. 59, Kiškėnų k., Dvilų sen., LT-96223, Klaipėdos r., Phone: +370 67 120845, e-mail: i.galginiene@toksika.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 5 2711723, el. paštas: algimantas.paskevicius@gamtc.lt

Algimantas PAŠKEVIČIUS. State Scientific Research Institute Nature Research Centre, Laboratory of Biodeterioration Research, doctor of biomedicine sciences. Address: Akademijos str. 2, LT-08412 Vilnius. Phone: +370 5 2711723, e-mail: algimantas.paskevicius@gamtc.lt

BIOSTIMULIACIJOS IR BIOAUGMENTACIJOS ĮTAKA DIRVOŽEMIO FERMENTINIAM AKTYVUMUI BEI MEDIENOS BIODEGRADACIJAI

Rūta Bugytė, Vita Raudonienė, Danguolė Bridžiuvienė

Valstybinis mokslinių tyrimų institutas Gamtos tyrimų centras

Vadovaujantis Europos Sąjungos 2019/904 direktyva, nuo 2021 metų Europos Sąjungoje yra draudžiami vienkartiniai plastikiniai įrankiai. Iki tol sunkiai įrantį plastiką pakeitė įvairios tvarios alternatyvos, tokios kaip lengvai suskaidoma mediena. Šio tyrimo tikslas buvo nustatyti, kaip vienkartinių medinių įrankių degradacija vyksta dirvožemyje ir kokią įtaką turėtų šiam procesui biostimuliacija organinėmis trąšomis ir bioaugmentacija *Trichoderma* genties grybais. Beržinės vienkartinės šakutės buvo inkubuotos kompostinėje žemėje (A), niekuo nepaveiktame dirbamos žemės dirvožemyje (BK), dirvožemyje, papildytame vištų mėšlo trąšomis (BM) ir dirvožemyje inokuliuotame *Trichoderma* sp. TR-1 ir TR-2 (BT). Biodegradacija vertinta pagal šakučių sausojo svorio pokytį, kuris buvo matuotas po 3, 6 ir 9 mėnesių. Didžiausias šakučių biodegradacijos laipsnis buvo nustatytas dirvožemyje su padidėjusiu *Trichoderma* sp. kiekiu. Organinės trąšos ir *Trichoderma* sp. skatino dirvožemio fermentinį aktyvumą.

Raktiniai žodžiai: medienos destrukcija, *Trichoderma*, organinės trąšos.

Įvadas

2023 m. Europos sąjungos plastiko atliekų kiekiai siekė 79,7 milijono tonų. Tai buvo 21,2 kg didesnis žmogui tenkantis kiekis nei 2013 m. (Eurostat, 2025). Tik dalį šio plastiko galima perdirbti ir tik dalis plastiko pasiekia atliekų surinkimo punktus. Visa kita dar milijonus metų nesuskils vandenynuose, dirvožemiuose. Dauguma plastikų niekada nepasieks pilnos degradacijos. Siekiant kovoti su šiais sparčiai augančiais plastiko atliekų kiekiais dauguma sektorių ieško tvaresnių kelių. Yra svarbu užtikrinti, kad tokios atliekos kaip vienkartinės pakuotės, įrankiai būtų ne tik saugūs žmogui, patvarūs, tačiau pasižymėtų greita bei pilna degradacija. Būtent dėl to, 2021 m. Europos Sąjungai uždraudus plastikinius vienkartinius įrankius, ėmė daugėti medienos, bambuko alternatyvų. Šios medžiagos greičiau suskaidomos ir lengviau įsilieja į natūralų anglies ciklą.

Pagrindiniai celiuliozinių atliekų dirvožemyje skaidytojai yra mikroskopiniai grybai. Dažnai iš dirvožemio išskiriama *Trichoderma* gentis, pasižyminti aukštu celiuliaziniu, endogliukanaziniu, ksilanaziniu, lakaziniu, peroksidaziniu aktyvumu yra viena pagrindinių agroatliekų kompostavimo aktyvatorių. *Trichoderma* genties grybai geba sparčiai auginti biomasę, yra mažai patogeniški žmogui, aktyvūs fermentatoriai. Juos vis dažniau bandoma taikyti bioaugmentacijai, sudėtingų angliavandenių skaidymui (Dac Daccò ir kt., 2020). Šio grybo vykdoma ryžių šieno degradacija naudinga ne tik tvariam atliekų mažinimui lyginant su daug greitesniu, tačiau aplinkai pavojingesniu deginimu, bet ir organinių medžiagų grąžinimui į aplinką. *Trichoderma* genties grybais vykdoma atliekų fermentacija pasižymi ir teigiamu poveikiu augalų atsparumui, padidindama peroksidazės, katalazės ir superoksido dismutazės kiekius ūgliuose ir šaknyse. Dirvožemyje su *Trichoderma* augantys augalai sėklas sudaigina greičiau, sukaupia aukštesnes chlorofilo koncentracijas (Sarangi ir kt., 2021).

Efektyviam biologiniam atliekų perdirbimui labai svarbios aplinkos sąlygos. Kompostavimo optimizacija apima drėgmės, pH, temperatūros, maisto medžiagų kontrolę. Dažnai renkamsi pasitelkti ne tik bioaugmentacijos metodus, kompostą papildant skirtingais mikroorganizmais, bet ir biostimuliacijos metodus, mėginius praturtinant maisto medžiagomis ir mikroelementais. Pavyzdžiui, kombinuotas *Trichoderma harzianum* ir *Phanerochaete chrysosporium* inokuliacija pasižymėjo aukštu potencialu gerinant lignino degradaciją terpėje, praturtintoje vištų mėšlu (Zhai ir kt., 2025). Dirvožemio papildymas organinėmis trąšomis skatina mikroorganizmų fermentacijos veiklą. Nustatyta, jog vištų mėšlas teigiamai prisideda prie mikrobinės biomasės fosforo kiekio dirvožemyje, skatindamas fosforą perdirbančių fermentų sekreciją (Sun ir kt., 2024). Biostimuliacijos metodų pasitelkimas dirvožemio mikroorganizmų veiklos aktyvacijai gali prisidėti prie bendros dirvožemio stabilizacijos ir fermentacinių mikroorganizmų pajėgumų.

Dauguma lignoceliuliozinių atliekų degradavimo tyrimų siejami su agrokultūrinių atliekų skaidymu. Taip pat nemažai tiriama plastiko atliekų biodegradacija. Europai vis dažniau renkantis tvaresnius sprendimus, daugėja vienkartinių natūralių celiuliozinės kilmės įrankių atliekų. Tokių atliekų degradacijos tyrimų kol kas nėra daug, todėl šio tyrimo metu siekta nustatyti, kaip *Trichoderma* genties grybai ar stimuliacija vištų mėšlu paveiktų vienkartinių medinių šakučių degradaciją dirvožemyje bei jo fermentinį aktyvumą.

Tyrimų metodika

Tirti du žemės mėginiai: *A* – pirktinė kompostinė žemė (pH 6,75, bendras azoto (N) kiekis – 0,45 %, judriojo fosforo (P₂O₅) kiekis – 0,10 %, judriojo kalio (K₂O) kiekis – 0,75 %) ir *B* – dirbamos žemės dirvožemis Alytaus rajone (54.432146, 24.436712) (pH 6,65, bendras azoto (N) kiekis – 0,29 %, judriojo fosforo (P₂O₅) kiekis – 0,12 %, judriojo kalio (K₂O) kiekis – 0,04 %). Mikroorganizmų skaičius dirvožemyje buvo nustatytas praskiedimo metodu. 10 g dirvožemio mėginio buvo dedama į kolbas su 90 mL sterilaus vandens ir kratoma 60 min., 300 aps./min. Gautos suspensijos praskiestos 10³ – 10⁴ ir išsėtos ant „Rose bengal agar“ („Liofilchem“, Italija) bendram grybų skaičiaus nustatymui. Mikroskopinių grybų pradų skaičius 1 g sauso dirvožemio apskaičiuotas pagal formulę:

$$x = \frac{a \times b \times c}{d}, \quad (1)$$

čia *x* – mikroorganizmų pradų skaičius 1 g sauso dirvožemio, KfV/g;
a – kolonijų skaičius lėkštelėje, KfV;
b – praskiedimo faktorius;
c – praskiedimo tūris, mL;
d – sauso dirvožemio svoris, g.

Mikroskopinių grybų skaičius pakartotinai nustatytas po 9 mėnesių. Bandymas buvo atliktas dviem pakartojimais.

Medinių šakučių biodegradacijai nustatyti buvo paruošti keturi bandymo variantai eksikatoriuose (3 L): pirktinė kompostinė žemė (*A*), kontrolė – nepaveiktas *B* dirvožemis (*BK*), *B* dirvožemis papildytas vištų mėšlu (*BM*), *B* dirvožemis inokuliuotas *Trichoderma* sp. TR-1 ir *Trichoderma* sp. TR-2 (*BT*). Vienkartinės šakutės iš beržo medienos buvo džiovintos 24 val. 105 °C temperatūroje ir pasvertas jų pradinis sausas svoris. Tuomet šakutės buvo užkastos į dirvožemius 1-2 cm gylyje (1 pav.), kad būtų užtikrintos kuo tolygesnės sąlygos visame dirvožemio paviršiuje.

Dirvožemio inokuliacija buvo atlikta paruošus 15 mL *Trichoderma* sp. TR-1 ir 15 mL *Trichoderma* sp. TR-2 ląstelių suspensijas (10⁶ KfV/mL), kurios buvo užneštos į *BT* žemės paviršių ir lengvai sumaišytos. Susmulkintas mėšlas (18 g) buvo tolygiai išbarstytas *BM* žemės paviršiuje, supurkštas 30 mL vandens ir lengvai sumaišytas. Viso bandymo metu buvo palaikyta optimali dirvožemio drėgmė ir 26 °C temperatūra.

Vienkartinį medinių šakučių biodegradacijos laipsnis buvo nustatytas po 3, 6 ir 9 mėnesių, jas išdžiovinus 24 val. 105 °C temperatūroje pagal santykinį svorio sumažėjimą, kuris buvo apskaičiuotas pagal formulę:

$$DE = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100 \%, \quad (2)$$

čia *DE* – santykinis svorio sumažėjimas, %;
*m*₀ – pradinis šakučių sausas svoris, g;
*m*₁ – šakučių sausas svoris po inkubavimo eksikatoriuje, g.

Dirvožemių celiuliazinis aktyvumas ir dehidrogenazinis aktyvumas – naudojant trifeniltetrazolio chloridą (TTC) kaip substratą atliktas pagal Shinner ir kt. (1996). Dirvožemių fermentiniai aktyvumai buvo nustatyti bandymo pradžioje bei po 6 ir 9 mėnesių šakučių inkubacijos. Mikologiniam įvertinimui šakutės, iškastos po 9 mėnesių, buvo nuvalytos, nuplaautos po tekančiu ir steriliu vandeniu, išdėliotos ant agarizuotos salyklo ekstrakto terpės (salyklo koncentratas („Vilniaus alus“) atskiestas iki 7° pagal Balingą, 20 g/l agaro) ir laikytos 3 paras.

Rezultatai ir aptarimas

Nustatyta, kad viso bandymo metu didžiausiu celiuliaziniu aktyvumu pasižymėjo kompostinė žemė (*A*) (1 lentelė). *B* dirvožemio praturtinimas *Trichoderma* sp. TR-1 ir *Trichoderma* sp. TR-2 turėjo teigiamos įtakos dirvožemio celiuliaziniam aktyvumui. Lyginant su kontroliniu dirvožemiu (*BK*), jis buvo daugiau nei 2 kartus didesnis po 6 mėnesių ir beveik 3 kartus didesnis po 9 mėnesių. Vištų mėšlas taip pat turėjo teigiamą poveikį dirvožemio celiuliaziniam aktyvumui, kuris po 6 mėnesių buvo didžiausias palyginus su visais *B* dirvožemio variantais.



1 pav. Šakučių išdėstymas eksikatoriuje

Fig. 1. Arrangement of forks in a desiccator

1 lentelė. Dirvožemio CM-celiuliazinis aktyvumas**Table 1. CM-cellulase activity of soil**

	CM-celiuliazinis aktyvumas, $\mu\text{g GE} \times \text{g}^{-1} \text{dm} \times 24 \text{ h}^{-1}$ CM-cellulase activity, $\mu\text{g GE} \times \text{g}^{-1} \text{dm} \times 24 \text{ h}^{-1}$			
	<i>A</i>	<i>BK</i>	<i>BM</i>	<i>BT</i>
Eksperimento pradžioje <i>At the start of the experiment</i>	2219,34	112,99	112,99	112,99
Po 6 mėnesių <i>After 6 months</i>	1850,64	217,51	276,20	257,05
Po 9 mėnesių <i>After 9 months</i>	2625,32	267,28	288,75	313,40

Pastaba *A* – kompostinė žemė, *BK* – kontrolinis, nepaveiktas dirvožemis, *BM* – dirvožemis papildytas vištos mėšlu, *BT* – dirvožemis inokuliuotas *Trichoderma* sp. mikroskopiniais grybais.

Note: *A* – compost soil, *BK* – control, unaffected soil, *BM* – soil supplemented with chicken manure, *BT* – soil inoculated with *Trichoderma* sp. fungi.

Didžiausiu dehidrogenaziniu aktyvumu pasižymėjo kompostinė žemė (*A*) po 9 mėnesių (2 lentelė). Be to, po 9 mėnesių nustatytas *A* varianto dehidrogenazinio aktyvumo padidėjimas, tuo tarpu *B* dirvožemio visuose variantuose po 9 mėnesių šis aktyvumas sumažėjo. *B* dirvožemio inokuliacija *Trichoderma* sp. grybais turėjo teigiamos įtakos dehidrogenaziniui aktyvumui. Po 6 mėnesių nustatytas didesnis dehidrogenazinis aktyvumas nei kontrolėje ir beveik dvigubai didesnis nei bandymo pradžioje. Vištų mėšlas taip pat turėjo teigiamos įtakos dehidrogenaziniui aktyvumui – po 9 mėnesių jis buvo didžiausias iš visų *B* dirvožemio variantų.

2 lentelė. Dirvožemio dehidrogenazinis aktyvumas**Table 2. Dehydrogenase activity of soil**

	Dehidrogenazinis aktyvumas, $\mu\text{g TPF} \times \text{g}^{-1} \text{dm} \times 24 \text{ h}^{-1}$ Dehydrogenase activity, $\mu\text{g TPF} \times \text{g}^{-1} \text{dm} \times 24 \text{ h}^{-1}$			
	<i>A</i>	<i>BK</i>	<i>BM</i>	<i>BT</i>
Eksperimento pradžioje <i>At the start of the experiment</i>	72,55	53,76	53,76	53,76
Po 6 mėnesių <i>After 6 months</i>	262,24	61,33	79,65	99,51
Po 9 mėnesių <i>After 9 months</i>	302,82	59,60	66,27	34,46

Pastaba: *A* – kompostinė žemė, *BK* – kontrolinis, nepaveiktas dirvožemis, *BM* – dirvožemis papildytas vištos mėšlu, *BT* – dirvožemis inokuliuotas *Trichoderma* sp. mikroskopiniais grybais.

Note: *A* – compost soil, *BK* – control, unaffected soil, *BM* – soil supplemented with chicken manure, *BT* – soil inoculated with *Trichoderma* sp. fungi.

Nors *Trichoderma* sp. ir vištų mėšlas turėjo teigiamos įtakos dirvožemio fermentiniams aktyvumams, o kompostinė žemė pasižymėjo didžiausiu fermentiniu aktyvumu, tai neturėjo tiesioginės koreliacijos su vienkartinį šakučių biodegradacijos laipsniu (3 lentelė). B dirvožemyje su *Trichoderma* sp. šakutės buvo skaidytos vienodu efektyvumu kaip ir kontroliniame variante. Dirvožemyje su mėšlu (*BM*) inkubuotų šakučių destruktinis efektyvumas buvo pats silpniausias iš visų daržo dirvožemio variantų, tačiau inkubuotos šakutės pasižymėjo stabiliausia biodegradacija iš visų B dirvožemio variantų.

Nepaisant mažo destruktinio efektyvumo, kompostinės žemės variantas vienintelis pasižymėjo tik *Trichoderma* genties grybų augimu ant šakučių (3 pav.). Be to šiame mėginyje po 9 mėnesių beveik 2 kartus sumažėjo mikroskopinių grybų skaičius, o visi išskirti grybai priklausė *Trichoderma* genčiai. Tikėtina, jog šios žemės specifinė mikroorganizmų sudėtis ir įvairovė sudarė tinkamą aplinką dominuoti *Trichoderma* genties grybams. Nors *Trichoderma* genties grybai išskiria didelius kiekius celiulazių ir hemiceliulazių, ligniną jie degraduoja sunkiai. Paprastai šie grybai prisideda prie medienos degradacijos po to, kai ligniną pradeda skaidyti kiti mikroorganizmai (pvz.: baltojo puvinio grybai). Be to *Trichoderma*, konkuruodama dėl vietos ir metabolitų, gali paveikti, kokie grybai atliks pradinę lignino degradaciją (Błaszczuk ir kt., 2016). Tikėtina, jog mūsų tirtoje kompostinėje žemėje nebuvo tinkamo stipriu lignoceliulaziniu aktyvumu pasižyminčio grybo, kuris galėtų apdoroti medieną ar su kuriuo *Trichoderma* galėtų augti sinergistiškai, kaip augo B dirvožemio variantuose. Dėl to destruktija kompostinėje žemėje vyko silpniau nei *BK* ar *BT* variantuose.

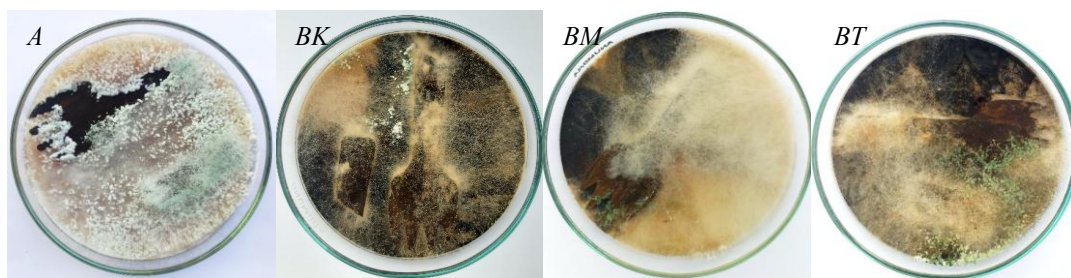
3 lentelė. Šakučių santykinis svorio sumažėjimas (DE) skirtingomis sąlygomis po 3, 6 ir 9 mėnesių**Table 3.** Relative weight reduction of forks (DE) under different conditions after 3, 6 and 9 months

	DE ± sd (n = 3)			
	<i>A</i>	<i>BK</i>	<i>BM</i>	<i>BT</i>
Po 3 mėnesių <i>After 3 months</i>	21,18 % ± 1,80	55,15 % ± 4,52	13,32 % ± 1,39	50,45 % ± 6,81
Po 6 mėnesių <i>After 6 months</i>	34,89 % ± 7,20	63,78 % ± 3,14	34,48 % ± 3,14	63,00 % ± 1,96
Po 9 mėnesių <i>After 9 months</i>	41,83 % ± 3,50	67,05 % ± 1,34	50,69 % ± 1,15	66,86 % ± 0,70

Pastaba: *A* – kompostinė žemė, *BK* – kontrolinis, nepaveiktas dirvožemis, *BM* – dirvožemis papildytas vištos mėšlu, *BT* – dirvožemis inokuliuotas *Trichoderma* sp. mikroskopiniais grybais.

Note: *A* – compost soil, *BK* – control, unaffected soil, *BM* – soil supplemented with chicken manure, *BT* – soil inoculated with *Trichoderma* sp. fungi.

Mėšlu papildytame dirvožemyje pastebėtas sumažėjęs grybų kiekis dirvožemyje ($1,58 \times 10^3$ KFU/g). Zhang ir kt. (2022) nustatė, jog kompostą papildžius vištos mėšlu yra paveikiama mikrobiota dėl to, jog mėšlo specifiniai mikroorganizmai konkuruoja su dirvožemyje esančiais mikroorganizmais dėl maisto medžiagų ir vietos. Be to mėšlas pakeičia dirvožemio fiziochemiją, kuri taip pat gali smarkiai paveikti natyvių rūšių gebėjimą vykdyti įprastą destrukciją. Tikėtina, jog dideli kiekiai substrato pradinuose destrukcijos etapuose slopino medienos atliekų degradavimą, tačiau ilgesnė inkubacija turi potencialo palaikyti stabilią fermentų veiklą.



3 pav. Po 9 mėnesių ant *A*, *BK*, *BM* ir *BT* eksikatoriuose inkubuotų šakučių augantys mikroskopiniai grybai

Fig. 3. Fungi growing on forks incubated in *A*, *BK*, *BM* and *BT* desiccators after 9 months

Bandymo pradžioje kontroliniame variante (*BK*) *Trichoderma* sp. genties grybų buvo nedaug, tačiau po 9 mėnesių, tiek kontroliniame variante, tiek *Trichoderma* sp. inokuliuotame variante nustatytas didesnis *Trichoderma* sp. genties grybų kolonijų skaičius. Bandyme naudotos *Trichoderma* sp. *TR-1* ir *Trichoderma* sp. *TR-2* mišinys neturėjo neigiamo poveikio mikroskopinių grybų skaičiui *B* dirvožemyje – *BK* ir *BT* mėginiuose šios reikšmės buvo panašios (*BK*: $2,44 \times 10^4$ KFU/g, *BT*: $2,38 \times 10^4$ KFU/g). Zhai ir kt. (2025) nustatė, jog komposto papildymas tik *Trichoderma harzianum* turėjo neigiamos įtakos grybų įvairovei, specifiskai buvo slopintas *Basidiomycota* grybų augimas. *Trichoderma* paveikia lignino skaidymą keisdama mikrobiotos įvairovę. Kombinuojant ją su tam tikrais grybais, kurie efektyviai skaido ligniną, tokie kaip *Phanerochaete chrysosporium*, galima skatinti lignino degradaciją. Taigi pradinė dirvožemio grybų sudėtis gali paveikti bioaugmentacijos metodų pritaikymų lignino atliekų skaidymo sėkmę.

Išvados

1. Nustatytas didžiausias celiuliazinis ir dehidrogenazinis aktyvumas kompostinėje žemėje nekoreliavo su vienkartinį medinių šakučių biodegradacijos laipsniu.
2. Biostimuliacija organinėmis trąšomis slopino dirvožemio grybų augimą, tačiau skatino celiuliazinį ir dehidrogenazinį dirvožemio aktyvumą.
3. Nustatyta, jog vienkartinį medinių šakučių biodegradacija po 3, 6 ir 9 mėnesių efektyviausiai vyko dirbamos žemės dirvožemyje su inokuliuotais *Trichoderma* genties grybais ir kontroliniame variante.

Literatūra

1. Błaszczak, L., Strakowska, J., Chelkowski, J., Gąbka-Buszek, A. ir Kaczmarek, J. (2015). *Trichoderma* species occurring on wood with decay symptoms in mountain forests in Central Europe: genetic and enzymatic characterization. *Journal of Applied Genetics*, 57(3), 397–407. <https://doi.org/10.1007/s13353-015-0326-1>

2. Daccò, C., Nicola, L., Temporiti, M. E. E., Mannucci, B., Corana, F., Carpani, G., ir Tosi, S. (2020). *Trichoderma*: Evaluation of Its Degrading Abilities for the Bioremediation of Hydrocarbon Complex Mixtures. *Applied Sciences*, 10(9), 3152. <https://doi.org/10.3390/app10093152>
3. Eurostat. (2025). *Plastic packaging waste in the EU: 35.3 kg per person*. Prieiga per internetą: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20251022-1>
4. Sarangi, S., Swain, H., Adak, T., Bhattacharyya, P., Mukherjee, A. K., Kumar, G. ir Mehetre, S. T. (2021). *Trichoderma*-mediated rice straw compost promotes plant growth and imparts stress tolerance. *Environ Sci Pollut Res.*, 28, 44014–44027. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13701-3>
5. Shinner, F., Öhlinger, R., Kandeler, E. ir Margesin, R. (1996). *Methods in Soil Biology*. Springer.
6. Sun, X., Gao, W., Li, H., Zhang, J., Cai, A., Xu, M., ir Hao, X. (2024). Animal manures increased maize yield by promoting microbial activities and inorganic phosphorus transformation in reclaimed soil aggregates. *Applied Soil Ecology*, 198, 105352. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2024.105352>
7. Zhai, S., Wang, K., Yu, F., Gao, Z., Yang, X., Cao, X., Shaghaleh, H., ir Alhai, H. Y. (2025). Effects of *Trichoderma harzianum* combined with *Phanerochaete chrysosporium* on lignin degradation and humification during chicken manure and rice husk composting. *Frontiers in Microbiology*, 16. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2025.1515931>
8. Zhang, D., Sun, J., Wang, D., Peng, S., Wang, Y., Lin, X., Yang, X., Hua, Q., ir Wu, P. (2023). Comparison of bacterial and fungal communities structure and dynamics during chicken manure and pig manure composting. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(41), 94347–94360. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-29056-w>

Rūta Bugytė, Vita Raudonienė, Danguolė Bridžiuviene

Influence of Biostimulation and Bioaugmentation on Soil Enzyme Activity and Wood Biodegradation

Vilnius University Life Sciences Center, Lithuania, State Scientific Research Institute, Nature Research Centre, Lithuania

In accordance with the European Union Directive 2019/904, single-use plastic utensils are banned in the European Union since 2021. Non-biodegradable plastic has been replaced by various sustainable alternatives such as easily biodegradable wood. The aim of this study was to determine how the degradation of single-use wooden utensils occurs in soil and what kind of impact biostimulation with organic fertilizers and bioaugmentation with *Trichoderma* fungi would have on this process. Birch single-use forks were incubated in compost soil (A), in unaffected cultivated soil (BK), in soil supplemented with chicken manure fertilizer (BM) and in soil inoculated with *Trichoderma* sp. TR-1 and TR-2 (BT). Biodegradation was assessed by the change in dry weight of the forks, which was measured after 3, 6 and 9 months. The highest degree of biodegradation of the forks was reported in soil with an increased amount of *Trichoderma* sp. Organic fertilizers and *Trichoderma* sp. promoted soil enzymatic activity.

Keywords: Wood degradation, *Trichoderma*, organic fertilizer.

Gauta 2026 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2026 m. balandžio mėn.

Rūta BUGYTĖ. Vilniaus universiteto Gyvybės mokslų centro Mikrobiologijos studentė. Adresas: Saulėtekio al. 7, LT-08412, Vilnius, el. paštas: ruta.bugyte@gamtc.lt

Rūta BUGYTĖ. Vilnius University Life Sciences Center Microbiology student. Address: Akademijos str. 2-2, LT-08412, 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, LT-08412, Vilnius, tel. +370 5 2796640, 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 5 2796640, 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, LT-08412 Vilnius, tel. +370 5 2796640, 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, LT-08412 Vilnius. Phone: +370 5 2796640, e-mail: danguole.bridziuviene@gamtc.lt

MIELIŲ PAPLITIMAS IR BIOĮVAIROVĖ VILNIAUS MIESTO ANTROPOGENINIUOSE DIRVOŽEMIUOSE

Jonas Žvirgždas, Algimantas Paškevičius

Valstybinis mokslinių tyrimų institutas Gamtos tyrimų centras

Pagrindinis tyrimų tikslas buvo įvertinti mielių paplitimą ir bioįvairovę miesto trąšažemiuose šalia judriausių Vilniaus miesto gatvių, siekiant įvertinti galimą taršos sunkiaisiais metalais ir naftos angliavandeniliais poveikį mikroorganizmų bendrijoms. Dirvožemio ėminiai buvo imti prie pagrindinių transporto arterijų, kur dėl intensyvaus eismo ilgą laiką galėjo kauptis teršalai. Tyrimų metu buvo atliktas mikrobiologinių parametų nustatymas, siekiant įvertinti, kaip transporto tarša veikia dirvožemio mikroorganizmų bendrijų struktūrą ir bioįvairovę. Ypatingas dėmesys skirtas mielių tyrimams, nes jos geba kaupti sunkiuosius metalus bei skaidyti naftos angliavandenilius, todėl gali būti naudojamos kaip biologiniai indikatoriai vertinant miesto dirvožemių būklę. Nustatyta, kad mielių koncentracija tirtuose dirvožemiuose svyravo nuo 10^2 iki 10^4 KSV/g, o naftos angliavandenilius oksiduojančių mielių koncentracija – nuo 10^2 iki 10^3 KSV/g. Iš dirvožemių buvo išskirti 59 mielių izoliatai ir nustatytos 33 mielių rūšys. Dažniausiai išskirtos mielių rūšys buvo *Solicoccozyma terrea* ir *Rhodotorula diobovata* (po 21,43%), *Cystofilobasidium macerans* (14,29%), *Pichia fermentans* ir *Rhodotorula mucilaginosa* (po 10,71%). Taip pat buvo išskirta 15 naftos angliavandenilius skaidančių mielių izolatų ir nustatytos 9 mielių rūšys. Dažniausiai išskirtos naftos angliavandenilius oksiduojančių mielių rūšys buvo *Rhodotorula diobovata* (13,64%) ir *Rhodotorula mucilaginosa* (18,18%).

Raktiniai žodžiai: mielės, paplitimas, bioįvairovė, Vilnius, dirvožemis.

Įvadas

Mielės – tai grybų karalystei priskiriami vienaląsčiai eukariotiniai mikroorganizmai. Mielių rūšių esama *Ascomycota* ir *Basidiomycota* skyriuose. Šiuo metu yra aprašyta apie 3500 mielių rūšių, tačiau nuolat tobulėjant molekuliniais biologiniais tyrimų metodams šis skaičius nuosekliai didėja.

Mielių paplitimas ir bioįvairovė priklauso nuo buveinės cheminių, fizinių, biologinių savybių. Sėkmingas tam tikros buveinės kolonizavimas ir įsitvirtinimas joje priklauso nuo kitų mikroorganizmų buveinėje ir jų tarpusavio sąveikos. Kiekviena buveinėje įsitvirtinusi mikroorganizmų rūšis nuolat keičia aplinkos savybes savo aktyvumu, kuris paverčia buveinę dinamine sistema. Mielės yra neatsiejama mikroorganizmų bendrijų ar mikrobiomo dalis. Taip pat, jos yra vieni iš anksčiausiai maisto medžiagų turtingus substratus kolonizuojančių mikroorganizmų. Mielių vaidmuo ekosistemoje neapsiriboja vien tik įvairių mono- ir disacharidų suvartojimu. Jos taip pat dalyvauja įvairių sudėtingų organinių junginių biodegradacijos procesuose, sintetina, kaupia, išskiria į aplinką metabolitus. Mielės taip pat atlieka pirminių ir antrinių skaidytojų vaidmenį bei yra maisto medžiagų šaltinis kitiems mitybinės grandinės mikroorganizmams ir makroorganizmams (Buzzini ir kt., 2017).

Mielės yra aptinkamos visose gamtinės aplinkos ekosistemose. Jų galima rasti vandenyje, dirvožemyje, atmosferoje, augaluose ir ant jų paviršių, gyvūnų organizmuose ir ant jų paviršiaus, žmonių sukurtoje aplinkoje. Dalis mielių yra laikomos patogeniškoms, ar sąlyginai patogeniškoms ir geba sukelti įvairias infekcijas žmonėms, gyvūnams bei augalams. Mielės taip pat gali dalyvauti įvairių antropogeninės ir natūralios kilmės medžiagų biodegradacijoje. Jos geba prisitaikyti prie nepalankių aplinkos sąlygų, išgyventi padidėjusios taršos sąlygomis ir dalyvauti šių medžiagų biodegradacijos procesuose. Mielių savybės leidžia jas panaudoti įvairiais teršalais užteršto dirvožemio, vandens, nuotekų biologiniam valymui.

Tarša sunkiaisiais metalais ir naftos angliavandeniliais gali lemti dirvožemio mikroorganizmų bendrijų sudėties pokyčius, mažinti biologinę įvairovę, sukeldama tam tikrų mikroorganizmų rūšių išnykimą. Taršos sukeltas poveikis dirvai gali paskatinti tam tikrų mikroorganizmų rūšių, išvysčiusių toleranciją ir atsparumą teršalams, augimą. Šie mikroorganizmai gali dalyvauti teršalų bioakumuliacijos ir biodegradacijos procesuose (Mejia ir kt., 2022).

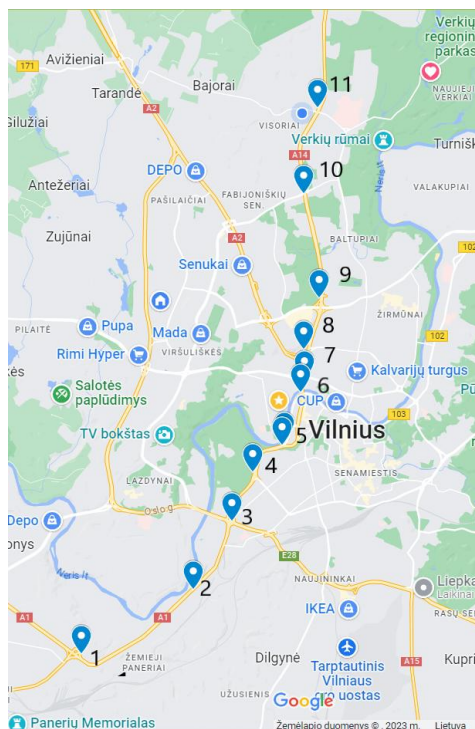
Mielės vaidina svarbų vaidmenį antropogeninės kilmės medžiagų biologinio skaidymo procesuose. Šios medžiagos apima įvairius teršalus, tokius kaip angliavandeniliai, sunkieji metalai ir sintetinės cheminės medžiagos. Mielės prisideda prie sunkiųjų metalų šalinimo iš įvairių substratų (dirvožemio, vandens, dumblo ir kt.), jų toksiškumo mažinimo, naftos angliavandenilių biodegradacijos ir toksiškumo mažinimo, įvairių kitų organinės kilmės teršalų, pramonės ir buitinių atliekų biologinio skaidymo (Cadete ir kt., 2017).

Atsižvelgiant į mielių ekologinę reikšmę ir jų potencialą dalyvauti teršalų biodegradacijos bei bioakumuliacijos procesuose, šio darbo tyrimo objektas yra mielių paplitimas, bioįvairovė ir funkcinės savybės Vilniaus miesto trąšažemiuose.

Tyrimo tikslas – įvertinti mielių paplitimą ir bioįvairovę miesto trąšažemiuose šalia judriausių Vilniaus miesto gatvių, siekiant nustatyti galimą taršos sunkiaisiais metalais ir naftos angliavandeniliais poveikį mikroorganizmų bendrijoms.

Tyrimų metodika

Dirvožemio ėminių ėmimas. Dirvožemio ėminiai buvo imami 2020–2021 metų birželio mėnesį šalia Geležinio Vilko gatvės ir Savanorių prospekto esančiose žaliosiose zonose. Iš viso paimti 22 dirvožemio ėminiai. Dirvožemio ėminiai buvo imami tyrimui pasirinktoje teritorijoje, kuri buvo suskirstyta į atskirus tiriamuosius plotus. Iš kiekvieno tiriamojo ploto buvo imama po ne mažiau kaip keturis ėminius, formuojant sudėtinį dirvožemio ėminį, iš visame tiriamame plote paimtų ėminių. Ėminiai imti iš 0–15 cm gylio paviršinio dirvožemio sluoksnio, pašalinus paviršines nuokritas, augalus bei jų šaknis, samanų, kitas augalų dalis ir dirvožemio fauną (Čyžius ir Stankevičius, 2021; ISO 18400, 2017; Lietuvos geologijos tarnyba, 2008).



1 pav. Dirvožemio ėminių paėmimo vietų žemėlapis Vilniaus mieste

Fig. 1. Map of soil sampling sites in Vilnius city

Ėminiai buvo imami iš judriausių gatvių atkarpų, kuriose buvo labiausiai tikėtina tarša naftos angliavandeniliais ir kitais teršalais (1 pav., 1 lentelė).

1 lentelė. Dirvožemio ėminių paėmimo vietos Vilniaus mieste ir jų aprašymas

Table 1. Soil sampling locations in Vilnius city and their description

Ėminio Nr. Sample No.	Ėminio paėmimo vieta Sample collection site	Ėminio paėmimo vietos adresas Sample collection site address	Ėminio paėmimo vietos koordinatės Sample collection site coordinates
1	Dirvožemis prie EMSI degalinės Soil near EMSI petrol station	Savanorių pr., Vilnius Savanorių Ave., Vilnius	54.641080, 25.185291
2	Dirvožemis prie Pakalniškių stotelės Soil near Pakalniškės stop	Savanorių pr., Vilnius Savanorių Ave., Vilnius	54.654823, 25.224655
3	Dirvožemis prie Gerosios Vilties g. žiedo Soil near Gerosios Vilties St. roundabout	Savanorių pr., Vilnius Savanorių Ave., Vilnius	54.668891, 25.238834
4	Dirvožemis prie gatvių išsišakojimo Soil near road junction	Geležinio Vilko g., Vilnius Geležinio Vilko St., Vilnius	54.678686, 25.246752
5	Dirvožemis prie Goštauto ir Geležinio Vilko g. sankirtos Soil near the intersection of Goštauto St. and Geležinio Vilko St.	Geležinio Vilko g., Vilnius Geležinio Vilko St., Vilnius	54.684501, 25.256536
6	Dirvožemis prie Geležinio Vilko g. tilto Soil near the bridge on Geležinio Vilko St.	Goštauto g., Vilnius Goštauto St., Vilnius	54.695292, 25.263688
7	Dirvožemis prie žiedo, virš Geležinio Vilko g. Soil near the roundabout above Geležinio Vilko St.	Geležinio Vilko g., Vilnius Geležinio Vilko St., Vilnius	54.697935, 25.264670

8	Dirvožemis prie Šeškinės bunkerų <i>Soil near Šeškinė bunkers</i>	Geležinio Vilko g., Vilnius <i>Geležinio Vilko St., Vilnius</i>	54.704346, 25.265823
9	Dirvožemis prie PC „Ozas“ <i>Soil near “Ozas” shopping centre</i>	Geležinio Vilko g., Vilnius <i>Geležinio Vilko St., Vilnius</i>	54.714824, 25.270371
10	Dirvožemis prie tilto, Ateities g. <i>Soil near the bridge on Ateities St.</i>	Ateities g., Vilnius <i>Ateities St., Vilnius</i>	54.736348, 25.264303
11	Dirvožemis prie Molėtų plento ir Mokslininkų g. sankryžos <i>Soil near the intersection of Molėtai Highway and Mokslininkų St.</i>	Mokslininkų g., Vilnius <i>Mokslininkų St., Vilnius</i>	54.754161, 25.269453

Atrinkti prie judriausių Vilniaus miesto gatvių paimti dirvožemio ėminiai buvo siunčiami į Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centro Agrocheminių tyrimų laboratoriją sunkiųjų metalų kiekiams nustatyti. Nei vieno iš tirtų metalų koncentracija neviršijo leistinų ribinių verčių (2 lentelė).

2 lentelė. Metalų kiekis Vilniaus miesto dirvožemio ėminiuose (Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centras, 2021)

Table 2. Metal concentrations in soil samples from the city of Vilnius (Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry, 2021)

Ėminio Nr. <i>Sample No.</i>	Chromas (mg/kg) <i>Chromium (mg/kg)</i>	Kadmis (mg/kg) <i>Cadmium (mg/kg)</i>	Švinas (mg/kg) <i>Lead (mg/kg)</i>	Nikelis (mg/kg) <i>Nickel (mg/kg)</i>	Geležis (mg/kg) <i>Iron (mg/kg)</i>	Varis (mg/kg) <i>Copper (mg/kg)</i>	Cinkas (mg/kg) <i>Zinc (mg/kg)</i>
1	12,8	0,12	17,70	8,95	5600	26,20	126,0
3	11,0	0,061	8,93	7,67	5700	7,33	34,2
7	9,73	0,078	13,10	5,80	5653	18,90	54,3
10	16,7	0,11	13,20	10,30	7839	21,90	109,0

Mielių išskyrimas iš dirvožemio. Mielių išskyrimas iš dirvožemio buvo atliktas suspensijos serijinio praskiedimo metodu. Kiekvieno ėminio 10g dirvožemio buvo įdėta į kolbutę su 90 ml sterilaus vandens ir 60 min. purtyta purtyklėje 180 rpm greičiu. Gauta suspensija buvo skiedžiama ir išsėjama ant Rose Bengal CAF Agar (Liofilchem, Italija) bendram mielių kiekiui nustatyti ir terpės mielėms su dyzelinu (MD) naftą oksiduojančioms mielėms išskirti, sudėtis (g/l): $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 - 5,00$, $\text{K}_2\text{HPO}_4 - 0,15$, $\text{KH}_2\text{PO}_4 - 0,85$, $\text{MgSO}_4 - 0,50$, $\text{NaCl} - 0,10$, $\text{CaCl}_2 - 0,10$, dyzelinas – 1%. Lėkštelės inkubuotos termostate $19 \pm 1^\circ\text{C}$ temperatūroje 3–5 paras (Reynolds, 2005).

Po inkubacijos buvo suskaičiuotos mielių kolonijos (kolonijas sudarantys vienetai, KSV) ir apskaičiuotas jų kiekis 1 g absoliučiai sauso dirvožemio pagal formulę:

$$n = \frac{a \times b \times c}{d}, \quad (1)$$

čia

n – mikroorganizmų pradų (KSV) skaičius 1g s.s. (sausio substrato),

a – išaugusių kolonijų skaičius lėkštelėje,

b – suspensijos praskiedimas,

c – pasėtos suspensijos tūris (ml),

d – sauso dirvožemio svoris (g).

Rezultatai pateikti suskaičiuotus vidurkį iš ėminio pakartojimų (Reynolds, 2005).

Mielių identifikavimas. Išskirti mielių izoliatai buvo identifikuojami MALDI-TOF MS microflex® LRF (Bruker, JAV) Ekstrakcijos skruzdžių rūgštimi metodu ir klasikiniiais metodais (Kurtzman ir kt., 2011).

Aptinkamumo dažnio skaičiavimas. Aptinkamumo dažnis (t. y. procentinė išraiška tarp ėminių, kuriuose aptikta mielių rūšis, ir viso tirtų ėminių skaičiaus, AD) (Stankevičienė, 2012) buvo skaičiuojamas pagal formulę:

$$A = \frac{B}{C} \times 100\%, \quad (2)$$

čia A – aptinkamumo dažnis (%),

B – tyrimų skaičius, kai rūšis buvo aptikta,

C – bendras tyrimų skaičius.

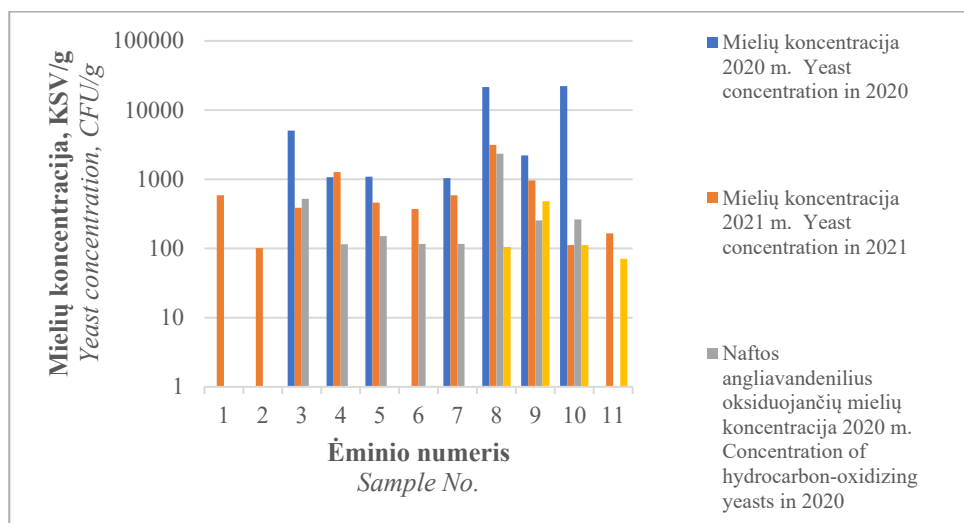
Rezultatai ir aptarimas

Buvo tiriamas dirvožemis šalia judriausių Vilniaus miesto gatvių (Savanorių pr., Geležinio Vilko g.), siekiant įvertinti galimą taršos sunkiaisiais metalais ir naftos angliavandeniliais poveikį mikroorganizmų bendrijoms. Dirvožemio ėminiai buvo imti prie pagrindinių transporto arterijų, kur dėl intensyvaus eismo ilgą laiką galėjo kauptis teršalai. Nors šiuo metu švino ir kitų sunkiųjų metalų degaluose nebėra, jų likučiai gali būti išlikę nuo tada, kai švino turintys degalai buvo plačiai naudojami. Tyrimų metu buvo vykdomas mikrobiologinių parametrų nustatymas, siekiant įvertinti, kaip transporto tarša veikia dirvožemio mikroorganizmų bendrijų struktūrą ir įvairovę. Ypatingas dėmesys skirtas mielių tyrimams, nes jos geba kaupti sunkiuosius metalus bei skaidyti naftos angliavandenilius, todėl gali būti naudojamos kaip biologiniai indikatoriai vertinant miesto aplinkos būklę.

2020 m. ištirta 11 dirvožemio ėminių. Mielių buvo aptikta 63,6 % ėminių, kuriuose taip pat rasta ir naftos angliavandenilius oksiduojančių mielių. 2021 metais ištirta 11 dirvožemio ėminių. Mielių aptikta visuose dirvožemio ėminiuose, o naftos angliavandenilius degraduojančių mielių – 36,4 % ėminių.

Atlikus sunkiųjų metalų (Cr, Cd, Pb, Ni, Fe, Cu, Zn) nustatymo pasirinktuose dirvožemio ėminiuose tyrimus, nei vieno iš tirtų sunkiųjų metalų kiekiai neviršijo ribinių verčių nurodytų Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministro 2015 m. gruodžio 14 d. įsakyme „Dėl Lietuvos higienos normos HN 60:2015 „Pavojingųjų cheminių medžiagų ribinės vertės dirvožemyje“ patvirtinimo“ (Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministras, 2015) (2 lentelė).

2020 m. bendra mielių koncentracija vidutiniškai sudarė $3,73 \times 10^3$ KSV/g ir svyravo nuo 0,00 iki $2,22 \times 10^4$ KSV/g, o naftos angliavandenilius oksiduojančių mielių vidutinė koncentracija – $3,43 \times 10^2$ KSV/g ir svyravo nuo 0,00 iki $2,35 \pm 0,06 \times 10^3$ KSV/g. Didžiausia bendra mielių koncentracija nustatyta ėminyje Nr. 10, o didžiausia naftos angliavandenilius oksiduojančių mielių koncentracija – ėminyje Nr. 8. 2021 m. bendra mielių koncentracija vidutiniškai sudarė $7,41 \times 10^2$ KSV/g ir svyravo nuo 0,00 iki $3,15 \times 10^3$ KSV/g, o naftos angliavandenilius oksiduojančių mielių vidutinė koncentracija – $7,00 \times 10^1$ KSV/g ir svyravo nuo 0,00 iki $4,82 \times 10^2$ KSV/g. Didžiausia bendra mielių koncentracija nustatyta ėminyje Nr. 8, o didžiausia naftos angliavandenilius oksiduojančių mielių koncentracija – ėminyje Nr. 9 (2 pav.).

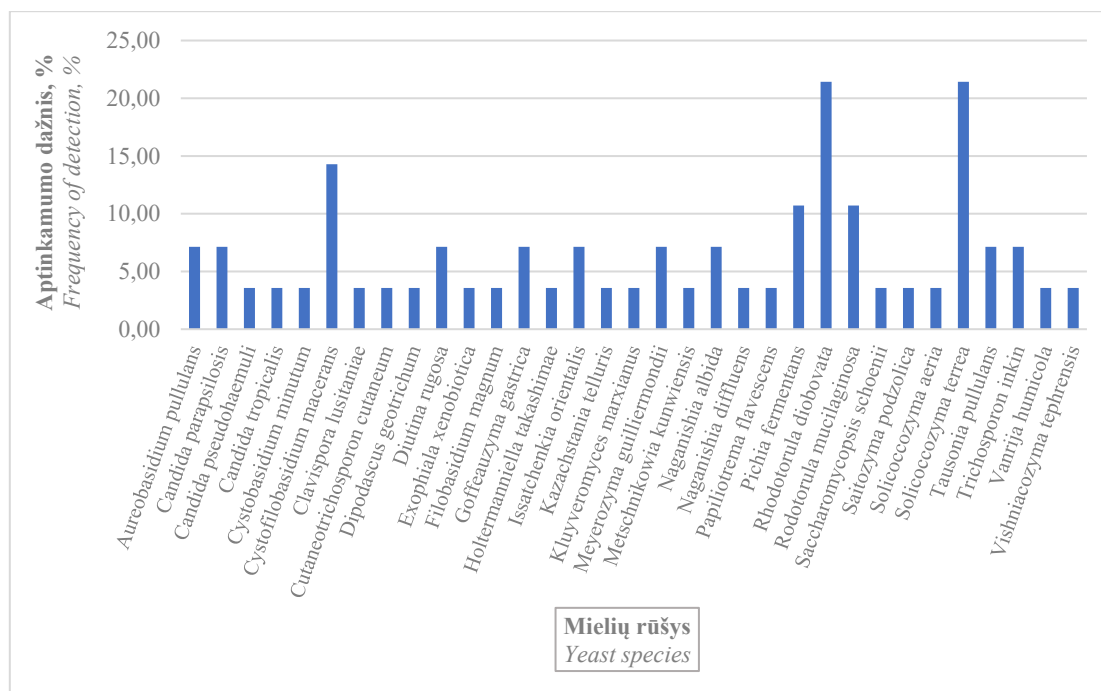


2 pav. Iš Vilniaus miesto antropogeninio dirvožemio ėminių išskirtų mielių koncentracijos kitimas 2020–2021 m.

Fig. 2. Variation in the concentration of yeasts isolated from anthropogenic soil samples in Vilnius city in 2020–2021

Repečkienė ir kt. (2002) nurodomas išskirtų naftos angliavandenilius degraduojančių mielių koncentracija dirvožemyje taip pat buvo 10^3 – 10^4 KSV/g. Mielių koncentracija dirvožemyje gali priklausyti nuo aplinkos sąlygų, todėl skirtingos lokalizacijos dirvožemiuose gali būti aptinkamas skirtinga mielių koncentracija.

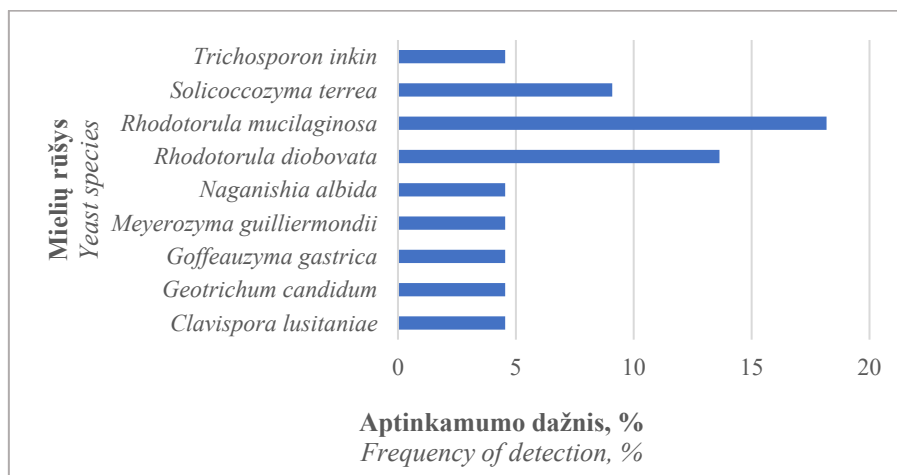
Iš dirvožemio buvo išskirti 59 mielių izoliatai ir nustatytos 33 mielių rūšys. Dažniausiai išskirtos mielių rūšys buvo *Solicozyma terre* ir *Rhodotorula diobovata* (po 21,43 %), *Cystofilobasidium macerans* (14,29 %), *Pichia fermentans* ir *Rhodotorula mucilaginosa* (po 10,71 %) (3 pav.).



3 pav. Iš Vilniaus miesto antropogeninio dirvožemio ėminių išskirtos mielių rūšys ir jų aptinkamumo dažnis

Fig. 2. Yeast species isolated from anthropogenic soil samples of Vilnius city and their frequency of detection

Taip pat buvo išskirta 15 naftos angliavandenilius skaidančių mielių izoliatų ir nustatytos 9 mielių rūšys (4 pav.).



4 pav. Iš Vilniaus miesto antropogeninio dirvožemio ėminių išskirtos naftos angliavandenilius oksiduojančių mielių rūšys ir jų aptinkamumo dažnis

Fig. 4. Species of hydrocarbon-oxidizing yeasts isolated from anthropogenic soil samples in the city of Vilnius and their frequency of detection

Dažniausiai išskirtos naftos angliavandenilius oksiduojančių mielių rūšys buvo *Rhodotorula diobovata* (13,64 %) ir *Rhodotorula mucilaginosa* (18,18 %) (4 pav.).

Šie rezultatai sutampa su Benmessaoud ir kt. (2021) teiginiu, jog *Rhodotorula* genties mielės yra dažniausiai aptinkamos naftos angliavandenilius degraduojančios mielės. Likusi išskirtų mielių rūšių dalis yra įprastos dirvožemio mielių rūšys (Benmessaoud ir kt., 2021). Repečkienė ir kt. (2002) teigimu, iš naftos angliavandeniliais užteršto dirvožemio dažniausiai buvo išskirtos *Cyberlindnera jadinii*, *Wickerhamomyces anomalus*, *Pichia membranifaciens*, *Ustilentyloma graminis*, *Yarrowia lipolytica*, *Rhodotorula mucilaginosa*, *Geotrichum candidum* ir *Dipodascus fermentans* rūšių mielės. Naftos angliavandenilius degraduojančių mielių aptikimas dirvožemyje gali būti siejamas su buvusiu arba esama jo tarša (Repečkienė ir kt., 2002).

Vilniaus miesto savivaldybės dirvožemio ir grunto monitoringo 2020 m. rezultatų ataskaitoje nurodoma, jog šalia judriausių miesto gatvių atkarpų tarša sunkiaisiais metalais ir naftos angliavandeniliais nebuvo nustatyta (UAB „DGE Baltic Soil and Environment“, 2023). Šią informaciją patvirtino ir Biodestruktorių tyrimo laboratorijos užsakymu atlikti agrocheminiai tyrimai.

Išvados

1. Antropogeniniuose Vilniaus miesto dirvožemiuose mielės yra plačiai paplitusios. Mielių koncentracija tirtuose dirvožemiuose svyravo nuo 10^2 iki 10^4 KSV/g, o naftos angliavandenilius degraduojančių mielių koncentracija – nuo 10^2 iki 10^3 KSV/g.
2. Iš dirvožemio išskirti 59 mielių izoliatai ir identifikuotos 33 rūšys, dažniausiai nustatytos *Solicoccozyma terrea*, *Rhodotorula diobovata*, *Cystofilobasidium macerans*, *Pichia fermentans* ir *Rhodotorula mucilaginosa*.
3. Iš dirvožemio buvo išskirta 15 naftos angliavandenilius skaidančių mielių izoliatų ir nustatytos 9 mielių rūšys; dažniausiai išskirtos naftos angliavandenilius oksiduojančių mielių rūšys buvo *Rhodotorula diobovata* ir *Rhodotorula mucilaginosa*.

Literatūra

1. UAB „DGE Baltic Soil and Environment“. (2023). *Vilniaus miesto dirvožemio ir grunto monitoringo rezultatai 2023 metais, Ataskaita*. <https://aplinka.vilnius.lt/wp-content/uploads/2023/10/vilniaus-dirvozemio-monitoringas-2023.pdf>
2. Čyžius, G., Stankevičius, Ž. (2021). *Vilniaus m. sav. dirvožemio ir grunto monitoringo rezultatai 2020 metais*. https://aplinka.vilnius.lt/wp-content/uploads/2021/05/2020_dirvozemio_monitoringas_zip.pdf;
3. Repečkienė J., Januška V., Paškevičius A., Lugauskas A. (2002). Mikroorganizmų kiekis ir rūšių įvairovė mazutu užterštame grunte. *Botanica Lituanica*, 4, 91–101. <https://gamtostyrimai.lt/leidiniai/botanica-lituanica-supplementum-4/>
4. Benmessaoud, S., Kara, M., Assouguem, A., El Asmi, H. (2021). Biotypology of Yeast in Soils Polluted by Hydrocarbons in Fez-Meknes Region, Morocco. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 5, 1606–1613. <https://www.tjnpr.org/index.php/home/article/view/414>;
5. International Organization for Standardization (2017). *ISO 18400-105:2017 standard, Soil quality – Sampling – Part 105: Packaging, transport, storage and preservation of samples*. <https://www.iso.org/standard/62364.html>;
6. Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministras (2015). *Įsakymas „Dėl Lietuvos higienos normos HN 60:2015 „Pavojingųjų cheminių medžiagų ribinės vertės dirvožemyje“ patvirtinimo“*. <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.633ED152B54A/asr?csrt=2636972661381011501>;
7. Lietuvos geologijos tarnyba prie aplinkos ministerijos (2008). *Direktorius įsakymas dėl ekogeologinių tyrimų reglamento patvirtinimo*. <https://www.infolex.lt/ta/53945?ref=1>;
8. Buzzini, P., Lachance, M. A., Yurkov, A. (2017). Yeasts in natural ecosystems: Ecology, Yeasts in Natural Ecosystems: Ecology. *Springer International Publishing*, <https://doi.org/10.1007/978-3-319-61575-2>;
9. Mejia, M. P., Rojas, C. A., Curd E., Renshaw, M. A., Edalati, K., Shih, B., Vincent, N., Lin, M., Nguyen, P. H., Wayne, R., Jessup, K., Parker, S. S. (2023). Soil Microbial Community Composition and Tolerance to Contaminants in an Urban Brownfield Site. *Microbial Ecology*, 85(3), 998–1012. <https://doi.org/10.1007/s00248-022-02061-1>;
10. Cadete, R. M., Lopes, M. R., Rosa, C. A. (2017). Yeasts associated with decomposing plant material and rotting wood. In *Yeasts in Natural Ecosystems: Diversity*. Springer International Publishing. 265–292. https://doi.org/10.1007/978-3-319-62683-3_9;
11. Stankevičienė, A. (2012). Mikroskopinių grybų rūšių įvairovė uždaramame grunte auginamų augalų rizosferoje. *Botanikos sodo raštai / Scripta Horti Botanici*. <https://hdl.handle.net/20.500.12259/33500>;
12. Kurtzman, C. P., Fell, J. W., Boekhout, T. (2011). *The Yeasts* (Fifth Edition), Elsevier, i-iii. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52149-1.00196-8>;
13. Reynolds, J. (2005). Serial Dilution Protocols. *American Society for Microbiology*. <https://asm.org/asm/media/protocol-images/serial-dilution-protocols.pdf?ext=.pdf>;

Jonas Žvirgždas, Algimantas Paškevičius

Distribution and Biodiversity of Yeast in Urbic Anthrosols of Vilnius City

State Scientific Research Institute, Nature Research Centre, Lithuania

The main aim of the study was to evaluate the distribution and biodiversity of yeasts in urbic anthrosols located near the busiest streets of Vilnius city, in order to assess the possible effects of heavy metal and petroleum hydrocarbon pollution on microbial communities. Soil samples were collected near major transport arteries where pollutants could have accumulated over a long period due to intensive traffic. Microbiological parameters were determined to evaluate how traffic-related pollution influences the structure and biodiversity of soil microbial communities. Particular attention was

paid to yeasts because of their ability to accumulate heavy metals and degrade petroleum hydrocarbons, making them suitable biological indicators for assessing the condition of urbic anthrosols. It was determined that yeast concentrations in the investigated soils ranged from 10^2 to 10^4 CFU/g, while the concentration of petroleum hydrocarbon-degrading yeasts ranged from 10^2 to 10^3 CFU/g. A total of 59 yeast isolates were obtained from soil samples, and 33 yeast species were identified. The most frequently isolated yeast species were *Solicoccozyma terrea* and *Rhodotorula diobovata* (21.43% each), *Cystofilobasidium macerans* (14.29%), *Pichia fermentans* and *Rhodotorula mucilaginosa* (10.71% each). Additionally, 15 petroleum hydrocarbon-oxidizing yeast isolates representing 9 yeast species were identified. The most frequently isolated petroleum hydrocarbon-oxidizing yeast species were *Rhodotorula diobovata* (13.64%) and *Rhodotorula mucilaginosa* (18.18%).

Keywords: Yeasts, distribution, biodiversity, Vilnius, soil.

Gauta 2026 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2026 m. balandžio mėn.

Jonas ŽVIRGŽDAS. Valstybinio mokslinių tyrimų instituto Gamtos tyrimų centro Biodestruktorių laboratorijos doktorantas. Adresas: Akademijos g. 2, LT-08412 Vilnius, el. paštas: j.zvirgzdas@gmail.com

Jonas ŽVIRGŽDAS. PhD student at the Biodestructor Laboratory, State Research Institute Nature Research Centre. Address: Akademijos g. 2, LT-08412 Vilnius, Lithuania. E-mail: j.zvirgzdas@gmail.com

Algimantas PAŠKEVIČIUS. Valstybinio mokslinių tyrimų instituto Gamtos tyrimų centro Biodestruktorių laboratorijos vadovas, vyriausiasis mokslo darbuotojas, biomedicinos mokslų daktaras. Adresas: Akademijos g. 2, LT-08412 Vilnius, el. paštas: algimantas.paskevicius@gamtc.lt

Algimantas PAŠKEVIČIUS. Head of the Biodestructor Laboratory, Chief Researcher, PhD in Biomedical Sciences, State Research Institute Nature Research Centre. Address: Akademijos g. 2, LT-08412 Vilnius, Lithuania. E-mail: algimantas.paskevicius@gamtc.lt

KOVOS PRIEMONIŲ SU ŽUVŲ SAPROLEGNIOZĖS SUKĖLĖJAIS – OOMIKOTAIS (*OOMYCOTA*) – PAIEŠKA

Aurelija Žuolytė¹, Gediminas Staigvila², Svetlana Markovskaja¹

¹Valstybinis mokslinių tyrimų institutas Gamtos tyrimų centras, ²Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Gėlavandeniai oomikotai – tai mikroskopiniai, dažniausiai saprotrofiniai organizmai, tačiau kai kurios rūšys gali sukelti mikoze – saprolegniozes. Oomikotai gali infekuoti žuvis, vėžiagyvius, varliagyvius bei kitus vandens organizmus. Šių stramenopilų sukeliamos ligos sukelia daug problemų ir gali padaryti nemažą nuostolių žuvininkystės ūkiams ir akvakultūroms bei kelia grėsmę natūralioms žuvų populiacijoms. Dėl oomikotų ląstelių struktūros, prisitaikymo išgyventi nepalankias sąlygas bei tyrimų stokos iki šiol nerasta veiksmingo saprolegniozės gydymo ar prevencijos būdo. Šiame tyrime buvo stebimas amfotericino B, nistatino, itraconazolio, flucitazino, griseofulvino, bakterinio preparato M20G bei elektroporacijos poveikis oomikotų augimo greičiui ir gyvybingumui, siekiant nustatyti potencialias kovos su žuvų saprolegnioze priemones.

Raktiniai žodžiai: saprolegniozė, priešgrybelinės medžiagos, elektroporacija, *Oomycota*.

Įvadas

Gėlavandeniai oomikotai (lot. *Oomycota*) – tai grybams artimi mikroskopiniai stramenopilai. Šie organizmai dažniausiai gyvena kaip saprotrofai ardantys augalų liekanas ir dalyvaujantys savaiminiuose vandens valymosi procesuose, tačiau kai kurios rūšys gali sukelti mikoze, vadinamas saprolegnioze (Godlewska ir kt., 2009). Oomikotai gali infekuoti žuvis, vėžiagyvius, varliagyvius bei kitus vandens organizmus, ypač nusilpus žuvų imunitetui ar patyrus stresą (Willoughby, 1994). *Saprolegnia* genties stramenopilų sukeliamos žuvų ligos protrūkiškai dažnai atsiranda po staigaus vandens temperatūros svyravimo arba temperatūrinio šoko ir gali padaryti nemažą nuostolių žuvininkystės ūkiams bei akvakultūroms. Ankstyvosiose saprolegniozės stadijose ant žuvų kūno, pelekų bei žiaunų susiformuoja baltos ar pilkos spalvos grybienos dėmės, infekcijai plintant hifai prasiskverbia į gilesnius audinius: epidermį, kraujagysles, raumenis (Lone ir Manohar, 2018). Infekcijos progresija gali sukelti kvėpavimo nepakankamumą, padidinti riziką užsikrėsti bakterinėmis ar kitomis infekcijomis (Bruno ir kt., 2013). Anksčiau dažniausiai taikytinas saprolegniozės gydymui metodas buvo malachito žaliuoju (ang. *Malachite green*) pigmento naudojimas, tačiau jo naudojimas žuvininkystės ūkiuose Europoje buvo uždraustas 2000 m. dėl toksiškumo ir kaupimosi žuvyse. Nepaisant to, malachito žaliasis vis dar yra vienas veiksmingiausių saprolegniozės gydymo būdų ir vis dar naudojamas akvariuminių žuvyčių gydymui. Kovai su saprolegnioze žuvininkystės ūkiuose reikalingos naujos priemonės, kurios būtų veiksmingos, ekonomiškai naudingos ir saugios žuvims, vartotojams bei aplinkai. Pastaraisiais metais mokslininkai pradėjo daugiau dėmesio skirti veiksmingu prevencijos bei gydymo metodu prieš oomikotų sukeliamas infekcijas žuvims paieskai. Mūsų darbo tikslas buvo patikrinti priešgrybelinių medžiagų: amfotericino B, nistatino, itraconazolio, flucitazino, griseofulvino, bakterinio preparato M20G bei elektroporacijos poveikį vandenyje gyvenančių oomikotų (potencialių žuvų patogenų iš *Saprolegnia* ir *Dictyuchus* genčių) gyvybingumui, siekiant nustatyti perspektyvius kovos su oomikotų sukeliamomis infekcijomis būdus.

Tyrimų metodika

Vandens mėginiai oomikotų išskyrimui buvo surinkti iš Neries ir jos intakų: Vilnelės, Saidės, Vokės ir Upelės. Imant mėginį vanduo prie dugno yra sudrumsčiamas, kad į mėginį patektų daugiau nuosėdų, kuriose yra nusėdusios oomikotų zoosporos. Pirmosios kolonijos auginamos apie 20 °C temperatūros aplinkoje, atviruose indeliuose su masalu – 3 ar 4 kanapių sėklų puselėmis (Seymour, 1970). Kolonijos aplink sėklą susiformuoja per 7 dienas ir tada perkeliama į sterilias Petri lėkšteles su distiliuotu vandeniu ir masalu. Tokiu būdu kolonijos persėjamos ir gryninamos skalpeliu atskiriant morfologiškai skirtingų rūšių hifų gabaliukus ir užsėjant juos į atskiras Petri lėkšteles.

Oomikotų identifikacija pagal morfologiją atlikta mikroskopuojant grynas kolonijas optiniu mikroskopu Nikon ECLIPSE Ci-S. Stebima hifų, gemų, lytinių ir nelytinių dauginimosi struktūrų morfogenezę, nustatytomas zoosporų išėjimo iš zoosporangių būdas, matuojamas oogonių, oosporų dydis, nustatoma oogonių forma, oosporų vidinė struktūra. Morfologiniai požymiai lyginami su įvairiuose straipsniuose ir monografijose publikuotais aprašais. Morfologinio identifikavimo patvirtinimui atlikti molekuliniai grynujų kultūrų ribosominės DNR tyrimai (White ir kt., 1990). rDNR buvo išskirta ir išgryninta tiesiogiai iš 20 mg oomikotų hifų iš kiekvienos grynos kultūros izoliato pagal DNR išskyrimo protokolus (Platinum™ Direct PCR Universal Master Mix, ThermoFisher Scientific Baltics, Lithuania). Toliau vykdoma PGR naudojant šioms

organizmams specifinį ITS100 ir grybams bei oomicetams universalų ITS4 pradmenis pagal mišinio protokolus. Po kokybinės analizės elektroforeze bei mėginių valymo „ExoSAP-IT“ (Thermo Fisher Scientific) fermentų rinkiniu, vykdoma sekoskaita. Gauti rDNR ITS regiono fragment sekų duomenys lyginami su „GenBank“ duomenų bazėje esančiomis sekomis naudojant programą „BLAST“. Identifikacija remiasi 98–100 % panašumu į referentines oomikotų rūšių sekas, naudojami kriterijai: sekos padengimas >80 % ir panašumas į taksoną (genties 80–97 %, rūšies 98–100 %).

Priešgrybelinių medžiagų poveikio oomikotų morfogenezei tyrimai buvo atliekami ant agarizuotos 2 % MEA (angl. *Malt Extract Agar*) terpės užsėjant grynų kolonijų hifus viduryje Petri lėkštelės ir įdedant skirtingų vaistų diskelius: 20 µg amfotericino B, 100 IU nistatino, 50 µg itraconazolio, 1 µg flucitozino ir 10 µg griseofulvino. Kas 24 val. stebimas hifų augimas ir inhibicinės zonos atsiradimas/neatsiradimas. Minimalios inhibojančios koncentracijos (MIK) nustatymui buvo naudojamos amfotericino B ir itraconazolio juostelės su didėjančiomis veikliosios medžiagos koncentracijomis (0,002–32 mg/L) (Liofilchem, Italija). Juostelės buvo patalpintos ant agarizuotos terpės (MAE 2 %) Petri lėkštelės viduryje ir užsėjamos grynos oomikotų kolonijos hifų gabaliuką netoli juostelės apačios, kur veikliųjų medžiagų koncentracija mažesnė. Stebimas hifų augimas, fiksuojama MIK nurodyta ant juostelės, pie kurios pradeda formuotis inhibicinė zona.

Saprolegnia parasitica buvo pasirinkta elektroporacijos eksperimentams kaip pagrindinė, geriausiai ištyrinėta žuvis patogeninė oomikotų rūšis. Eksperimentams buvo atrenkamos daug oogonių suformavusios *S. parasitica* kultūros ir iš jų ruošiama suspensija, atskiriant kultūrą nuo masalo, susmulkinant į mažesnius gabaliukus ir užpylant 10 mL distiliuoto vandens. Į elektroporacijos kiuvetę įpilama 85 µl suspensijos ir pradedama elektroporacija. Procesui pasibaigus iš kiuvetės paimama 80 µl paveiktos suspensijos ir supilama į 5 mL mėgintuvėlį. Elektroporacijos eksperimentams naudoti parametrai nurodyti 1 lentelėje.

1 lentelė. Elektroporacijos eksperimentų parametrai
Table 1. Parameters for electroporation experiments

Įtampa (kV/cm)	Impulso plotis (µs)	Impulsų dažnis (Hz)	Impulsų skaičius
15	1	1	5, 10, 20, 30
20	1	1	5, 10, 15, 17, 19, 20
20	3	1	15, 17, 19, 20
20	5	1	20, 40, 60, 80, 100, 120

Po elektroporacijos elektriniais mikrosekundiniais impulsais paveiktos oogonės buvo analizuojamos mikroskopiškai ir fotografuojamos, o paveikta suspensija išsėjama po 40 µl į 10 mL vandens su masalu ir ant MEA 2 % terpės talpinant suspensijos lašą per vidurį Petri lėkštelės ir laikoma 20 ± 1 °C temperatūroje. Kolonijoms formuojantis yra stebimas elektroporuotų oosporų gyvybingumas. Hifų augimo greitis ant agarizuotos terpės buvo vertinamas matuojant kolonijos skersmenį, taip pat skaičiuojama procentali radialinio priaugio inhibicija (PIRG) pagal formulę:

$$PIRG (\%) = \frac{C-T}{C} \times 100, \quad (1)$$

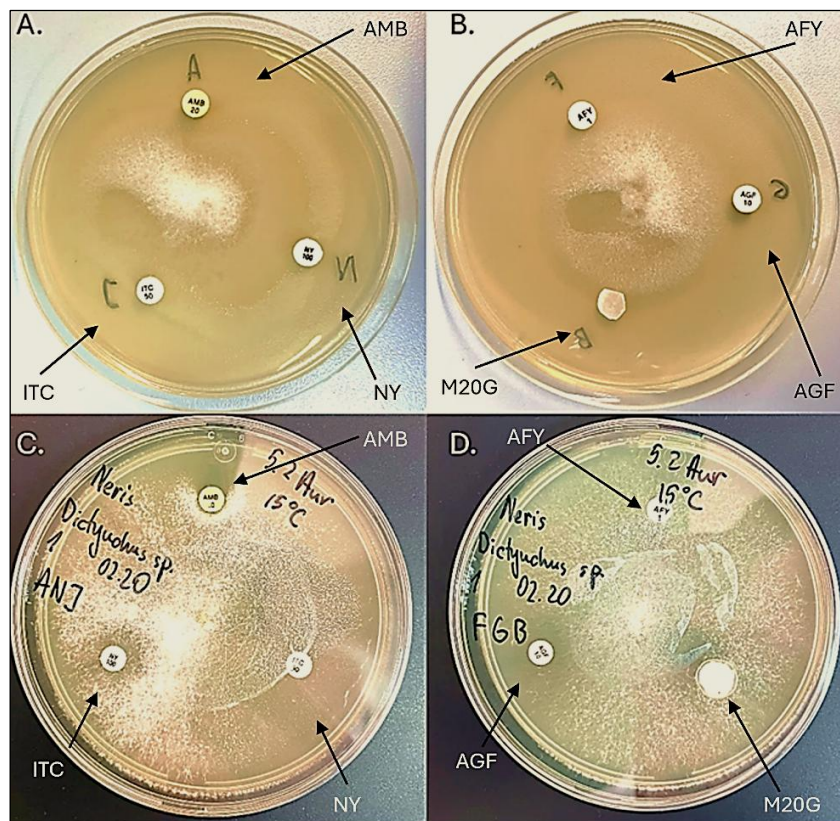
čia C – kontrolinės kolonijos skersmuo, mm;

T – elektriniais impulsais paveiktos kolonijos skersmuo, mm;

Rezultatai ir aptarimas

Tyrimuose su priešgrybelinėmis medžiagomis nustatyta, kad ryški inhibicinė zona susidaro aplink amfoterivino B, griseofulvino, didesnė zona aplink itraconazolį. Ihibicinė zona nesusidarė aplink flucitozino ir M20G preparato diskelius (1 pav.). Auginant oomikotų kultūras ant agaro su nistatino ir itraconazolio juostelėmis pastebėta, kad itraconazolis neturėjo jokio poveikio hifų augimui, o prie amfotericino B juostelės susidarė inhibicinė zona prie 0,008 mg/L koncentracijos žymės (2 pav.).

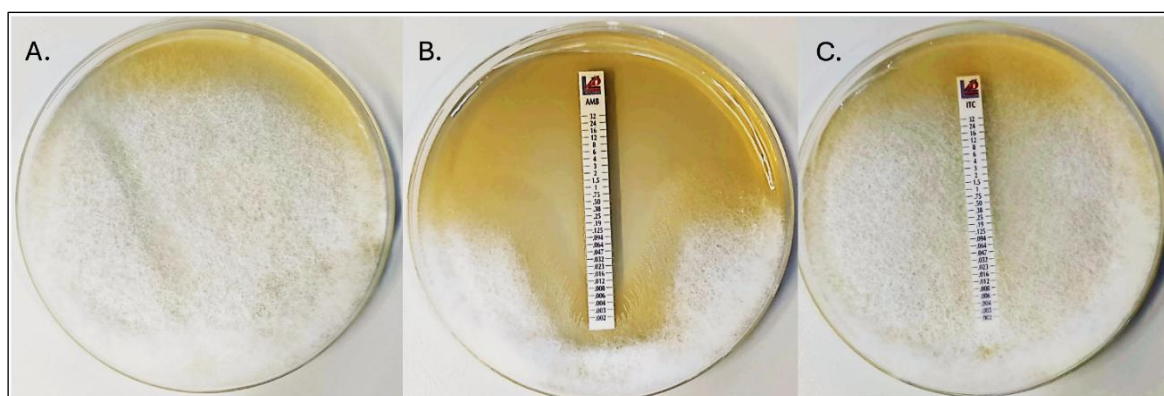
Su diskeliais buvo užsėta *Dictyuchus monosporus* kolonija, o su juostelėmis – *Saprolegnia ferax*, todėl galima pastebėti skirtumą tarp itraconazolio poveikio skirtingoms oomikotų rūšims. Žinoma, kad itraconazolis veikia lanosterol 14 α – demetilazės (*CYP51*) sintezę, kuri buvo rasta tik kai kuriose *Saprolegnia* rūšyse, pvz., *S. parasitica* (Warrilow ir kt., 2014).



1 pav. *Dictyuchus monosporus* kultūros ant MEA terpės su skirtingų priešgrybelinių medžiagų diskeliais. A, C – amfotericinas B (AMB), itraconazolis (ITC), nistatinas (NY). B, D – flucitozinas (AFY), griseofulvinas (AGF) ir M20G preparatas

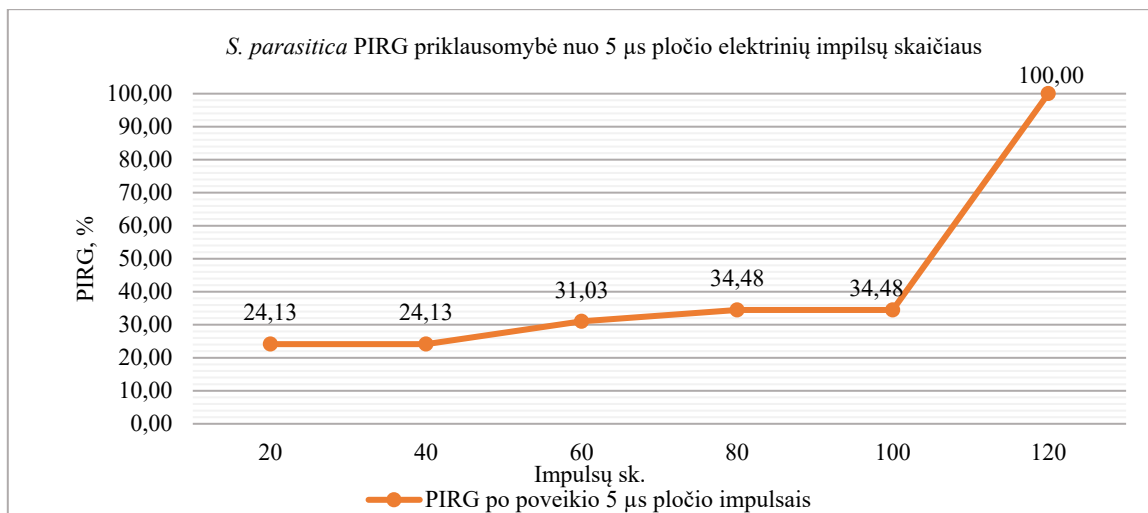
Fig. 1. *Dictyuchus monosporus* cultures on MEA medium with discs of different antifungal agents. A, C – Amphotericin B (AMB), Itraconazole (ITC), Nystatin (NY). B, D – Flucytosine (AFY), Griseofulvin (AGF), agent M20G

Tai, kad lėkštelėse su *D. monosporus*. buvo pastebėta didelė inhibicinė zona, galėtų reikšti, kad, matomai, kai kurios *Dictyuchus* rūšys pasižymi *CYP51* sinteze ir itraconazolis ar kiti azoliniai priešgrybeliniai vaistai galėtų būti panaudojami kovai su saprolegniozėmis, priklausomai nuo infekciją sukėlusios rūšies arba izoliato. Bandyme su itraconazolio juostele ant agarą buvo užsėta *S. ferax* rūšis ir antagonistinis itraconazolio poveikis šiam izoliatui nebuvo pastebėtas, taip galėjo būti dėl per mažos itraconazolio koncentracijos arba užsėta oomikotų kolonija nepasižymėjo *CYP51* sinteze.

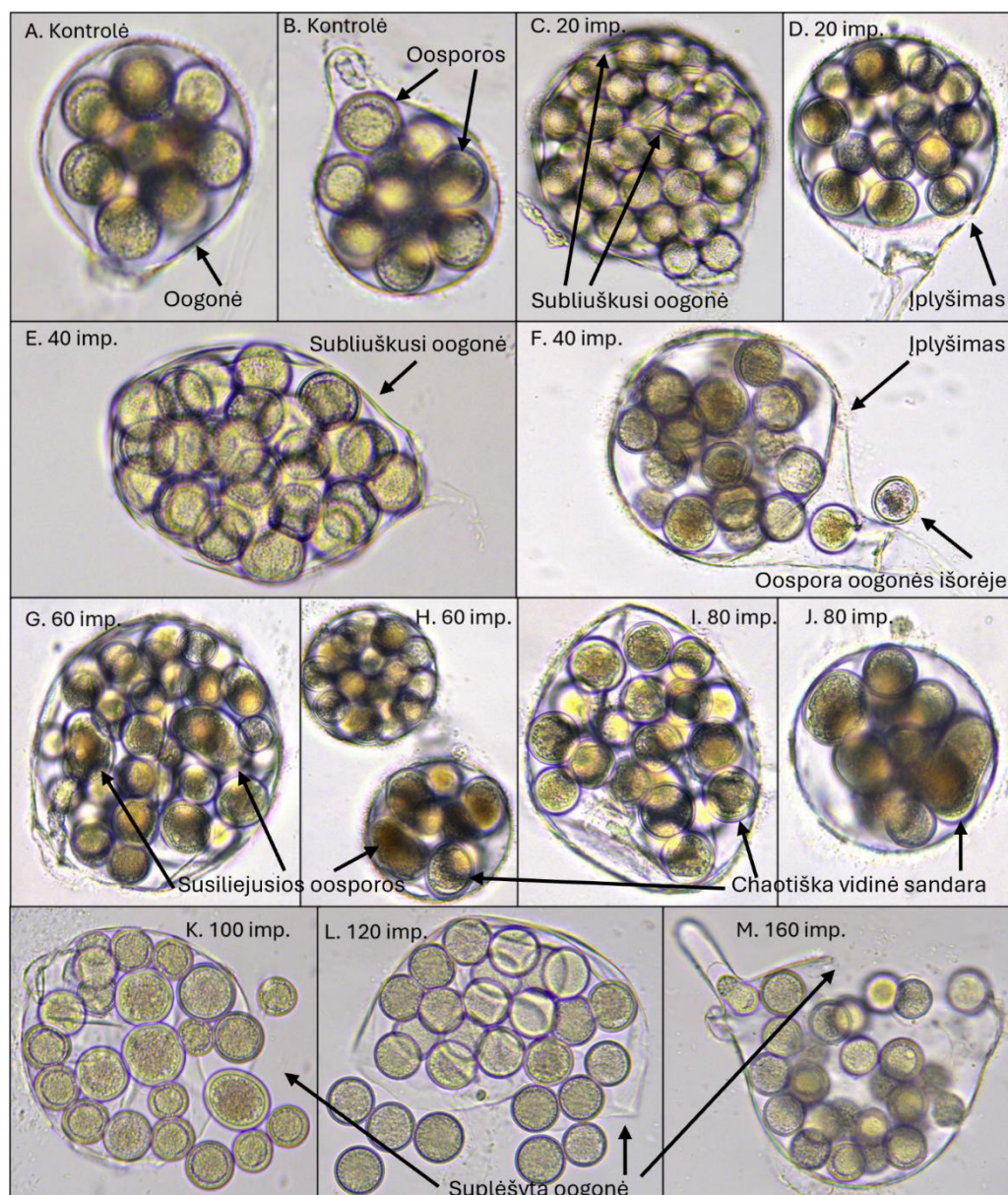


2 pav. Amfotericino B ir itraconazolio poveikis *Saprolegnia ferax* augimui (7 dienos po užsėjimo). A – kontrolinė oomikotų kultūra. B – inhibicinė zona aplink amfotericino B juostelę. C – inhibicinė zona prie itraconazolio nesusidaro

Fig. 2. Effect of Amphotericin B and Itraconazole on the growth of *Saprolegnia ferax* (7 days after inoculation). A – control oomycete culture. B – inhibition zone around the amphotericin B strip. C – inhibition zone does not form near Itraconazole strip



3 pav. Didėjančio elektrinių impulsų skaičiaus (20 kV/cm, 5 μ s, 1 Hz) poveikis *S. parasitica* kultūrų augimui po 2 dienų
Fig. 3. Effect of increasing number of electrical pulses (20 kV/cm, 5 μ s, 1 Hz) on the growth of *S. parasitica* cultures after 2 days



4 pav. Elektroporuotų (5 μ s, 1 Hz, 15 kV/cm) *S. parasitica* oocionių mėginių vaizdai prieš juos užsėjant
Fig. 4. Images of electroporated (5 μ s, 1 Hz, 15 kV/cm) *S. parasitica* oocinia samples before plating

Mikroskopuojant mėginius po elektroporacijos pastebėta, kad oogones paveikus 20 ir 40 (5 μ s, 1 Hz, 15 kV/cm) impulsais oogonės sienelėse susidaro plyšiai ir ji subliūkšta (4 pav. C, D, E, F). Oosporos paveiktos 60 ir 80 impulsų susilieja, jų vidinė sandara tampa chaotiška, suirusi (4 pav. G, H, I, J). Paveiktos 100 ar daugiau impulsų oogonės buvo suplėšomos ir oosporos pasklisdavo į išorę (4 pav. K, L, M), 120 impulsų ar daugiau paveiktos oosporos jau negyvybingos, užsėti mėginiai užsėti kolonijų neformavo.

Eksperimentų su elektroporacija metu pastebėta, kad *S. parasitica* suspenciją paveikus 5 elektriniais impulsais 15 kV/cm stiprumu (1 Hz dažnis, 1 μ s plotis) kolonija augo lėčiau, lyginant su kontrole. Tokio pat stiprumo ir dažnio 10 impulsų stimuliavo oomikotų augimą, tačiau padidinus impulsų skaičių iki 20 ir 30 kolonijos susiformavo tik vandenyje ir augo sparčiau, nei kontrolė, o ant agarizuotos terpės kolonijos nesiformavo. Bandyuose su 20 kV/cm stiprumo impulsais (1 Hz dažnis, 1 μ s plotis) taip pat pastebėta augimo greičio stimuliacija paveikus suspenciją 5 ir 10 impulsų, tačiau 15, 17, 19 ir 20 impulsų sulėtina augimą. Po 4 dienų po elektroporacijos paveiktų mėginių užsėjimo ant agarizuotos terpės visos kolonijos užaugo per visą Petri lėkštelės plotą, todėl toliau bandymai daryti padidinus impulso plotį iki 3 μ s. *S. parasitica* suspenciją paveikus 20 kV/cm 3 μ s pločio impulsais 1 Hz dažniu gautas augimą slopinantis poveikis buvo nedidelis, paveiktų kolonijų skersmuo buvo 2–3 mm mažesnis, lyginant su kontrole. Po 4 dienų po elektroporacijos visos kultūros užaugo per visą Petri lėkštelės plotą, todėl toliau buvo pasirinkta didinti impulso plotį bei impulsų skaičių, norint nustatyti impulsų skaičių, kuriuo paveikus suspenciją kolonijos nesiformuoja. Mėginiai toliau buvo paveikti 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140 ir 160 impulsų (20 kV/cm, 5 μ s, 1 Hz). Apskaičiavus PIRG praėjus 2 dienoms po elektroporacijos matomas augimo inhibicijos stiprėjimas didėjant impulsų skaičiui, o pasiekus 120 impulsų inhibicija pasiekė 100 % ir kolonijos nesiformavo.

Išvados

1. Nustatyta, kad amfotericinas B, nistatinas, itrakonazolis bei griseofulvinas turi antagonistinį poveikį oomikotų augimui ir potencialiai galėtų būti naudojami kovai su saprolegniozės sukėlėjais.
2. Flucitozinas inhibicinio poveikio oomikotų kultūroms neparodė.
3. Silpna elektroporacija (20–100 imp. 20 kV/cm) paveiktos *S. parasitica* oosporos išliko gyvybingos ir formavo naujas kolonijas.
4. Paveikus nedideliu impulsų skaičiumi (10–30 imp. 15 kV/cm ir 5–10 imp. 20 kV/cm) ląstelės buvo stimuliuojamos ir padidėjo kolonijų hifų augimo greitis.
5. Oomikotų oogones paveikus 20 kV stiprumo 120 impulsų (5 μ s plotis) pastebėtas negrįžtamas poveikis: oosporos prarado gyvybingumą ir naujų kolonijų nesiformavo.
6. Elektroporacija gali būti perspektyvus kovos su saprolegniozės sukėlėjais metodas, reikalaujantis tolimesnių tyrimų.

Literatūra

1. Bruno, D., Noguera, P., Poppe, T. T. (2013). Fungal and Related Oomycete Infections. In: *A Colour Atlas of Salmonid Diseases*.
2. Godlewska, A., Kiziewicz, B., Mazalska, B. ir Muszyńska, E. (2009). Fungi and Straminipilous Organisms Found in Ponds in Białystok. *Polish Journal of Environmental Studies*, 18.3, 369–76.
3. Lone, S. ir Manohar, S. (2018). *Saprolegnia parasitica*, A Lethal Oomycete Pathogen: Demands to be Controlled. *Journal of Infection and Molecular Biology*, 6.
4. Seymour, R. L. (1970). The Genus *Saprolegnia*. *Nova Hedwigia*, 19, 1–124.
5. White, T.J., Bruns, T., Lee, S. ir Taylor, J. (1990). Amplification and Direct Sequencing of Fungal Ribosomal Rna Genes for Phylogenetics. Iš Innis, M. A., Gelfand, D. H., Sninsky, J. J. ir White, T. J., *PCR Protocols*, 315–325.
6. Warrilow, A. G. S., Hull, C. M., Rolley, N. J., Parker, J. E., Nes, W. D., Smith, S. N., Kelly, D. E. ir Kelly, S. L. (2014). Clotrimazole as a Potent Agent for Treating the Oomycete Fish Pathogen *Saprolegnia parasitica* through Inhibition of Sterol 14 α -Demethylase (CYP51). *Applied and Environmental Microbiology*, 80.19.
7. Willoughby, L. G. (1994). *Fungi and Fish Diseases*.

Aurelija Žuolytė¹, Gediminas Staigvila², Svetlana Markovskaja¹

Search for Means of Combating the Causative agents of Fish Saprolegniosis – Oomycetes (*Oomycota*)

¹State Scientific Research Institute, Nature Research Centre, Lithuania. ²Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania

Freshwater oomycetes are microscopic, mostly saprotrophic organisms but that some species can cause mycoses – saprolegniosis. Oomycetes can infect fish, crustaceans, amphibians and other aquatic organisms. Diseases caused by these stramenopiles can cause many problems and significant losses to fish farms and aquacultures, pose a threat to wild fish populations. Due to the cell structure of oomycetes, their adaptation to survive adverse conditions and the lack of research, no effective method of treating or preventing saprolegniosis has been found to date. This study monitored the effects of Amphotericin B, Nystatin, Itraconazole, Flucytosine, Griseofulvin, bacterial agent M20G and electroporation on the growth rate and vitality of oomycetes to identify potential measures to combat fish saprolegniosis.

Keywords: Saprolegniosis, antifungal drugs, electroporation, *Oomycota*.

Gauta 2026 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2026 m. balandžio mėn.

Aurelija ŽUOLYTĖ. Valstybinio mokslinių tyrimų instituto Gamtos tyrimų centro doktorantė. Adresas: Žaliųjų ežerų g. 47, LT-08406 Vilnius, tel. +370 679 78050, el. paštas: aurelija.zuolyte@gamtc.lt

Aurelija ŽUOLYTĖ. State Scientific Research Institute Nature Research Centre, doctoral student. Address: Žaliųjų ežerų g. 47, LT-08406 Vilnius. Phone: +370 679 78050, e-mail: aurelija.zuolyte@gamtc.lt

Gediminas STAIGVILA. Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Stiprių magnetinių laukų instituto mokslų daktaras. Adresas: Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, tel. +370 626 42722, el. paštas: gediminas.staigvila@vilniustech.lt

Gediminas STAIGVILA. Vilnius Gediminas Technical University, Institute of High Magnetic Fields doctor. Address: Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius. Phone: +370 626 42722, e-mail: gediminas.staigvila@vilniustech.lt

Svetlana MARKOVSKAJA. Valstybinio mokslinių tyrimų instituto Gamtos tyrimų centro Mikologijos laboratorijos biomedicinos daktarė. Adresas: Žaliųjų ežerų g. 47, LT-08406 Vilnius, tel. +370 647 04911, el. paštas: svetlana.markovskaja@gamtc.lt

Svetlana MARKOVSKAJA. State Scientific Research Institute Nature Research Centre Laboratory of Mycology biomedicine doctor. Address: Žaliųjų ežerų g. 47, LT-08406 Vilnius. Phone: +370 647 04911, e-mail: svetlana.markovskaja@gamtc.lt

KALKINIMO POVEIKIS DIRVOŽEMIO RŪGŠTINGUMUI, MAINŲ KALCIUI IR MAGNIUI BEI ŽIEMINIŲ JAVŲ PRODUKTYVUMUI

Romutė Mikučionienė, Sinilga Černulienė, Asta Doftartė

Lietuvos inžinerijos kolegija

Šiame tyrime vertintas skirtingų mineralinių kalkinių medžiagų poveikis rūgščių dirvožemių agrocheminėms savybėms ir žieminių rugių bei kvietrugių produktyvumui. Nustatyta, kad kalkinimas padidino mainų kalcio Ca^{2+} ir magnio Mg^{2+} kiekius bei sumažino rūgštaus dirvožemio neigiamą poveikį augalų vystymuisi, nors pH pokytis išliko nežymus. Derlius kalkintuose plotuose didėjo: žieminių rugių – 16–20 %, žieminių kvietrugių – 9–15 %. Didesnį derlių lėmė suformuotas didesnis produktyvių stiebų skaičius ir 1000 grūdų svoris, o augalų skaičius m^2 reikšmingos įtakos neturėjo. Nustatyta labai stipri teigiama koreliacija tarp derliaus ir 1000 grūdų masės ($r = 0,98$) bei produktyvių stiebų ($r = 0,89$), kas rodo, kad kalkinimas labiausiai veikė generatyvinės struktūros formavimąsi. Rezultatai parodė, kad kalkinės medžiagos gerina maisto medžiagų prieinamumą ir didina javų derlingumą.

Raktiniai žodžiai: kalkinimas, rūgštūs dirvožemiai, mainų katijonai, produktyvūs stiebai, derlingumas.

Įvadas

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

Dirvožemio rūgštėjimas išlieka viena svarbiausių problemų intensyvios žemdirbystės sistemose, turinčių tiesioginę įtaką augalų mitybai, dirvožemio biologiniam aktyvumui ir tręšiamųjų produktų panaudojimo efektyvumui. Rūgščiuose dirvožemiuose sumažėja fosforo prieinamumas, sutrinka azoto transformacijos procesai, didėja aliuminio ir mangano toksiškumas, o tai riboja augalų šaknų vystymąsi ir mažina trąšų grąžą. Dėl šių priežasčių dirvožemio reakcijos (pH) reguliavimas yra laikomas vienu iš esminių veiksnių, užtikrinančių tvarią augalininkystės produkciją ir racionalų tręšimą.

Ilgalaikiai tyrimai (Wang ir kt., 2021; Zhang ir kt., 2022) patvirtina, kad tinkamas dirvožemio pH reguliavimas padeda išlaikyti organinės anglies balansą, gerina maistinių medžiagų panaudojimo efektyvumą ir produkcinės kokybės rodiklius. Greičiausias ir patikimiausias pH korekcijos būdas rūgščiuose dirvožemiuose išlieka kalcio karbonato pagrindu pagamintos medžiagos, įskaitant tradicines kalkes ir cukrinių runkelių defektą. Šios priemonės užtikrina greitą dirvožemio reakcijos pakėlimą ir sudaro būtinas sąlygas efektyvesniam maisto medžiagų pasisavinimui bei biologinių procesų aktyvavimui, tačiau jų poveikis daugiausia apsiriboja cheminės dirvožemio aplinkos pakeitimu. Kalkinimui skirti produktai skiriasi veikimo greičiu, poveikio pobūdžiu ir ilgalaikę nauda, todėl jų taikymas turi būti vertinamas kompleksiskai, atsižvelgiant į dirvožemio būklę ir ūkininkavimo intensyvumą.

Hipotezė: rūgščių dirvožemių kalkinimas padidina žieminių rugių ir kvietrugių produktyvumą, nes neutralizuojamas dirvožemio rūgštumas, sumažėja mainų aliuminio (Al^{3+}) toksiškumas ir padidėja augalams prieinamo kalcio (Ca^{2+}) ir magnio (Mg^{2+}) kiekiai. Tai lemia geresnį augalų krūmijimąsi, didesnį produktyvių stiebų tankį bei padidėjusią 1000 grūdų masę, todėl skirtingos kalkinės medžiagos turėtų sukelti nevienodą, bet statistškai reikšmingą teigiamą poveikį derlingumui.

Šio darbo tikslas: ištirti skirtingų mineralinių kalkinių medžiagų poveikį dirvožemio pH ir kalcio bei magnio mainų katijonams ir jų poveikį žieminių rugių bei kvietrugių produktyvumui.

Tiksliui pasiekti buvo iškelti du uždaviniai:

1. Įvertinti skirtingų kalkinių medžiagų įterpimo poveikį dirvožemio pH ir kalcio ir magnio mainų katijonams.
2. Ištirti kalkinių medžiagų poveikį bandymuose augintų augalų produktyvių elementų pokyčiui ir derlingumui.

Tyrimų metodika

Skirtingų fizinės ir cheminės sudėties kalkinių medžiagų gamybiniai tyrimai buvo atlikti Šalčininkų bei Tauragės r. 2019–2021 metais. Bandymai įrengti augalininkystės ūkiuose, kurių sėjomainoje vyrauja migliniai augalai. Bandymai atlikti realiomis ūkio sąlygomis, siekiant įvertinti praktinį kalkinių medžiagų efektyvumą skirtinguose rajonuose žieminių rugių (*Secale cereale* L.) ir žieminių kvietrugių (*Triticosecale* Wittm.) pasėliuose skirtingos genezės dirvožemiuose. Bandymų lauko dirvožemis pagal e-Geboje integruotus geoportalo duomenis Tauragės r. buvo dulkiško priemolio ant smėlio išplautžemis, o Šalčininkų r. – smėlingo lengvo priemolio ant priesmėlio išplautžemis. Eksperimento metu buvo naudojamos skirtingos kalkinių medžiagų formos: granuliuotos, dulkytos (miltelinės) bei skaldytos. Kalkinės medžiagos buvo paskleistos ir įterptos per du kartus skirtingu laiku (1 lentelė).

1 lentelė. Kalkinių medžiagų panaudojimo laikas ir kiekis

Table 1. The timing and amount of lime materials used

Eil. Nr. / No.	Variantas / Variant	Kalkinės medžiagos pavadinimas / Calcareous material	Kiekis ir laikas / Quantity and time				Pastabos / Notes
			Kiekis / Quantity kg ha^{-1}	Data / Time	Kiekis / Quantity kg ha^{-1}	Data / Time	
1.	K	Nekalkinta / Control					
2.	TR1	Kalk hum / Humic lime	1000	2019 09 05	1000	2020 08 22	Sekliai įterpta / Shallow incorporation
3.	TR2	Granuliuotas kalkakmenis / Granulated limestone	1500	2019 09 05	1000	2020 08 22	Sekliai įterpta / Shallow incorporation
4.	TR3	Orcal / OrCal	2000	2019 09 05	1000	2020 08 22	Sekliai įterpta / Shallow incorporation

Eksperimente auginami augalai buvo tręšiami pagal tręšimo planą, sudarytą atsižvelgiant į planuojamą augalų derlių ir dirvožemio agrochemines savybes, naudojant e-Geba programą. Dirvožemio ėminiai agrocheminėms savybėms nustatyti buvo imami iš kiekvieno bandymo laukelio, 0–20 cm gylyje, sudarant jungtinius mėginius. Surinkti ėminiai ištirti laboratorijoje, duomenys pateikiami 2 lentelėje. Šalčininkų r. pH svyravo nežymiai tarp 4,7 ir 4,8, o Tauragės r. laukas buvo margesnis ir dirvožemio pH svyravo – nuo 4,1 iki 5,4. Bandymo laukeliai buvo mažo, vidutinio ir didelio fosforingumo bei kalingumo. Humuso kiekis laukeliuose buvo pasiskirstęs nevienodai ir svyravo nuo mažo humusingumo (1,48–1,91 %) iki humusingų (2,52–3,5 %) dirvožemių. Kai dirvožemio pH mažiau nei 5, kalcio ir magnio kiekiai maži, o kai pH > 5 pagal kalcio ir magnio kiekius dirvožemis patenka į vidutinio ar didelio kalciningumo / magningumo grupes. Prieš žieminių rugių ir žieminių kvietrugių sėją laukas buvo sekliai suartas. Žieminiams kviečiams per vegetaciją atiduota azoto, fosforo ir kalio atitinkami 113, 52 ir 52 kg ha^{-1} , o žieminiams kvietrugiams – 105, 46 ir 131 kg ha^{-1} . Auginta žieminių rugių veislė „Dankowskie Amber“, planuojamas derlingumas 4 t ha^{-1} ir žieminių kvietrugių veislė neįvardinta, planuojamas derlius 6 t ha^{-1} .

Augalų stebėjimas ir vertinimas. Sudygusių augalų apskaita buvo atlikta praėjus 10 dienų po sudygimo. Pavasarį atsinaujinus augalų vegetacijai buvo skaičiuojamas produktyvių stiebų skaičius 1 m^2 plote. Nukūlus derlių buvo vertinama 1000 g masė ir derlius t ha^{-1} .

2 lentelė. Dirvožemio tyrimų duomenys žieminių rugių ir žieminių kvietrugių pasėliuose, 2019 m. (Šalčininkų ir Tauragės r.)**Table 2.** Soil research data in winter rye and winter triticale crops, 2019 (Šalčininkai and Tauragė districts)

Variantas / Treatmens	Dirvožemio pH/ <i>Soil pH</i> level	Humuso kiekis/ <i>Humus</i> content	Judrusis fosforas P ₂ O ₅ / <i>Available</i> <i>phosphorus</i>	Judrusis kalis K ₂ O/ <i>Availaible</i> <i>potassium</i>	Mainų Ca/ <i>Exchangeable</i> <i>calcium (Ca)</i>	Mainų Mg/ <i>Exchangeable</i> <i>magnesium</i> (Mg)
		%	mg kg ⁻¹			
Žieminių rugių pasėlis / <i>Winter Rye Crops</i>						
K	4,7	1,52	57	100	495	65
TR1	4,7	1,52	68	110	470	60
TR2	4,8	1,48	123	109	534	74
TR3	4,8	1,91	270	173	659	86
Žieminių kvietrugių pasėlis / <i>Winter Triticale Crops</i>						
K	5,2	2,72	81	211	1808	144
TR1	5,4	3,50	129	308	2607	184
TR2	5,0	2,52	83	110	1309	116
TR3	4,1	3,27	87	120	435	44

Bandymo vykdymo laikotarpiu meteorologinės sąlygos Lietuvoje pasitaikė netipinės. Tiek temperatūra, tiek krituliai atskirais metais pasiskirstė labai nevienodai. Iš 2019 m. į 2020 m. buvo besniegė žiema, neužfiksuota minusinės temperatūros. 2020 m. vasarą paskelbta hidrologinė sausra, o 2021 m. pavasaris pasitaikė labai šaltas ir lietingas. Visos šios sąlygos apsunkino bandymo vykdymą.

Tyrimų duomenų surinkti agrocheminiai ir augalų produktyvumo duomenys buvo apdoroti atliekant aprašomąją statistinę analizę, tarpusavio ryšių stiprumui ir kryptį įvertinti buvo taikyti Pearsono koreliacijos koeficientai, apskaičiuoti naudojant „R“ programinę aplinką (RStudio). Vertinant dinamiką tarp metų, apskaičiuoti pokyčiai procentine išraiška, taip pat absoliutūs skirtumai tarp 2019 ir 2021 m. to paties varianto rodiklių.

Rezultatai ir aptarimas

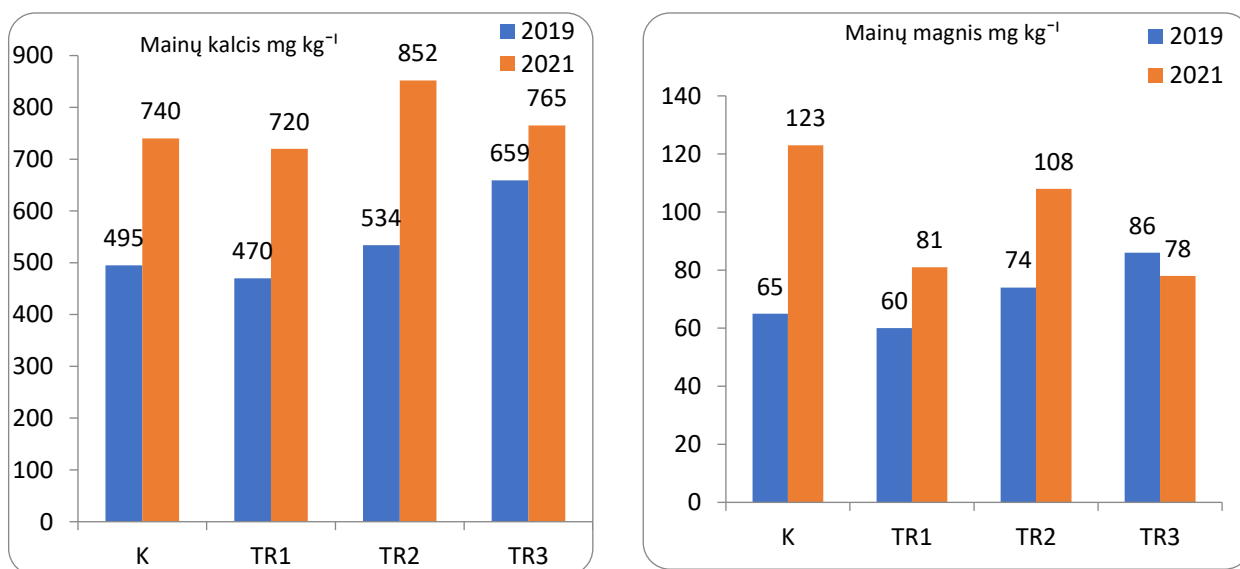
Tyrimo rezultatai parodė, kad mineralinės kilmės kalkinimo medžiagos turėjo teigiamą poveikį žieminių kvietrugių ir žieminių rugių produktyvumui. Nors pasėlių tankumo skirtumai buvo minimalūs, derliaus prieaugį lėmė geresnis augalų krūmijimasis ir padidėjusi 1000 grūdų masė. Atliktame bandyme žieminių rugių derlius kalkintuose variantuose padidėjo 16–20 % lyginant su kontrole, o žieminių kvietrugių – 9–15 % (3 lentelė). Užsienyje atliktų tyrimų rezultatai patvirtina, kad derliaus didėjimas po kalkinimo yra statistškai reikšmingas, ypač naudojant Ca(OH)₂/CaCO₃ formos kalkines medžiagas ir jas įterpiant į dirvožemį (Enesi et al., 2023; Li et al., 2019). Be to, Li et al. (2019) parodė, kad kalkinimas reikšmingai didina manų kalcio ir magnio bei mažina mainų aliuminio kiekį. Tai leidžia paaiškinti dėl ko pasėliuose didėjo produktyvių stiebų skaičius ir derlingumas.

3 lentelė. Grūdų derlius ir derliaus padidėjimas taikant skirtingas kalkines medžiagas, 2019–2020**Table 3.** Grain yield and yield increase under different liming materials, 2019–2020

Variantas / Control	Augalų skaičius vnt m ⁻² / Plants vnt m ⁻²	Produktyvių stiebų skaičius vnt m ⁻² / Productive stems vnt m ⁻²	1000 grūdų masė g / 1000 grain weight g	Derlius t ha ⁻¹ / Grain yield (t ha ⁻¹)	Derliaus pokytis % / Grain yield increase %
Žieminiai rugiai / Winter wheat					
K	5,57	643	33	3,0	
TR1	605	604	35	3,5	+16,7
TR2	628	633	37	3,6	+20,0
TR3	593	632	37	3,6	+20,0
Žieminiai kvietrugiai / Winter triticale					
K	455	766	41	5,61	
TR1	449	720	45	6,29	+12,1
TR2	444	738	43	6,13	+9,3
TR3	451	818	46	6,44	+14,8

Augalų skaičius m^2 , kuris atspindi pasėlio tankumą, iš esmės nesiskyrė tarp bandymo variantų. Tai rodo, kad kalkinimo priemonės neturėjo įtakos sėklų dygimui ar daigų išitvirtinimui. Todėl galima teigti, kad derliaus skirtumus nulėmė ne pasėlio tankumas ar sudygusių augalų skaičius, bet skirtinguose augimo tarpsniuose vykstančių fiziologinių procesų intensyvumo pokyčiai, susiję su krūmijimusi, maisto medžiagų pasisavinimu ir grūdų formavimu.

Mūsų atliktuose bandymuose derliaus prieaugį daugiausia lėmė produktyvių stiebų skaičius ir tai lėmė dirvožemio pH neutralizavimas, ir teigiamas poveikis išryškėjo kai dirvožemio pH buvo mažesnis nei 5. Tai parodė, kad kalkinimas mažino judriojo aliuminio (Al) toksiškumą ir didino mainų kalcio bei magnio ir judriojo fosforo prieinamumą, taip pagerindamas augalų krūmijimosi sąlygas bei grūdų užsipildymą (1 pav.). Nustatyta silpna teigiama koreliacija tarp pH ir kalcio tiek 2019 tiek ir 2021 m. Taip pat nustatyta stipri teigiama koreliacija tarp kalcio ir magnio 2019 m.



1 pav. Bazinių katijonų (Ca, Mg) kaita po kalkinimo ir žieminių javų derliaus nuėmimo, 2019–2021

Fig. 1. Changes in Exchangeable Base Cations (Ca, Mg) After Liming and Winter Cereals Harvest, 2019–2021

Nustatyta stipri teigiama koreliacija tarp derliaus ir 1000 grūdų masės ($r = 0,98$) bei produktyvių stiebų skaičiaus ($r = 0,89$). Tai rodo, kad didesnis grūdų svoris ir didesnis produktyvių stiebų tankumas buvo pagrindiniai veiksniai, lėmę derliaus padidėjimą. Tuo tarpu augalų skaičius m^2 plote buvo neigiamai susijęs su derliumi ($r = -0,93$), kas gali būti siejama su didesne augalų konkurencija tankesniuose pasėliuose (4 lentelė).

4 lentelė. Derliaus ir produktyvių elementų koreliacija

Table 4. Correlation between yield and yield component

Rodiklis / Indicator	Augalų skaičius vnt m^{-2} / Plants vnt m^{-2}	Produktyvių stiebų skaičius vnt m^{-2} / Productive stems vnt m^{-2}	1000 grūdų masė g / 1000 grain weight g	Derlius $t ha^{-1}$ / Grain yield ($t ha^{-1}$)
Augalų skaičius vnt m^{-2} / Plants vnt m^{-2}	1,00	-0,72	-0,84	-0,93
Produktyvių stiebų skaičius vnt m^{-2} / Productive stems vnt m^{-2}	-0,72	1,00	0,91	0,89
1000 grūdų masė g / grain weight g	-0,84	0,91	1,00	0,98
Derlius $t ha^{-1}$ / Grain yield ($t ha^{-1}$)	0,93	0,89	0,98	1,00

Šie pokyčiai rodo, kad net esant tam tikrai pasėlio sudygimo variacijai, derliaus prieaugį daugiausia lėmė struktūrinių elementų teigiami pokyčiai: didesnis produktyvių stiebų skaičius ir didesnė 1000 grūdų masė. Kadangi augalų skaičius m^2 ir produktyvių stiebų skaičius buvo tarpusavyje proporcingi, galima daryti prielaidą, kad augalų išretėjimas nebuvo ribojantis veiksnys, o derlių daugiausia lėmė geresnis kiekvieno augalo generatyvinės struktūros išsivystymas.

Apibendrinant galima teigti, kad kalkinimo priemonės turėjo reikšmingą ir daugialypį poveikį žieminių javų produktyvumo rodikliams. Derliaus prieaugį galima sieti tiek su pagerėjusia dirvožemio cheminės aplinkos kokybe, tiek su paskatintais augalų fiziologiniais procesais, tokiais kaip efektyvesnis krūmijimasis ir intensyvesnis grūdų užsipildymas. Rezultatai rodo, kad skirtingos kalkinimo medžiagos pasižymi nevienodu

veikimo intensyvumu ir mechanizmais, todėl jų pasirinkimas turėtų būti siejamas su dirvožemio tipu, jo rūgštingumo lygiu ir ūkininko siekiamais tikslais.

Išvados

1. Skirtingų kalkinimo medžiagų poveikis nevienodas ir priklausė nuo dirvožemio rūgštumo (pH). Kalkinimas buvo efektyviausias sąlygiškai ypač rūgščiuose dirvožemiuose ($\text{pH} < 5$), kur pakalkinus didėjo mainų kalcio ir magnio kiekis. Nustatyta silpna teigiama koreliacija tarp pH ir mainų kalcio.
2. Kalkinimas reikšmingai pagerino žieminių javų produktyvumą. Mineralinės kilmės kalkinimo medžiagos padidino žieminių rugių derlių 16–20 %, o žieminių kvietrugių – 9–15 %, lyginant su nekalkintu variantu. Dėl pagerėjusių augalų mitybos sąlygų, augalai geriau krūmijosi, o varpos atmetė mažiau grūdų užuomazgų. Nustatyta stipri teigiama koreliacija tarp derliaus ir 1000 grūdų masės ($r = 0,98$) bei produktyvių stiebų skaičiaus ($r = 0,89$). Tuo tarpu augalų skaičius m^2 buvo neigiamai susijęs su derliumi ($r = -0,93$), todėl derlių lėmė ne pasėlio tankumas, o augalo struktūrinių elementų teigiami pokyčiai.

Padėka

Šie tyrimai buvo finansuojami iš projekto Nr. 14PA-KK-18-1-03440-PR00 lėšų.

Literatūra

1. Enesi, R. O., Dyck, M. D., Chang, S. C., Thilakarathna, M. S., Fan, X., Strelkov, S., & Gorim, L. Y. (2023). Liming remediates soil acidity and improves crop yield and profitability: A meta-analysis. *Frontiers in Agronomy*, 5, 1194896. <https://doi.org/10.3389/fagro.2023.1194896>
2. Guo, J., Liu, X., Zhang, Y., Shen, J., Han, W., & Zhang, F. (2020). Significant acidification in major Chinese croplands. *Science*, 327(5968), 1008–1010. <https://doi.org/10.1126/science.1182570>
3. Li, Y., Cui, S., Chang, S. X., & Zhang, Q. (2019). Liming effects on soil pH and crop yield depend on lime material type, application method and rate, and crop species: A global meta-analysis. *Journal of Soils and Sediments*, 19(3), 1393–1406. <https://doi.org/10.1007/s11368-018-2120-2>
4. Mengel, D. B. (2020). *Soil acidity and liming for agricultural soils*. Purdue Extension, Purdue University. <https://www.extension.purdue.edu/extmedia/ay/ay-238.html>
5. Wang, Y., Yao, Z., Zhan, Y., Zheng, X., Zhou, M., Yan, G., Wang, L., Werner, C. and Butterbach-Bahl, K. (2021). Potential benefits of liming to acid soils on climate change mitigation and food security. *Glob Change Biol*, 27, 2807–2821. <https://doi.org/10.1111/gcb.15607>
6. Weil, N. C., Brady, R. R., Weil, R. R. (2016) *The Nature and Properties of Soils*. Fifteenth Edition, Pearson, Columbus.
7. Zhang, H.-M., Liang, Z., Li, Y., Chen, Z.-X., Zhang J.-B., Cai, Z.-C., Elsgaard, L., Cheng, Y., Groenigen, K. J., Abalos, D. (2022). Liming modifies GHG fluxes from soils: A meta-analysis of biological drivers. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 340, 108182. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108182>

Romute Mikučionienė, Sinilga Černulienė, Asta Doftartė

Effects of Liming on Soil Acidity, Exchangeable Ca and Mg, and the Productivity of Winter Cereals

LIK Higher Education Institution, Lithuania

This study evaluated the effects of different mineral liming materials on soil chemical properties and the productivity of winter rye and winter triticale grown on acidic soils. Liming significantly increased exchangeable calcium and magnesium concentrations, while soil pH showed only minor changes, remaining below 5.0. Despite limited pH shifts, improved base cation availability reduced aluminum toxicity and enhanced crop growth conditions. Yield increases ranged from 16–20% in winter rye and 9–15% in winter triticale compared with the untreated control. The main drivers of yield improvement were a higher number of productive stems and increased thousand grain weight, with strong positive correlations between yield and 1000 grain weight ($r = 0.98$) and productive stems ($r = 0.89$). Plant density per square meter did not significantly affect yield. The findings demonstrate that liming enhances crop productivity primarily by improving nutrient availability and generative development rather than by altering stand establishment.

Keywords: Liming, acidic soils, exchangeable cations, productive tillers, grain yield.

Gauta 2026 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2026 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. Lietuvos inžinerijos kolegija, Higher Education Institution. Faculty of Environmental Engineering, assoc. prof. Address: Laumėnų str. 1., LT-53103, Girionys, Kaunas distr. Phone: +370 687 76009, e-mail: romute.mikucioniene@lik.tech

Sinilga ČERNULIENĖ. Lietuvos inžinerijos kolegijos Aplinkos inžinerijos fakulteto docentė. Adresas: Laumėnų g. 1., LT-53103, Girionys, Kauno r., tel. +370 685 84542, el. paštas: sinilga.cernuliene@lik.tech
Sinilga ČERNULIENĖ. Lietuvos inžinerijos kolegija, Higher Education Institution. Faculty of Environmental Engineering, assoc. prof. Address: Laumėnų str. 1., LT-53103, Girionys, Kaunas distr. Phone: +370 685 84542, e-mail: sinilga.cernuliene@lik.tech

Asta DOFTARTĖ. Lietuvos inžinerijos kolegijos Aplinkos inžinerijos fakulteto docentė. Adresas: Laumėnų g. 1., LT-53103, Girionys, Kauno r., tel. +370 614 77130, el. paštas: asta.doftarte@lik.tech
Asta DOFTARTĖ. Lietuvos inžinerijos kolegija, Higher Education Institution. Faculty of Environmental Engineering, assoc. prof. Address: Laumėnų str. 1., LT-53103, Girionys, Kaunas distr. Phone: +370 614 77130, e-mail: asta.doftarte@lik.tech

SKIRTINGŲ SOJŲ VEISLIŲ PRODUKTYVUMO PALYGINIMAS

Aušra Marcinkevičienė, Aušra Sinkevičienė, Egidijus Zvicevičius

Vytauto Didžiojo universitetas

Lauko eksperimentas atliktas 2025 m. Kėstučio Svečiulio ūkyje Kauno ir Jonavos r. Tyrimų tikslas – palyginti skirtingų sojų veislių ('Adessa', 'Mayrika', 'Marzena', 'Liska', 'Brunensis') produktyvumą. Skirtingų sojų veislių antžeminės dalies biomasė ir asimiliacinis lapų plotas esmingai nesiskyrė, o chlorofilo koncentracija 'Adessa' veislės sojų lapuose nustatyta esmingai nuo 21,4 iki 30,1 % didesnė, palyginti su 'Marzena' ir 'Liska' sojų veislėmis. 'Marzena' veislės sojų pasėlio tankumas nustatytas esmingai 25,0 ir 37,5 % didesnis negu 'Adessa' ir 'Brunensis' sojų veislių. 'Brunensis' veislės sojų augalo masė, ankščių skaičius, sėklų skaičius ankštyje, sėklų skaičius ir masė daugeliu atvejų nustatyti esmingai didesni negu kitų sojų veislių. Didžiausiu aukščiu išsiskyrė 'Mayrika' ir 'Brunensis' veislių sojos, o 1000 sėklų masė – 'Liska' veislės sojos. Augalo ankščių skaičius teigiamai koreliavo su asimiliaciniu lapų plotu ($r = 0,93$, $P < 0,05$), sėklų skaičius su asimiliaciniu lapų plotu ($r = 0,91$, $P < 0,05$) ir ankščių skaičiumi ($r = 0,97$, $P < 0,01$), o augalo sėklų masė su ankščių skaičiumi ($r = 0,94$, $P < 0,05$). 'Liska' ir 'Brunensis' veislių sojų pupelių derlingumas nustatytas esmingai nuo 28,8 iki 33,5 % didesnis negu 'Adessa' ir 'Mayrika' sojų veislių. Sojų pupelių derlingumas priklausė nuo augalo sėklų masės ($r = 0,88$, $P < 0,05$).

Raktiniai žodžiai: sojos, veislės, produktyvumas.

Įvadas

Gauruotoji soja (*Glycine max* (L.) Merr.) – visame pasaulyje svarbus pupinių šeimos augalas dėl didelio baltymų, aliejaus ir funkcinių komponentų kiekio (Księżak, Bojarszczuk, 2024). Sojų sėklos pasižymi didele maistine verte, jose yra apie 40 % baltymų su palankia aminorūgščių sudėtimi, 18–24 % riebalų ir tik 5–8 % žalios ląstelienos (Luboiński, Markowicz, 2017). Per pastarąjį dešimtmetį sojų pupelių gamyba Europoje išaugo daugiau nei 87 % (Faostat, 2022). Tuo pačiu laikotarpiu sojų pupelių gamyba Europos Sąjungoje padidėjo 116 %. Sojų pupelių daugiausia auginamos Pietų ir Rytų Europoje, tačiau gamyba linkusi plėstis ir į kitas vietas, o tai rodo jų ypatingą svarbą (Karges et al., 2022). Lietuvoje sojų tyrimus atliko Z. Mackevičius, P. Snarskis, A. Ūbienė, V. Vitkus, A. Sliesaravičius ir A. Svirskis, tačiau šių augalų auginimas plačiau nepaplitęs (Svirskis, Skulskis, 2014). Tik pastaraisiais metais atsiradus produktyvioms ir Lietuvos klimato sąlygoms tinkančioms veislėms šių augalų plotai vėl pradėjo didėti. 2025 m. sojų plotai Lietuvoje siekė 2600 ha (Oficialios statistikos portalas, 2025).

Sojų pupelių auginimui didelę įtaką daro augalų biologiniai ir agronominiai veiksniai, lemiantys jų derlingumą. Tokie veiksniai kaip pasėlio tankumas, dirvožemio savybės, maistinių medžiagų prieinamumas ir drėkinimas vaidina lemiamą vaidmenį sojų augimui ir produktyvumui (Gai et al., 2025). Ankstyvų sojų veislių pasėlių tankumas turėtų būti 700 tūkst. augalų ha⁻¹, vidutinio ankstyvumo – 500–700 tūkst. augalų ha⁻¹, o vidutinio vėlyvumo – 500 tūkst. augalų ha⁻¹ (Sydiakina, Ivaniv, 2023). J. Prusiński ir R. Nowicki (2020) nustatė, kad sojų pasėlių tankumui didelę įtaką darė labai įvairios drėgmės ir temperatūros sąlygos. Todėl sojų sėklos norma turi būti parenkama atsižvelgiant į regiono klimatinės sąlygas.

Lietuvoje skirtingų sojų veislių palyginimo mokslinių tyrimų atlikta palyginti nedaug ir dažnu atveju su senesnėmis veislėmis. LAMMC Žemdirbystės instituto mokslininkų duomenimis, iš tirtų 8 sojų veislių ir selekcinų numerių, didžiausią derlingumą gautas 'Brunensis' ir 'Merlin' veislės sojų. Vidutiniais duomenimis inokuliuotų sojų derlius buvo 24,5 % didesnis negu neinokuliuotų (Kadžiulienė ir kt., 2017). V. Petrychenko ir kt. (2024) nurodo, kad skirtingų veislių sojų derlingumas priklauso nuo veislės biologinių savybių ir aplinkos sąlygų. Stabilaus sojų pupelių derlingumo užtikrinimas priklauso nuo kiekvienos sojų veislės derliaus struktūros rodiklių formavimosi (Mazur et al., 2025).

Tyrimų tikslas – palyginti skirtingų sojų veislių produktyvumą.

Tyrimų metodika

Lauko eksperimentas atliktas 2025 m. Kėstučio Svečiulio ūkyje Kauno ir Jonavos r. Ūkininko ūkyje vyrauja išplautžemių (*Luvisols*) ir rudžemių (*Cambisols*) grupių dirvožemiai, lengvi ir vidutinio sunkumo priemoliai (WRB, 2022). Dirvožemio agrocheminės savybės: pH – 7,0–7,4 (nuo neutralaus iki šarminio), judriųjų maisto medžiagų dirvožemyje: P₂O₅ – 96,5–510,0 mg kg⁻¹ (nuo mažo iki labai didelio fosforingumo), K₂O – 152,5–379,5 mg kg⁻¹ (nuo kalingo iki labai didelio kalingumo), humuso – 1,72–5,08 % (nuo mažai humusingo iki humusingo), suminio azoto – 1,15–2,98 g kg⁻¹ (nuo vidutinio azotingumo iki azotingo).

Tirtos 5 sojų veislės: 'Adessa' (Saatzucht Donau Ges. m. b. H & Co. KG, Austrija), 'Mayrika', 'Marzena', 'Liska', 'Brunensis' (Semences Prograin Inc., Kanada, atstovas Čekijos Respublikoje Prograin Zia, s.r.o.).

2024 m. po žieminių kviečių (*Triticum aestivum* L.) 'Venecija' derliaus nuėmimo purkšta glifosato produktu ir ražiena palikta iki kitų metų pavasario. Prieš žieminius kviečius 5 metus auginta sėjamoji kanapė (*Cannabis sativa* L.). 2025 m. balandžio 15–17 d. skirtingų veislių sojos sėtos tiesiai į raženas sėjamoja „Horsch Avatar“ 25 cm tarpueiliais. Sėklos norma – 140 kg ha⁻¹. Prieš sėją sojų sėklos inokuliuotos gumbelių bakterijų preparatais HiStick® Soy (250 g ha⁻¹) ir Turbosoy (200 g ha⁻¹). Vegetacijos metu sojos purkštos herbicidu Corum® (1,0 l ha⁻¹), mineralinėmis trąšomis netręstos. Sojų derlius nuimtas spalio mėn.

Tyrimai atlikti 3 pakartojimais. Pradinių laukelių plotas – 200 m², apskaitinių – 150 m².

Sojų antžeminės dalies biomasė nustatyta žydėjimo tarpsniu (BBCH 60–65). Kiekviename eksperimento laukelyje atsitiktinai pasirinktuose keturiuose 0,25 m² apskaitos ploteliuose išpjauta ir pasverta augalų biomasė, paimti du apie 20 g ėminiai ir išdžiovinoti 105 °C temperatūroje džiovintame spintoje (LST ISO 751:2000). Sojų antžeminės dalies biomasė perskaičiuota absoliučiai sausųjų medžiagų (SM) biomasė t ha⁻¹. Sojų pasėlio tankumas (vnt. m⁻²) nustatytas prieš jų derliaus nuėmimą skaičiuojant augalus ilginiam metre iš abiejų pusių kiekviename laukelyje keturiose vietose. Sojų asimiliacinis lapų plotas nustatytas žydėjimo tarpsniu (BBCH 60–65). Iš kiekvieno eksperimento laukelio paimta po 10 augalų. Sojų lapų asimiliacinis plotas matuotas matuokliu *WinDias 3* (Didžioji Britanija). Augalų lapų plotas perskaičiuotas tūkst. m² ha⁻¹. Chlorofilo koncentracija sojų lapuose nustatyta su mobiliu matuokliu „CCM – 200 plus“ (JAV). Sojų biometriniai ir derliaus struktūros rodikliai nustatyti prieš nuimant derlių. Kiekviename eksperimento laukelyje išpjauta po 10 augalų. Nustatyti kiekvieno augalo biometriniai (aukštis (cm), masė (g)) ir derliaus struktūros rodikliai (augalo ankščių skaičius (vnt.), sėklų skaičius ankštyje (vnt.), augalo sėklų skaičius (vnt.), augalo sėklų masė (g)). Sojų 1000 sėklų masė (g) nustatyta su tiksliaja sėklų skaičiuokle „Elmor“ (Šveicarija). Sojų pupelių derlingumas apskaičiuotas standartinio 14 % drėgnio ir absoliučiai švarių pupelių 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.

2025 m. augalų vegetacija atsinaujino balandžio mėn. pirmajame dešimtadienyje. Gegužės mėn. buvo šaltas ir sausas. Birželio mėn. temperatūra ir kritulių kiekis buvo artimi daugiamečiams normoms. Liepos mėn. buvo šiltas ir drėgnas. Dėl šios priežasties sojos brendo lėčiau negu įprasta. Rugpjūčio ir rugsėjo mėn. buvo šilti ir sausi.

Rezultatai ir aptarimas

Skirtingų sojų veislių antžeminės dalies biomasė žydėjimo tarpsniu kito nuo 2,56 iki 3,20 t ha⁻¹ (1 lentelė). 'Brunensis' veislės sojos suformavo didžiausią antžeminės dalies biomasę, tačiau, palyginti su kitomis sojų veislėmis, esminių skirtumų nenustatyta.

1 lentelė. Skirtingų sojų veislių antžeminės dalies biomasė ir fotosintetiniai rodikliai, 2025 m.

Table 1. Aboveground biomass and photosynthetic parameters of different soybean cultivars, 2025

Sojų veislės <i>Soybean cultivars</i>	Antžeminės dalies absoliučiai SM biomasė žydėjimo tarpsniu, t ha ⁻¹ <i>Aboveground absolute DM biomass at the flowering stage, t ha⁻¹</i>	Sojų asimiliacinis lapų plotas, tūkst. m ² ha ⁻¹ <i>Assimilating leaf area of soybean, thous. m² ha⁻¹</i>	Chlorofilo koncentracija sojų lapuose, μmol m ⁻² <i>Chlorophyll concentration in the soybean leaves, μmol m⁻²</i>
1. 'Adessa'	2,74a	27,9a	207,3a
2. 'Mayrika'	2,56a	32,4a	193,4ab
3. 'Marzena'	2,84a	29,9a	159,4c
4. 'Liska'	2,67a	31,6a	170,8bc
5. 'Brunensis'	3,20a	37,2a	175,7abc

Pastaba: tarp variantų vidurkių, pažymėtų ne tomis pačiomis raidėmis (a, b, c), skirtumai yra esminiai ($P < 0,05$).

Note: differences between the averages of treatments, marked with different letters (a, b, c), are significant ($P < 0.05$).

Skirtingų sojų veislių asimiliacinis lapų plotas žydėjimo tarpsniu kito nuo 27,9 iki 37,2 tūkst. m² ha⁻¹. 'Brunensis' veislės sojos suformavo didžiausią asimiliacinį lapų plotą, tačiau, palyginti su kitomis sojų veislėmis, esminių skirtumų nenustatyta. Mažiausias asimiliacinis lapų plotas nustatytas 'Adessa' veislės sojų. H. Sun ir kt. (2025) nustatė, kad sojų asimiliacinis lapų plotas priklauso nuo veislės ir meteorologinių sąlygų.

Chlorofilo koncentracija skirtingų veislių sojų lapuose žydėjimo tarpsniu kito nuo 159,4 iki 207,3 μmol m⁻² ir priklausė nuo veislių savybių. 'Adessa' veislės sojų lapuose chlorofilo koncentracija nustatyta esmingai 30,1 ir 21,4 % didesnė negu 'Marzena' ir 'Liska' sojų veislių lapuose, o 'Mayrika' veislės sojų lapuose esmingai 21,3 % didesnė negu 'Marzena' veislės sojų lapuose.

Prieš derliaus nuėmimą skirtingų sojų veislių pasėlio tankumas kito nuo 40,0 iki 55,0 vnt. m⁻² ir buvo mažesnis negu rekomenduojamas (2 lentelė). 'Marzena' veislės sojų pasėlio tankumas nustatytas esmingai 25,0 ir 37,5 % didesnis negu 'Adessa' ir 'Brunensis' sojų veislių. A. Pospišil ir M. Pospišil (2024) teigia, kad sojų derlingumas didėjo, didinant pasėlio tankumą tik iki 65 vnt. m⁻².

'Mayrika' ir 'Brunensis' veislių sojų aukštis nustatytas esmingai didesnis, palyginti su kitomis tirtomis sojų veislėmis, atitinkamai nuo 24,0 iki 59,2 % bei nuo 18,7 iki 52,4 %. 'Adessa' veislės sojų aukštis nustatytas esmingai 15,8 ir 22,1 % mažesnis negu 'Marzena' ir 'Liska' sojų veislių.

2 lentelė. Skirtingų sojų veislių pasėlio tankumas, biometriniai ir derliaus struktūros rodikliai, 2025 m.

Table 2. Crop density, biometric and yield structure parameters of different soybean cultivars, 2025

Rodikliai Parameters	Sojų veislės / Soybean cultivars				
	1. 'Adessa'	2. 'Mayrika'	3. 'Marzena'	4. 'Liska'	5. 'Brunensis'
1. Pasėlio tankumas, vnt. m ⁻² <i>Crop density, pcs. m⁻²</i>	44,0b	49,0ab	55,0a	48,0ab	40,0b
2. Augalo aukštis, cm <i>Plant height, cm</i>	63,3c	100,8a	75,2b	81,3b	96,5a
3. Augalo masė, SM g <i>Plant biomass, DM g</i>	15,7ab	15,1ab	12,5b	17,3ab	19,7a
4. Augalo ankščių skaičius, vnt. <i>Number of pods per plant, psc.</i>	18,4b	19,6b	18,5b	21,5b	27,0a
5. Sėklų skaičius ankštyje, vnt. <i>Number of seeds per pod, psc.</i>	2,40ab	2,36abc	2,20bc	2,17c	2,53a
6. Augalo sėklų skaičius, vnt. <i>Number of seeds per plant, psc.</i>	44,0b	46,2b	41,1b	46,7b	68,2a
7. Augalo sėklų masė, g <i>Mass of seeds per plant, g</i>	7,11bc	6,36c	6,18c	8,57ab	10,3a
8. 1000 sėklų masė, g <i>Mass of 1000 seeds, g</i>	161,3b	137,7c	149,6bc	183,6a	151,1bc

Pastaba: tarp variantų vidurkių, pažymėtų ne tomis pačiomis raidėmis (a, b, c), skirtumai yra esminiai ($P < 0,05$).

Note: differences between the averages of treatments, marked with different letters (a, b, c), are significant ($P < 0.05$).

'Brunensis' veislės sojų masė nustatyta esmingai 57,6 % didesnė negu 'Marzena' veislės sojų. 'Adessa', 'Mayrika' ir 'Liska' veislių sojų masė susiformavo didesnė, palyginti su 'Marzena' sojų veisle, tačiau esminių skirtumų nenustatyta. Sojų masė neigiamai koreliavo su jų pasėlio tankumu ($r = -0,89$, $y = 36,0 - 0,42x$, $P < 0,05$).

Skirtingų sojų veislių ankščių skaičius kito nuo 18,4 iki 27,0 vnt. augale. Esmingai nuo 25,6 iki 46,7 % didesnį ankščių skaičių suformavo 'Brunensis' veislės sojos, palyginti su kitomis tirtomis sojų veislėmis. Latvijos mokslininkų duomenimis, skirtingų sojų veislių ankštarių skaičius priklausė nuo metų meteorologinių sąlygų ir kito nuo 12,5 iki 34,5 vnt. augale (Zute, 2021). Sojų ankščių skaičius augale priklausė nuo jų asimiliacinio lapų ploto ($r = 0,93$, $y = -9,47 + 0,96x$, $P < 0,05$). 'Brunensis' veislės sojų vidutinis sėklų skaičius ankštyje nustatytas esmingai 15,0 ir 16,6 % didesnis negu 'Marzena' ir 'Liska' sojų veislių. 'Liska' veislės sojų vidutinis sėklų skaičius ankštyje nustatytas esmingai 9,6 % mažesnis, palyginti su 'Adessa' sojų veisle.

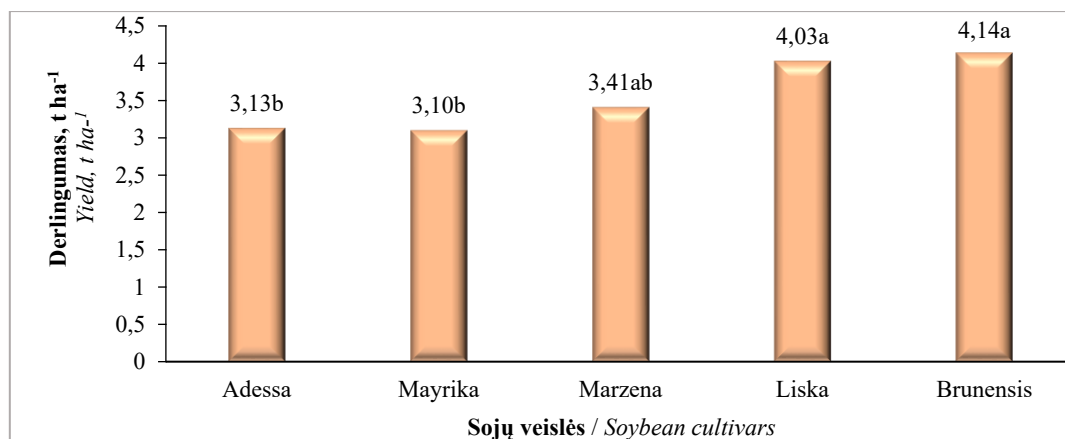
Skirtingų sojų veislių augalo sėklų skaičius kito nuo 41,1 iki 68,2 vnt. Esmingai nuo 46,0 iki 65,9 % didesnį sėklų skaičių suformavo 'Brunensis' veislės sojos, palyginti su kitomis tirtomis sojų veislėmis. Augalo sėklų skaičius teigiamai koreliavo su jų asimiliaciniu lapų plotu ($r = 0,91$, $y = -40,8 + 2,83x$, $P < 0,05$) bei ankščių skaičiumi ($r = 0,97$, $y = -12,6 + 2,94x$, $P < 0,01$). H. Sun ir kt. (2025) taip pat nustatė, kad augalo sėklų skaičius priklausė nuo sojų asimiliacinio lapų ploto.

Skirtingų sojų veislių augalo sėklų masė kito nuo 6,18 iki 10,3 g. 'Brunensis' veislės sojų sėklų masė nustatyta esmingai nuo 44,9 iki 66,7 % didesnė negu 'Adessa', 'Mayrika' ir 'Marzena' sojų veislių. 'Liska' veislės sojų augalo sėklų masė nustatyta esmingai 34,7 ir 38,7 % didesnė, palyginti su 'Mayrika' ir 'Marzena' sojų veislėmis. Augalo sėklų masė tiesiogiai priklausė nuo augalo ankščių skaičiaus ($r = 0,94$, $y = -1,83 + 0,45x$, $P < 0,05$). S. Zute ir kt. (2021) taip pat nustatė teigiamą ir statistškai patikimą koreliacinį priklausomumą tarp pastarųjų rodiklių.

Skirtingų sojų veislių 1000 sėklų masė kito nuo 137,7 iki 183,6 g. 'Liska' veislės sojų 1000 sėklų masė nustatyta esmingai nuo 13,8 iki 33,3 % didesnė, palyginti su kitomis tirtomis sojų veislėmis. 'Mayrika' veislės sojų 1000 sėklų masė nustatyta esmingai 14,6 % mažesnė negu 'Adessa' sojų veislės.

Skirtingų veislių sojų pupelių derlingumas kito nuo 3,10 iki 4,14 t ha⁻¹ (1 pav.). 'Liska' ir 'Brunensis' veislių sojų pupelių derlingumas nustatytas esmingai didesnis negu 'Adessa' ir 'Mayrika' sojų veislių, atitinkamai nuo 28,8 iki 30,0 % bei nuo 32,3 iki 33,5 %. 'Marzena' veislės sojų pupelių derlingumas susiformavo

mažesnis negu 'Liska' ir 'Brunensis' sojų veislių, tačiau esminių skirtumų nenustatyta. J. Księżak ir J. Bojarszczuk (2024) nustatė, kad vidutinio ankstyvumo sojų veislės 'Merlin' derlingumas buvo 8 % didesnis negu ankstyvos sojų veislės 'Aldana'.



1 pav. Skirtingų sojų veislių pupelių derlingumas, 2025 m.

Fig. 1. Yield of different soybean cultivars, 2025

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 ($P < 0.05$).

Sojų pupelių derlingumas priklausė nuo augalo sėklų masės ($r = 0,88$, $y = 1,62 + 0,25x$, $P < 0,05$). M. Soukhtehsaraei ir kt. (2018) duomenimis, sojų pupelių derlingumas teigiamai koreliavo su augalo ankščių skaičiumi, sėklų skaičiumi ankštyje, augalo sėklų skaičiumi ir 1000 sėklų mase.

Išvados

1. Skirtingų sojų veislių antžeminės dalies biomasė ir asimiliacinis lapų plotas esmingai nesiskyrė, o chlorofilo koncentracija 'Adessa' veislės sojų lapuose nustatyta esmingai nuo 21,4 iki 30,1 % didesnė, palyginti su 'Marzena' ir 'Liska' sojų veislėmis.
2. 'Marzena' veislės sojų pasėlio tankumas nustatytas esmingai 25,0 ir 37,5 % didesnis negu 'Adessa' ir 'Brunensis' sojų veislių.
3. 'Brunensis' veislės sojų augalo masė, ankščių skaičius, sėklų skaičius ankštyje, sėklų skaičius ir masė augale daugeliu atvejų nustatyti esmingai didesni negu kitų sojų veislių. Didžiausiu aukščiu išsiskyrė 'Mayrika' ir 'Brunensis' veislių sojos, o 1000 sėklų mase – 'Liska' veislės sojos. Augalo ankščių skaičius teigiamai koreliavo su asimiliaciniu lapų plotu ($r = 0,93$, $P < 0,05$), sėklų skaičius su asimiliaciniu lapų plotu ($r = 0,91$, $P < 0,05$) ir ankščių skaičiumi ($r = 0,97$, $P < 0,01$), o augalo sėklų masė su ankščių skaičiumi ($r = 0,94$, $P < 0,05$).
4. 'Liska' ir 'Brunensis' veislių sojų pupelių derlingumas nustatytas esmingai nuo 28,8 iki 33,5 % didesnis negu 'Adessa' ir 'Mayrika' sojų veislių. Sojų pupelių derlingumas priklausė nuo augalo sėklų masės ($r = 0,88$, $P < 0,05$).

Padėka

Tyrimai buvo finansuojami MTEP projekto „Baltymų ir aliejaus gamybos bazės išplėtimas išbandant sojų ir pluoštinių kanapių naujų veislių auginimo, saugojimo ir pirminio perdirbimo naujoves“ (sutartis Nr. MTE-25-2) lėšomis.

Literatūra

1. Faostat. (2022). *Crops and livestock products*. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/TCL>
2. Gai, Y., Liu, S., Zhang, Z., Wei, J., Wang, H., Liu, L., Bai, Q., Qin, Q., Zhao, C., Zhang, S., Xiang, N., Zhang, X. (2025). Integrative approaches to soybean resilience, productivity, and utility: A Review of genomics, computational modeling, and economic viability. *Plants*, 14(5), 671.
3. 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.

4. Kadžiulienė, Ž., Deveikytė, I., Ambrazaitienė, D., Šlepetys, J. (2017). *Sojų auginimo technologinių normų nustatymas: projekto ataskaita*. Dotnuva, Kėdainių r., 35 p.
5. Karges, K., Bellingrath-Kimura, S. D., Watson, C. A., Stoddard, F. L., Halwani, M., Reckling, M. (2022). Agroeconomic prospects for expanding soybean production beyond its current northerly limit in Europe. *European Journal of Agronomy*, 133, 126415.
6. Księżak, J., Bojarszczuk, J. (2024). The productivity of selected soybean cultivars grown using various cultivation methods. *Journal of Water and Land Development*, 62, 88–96.
7. Luboiński, A., Markowicz, M. (2017). Effect of nitrogen fertilization system on yielding of three non-GMO soybean varieties. *Fragmenta Agronomica*, 34(3), 66–75.
8. Mazur, O., Mazur, O., Zayka, K., Didur, I., Biliavska, L., Tsyhanskyi, V., Verheles, P. (2025). Variability of soybean varieties in terms of yield components and yield in the conditions of the forest-steppe of right-bank Ukraine. *Ecological Engineering and Environmental Technology*, 26(7), 186–195.
9. *Oficialios statistikos portalas*. (2025). Prieiga per internetą: <[https://osp.stat.gov.lt/statistiniu-rodikliu-analize?hash=1c60de45-f3c7-4cb1-95db-4b5e4ca4d976#/>](https://osp.stat.gov.lt/statistiniu-rodikliu-analize?hash=1c60de45-f3c7-4cb1-95db-4b5e4ca4d976#/)
10. Petrychenko, V., Kobak, S., Kolisnyk, S., Chornai, V., Korniychuk, O., Pantsyrev, O. (2024). Agroecological assessment of soybean varieties under the conditions of the right bank forest steppe of Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*, 25(9), 60–69.
11. Pospíšil, A., Pospíšil, M. (2024). Soybean yield and yield components depending on a sowing rate and sowing data. *Agriculture*, 30(2), 10–16.
12. Prusiński, J., Nowicki, R. (2020). Effect of planting density and row spacing on the yielding of soybean (*Glycine max* L. Merrill). *Plant, Soil and Environment*, 66(12), 607–615.
13. Raudonius, S. (2017). Application of statistics in plant and crop research: important issues. *Zemdirbyste-Agriculture*, 104(4), 377–382.
14. Sydiakina, O., Ivaniv, M. (2023). Productivity of soybean varieties of different maturity groups depending on plant density under drip irrigation in the South of Ukraine. *Scientific Horizons*, 26(11), 100–110.
15. Soukhtehsaraei, M., Dadashi, M. R., Faraji, A., Soltani, A. (2018). Investigation of the role of pod abnormality incidence on yield and yield components of soybean (A case study in Golestan Province, Iran). *Applied Ecology and Environmental Research*, 16(6), 7759–7775.
16. Sun, H., Shen, S., Yang, J., Zou, J., Harrison, M. T., Wang, Z., Hu, J., Guo, H., Umburanas, R. C., Zhai, Y., Wen, X., Chen, F., Yin, X. (2025). Soybean cultivar breeding Has increased yields through extended reproductive growth periods and elevated photosynthesis. *Plants*, 14(11), 1675.
17. Svirskis, A., Skulskis, V. (2014). *Ekologiškų sojų auginimo Lietuvoje galimybės ir praktika*. Prieiga per internetą: <<http://www.zaliojilietuva.lt/ekologisku-sojuauginimo-lietuvoje-galimybes-ir-praktika-3558.html>>
18. Zute, S., Jansone, I., Millere, A., Damškalne, M. (2021). Productivity of soybean varieties in organic cultivation practice in Latvia. *Eucarpia, Breeding and seed sector innovations for organic food systems: Conference*. Latvia, 27–28.

Aušra Marcinkevičienė, Aušra Sinkevičienė, Egidijus Zvicevičius

The Comparison of Different Soybean Cultivars Productivity

Vytautas Magnus University, Lithuania

The field experiment was carried out in 2025 at the Kęstutis Svečiulis farm in Kaunas and Jonava districts. The aim of the research was to compare the productivity of different soybean cultivars ('Adessa', 'Mayrika', 'Marzena', 'Liska', 'Brunensis'). The aboveground biomass and assimilating leaf area of different soybean cultivars did not differ significantly, while the chlorophyll concentration in the leaves of the 'Adessa' cultivar was determined significantly from 21.4 to 30.1% higher, compared to the 'Marzena' and 'Liska' cultivars. The crop density of the 'Marzena' soybean cultivar was determined significantly 25.0 and 37.5% higher than that of the 'Adessa' and 'Brunensis' cultivars. The mass, number of pods, number of seeds per pod, number of seeds and mass per plant of the 'Brunensis' soybean cultivar were in most cases significantly higher than those of other cultivars. The highest height was obtained of the 'Mayrika' and 'Brunensis' soybean cultivars, and the mass of 1000 seeds of the 'Liska' soybean cultivar. The number of pods per plant was positively correlated with the assimilating leaf area ($r = 0.93$, $P < 0.05$), the number of seeds with the assimilating leaf area ($r = 0.91$, $P < 0.05$) and the number of pods ($r = 0.97$, $P < 0.01$), and the seed mass per plant with the number of pods ($r = 0.94$, $P < 0.05$). The yield of the 'Liska' and 'Brunensis' soybean cultivars was found significantly from 28.8 to 33.5% higher, than that of 'Adessa' and 'Mayrika' cultivars. The yield of soybeans depended on the seed mass per plant ($r = 0.88$, $P < 0.05$).

Keywords: Soybean, cultivars, productivity.

Gauta 2026 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2026 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 37 752239, el. paštas: ausra.marcinkeviciene@vdu.lt

Aušra SINKEVIČIENĖ. 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., tel. +370 37 752229, el. paštas: ausra.sinkeviciene@vdu.lt

Egidijus ZVICEVIČIUS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos, Inžinerijos fakulteto, Mechanikos, energetikos ir biotechnologijų inžinerijos katedros technologijos mokslų daktaras, docentas, Bioekonomikos tyrimų instituto vyresn. mokslo darbuotojas. Adresas: Studentų g. 15, LT-53362 Akademija, Kauno r., tel. +370 37 752219, el. paštas: egidijus.zvicevicius@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: Studentų str. 11, LT-53361 Akademija, Kauno distr. Phone: +370 37 752239, e-mail: ausra.marcinkeviciene@vdu.lt

Aušra SINKEVIČIENĖ. 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: Studentų str. 11, LT-53361 Akademija, Kauno distr. Phone: +370 37 752229, e-mail: ausra.sinkeviciene@vdu.lt

Egidijus ZVICEVIČIUS. Agriculture Academy of Vytautas Magnus University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical, Energy and Biotechnology Engineering, Doctor of Technological Sciences, Associate Professor, Senior Researcher of Bioeconomy Research Institute. Address: Studentų str. 15, LT-53362 Akademija, Kauno distr. Phone: +370 37 752219, e-mail: egidijus.zvicevicius@vdu.lt

AKTINOBAKTERIJŲ GEBĖJIMAS PRODUKUOTI PROTEAZES

Eglė Nenartovičiūtė, Jurgita Švedienė

Valstybinis mokslinių tyrimų institutas Gamtos tyrimų centras, Biodestruktorių tyrimo laboratorija

Didėjanti paklausa tvariams ir ekologiškiems pramoniniams sprendimams lemia švaresnių alternatyvų paiešką. Cheminius katalizatorius reakcijose pradėta keisti į biologinius katalizatorius, tokius kaip fermentai, kurie ne tik pasižymi reguliuojamu aktyvumu, bet ir didesniu specifiskumu. Šiuos junginius produkuoja įvairūs mikroorganizmai, o vienas iš pastaruoju metu plačiausiai tiriamų yra aktinobakterijos. Tai yra bakterijų grupė, paplitusi įvairiose ekosistemose ir gebanti išgyventi ekstremaliomis sąlygomis. Šių bakterijų ekologinis universalumas lemia jų metabolinį lankstumą, kuris leidžia produkuoti įvairius junginius, tokius kaip pirminiai ir antriniai metabolitai bei fermentai. Vienas iš plačiausiai nagrinėjamų aktinobakterijų produkuojamų fermentų yra proteazės. Šie fermentai katalizuoja peptidinių ryšių hidrolizę baltymuose ir polipeptiduose. Proteazės pagal jų katalitinį mechanizmą yra skirstomos į šešias grupes: aspartato proteazes, glutamato proteazes, metaloproteazes, cisteino proteazes, serino proteazes ir treonino proteazes. Dėl gebėjimo dalyvauti įvairiose reakcijose šie fermentai yra plačiai naudojami tiek biotechnologijoje, tiek įvairiose pramonės šakose: medicinos, tekstilės, ploviklių, maisto. Tyrimo tikslas – atlikti kokybinį proteazių aktyvumo vertinimą aktinobakterijų kultūrų, palaikomų Valstybinio mokslinių tyrimų instituto Gamtos tyrimų centro Biodestruktorių tyrimo laboratorijoje. Fermentinis aktyvumas nustatomas kaip substratą naudojant kazeiną ir stebint susidariusią skaidrią zoną. Tyrimo metu nustatyta, kad proteaziniu fermentiniu aktyvumu pasižymi 61 % tirtų aktinobakterijų iš jų: 12 % pasižymi dideliu fermentiniu aktyvumu, 46 % – vidutiniu proteaziniu aktyvumu, o 3 % – mažu proteaziniu aktyvumu.

Raktiniai žodžiai: aktinobakterijos, proteazės, fermentinis kokybinis aktyvumas.

Įvadas

Aktinobakterijos yra Gram-teigiamų, aerobinių ir sporas formuojančių bakterijų grupė, kuri pasižymi didele G+C koncentracija (Barka ir kt., 2016). Tai yra vienas iš plačiausiai nagrinėjamų mikroorganizmų. Šios bakterijos skaido sudėtingus biopolimerus ir yra universalūs biologiškai aktyvių junginių gamintojai, produkuojantys antibiotikus, fermentus ir antrinius metabolitus, kurių sintezė yra palengvinama dėl natūraliai esančių biosintezės genų grupių (Al-shaibani ir kt., 2021; Jose ir kt., 2021). Aktinobakterijos yra evoliuciškai prisitaikiusios, nes geba išgyventi įvairiomis aplinkos sąlygomis: įvairiose temperatūrose, pH, druskingoje aplinkoje (Al-shaibani ir kt., 2021).

Fermentai – natūralūs biologiniai katalizatoriai, gebantys kontroliuoti bei pagreitinti chemines reakcijas stabilizuojant pereinamąsias būsenas ir taip sumažinant sunaudojamą energijos kiekį, jie turi trimatę struktūrą, kuri yra sudaryta iš baltymų ir kofaktorių (Lopina, 2017). Aktinobakterijos pasižymi įvairių hidrolazių produkavimu, kurios katalizuoja hidrolizės reakcijas ardant cheminius ryšius naudojant vandenį kaip hidroksilo grupės donorą (Shukla ir kt., 2022). Vienas iš plačiausiai nagrinėjamų hidrolazių grupės fermentų yra proteazės.

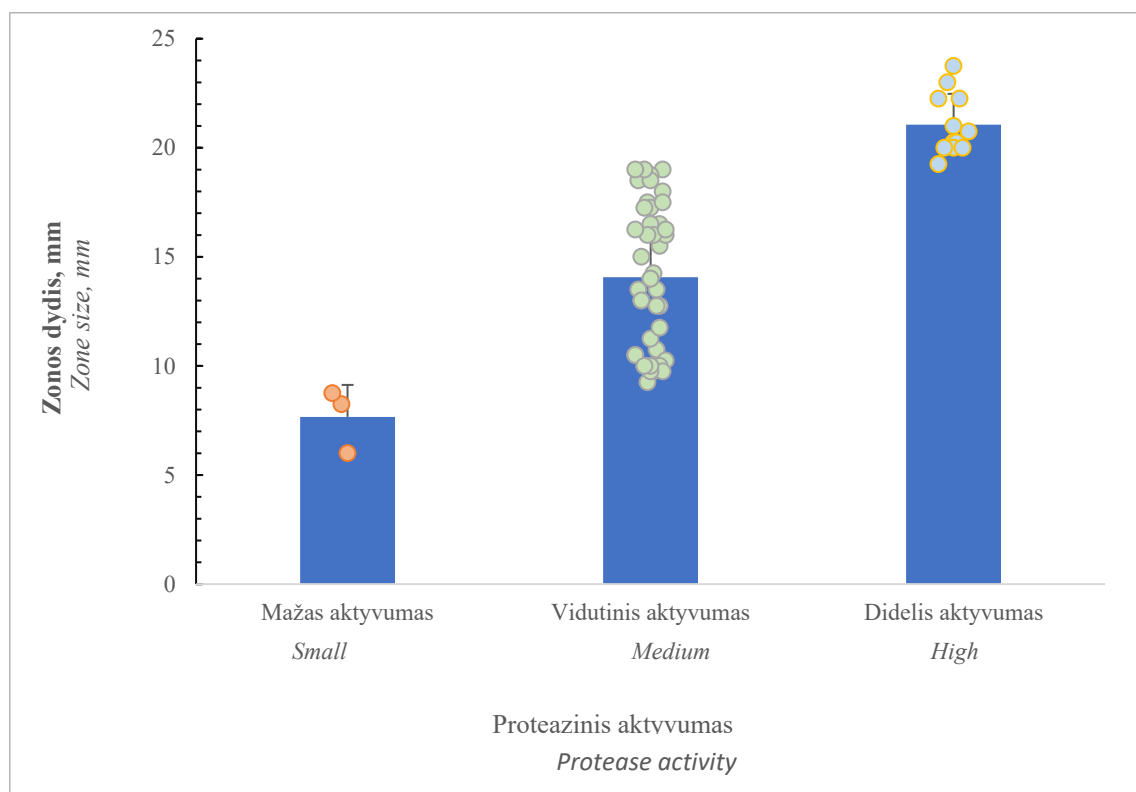
Proteazės – fermentai, katalizuojantys peptidinių ryšių hidrolizę baltymuose ir polipeptiduose, kaip ir daugelis kitų fermentų jie geba katalizuoti tiek vidinius peptidinius ryšius – endopeptidazės, tiek C ir N galų peptidinius ryšius – egzopeptidazės (Zhu ir kt., 2019). Proteazių fermentų grupė dažniausiai yra skirstoma į šešias pagrindines klases pagal jų katalitinį mechanizmą: aspartato proteazes, glutamato proteazes, metaloproteazes – šios klasės naudoja aktyvias vandens molekules kaip nukleofilus, kad galėtų atakuoti peptinius ryšius bei cisteino proteazes, serino proteazes ir treonino proteazes – šios klasės kaip nukleofilus naudoja aminorūgščių liekanas (Goettig ir kt., 2023). Proteazės, kaip ir kiti hidrolazių šeimai priklausantys fermentai, yra plačiai naudojamos biotechnologijoje ir pramonės srityse: medicinos, tekstilės ir ploviklių, maisto, atliekų. Medicinoje proteazių naudojimas yra bene viena iš plačiausiai išvystytų sričių: celiakijos gydyme fermentai naudojami glitimo skaidymui, jie taip pat naudojami kaip ligų žymenys ir vaistų gamyboje, kurioje proteazės suteikia galimybę kurti tikslius vaistus (Caminero ir kt., 2023; Goettig ir kt., 2023). Maisto pramonėje fermentai naudojami mėsos apdorojimui, vaisių sulčių skaidrinimui, o sūrio gamybos metu naudojamos proteazės palengvina baltymų krešėjimą (Song ir kt., 2023). Ploviklių pramonėje proteazės yra naudojamos kaip sudedamoji dalis, kuri geba pašalinti baltyminės kilmės dėmes, o tekstilės pramonėje jos pradeda apdoroti audinius – tai biologinis metodas sumažinantis poveikį aplinkai ir užtikrinantis produktų kokybę (Zhu ir kt., 2019). Šio darbo tikslas yra ištirti kai kurių aktinobakterijų gebėjimą produkuoti proteazes.

Tyrimų metodika

Tyrimo objektas yra 100 aktinobakterijų kultūrų išskirtų iš įvairių Lietuvos vietovių dirvožemio (Alytaus rajono, Vilniaus miesto ir rajono, Mažeikių, Klaipėdos rajonų). Aktinobakterijų kultūros yra saugomos ir palaikomos Valstybinio mokslinių tyrimų instituto Gamtos tyrimų centro Biodestruktorių tyrimo laboratorijos mikroorganizmų kolekcijoje. Aktinobakterijų proteaziniam fermentiniam aktyvumui tirti yra naudojama kazeino agarų terpė (KA) – kazeinas – 5 g, nugriebto pieno milteliai – 28 g, mielių ekstraktas – 2,5 g, dekstrozė – 1 g, agaras – 15 g, dist. H₂O – 1 L (Diah Ayuningrum ir kt., 2022). Kaip substratas proteaziniam aktyvumui tirti yra naudojamas kazeinas. Tyrimas yra kartojamas du kartus. Aktinobakterijų kultūros ant terpės yra sėjamos lygiagrečiai brūkšniu. Kultūros inkubuojamos 26 ± 1 °C temperatūroje 7 dienas. Po inkubacijos yra vertinamas kokybinis proteazių fermentinis aktyvumas, kuris yra matuojamas nuo kolonijos krašto iki fermentinio aktyvumo zonos pabaigos mažiausiai po du kartus. Iš gautų duomenų yra vedamas vidurkis, kuris nurodo kultūros fermentinio aktyvumo dydį. Fermentinis kokybinis aktyvumas pagal vidurkius yra išskirstomas į tris grupes: didelis fermentinis aktyvumas >19mm; vidutinis – nuo 10 mm iki 19 mm; mažas – <10 mm.

Rezultatai ir aptarimas

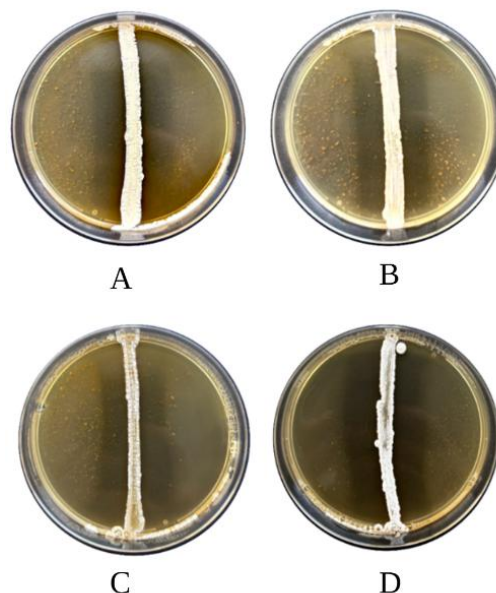
Ištyrus 100 aktinobakterijų kultūrų nustatyta, kad daugiau negu pusė – 61 % aktinobakterijų kultūrų pasižymėjo proteaziniu fermentiniu aktyvumu (1 pav.). Dideliu proteaziniu fermentiniu aktyvumu pasižymėjo 12 % kultūrų, vidutinis zonos dydis – $21,00 \pm 0,14$ mm. Vidutiniu proteaziniu fermentiniu aktyvumu pasižymėjo 46 % kultūrų, vidutinis zonos dydis – $14,00 \pm 0,33$ mm. Mažu proteaziniu fermentiniu aktyvumu pasižymėjo tik 3 % tirtų aktinobakterijų kultūrų, kurių vidutinis zonos dydis siekė $7,70 \pm 0,15$ mm.



1 pav. Kokybinis proteazės aktyvumas

Fig 1. Qualitative protease activity

2 paveikslėlyje pateikiamas aktinobakterijų kultūrų proteazinis fermentinis aktyvumas. Paveikslėlyje vaizduojamos aktinobakterijų kultūros pasižymėjo vidutiniu proteaziniu aktyvumu. 25 aktinobakterijų kultūros (2 pav. A) zonos dydis – $13,25 \pm 0,33$. 4 aktinobakterijų kultūros (2 pav. B) – $10,75 \pm 0,33$ mm. 18 aktinobakterijų kultūros (2 pav. C) ir 26 aktinobakterijų kultūros (2 pav. D) aktyvumo zonos atitinkamai lygios $10,50 \pm 0,33$ mm ir $13,00 \pm 0,33$ mm.



2 pav. Iš skirtingų vietovių išskirtų aktinobakterijų kokybinis proteazės aktyvumas
Fig 2. Qualitative protease activity of actinobacteria isolated from different localities

Išvados

1. Nustatyta, kad proteaziniu aktyvumu pasižymėjo 61 % tirtų aktinobakterijų kultūrų.
2. Dideliu proteaziniu aktyvumu pasižymėjo 12 %, vidutiniu – 46 %, o mažu proteaziniu aktyvumu pasižymėjo tik 3 % tirtų aktinobakterijų kultūrų.

Literatūra

1. Al-shaibani, M. M., Radin Mohamed, R. M. S., Sidik, N. M., Enshasy, H. A. E., Al-Gheethi, A., Noman, E., Al-Mekhlaifi, N. A., & Zin, N. M. (2021). Biodiversity of Secondary Metabolites Compounds Isolated from Phylum Actinobacteria and Its Therapeutic Applications. *Molecules*, 26(15), 4504. <https://doi.org/10.3390/molecules26154504>
2. 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>
3. Caminero, A., Guzman, M., Libertucci, J., & Lomax, A. E. (2023). The emerging roles of bacterial proteases in intestinal diseases. *Gut Microbes*, 15(1), 2181922. <https://doi.org/10.1080/19490976.2023.2181922>
4. Goettig, P., Koch, N. G., & Budisa, N. (2023). Non-Canonical Amino Acids in Analyses of Protease Structure and Function. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(18), 14035. <https://doi.org/10.3390/ijms241814035>
5. Jose, P. A., Maharshi, A., & Jha, B. (2021). Actinobacteria in natural products research: Progress and prospects. *Microbiological Research*, 246, 126708. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2021.126708>
6. Lopina, O. D. (2017). Enzyme Inhibitors and Activators. M. Senturk (Sud.), *Enzyme Inhibitors and Activators*. InTech. <https://doi.org/10.5772/67248>
7. Shukla, E., D. Bendre, A., & M. Gaikwad, S. (2022). Hydrolases: The Most Diverse Class of Enzymes. S. Haider, A. Haider, & A. Catalá (Sud.), *Biochemistry*, 29. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.102350>
8. Song, P., Zhang, X., Wang, S., Xu, W., Wang, F., Fu, R., & Wei, F. (2023). Microbial proteases and their applications. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1236368. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1236368>
9. Zhu, D., Wu, Q., & Hua, L. (2019). Industrial Enzymes. *Comprehensive Biotechnology* (pp. 1–13). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64046-8.00148-8>

Eglė Nenartovičiūtė, Jurgita Švedienė

Ability of Actinobacteria to Produce Proteases

State Scientific Research Institute, Nature Research Centre, Lithuania

The growing demand for sustainable and eco-friendly industrial solutions is driving the search for cleaner alternatives. Chemical catalysts in reactions are increasingly being replaced by biological catalysts, such as enzymes, which not only offer adjustable activity but also greater specificity. These compounds are produced by various microorganisms, and one of the most extensively studied groups recently is actinobacteria. This is a group of bacteria found in various ecosystems and capable of surviving under extreme conditions. The ecological versatility of these bacteria determines their metabolic flexibility, which allows them to produce various compounds, such as primary and secondary metabolites and enzymes. One of the most extensively studied enzymes produced by actinobacteria is proteases. These enzymes catalyze the hydrolysis of peptide bonds in proteins and polypeptides. Proteases are classified into six groups based on their catalytic mechanism: aspartate proteases, glutamate proteases, metalloproteases, cysteine proteases, serine proteases, and threonine proteases. Due to their ability to participate in various reactions, these enzymes are widely used in both biotechnology and various industrial sectors: medicine, textiles, detergents, and food. The aim of the study is to conduct a qualitative assessment of protease activity in actinobacterial cultures maintained at the Biodestructor Research Laboratory of the Nature Research Center at the State Research Institute. Enzymatic activity is determined by using casein as a substrate and observing the resulting clear zone. The study found that 61% of the actinobacteria tested exhibited protease enzymatic activity, of which: 12% exhibited high enzymatic activity, 46% exhibited moderate protease activity, and 3% exhibited low protease activity

Keywords: Actinobacteria, proteases, qualitative enzymatic activity.

Gauta 2026 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2026 m. balandžio mėn.

Eglė NENARTOVIČIŪTĖ. Vilnius TECH Bioinžinerijos magistro I kurso studentė. Adresas: Saulėtekio al. 11, LT-10221 Vilnius, tel. +370 668 60822, el. paštas: enenartoviciute@gmail.com

Jurgita ŠVEDIENĖ. Gamtos tyrimų centro Biodestruktorių tyrimo laboratorijos biomedicinos mokslų daktarė. Adresas: Akademijos g. 2, LT-08412, Vilnius, tel. +370 5 2796640, el. paštas: jurgita.svediene@gamtc.lt.

Eglė NENARTOVIČIŪTĖ. First-year master's student in Bioengineering at Vilnius Tech. Address: Saulėtekio al. 11, LT-10221 Vilnius. Phone: +370 668 60822, e-mail: enenartoviciute@gmail.com

Jurgita ŠVEDIENĖ. Nature Research Centre, Laboratory of Biodeterioration Research, doctor of biomedicine sciences. Address: Akademijos str. 2, LT-08412 Vilnius. Phone: +370 5 2796640, e-mail: jurgita.svediene@gamtc.lt.

HERBICIDŲ POVEIKIS VASARINIŲ MIEŽIŲ PASĖLIUI

Darija Jodaugienė, Lukas Juozaitis, Romas Paksas

Vytauto Didžiojo universitetas

Viena didžiausių problemų augalininkystės sektoriuje yra piktžolės. Piktžolės konkuruoja su kultūriniais augalais dėl šviesos, drėgmės, maisto medžiagų ir erdvės, dėl to jos gali žymiai sumažinti ne tik bendrą derlių, bet ir pabloginti derliaus kokybę. Siekiant sumažinti piktžolių poveikį pasėliams, viena iš pagrindinių ir plačiausiai taikomų priemonių yra herbicidų naudojimas. Tuo tikslu 2024 m. buvo atliktas lauko eksperimentas ūkininkės Ritos Paksienės ūkyje, esančiame Raguviškių kaime, Kretingos r. Eksperimento variantai: 1. Nepurkšta (kontrolinis variantas), 2. MCPA SUPER 1,0 L ha⁻¹ ir po 3 savaičių Axial 50 EC 0,9 L ha⁻¹, 3. Starane® XL – 0,8 L ha⁻¹ ir po 3 savaičių Axial 50 EC 0,9 L ha⁻¹. Po purškimo ir prieš derliaus nuėmimą piktžolių kiekis nustatytas esmingai mažesnis herbicidais purkštuose laukeliuose. Herbicidų derinių MCPA SUPER ir Axial 50 EC bei Starane® XL ir Axial 50 EC naudojimas miežių pasėlyje esmingai didino produktyvių stiebų skaičių, šiaudų, grūdų ir 1000 grūdų masę.

Raktiniai žodžiai: vasariniai miežiai, piktžolių kontrolė, pasėlio piktžolėtumas, derlingumas.

Įvadas

Darnaus ūkininkavimo kontekste vasarinių miežių svarba išryškėja kaip įvairesnės sėjomainos rotacijos dalis. Atsižvelgiant į globalias maisto saugumo, prekybos ir klimato pokyčių tendencijas, rinkos poreikius bei eksporto ir vidaus vartojimo perspektyvas, svarbu įvertinti vasarinių miežių auginimo Lietuvoje galimybes. Vasariniai miežiai pasižymi trumpu vegetacijos laikotarpiu, geru prisitaikymu bei plačiu panaudojimo spektru. Šie augalai auginami dėl daugelio panaudojimo būdų – miežių grūdai plačiai naudojami pašarų gamyboje, o taip pat svarbūs ir maisto bei alaus pramonėje (Butkutė, Kadžiulienė, 2019).

Augindami vasarinius miežius, ūkininkai siekia ne tik aukšto derliaus, bet ir stabilios produkcijos kokybės, todėl svarbu suvaldyti įvairius neigiamus veiksnius, darančius įtaką augalų augimui bei vystymuisi. Viena didžiausių problemų augalininkystės sektoriuje yra piktžolės. Piktžolės konkuruoja su kultūriniais augalais dėl tų pačių vegetacijos išteklių, dėl to jos gali žymiai sumažinti ne tik bendrą derlių, bet ir pabloginti derliaus kokybę. Ypač svarbu tinkamai suvaldyti piktžolių plitimą ankstyvuose vasarinių miežių augimo tarpsniuose, kai jie yra jautriausi konkurencijai (Akhter et al., 2023; Vakali et al., 2024).

Siekiant sumažinti piktžolių poveikį pasėliams, viena iš pagrindinių ir plačiausiai taikomų priemonių yra herbicidų naudojimas. Šiuolaikiniai herbicidai pasižymi tikslu veikimu, gebėjimu paveikti tiek dviskiltes, tiek vienaskiltes piktžoles. Vis dėlto jų efektyvumas priklauso nuo daugybės veiksnių: veikliųjų medžiagų cheminės sudėties ir veikimo mechanizmo, taikymo laiko ir technologijos, vyraujančių meteorologinių sąlygų bei piktžolių rūšinės sudėties (Zimdahl, 2018). Be to, herbicidų naudojimas susijęs ir su aplinkosauga – netinkamas jų taikymas gali turėti neigiamą poveikį dirvožemyje esantiems organizmams, biologinei įvairovei ar net skatinti piktžolių atsparumo herbicidams vystymąsi (Marochi et al., 2018; D’Amico et al., 2021).

Todėl šiuo metu žemės ūkyje vis dažniau keliama klausimai ne tik apie herbicidų veiksmingumą, bet ir apie jų tvarumą bei poveikį aplinkai (Antonious, 2015). Atsižvelgiant į tai, tampa svarbu lyginti skirtingų herbicidų efektyvumą įvairiomis sąlygomis bei jų įtaką vasarinių miežių produktyvumui (Tanchyk et al., 2022). Tiksliai parinktas herbicidas gali padėti ne tik sumažinti piktžolių gausą pasėlyje, bet ir užtikrinti sklandų javų augimą bei optimalų derlių. Tačiau net ir esant plataus spektro veikliosioms medžiagoms, herbicidų taikymas turi būti pagrįstas moksliniais tyrimais, atsižvelgiant į konkretaus lauko piktžolių sudėtį, pasėlių būklę, dirvožemį bei meteorologines sąlygas (Harker et al., 2009; Beckie et al., 2021; Tanchyk et al., 2022; Galon et al., 2023).

Tyrimo tikslas – ištirti herbicidų poveikį vasarinių miežių piktžolėtumui ir produktyvumui.

Tyrimų metodika

Tyrimas atliktas 2024 metais Kretingos raj. Žalgirio sen. Raguviškių k. Ritos Paksienės ūkyje. Eksperimento laukas buvo padalintas į dvi dalis ir purkštas skirtingais herbicidais. Herbicidų veiksmingumui palyginti prieš purškimą keturiuose lauko vietose vasarinių miežių pasėlis buvo uždenktas plėvele ir įrengtos 2x2 m pastovios aikštelės, kuriose herbicidai nepurkšti (kontrolinis variantas). Eksperimento variantai: 1. Nepurkšta (kontrolinis variantas), 2. MCPA SUPER 1,0 L ha⁻¹ (v. m. MCPA 500 g L⁻¹) ir po 3 savaičių Axial 50 EC 0,9 L ha⁻¹ (v. m. pinoksadenas 50 g L⁻¹), 3. Starane® XL 0,8 L ha⁻¹ (v. m. florasulamas 2,5 g L⁻¹ (0,25 proc.) + v. m. fluroksipiras 100 g L⁻¹ (10,1 proc.)) ir po 3 savaičių Axial 50 EC 0,9 L ha⁻¹ (v. m. pinoksadenas 50 g L⁻¹). Eksperimentas atliktas keturiais pakartojimais. Vasarinių miežių priešsėlis – žieminiai kviečiai, po kurių buvo pasėtas tarpinių augalų posėlis ir laikytas per žiemą. Pavasarį laukas buvo purkštas

herbicidu Halvetic® (v. m. glifosatas), norint sunaikinti tarpinio pasėlio peržiemojusius augalus ir lengviau paruošti žemę vasarinių miežių sėjai. Laukas įdirbtas du kartus – skutikliu ir kultivatoriumi prieš sėją. Sėta ūkinė vasarinių miežių veislė 'KWS Atrika', kurios norma – 210 kg ha⁻¹. Sėta 12,5 cm tarpueiliais. Vasarinių miežių krūmijimosi tarpsnio pradžioje viena lauko dalis nupurkšta MCPA SUPER herbicidu, o kita lauko dalis Starane® XL herbicidu, prieš tai uždengus 4 aikšteles (2x2 m) polietilenu, kad nepatektų į jas herbicidai. Axial 50 EC herbicidu buvo purškta visas laukas, išskyrus aikšteles, praėjus trims savaitėms po pirmojo purškimo, siekiant išvengti herbicido efektyvumo sumažėjimo. Ypač tai buvo svarbu MCPA SUPER puršktoje lauko dalyje, nes panaudojus Axial 50 EC anksčiau nei 14 dienų nuo MCPA purškimo, jo veiksmingumas gali sumažėti dėl MCPA SUPER herbicide esančios veikliosios medžiagos, kuri gali sumažinti piktžolės galimybę įsisavinti Axial 50 EC herbicido veikliąją medžiagą – pinoksađeną.

Tyrimo metu buvo vertintas pasėlio piktžolėtumas vasarinių miežių vegetacijos metu. Piktžolėtumas buvo įvertintas 4 kartus – prieš purškimą, po MCPA Super ir Starane® XL herbicidų purškimo praėjus 2 sav., po Axial 50 EC herbicido purškimo praėjus 2 sav. ir prieš derliaus nuėmimą. Prieš derliaus nuėmimą piktžolės buvo išrautos, suskaičiuotos ir įvertintos rūšys. Išdžiovinus, nustatyta piktžolių sausųjų medžiagų masė g m⁻². Piktžolių apskaitos atliktos kiekvieno varianto laukeliuose, iš viso sudarant po 12 apskaitinių aikštelių. Apskaitai naudotas metalinis rėmelis 0,2x0,3 m 0,06 m² ploto. Gautas piktžolių kiekis perskaičiuotas vnt. m⁻².

Tyrimo metu nustatytas vasarinių miežių tankumas naudojant 1 metro liniuotę, skaičiuojant dvi augalų eilutes, einančias iš abiejų liniuotės pusių.

Prieš derliaus nuėmimą iš kiekvieno laukelio nuimta antžeminė vasarinių miežių dalis, išdžiovinama. Nustatytas kiekvieno varianto produktyvių stiebų kiekis, nustatyta varpų ir šiaudų masė. Po to varpos iškultos, pasvertos, nustatyta kiekvieno laukelio grūdų masė.

Tyrimo duomenys statistiškai įvertinti naudojant t testą kompiuterine programa STAT iš paketo SELEKCIJA (Raudonius, 2017).

Rezultatai ir aptarimas

Piktžolių kontrolė yra itin svarbus agronominis klausimas, šiuo metu keliantis didelį nerimą tiek žemės ūkio specialistams, tiek produkcijos gamintojams – ūkininkams. Tyrimai rodo, kad piktžolių konkurencija su augalais gali sumažinti derlių nuo 20 proc. iki 50 proc., priklausomai nuo piktžolėtumo lygio ir piktžolių rūšies ir jų rezistentiškumo (Shahzad et al., 2021; Negewo et al., 2024).

Įvertinus bendrą vasarinių miežių pasėlio piktžolėtumą prieš herbicidų purškimą matyti, kad jis esmingai nesiskyrė (1 lentelė).

1 lentelė. Piktžolių kiekis vasarinių miežių pasėlyje

Table 1. Weed amount in spring barley crop

Purškimo variantai <i>Spraying treatments</i>	Piktžolių kiekis vnt. m⁻² / Amount of weed number m⁻²			
	Prieš purškimą <i>Before spraying</i>	Po pirmojo purškimo praėjus 2 sav.* <i>2 weeks after the first spray*</i>	Po antrojo purškimo praėjus 2 sav. <i>2 weeks after the second spray</i>	Prieš derliaus nuėmimą <i>Before harvest</i>
1. Nepurkšta (kontrolė) <i>No spraying (control)</i>	228,2 a	247,1 b	293,8 b	220,0 b
2. MCPA SUPER, po 3 sav. Axial 50 EC <i>MCPA SUPER, after 3 weeks Axial 50 EC</i>	221,9 a	81,3 a	87,5 a	27,6 a
3. Starane® XL, po 3 sav. Axial 50 EC <i>Starane® XL, after 3 weeks Axial 50 EC</i>	209,4 a	93,8 a	93,9 a	32,0 a

Pastaba: * purkšta tik MCPA SUPER ir Starane® XL pagal tyrimų schemą; skirtingomis mažosiomis raidėmis (a, b) pažymėti vidurkiai, esmingai skiriasi – 95 proc. tikimybės lygiui

Note: only MCPA SUPER and Starane® XL are sprayed according to the research scheme; means marked with different lowercase letters (a, b) are significantly different – at the 95 % probability level

Piktžolių kiekis svyravo nuo 209,4 iki 228,2 vnt. m⁻². Didžiausią dalį (daugiau nei 85 proc.) šių piktžolių sudarė trumpaamžės vasarinės piktžolės. Šiek tiek daugiau jų nustatyta kontroliniuose laukeliuose. MCPA SUPER ir Axial 50 EC varianto laukeliuose jų buvo 6,3 vnt. m⁻², o Starane® XL ir Axial 50 EC varianto laukeliuose – 18,8 vnt. m⁻² mažiau nei kontroliniuose.

Antroji piktžolėtumo apskaita vasarinių miežių pasėlyje buvo atlikta praėjus 2 savaitėms po herbicidų MCPA SUPER ir Starane® XL purškimo. Atlikti stebėjimai po herbicidų purškimo rodo esminius piktžolių

kiekio pokyčius. Herbicido MCPA SUPER purškimas sumažino piktžolių kiekį 3,0 kartus, o Starane® XL – 2,6 karto, lyginant su nepurkštais laukeliais. Lyginant piktžolėtumą po pirmojo purškimo su piktžolių kiekiu prieš herbicidų išpurškimą – Starane® XL naudojimas piktžolėtumą sumažino 2,7 karto, o herbicido MCPA SUPER naudojimas – 2,2 karto.

Po antrojo purškimo MCPA SUPER ir Axial 50 EC varianto laukeliuose piktžolėtumas nustatytas 2,2 karto, o Starane® XL ir Axial 50 EC varianto laukeliuose 2,1 karto mažesnis nei nepurkštuose. Lyginant vasarinių miežių piktžolėtumą su ankstesne apskaita (po MCPA SUPER ir Starane® XL herbicidų išpurškimo), galima pastebėti, kad piktžolėtumas išliko panašus, bet pasikeitė piktžolių rūšinė sudėtis.

Vasarinių miežių pasėlis prieš derliaus nuėmimą buvo mažiau piktžolėtas visuose laukeliuose. Galima teigti, jog vyraujančios vasarinės piktžolės tankiai užgožė pasėlį ir neleido kitoms piktžolėms dygti, o mažesnės piktžolės sunyko dėl didesnių piktžolių konkurencijos. MCPA SUPER ir Axial 50 EC herbicidais purkštuose laukeliuose piktžolių buvo 4,6 karto mažiau negu nepurkštuose laukeliuose, o lyginant su nustatytu piktžolėtumu prieš herbicidų išpurškimą (su pirmąją apskaita), piktžolėtumas sumažėjo 8 kartus. Starane® XL ir Axial 50 EC herbicidų purškimas vasarinių miežių pasėlio piktžolėtumą prieš derliaus nuėmimą sumažino 3,8 karto, o lyginant su pirmąją apskaita (prieš herbicidų išpurškimą) – piktžolių kiekis sumažėjo 6,2 karto. Abu herbicidų deriniai – purškimai esmingai sumažino vasarinių miežių pasėlio piktžolėtumą.

Prieš derliaus nuėmimą pasėlyje buvo įvertintas vasarinių miežių produktyvių stiebų skaičius vnt. m⁻². Nustatyta, jog herbicidais purkštuose laukeliuose produktyvių stiebų susiformavo esmingai daugiau, lyginant su nepurkštais (2 lentelė). Nepurkštuose laukeliuose nustatyta 343,7 vnt. m⁻² produktyvių stiebų, MCPA SUPER ir Axial 50 EC herbicidais purkštuose – 487,1 vnt. m⁻², o Starane® XL ir Axial 50 EC varianto laukeliuose – 496,4 vnt. m⁻², t. y. esmingai 1,4 karto daugiau.

Nepurkštuose laukeliuose vidutinė varpos masė siekė 0,87 g, o purkštuose laukeliuose buvo esmingai didesnė (atitinkamai 14,9 ir 23,7 proc.). MCPA SUPER ir Axial 50 EC herbicidais purkštuose laukeliuose miežių varpos masė siekė 1,0 g, o purškiant Starane® XL ir Axial 50 EC herbicidais – 1,14 g.

Grūdų skaičius vasarinių miežių varpose taip pat esmingai skyrėsi. Mažiausiai grūdų suformavo vasariniai miežiai, kurie nebuvo purškti herbicidais. Laukeliuose purkštuose MCPA SUPER ir Axial 50 EC herbicidais miežių varpose grūdų susiformavo esmingai daugiau (13,3 proc.).

2 lentelė. Vasarinių miežių parametrai

Table 2. Spring barley parameters

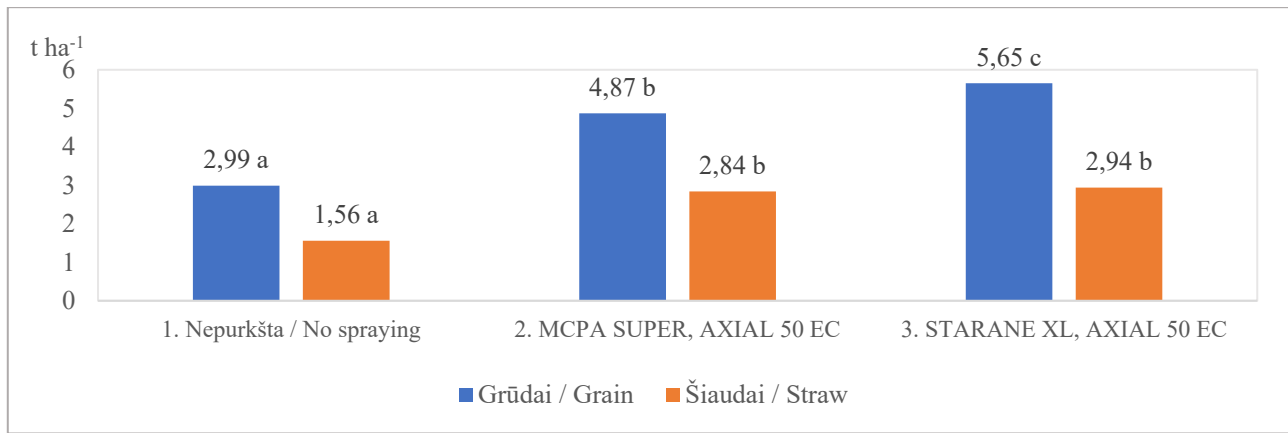
Purškimo variantai <i>Spraying treatments</i>	Produktyvių stiebų skaičius vnt. m ⁻² <i>Number of productive stems pcs. m⁻²</i>	Varpos masė g <i>One ear mass g</i>	Grūdų skaičius varpoje vnt. <i>Number of grains in an ears, pcs.</i>	1000 grūdų masė g <i>1000 grain mass g</i>
1. Nepurkšta (kontrolė) <i>No spraying (control)</i>	343,7 a	0,87 a	18,1 a	48,0 a
2. MCPA SUPER, po 3 sav. Axial 50 EC <i>MCPA SUPER, after 3 weeks Axial 50 EC</i>	487,1 b	1,00 b	20,5 b	48,9 a
3. Starane® XL, po 3 sav. Axial 50 EC <i>Starane® XL, after 3 weeks Axial 50 EC</i>	496,4 b	1,14 c	21,5 c	53,1 b

Pastaba: skirtingomis mažosiomis raidėmis (a, b) pažymėti vidurkiai, esmingai skiriasi – 95 proc. tikimybės lygiui.

Note: means marked with different lowercase letters (a, b) are significantly different – at the 95 % probability level.

Esminiai grūdų skaičiaus varpose skirtumai buvo nustatyti ir laukeliuose purkštuose Starane® XL ir Axial 50 EC herbicidais. Grūdų susiformavo 18,8 proc. daugiau nei nepurkštuose ir 4,8 proc. daugiau nei MCPA SUPER ir Axial 50 EC herbicidais purkštuose laukeliuose. 1000 grūdų masė nustatyta esmingai didesnė tik laukeliuose purkštuose Starane® XL ir Axial 50 EC herbicidais.

Panaudoti herbicidai turėjo esminės įtakos vasarinių miežių grūdų ir šiaudų derlingumui (1 pav.). MCPA SUPER ir Axial 50 EC herbicidais purkštuose laukeliuose vasarinių miežių grūdų derlingumas siekė 4,87 t ha⁻¹, t. y. 1,6 karto buvo didesnis, o Starane® XL ir Axial 50 EC herbicidais purkštuose – derlingumas siekė net 5,65 t ha⁻¹, t. y. 1,9 karto buvo didesnis nei nepurkštuose laukeliuose.



1 pav. Vasarinių miežių grūdų ir šiaudų derlingumas

Fig 1. Grain and straw yield of spring barley

Pastaba: skirtingomis mažosiomis raidėmis (a, b) pažymėti vidurkiai, esmingai skiriasi – 95 proc. tikimybės lygiui
 Note: means marked with different lowercase letters (a, b) are significantly different – at the 95 % probability level

Purškimas herbicidais taip pat turėjo įtakos ir vasarinių miežių šiaudų derlingumui. Šiaudų derlingumas svyravo nuo 1,56 iki 2,94 t ha⁻¹. Vasarinių miežių šiaudų derlingumas buvo esmingai didesnis tiek laukeliuose purkštuose MCPA SUPER, Axial 50 EC, tiek ir Starane[®] XL, Axial 50 EC herbicidais. Šių variantų laukeliuose vasarinių miežių šiaudų derlingumas buvo 1,8–1,9 karto didesnis, lyginant su nepurkštais.

Apibendrinant galima teigti, kad nepurkštuose laukeliuose nustatytas prastesnis vasarinių miežių išsivystymas, kas indikuoja, jog piktžolės pajėgiau konkuravo dėl šviesos, vandens ir maisto medžiagų, taip ribodamos augalų augimą bei galutinį derlių.

Išvados

1. Abu herbicidų deriniai esmingai mažino vasarinių miežių pasėlio piktžolėtumą. MCPA SUPER ir Axial 50 EC herbicidais purkštuose laukeliuose prieš vasarinių miežių derliaus nuėmimą piktžolių buvo 8,0 kartus, o Starane[®] XL ir Axial 50 EC purkštuose 6,2 karto mažiau, lyginant su nepurkštais laukeliais.
2. Herbicidų derinių MCPA SUPER, Axial 50 EC ir Starane[®] XL, Axial 50 EC naudojimas miežių pasėlyje esmingai didino produktyvių stiebų skaičių (1,4 karto), vidutinę vienos varpos masę (14,9–23,7 proc.) ir grūdų skaičių varpoje (13,3–18,8 proc.). 1000 grūdų masė esmingai didesnė (10,6 proc.) susiformavo tik laukeliuose purkštuose Starane[®] XL ir Axial 50 EC herbicidais.
3. Vasarinių miežių purškimas herbicidų MCPA SUPER, Axial 50 EC ir Starane[®] XL, Axial 50 EC deriniais esmingai didino grūdų (1,6–1,9 karto) ir šiaudų (1,8–1,9 karto) derlingumą.

Literatūra

1. Akhter, M., Sønderkov, M., Loddio, D., Ulber, L., Hull, R., & Kudsk, P. (2023). Opportunities and challenges for harvest weed seed control in European cropping systems. *European Journal of Agronomy*, 142, 126639. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126639>
2. Antonjous, G. (2015). Reducing Herbicide Residues from Agricultural Runoff and Seepage Water. <https://doi.org/10.5772/60870>
3. Beckie, H. J., Busi, R., Lopez-Ruiz, F. J., Umina, P. A. (2021). Herbicide resistance management strategies: how do they compare with those for insecticides, fungicides and antibiotics? *Pest Management Science*, 77(7), 3049–3056, <https://doi.org/10.1002/ps.6395>
4. Butkutė, B. ir Kadžiulienė, Ž. (2019). *Lietuvoje auginamų vasarinių grūdinių kultūrų agrotechnika*. Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centras.
5. D'Amico, M., Chantre, G., Calandrini, G., & Andújar, J. (2021). Effect of Barley Sowing Density on the Integrated Weed Management of *Lolium rigidum* (Annual Ryegrass) in Mediterranean Dryland: A Modeling Approach. *Agronomy*, 11(8), 1565. <https://doi.org/10.3390/agronomy11081565>
6. Galon, L., Silva, A., Franceschetti, M., Müller, C., Weirich, S., Toso, J., ... & Perin, G. (2023). Selectivity and efficacy of herbicides applied on barley for weed control. *Bragantia*, 82. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20220111>
7. Harker, K., O'Donovan, J., Irvine, R., Turkington, T., & Clayton, G. (2009). Integrating Cropping Systems with Cultural Techniques Augments Wild Oat (*Avena fatua*) Management in Barley. *Weed Science*, 57(3), 326–337. <https://doi.org/10.1614/ws-08-165.1>

8. Marochi, A., Ferreira, A., Takano, H., Oliveira, R., & Ovejero, R. (2018). Managing glyphosate-resistant weeds with cover crop associated with herbicide rotation and mixture. *Ciência E Agrotecnologia*, 42(4), 381–394. <https://doi.org/10.1590/1413-70542018424017918>
9. Negewo, T., Dechassa, N., Fufa, A., Bidira, T. (2024). Weed science research achievements on maize in Ethiopia: A review. *F1000Research*, 12, 880, <https://doi.org/10.12688/f1000research.135210.4>
10. Raudonius, S. (2017). Application of statistics in plant and crop research: important issues. *Zemdirbyste-Agriculture*, 104(4), 377–382. <https://doi.org/10.13080/z-a.2017.104.048>
11. Shahzad, M., Hussain, M., Jabran, K., Farooq, M., Farooq, S., Gašparovič, K., Barboricova, M.; Aljuaid, B. S., El-Shehawi, M. A., Zuan, A. T. K. (2021). The Impact of Different Crop Rotations by Weed Management Strategies' Interactions on Weed Infestation and Productivity of Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Agronomy*, 11(10), 2088. <https://doi.org/10.3390/agronomy11102088>
12. Tanchyk, S., Pavlov, O., & Babenko, A. (2022). Control of weeds in spring barley crops at different times of herbicide application. *Plant and Soil Science*, 13(2). [https://doi.org/10.31548/agr.13\(2\).2022.27-34](https://doi.org/10.31548/agr.13(2).2022.27-34)
13. Vakali, C., Zaller, J., & Köpke, U. (2014). Reduced tillage in temperate organic farming: Effects on soil nutrients, nutrient content and yield of barley, rye and associated weeds. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 30(3), 270–279. <https://doi.org/10.1017/s1742170514000015>
14. Zimdahl, R. L. (2018). *Fundamentals of Weed Science* (5th ed.). San Diego: Academic Press.

Darija Jodaugienė, Lukas Juozaitis, Romas Paksas

The Influence of Herbicide on Spring Barley Crop

Vytautas Magnus University, Lithuania

One of the biggest problems in the crop sector is weeds. Weeds compete with cultivated plants for light, moisture, nutrients and space, which is why they can significantly reduce not only the total yield, but also worsen the quality of the harvest. In order to reduce the impact of weeds on crops, one of the main and most widely used measures is the use of herbicides. For this purpose, in 2024, a field experiment was conducted on the farm of farmer Rita Paksienė, located in the village of Raguviškės, Kretinga district. Experiment options: 1. No spraying (control option), 2. MCPA SUPER 1.0 L ha⁻¹ and after 3 weeks Axial 50 EC 0.9 L ha⁻¹, 3. Starane® XL – 0.8 L ha⁻¹ and after 3 weeks Axial 50 EC 0.9 L ha⁻¹. After spraying and before harvesting, the amount of weeds was found to be significantly lower in the fields sprayed with herbicides. The use of herbicide combinations MCPA SUPER and Axial 50 EC and Starane® XL and Axial 50 EC in barley significantly increased the number of productive stems, straw, grain and 1000-grain weight.

Keywords: Spring barley, weed control, crop weediness, yield.

Gauta 2026 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2026 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 37 752229, 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. Phone: +370 37 752229, e-mail: darija.jodaugiene@vdu.lt

Lukas JUOZAITIS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Agronomijos fakulteto Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedros doktorantas. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r., tel. +370 625 29289, el. paštas: lukas.juozaitis@vdu.lt

Lukas JUOZAITIS. 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. Phone: +370 625 29289, e-mail: lukas.juozaitis@vdu.lt

Romas PAKSAS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Agronomijos fakulteto studentas. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r., tel.+370 37 752229, e-mail: romas.paksas@alumni.vdu.lt

Romas PAKSAS. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Agronomy, Student. Address: Studentu str. 11, LT-53361 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 37 752229, e-mail: romas.paksas@alumni.vdu.lt

KUKURŪZŲ PASĖLIO SU BASTUTINIŲ AUGALŲ ĮSĖLIAIS VYSTYMASIS IR PRODUKTYVUMAS

Aušra Armanavičiūtė, Austėja Švereikaitė, Jovita Balandaitė, Rasa Kimbirauskienė, Kęstutis Romaneckas

Vytauto Didžiojo universitetas

Tyrimas atliktas 2025 metais VDU ŽŪA Bandytų stotyje, siekiant įvertinti bastutinių įsėlių poveikį kukurūzų pasėlio apšvitos sąlygoms, chlorofilo koncentracijai ir produktyvumui. Buvo tirtas tarpueilių purenimas (K1), tarpueilių mulčiavimas piktžolėmis (K2), taip pat į kukurūzų tarpueilius buvo įsėtos baltosios garstyčios (GAR), vasariniai rapsai (RAP), aliejiniai ridikai (RID) ir vasarinės judros (JUD). Tyrimų rezultatai parodė, kad didžiausia fotosintetiškai aktyviosios radiacija pusės kukurūzų augalo aukštyje nustatyta K1 varianto kukurūzuose – 41,8 proc., o mažiausia RID varianto – 14,9 proc. Atitinkamai kukurūzų augalų aukštis šiuose laukeliuose siekė 170,2 ir 147,7 cm. Bastutinių įsėliai reikšmingai mažino pasėlio apšvitą apatiniuose ir viduriniuose arduose. Didžiausia kukurūzų lapų chlorofilo koncentracija žydėjimo tarpsniu (BBCH 69) nustatyta K1 varianto laukeliuose – 37,9 $\mu\text{mol m}^{-2}$, o pasėliuose su bastutiniais įsėliais ji buvo mažesnė ir siekė 16,0–25,4 $\mu\text{mol m}^{-2}$. Brandos tarpsniu (BBCH 85) chlorofilo koncentracija sumažėjo iki 7,6–15,2 $\mu\text{mol m}^{-2}$, esminių skirtumų tarp variantų nenustatyta. Esmingai didžiausias kukurūzų grūdų derlingumas nustatytas K1 varianto laukeliuose, kur kukurūzai augo be konkurencijos – 0,60 kg m^{-2} , o mažiausias RID varianto – 0,35 kg m^{-2} . Burbuolių skaičius svyravo nuo 10,0 iki 12,7 vnt. m^{-2} , o burbuolių sausoji biomasė – nuo 0,33 iki 0,68 kg m^{-2} . 1000 grūdų masė tarp tirtų variantų esmingai nesiskyrė ir svyravo nuo 125,6 iki 146,4 g. Apibendrinant galima konstatuoti, kad bastutinių augalų įsėliai riboja kukurūzų pasėlio apšvitos sąlygas, mažina lapų chlorofilo koncentraciją žydėjimo metu ir dažniausiai lėmė mažesnę grūdų derlingumą, palyginti su tarpueilių purenimo technologija.

Raktiniai žodžiai: *Zea mays* L., *Brassicaceae* įsėliai, apšvitos sąlygos, chlorofilo koncentracija lapuose, produktyvumo rodikliai.

Įvadas

Technologinė pažanga žemės ūkyje per pastaruosius dešimtmečius leido patenkinti augančius maisto ir pašarų poreikius (Hemathilake ir Gunathilake, 2022). Tačiau ilgalaikio pasėlių produktyvumo užtikrinimą vis labiau apsunkina spartėjanti dirvožemio degradacija ir urbanizacijos plėtra (Arora ir kt., 2018). Intensyvus ūkininkavimas, ypač gausus mineralinių trąšų ir pesticidų vartojimas, daro neigiamą poveikį aplinkai, biologinei įvairovei ir žmonių sveikatai (Husaini ir Sohail, 2023). Monokultūrinės auginimo sistemos, ypač javų ir mažėjanti augalų rūšių įvairovė laikomos pagrindiniais biologinės įvairovės nykimo ir dirvožemio degradacijos veiksniais (Gasiev ir kt., 2019).

Kukurūzai (*Zea mays* L.) yra universalūs žemės ūkio augalai, vartojami maistui, pašarams, pramoninių cheminių medžiagų gamybai ir biodegalams (García-Lara ir Serna-Saldivar, 2019). Kaip C4 tipo augalas, kukurūzas pasižymi efektyvia fotosintezės sistema, leidžiančia sumažinti kvėpavimo nuostolius, didinti sausosios medžiagos kaupimąsi ir geriau prisitaikyti prie aukštos temperatūros bei riboto drėgmės kiekio, taip užtikrinant grynąjį CO₂ pasisavinimą vegetacijos laikotarpiu (Béziat ir kt., 2009). Lietuvos statistikos departamento duomenimis, Lietuvoje kukurūzai pagal svarbą užima dešimtą vietą tarp auginamų augalų, o 2023 m. jų vidutinis grūdų derlingumas siekė apie 5,20 t ha⁻¹ (Lietuvos statistikos departamentas, 2024). Šie rodikliai patvirtina kukurūzų svarbą šalies žemės ūkyje ir pagrindžia poreikį ieškoti jų produktyvumą bei auginimo tvarumą didinančių sprendimų.

Vienas iš perspektyvių žemės ūkio tvarumo sprendimų yra kukurūzų auginimas kartu su tarpiniais augalais (angl. *intercropping*) arba naudojant juos kaip įsėlius (angl. *living mulch*) – pasėlius, kurie auga kartu su pagrindiniu augalu. Tarpinių augalų sistemose bastutinių (*Brassicaceae*) šeimos augalai, tokie kaip *Brassica juncea* L., gali turėti teigiamą poveikį kukurūzų augimui ir produktyvumui. Pvz., lauko tyrimai parodė, kad kukurūzų ir *Brassica juncea* tarpinių augalų derinimas padidino kukurūzų grūdų derlių apie 10,5 % lyginant su vienanariu kukurūzų pasėliu ir užtikrino aukštą žemėnaudos efektyvumą, todėl tokios diversifikuotos sistemos gali būti perspektyvios tvaresniam žemės ūkiui (Chi ir kt., 2024). Be to, didesnė augalų įvairovė sistemose su tarpinių augalų mulčiu gali gerinti dirvožemio sveikatą ir mitybomis elementų cikliškumą, gausinant dirvožemio biotą ir mitybos elementų prieinamumą, kurie yra svarbūs kukurūzų vystymuisi (Xin Sui ir kt., 2024). Nors globalūs meta-analizės rezultatai rodo, kad bastutinių šeimos tarpinių augalų poveikis kukurūzų produktyvumui gali būti neutralus lyginant su kitomis botaninėmis šeimomis, tokie augalai vis tiek gali gerinti dirvožemio mikrobiologines ir ekologines funkcijas bei skatinti augalų šaknų simbiozę su mikorizės mikroorganizmais, kas prisideda prie bendro žemės ūkio tvarumo (Wojciechowski ir kt., 2023). Dėl šių priežasčių tarpinių bastutinių augalų integravimas į kukurūzų auginimo sistemas – tiek kaip kompanionus,

ties kaip mulčią – yra svarbi mokslinių tyrimų tema, kuri siekia suderinti aukštą derlingumą su dirvožemio apsauga ir biologinės įvairovės didinimu. Kukurūzų ir bastutinių įsėlių auginimas daigianariuose pasėliuose yra nepakankamai ištirtas, ypač Lietuvos agroklimatinėmis sąlygomis. Todėl tokių tyrimų rezultatai gali turėti reikšmingą mokslinę ir praktinę vertę, sudarant prielaidas kurti produktyvias, didesnio biologinio įvairumo ir daugiafunkcines kukurūzų agroceozes. Šio tyrimo tikslas – bastutinių įsėlių poveikį kukurūzų vystymuisi ir produktyvumui vienanariuose ir dvinariuose pasėliuose.

Tyrimų metodika

Eksperimento vieta ir sąlygos. Stacionarus lauko eksperimentas buvo vykdomas 2023–2025 m. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Bandymų stotyje (54°53' N, 23°50' E). Šiame straipsnyje analizuojami 2025 m. tyrimų duomenys. Eksperimentinis laukas buvo įrengtas giliau glėžiskame pasotintame palvažemyje (*Endohypogleyic-Eutric Planosol-Ple-gln-w*). Dirvožemis buvo šarmiškas, pH_{HCl} siekė 7,55. Jo cheminė sudėtis vidutiniškai buvo tokia: suminis azotas – 0,105 %, judrusis fosforas – 234,5 mg kg⁻¹, judrusis kalis – 107,5 mg kg⁻¹, judrioji siera – 1,9 mg kg⁻¹, o judrusis magnis – 613 mg kg⁻¹.

Lietuvoje vidutinis metinis kritulių kiekis sudaro 600–650 mm, o metinis išgaravimas siekia apie 500 mm. Žemės ūkio augalų vegetacijos laikotarpis trunka vidutiniškai 150–170 dienų. 2025 m. meteorologinės sąlygos kukurūzų vegetacijos metu buvo artimos daigiametėms vidutinėms ir buvo gan palankios tiek kukurūzų, tiek įsėlių vystymuisi.

Eksperimento variantai. Lauko eksperimente tirti 6 variantai (1 lentelė). Auginti bastutinių šeimos įsėliai: baltosios garstyčios (*Sinapsis alba* L.) (veislė – „Maryna“), vasariniai rapsai (*Brassica napus* L.) (veislė – „Mirakel“), aliejiniai ridikai (*Raphanus sativus* L.) (veislė – „Arena“), sėjamosios (vasarinės) judros (*Camelina sativa* L.) (veislė – „Peredovik“).

1 lentelė. Eksperimento variantai. VDU ŽŪA Bandymų stotis, 2025 m.

Table 1. Treatments of an experiment. VMUAA Experimental Station, 2025 m.

Įvairinimo lygis <i>Biodiversity level</i>	Varianto Nr. <i>Treatment No.</i>	Pasėliai <i>Crops</i>	Santrumpa <i>Abbreviation</i>
Vienanaris <i>Mono-crop</i>	1.	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
Dvinaris <i>Binary-crop</i>	3.	Baltosios garstyčios (<i>White mustard</i>)	GAR
	4.	Vasariniai rapsai (<i>Spring oil-seed rape</i>)	RAP
	5.	Aliejiniai ridikai (<i>Oil-seed radish</i>)	RID
	6.	Sėjamosios judros (<i>Spring Camelina</i>)	JUD

Eksperimentas buvo įrengtas randomizuotų pakartojimų blokų metodu, keturiais pakartojimais. Iš viso buvo suformuoti 24 laukeliai. Pradinis kiekvieno laukelio plotas buvo 18,4 m², o apskaitomasis – 18 m². Kiekvieno laukelio apsauginė juosta siekė 0,5 m, o tarp pakartojimų ir eksperimentinių variantų palikta 3 m pločio apsauga. Eksperimento įrengimo metais priešsėlis buvo juodasis pūdymas, o 2025 m. pasėlių – kukurūzai su migliniais įsėliais, nes tyrimų metu kukurūzai kiekvienais metais buvo atsėliuojami, o tarpueiliuose įsėjami skirtingi augalai, atitinkantys eksperimentinių variantų sudėtį.

Tyrimų analizės ir metodai

Fotosintetiškai aktyvioji radiacija (FAR) buvo matuota naudojant HD 9021 RAD/PAR radiometrą kukurūzų žydėjimo pradžioje (2023-07-25, BBCH 61-63). Tuo pačiu metu lapų chlorofilo koncentracija buvo nustatyta CCM-200 plus matuokliu. Siekiant įvertinti kukurūzų produktyvumą, ne mažiau kaip penkiose apskaitinio laukelio vietose, 0,5 m ilgio išilginėje eilutėje, buvo išpjauti augalai. Mėginiai buvo išdžiovinti laboratorijoje, burbuolės iškultos, grūdai pasverti, o produktyvumo duomenys perskaiciuoti į kvadratinį metrą. Gauti grūdai taip pat buvo panaudoti 1000 grūdų masei nustatyti. Eksperimento rezultatai statistiškai įvertinti vieno veiksnio dispersinės analizės (ANOVA) metodu naudojant statistinės programinės įrangos paketą SELEKCIJA (Tarakanovas, Raudonius, 2003).

Rezultatai ir aptarimas

Kukurūzų pasėlio vystymosi rodikliai

Pasėlio apšvitos (FAR) ir kukurūzų aukštis. Didžiausi FAR rodikliai stebėti kontrolinio varianto laukeliuose K1 (tarpueilių purenimas), kur pasėlio apšvita ties dirvos paviršiumi siekė 26,0 proc., pusės augalo aukštyje – 41,8 proc., o kukurūzų vidutinis aukštis siekė 170,2 cm (2 lentelė). Mažiausi FAR rodikliai registruoti RID varianto laukeliuose – atitinkamai 4,2 proc. ties dirvos paviršiumi ir 14,9 % pusės augalo aukštyje, kai kukurūzų aukštis buvo 147,7 cm. Kiti išėlių variantai – K2 (tarpueilių mulčiavimas piktžolėmis), GAR (baltosios garstyčios), RAP (vasariniai rapsai) ir JUD (vasarinės judros) – demonstravo vidutines FAR reikšmes ties dirvos paviršiumi 6,6–9,3 proc., pusės augalo aukštyje – 19,8–33,8 proc., o kukurūzų aukštis svyravo nuo 143,4 iki 161,3 cm. Šie duomenys rodo, kad išėlių rūšis turėjo ryškią įtaką pasėlio apšvitai ir kukurūzų augalų aukščiui, o aukščiausi rodikliai buvo registruoti tuose laukeliuose, kuriuose buvo minimalus tarpueilių uždegimas.

2 lentelė. Išėlių poveikis FAR kukurūzų pasėliuose skirtinguose arduose ir jų vidutiniam aukščiui

Table 2. The effect of intercrops on FAR in maize cultivation and maize average height

Variantas <i>Treatments</i>	Pasėlio apšvita proc. / <i>Crop irradiation %</i>		Kukurūzų aukštis cm / <i>Height of maize cm</i>
	ties dirvos paviršiumi <i>at the soil surface</i>	½ augalo aukštyje <i>½ plant height</i>	
K1	26,0a	41,8a	170,2a
K2	6,7b	25,7bc	143,4b
GAR	9,3b	20,1cd	161,3ab
RAP	6,6b	19,8cd	148,4ab
RID	4,2b	14,9d	147,7ab
JUD	9,0b	33,8ab	149,9ab

Pastaba: K1 – tarpueilių purenimas (kontrolė 1), K2 – tarpueilių mulčiavimas piktžolėmis (kontrolė 2), GAR – įsėtos baltosios garstyčios, RAP – įsėti vasariniai rapsai, RID – įsėti aliejiniai ridikai, JUD – įsėtos vasarinės judros. Skirtinga raide pažymėti variantų vidurkiai lentelės stulpeliuose yra esminiai, $P < 0,05$.

Notes: interrow loosening, C2 – interrow cutting and mulching with weeds, white mustard, spring oilseed rape, oil-seed radish, spring Camelina. Different letters (a, b, c, ...) within columns mean significant difference between treatments at $P < 0.05$.

Chlorofilo koncentracija kukurūzų lapuose. Kukurūzų lapų chlorofilo koncentracija priklausė nuo išėlių rūšies ir vystymosi tarpsnio. Ankstyvame tarpsnyje (BBCH 19) didžiausi rodikliai buvo RID (17,7 $\mu\text{mol m}^{-2}$) ir RAP (16,8 $\mu\text{mol m}^{-2}$) laukeliuose, o žemiausi – K1 (12,4 $\mu\text{mol m}^{-2}$) ir JUD (12,5 $\mu\text{mol m}^{-2}$). Žydėjimo metu (BBCH 69) aukščiausia chlorofilo koncentracija išliko K1 varianto laukeliuose augusių kukurūzų (37,9 $\mu\text{mol m}^{-2}$), o RID, RAP ir JUD rodikliai buvo esmingai mažesni (16,0–18,5 $\mu\text{mol m}^{-2}$), GAR ir K2 – vidutiniai (24,8–25,4 $\mu\text{mol m}^{-2}$). Brandos tarpsnyje (BBCH 85) chlorofilo kiekis sumažėjo visų variantų kukurūzuose. Nežiūrint to, aukščiausi rodikliai stebėti K2 (15,2 $\mu\text{mol m}^{-2}$) ir GAR (12,5 $\mu\text{mol m}^{-2}$) laukeliuose, žemiausi – RID (7,6 $\mu\text{mol m}^{-2}$) ir JUD (9,3 $\mu\text{mol m}^{-2}$).

3 lentelė. Išėlių poveikis chlorofilo koncentracijai kukurūzų lapuose

Table 3. The effect of intercrops on chlorophyll concentration in maize leaves

Variantas / Data <i>Treatment / Time</i>	Chlorofilo koncentracija, $\mu\text{mol m}^{-2}$ <i>Concentration of chlorophyll</i>		
	06-16 BBCH 19	07-21 BBCH 69	09-25 BBCH-85
K1	12,4c	37,9a	11,5a
K2	14,0bc	24,8b	15,2a
GAR	16,8ab	25,4b	12,5a
RAP	16,8ab	17,9c	11,2a
RID	17,7a	16,0c	7,6a
JUD	12,5c	18,5c	9,3a

Pastaba: K1 – tarpueilių purenimas (kontrolė 1), K2 – tarpueilių mulčiavimas piktžolėmis (kontrolė 2), GAR – įsėtos baltosios garstyčios, RAP – įsėti vasariniai rapsai, RID – įsėti aliejiniai ridikai, JUD – įsėtos vasarinės judros. Skirtinga raide pažymėti variantų vidurkiai lentelės stulpeliuose yra esminiai, $P < 0,05$.

Notes: interrow loosening, C2 – interrow cutting and mulching with weeds, white mustard, spring oilseed rape, oil-seed radish, spring Camelina. Different letters (a, b, c, ...) within columns mean significant difference between treatments at $P < 0.05$.

Kukurūzų produktyvumo rodikliai

4 lentelės duomenys rodo, kad įsėlių auginimas esminį poveikį kukurūzų produktyvumo rodikliams. Didžiausias burbuolių skaičius nustatytas K1 (tarpueilių purenimo) ir JUD variantų laukeliuose – atitinkamai 12,0 ir 12,7 vnt. m⁻², o mažiausias – K2 varianto laukeliuose (10,0 vnt. m⁻²). Burbulių sausoji biomasė buvo esmingai didžiausia K1 ir GAR variantų laukeliuose (0,68 ir 0,65 kg m⁻²), o mažiausia – K2 (0,33 kg m⁻²). Esmingai didžiausias kukurūzų grūdų derlingumas nustatytas K1 varianto laukeliuose be konkurentų augusių kukurūzų (0,60 kg m⁻²), kuris statistiškai esmingai viršijo K2 ir RID variantų rezultatus. GAR ir RAP įsėliuose grūdų derlingumas buvo vidutinis ir nuo kontrolės K1 esmingai nesiskyrė. 1000 grūdų masė tarp tirtų variantų esmingai nesiskyrė ir svyravo nuo 125,6 iki 146,4 g.

4 lentelė. Įsėlių poveikis kukurūzų produktyvumo rodikliams

Table 4. The effect of intercrops on maize productivity parameters

Variantas <i>Treatment</i>	Burbulių skaičius m ² <i>Number of cobs</i>	Burbulių sausoji biomasė kg m ⁻² <i>Dried biomass of cobs</i>	Grūdų derlingumas kg m ⁻² <i>Yield of grain</i>	1000 grūdų masė g <i>Mass of 1000 grains</i>
K1	12,0a	0,68a	0,60a	146,4a
K2	10,0b	0,33c	0,38b	142,1a
GAR	11,3ab	0,65ab	0,54ab	134,8a
RAP	11,3ab	0,52abc	0,40ab	138,6a
RID	11,1ab	0,60ab	0,35b	125,6a
JUD	12,7a	0,44bc	0,41ab	142,2a

Pastaba: K1 – tarpueilių purenimas (kontrolė 1), K2 – tarpueilių mulčiavimas piktžolėmis (kontrolė 2), GAR – įsėtos baltosios garstyčios, RAP – įsėti vasariniai rapsai, RID – įsėti aliejiniai ridikai, JUD – įsėtos vasarinės judros. Skirtinga raide pažymėti variantų vidurkiai lentelės stulpeliuose yra esminiai, $P < 0,05$.

Notes: interrow loosening, C2 – interrow cutting and mulching with weeds, white mustard, spring oilseed rape, oil-seed radish, spring Camelina. Different letters (a, b, c,...) within columns mean significant difference between treatments at $P < 0.05$.

Išvados

- Didžiausia fotosintetiškai aktyviosios radiacijos apšvita pusėje kukurūzų augalo aukščio nustatyta kontrolėje (K1) – 41,8 proc., o mažiausia – aliejinių ridikų (RID) įsėliuose – 14,9 proc. Kukurūzų vidutinis aukštis šių variantų laukeliuose atitinkamai siekė 170,2 ir 147,7 cm.
- Didžiausia kukurūzų lapų chlorofilo koncentracija nustatyta žydėjimo metu (BBCH 69) ir K1 varianto laukeliuose – 37,9 $\mu\text{mol m}^{-2}$, o mažiausia laukeliuose su įsėtais ridikais (RID) ir rapsais (RAP), atitinkamai 16,0–17,9 $\mu\text{mol m}^{-2}$. Kukurūzų brandos tarpsnyje (BBCH 85) chlorofilo koncentracija sumažėjo iki 7,6–15,2 $\mu\text{mol m}^{-2}$ ir esmingai nesiskyrė.
- Esmingai didžiausias kukurūzų grūdų derlingumas nustatytas kontroliniuose (K1) laukeliuose – 0,60 kg m⁻², o mažiausias – laukeliuose su ridikais (RID) ir mulčiuotomis piktžolėmis (K2), atitinkamai 0,35 ir 0,38 kg m⁻². Burbulių skaičius šių variantų laukeliuose svyravo nuo 10,0 iki 12,0 vnt. m⁻².
- 1000 grūdų masė tarp tirtų variantų esmingai nesiskyrė ir svyravo nuo 125,6 iki 146,4 g, todėl kukurūzų produktyvumo skirtumus daugiausia lėmė pašėlio apšvita, burbuolių skaičius ir jų biomasė.

Literatūra

- Arora, N. K., Fatima, T., Mishra, I., Verma, M., Mishra, J., Mishra, V. (2018). Environmental sustainability: Challenges and viable solutions. *Environmental Sustainability*, 1, 309–340.
- 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.
- Chi, G., Fang, Y., Zhu, B., Guo, N., Chen, X. (2024). Intercropping with Brassica juncea L. enhances maize yield and promotes phytoremediation of cadmium-contaminated soil by changing rhizosphere properties. *Journal of Hazardous Materials*, 461, 132727.
- García-Lara, S., Serna-Saldivar, S. O. (2019). Corn history and culture. *Corn*, 1–18.
- Gasiev, V., Khokhlova, N., Mamiev, D. (2019). Biological features of formation of perennial binary grass crops. *Agronomy Research*, 17(5), 1891–1897.
- Hemathilake, D. M. K. S., Gunathilake, D. M. C. C. (2022). Agricultural productivity and food supply to meet increased demands. In: *Future Foods*. Academic Press, 539–553.
- Husaini, A. M., Sohail, M. (2023). Robotics-assisted, organic agricultural-biotechnology based environment-friendly healthy food option: Beyond the binary of GM versus organic crops. *Journal of Biotechnology*, 361, 41–48.
- Lietuvos statistikos departamentas (2024). Žemės ūkio augalų derlingumo statistika 2023. <https://osp.stat.gov.lt>

9. Sui, X., Bao, X., Xie, H., Ba, X., Yu, Y., Yang, Y., He, H., Liang, C. (2025). Contrasting seasonal effects of legume and grass cover crops as living mulch on the soil microbial community and nutrient metabolic limitations. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 380, 109374.
10. Wojciechowski, A., Seassau, C., Soerensen, L., Alletto, L., Lamichhane, J. R. (2023). Effects of cover crops on maize establishment, root mycorrhizal colonization, plant growth and grain yield depend on their botanical family: A global meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 108648.

Aušra Armanavičiūtė, Austėja Švereikaitė, Jovita Balandaitė, Rasa Kimbirauskienė, Kęstutis Romaneckas

The Development and Productivity of Brassicaceae-Intercropped Maize Cultivation

Vytautas Magnus University, Lithuania

The study was conducted in 2025 at the Experimental Station of Vytautas Magnus University Agriculture Academy (VMU AA) to evaluate the effects of Brassicaceae intercropping on maize crop irradiance conditions, leaf chlorophyll concentration, and productivity. The following treatments were investigated: inter-row cultivation (K1), inter-row mulching with weeds (K2), and intercropping of white mustard (GAR), spring oilseed rape (RAP), oilseed radish (RID), and spring Camelina (JUD) in maize inter-rows. The results showed that the highest photosynthetically active radiation (PAR) at half of the maize plant height was recorded in the K1 treatment (41.8%), while the lowest PAR was observed in the RID treatment (14.9%). Accordingly, maize plant height in these plots reached 170.2 cm and 147.7 cm, respectively. Brassicaceae intercrops significantly reduced radiation availability in the lower and middle canopy layers. The highest leaf chlorophyll concentration at the maize flowering stage (BBCH 69) was determined in the K1 treatment ($37.9 \mu\text{mol m}^{-2}$), whereas in plots with Brassicaceae intercrops it was lower, ranging from 16.0 to $25.4 \mu\text{mol m}^{-2}$. At the maturity stage (BBCH 85), chlorophyll concentration decreased to $7.6\text{--}15.2 \mu\text{mol m}^{-2}$, with no significant differences among treatments. The significantly highest maize grain yield was obtained in the K1 treatment (0.60 kg m^{-2}), while the lowest yield was recorded in the RID treatment (0.35 kg m^{-2}). The number of cobs ranged from 10.0 to 12.7 m^{-2} , and cob dry biomass varied between 0.33 and 0.68 kg m^{-2} . The 1000-grain weight did not differ significantly among treatments and ranged from 125.6 to 146.4 g.

In conclusion, Brassicaceae intercropping restricted irradiation conditions within the maize canopy, reduced leaf chlorophyll concentration during the flowering stage, and generally resulted in lower grain yield compared to the inter-row cultivation system.

Keywords: *Zea mays* L., Brassicaceae intercrops, light conditions, leaf chlorophyll concentration, productivity indicators.

Gauta 2026 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2026 m. balandžio mėn.

Aušra ARMANAVIČIŪTĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Agronomijos fakulteto Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedros studentė. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361, Akademija, Kauno r., el. paštas: ausra.armanaviciute@svdu.lt

Aušra ARMANAVIČIŪTĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Sciences, stud. Address: Studentų g. 11, LT-53361, Akademija, Kaunas r. e-mail: ausra.armanaviciute@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, dr. Address: Studentų g. 11, LT-53361, Akademija, Kaunas r. e-mail: austeja.svereikaite@vdu.lt

Jovita BALANDAITĖ. 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: jovita.balandaite@vdu.lt

Jovita BALANDAITĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Sciences, dr. Address: Studentų g. 11, LT-53361, Akademija, Kaunas r. e-mail: jovita.balandaite@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 lekt. Address: Studentų g. 11, LT-53361, Akademija, Kaunas r. e-mail: rasa.kimbirauskiene@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, prof. Address: Studentų g. 11, LT-53361, Akademija, Kaunas r. e-mail: kestutis.romaneckas@vdu.lt

DEMATIACEAE ŠEIMOS GRYBŲ PAPLITIMAS BIČIŲ ŽIEDADULKĖSE

Jolanta Sinkevičienė¹, Ieva Sinkevičiūtė²

¹Vytauto Didžiojo universitetas, ²Kauno Jono Jablonskio gimnazija

Tyrimų tikslas – ištirti *Dematiaceae* šeimos mikroskopinių grybų paplitimą bičių žiedadulkėse. Tyrimai atlikti 2024 metais. Ištirta 30 bičių surinktų žiedadulkių mėginių. Grybų išskyrimui iš bičių žiedadulkių, naudotas skiedimo metodas (ksv g⁻¹). Šviežiuose (nedžiovintuose) žiedadulkių mėginiuose išskirti 6-ioms *Dematiaceae* šeimos gentims priklausę mikroskopiniai grybai, kurie priklausė *Alternaria*, *Cladosporium*, *Drechslera*, *Stemphylium*, *Ulocladium* ir *Phialophora* gentims. Džiovintose žiedadulkėse išskirtos vyravusios *Alternaria*, *Cladosporium*, *Drechslera* ir *Ulocladium* grybų gentys. Gausiausiai *Dematiaceae* šeimos grybų bičių surinktose žiedadulkėse išskirta po vieno mėnesio sandėliavimo laikotarpio. Tyrimų laikotarpiu, visuose žiedadulkių mėginiuose dominavo *Alternaria* ir *Cladosporium* genčių grybai. Didžiausias *Alternaria* genties grybų kiekis nustatytas šviežioje (nedžiovintose) – 41,9 % ir džiovintose 36,5 % žiedadulkėse. Tyrimų metu išskirtos dominavusios *Alternaria alternata*, *Cladosporium cladosporioides* grybų rūšys.

Raktiniai žodžiai: *Alternaria*, *Cladosporium*, bičių surinktos žiedadulkės.

Įvadas

Bičių surinktos augalų žiedadulkės yra laikomos vienu labiausiai sukomplektuotu maistu gamtoje (Petrovic et al., 2014). Bičių žiedadulkės yra pristatomos kaip sveiko maisto papildas, bei dietinis produktas, nes jose gausu maistinių medžiagų – baltymų, riebalų rūgščių, angliavandenių, vitaminų, polifenolių, mineralų, fitosterolių (Hassan, 2011; Laaroussi et al., 2023).

Vienas iš svarbiausių žiedadulkių kokybės kriterijų – mikrobiologinė tarša. Bičių žiedadulkėse gausu maistinių medžiagų, kurios yra puiki terpė įvairiems mikroorganizmams augti. Mikroskopiniai grybai yra labai įvairi, gyvybinga, aktyvi, įvairiomis veiklos galiomis pasižyminti mikroorganizmų grupė, kuri geba aktyviai sintetinti ir į aplinką išskirti įvairios cheminės prigimties toksiškus metabolitus (Lugauskas, 2006). Žiedadulkių kokybė priklauso nuo aplinkos veiksnių, kurie reikšmingai įtakoja mikroorganizmų veiklą. Mikroskopiniai grybai, kurių visada gausu aplinkoje, ima vystytis, kai tik susidaro palankios drėgmės ir temperatūros sąlygos. (Petrovic et al., 2014). Jie užteršę žiedadulkes toksinais gali neigiamai įtakoti vartotojo sveikatą (Xue et al., 2014).

Gausų *Dematiaceae* šeimos grybų išplitimą aplinkoje sąlygoja pigmentas melaninas, kuris apsaugo grybus nuo daugelio nepalankių aplinkos veiksnių poveikio. Nepaisant gausaus grybų paplitimo, jie retai sukelia ligas žmonėms, tačiau dauguma sukeltų infekcijų laikomos oportunistinėmis. Dažniausiai žmonių infekcijas sukeliantys grybai priskiriami *Curvularia*, *Alternaria* gentims (Shelton et al., 2002). Daugelis *Dematiaceae* šeimos grybų yra dirvos saprotrofai, augantys ant augalinių liekanų. Dažniausiai minimos gentys yra *Bipolaris*, *Cladosporium*, *Alternaria* (Lucy et al., 2025). *Alternaria*, *Cladosporium* genčių grybai yra glaudžiai susiję su bitėmis, dažnai randami gėlių žiedadulkėse ir bičių sukaupiose žiedadulkių atsargose (Evison et al., 2018). Bičių žiedadulkėse randami *Aspergillus* ir *Alternaria* genčių grybai yra išskiriami kaip mikotoksinų gamintojai, galintys sukelti žalingą poveikį daugeliui gyvūnų rūšių, įskaitant žmones (Kostic et al., 2019). *Alternaria* genties grybai yra mikotoksinų, pasižyminčių fitotoksiniu aktyvumu, gamintojai. Kai kurios šios genties rūšys žinomos kaip gyvūnų ir žmonių patogenai (Kačaniova et al., 2011). *Alternaria* genties grybai gali išskirti mikotoksinius (tentoksina, altenuzolą, altenuziną), kurie yra pavojingi žmogaus ir gyvūnų sveikatai. Šios genties grybai gali sukelti įvairias odos alergijas, šienligę ar padidėjusio jautrumo reakcijas (Nowicki ir kt. 2012). *Cladosporium* genties grybai dažnai aptinkami sergančių žmonių kvėpavimo organuose, žinomi kaip alergijų sukėlėjai (Deveza et al., 2015).

Toksinius gaminantys grybai gali ženkliai įtakoti žiedadulkių kokybę. Dabartiniuose Europos Sąjungos teisės aktuose nėra informacijos apie leistinus mikotoksinų kiekius žiedadulkėse. Tačiau mikotoksikologiniai tyrimai taip pat turėtų būti reguliariai atliekami kaip ir mikrobiologiniai (Kostić et al., 2019).

Tyrimų tikslas – ištirti *Dematiaceae* šeimos grybų paplitimą bičių žiedadulkėse bei nustatyti vyraujančių grybų gentinę sudėtį.

Tyrimų metodika

Tyrimai atlikti 2024–2025 metais Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijoje, Agronomijos fakultete, Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedros laboratorijoje. Ištirta 30 bičių žiedadulkių mėginių, surinktų iš bityno, esančio Kauno rajone. Žiedadulkės surinktos birželio mėn. II dekada, iš skirtingų augalų. Iš avilių rinktuvų išėmus žiedadulkes, tą pačią dieną jos buvo supiltos į sterilius maišelius (po 200 g) ir iki

mikologinių analizių laikytos šaldiklyje, -15°C temperatūroje. Kita dalis žiedadulkių buvo išdžiovintos džiovintose spintoje (105°C) iki 9 % drėgnumo. Tyrimo laikotarpiu žiedadulkės buvo sandėliuotos 1–3 mėnesių laikotarpiu, $20\text{--}22^{\circ}\text{C}$ temperatūroje, esant 30 % patalpos santykinė oro drėgmei.

Siekiant nustatyti mėginio paviršiuje ir viduje esančius grybų pradus bei jų kiekį, naudotas skiedimo metodas (ksv g^{-1}) (LST ISO 6611:2004). Mikroskopiniai grybai išskirti 10 g sumaltų žiedadulkių įdėjus į 90 ml fiziologinį tirpalą (NaCl , 8,5g/l). Suspensija plakta 15 min., iš gautos suspensijos paruošta praskiedimų serija. 1 ml 10^{-1} , 10^{-2} ir 10^{-3} suspensijos paskleistos Petri lėkštelėse ant bulvių dekstrozės agarų (PDA) terpės paviršiaus. Kiekvieno mėginio analizė kartota tris kartus. Petri lėkštelės su pasėliu 5–7 paras laikytos termostate $26 \pm 2^{\circ}\text{C}$ temperatūroje. Išaugę mikroskopiniai grybai suskaičiuoti ir įvertinti kaip kolonijas formuojantys vienetai gramui bičių žiedadulkių (ksv g^{-1}). Grybų kolonijų morfologiniai požymiai vertinti makroskopiškai (kolonijos išvaizda) ir tirti šviesinės mikroskopijos metodu. Atskiros grybų kolonijos išgrynintos iki monokultūrų ir identifikuotos pagal kultūrinius ir morfologinius požymius remiantis įvairiais apibūdinimojais (Pitt et al., 2009; Samson et al., 2002).

Kolonijas sudarančių vienetų (ksv g^{-1}) skaičius 1 ml (g) produkto nustatytas: $N = \Sigma C / (n_1 + 0.1n_2) \times d$, čia: ΣC – suma kolonijų, suskaičiuotų ant visų vertinimui atrinktų lėkštelių; n_1 – skaičius pirmojo skiedinio lėkštelių, kuriose buvo suskaičiuota nuo 10 iki 300 kolonijų; n_2 – skaičius antrojo skiedinio lėkštelių, kuriose buvo suskaičiuota nuo 10 iki 300 kolonijų; d – skiedimo koeficientas, atitinkantis pirmąjį skiedinį, kurio lėkštelės buvo atrinktos kolonijoms skaičiuoti (LST ISO 6611:2004).

Tyrimų duomenų statistinė analizė atlikta naudojantis kompiuterine programa „Anova“ (Raudonius, 2017).

Rezultatai ir aptarimas

Šviežiai surinktose, nedžiovintose žiedadulkėse išskirti *Dematiaceae* šeimos grybai sudarė 56,9 % visų išskirtų grybų kiekio. Išskirti 6-ioms *Dematiaceae* gentims priklausę mikroskopiniai grybai (1 lent.). Žiedadulkių mėginiuose vyravo *Alternaria*, *Cladosporium* ir *Drechslera* genčių grybai, jų kiekiai sudarė atitinkamai 41,9 %, 7,3 % ir 3,2 %. Kitų *Dematiaceae* šeimos atstovų kiekis sudarė 4,5 % visų išskirtų grybų kiekio. Tyrimų metu išskirti kitoms gentims priklausę grybai sudarė 43,1 %, jie priklausę *Fusarium*, *Acremonium*, mielės, *Paecilomyces*, *Rhizopus*, *Trichoderma* ir *Chaetomium*, *Aspergillus* gentims.

Išdžiovintose bičių žiedadulkėse išskirti *Dematiaceae* šeimos grybai sudarė 53,6 % visų išskirtų grybų kiekio. Išskirti 4-ioms dominavusioms *Dematiaceae* gentims priklausę mikroskopiniai grybai (1 lent.). Gentinė grybų sudėtis, palyginus su nedžiovintomis (šviežiomis) žiedadulkėmis, varijavo nežymiai, gausiausiai išskirti *Alternaria* ir *Cladosporium* genčių grybai, kurie sudarė atitinkamai 36,5 % ir 5,7 %. Kitų *Dematiaceae* šeimos atstovų kiekis sudarė 11,4 % visų išskirtų *Dematiaceae* grybų kiekio. Kitoms gentims priklausę grybai – mielės, *Fusarium*, *Acremonium*, *Epiccocum*, *Trichoderma*, *Aspergillus*, sudarė 46,4 % visų išskirtų grybų kiekio.

1 lentelė. *Dematiaceae* šeimos grybų kiekiai bičių surinktose žiedadulkėse (ksv g^{-1})

Table 1. *Dematiaceae* fungi in bee pollen (cfu g^{-1})

Eksperimentas <i>Experiment</i>	<i>Dematiaceae</i> grybų kiekis bičių žiedadulkėse (ksv g^{-1}) <i>The amount of Dematiaceae fungi in bee pollen (cfu g⁻¹)</i>	Dominuojančios grybų gentys <i>Dominant fungal genera</i>
Nedžiovintos (šviežios) bičių žiedadulkės <i>Undried (fresh) bee pollen</i>	$2,4 \times 10^3$	<i>Alternaria, Cladosporium, Drechslera, Stemphylium, Ulocladium, Phialophora</i>
Džiovintos bičių žiedadulkės <i>Dried bee pollen</i>	$2,0 \times 10^3$	<i>Alternaria, Cladosporium, Drechslera, Ulocladium</i>

Pastaba ksv g^{-1} kolonijas formuojantys vienetai g bičių žiedadulkių

Note * cfu g^{-1} – colony forming units per gram of bee pollen

Tyrimų metu buvo tirtas *Dematiaceae* šeimos grybų kiekio kitimas skirtingais džiovintų žiedadulkių sandėliavimo laikotarpiais. 2 lentelėje nurodytų genčių grybų pradų gausumas skirtingais laikotarpiais tirtuose žiedadulkių mėginiuose buvo skirtingas. Po vieno mėnesio bičių žiedadulkių sandėliavimo, bendras *Dematiaceae* šeimos grybų kiekis padidėjo iki $2,2 \times 10^3 \text{ ksv g}^{-1}$. Šiuo laikotarpiu sandėliuotose žiedadulkėse dominuojančių grybų genčių tarpe ženkliai vyravo ir gausiausiai išskirtos *Alternaria*, *Cladosporium* ir *Drechslera* gentys. Tyrimo metu žiedadulkėse vyravę *Alternaria* genties grybai geba intensyviai sintetinti ir išskirti į aplinką įvairios cheminės sudėties toksiškus antrinius metabolitus. *A. alternata* į aplinką išskiria alternariolus, altertenolus, tenuazono rūgštį ($\text{C}_{10}\text{H}_{15}\text{O}_3\text{N}$), kuri turi slopinantį poveikį baltymų sintezei, vykstančiai gyvulio ląstelėje (Turner, 1983).

Po dviejų ir trijų mėnesių sandėliavimo laikotarpių bendras *Dematiaceae* šeimos grybų kiekis sumažėjo iki $2,0 \times 10^2$ ksv g^{-1} , šis kiekis stabiliai išsilaikė visą likusį tyrimų laikotarpį. Grybų kiekio sumažėjimą galėjo įtakoti drėgmės kiekio sumažėjimas žiedadulkėse ir žema aplinkos santykinė oro drėgmė sandėliavimo metu. Grybų gentinė įvairovė po 2 sandėliavimo mėnesių, lyginant su nesandėliuotomis ir 1 mėnesį sandėliuotomis bičių žiedadulkėmis, pakito – dominavo *Alternaria* ir *Cladosporium* gentys, tačiau mažiausiai išskirta *Drechslera* genties atstovų (1,9 %), nors jų buvo gausiai išskirta kontroliniame variante (3,2 %) ir po vieno mėnesio sandėliavimo (2,8 %). Po 2 mėnesių žiedadulkių sandėliavimo neišskirti *Stemphylium*, *Ulocladium*, *Phialophora* genčių grybai, priskirti prie dominavusių kontroliniuose žiedadulkių mėginiuose. Grybų gentinė sudėtis po 3 mėnesių žiedadulkių sandėliavimo, lyginant su antru sandėliavimo mėnesiu, pasikeitė nežymiai. Gausiausiai išskirti *Alternaria*, *Cladosporium* ir *Ulocladium* genčių grybai.

2 lentelė. *Dematiaceae* šeimos grybų paplitimas bičių žiedadulkėse skirtingais sandėliavimo laikotarpiais (ksv g^{-1})

Table 1. Bee pollen contamination with microscopic fungi (cfu g^{-1})

Eksperimentas <i>Experiment</i>	Džiovintų bičių žiedadulkių užterštumas (ksv g^{-1}) <i>Contamination of bee pollen (cfu g^{-1})</i>	Dominuojančios grybų gentys <i>Dominant fungal genera</i>
Nesandėliuotos <i>Control</i>	$2,0 \times 10^3$ b	<i>Alternaria, Cladosporium, Drechslera, Stemphylium, Ulocladium, Phialophora</i>
1 mėnesis <i>1 month</i>	$2,2 \times 10^3$ a	<i>Alternaria, Cladosporium, Drechslera, Ulocladium</i>
2 mėnesiai <i>2 months</i>	$2,0 \times 10^2$ c	<i>Alternaria, Cladosporium, Stemphylium</i>
3 mėnesiai <i>3 months</i>	$2,0 \times 10^2$ c	<i>Alternaria, Cladosporium, Ulocladium</i>

Pastaba. Variantų vidurkiai, pažymėti ne tomis pačiomis raidėmis (a, b, c), yra esminiai ($P < 0.05$)

Note. Means not sharing common letters are significantly different at $P < 0.05$

Kačaniova et al., (2011) atlikti tyrimai parodė, kad *Alternaria* gentis yra svarbi mikotoksinų gamintoja. Visą tyrimų laikotarpį išskirtos dominavusios *Dematiaceae* šeimos rūšys – *Alternaria alternata*, *Cladosporium cladosporioides* grybų rūšys. Kitoms gentims priklaususių grybų tarpe išskirti *Aspergillus flavus*, *Fusarium sporotrichioides*. Pastarųjų rūšių ir *A. alternata* rūšies grybai gali būti vienas ekologinių indikatorių, nurodančių pašarų kenksmingumą aplinkos gyviems objektams (Lugauskas, 2006).

Atlikti tyrimai parodė, kad nedžiovinuose ir džiovintuose bičių žiedadulkėse *Dematiaceae* šeimos grybai buvo išplitę gausiai. Žiedadulkių išdžiovinimas neapsaugo nuo *Dematiaceae* grybų taršos.

Išvados

1. Šviežiai surinktose, nedžiovinuose žiedadulkėse *Dematiaceae* šeimos grybai sudarė 56,9 %, išdžiovinuose – 53,6 % visų išskirtų grybų kiekio.
2. Bičių surinktose žiedadulkėse išskirti *Alternaria*, *Cladosporium*, *Drechslera*, *Stemphylium*, *Ulocladium*, *Phialophora* genčių grybai. Tyrimų laikotarpiu dominavo *Alternaria alternata*, *Cladosporium cladosporioides* grybų rūšys.
3. Gausiausiai *Dematiaceae* šeimos grybų bičių surinktose žiedadulkėse išskirta po vieno mėnesio sandėliavimo laikotarpio, dominavo *Alternaria*, *Cladosporium* ir *Drechslera* genčių grybai.

Literatūra

1. Devezza, M. V., Keller, K. M., Lorenzon, M. C. A., Nunes, I. M. T., Sales, E. O., Bart, O. (2015). Mycotoxicological and palynological profiles of commercial brands of dried bee pollen. *Brazilian Journal of Microbiology*, 46(4), 1171–1176.
2. Hazem, M. M. (2011). Chemical Composition and Nutritional Value of Palm Pollen Grains. *Global Journal of Biotechnology & Biochemistry*, 6(1), 1–7.
3. Kačaniova, M., Juraček, M., Chlebo, R., Knazovicka, V., Kadasi-Horakova, M., Kunova, S., Lejkova, J., Haščik, P., Mareček, J., Šimko, M. (2011). Mycobiota and mycotoxins in bee pollen collected from different areas of Slovakia. *Journal of Environmental Science and Health*, 46(7), 623–629.
4. Kostić, A. Ž., Milinčić, D. D., Petrović, T. S., Krnjaja, V. S., Stanojević, S. P., Barać, M. B., Tešić, Ž. Lj., Pešić, M. B. (2019). Mycotoxins and Mycotoxin Producing Fungi in Pollen: Review. *Toxins*, 11(64).
5. Laaroussi, H., Ferreira-Santos, P., Genisheva, Z., Bakour, M., Ousaad, D., Ghouzi, A. E., Teixeira, J. A., Lyoussi, B. (2023). Unveiling the techno-functional and bioactive properties of bee pollen as an added-value food ingredient. *Food Chemistry*, 405(B).
6. LST ISO 6611:2004. Gyvybingų mikroskopinių grybų skaičiaus nustatymas.

7. Lucy, X. Li., Hyunah, Y. (2025). *Dematiaceous* molds. *Elsevier*, 39(1), 75–92.
8. Lugauskas, A. (2006). Mikotoksinų kaupimosi maiste dėsningumai ir prevencinių saugos priemonių paieška. *Maisto chemija ir technologija*, 40(2), 16–27.
9. Nowicki, M., Nowakowska, M., Niezgoda, A., Kozik, E. (2012). *Alternaria* Black Spot of Crucifers: Symptoms, Importance of Disease, and Perspectives of Resistance Breeding. *Vegetable Crops Research Bulletin*, 76(1), 5–19.
10. Petrovic, T., Nedic, N., Paunovic, D., Rajic, J., Matovic, K., Radulovic, V., Krnjaja V. (2014). Natural mycobiota and aflatoxin B1 presence in bee pollen collected in Serbia, *Biotechnology in Animal Husbandry*, 30(4), 731–741.
11. Pitt, J. I., Hocking, A. D. (2009). *Fungi and Food Spoilage* (3rd ed.). Springer, 519 p.
12. Raudonius, S. (2017). Application of statistics in plant and crop research: important issues. *Zemdirbyste-Agriculture*, 104(4), 377–382.
13. Samson, R. A., Hoekstra, E. S., Frisvad, J. C., Filtenborg, O. (2002). *Introduction to Food-and Airborne Fungi* (6th ed.). Central Bureau of Fungal Cultures, The Netherlands, 389 p.
14. Shelton, B. G., Kirkland, K. H., Flanders, W. D. (2002). Profiles of airborne fungi in buildings and outdoor environments in the United States. *Applied Environmental microbiology*, 68(4), 1743–1753.
15. Turner, W. B., Aldrige, D. C. (1983). *Fungal Metabolites* II. London: Academic Press, 631 p.
16. Xue, XiaoFeng F., Selvaraj, N. M., Liuwei Zhao, Haimin, D. F., Liu, Y., Li, Y. (2014). Simultaneous Determination of Aflatoxins and Ochratoxin A in Bee Pollen by Low-Temperature Fat Precipitation and Immunoaffinity Column Cleanup Coupled with LC-MS/MS. *Food Analytical Methods*, 7(3), 690–96.

Jolanta Sinkevičienė¹, Ieva Sinkevičiūtė²

Prevalence of *Dematiaceae* fungi in bee pollen

¹Vytautas Magnus University, Lithuania, ²Kaunas Jonas Jablonskis high school, Lithuania

The aim of the study was to determine the prevalence of microscopic fungi of the Dematiaceae family in bee pollen. The research was conducted in 2024. 30 pollen samples collected by bees were studied. The dilution method (cfu g-1) was used to isolate fungi from bee pollen. In fresh (undried) pollen samples, microscopic fungi belonging to 6 genera of the Dematiaceae family were isolated, which belong to the genera *Alternaria*, *Cladosporium*, *Drechslera*, *Stemphylium*, *Ulocladium*, *Phialophora*. In dried pollen, the dominant genera of *Alternaria*, *Cladosporium*, *Drechslera* and *Ulocladium* were isolated. The most abundant of fungi of the Dematiaceae family were isolated in bee pollen collected after a one-month storage period. During the research period, fungi of the genera of *Alternaria* and *Cladosporium* dominated in all pollen samples. The highest amount of *Alternaria* fungi was found in fresh pollen – 41,9% and dried pollen – 36.5%. The species *Alternaria alternata*, *Cladosporium cladosporioides* were isolated during the research.

Keywords: *Alternaria*, *Cladosporium*, bee pollen.

Gauta 2026 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2026 m. balandžio mėn.

Jolanta SINKEVIČIENĖ. 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 37 752296, el. paštas: jolanta.sinkeviciene@vdu.lt

Jolanta SINKEVIČIENĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Science, assoc. prof. Address: Studentų g. 11, LT-53361, Akademija, Kauno r., tel. +370 37 752296, e-mail: jolanta.sinkeviciene@vdu.lt

Ieva SINKEVIČIŪTĖ. Kauno Jono Jablonskio gimnazija. Adresas: Aušros g. 3, LT-44173, Kaunas, el. paštas: ieva2009s@gmail.com ieva2009s@gmail.com

SĖJOS LAIKO IR SĖKLOS NORMOS ĮTAKA ŽIEMINIŲ MIEŽIŲ ŽIEMOJIMUI BEI DERLIAUS KOKYBEI

Lina Marija Butkevičienė, Rimantas Velička, Robertas Kosteckas

Vytauto Didžiojo universitetas

Klimato pokyčiai, vis ilgesni rudens laikotarpiai ir didėjanti sausrų rizika pavasarį verčia ūkininkus rinktis žiemojančius žemės ūkio augalus. Kita priežastis, kodėl paprastojo miežio (*Hordeum vulgare* L.) žieminės formos pasėlių plotai didėja, tai anksti nuimamas derlius, geras priešsėlis žieminiam rapsams. 2023–2024 m. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Bandymų stotyje, karbonatingame sekliai glėjiškame išplautžemyje (Calc(ar)i-Epihypogleyic Luvisol) atliktas sėjos laiko ir sėklos normos įtakos žieminių miežių produktyvumui eksperimentas. Buvo pasirinktos 3 sėjos datos vėlinant sėją kas 10 dienų: rugpjūčio mėn. 25 d., rugsėjo mėn. 5 d. ir 15 d. (veiksny A) ir 3 sėklos normos: 2, 3, 4 mln. ha⁻¹. Įvertinus rezultatus nustatyta, kad sėjos laiko vėlinimas jų sudėgimui, esminės įtakos neturėjo, tankumas priklausė nuo sėklos normos didinimo. Vėlinant sėją iki rugsėjo 15 d., žieminių miežių peržiemojimo procentas didėjo, sėjant 2 ir 3 mln. ha⁻¹ normomis. Padidinus sėklos normą iki 4 mln. vnt. ha⁻¹ – žieminių miežių peržiemojimas sumažėjo 7,0 proc. Sėjos vėlinimas 10 ir 20 dienų esmingai didino produktyvių stiebų skaičių, palyginus su rugpjūčio mėn. 25 d. sėja. Anksti pasėtą (rugpjūčio mėn. 25 d.) žieminių miežių sėklos normą padidinus iki 3 ir 4 mln. vnt. ha⁻¹, derlingumas reikšmingai nedidėjo. Rugsėjo mėn. 5 d. pasėtą miežių derlingumui sėklos normos didinimas esminės įtakos neturėjo. Derlingiausi miežiai buvo pasėti rugsėjo mėn. 15 d. ir sėjant 3 mln. vnt. ha⁻¹ sėklos normą. Sėjos laiko vėlinimas sėjant 2 ir 4 mln. ha⁻¹ nereikšmingai didino grūdų hektolitro masę. Baltymų kiekiui žieminių miežių grūduose esminės įtakos neturėjo nei sėjos laikas nei sėklos norma. Vėlinant sėją iki rugsėjo 15 d. grūdų krakmolingumas didėjo, o baltymų kiekis nereikšmingai mažėjo.

Raktiniai žodžiai: žiemojimas, produktyvūs stiebai, derlingumas, grūdų kokybė.

Įvadas

Šiaurės ir Vidurio Europoje kyla oro temperatūra ir didėja kritulių kiekis žiemos laikotarpiu, o vasarą atvirkščiai – kritulių kiekis mažėja. Keičiasi metiniai kritulių modeliai, pastebimas pavasario sausrų dažnėjimas (Olesen et al., 2011; Bindi, Olesen, 2011; Donmez et al., 2023). Klimato pokyčiai, vis ilgesni rudens laikotarpiai ir didėjanti sausrų rizika pavasarį verčia ūkininkus rinktis žieminės augalų formas. Paprastasis miežis (*Hordeum vulgare* L.) – javai priklausantys miglinių šeimai, vieni iš seniausiai auginamų grūdinių augalų, kurie paplitę visame pasaulyje bei yra plačiai naudojami maistui, pašarui, perdirbimui (Kant et al., 2016; Newton et al., 2011; Zhou, 2009). Laukiniai žieminiai miežiai augo Pietvakarių Azijoje Viduržemio jūros regione maždaug prieš 10000 metų ir prisitaikę augti žiemos sąlygomis. Miežių auginimo diapazonas – labai platus, platesnis nei kitų augalų rūšių. Jie auginami nuo tropikų iki aukštumos platumų, aukščiausiose dirbamose kalnų viršūnėse iki jūros pakrantės (Stockinger, 2021; Paulitz, Steffenson, 2010). Miežių veislės pagal jų žydėjimą skirstomos į du augimo tipus: vasarinius ir žiemenius. Žieminių miežių žydėjimui – reikalingas ilgalaikės žemos temperatūros poveikis (Casao et al., 2011). Oficialiosios statistikos portalo duomenimis, Lietuvoje, 2024 metais, auginta 67900 ha žieminių miežių, kurių derlingumas siekė vidutiniškai 4,30 t ha⁻¹. Dažniausiai užauginti miežiai yra naudojami maistui ir gėrimams, salyklui, pramonės produktams, pašarams. Maistiniai miežiai turi naudos sveikatai, juose gausu beta gliukano bei kitų formų tirpių maistinių skaidulų, taip pat jie turi baltymų, flavonoidų ir antocianinų (Kunze et al., 2024). Veisiant žiemenius miežius, kurie atitiktų salykliniams miežiams keliamus reikalavimus, selekciniškai kryžmino vasarinius salyklinius miežius su žieminiais, nes vasariniai turi daugiau savybių, kurios yra reikalingos salyklui bei alaus gamybai (Stockinger, 2021). Grūdų kokybiniais rodikliais įtaką daro meteorologinės sąlygos – sausra bei aukšta temperatūra grūdų augimo metu padidina baltymų kiekį (Siller et al., 2021; Stockinger, 2021). Šioms salyklinių grūdų savybėms įtakos gali turėti ne tik aplinkos sąlygos bet ir augintojo priimti agrotechniniai sprendimai. Mokslininkai iš Jungtinių Amerikos Valstijų nustatė, jog tręšiant azotinėmis trąšomis rudenį (28,0 kg ha⁻¹) ir pavasarį (trąšų normą didinant nuo 28,0 iki 73,0 kg ha⁻¹) baltymų kiekis didėjo, taip pat baltymų kiekiui įtakos turėjo sėjos laiko vėlinimas (Siller et al., 2021). Miežių grūduose krakmolai sudaro didžiausią dalį – paprastai nuo 50 iki 65 proc. sausosios medžiagos masės. Tikslus krakmolingumas priklauso nuo miežių veislės, auginimo sąlygų ir grūdų paskirties, salykliniai miežiai turi savitą krakmolo ir baltymų balansą. Didelis krakmolo kiekis yra pageidautinas gaminant spiritą ar alų, nes krakmolai fermentacijos metu virsta cukrumi, o vėliau – alkoholiu. Norint, jog miežiai atitiktų salyklinių grūdų kokybės parametrus, nustatyta, jog sėklos norma turėtų būti 2,0–3,0 mln. vnt. ha⁻¹, padidinus sėklos normą – sumažėja baltymų kiekis grūduose (McGlinch, Lindsey, 2022). Žieminiai miežiai yra naudojami ne tik žmonių mitybai ar salyklui, tačiau visame pasaulyje jie naudojami ir gyvulių šėrimui. Išsivysčiusiose šalyse apie 80 proc. užaugintų žieminių miežių yra naudojami gyvuliams šerti. Siekiant gauti didesnius žieminių miežių derlius,

svarbu pasirinkti tinkamą sėjos laiką bei tinkamą sėjos gylį, be to reikia užtikrinti, jog augalai būtų sėjami pakankamo drėgnumo dirvožemyje. Vėlinant žieminių miežių sėją – mažėja jų derlingumas, augalų aukštis ir kitos morfologinės ir fiziologinės savybės (Razzaques, Rafiquazzaman, 2006; Yagmur, Sozen, 2021). Taip pat ankstyvesnės sėjos žieminių miežių pasėliai yra labiau pažeidžiami žiemos laikotarpiu – jie greitai praranda stabilumą žemoje temperatūroje, o labiausiai, kai nėra sniego dangos (Zavalypich et al., 2021; Hakala et al., 2020).

Tyrimų metodika

Eksperimentas sėjos laiko ir sėklos normos įtaka žieminių miežių žiemojimui bei derliaus kokybei atliktas 2023–2024 m. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Bandymų stotyje. Buvo įrengtas dviejų veiksnių lauko eksperimentas žieminių miežių 'Jakubus' veislės pasėlyje. Sėjai pasirinkti trys terminai, sėja buvo vėlinama kas 10 dienų ir trys skirtingos sėklos normos.

Veiksny A – sėjos laikas: rugpjūčio mėn. 25 d., rugsėjo mėn. 5 d., rugsėjo mėn. 15 d.

Veiksny B – sėklos norma: 2 mln. ha⁻¹, 3 mln. ha⁻¹, 4 mln. ha⁻¹.

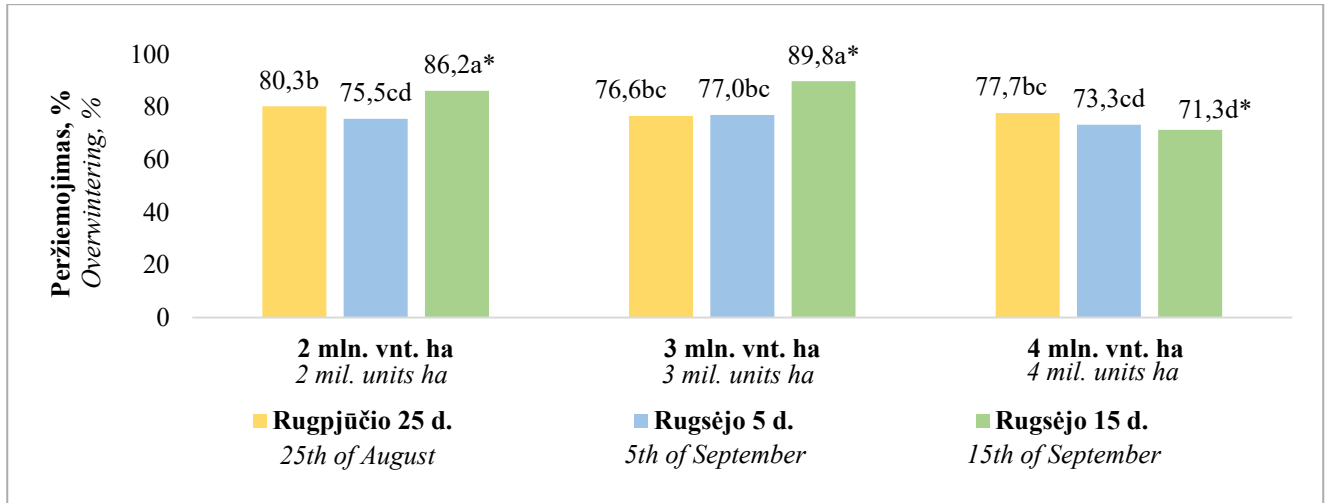
Dirvožemis IDg8-k (LVg-p-w-cc) – karbonatingas sekliai glėjiškas išplautžemis (*Calc(ar)i-Epihypogleyic Luvisol*). Dirvožemio granulimetrinė sudėtis – lengvas priemolis ant vidutinio sunkumo bei sunkaus priemolio, terpė artima neutraliai pH 6,0–6,7, didelio ir labai didelio fosforingumo vidutiniškai 285,8 mg kg⁻¹ bei didelio kalkingumo – 240,0 mg kg⁻¹, organinės anglies (C_{org}) kiekis svyravo nuo 1,11 iki 1,28 proc., suminis azotas (N_{suminis}) – nuo 0,009 iki 0,110 proc.

Žieminių miežių sudygimas buvo suskaičiuotas kiekviename laukelyje 8 vietose stacionariai įrengtose aikštelėse viename išilginiame metre ir perskaičiuotas į daigų skaičių m⁻². Produktivių stiebų skaičius nustatomas skaičiuojant augalus išilginiame metre 8-se atsitiktinai parinktose vietose ir perskaičiuotas į stiebų skaičių m⁻². Augalų sėklų derlingumas įvertintas, nuimant kombainu Wintersteiger su svėrimo ir drėgnumo nustatymo sistema. Nustatytas augalų sėklų švarumas, derlius perskaičiuotas į standartinį javų 14 %, drėgnumo ir 100 % švarumo sėklų derlingumą t ha⁻¹.

Tyrimų rezultatai įvertinti dviejų veiksnių dispersinės analizės metodu, pagal Fišerio kriterijų ir mažiausią esminį skirtumą R_{0,05} 95 proc., naudojant kompiuterinę programą ANOVA iš kompiuterinių programų paketo „Selekcija“ (Raudonius, 2017). Požymių tarpusavio ryšiai buvo įvertinti koreliacijos ir regresijos metodais, esant tikimybės lygiui ($P < 0,05$) naudojant tyrimų duomenų statistinio vertinimo programą STATISTIKA.

Rezultatai ir aptarimas

Žieminiai miežiai jautrūs temperatūrų svyravimams žiemojimo metu, jie turi išsikrūmyti iki rudens vegetacijos pabaigos. Tinkamai nepasiruošusiems žiemoti augalams didėja iššalimo rizika todėl aktualus jų sėjos laikas. Miežiai buvo pasėti trimis skirtingais terminais, vėlinant sėją kas 10 dienų. Augalai sudygo gerai ir sėjos laiko vėlinimas jų sudygimui, esminės įtakos neturėjo. Didinant žieminių miežių sėklos normą nuo 2 iki 4 mln. vnt. ha⁻¹ esmingai didėjo pasėlio tankumas, vidutiniškai 32,1 proc. palyginus su 3 mln. ha⁻¹ ir 69,5 proc. – 4 mln. ha⁻¹. Sėjos laikas bei skirtinga sėklos norma turėjo įtaką žieminių miežių peržiemojimui (1 pav.). Vėlinant sėjos laiką iki rugsėjo 15 d., žieminių miežių peržiemojimo procentas didėjo, sėjant 2 ir 3 mln. ha⁻¹ normomis, atitinkamai 86,2 proc. ir 89,8 proc. Pasėjus miežius rugsėjo mėn. 5 d. peržiemojimas esmingai nesiskyrė palyginus su sėtais 10 dienų anksčiau, nepriklausomai kokia norma buvo sėta. Vėliausiai pasėti didžiausia sėklos norma 4 mln. vnt. ha⁻¹ žieminiai miežiai peržiemojo prasčiausiai, bet esmingai nesiskyrė palyginus su sėtais 10 d. anksčiau ta pačia norma, o paankstinus sėją iki rugpjūčio mėn. 15 d. nustatytas esminis 8,2 proc. sumažėjimas. Didinant žieminių miežių sėklos normą nuo 2 iki 3 mln. vnt. ha⁻¹ ir vėlinant sėją, žieminių miežių peržiemojimas didėjo 0,4 proc., tačiau padidinus sėklos normą 4 mln. vnt. ha⁻¹ – žieminių miežių peržiemojimas sumažėjo vidutiniškai 7,0 proc. Žieminiams miežiams kyla didelė rizika peržiemoti, jei nepakankamas grūdinimosi laikotarpis iki rudens vegetacijos pabaigos, nesusidaro sniego danga bei temperatūra ilgą laiką nukrenta žemiau -15 °C (Heil et al., 2021). Moksliniai tyrimai parodė, kad sėjant optimalią sėklos normą 4 mln. žieminių miežių išgyvenamumas svyravo nuo 86,0 iki 89,9 proc., esant palankioms žiemojimo sąlygoms, reikšmingo augalų žiemojimo skirtumo tarp skirtingu laiku sėtų pasėlių nenustatyta (Yarkulova, Kadirov, 2021). Eksperimento vykdymo metu žiemojimo sąlygos buvo palankios, vyravo aukštesnės nei daugiamečiai vidurkiai oro temperatūros, bet sėjant 4 mln. vnt. ha⁻¹ sėjos vėlinimas augalų peržiemojimą veikė neigiamai.



1 pav. Sėjos laiko ir sėklos normos įtaka žieminių miežių peržiemojimui (BBCH 28-29)

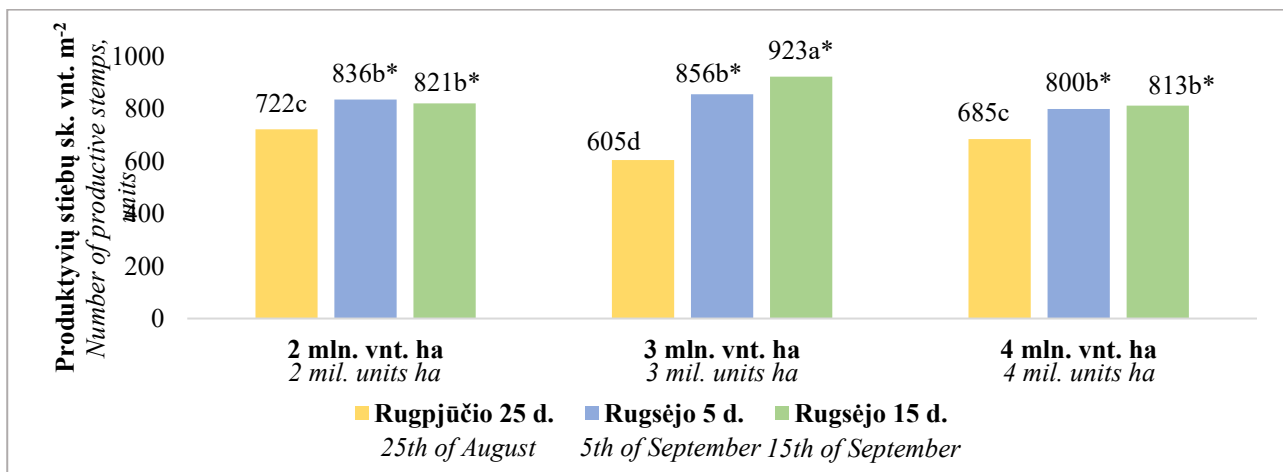
Fig. 1. The influence of sowing time and seed rate on winter barley overwintering (BBCH 28-29)

Pastaba: sėjos laiko (veiksny A) esminė įtaka pažymėta žvaigždute (*), $P < 0,05$; skirtingomis raidėmis (a, b...) pažymėti variantų vidurkiai rodo sėklos normos (veiksny B) esminę įtaką, $P < 0,05$.

Note: the significant influence of sowing time (Factor A) is marked with an asterisk (*), $P < 0.05$; The means of the variants marked with different letters (a, b...) indicate a significant influence $P < 0.05$ of the seed rate (Factor B).

Įvertinus žieminių miežių produktyvių stiebų skaičių nustatyta, kad abu veiksniai turėjo įtakos pasėlio tankumui prieš derliaus nuėmimą (2 pav.). Nustatyta, kad sėjos vėlinimas 10 ir 20 dienų turėjo teigiamą įtaką pasėlio tankumo formavimuisi. Vėlinant sėjos laiką produktyvių stiebų skaičius esmingai didėjo, palyginus su rugpjūčio mėn. 25 d. sėjos pasėlio tankumu nuo 15,8 iki 52,6 proc. Tankiausias pasėlis buvo rugsėjo mėn. 15 d. sėtame pasėlyje – 923 vnt. m^{-2} .

Sėklos normos didinimas anksčiausiai sėtame pasėlyje (rugpjūčio mėn. 25 d.), didžiausią esminę įtaką turėjo pasėjus 3 mln. ha^{-1} sėklų, pasėlio tankumas sumažėjo vidutiniškai 14,0 proc. palyginus su 2 ir 4 mln. vnt. ha^{-1} sėklos normos pasėlių tankumu. Sėklos norma esminės įtakos neturėjo pasėjus žieminius miežius rugsėjo mėn. 5 d., pasėlio tankumas buvo vidutiniškai 831 vnt. m^{-2} . Pasėjus 2 mln. ha^{-1} sėklų esmingai tankesni pasėliai susiformavo suvėlinus sėja 10 ir 20 dienų, vidutiniškai 14,8 proc. Padidinus sėklos normą iki 3 mln. ha^{-1} ir suvėlinus sėja, pasėliai tankesni buvo vidutiniškai 54,0 proc., o pasėjus 4 mln. vnt. ha^{-1} – 17,8 proc. Didžiausia sėjos vėlinimo esminė įtaka produktyvių stiebų skaičiui nustatyta pasėjus 3 mln. ha^{-1} sėklos normą.



2 pav. Sėjos laiko ir sėklos normos įtaka žieminių miežių produktyvių stiebų skaičiui (BBCH 83-85)

Fig. 2. The influence of sowing time and seed rate on the number of productive stems of winter barley (BBCH 83-85)

Pastaba: sėjos laiko (veiksny A) esminė įtaka pažymėta žvaigždute (*), $P < 0,05$; skirtingomis raidėmis (a, b...) pažymėti variantų vidurkiai rodo sėklos normos (veiksny B) esminę įtaką, $P < 0,05$.

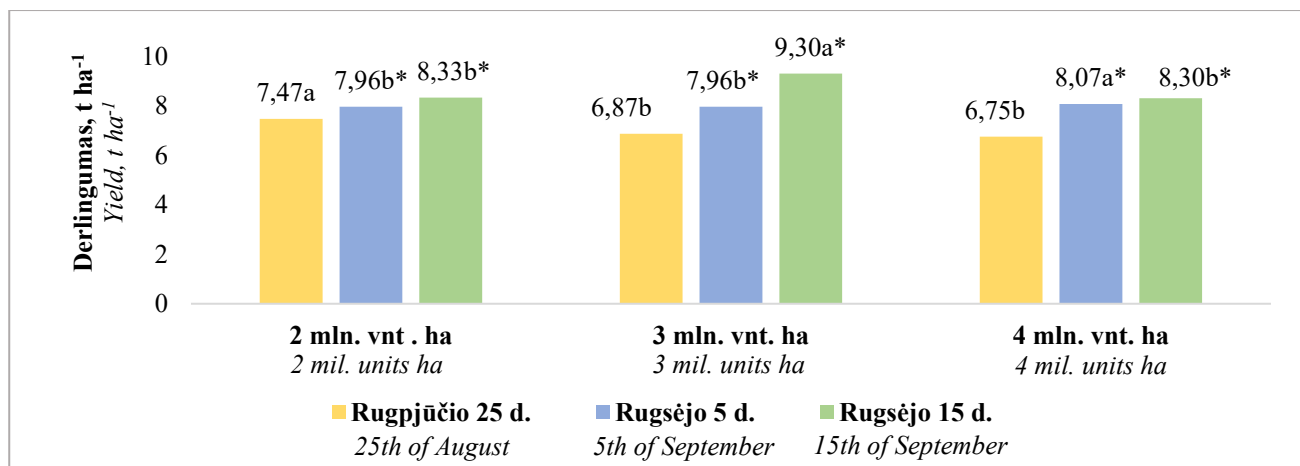
Note: the significant influence of sowing time (Factor A) is marked with an asterisk (*), $P < 0.05$; The means of the variants marked with different letters (a, b...) indicate a significant influence $P < 0.05$ of the seed rate (Factor B).

Tyrimai parodė, jog vėlinant sėjos laiką (nuo rugsėjo 1 d. iki rugsėjo 30 d., kas dešimt dienų), sumažėjo ir produktyvių stiebų skaičius, daugiausia produktyvių stiebų buvo rugsėjo 1 d. sėtame pasėlyje (Auškalnis,

2002). Mokslininkai nurodo įvairias sėklos normas nuo 1,5 iki 4,5 mln. vnt. ha⁻¹, ypač suvėlinus sėjos laiką reikėtų ją didinti iki 4 mln. vnt. ha⁻¹ (Yarkulova, Kadirov, 2021). Retame pasėlyje (2 mln. vnt. ha⁻¹), anksti pasėtų miežių, dalis krūmijimosi metu suformuotų stiebų redukovosi, nes gegužės, birželio mėn. trūko drėgmės. Rugsėjo mėn. sėjos pasėliuose produktyvių stiebų kiekis išliko stabilus. Nustatyta stipri, neigiama koreliacija tarp krūmijimosi ir produktyvių stiebų skaičiaus $y = 21,94 - 0,02 \cdot x$; $r = -0,75$; $p = 0,02$.

Žieminių miežių auginimas, sėjant skirtingu laiku ir skirtingomis sėklos normomis, turėjo įtakos jų produktyvumui (3 pav.). Miežius pasėjus skirtingomis normomis, tačiau vienodu laiku, labiausiai išsiskyrė rugsėjo mėn. 15 d. sėjos žieminių miežių produktyvumas: 2 mln. vnt. ha – 8,33 t ha⁻¹, 3 mln. vnt. ha – 9,30 t ha⁻¹, 4 mln. vnt. ha – 8,30 t ha⁻¹. Rugsėjo mėn. 25 d. sėjos miežiai esmingai derlingiausi buvo pasėjus 2 mln. vnt. ha⁻¹, palyginus su rugsėjo mėn. 5 d. 8,7 proc., o rugsėjo mėn. 15 d. – 10,7 proc. Galima teigti, kad anksti sėjant žieminius miežius neverta didinti sėklos normos. Sėklos norma žieminių miežių pasėlių produktyvumui turėjo esmingą įtaką. Produktiviausi buvo miežiai sėti 3 mln. vnt. ha⁻¹ sėklos norma sėjant rugsėjo mėn. 15 d., lyginant su 2 mln. ha⁻¹ vidutiniškai daugiau 22,6 proc., lyginant su 4 mln. vnt. ha⁻¹ – 12,0 proc. Tyrimai parodė, kad vėlinant sėjos laiką (nuo rugsėjo 20 d. iki spalio 20 d., kas dešimt dienų) ir didinant sėklos normą (nuo 4,5 mln. vnt. ha iki 6,0 mln. vnt. ha), didžiausias žieminių miežių derlingumas buvo rugsėjo 30 d., sėklos norma – 5,0 mln. vnt. ha, jų derlingumas siekė 5,52 t ha⁻¹ (Zavalypich, 2021).

Mokslininkai iš Šiaurės Karolinos (JAV), kur žiemos atšiaurios bei turi panašumo su Lietuvos klimato sąlygomis ir žieminių miežių auginimas susijęs su iššalimo rizika, pateikė išvadą, kad rugsėjo 5 d., rugsėjo 15 d. ir rugsėjo 25 d. pasėtų miežių produktyvumas esmingai nesiskyrė, tačiau pavėluota sėja pagerino peržiemojimą ir sumažino išgulimą bei lapų ligų plitimą pasėliuose (Siller et al., 2021).



3 pav. Sėjos laiko ir sėklos normos įtaka žieminių miežių derlingumui (BBCH 88-90)

Fig. 3. The influence of sowing time and seed rate on winter barley yield (BBCH 88-90)

Pastaba: sėjos laiko (veiksny A) esminė įtaka pažymėta žvaigždute (*), $P < 0,05$; skirtingomis raidėmis (a, b) pažymėti variantų vidurkiai rodo sėklos normos (veiksny B) esminę įtaką, $P < 0,05$.

Note: the significant influence of sowing time (Factor A) is marked with an asterisk (*), $P < 0,05$; The means of the variants marked with different letters (a, b) indicate a significant influence $P < 0,05$ of the seed rate (Factor B).

Serbijos mokslininkai teigia, kad intensyviausio miežių augimo laikotarpiu didžiausią įtaką grūdų kokybei ir derliui turi iškritęs kritulių kiekis bei oro temperatūra (Dekic et al., 2017). Žieminių miežių produktyvumo formavimosi metu gegužės ir balandžio mėn. temperatūros 2,0 °C viršijo daugiamečius vidurkius, bet kritulių iškrito mažiau gegužę – 36,6 mm, o birželį – 40,1 mm., ir tikėtina, kad kritulių trūkumas nulėmė jų kokybinius rodiklius (1 lentelė). Hektolitro masė yra vienas svarbiausių miežių kokybės rodiklių, rodantis grūdų stambumą ir užpildymą. Įprastai miežių hektolitro masė svyruoja nuo 60 iki 72 kg hl⁻¹. Gerai subrendusių, stambių miežių hektolitro masė siekia 68–72 kg hl⁻¹. Pavyzdžiui, salykliniai miežiai vertinami, kai ši reikšmė yra didesnė. Mūsų eksperimente miežių grūdai atitiko pašarinius miežius, jų hektolitro masė svyravo nuo 60,63 iki 62,03 kg hl⁻¹. Jei hektolitro masė yra mažesnė nei 60–62 kg hl⁻¹, grūdai laikomi smulkiais arba menkai užpildytai ir dažniausiai priskiriami pašarams. I klasės miežiams dažnai taikomas bazinis 64 kg hl⁻¹ ar aukštesnis rodiklis. Sėjos laiko vėlinimas sėjant 2 ir 4 mln. ha⁻¹ sėklų didino hektolitro masę tačiau skirtumas nereikšmingas. Įtakos šiam kokybiniam grūdų rodikliui galėjo turėti sausra grūdo pildymosi metu, kas nulėmė smulkesnius grūdus ir mažesnę hektolitro masę. Baltymų kiekiui žieminių miežių grūduose esminės įtakos neturėjo nei sėjos laikas nei sėklos norma. Miežių grūduose krakmolai sudaro nuo 50 iki 65 proc. sausosios medžiagos masės ir priklauso nuo miežių veislės, auginimo sąlygų ir grūdų paskirties. Vėlinant sėjos laiką ir didinant sėklos normą grūdų krakmolingumas kito nuo 51,13 proc. iki 58,83 proc. ir priklausė nuo baltymų kiekio.

1 lentelė. Sėjos laiko įtaka žieminių miežių grūdų kokybiniais rodikliams
Table 1. Influence of sowing time on the quality indicators of winter barley grains

Sėjos laikas / sėklos norma <i>Sowing time/ seed rate</i>		Kokybiniai rodikliai <i>Quality indicators</i>		
		Hektolitro masė, kg hl ⁻¹ <i>Hectoliter mass, kg hl⁻¹</i>	Baltymingumas, % <i>Protein content, %</i>	Krakmolingumas, % <i>Starch content, %</i>
Rugpjūčio 25 d. <i>25th of August</i>	2 mln. vnt. ha ⁻¹ <i>2 mil. units ha⁻¹</i>	60,97b	10,50a	53,00c
	3 mln. vnt. ha ⁻¹ <i>3 mil. units ha⁻¹</i>	61,23ab	10,83a	51,13d
	4 mln. vnt. ha ⁻¹ <i>4 mil. units ha⁻¹</i>	61,43ab	10,57a	54,53c
Rugsėjo 5 d. <i>5th of September</i>	2 mln. vnt. ha ⁻¹ <i>2 mil. units ha⁻¹</i>	61,77ab	10,47a	57,63a
	3 mln. vnt. ha ⁻¹ <i>3 mil. units ha⁻¹</i>	60,63ab	10,40a	57,07b
	4 mln. vnt. ha ⁻¹ <i>4 mil. units ha⁻¹</i>	61,43ab	10,07a	58,30a
Rugsėjo 15 d. <i>15th of September</i>	2 mln. vnt. ha ⁻¹ <i>2 mil. units ha⁻¹</i>	61,53ab	10,13a	58,83a
	3 mln. vnt. ha ⁻¹ <i>3 mil. units ha⁻¹</i>	61,60a	10,08a	55,83c
	4 mln. vnt. ha ⁻¹ <i>4 mil. units ha⁻¹</i>	62,03a	10,20a	58,60a

Pastaba: Sėjos laiko (veiksny A) esminę įtaką nenustatyta, $P > 0,05$; skirtingomis raidėmis (a, b, c...) pažymėti variantų vidurkiai rodo sėklos normos (veiksny B) esminę įtaką, $P < 0,05$.

Note: No significant influence of sowing time (Factor A) was found, $P > 0.05$; The means of the variants marked with different letters (a, b, c...) indicate a significant influence $P < 0.05$ of the seed rate (Factor B).

Nustatyta neigiama priklausomybė – kuo daugiau grūduose sukaupta baltymų tuo mažesnis buvo jų krakmolingumas $y = 10390,1 + 182,07 \cdot x$; $r = -0,77$; $p = 0,016$. Hektolitro masė priklausė nuo pasėlio tankumo, vėlyvesnės sėjos tankesniame pasėlyje ji nustatyta didesnė. Tarp šių rodiklių gautas stiprus, teigiamas, statistiškai patikimas priklausomumas, $y = 138,14 - 7,858 \cdot x$; $r = 0,79$; $p = 0,001$.

Baltymų kiekiui miežių grūduose įtaką daro meteorologinės sąlygos – sausra bei aukšta temperatūra – grūdų augimo metu padidina baltymų kiekį (Siller et al., 2021; Stockinger, 2021). Šioms sąlyklinių grūdų savybėms įtakos gali turėti: aplinkos sąlygos, genetinės miežių veislės savybės, derliaus nuėmimo laikas bei jo tvarkymas. Mokslininkai nurodo, norint, kad miežiai atitiktų sąlyklinių grūdų kokybės parametrus sėklos norma turėtų būti 2,0–3,0 mln. vnt. ha⁻¹, padidinus sėklos normą – sumažėja baltymų kiekis grūduose (McGlinch, Lindsey, 2022). Tokia tendencija pastebėta ir mūsų eksperimente, kad padidinus sėklos normą iki 3 ir 4 mln. vnt. ha⁻¹, baltymų grūduose sumažėjo.

Išvados

1. Sėjos laiko vėlinimas žieminių miežių sudygimui, esminės įtakos neturėjo. Didinant žieminių miežių sėklos normą nuo 2 iki 4 mln. vnt. ha⁻¹ esmingai didėjo pasėlio tankumas. Vėlinant sėjos laiką iki rugsėjo 15 d., žieminių miežių peržiemojimo procentas didėjo, sėjant 2 ir 3 mln. ha⁻¹ normomis. Didinant žieminių miežių sėklos normą nuo 2 iki 3 mln. vnt. ha⁻¹ žieminių miežių peržiemojimas didėjo 0,4 proc., tačiau padidinus sėklos normą iki 4 mln. vnt. ha⁻¹ – žieminių miežių peržiemojimas sumažėjo 7,0 proc.
2. Žieminių miežių sėjos vėlinimas 10 ir 20 dienų esmingai didino produktyvių stiebų skaičių, palyginus su rugpjūčio mėn. 25 d. sėjos pasėlio tankumu nuo 15,8 iki 52,6 proc. Sėklos norma pasėlio tankumui esminės įtakos neturėjo pasėjus žieminius miežius rugsėjo mėn. 5 d. Pasėjus 2 ir 3 mln. vnt. ha⁻¹, esmingai tankesni pasėliai susiformavo suvėlinus sėją 10 ir 20 dienų.
3. Anksti pasėtų (rugpjūčio mėn. 25 d.) žieminių miežių, padidinus sėklos normą iki 3 ir 4 mln. vnt. ha⁻¹ derlingumas nedidėjo. Rugsėjo mėn. 5 dieną pasėtų miežių derlingumui sėklos normos didinimas esminės įtakos neturėjo. Derlingiausi miežiai buvo pasėti rugsėjo mėn. 15 d. ir sėjant 3 mln. vnt. ha⁻¹ sėklos normą.
4. Sėjos laiko vėlinimas sėjant 2 ir 4 mln. ha⁻¹ sėklų nereikšmingai didino hektolitro masę. Baltymų kiekiui žieminių miežių grūduose esminės įtakos neturėjo nei sėjos laikas nei sėklos norma. Vėlinant sėjos laiką iki rugsėjo 15 d. grūdų krakmolingumas didėjo, o baltymų kiekis nereikšmingai mažėjo.

Literatūra

1. Auškalnis, A. (2002). The influence of sowing date and seed rate on winter barley development and yield. *Žemdirbystė*, 80, p. 38–49. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20033185940>
2. Bindi, M., Olesen, J. E. (2011). The Responses of Agriculture in Europe to Climate Change. *Reg. Environ. Chang.*, 11, 151–158.
3. Casao, M. C., Karsai, I., Igartua, E., Gracia, M. P., Veisz, O., Casas, A. M. (2011). Adaptation of barley to mild winters: a role for PPDH2. *Plant Biology*, 11, 1–13. <https://link.springer.com/article/10.1186/1471-2229-11-164>
4. Dekic, V., Popovic, V., Brankovic, S., Terzic, D., Duric, N. (2017). Grain yield and yield components of winter barley. *Agriculture and Forestry*, 63(1), 1–10.
5. Donmez, C., Schmidt, M., Cilek, A., Grosse, M., Paul, C., Hierold, W., Helming, K. (2023). Climate Change Impacts on Long-Term Field Experiments in Germany. *Agric. Syst.*, 205, 103578.
6. Hakala, K., Jauhiainen, L., Himanen, S. J., Rotter, R., Salo, T., Kahiluoto, H. (2012). Sensitivity of barley varieties to weather in Finland. *The Journal of Agricultural Science*, 15, 145–160.
7. Heil, K., Gerl, S., Schmidhalter, U. (2021). Sensitivity of Winter Barley Yield to Climate Variability in a Pleistocene Loess Area. *Climate*, 9(7), 112. <https://www.mdpi.com/2225-1154/9/7/112>
8. Yagmur, M., Sozen, O. (2021). Grain yield and yield components at different sowing times and sowing depths in barley (*Hordeum vulgare* L. conv. *distichon*) under rainfed conditions. *Journal of Global Innovations in Agricultural Sciences*, 9, 57–63.
9. Yarkulova, Z., Kadirov, A. (2021). Optimization of Sowing Dates and Seeding Rates with Adaptive Control of The Technology of Cultivation of Winter Barley Varieties Mavlonov. *Indian Journal of Agriculture Engineering*, 1(1), 1–3.
10. Kant, L., Amrapali, S., Babu, B. (2016). Barley. In *Genetic and genomic resources for grain cereals improvement*, 125–157. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128020005000034>
11. Kunze, K. H., Meints, B., Massaman, C., Gutierrez, L., Hayes, P. M., Smith, K. P., Sorrells, M. E. (2024). Genotype × environment interactions of organic winter naked barley for agronomic, disease, and grain quality traits. *Crop Science*, 64(2), 678–696. <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/csc.2.21195>
12. McGlinch, G. J., Lindsey, L. E. (2022). Seeding rate effect on winter malting barley yield and quality. *Agronomy Journal*, 114(5), 2936–2946. <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/agi.2.21094>
13. Oficialiosios statistikos portalas. <https://osp.stat.gov.lt/statistiniu-rodikliu-analize#/>
14. Olesen, J. E., Trnka, M., Kersebaum, K. C., Skjelvåg, A. O., Seguin, B., Peltonen-Sainio, P., Rossi, F., Kozyra, J., Micale, F. (2011). Impacts and Adaptation of European Crop Production Systems to Climate Change. *Eur. J. Agron.*, 34, 96–112.
15. Paulitz, T. C., Steffenson, B. J. (2010). Biotic Stress in Barley: Disease Problems. *Barley: production, improvement, and uses*, 12, 307.
16. Razzaque, M. A., Rafiquazzaman, S. (2006). Effect of time of sowing on the yield and yield attributes of barley under rainfed condition. *Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research*, 41(1), 113–118. [file:///C:/Users/v.tabokaite/Downloads/admin,+278-1112-1-CE%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/v.tabokaite/Downloads/admin,+278-1112-1-CE%20(2).pdf)
17. Siller, A., Darby, H., Smychkovich, A., Hashemi, M. (2021). Winter Malting Barley Growth, Yield, and Quality following Leguminous Cover Crops in the Northeast United States. *Nitrogen*, 2(4), 415–427, <https://www.mdpi.com/2504-3129/2/4/28>
18. Siller, A., Hashemi, M., Wise, C., Smychkovich, A., Darby, H. (2021). Date of Planting and Nitrogen Management for Winter Malt Barley Production in the Northeast, USA. *Agronomy*, 11(4), 797, <https://www.mdpi.com/2073-4395/11/4/797>
19. Stockinger, E. J. (2021). The breeding of winter – hardy malting barley. *Plants*, 10(7), 1415, <https://www.mdpi.com/2223-7747/10/7/1415>
20. Zavalypich, N., Cherenkov, A., Solodushko, M. (2021). Grain production of the winter barley under growing in the conditions of the climatic changes. *American Journal of Agriculture and Forestry*, 9(1), 13–19.
21. Zhou, M. X. (2009). Barley production and consumption. *Genetics and improvement of barley malt quality*, 1–17. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-01279-2_1

Lina Marija Butkevičienė, Rimantas Velička, Robertas Kosteckas**The Influence of Sowing Time and Rate on Winter Barley Overwintering and Yield Quality**

Vytautas Magnus University, Lithuania

Climate change, longer autumn periods, and the increasing risk of drought in spring are forcing farmers to choose winter crop varieties. Another reason for the increase in the area of winter barley (*Hordeum vulgare* L.) is that the harvest is early, and it is a good precrop for winter oilseed rape. In 2023–2024, an experiment was conducted at the Experimental Station of Vytautas Magnus University Agriculture Academy on (*Calc(ar)i-Epihypogleyic Luvisol*) to determine the effect of sowing time and seed rate on the productivity of winter barley. Three sowing dates were selected, with sowing delayed by 10 days: August 25, September 5, and September 15 (factor A), and three seed rates: 2 million ha⁻¹, 3 million ha⁻¹, and 4 million ha⁻¹. After evaluating the results, it was found that delaying the sowing time had no significant effect on germination, and density depended on increasing the seed rate. When sowing was delayed until September 15, the percentage of winter barley overwintering increased when sowing at rates of 2 and 3 million ha⁻¹. When the seed rate was increased to 4 million units ha⁻¹, the winter survival rate of winter barley decreased by 7.0%. Delaying sowing by 10 and 20 days significantly increased the number of productive stems compared to sowing on August 25. When the seed rate of early-sown (August 25) winter barley was increased to 3 and 4 million units ha⁻¹, the yield did not increase significantly. For barley sown on September 5, the seed rate did not affect the yield. The most productive barley was sown on September 15, with a sowing rate of 3 million seeds per ha⁻¹. Delaying the sowing time by sowing 2 and 4 million ha⁻¹ insignificantly increased the hectolitre weight of the grain. Neither the sowing time nor the seed rate had a significant effect on the protein content of winter barley grains. When the sowing date was delayed until September 15, the starch content of the grains increased, while the decrease in protein content was not significant.

Keywords: Wintering, productive stems, yield, grain quality.*Gauta 2026 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2026 m. balandžio mėn.*

Lina Marija BUTKEVIČIENĖ. 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: lina.butkeviciene@vdu.lt

Lina Marija BUTKEVIČIENĖ. 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: lina.butkeviciene@vdu.lt

Rimantas VELIČKA. 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: rimantas.velicka@vdu.lt

Rimantas VELIČKA. 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: rimantas.velicka@vdu.lt

Robertas KOSTECKAS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Agronomijos fakulteto Augalų biologijos ir maisto mokslų katedros docentas. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361, Akademija, Kauno r., el. paštas: robertas.kosteckas@vdu.lt

Robertas KOSTECKAS. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Agronomy, Department of Plant Biology and Food Sciences, assoc. prof. Address: Studentų str. 11, LT-53361, Akademija, Kaunas dist., e-mail: robertas.kosteckas@vdu.lt

SOSNOVSKIO BARŠČIŲ ALELOPATINIS POVEIKIS BALTOSIOS BALANDOS IR PAPRASTOSIOS RIETMENĖS SĖKLŲ DYGIMUI

Rita Čepulienė, Kęstutis Romanekas, Rita Pupalienė, Aušra Sinkevičienė, Zita Kriauciūnienė, Rendy Anggriawan, Jovita Balandaitė, Rasa Kimbirauskienė, Austėja Švereikaitė

Vytauto Didžiojo universitetas

Alelopatinis poveikis tampa itin svarbus agroekosistemose valdant pasėlių piktžolėtumą, nes piktžolės yra vienas iš pagrindinių veiksnių, ribojančių žemės ūkio augalų produktyvumą. Alternatyva cheminiam herbicidams gali būti alelocheminės medžiagos, kurios turi didelį potencialą įveikiant piktžolių atsparumą ir gali būti draugiškos aplinkai. Tai svarbu, nes pasėlių produktyvumo ir aplinkos tvarumo suderinimas yra šiandienos vienas iš pagrindinių žemės ūkio iššūkių. Sosnovskio barščių alelopatinių savybių tyrimas buvo atliekamas 2024–2025 metais Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Bandymų stotyje. Laboratorinio eksperimento metu buvo tirtas Sosnovskio barščių augalo antžeminės dalies skirtingų koncentracijų – 1:10, 1:50 ir 1:250, vandeninių ekstraktų alelopatinis poveikis baltosios balandos (*Chenopodium album*) ir paprastosios rietmenės (*Echinochloa crus-galli*) sėklų dygimui, daigų aukščiui ir šaknų ilgiui.

Raktiniai žodžiai: *Heracleum Sosnowskyi* Manden, *Chenopodium album*, *Echinochloa crus-galli*, alelopatija.

Įvadas

Alelopatija kaip biocheminis procesas atlieka keletą vaidmenų augalų ir aplinkos sąveikoje. Ji turi įtakos augalų bendrijų sudėčiai ir funkcionavimui, žemės ūkio praktikai. Gali reguliuoti natūralias augalų bendrijas, piktžolių valdymą, dirvožemio derlingumą ir sveikumą, pasėlių apsaugą, palengvinti invazinių rūšių valdymą, daryti įtaką biologinei įvairovei. Alelocheminiai junginiai patenka į dirvožemio sistemą ir gali būti chemiškai sulaikomi ar išsiskirti kaip lakūs junginiai (Kostina-Bednarz et al., 2023). Aplinka turi įtakos alelocheminių medžiagų judėjimui iš šaltinio augalo į tikslinius augalus, taip paveikiant alelopatinių sąveikų mastą ir intensyvumą. Alelocheminių medžiagų transportavimui ir pasiskirstymui dirvožemyje įtakos turi dirvožemio fizinės savybės, vandens dinamika ir biotinės sąveikos. Antriniai augalų metabolitai, gali sukelti sėklų dygimo sutrikimus, o kitais atvejais – skatinti dygimą, augimą ir vystymąsi (Khamare et al., 2022).

Alelopatinis poveikis tampa itin svarbus agroekosistemose valdant pasėlių piktžolėtumą, nes piktžolės yra vienas iš pagrindinių veiksnių, ribojančių žemės ūkio augalų produktyvumą. Alternatyva cheminiam herbicidams gali būti alelocheminės medžiagos, kurios turi didelį potencialą įveikiant piktžolių atsparumą ir yra aplinkai draugiškos. Tai svarbu, nes pasėlių produktyvumo ir aplinkos tvarumo suderinimas yra šiandienos vienas iš pagrindinių žemės ūkio iššūkių. Alelopatijos pritaikymas ir panaudojimas žemės ūkyje yra perspektyvi sritis, dėl kurios būtų galima sumažinti cheminių herbicidų naudojimą juos pakeičiant natūraliomis biologinėmis priemonėmis. Alelopatinių savybių turinčių augalų išskiriame antriniai metabolitai gali būti panaudojami kaip biologinės kilmės herbicidai, kurie yra tvaresni aplinkos atžvilgiu, bet efektyviai mažina piktžolių populiacijas (Scavo, Mauromicale, 2021; Aziz, et al., 2021).

Sosnovskio barštis (*Heracleum Sosnowskyi* Manden) yra viena iš pavojingiausių invazinių augalų rūšių, tačiau šio augalo audiniuose gausu fenolinių junginių, kurie laikomi pagrindiniais alelopatinį poveikį lemiančiais alelocheminiais junginiais (Synowiec, Kalemba, 2015). Šie junginiai, įskaitant furanokumarinas, lakius organinius junginius, polifenolio rūgštis ir flavonoidus, prisideda prie Sosnovskio barščių invazinio pobūdžio, slopindami aplinkinių augalų augimą ir sėklų daigumą, taip suteikdami jiems konkurencinį pranašumą įvairiose ekosistemose (Judžentienė et al., 2026). Šių augalų invazinis pobūdis ir ekologinis poveikis rodo, kad jie gali daryti konkurencinį spaudimą vietinėms augalų rūšims ne tik per tokius mechanizmus kaip efektyvus maistinių medžiagų įsisavinimas ir gausus sėklų auginimas, bet ir per į aplinką išskiriamas alelochemines medžiagas (Jakubska-Busse et al., 2013). Reikia atlikti tyrimus, kad būtų galima aiškiai nustatyti Sosnovskio barščių alelopatines savybes. Šio tyrimo objektas – Sosnovskio barščio (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) augalo antžeminė dalis, baltosios balandos (*Chenopodium album*) ir paprastosios rietmenės (*Echinochloa crus-galli*) sėklos. Tyrimo tikslas – ištirti ir palyginti Sosnovskio barščių alelopatinį poveikį piktžolių – baltosios balandos ir paprastosios rietmenės dygimui, daigų aukščiui ir sausųjų medžiagų kiekiui. Nustatyti Sosnovskio barščių augalo ir jo skirtingų morfologinių dalių žalioje biomasėje esantį fenolinių junginių kiekį.

Tyrimų metodika

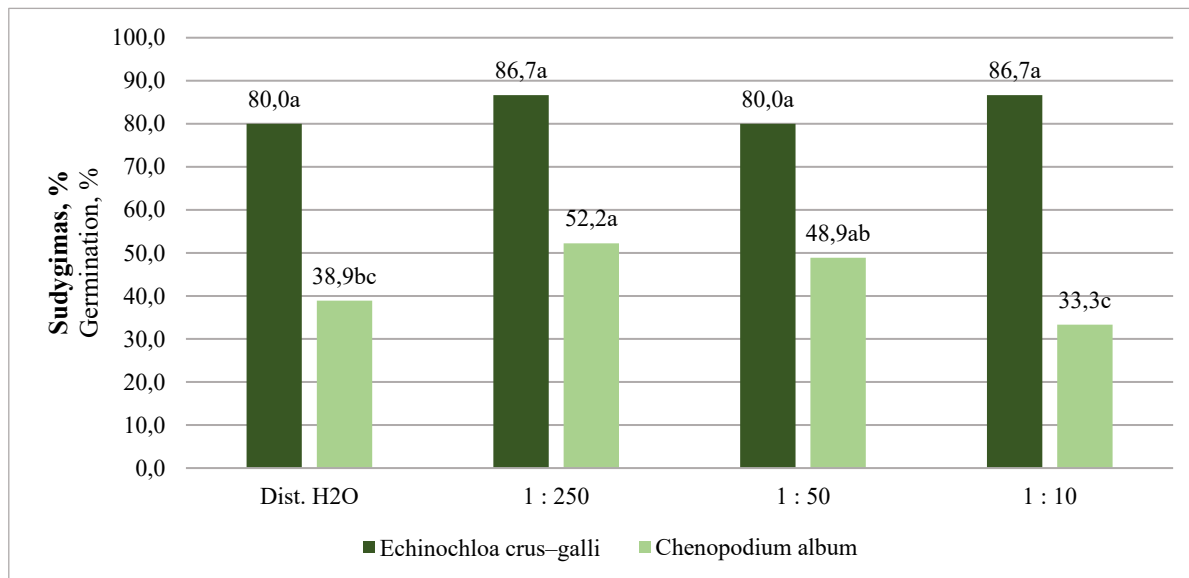
Sosnovskio barščių alelopatinių savybių tyrimas buvo atliekamas 2024–2025 metais Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Bandymų stotyje. Sosnovskio barščio augalai – jų antžeminė dalis, surinkta žydėjimo tarpsniu Žemės ūkio akademijos Pomologiniame sode. Laboratorinio eksperimento metu buvo tirtas Sosnovskio barščių augalo antžeminės dalies skirtingų koncentracijų – 1:10, 1:50 ir 1:250, vandeninių ekstraktų alelopatinis poveikis baltosios balandos (*Chenopodium album*) ir paprastosios rietmenės (*Echinochloa crus-galli*) sėklų dygimui, daigų aukščiui ir šaknų ilgiui. Gauti rodikliai buvo lyginami su rodikliais, gautais sėklas daiginant distiliuotame vandenyje (kontrolė). Ruošiant vandeninius ekstraktus, antžeminės dalies biomasė užpilama distiliuotu vandeniu (masės santykiu 1:10), laikomi 18° C temperatūroje 24 val. Gautas ekstraktas, kurio koncentracija 1:10, nufiltruojamas ir praskiedžiamas iki 1:50, 1:250 koncentracijos. Į Petri lėkšteles ant filtrinio popieriaus buvo sudėta po 30 baltosios balandos ir paprastosios rietmenės sėklų ir užpildos paruoštais ekstraktais, o kontrolinėse lėkštelėse – distiliuotu vandeniu. Petri lėkštelės sudėtos į daiginimo kamerą RUMED 1301, esant 25 °C temperatūrai ir 85 proc. drėgmei. Praėjus septynioms paroms buvo nustatytas sudygusių baltosios balandos bei paprastosios rietmenės sudygimas (daigas lygus arba ilgesnis už sėklą), išmatuotas daigų aukštis ir šaknų ilgis, bendra sudygusių sėklų biomasė ir nustatytas sausųjų medžiagų kiekis.

Fenolinių junginių kiekis Sosnovskio barščių augalų antžeminės dalies ir skirtingų morfologinių dalių žalioje biomasėje nustatomas Folin–Ciocalteu metodu pagal S. Ragae ir kt. (2006) metodiką. Šis metodas pagrįstas fenolinių junginių ir Folin–Ciocalteu reagento spalvinėmis oksidacijos redukcijos reakcijomis, susidarant mėlyniams tirpalams, bei jų šviesos absorbcijos intensyvumo spektrofotometrinio matavimo.

Rezultatai statistškai įvertinti kiekybinių požymių vieno veiksnio dispersinės analizės programa DISVEG iš programų paketo „SELEKCIJA“.

Rezultatai ir aptarimas

Sosnovskio barščių antžeminės dalies visų tirtų koncentracijų vandeniniai ekstraktai neturėjo esminės įtakos paprastosios rietmenės sėklų dygimui, nors didžiausios ir mažiausios koncentracijos ekstraktai turėjo tendenciją dygimą skatinti (1 pav.). Šiuose ekstraktuose sudygo 8,4 proc. daugiau paprastosios rietmenės sėklų nei distiliuotame vandenyje.



1 pav. Sosnovskio barščių alelopatinis poveikis baltosios balandos ir paprastosios rietmenės sėklų sudygimui

Fig. 1. Allelopathic effect of *Heracleum Sosnowskyi* Manden on *Chenopodium album* and *Echinochloa crus-galli* seeds germination

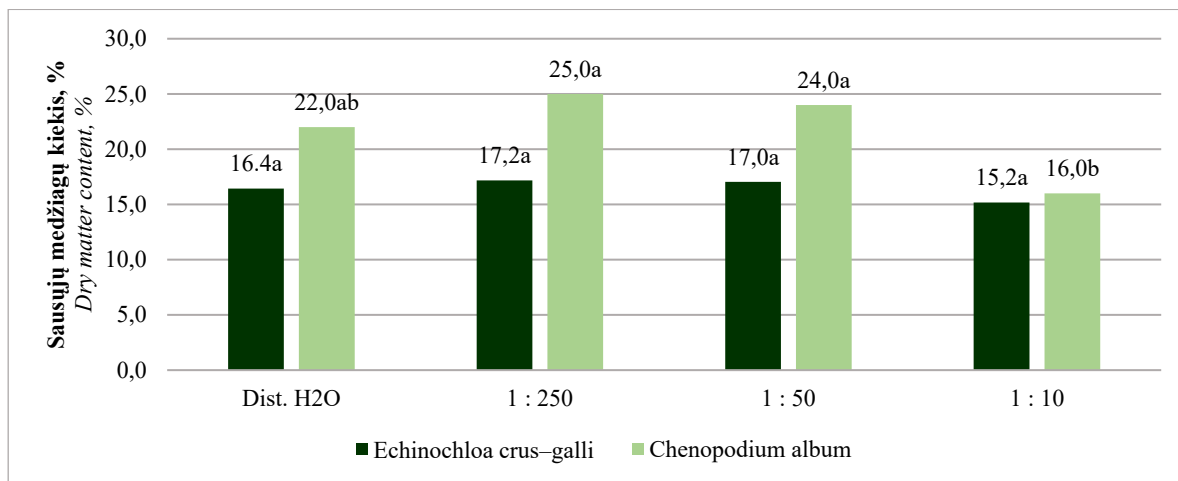
Pastaba: Dist. H₂O – distiliuotas vanduo (kontrolė), 1:250; 1:50 ir 1:10 – vandeninių ekstraktų koncentracijos. Tarp reikšmių, pažymėtų skirtingomis raidėmis (a, b...) yra esminiai skirtumai ($P < 0,05$).

Note: Dist. H₂O – distilled water (control). 1:250; 1:50 and 1:10 – concentrations of aqueous extracts. There are significant differences ($P < 0.05$) between values marked with different letters (a, b...).

Baltosios balandos sėklos reagavo į mažiausios – 1:250 koncentracijos Sosnovskio barščių ekstraktą ir jame sudygo esmingai daugiau sėklų nei distiliuotame vandenyje. Tendenciją slopinti baltosios balandos sėklų

dygimą turėjo didžiausios koncentracijos ekstraktas, o jame sudygusių sėklų kiekis buvo esmingai mažesnis už mažesnių koncentracijų ekstraktuose – 1:50 ir 1:250, sudygusių sėklų kiekį.

Sausųjų medžiagų kiekis Sosnovskio barščių skirtingų koncentracijų ekstraktuose sudygusiose paprastosios rietmenės sėklose esmingai nesiskyrė (2 pav.). Esmingai mažiau sausųjų medžiagų sukaupė didžiausios – 1:10 koncentracijos ekstrakte dygusios baltosios balandos sėklos, lyginant su sausųjų medžiagų kiekiu sėklose, dygusiose 1:50 ir 1:250 koncentracijų ekstraktuose, tačiau esmingai nesiskyrė nuo šių medžiagų kiekio balandų sėklose, daigintose distiliuotame vandenyje.



2 pav. Sosnovskio barščių alelopatinis poveikis baltosios balandos ir paprastosios rietmenės sausųjų medžiagų kiekiui sudygusiose sėklose

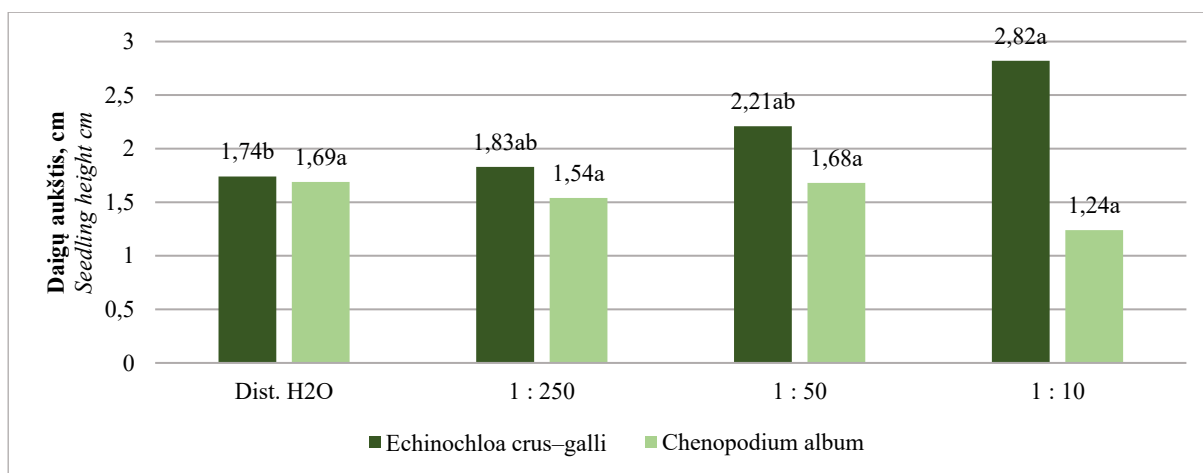
Fig. 2. Allelopathic effect of *Heracleum Sosnowskyi* Manden on dry matter content in germinated seeds of *Chenopodium album* and *Echinochloa crus-galli*

Pastaba: Dist. H₂O – distiliuotas vanduo (kontrolė), 1:250; 1:50 ir 1:10 – vandeninių ekstraktų koncentracijos. Tarp reikšmių, pažymėtų skirtingomis raidėmis (a, b...) yra esminiai skirtumai ($P < 0,05$).

Note: Dist. H₂O – distilled water (control), 1:250; 1:50 and 1:10 – concentrations of aqueous extracts. There are significant differences ($P < 0.05$) between values marked with different letters (a, b...).

Mažesnių koncentracijų ekstraktai turėjo tendenciją skatinti sausųjų medžiagų kaupimąsi dygstančiose balandų sėklose, tačiau šis poveikis nebuvo esmingas, nors 1:250 koncentracijos ekstrakte sudygusiose sėklose sausųjų medžiagų buvo 14 proc. daugiau nei sėklose sudygusiose distiliuotame vandenyje.

Sosnovskio barščių antžeminės dalies visų tirtų koncentracijų vandeniniai ekstraktai turėjo tendenciją slopinti baltosios balandos daigų augimą (3 pav.).



3 pav. Sosnovskio barščių alelopatinis poveikis baltosios balandos ir paprastosios rietmenės daigų aukščiui

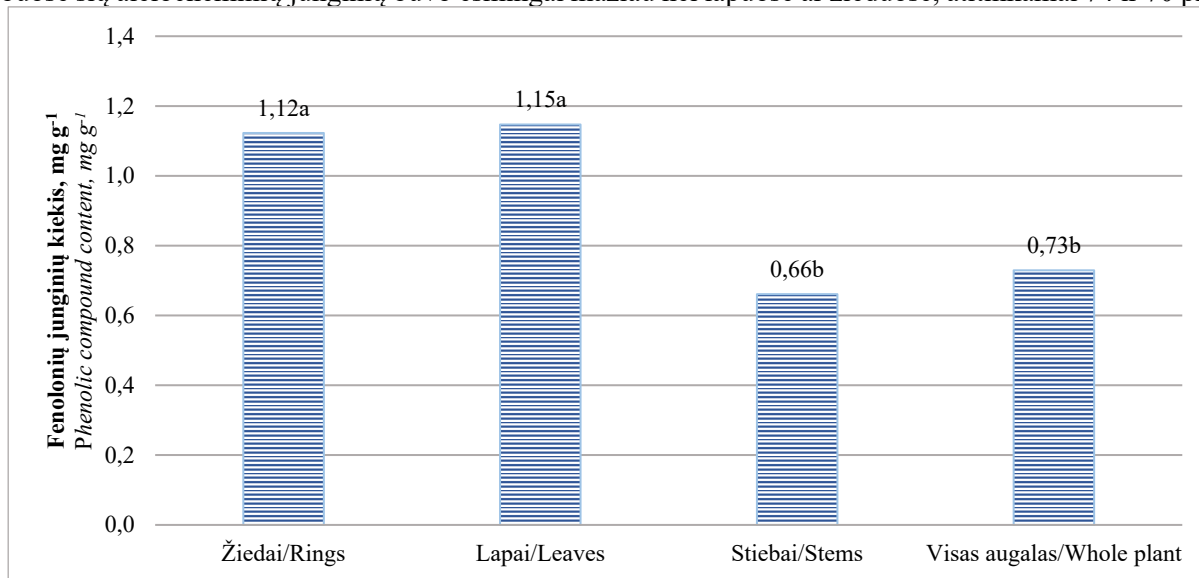
Fig. 3. Allelopathic effect of *Heracleum Sosnowskyi* Manden on the height of *Chenopodium album* and *Echinochloa crus-galli* seedlings

Pastaba: Dist. H₂O – distiliuotas vanduo (kontrolė), 1:250; 1:50 ir 1:10 – vandeninių ekstraktų koncentracijos. Tarp reikšmių, pažymėtų skirtingomis raidėmis (a, b...) yra esminiai skirtumai ($P < 0,05$).

Note: Dist. H₂O – distilled water (control), 1:250; 1:50 and 1:10 – concentrations of aqueous extracts. There are significant differences ($P < 0.05$) between values marked with different letters (a, b...).

Didžiausios koncentracijos ekstrakto dygusių balandų daigų aukštis buvo 27 proc. mažesnis nei distiliuotame vandenyje dygusių balandų, tačiau šis skirtumas nebuvo esminis. Esminį skatinamąjį alelopatinį poveikį paprastosios rietmenės daigų augimui turėjo didžiausios –1:10 koncentracijos Sosnovskio barščių ekstraktas. Jame dygusių sėklų daigai buvo esmingai ($P < 0,05$) 62 proc. aukštesni už distiliuotame vandenyje dygusių sėklų daigus. Mažesnių koncentracijų – 1:50 ir :250 ekstraktuose dygusių paprastųjų rietmenių daigai buvo atitinkamai 27 ir 5 proc. aukštesni, tačiau šis skirtumas nebuvo statistiškai patikimas.

Fenoliniai junginiai Sosnovskio barščių augaluose pasiskirsto nevienodai – vienos morfologinės dalyse jų būna daugiau, kitose mažiau. Daugiausia fenolinių junginių nustatyta šių augalų lapuose ir žieduose (4 pav.). Stiebuose šių alelocheminių junginių buvo esmingai mažiau nei lapuose ar žieduose, atitinkamai 74 ir 70 proc.



4 pav. Fenolinių junginių kiekis Sosnovskio barščių augalo ir skirtingų morfologinių dalių žalioje biomasėje

Fig. 4. Content of phenolic compound in the green biomass of Sosnovsky's hogweed plant and different morphological parts

Pastaba: Tarp reikšmių, pažymėtų skirtingomis raidėmis (a, b...) yra esminiai skirtumai ($P < 0,05$).

Note: There are significant differences ($P < 0.05$) between values marked with different letters (a, b...).

Tai patvirtina ir kiti mokslininkai, tyrę Sosnovskio barščiuose esančius fenolinius junginius. Baležentienė ir Bartkevičius (2014) teigia, kad *Heracleum sosnowskyi* augalo atskirose morfologinėse dalyse kaupiasi skirtingi fenolinių junginių kiekiai ir daugiausiai jų nustatyta lapuose ir žieduose.

Sosnovskio barščių augalų visos antžeminės dalies žalioje biomasėje fenolinių junginių kiekis buvo esmingai ($P < 0,05$) mažesnis nei žieduose ar lapuose ir čia jų buvo atitinkamai 53 ir 58 proc. daugiau nei viso augalo biomasėje.

Išvados

1. Sosnovskio barščių vandeniniai ekstraktai neturėjo įtakos paprastosios rietmenės sėklų dygimui nei sausųjų medžiagų kaupimuisi, tačiau 1:10 koncentracijos ekstraktas esmingai ($P < 0,05$) paskatino paprastosios rietmenės daigų augimą.
2. Sosnovskio barščių mažiausios koncentracijos – 1:250 ekstraktas turėjo statistiškai patikimą skatinamąjį alelopatinį poveikį baltosios balandos sėklų dygimui, o didžiausios koncentracijos ekstraktas turėjo tendenciją slopinti dygimą ir sausųjų medžiagų kaupimąsi.
3. Daugiausiai fenolinių junginių kaupiasi Sosnovskio barščių žieduose ir lapuose. Šiose morfologinėse dalyse jų buvo atitinkamai 53 ir 58 proc. daugiau ($P < 0,05$) nei visoje augalų antžeminėje biomasėje.

Literatūra

1. Aziz, M. M., Rahman, A., Rahman, M. M., Hossain, M. M., Islam, M. S. (2021). Plant allelopathy in agriculture and its environmental and functional mechanisms: A review. *International Journal of Food Science and Agriculture*, 5(4).
2. Baležentienė, L., Bartkevičius, E. (2014). Accumulation and phytotoxicity of secondary metabolites in invasive *Heracleum sosnowskyi* Manden. *Ekologija*, 60(1).

3. Jakubska-Busse, A., Śliwiński, M., & Kobyłka, M. (2013). Identification of bioactive components of essential oils in *Heracleum sosnowskyi* and *Heracleum mantegazzianum* (Apiaceae). *Archives of Biological Sciences*, 65(3), 877–883.
4. Judžentienė, A., Kundrotaitė, A., Charkova, T., Nedveckytė, I. (2026). Phytochemistry and allelopathic properties of invasive *Heracleum Sosnowskyi* aqueous extracts against lettuce (*Lactuca sativa* L.), perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.), timothy (*Phleum pratense* L.) and white clover (*Trifolium repens* L.). *Plants*, 15(3), 346.
5. Khamare, Y., Chen, J., Marble, S. C. (2022). Allelopathy and its application as a weed management tool: A review. *Frontiers in Plant Science*, 13, article 1034649.
6. Kostina-Bednarz, M., Płonka, J., Barchanska, H. (2023). Allelopathy as a source of bioherbicides: challenges and prospects for sustainable agriculture. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 22(2), 471–504.
7. Ragae, S., Abdel-Aal, E.-S. M., Noaman, M. 2006. Antioxidant activity and nutrient composition of selected cereals for food use. *Food Chemistry*, vol. 98(1), 32–38.
8. Scavo, A., Mauromicale, G. (2021). Crop allelopathy for sustainable weed management in agroecosystems: Knowing the present with a view to the future. *Agronomy*, 11(11), 2104.
9. Synowiec, A., Kalembe, D. (2015). Composition and herbicidal effect of *Heracleum sosnowskyi* essential oil. *Open life sciences*, 10(1).

Rita Čepulienė, Kęstutis Romaneckas, Rita Pupalienė, Aušra Sinkevičienė, Zita Kriaučiūnienė, Rendy Anggriawan, Jovita Balandaitė, Rasa Kimbirauskienė, Austėja Švereikaitė

Allelopathic Effect of *Heracleum Sosnowskyi* Manden on Germination Seeds of *Chenopodium album* and *Echinochloa crus-galli*

Vytautas Magnus University, Lithuania

Allelochemicals could be an alternative to chemical herbicides, as they have great potential for overcoming weed resistance and are environmentally friendly. This is important because achieving a balance between crop productivity and environmental sustainability is one of the main challenges facing agriculture today. A study investigating the allelopathic properties of Sosnovsky's hogweed was conducted at the Vytautas Magnus University Agricultural Academy Experimental Station in 2024–2025. The allelopathic effect of different concentrations of aqueous extracts of the above-ground parts of Sosnovsky's hogweed (1:10, 1:50 and 1:250) on the germination of *Chenopodium album* and *Echinochloa crus-galli* seeds, as well as on seedling height and root length, was investigated during the laboratory experiment. The phenolic compound content was determined in the above-ground parts of Sosnovsky's hogweed, as well as in its separate morphological parts: flowers, leaves and stems. The highest concentration of phenolic compounds was found to be accumulated in the flowers and leaves. There were 53% and 58% more phenolic compounds ($P < 0.05$) than in the whole above-ground biomass of the plants. The 1:250 concentration of Sosnovsky's hogweed extract had a statistically significant stimulatory allelopathic effect on the germination of *Chenopodium album*, whereas the 1:10 concentration tended to inhibit germination and dry matter accumulation.

Keywords: *Heracleum Sosnowskyi* Manden, *Chenopodium album*, *Echinochloa crus-galli*, allelopathy.

Gauta 2026 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2026 m. balandžio mėn.

Rita ČEPULIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Agronomijos fakulteto Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedros asistentė. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361, Akademija, Kauno r., tel. +370 37 752317, el. paštas: rita.cepulienė@vdu.lt

Rita ČEPULIENĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Sciences, asistant. Address: Studentu str. 11, LT-53361 Akademija, Kaunas r. Phone: +370 37 752317, e-mail: rita.cepulienė@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., tel.: +370 37 752317, el. paštas: kestutis.romaneckas@vdu.lt

Kęstutis ROMANECKAS. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Sciences, professor. Address: Studentu str. 11, LT-53361 Akademija, Kaunas r. Phone: +370 37 752 317, e-mail: kestutis.romaneckas @vdu.lt

Rita PUPALIENĖ. 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 52 317, el. paštas: rita.pupalienė@vdu.lt

Rita PUPALIENĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Sciences assoc. professor. Address: Studentu str. 11, LT-53361 Akademija, Kaunas r. Phone: +370 37 752317, e-mail: rita.pupalienė@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., tel. +370 37 752 317, el. paštas: ausra.sinkeviciene@vdu.lt

Aušra SINKEVIČIENĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Sciences assoc. professor. Address: Studentu str. 11, LT-53361 Akademija, Kaunas r. Phone: +370 37 752317, e-mail: ausra.sinkeviciene@vdu.lt

Zita KRIAUCIŪNIENĖ. 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 37 752 317, el. paštas: zita.kriauciuniene@vdu.lt

Zita KRIAUCIŪNIENĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Sciences, professor. Address: Studentu str. 11, LT-53361 Akademija, Kaunas r. Phone: +370 37 752317, e-mail: zita.kriauciuniene@vdu.lt

Rendy ANGGRIAWAN. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Agronomijos fakulteto Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedros doktorantas. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361, Akademija, Kauno r., tel. +370 37 752317, el. paštas: rendy.anggriawan@vdu.lt

Rendy ANGGRIAWAN. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Sciences PHD student. Address: Studentu str. 11, LT-53361 Akademija, Kaunas r. tel. +370 37 752317, e-mail: rendy.anggriawan@vdu.lt

Jovita BALANDAITĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Agronomijos fakulteto Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedros lektorė. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361, Akademija, Kauno r., tel. +370 377 52 317, el. paštas: jovita.balandaite@vdu.lt

Jovita BALANDAITĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Sciences lecture. Address: Studentu str. 11, LT-53361 Akademija, Kaunas r. Phone: +370 37 752 317, e-mail: jovita.balandaite@vdu.lt

Rasa KIMBIRAUŠKIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Agronomijos fakulteto Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedros asistentė. Adresas: Studentų g. 11a, LT-53361, Akademija, Kauno r., tel. +370 37 752 317, el. paštas: rasa.kimbirauskiene@vdu.lt

Rasa KIMBIRAUŠKIENĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Sciences, asistant. Address: Studentu str. 11, LT-53361 Akademija, Kaunas r. Phone: +370 37 752317, e-mail: rasa.kimbirauskiene@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., tel.: +370 37 752317, 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: Studentu str. 11, LT-53361 Akademija, Kaunas r. Phone: +370 37 752317, e-mail: austeja.svereikaite@vdu.lt

RUDENINIO PURŠKIMO POVEIKIS ŽIEMINIŲ KVIEČIŲ PASĖLIUI

Lukas Juozaitis¹, Darija Jodaugienė¹, Gabrielė Pšibišauskienė², Ona Auškalnienė³,
Edita Mažuolytė-Miškinė¹, Marija Fausta Rimkevičiūtė¹

¹Vytauto Didžiojo universitetas, ²AB „Linas Agro“, ³LAMMC Žemdirbystės institutas

Pastaraisiais metais plačiai taikomas minimalus žemės dirbimas prisideda prie didėjančio piktžolių plitimo ir skatina ieškoti efektyvesnių piktžolių kontrolės priemonių. Pavasarinis žieminių kviečių pasėlių purškimas dažnai atliekamas jau išsivysčiusių piktžolių tarpsniuose, todėl neretai pastebimas ryškus efektyvumo sumažėjimas. Dėl šių priežasčių vis daugiau dėmesio skiriama rudeninei piktžolių kontrolei, kai piktžolės yra ankstyvuose vystymosi tarpsniuose ir yra jautresnės herbicidų poveikiui. Tuo tikslu 2024–2025 m. Raseinių rajone, Girkalnio kaime buvo įrengtas lauko eksperimentas, taikant aštuonis skirtingus herbicidų derinius. Purškimas rudenį atliktas žieminių kviečių augimo tarpsnyje BBCH 11. Rudeninis purškimas herbicidais mažina piktžolių biomasę. Piktžolių sausųjų medžiagų masė DHP3 ir DPC variantų laukeliuose nustatyta 2,0 kartus mažesnė nei nepurkštuose. Naudojant herbicidus esmingai (10–12 %) didėjo žieminių kviečių derlingumas. Visi tirti herbicidų veikliųjų medžiagų deriniai užtikrino derliaus priedą, efektyviausiai veikė veikliųjų medžiagų mišiniai.

Raktiniai žodžiai: piktžolės, herbicidai, rudeninis purškimas, žieminiai kviečiai.

Įvadas

Žemės ūkio sektorius vis dažniau susiduria su augalų apsaugos produktų efektyvumo mažėjimu, kurį lemia besikeičiančios klimato sąlygos bei intensyvus herbicidų naudojimas, skatinantis piktžolių atsparumo plitimą (Heap, 2023). Piktžolės mažina pasėlių derlingumą, konkuruoja su žemės ūkio augalais dėl maisto medžiagų ir vandens, apsunkina pasėlių priežiūrą bei didina gamybos kaštus (Gaba et al., 2014).

Plintant tvarios žemdirbystės principams, vis daugiau dėmesio skiriama efektyvesniems ir aplinkai palankesniems piktžolių kontrolės metodams, leidžiantiems mažinti cheminių medžiagų naudojimą išlaikant aukštą pasėlių produktyvumą (Sharma et al., 2021). Viena iš pagrindinių problemų žieminių kviečių pasėliuose yra piktžolių išplitimas rudenį, kurį skatina šiltėjantis klimatas ir netolygus kritulių pasiskirstymas (Lamichhane et al., 2017). Ankstyvas piktžolių sudygimas ir jų peržiemojimas sudaro prielaidas intensyviai konkurencijai pavasarį – vegetacijos pradžioje.

Tyrimai rodo, kad rudeninė piktžolių kontrolė gali sumažinti herbicidų naudojimo intensyvumą pavasarį bei užtikrinti efektyvesnę augalų apsaugą. Ankstyvas purškimas leidžia naikinti jaunas, mažiau atsparias piktžoles ir riboti jų plitimą pavasario laikotarpiu (Harker, O'Donovan, 2013; Pavlov et al., 2021). Kontroliuoti piktžoles žieminiuose kviečiuose rudenį tampa vis svarbiau, nes daug probleminių vienaskilčių piktžolių sudygsta iš rudens ir peržiemoja, todėl pavasarį jos pasėlyje būna jau išsivysčiusios, konkurencingos ir dažnai sunkiau kontroliuojamos piktžolės. Dėl plačiai paplitusio atsparumo ALS ir ACC inhibitoriams Europoje, vis daugiau dėmesio skiriama dirvinio veikimo herbicidams, taikomiems prieš sudygimą arba labai ankstyvame sudygimo tarpsnyje (Gerhards et al., 2022). Taip pat svarbu paminėti, kad rudenį naudojamų herbicidų sėkmė labai priklauso nuo meteorologinių sąlygų. Prieš augalų sudygimą iškritus gausiems krituliams arba esant žemoms temperatūroms ankstyvuose augalų dygimo tarpsniuose, naudojami herbicidai gali padidinti pasėlio pažeidimo riziką ir sumažinti piktžolių kontrolės efektyvumą, todėl purškimo laikas ir sąlygos turi būti vertinami labai atsakingai (Gitsopoulos et al., 2024). Herbicidų mišinių naudojimas rudenį yra vienas svarbiausių būdų padidinti kontrolės patikimumą ir išplėsti kontroliuojamų piktžolių spektrą, nes viena veiklioji medžiaga dažnai nepajėgia stabiliai kontroliuoti tiek vienaskilčių, tiek dviskilčių piktžolių, ypač esant atsparioms populiacijoms. Tyrimai su peliniu pašiaušėliu (*Alopecurus myosuroides* L.) parodė, kad kai kuriose populiacijose gali būti stebimas sumažėjęs flufenaceto efektyvumas dėl sustiprėjusio metabolizmo, tačiau flufenaceto naudojimas mišiniuose su diflufenikanu reikšmingai pagerina kontrolę mažiau jautriose populiacijose, palyginti vien tik su flufenacetu (Dücker et al., 2019).

Siekiant sumažinti herbicidų poveikį aplinkai ir kartu efektyviau valdyti herbicidams atsparių piktžolių plitimą, pabrėžiama integruotos piktžolių kontrolės svarba. Remiamasi tuo, kad vien tik cheminė kontrolė, ypač taikant tas pačias veikliąsias medžiagas ir veikimo mechanizmus, kelia riziką dėl piktžolių pokyčių ir aplinkosauginės žalos. Atlikus mokslinius tyrimus pabrėžiama, kad nuolatinis tos pačios grupės herbicidų naudojimas siejamas su atsparumo formavimusi ir aplinkosauginėmis problemomis (Sunil et al., 2020). Taikant integruotą piktžolių kontrolę akcentuojama, kad atsparių piktžolių valdymas turi būti paremtas kelių mechanizmų derinimu, nes būtent integracija padeda mažinti priklausomybę nuo vienos priemonės ir pagerinti kontrolės efektyvumą (McCurdy et al., 2023).

Tyrimo tikslas – nustatyti rudeninio purškimo herbicidais poveikį žieminių kviečių piktžolėtumui ir derlingumui.

Tyrimų metodika

Rudeninio purškimo poveikiui žieminių kviečių piktžolėtumui ir pasėlio derlingumui įvertinti 2024–2025 m. Raseinių rajone, Girkalnio kaime buvo įrengtas lauko eksperimentas, taikant aštuonis skirtingus herbicidų derinius. Eksperimento pasėlyje taikytas neariminis žemės dirbimas, prieš žieminių kviečių sėją laukas skustas 10 cm gyliu noraginiu skutikliu. Po žieminių kviečių sėjos, žieminių kviečių augimo tarpsnyje BBCH 11, buvo atliktas purškimas herbicidais. Eksperimente naudotų herbicidų variantai: 1. Nepurkšta (NE); 2. Diflufenikanas 24,5 g ha⁻¹ + haloksifenmetilas 2,3 g ha⁻¹ + prosulfokarbas 1167,0 g ha⁻¹ (DHP1, mažesnė norma); 3. Diflufenikanas 28,0 g ha⁻¹ + haloksifenmetilas 2,6 g ha⁻¹ + prosulfokarbas 1334,0 g ha⁻¹ (DHP2, vidutinė norma); 4. Diflufenikanas 35,0 g ha⁻¹ + haloksifenmetilas 3,3 g ha⁻¹ + prosulfokarbas 1667,5 g ha⁻¹ (DHP3, didesnė norma); 5. Aklonifenas 175,0 g ha⁻¹ + diflufenikanas 35,0 g ha⁻¹ + prosulfokarbas 1200,0 g ha⁻¹ (ADP); 6. Diflufenikanas 60,0 g ha⁻¹ + pendimentalinas 450,0 g ha⁻¹ + chlorotoluronas 375,0 g ha⁻¹ + prosulfokarbas 800,0 g ha⁻¹ (DPC); 7. Prosulfokarbas 1600,0 g ha⁻¹ + diflufenikanas 100,0 g ha⁻¹ (PD); 8. Etofumezatas 187,7 g ha⁻¹ (E). Variantai išdėstyti randomizuotai, eksperimentas atliktas keturiais pakartojimais.

Atsinaujinus žieminių kviečių vegetacijai pavasarį (BBCH 23) pasėlis tręštas amonio salietra 200 kg ha⁻¹, bamblėjimo tarpsnio pradžioje (BBCH 30) – amonio sulfatu 100 kg ha⁻¹. Paskutinis tręšimas amonio salietra atliktas bamblėjimo tarpsniu (BBCH 32) 200 kg ha⁻¹. Išplitus kenkėjams ir ligoms insekticidai ir fungicidai naudoti pagal poreikį.

Žieminių kviečių piktžolėtumas, produktyvių stiebų kiekis ir derlingumas buvo nustatytas kiekviename eksperimento laukelyje, paimant ėminius keturiose vietose ir sudarant jungtinį mėginį iš 1 m² ploto. Piktžolės buvo išrautos, išdžiovintos, nustatyta rūšinė sudėtis ir pasvertos. Subrendusios žieminių kviečių varpos buvo nupjautos, suskaičiuotos ir iškultos VDU ŽŪA Bandymų stotyje, naudojant stacionarų kūlimo aparatą Wintersteiger LD350. Gauta grūdų masė buvo pasverta ir perskaičiuota į derlingumą t ha⁻¹.

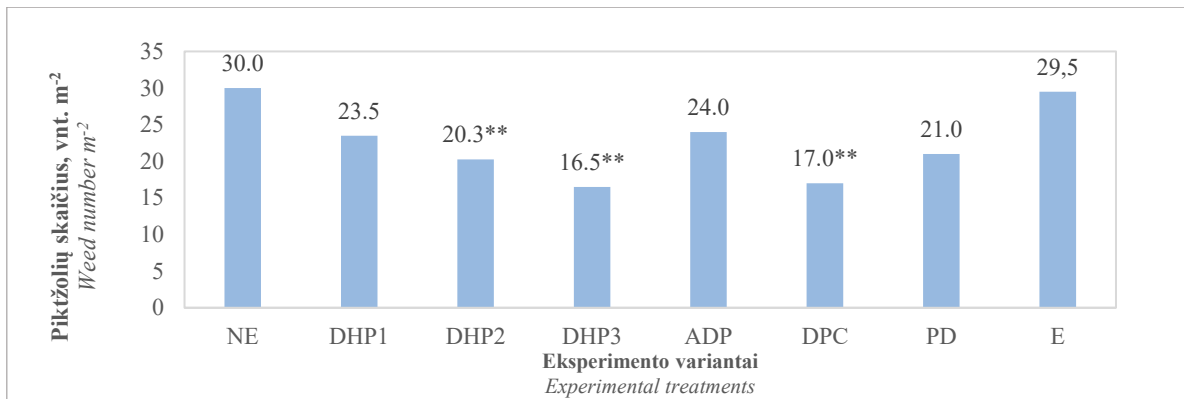
Tyrimų duomenys įvertinti, taikant vieno veiksnio dispersinę analizę. Esminiams skirtumams nustatyti taikytas LSD testas.

Rezultatai ir aptarimas

Piktžolių skaičius žieminių kviečių pasėlyje prieš derliaus nuėmimą svyravo nuo 16,5 iki 30,0 vnt. m⁻² (1 pav.). Didžiausias piktžolių kiekis nustatytas eksperimento laukeliuose, kuriuose nebuvo naudoti herbicidai (NE) – 30,0 vnt. m⁻².

Labai panašus kiekis buvo nustatytas laukeliuose, kurie rudenį buvo purkšti etofumezatu 187,7 g ha⁻¹ (E) – 29,5 vnt. m⁻². Tai rodo, kad šiuose laukeliuose piktžolių slopinimas buvo minimalus ir labai artimas kontrolei. Kiek mažesnis piktžolių skaičius nustatytas laukeliuose purkštuose ADP mišiniu – 24,0 vnt. m⁻², mažiausia DHP1 mišinio norma – 23,5 vnt. m⁻² ir PD mišiniu – 21,0 vnt. m⁻², lyginant su nepurkštais laukeliais, tačiau šie skirtumai nebuvo esminiai. Didinant diflufenikano + haloksifenmetilo + prosulfokarbo mišinio normą efektyvumas gerėjo. Didžiausias statistškai reikšmingas piktžolėtumo sumažėjimas nustatytas DHP2 – 20,3 vnt. m⁻², DHP3 – 16,5 vnt. m⁻² variantų laukeliuose ir laukeliuose purkštuose DPC mišiniu – 17,0 vnt. m⁻². Lyginant su nepurkštais (kontrole), šiuose laukeliuose piktžolių skaičius sumažėjo, atitinkamai 45,0 % (DHP3) ir 43,3 % (DPC), todėl galima teigti, kad šie mišiniai užtikrino didžiausią piktžolių skaičiaus sumažėjimą ir statistškai patikimiausią kontrolės efektą. Mokslininkų tyrimuose, atliktuose Vokietijoje, nagrinėjant piktžolių dinamiką žieminiuose pasėliuose, piktžolių gausa eksperimente buvo nustatyta panaši ir siekė 14,0 augalų m⁻² (Zeller et al., 2018).

Atlikus eksperimentą nustatyta, kad rudeninis purškimas įvairiais herbicidų deriniais nevienodai veikė ir piktžolių sausųjų medžiagų masę žieminių kviečių pasėlyje. Prieš žieminių kviečių derliaus nuėmimą piktžolių sausųjų medžiagų masė svyravo nuo 14,5 iki 32,0 g m⁻² (2 pav.). Mažiausias piktžolėtumas ir didžiausias herbicidų efektyvumas nustatytas purškiant DHP3 (14,5 g m⁻²) ir DPC (15,0 g m⁻²) mišinius, kurie esmingai skyrėsi nuo kitų naudotų herbicidų derinių.

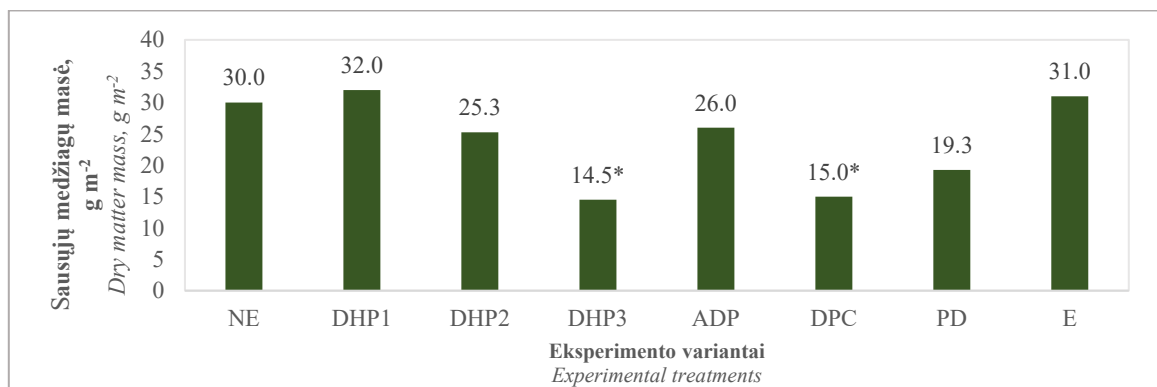


1 pav. Rudeninio herbicidų derinių purškimo poveikis piktžolių skaičiui žieminių kviečių pasėlyje

Fig. 1. Effect of autumn herbicide application on weed infestation of winter wheat

Pastaba: NE – nepurkšta; DHP1 – diflufenikanas 24,5 g ha⁻¹ + haloksifenmetilas 2,3 g ha⁻¹ + prosulfokarbas 1167,0 g ha⁻¹; DHP2 – diflufenikanas 28,0 g ha⁻¹ + haloksifenmetilas 2,6 g ha⁻¹ + prosulfokarbas 1334,0 g ha⁻¹; DHP3 – diflufenikanas 35,0 g ha⁻¹ + haloksifenmetilas 3,3 g ha⁻¹ + prosulfokarbas 1667,5 g ha⁻¹; ADP – aklonifenas 175,0 g ha⁻¹ + diflufenikanas 35,0 g ha⁻¹ + prosulfokarbas 1200,0 g ha⁻¹; DPC – diflufenikanas 60,0 g ha⁻¹ + pendimentalinis 450,0 g ha⁻¹ + chlorotoluronas 375,0 g ha⁻¹ + prosulfokarbas 800,0 g ha⁻¹; PD – prosulfokarbas 1600,0 g ha⁻¹ + diflufenikanas 100,0 g ha⁻¹; E – etofumezatas 187,7 g ha⁻¹. * – esminiai skirtumai 95 % tikimybės lygiui; ** esminiai skirtumai 99 % tikimybės lygiui.

Notes: NE – not sprayed; DHP1 – diflufenican 24.5 g ha⁻¹ + haloksifenmetil 2.3 g ha⁻¹ + prosulfocarb 1167.0 g ha⁻¹; DHP2 – diflufenican 28.0 g ha⁻¹ + haloksifenmetil 2.6 g ha⁻¹ + prosulfocarb 1334.0 g ha⁻¹; DHP3 – diflufenican 35.0 g ha⁻¹ + haloksifenmetil 3.3 g ha⁻¹ + prosulfocarb 1667.5 g ha⁻¹; ADP – aklonifenas 175.0 g ha⁻¹ + diflufenican 35.0 g ha⁻¹ + prosulfocarb 1200.0 g ha⁻¹; DPC – diflufenican 60.0 g ha⁻¹ + pendimentalin 450.0 g ha⁻¹ + chlorotoluron 375.0 g ha⁻¹ + prosulfocarb 800.0 g ha⁻¹; DP – prosulfocarb 1600.0 g ha⁻¹ + diflufenican 100.0 g ha⁻¹; E – etofumezat 187.7 g ha⁻¹. * – significant differences at the 95% probability level; ** significant differences at the 99% probability level.



2 pav. Rudeninio herbicidų derinių purškimo poveikis piktžolių sausųjų medžiagų masei

Fig. 2. Effect of autumn herbicide application on weeds dry biomass

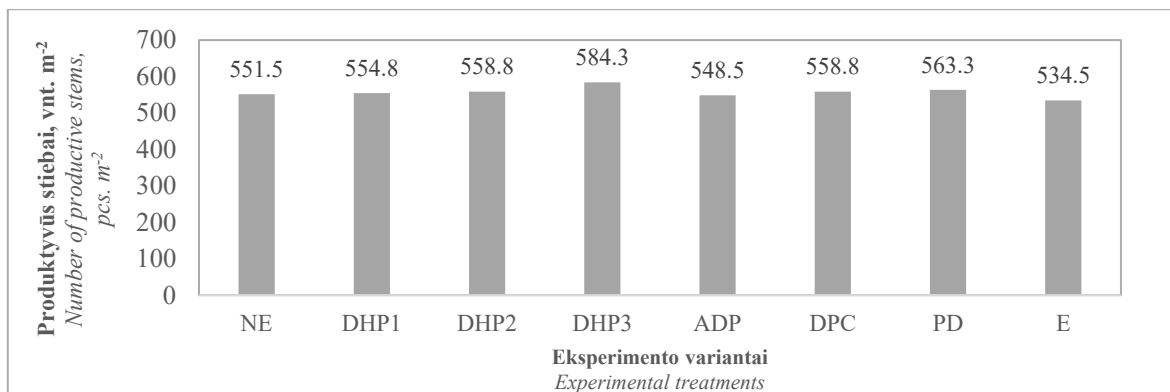
Pastaba: NE – nepurkšta; DHP1 – diflufenikanas 24,5 g ha⁻¹ + haloksifenmetilas 2,3 g ha⁻¹ + prosulfokarbas 1167,0 g ha⁻¹; DHP2 – diflufenikanas 28,0 g ha⁻¹ + haloksifenmetilas 2,6 g ha⁻¹ + prosulfokarbas 1334,0 g ha⁻¹; DHP3 – diflufenikanas 35,0 g ha⁻¹ + haloksifenmetilas 3,3 g ha⁻¹ + prosulfokarbas 1667,5 g ha⁻¹; ADP – aklonifenas 175,0 g ha⁻¹ + diflufenikanas 35,0 g ha⁻¹ + prosulfokarbas 1200,0 g ha⁻¹; DPC – diflufenikanas 60,0 g ha⁻¹ + pendimentalinis 450,0 g ha⁻¹ + chlorotoluronas 375,0 g ha⁻¹ + prosulfokarbas 800,0 g ha⁻¹; PD – prosulfokarbas 1600,0 g ha⁻¹ + diflufenikanas 100,0 g ha⁻¹; E – etofumezatas 187,7 g ha⁻¹. * – esminiai skirtumai 95 % tikimybės lygiui.

Notes: NE – not sprayed; DHP1 – diflufenican 24.5 g ha⁻¹ + haloksifenmetil 2.3 g ha⁻¹ + prosulfocarb 1167.0 g ha⁻¹; DHP2 – diflufenican 28.0 g ha⁻¹ + haloksifenmetil 2.6 g ha⁻¹ + prosulfocarb 1334.0 g ha⁻¹; DHP3 – diflufenican 35.0 g ha⁻¹ + haloksifenmetil 3.3 g ha⁻¹ + prosulfocarb 1667.5 g ha⁻¹; ADP – aklonifenas 175.0 g ha⁻¹ + diflufenican 35.0 g ha⁻¹ + prosulfocarb 1200.0 g ha⁻¹; DPC – diflufenican 60.0 g ha⁻¹ + pendimentalin 450.0 g ha⁻¹ + chlorotoluron 375.0 g ha⁻¹ + prosulfocarb 800.0 g ha⁻¹; DP – prosulfocarb 1600.0 g ha⁻¹ + diflufenican 100.0 g ha⁻¹; E – etofumezat 187.7 g ha⁻¹. * – significant differences at the 95% probability level.

Atlikus tyrimą nustatyta, kad didžiausia piktžolių sausųjų medžiagų masė buvo naudojant DHP1 mišinį – 32,0 g m⁻², kiek mažesnė E varianto – 31,0 g m⁻² bei nepurkštuose (NE) laukeliuose – 30,0 g m⁻². Tai parodė silpniausią piktžolių slopinimą ir didžiausią piktžolių išlikimą dėl neefektyvios kontrolės šių variantų laukeliuose. Kiek mažesnė (4,0–5,7 g m⁻²) piktžolių sausųjų medžiagų masė nustatyta, naudojant ADP (26,0 g m⁻²) ir DHP2 (25,3 g m⁻²) herbicidų mišinius. Piktžolių sausųjų medžiagų masė mažėjo, tačiau šie skirtumai nebuvo esmingi.

Užsienio mokslininkų kviečių eksperimentuose, vertinant herbicidų efektyvumą, gauti panašūs duomenys, t. y. esant neefektyviai piktžolių kontrolei, piktžolių biomasė nustatyta apie 40,0 g m⁻², o efektyvūs po sudygimo panaudoti herbicidai ar jų mišiniai reikšmingai mažina piktžolių sausųjų medžiagų masę (Hameed et al., 2018).

Atlikus tyrimus paaiškėjo, kad rudeninis žieminių kviečių pasėlio purškimas herbicidais esminės įtakos produktyvių stiebų kiekiui neturėjo. Produktivių stiebų skaičius svyravo nuo 534,5 iki 584,3 vnt. m⁻² (3 pav.).



3 pav. Rudeninio herbicidų derinių purškimo poveikis žieminių kviečių produktyvių stiebų skaičiui

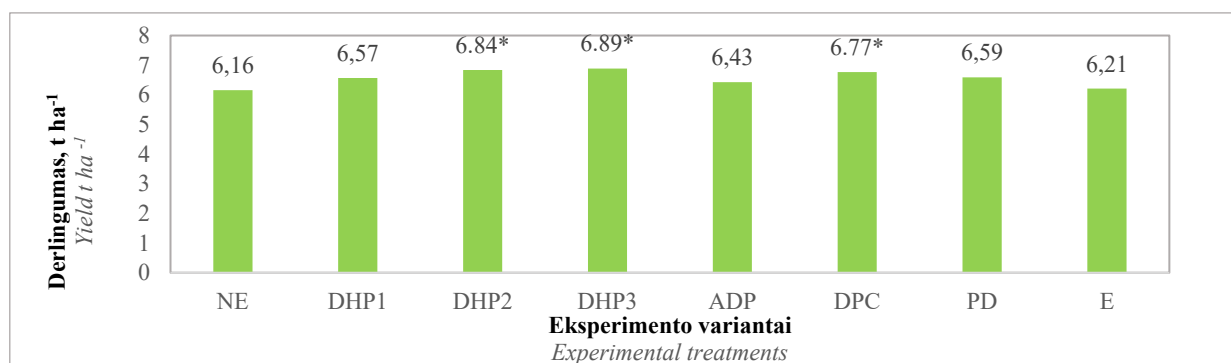
Fig. 3. Effect of autumn herbicide application on winter wheat number of productive stems

Pastaba: NE – nepurkšta; DHP1 – diflufenikanas 24,5 g ha⁻¹ + haloksifenmetilas 2,3 g ha⁻¹ + prosulfokarbas 1167,0 g ha⁻¹; DHP2 – diflufenikanas 28,0 g ha⁻¹ + haloksifenmetilas 2,6 g ha⁻¹ + prosulfokarbas 1334,0 g ha⁻¹; DHP3 – diflufenikanas 35,0 g ha⁻¹ + haloksifenmetilas 3,3 g ha⁻¹ + prosulfokarbas 1667,5 g ha⁻¹; ADP – aklonifenas 175,0 g ha⁻¹ + diflufenikanas 35,0 g ha⁻¹ + prosulfokarbas 1200,0 g ha⁻¹; DPC – diflufenikanas 60,0 g ha⁻¹ + pendimentalinas 450,0 g ha⁻¹ + chlorotoluronas 375,0 g ha⁻¹ + prosulfokarbas 800,0 g ha⁻¹; PD – prosulfokarbas 1600,0 g ha⁻¹ + diflufenikanas 100,0 g ha⁻¹; E – etofumezatas 187,7 g ha⁻¹. $P > 0,050$ – esminiai skirtumai nenustatyti.

Notes: NE – not sprayed; DHP1 – diflufenican 24.5 g ha⁻¹ + haloksifenmetil 2.3 g ha⁻¹ + prosulfocarb 1167.0 g ha⁻¹; DHP2 – diflufenican 28.0 g ha⁻¹ + haloksifenmetil 2.6 g ha⁻¹ + prosulfocarb 1334.0 g ha⁻¹; DHP3 – diflufenican 35.0 g ha⁻¹ + haloksifenmetil 3.3 g ha⁻¹ + prosulfocarb 1667.5 g ha⁻¹; ADP – aklonifen 175.0 g ha⁻¹ + diflufenican 35.0 g ha⁻¹ + prosulfocarb 1200.0 g ha⁻¹; DPC – diflufenican 60.0 g ha⁻¹ + pendimentalin 450.0 g ha⁻¹ + chlorotoluron 375.0 g ha⁻¹ + prosulfocarb 800.0 g ha⁻¹; DP – prosulfocarb 1600.0 g ha⁻¹ + diflufenican 100.0 g ha⁻¹; E – etofumezat 187.7 g ha⁻¹. $P > 0.050$ – no significant differences

Mažiausias produktyvių stiebų skaičius nustatytas E varianto laukeliuose – 534,5 vnt. m⁻², o didžiausias – DHP3 – 584,25 vnt. m⁻². Nepurkštuose laukeliuose (NE) produktyvių stiebų skaičius buvo 554,8 vnt. m⁻², o daugumoje purkštų laukelių reikšmės buvo labai artimos kontrolei: DHP1 ir ADP – po 558,8 vnt. m⁻², ADP – 548,5 vnt. m⁻², DP – 563,3 vnt. m⁻². Apibendrinant galima teigti, kad produktyvių stiebų formavimasis išliko gana stabilus ir kitimas nebuvo statistiškai reikšmingas dėl rudeninio herbicidų naudojimo, o pastebėti skirtumai parodo natūralų pasėlio kintamumą tarp variantų.

Rudeninio herbicido naudojimas žieminių kviečių pasėlyje turėjo nevienodą poveikį grūdų derlingumui (4 pav.). Atlikus tyrimą nustatyta, kad derlingumas svyravo nuo 6,16 iki 6,89 t ha⁻¹. Mažiausias derlingumas nustatytas laukeliuose kuriuose nebuvo naudoti herbicidai (NE) – 6,16 t ha⁻¹. Tuo tarpu didžiausias derlingumas (6,89 t ha⁻¹) buvo DHP3 varianto laukeliuose, kuris sudarė 0,73 t ha⁻¹ arba 11,9 % derliaus priedą, lyginant su nepurkštais. Reikšmingai didesnis derlingumas (6,84 t ha⁻¹) buvo gautas DHP2, DHP3 (6,89 t ha⁻¹) ir DPC (6,77 t ha⁻¹) variantų laukeliuose. Tai rodo, kad būtent šie rudeninio herbicidų deriniai patikimai didina žieminių kviečių derlingumą, tikėtina dėl geresnės rudeninės piktžolių kontrolės ir mažesnės konkurencijos ankstyvaisiais vystymosi tarpsniais.



4 pav. Rudeninio herbicidų derinių purškimo poveikis žieminių kviečių grūdų derlingumui

Fig. 4. Effect of autumn herbicide application on winter wheat grain yield

Pastaba: NE – nepurkšta; DHP1 – diflufenikanas 24,5 g ha⁻¹ + haloksifenmetilas 2,3 g ha⁻¹ + prosulfokarbas 1167,0 g ha⁻¹; DHP2 – diflufenikanas 28,0 g ha⁻¹ + haloksifenmetilas 2,6 g ha⁻¹ + prosulfokarbas 1334,0 g ha⁻¹; DHP3 – diflufenikanas 35,0 g ha⁻¹ + haloksifenmetilas 3,3 g ha⁻¹ + prosulfokarbas 1667,5 g ha⁻¹; ADP – aklonifenas 175,0 g ha⁻¹ + diflufenikanas 35,0 g ha⁻¹ + prosulfokarbas 1200,0 g ha⁻¹; DPC – diflufenikanas 60,0 g ha⁻¹ + pendimentalinas 450,0 g ha⁻¹ + chlorotoluronas 375,0 g ha⁻¹ + prosulfokarbas 800,0 g ha⁻¹; PD – prosulfokarbas 1600,0 g ha⁻¹ + diflufenikanas 100,0 g ha⁻¹; E – etofumezatas 187,7 g ha⁻¹. * – esminiai skirtumai 95 % tikimybės lygiui.

Notes: NE – not sprayed; DHP1 – diflufenican 24.5 g ha⁻¹ + haloksifenmetil 2.3 g ha⁻¹ + prosulfocarb 1167.0 g ha⁻¹; DHP2 – diflufenican 28.0 g ha⁻¹ + haloksifenmetil 2.6 g ha⁻¹ + prosulfocarb 1334.0 g ha⁻¹; DHP3 – diflufenican 35.0 g ha⁻¹ + haloksifenmetil 3.3 g ha⁻¹ + prosulfocarb 1667.5 g ha⁻¹; ADP – aklonifen 175.0 g ha⁻¹ + diflufenican 35.0 g ha⁻¹ + prosulfocarb 1200.0 g ha⁻¹; DPC – diflufenican 60.0 g ha⁻¹ + pendimentalin 450.0 g ha⁻¹ + chlorotoluron 375.0 g ha⁻¹ + prosulfocarb 800.0 g ha⁻¹; DP – prosulfocarb 1600.0 g ha⁻¹ + diflufenican 100.0 g ha⁻¹; E – etofumezat 187.7 g ha⁻¹. * – significant differences at the 95% probability level.

Kituose purkštuose laukeliuose taip pat buvo stebimas derlingumo padidėjimas, tačiau jis nebuvo statistškai reikšmingas. Laukeliuose, purkštuose etofumezatu (E) $187,7 \text{ g ha}^{-1}$ žieminių kviečių derlingumas ($6,21 \text{ t ha}^{-1}$) išliko labai artimas kontrolei, todėl jo įtaka dėl mažo efektyvumo derliaus didėjimui vertinama kaip minimali. Gauti rezultatai patvirtina aprašomą tendenciją, kad rudeninis herbicidų taikymas žieminiuose kviečiuose, gali sėkmingai pagerinti augalų vystymąsi ir palengvinti piktžolių kontrolę anksti pavasarį.

Pavlov et al. (2021) nurodė, kad rudenį naudojant efektyvius herbicidus ar jų mišinius buvo pasiektas didžiausias derlingumas ($7,56 \text{ t ha}^{-1}$), kuris buvo 59,8 % didesnis nei kontrolėje. Taip pat Pavlov et al. (2021) pabrėžia ankstyvos piktžolių konkurencijos su kultūriniais augalais mažinimo svarbą.

Ir kiti mokslininkai teigia, kad rudeninis purškimas gali būti pranašesnis už pavasarinį, nes sumažina piktžolių įtaką rudenį ir ankstyvą pavasarį, dėl ko derlius gali būti reikšmingai didesnis (Soltani et al., 2023).

Išvados

1. Piktžolių skaičius prieš žieminių kviečių derliaus nuėmimą buvo mažiausias DHP3 ir DPC variantų laukeliuose ir siekė $16,5\text{--}17,0 \text{ vnt. m}^{-2}$. Šie herbicidų mišiniai esmingai (40–45 %) sumažino žieminių kviečių piktžolėtumą, lyginant su nepurkštais laukeliais, kur piktžolių skaičius siekė $30,0 \text{ vnt. m}^{-2}$.
2. Rudeninis purškimas herbicidų deriniais esmingai mažino žieminių kviečių pasėlio piktžolėtumą. Piktžolių sausųjų medžiagų masė DHP3 ir DPC variantų laukeliuose sumažėjo iki $14,5\text{--}15,0 \text{ g m}^{-2}$ ir tai buvo 2,0 kartus mažesnė nei nepurkštuose laukeliuose ($30,0 \text{ g m}^{-2}$).
3. Rudeninis purškimas įvairiais herbicidų deriniais neturėjo esminio poveikio žieminių kviečių produktyvių stiebų skaičiui. Produktivių stiebų skaičius svyravo nuo 534,5 iki 584,3 vnt. m^{-2} .
4. Rudeninis žieminių kviečių pasėlio purškimas herbicidų deriniais DHP2, DHP3 ir DPC esmingai didino – $0,61\text{--}0,73 \text{ t ha}^{-1}$ (10–12 %) pasėlio derlingumą, lyginant su nepurkštais laukeliais (NE).

Literatūra

1. Dücker, R., Zöllner, P., Parcharidou, E., et al. (2019). Enhanced metabolism causes reduced flufenacet sensitivity in black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) field populations. *Pest Management Science*, 75(11), 2996–3004.
2. Gaba, S., Fried, G., Kazakou, E., Chauvel, B., & Navas, M.-L. (2014). Agroecological weed control using a functional approach: A review of cropping systems diversity. *Agronomy for Sustainable Development*, 34(1), 103–119.
3. Gerhards, R., Messelhäuser, M. H., Sievernich, B., et al. (2022). Suppressing *Alopecurus myosuroides* in winter cereals by delayed sowing and pre-emergence herbicides. *Plant Soil and Environment*, 68(6), 290–298.
4. Gitsopoulos, T. K., Georgoulas, I., Botsoglou, D., et al. (2024). Response of wheat to pre-emergence and early post-emergence herbicides. *Agronomy*, 14(8), 1875.
5. Harker, K. N., & O'Donovan, J. T. (2013). Recent Weed Control, Weed Management, and Integrated Weed Management. *Weed Technology*, 27(1), 1–11.
6. Heap, I. (n.d.). *The International Survey of Herbicide Resistant Weeds*. Retrieved January 16, 2026. <https://www.weedscience.org/Account/FAQ.aspx#cite>
7. Hameed, Z., Malik, M. A., Ali, S., et al. (2018). Comparative efficiency of different post-emergence herbicides for controlling broadleaved weeds in rain-fed wheat. *Pakistan Journal of Agricultural Research*, 32(1), 78–86.
8. Lamichhane, J. R., Devos, Y., Beckie, H. J., Owen, M. D. K., Tillie, P., Messéan, A., & Kudsk, P. (2017). Integrated weed management systems with herbicide-tolerant crops in the European Union: Lessons learnt from home and abroad. *Critical Reviews in Biotechnology*.
9. McCurdy, J. D., Bowling, R. G., & de Castro, E. B. (2023). Developing and implementing a sustainable, integrated weed management program for herbicide-resistant *Poa annua* in turfgrass. *Crop, Forage & Turfgrass Management*, 9(1).
10. Pavlov, O., Babenko, A., & Andrushchenko, A. (2021). Biological effectiveness of herbicides in winter wheat crops of autumn sowing. *Plant and Soil Science*, 4(12), Article 12(4).
11. Sharma, G., Shrestha, S., Kunwar, S., Tseng, T.-M., Sharma, G., Shrestha, S., Kunwar, S., & Tseng, T.-M. (2021). Crop Diversification for Improved Weed Management: A Review. *Agriculture*, 11(5).
12. Soltani, N., Shropshire, C., & Sikkema, P. H. (2023). Control of multiple-herbicide-resistant Canada fleabane with fall, spring, and sequential herbicide applications in winter wheat. *Journal of Agricultural Science*, 15(5), 17.

13. Sunil, S., Loura, D., & Dhankar, A. (2020). Herbicide resistance in weeds and its management strategies. *International Journal of Chemical Studies*, 8(3), 655–661.
14. Zeller, A. K., Kaiser, Y. I., & Gerhards, R. (2018). Suppressing *Alopecurus myosuroides* Huds. in rotations of winter-annual and spring crops. *Agriculture*, 8(7), 91.

Lukas Juozaitis¹, Darija Jodaugienė¹, Gabrielė Pšibišauskienė², Ona Auškalnienė³, Edita Mažuolytė-Miškinė¹, Marija Fausta Rimkevičiūtė¹

Effect of Autumn Herbicide Application on Winter Wheat Crop

¹Vytautas Magnus University, ²Lithuania, JSC "Linagro", Lithuania, ³Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry, Lithuania

Spring herbicide applications in winter wheat crops are often carried out when weeds have already reached advanced growth stages, which frequently results in reduced control efficiency. For this reason, increasing attention is being given to autumn weed management, when weeds are at early growth stages and are more sensitive to herbicide action. To evaluate this approach, a field experiment was conducted in 2024–2025 in Girkalnis village, Raseiniai district, Lithuania, using eight different herbicide combinations. Autumn spraying was performed at the BBCH 11 growth stage of winter wheat. Autumn herbicide application significantly increased winter wheat grain yield and reduced weed biomass compared with untreated plots. All tested combinations of herbicide active ingredients resulted in yield increases, with mixtures of active ingredients providing the highest effectiveness.

Keywords: Weeds, herbicides, autumn spraying, winter wheat.

Gauta 2026 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2026 m. balandžio mėn.

Lukas JUOZAITIS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Agronomijos fakulteto Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedros doktorantas. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r., tel. +370 625 29289, el. paštas: lukas.juozaitis@vdu.lt

Lukas JUOZAITIS. 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. Phone: +370 625 29289, e-mail: lukas.juozaitis@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 37 752229, 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. Phone: +370 37 752229, e-mail: darija.jodaugiene@vdu.lt

Gabrielė PŠIBIŠAUSKIENĖ, AB „Linagro“. Agrotechnologijų plėtros vadovė. Adresas: Brastos g. 14, LT-47185 Kaunas, tel. +370 455 07333, e-mail: gabriele.psibisauskiene@linasagro.lt

Gabrielė PŠIBIŠAUSKIENĖ, JSC "Linagro". Agrotechnology Development Manager. Address: Brastos g. 14, LT-47185 Kaunas, tel. +370 455 07333, e-mail: gabriele.psibisauskiene@linasagro.lt

Ona AUŠKALNIENĖ. Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centras Žemdirbystės institutas. Dirvožemio ir augalininkystės skyriaus vyresnioji mokslo darbuotoja. Adresas: Instituto al. 1, Akademija, 58344 Kėdainių r. sav. Tel. +370 34 737271, ona.auskalniene@lammc.lt

Ona AUŠKALNIENĖ. Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry. Department of Soil and Crop Management, Senior Researcher. Address Instituto al. 1, Akademija, 58344 Kėdainių r. sav. Phone: +370 34 737271, e-mail: ona.auskalniene@lammc.lt

Edita MAŽUOLYTĖ-MIŠKINĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Agronomijos fakulteto Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedros vyr. lektorė. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r., tel.+370 37752229, el. paštas: edita.mazuolyte-miskine@vdu.lt

Edita MAŽUOLYTĖ-MIŠKINĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Sciences, Senior lecturer. Address: Studentų str. 11, LT-53361 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 37752229, e-mail: edita.mazuolyte-miskine@vdu.lt

Marija Fausta RIMKEVIČIŪTĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Agronomijos fakulteto studentė. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r., tel.+370 37 752229, el. paštas: marija.rimkeviciute@vdu.lt

Marija Fausta RIMKEVIČIŪTĖ. Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Agronomy, Student. Address: Studentu str. 11, LT-53361 Akademija, Kaunas dist. Phone: +370 37 752229, e-mail: marija.rimkeviciute@vdu.lt

RUDENINIŲ IR PAVASARINIŲ ĮSĖLIŲ POVEIKIS ŽIEMINIŲ KVIEČIŲ VYSTYMUISI IR PRODUKTYVUMUI

Eglė Markevičiūtė, Rokas Jonaitis, Jovita Balandaitė, Austėja Švereikaitė,
Aušra Sinkevičienė, Lina Juodytė, Ignas Sujetovas, Kęstutis Romaneckas

Vytauto Didžiojo universitetas

Tyrimas buvo atliktas 2025 m. VDU ŽŪA Bandymų stotyje. Tyrimo tikslas – įvertinti įsėlių poveikį žieminių kviečių vystymuisi ir produktyvumui: lapų chlorofilo koncentracijai, grūdų derlingumui, 1000 grūdų masei bei grūdų baltymingumui. Eksperimente tirti du veiksniai. Veiksny A – rudeniniai įsėliai (be įsėlio, sėjamieji grikliai, sėjamieji žirniai, baltosios garstyčios), veiksnys B – pavasariniai įsėliai (be įsėlio, ruginiai vikiai, baltieji dobilai, raudonieji dobilai). Nustatyta, kad rudeniniai įsėliai labiau didino žieminių kviečių lapų chlorofilo koncentraciją nei pavasariniai. Didžiausias efektas gautas derinyje baltosios garstyčios + baltieji dobilai ($21 \mu\text{mol m}^{-2}$). Grūdų derlingumui palankiausi buvo rudenį įsėti žirniai ir pavasarį – raudonieji dobilai, o didžiausias derlius pasiektas taikant jų derinį ($6,58 \text{ t ha}^{-1}$). Įsėlių rūšis ir jų deriniai neturėjo statistiškai esmingo poveikio 1000 grūdų masei ($47,23\text{--}48,94 \text{ g}$) ir baltymingumui ($9,98\text{--}10,23 \%$), tačiau kai kurie deriniai, pavyzdžiui, žirniai + vikiai, nežymiai didino grūdų stambumą.

Raktiniai žodžiai: *Fabaceae* ir *Brassicaceae* įsėliai, *Triticum aestivum*, chlorofilas, grūdų derlingumas ir kokybė.

Įvadas

Kviečiai (*Triticum aestivum*) yra viena svarbiausių pasaulyje auginamų javų, plačiai paplitę beveik visuose žemynuose. Jie sudaro pagrindinę maisto produktų dalį, o jų grūdai – vertinga žaliava glitimo ir krakmolo gamybai bei koncentruotiems pašarams (Šiuliauskas, 2015; Bogvilaitė, 2018). Kviečių auginimas reikalauja aukštos kokybės sėjos, derlingo dirvožemio ir efektyvios apsaugos nuo ligų bei kenkėjų (Visuotinė lietuvių enciklopedija, 2025).

Tarpiniai pasėliai – tai augalai, auginami po pagrindinio derliaus nuėmimo arba kartu su pasėliu kaip įsėliai, siekiant pagerinti dirvožemio savybes, apsaugoti nuo maisto medžiagų nuostolių ir padidinti pasėlių produktyvumą (Bogužas, 2013). Šie augalai ne tik praturtina dirvožemį organinėmis medžiagomis, bet ir aprūpina pagrindinį pasėlį azotu, fosforu bei kitomis maisto medžiagomis, taip pat sumažina dirvožemio eroziją ir piktžolių plitimą (Baraibar ir kt., 2020). Populiariausi iš tarpinių pasėlių yra ankštiniai (pupiniai) ir įvairių augalų mišiniai. Ankštinių pasėlių gebėjimas fiksuoti atmosferos azotą leidžia sumažinti sintetinių trąšų poreikį, o giliašakniai augalai, tokie kaip garstyčios ar grikliai, efektyviai išlaisvina sunkiai prieinamas dirvožemio maisto medžiagas, pavyzdžiui, fosforą (Maikštėnienė, 2019). Be to, tarpiniai pasėliai skatina mikroorganizmų aktyvumą ir humuso kaupimąsi, o jų greitai auganti antžeminė biomasė sulaiko drėgmę bei apsaugo dirvožemį nuo paviršinio išdžiūvimo ar plovimo (Velykis, Satkus, 2019). Mišriuose pasėliuose skirtingų augalų šaknų sistemos optimizuoja maisto medžiagų ir vandens pasisavinimą, mažina augalų tarpusavio konkurenciją bei didina ekosistemų produktyvumą (Barker, Dennett, 2013; Marcinkevičienė ir kt., 2021). Be ekologinių privalumų, įsėliniai tarpiniai pasėliai prisideda prie fitosanitarinio dirvos gerinimo: jie stabdo piktžoles, mažina ligų ir kenkėjų plitimą ir padeda kurti tvaresnę sėjomainą (Travlos ir kt., 2018; Maikštėnienė, 2019). Todėl tarpinių pasėlių auginimas laikomas viena iš efektyviausių žemės ūkio praktikos priemonių, siekiant derliaus kokybės, dirvožemio tvarumo ir produktyvumo didinimo (Sandler ir kt., 2015).

Tarpiniai pasėliai yra gan plačiai tyrinėti, tačiau rudeninio-pavasarinio tarpinių pasėlių komplekso tyrimų pasigendame. Tyrimo tikslas – nustatyti rudeninių ir pavasarinių įsėlinių tarpinių pasėlių derinius, kurie būtų efektyviausi auginant žieminius kviečius be mineralinių trąšų ir pesticidų.

Tyrimų metodika

Eksperimento įrengimo vieta ir dirvožemio charakteristika

Tyrimas lauko sąlygomis buvo atliktas 2025 m. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Bandymų stotyje ($54^{\circ}53'$, $23^{\circ}50'$). Eksperimentinis įrengtas giliau glėjiškame pasotintame palvažemyje (*Endohypogleyic-Eutric Planosol*, Ple-gln-w), kurio armens sluoksnio storis siekė 25–27 cm, pH buvo šarmiškas. Dirvožemis buvo mažo azotingumo, labai didelio fosforingumo ir magningumo, vidutinio kalkingumo.

Eksperimento variantai

Eksperimentas yra dviejų veiksmų. Pagrindinis eksperimento pasėlis – žieminiai kviečiai, o į juos buvo įsėti rudeniniai ir pavasariniai įsėliai.

Veiksny A: Rudeniniai įsėliai

1. Be įsėlio (kontrolė)
2. Sėjamieji gričiai
3. Sėjamieji žirniai
4. Baltosios garstyčios

Veiksny B: Pavasariniai įsėliai

1. Be įsėlio (kontrolė)
2. Ruginiai vikiai
3. Baltieji dobilai
4. Raudonieji dobilai

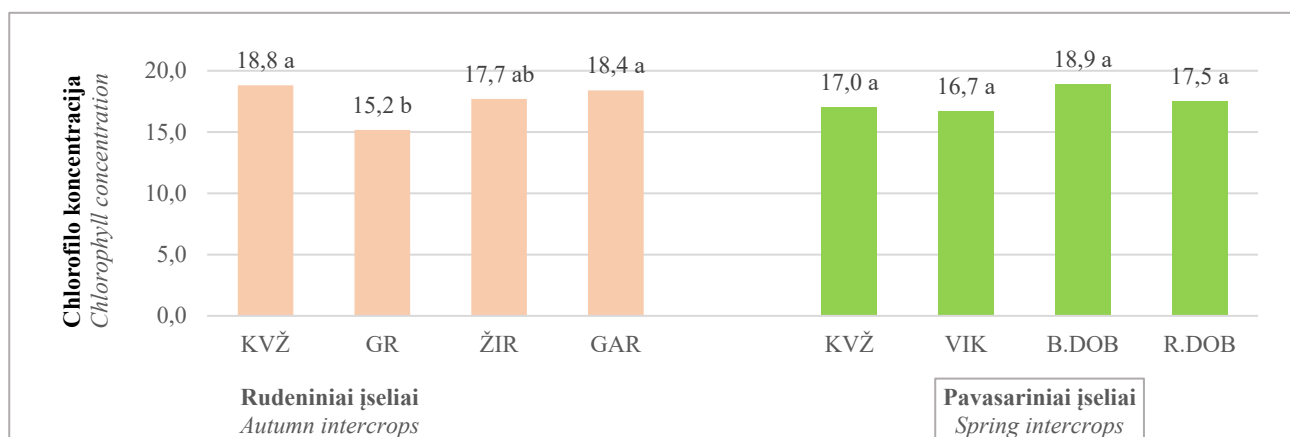
Eksperte buvo auginamos šios augalų veislės: paprastasis kvietys (*Triticum aestivum* L.) (žieminė veislė „Skagen“), baltoji garstyčia (*Sinapsis alba* L.) (veislė „Sirene“), sėjamasis žirnis (*Pisum sativum*) (veislė „Respect“), sėjamasis grikis (*Fagopyrum esculentum*) (veislė „VB Nojai“).

Tyrimų analizės ir metodai

Augalų lapuose chlorofilo kiekis buvo nustatytas naudojant chlorofilo matuoklį MC-100 (Apogee Instruments), tiriant ne mažiau kaip 10 lapų iš kiekvieno varianto laukelio. Derlingumas apskaičiuotas nukūlus eksperimentinį laukelį kombainu. Tūkstančio grūdų masė nustatyta imant tris vidutinių mėginių rinkinius po 500 grūdų, apskaičiuojant vidurkius ir padauginant rezultatą iš dviejų. Kviečių grūdų baltymingumo rodikliai nustatyti LAMMC Cheminių tyrimų laboratorijoje. Gauti tyrimo duomenys statistškai apdoroti naudojant ANOVA metodą, įvertinta veiksnių įtaka bei jų sąveika pagal F kriterijų, nustatyti esminiai skirtumai pagal R_{05} ir R_{01} . Kai tarp variantų nustatyti statistškai reikšmingi skirtumai (95 % tikimybės lygiui), rezultatai žymimi skirtingomis raidėmis (a, b, c ir kt.), o skirtumai laikomi reikšmingais, jei $P < 0,05$.

Tyrimų rezultatai ir analizė

Chlorofilo koncentracija kviečių lapuose. 1 pav. parodyta, kaip skirtingi rudeniniai ir pavasariniai įsėliai veikė kviečių lapų chlorofilo koncentraciją (%).



1 pav. Įsėlių poveikis chlorofilo koncentracijai žieminių kviečių lapuose, $\mu\text{mol m}^{-2}$

Fig. 1. Effect of autumn and spring intercrops on winter wheat leaves chlorophyll concentration

Pastaba: KVŽ – kviečiai, GR – gričiai, ŽIR – žirniai, GAR – baltosios garstyčios, VIK – ruginiai vikiai, B.DOB – balti dobilai, R.DOB – raudoni dobilai. Tarp variantų vidurkių, pažymėtų ne ta pačia raide (a, b, c), skirtumai yra esminiai ($P < 0,05$).

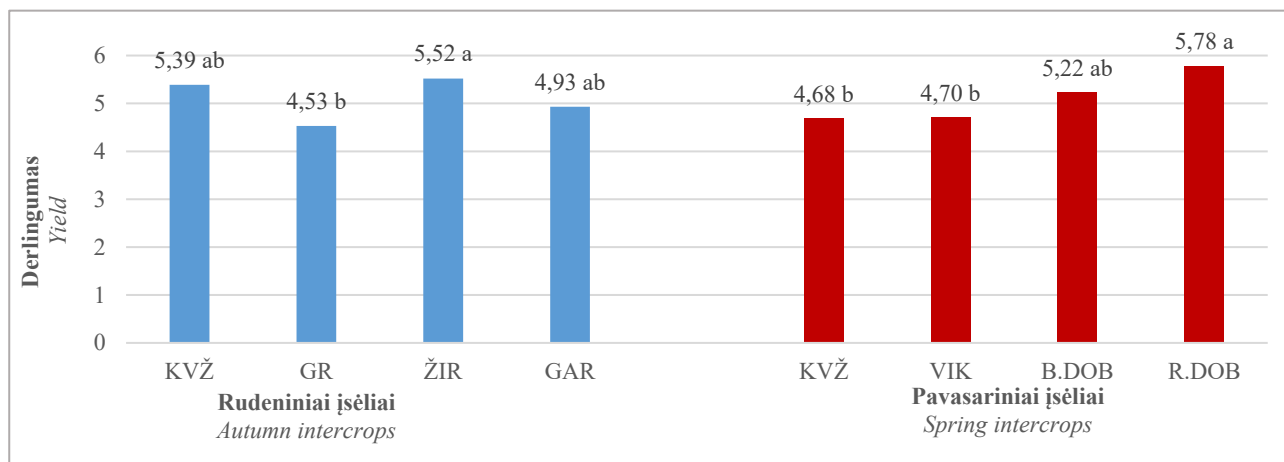
Note: KVŽ – wheat, GR – buckwheat, ŽIR – peas, GAR – white mustard, VIK – Rye vetch, B.DOB – white clover, R.DOB – red clover. Differences between the averages of treatments marked with different letters (a, b, c) are significant ($P < 0.05$).

Rudeninių įsėlių grupėje aukščiausia chlorofilo koncentracija nustatyta kviečių be įsėlių (KVŽ, 18,8 %) ir baltųjų garstyčių (GAR, 18,4 %) variantų laukeliuose, tuo tarpu esmingai žemiausia – gričių (GR, 15,2 %) įsėliuose. Pavasariinių įsėlių grupėje didžiausia chlorofilo koncentracija fiksuota baltųjų dobilų (B.DOB, 18,9 %) lapuose, o mažiausia – ruginių vikių (VIK, 16,7 %) ir kviečių (KVŽ, 17,0 %) variantų laukeliuose. Skirtumai tarp variantų nebuvo esminiai ($P < 0,05$).

Šie rezultatai rodo, kad rudeninių, o ne pavasariinių įsėlių pasirinkimas gali reikšmingai paveikti kviečių lapų chlorofilo koncentraciją. Efektyviausia buvo GAR+B.DOB įsėlių derinys. Chlorofilo koncentracija siekė $21 \mu\text{mol m}^{-2}$.

Kviečių grūdų derlingumas. 2 pav. matyti, kad tarp rudens įsėlių esmingai didžiausias grūdų derlingumas pasiektas ŽIR laukeliuose su žirniais (ŽIR, $5,52 \text{ t ha}^{-1}$), o esmingai mažiausias – su gričiais (GR, $4,53 \text{ t ha}^{-1}$).

Tuo tarpu pavasariinių įsėlių grupėje esmingai aukščiausias derlingumas užfiksuotas kviečių su raudonaisiais dobilais R.DOB, $5,78 \text{ t ha}^{-1}$, o esmingai žemiausias – kontroliniuose laukeliuose be įsėlių (KVŽ, $4,68 \text{ t ha}^{-1}$) ir su vikiais (VIK, $4,70 \text{ t ha}^{-1}$). Derinys ŽIR+R.DOB buvo pati sėkmingiausia, nes kviečių grūdų derlingumas vidutiniškai pasiekė $6,58 \text{ t ha}^{-1}$. Panašiai, Hoang ir kt. (2025) nustatė, kad kviečiai su pavasarį įsėtais žirniais didino kviečių grūdų derlių. Helfrich ir kt. (2022) nustatė, kad rudeninių įsėlių mišiniai gali net sumažinti grūdų derlių dėl konkurencijos su pagrindiniu pasėliu.



2 pav. Įsėlių poveikis žieminių kviečių grūdų derlingumui, t ha^{-1}

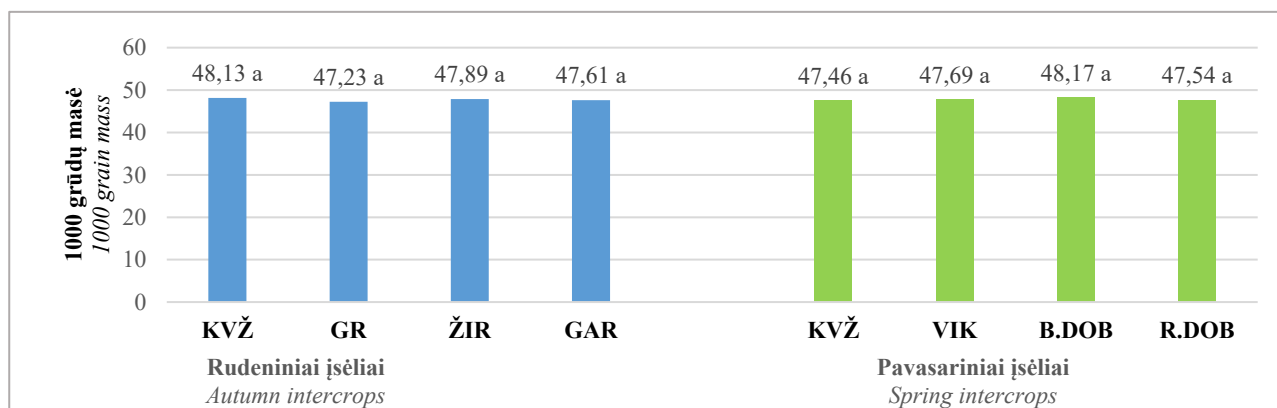
Fig.2. Effect of autumn and spring intercrops on winter wheat yield of grains, t ha^{-1}

Pastaba: KVŽ – kviečiai, GR – grikliai, ŽIR – žirniai, GAR – baltosios garstyčios, VIK – ruginiai vikiai, B.DOB – balti dobilai, R.DOB – raudoni dobilai. Tarp variantų vidurkių, pažymėtų ne ta pačia raide (a, b, c), skirtumai yra esminiai ($P < 0,05$).

Note: KVŽ – wheat, GR – buckwheat, ŽIR – peas, 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 ($P < 0.05$).

Kviečių 1000 grūdų masė. Išanalizavus 1000 grūdų masę nustatyta, kad kviečiuose su rudeniniais įsėliais ji svyravo nuo 47,23 iki 48,13 g ir esmingai nesiskyrė (3 pav.). Kviečiuose su pavasariniais įsėliais taip pat nenustatyti esminiai skirtumai. Nežiūrint to, sėkmingiausia rudeninių ir pavasariinių įsėlių derinys buvo nustatyta ŽIR+VIK (48,94 g) laukeliuose, nors vikių pasėlio tankumas ir nebuvo didelis.

Tarptautiniai tyrimai rodo, kad pupiniai tarpiniai pasėliai didina 1000 grūdų masę, nes pagerina dirvožemio maistinių medžiagų balansą (Peng ir kt., 2024).



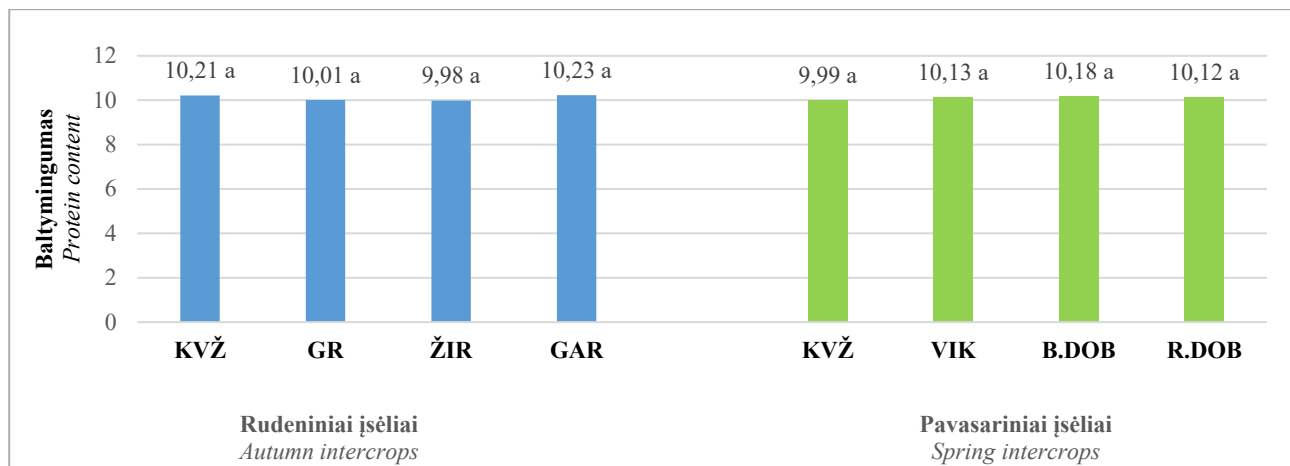
3 pav. Įsėlių poveikis žieminių kviečių 1000 grūdų masei, g

Fig. 3. Effect of autumn and spring intercrops on winter wheat mass of 1000 grains

Pastaba: KVŽ – kviečiai, GR – grikliai, ŽIR – žirniai, GAR – baltosios garstyčios, VIK – ruginiai vikiai, B.DOB – balti dobilai, R.DOB – raudoni dobilai. Tarp variantų vidurkių, pažymėtų ta pačia raide, skirtumai yra neesminiai ($P > 0,05$).

Note: KVŽ – wheat, GR – buckwheat, ŽIR – peas, GAR – white mustard, VIK – rye vetch, B.DOB – white clover, R.DOB – red clover. Differences between the averages of treatments marked with the same letter are not significant ($P > 0.05$).

Kviečių grūdų baltymingumas. Skirtingu metu sėti įsėliai neturėjo esminės įtakos žieminių kviečių grūdų baltymingumui (4 pav.). Nustatėme, kad kviečiuose su rudeniniais įsėliais grūdų baltymingumas svyravo nuo 9,98 iki 10,23 %. Kviečiuose su pavasariniais įsėliais baltymingumas taip pat buvo panašus ir kito nuo 9,99 iki 10,18 %. Panašūs rezultatai stebėti ir ankstesnių metų to paties eksperimento tyrimuose, tačiau baltymingumas buvo vidutiniškai kiek žemesnis (Jonikas ir kt., 2025).



4 pav. Įsėlių poveikis žieminių kviečių grūdų baltymingumui, %

Fig.4. Effect of autumn and spring intercrops on protein content in winter wheat grains

Pastaba: KVŽ – kviečiai, GR – griekiai, ŽIR – žirniai, GAR – baltosios garstyčios, VIK – ruginiai vikiai, B.DOB – balti dobilai, R.DOB – raudoni dobilai. Tarp variantų vidurkių, pažymėtų ta pačia raide, skirtumai yra neesminiai ($P > 0,05$).

Note: KVŽ – wheat, GR – buckwheat, ŽIR – peas, GAR – white mustard, VIK – rye vetch, B.DOB – white clover, R.DOB – red clover. Differences between the averages of treatments marked with the same letter are not significant ($P > 0.05$).

Išvados

1. Rudeniniai įsėliai didino žieminių kviečių lapų chlorofilo koncentraciją labiau nei pavasariniai, o efektyviausias derinys buvo baltosios garstyčios+baltieji dobilai ($21 \mu\text{mol m}^{-2}$).
2. Kviečių grūdų derlingumą labiausiai skatino žirnių (rudeniniai) arba raudonųjų dobilų (pavasariniai) įsėliai, todėl optimaliausias derinys buvo žirniai+dobilai ($6,58 \text{ t ha}^{-1}$).
3. Nei įsėlių rūšis, nei jų deriniai kviečių vegetacijos metu reikšmingai nepaveikė 1000 grūdų masės ($47,23\text{--}48,94 \text{ g}$) ar grūdų baltymingumo ($9,98\text{--}10,23 \%$), nors kai kurie deriniai, pvz., žirniai+vikiai, parodė nedidelį teigiamą poveikį grūdų stambumui.

Literatūra

1. Baraibar, B., Murrell, E. G., Bradley, B. A., Barbercheck, M. E., Mortensen, D. A., Kaye, J. P., & White, C. M. (2020). Cover crop mixture expression is influenced by nitrogen availability and growing degree days. *PLoS One*, 15(7), e0235868. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0235868>
2. Barker, S., & Dennett, M. D. (2013). Effect of density, cultivar and irrigation on spring sown monocrops and intercrops of wheat (*Triticum aestivum* L.) and faba beans (*Vicia faba* L.). *European Journal of Agronomy*, 51, 108–116. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.08.001>
3. Bogužas, V. (2013). *Žemdirbystė [Elektroninis išteklius]: Vadovėlis*. Akademija: Aleksandro Stulginskio universitetas. http://dspace.lzuu.lt/bitstream/1/2507/1/Zemdirbyste_vadovelis.pdf
4. Bogvilaitė, V. (2018). Kviečių grūdų kokybės rodiklių įtaka perdirbimo produktų (krakmolo, glitimo) savybėms. *Jaunasis mokslininkas*, 77(89), 85.
5. Helfrich, M., Dechow, R., & Merl, S. (2022). *Winter cover crops and their effects on subsequent wheat yields*. Thünen Institute. <https://www.thuenen.de/en/newsroom/news/detail/paper-winterzwischenfruchtanbau>
6. Hoang, T. N., Konvalina, P., Murindangabo, Y. T., Capouchová, I., Dvořák, P., & Tran, D. H. (2025). Improving winter wheat yield and quality by wheat–legume intercropping in organic farming systems. *Organic Agriculture*, 15, 233–244.
7. Jonikas, M., Švereikaitė, A., Kimbirauskienė, R., Sinkevičienė, A., Balandaitė, J., & Romanekas, K. (2024). Pupinių šeimos įsėlių poveikis kukurūzų vystymuisi ir produktyvumui. *Žmogaus ir gamtos sauga 2024: Mokslo straipsnių rinkinys*, 30, 156–161.
8. Maikštėnienė, S. (2019). Ar rapsų pabiros galėtų tikti tarpiniams pasėliams? *Mano ūkis*, 2019(11), 20–24.
9. Marcinkevičienė, A., Rudinskienė, A., Velička, R., Kosteckas, R., & Kriaučiūnienė, Z. (2021). Weed spread and caraway (*Carum carvi* L.) crop productivity in a multi-cropping system. *Agronomy*, 11(6), 1172. <https://www.mdpi.com/2073-4395/11/6/1172>
10. Peng, Y., Wang, L., Jacinthe, P.-A., & Ren, W. (2024). Global synthesis of cover crop impacts on main crop yield. *Field Crops Research*, 310, 109343. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109343>

11. Sandler, L., Nelson, K. A., & Dudenhoefter, C. (2015). Winter wheat row spacing and alternative crop effects on relay-intercrop, double-crop, and wheat yields. *International Journal of Agronomy*, 2015(1), 369243. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1155/2015/369243>
12. Travlos, I. S., Cheimona, N., Roussis, I., & Bilalis, D. J. (2018). Weed-species abundance and diversity indices in relation to tillage systems and fertilization. *Frontiers in Environmental Science*, 6, 11. <https://www.frontiersin.org/journals/environmental-science/articles/10.3389/fenvs.2018.00011>
13. Velykis, A., & Satkus, A. (2019). Tarpiniai pasėliai ir supaprastintas žemės dirbimas: kaip suderinti technologijas. *Mano ūkis*. <https://www.manoukis.lt/mano-ukis-zurnalas/2019/08/tarpiniai-paseliai-ir-supaprastintas-zemes-dirbimas-kaip-suderinti-technologijas/>
14. Šiuliauskas, A. A. (2015). *Praktinė augalininkystė: javai ir rapsai*.

Eglė Markevičiūtė, Rokas Jonaitis, Jovita Balandaitė, Austėja Švereikaitė, Aušra Sinkevičienė, Lina Juodytė, Ignas Sujetovas, Kęstutis Romanekas

Effect of Autumn and Spring Intercrops on the Development and Productivity of Winter Wheat

Vytautas Magnus University, Lithuania

The study was conducted in 2025 at the Vytautas Magnus University, Agriculture Academy, Experimental Station. The aim of the study was to evaluate the effect of intercrops on the development and productivity of winter wheat, including leaf chlorophyll concentration, grain yield, 1000 grain mass, and grain protein content. Two factors were examined in the experiment. Factor A consisted of autumn intercrops (without intercrops, buckwheat, peas, white mustard). Factor B consisted of spring intercrops (without intercrops - control, rye vetch, white clover, red clover). The results showed that autumn intercrops increased the leaf chlorophyll concentration of winter wheat more than spring intercrops. The greatest effect was observed in the combination of white mustard + white clover (21 $\mu\text{mol m}^{-2}$). Grain yield was most positively influenced by peas in autumn and red clover in spring, with the highest yield obtained from their combination (6.58 t ha⁻¹). The species of intercrops and their combinations had no statistically significant effect on thousand-kernel weight (47.23–48.94 g) or grain protein content (9.98–10.23%). However, some combinations, such as peas + vetch, slightly increased grain size.

Keywords: *Fabaceae* and *Brassicaceae* intercrops, *Triticum aestivum*, chlorophyll, grain yield and quality.

Gauta 2026 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2026 m. balandžio mėn.

Eglė MARKEVIČIŪTĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Agronomijos fakulteto Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedros magistrantė. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361, Akademija, Kauno r., el. paštas: egle.markeviciute@vdu.lt

Eglė MARKEVIČIŪTĖ. Vytautas Magnus University, Agriculture Academy, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Sciences, master student. Address: Studentų g. 11, LT-53361, Akademija, Kaunas r., e-mail: egle.markeviciute@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 g. 11, LT-53361, Akademija, Kaunas r., 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 g. 11, LT-53361, Akademija, Kaunas r., 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 g. 11, LT-53361, Akademija, Kaunas r., e-mail: austėja.svereikaite@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 g. 11, LT-53361, Akademija, Kaunas r., 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.juodytė@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 r., e-mail: lina.juodytė@vdu.lt

Ignas SUJETOVAS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Agronomijos fakulteto Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedros bakalauras. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361, Akademija, Kauno r., el. paštas: ignas.sujetovas@vdu.lt

Ignas SUJETOVAS. Vytautas Magnus University, Agriculture Academy, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Sciences, bachelor student. Address: Studentų g. 11, LT-53361, Akademija, Kaunas r., e-mail: ignas.sujetovas@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 g. 11, LT-53361, Akademija, Kaunas r., e-mail: kestutis.romaneckas@vdu.lt

SKIRTINGŲ PRIEŠSĖLIŲ ĮTAKA PIKTŽOLIŲ SĖKLŲ KIEKIUI ŽIEMINIŲ KVIEČIŲ PASĖLYJE

Jokūbas Tunikas, Rasa Kimbirauskienė, Anicetas Lenkis, Kęstutis Romaneckas, Aušra Sinkevičienė

Vytauto Didžiojo universitetas

Tyrimas atliktas Tomo Tuniko ūkyje, Kelmės rajone, Pakražančio sen. Vileikių kaime. Tyrimo tikslas – nustatyti skirtingų priešsėlių įtaką piktžolių sėklų kiekiui žieminių kviečių pasėlyje. Eksperimento variantai: buvo pasirinkti du skirtingi priešsėliai: žieminiai rapsai (*Brassica napus* L.), daugiametė pieva. Lauko eksperimentas buvo atliekamas 3 pakartojimais, iš viso buvo 6 laukeliai. Atlikti tyrimai parodė, kad žieminių rapsų priešsėlis žieminių kviečių pasėlyje suformuoja iki 2,6 karto didesnę piktžolių sėklų banką nei daugiametė pieva, o gilesniame dirvožemio sluoksnyje šis skirtumas dar ryškesnis. Nors per vegetaciją piktžolių rūšinė įvairovė sumažėjo, baltoji balanda (*Chenopodium album* L.) išliko dominuojančia piktžole. Po derliaus nuėmimo 10–20 cm dirvožemio sluoksnyje išlikęs gausus sėklų kiekis (121,55 tūkst. vnt. m⁻²) patvirtina, kad standartinės agrotechninės priemonės nepakankamai išvalo gilesnius dirvožemio sluoksnius nuo sukauptų piktžolių sėklų.

Raktiniai žodžiai: žieminiai kviečiai, priešsėliai, piktžolės.

Įvadas

Priešsėliai teigiamai veikia dirvožemio fizines ir biologines savybes – didina organinės medžiagos kiekį, skatina bakterijų ir grybų bendrijų aktyvumą bei intensyvina dirvožemio fermentinius procesus (Liu et al., 2025). Tarptautiniai tyrimai rodo, kad priešsėliai ar žaliosios trąšos augalai gali reikšmingai sumažinti piktžolių skaičių ir jų biomasę ankstyvaisiais pasėlio augimo tarpsniais, ypač tada, kai patys priešsėliai suformuoja didelę augalinę masę. Mažesnis piktžolių kiekis dažniausiai siejamas su tankia augaline danga, kuri riboja šviesos patekimą į dirvos paviršių ir sustiprina konkurenciją dėl drėgmės bei maisto medžiagų (Wittwer et al., 2017).

Javų sėjomainose dažnas tam tikrų piktžolių plitimas yra vienas pagrindinių fitosanitarinių iššūkių, kuris gali riboti pasėlių derlingumą ir sumažinti dirvožemio produktyvumą (Tulikov, 2002). Priešsėliai (ypač žolių mišiniai) javų piktžolėtumą veikia dvejopai: tankus pasėlis piktžolės slopina, o išretėjęs – leidžia joms išplisti (Stancevičius, Trečiokas, 1995). Segetalinės bendrijos nėra prigimtinės ekosistemos dalis; jų rūšinė sudėtis ir populiacijos tankis tiesiogiai koreliuoja su taikomomis agrotechnikos priemonėmis. Todėl svarbu gerai žinoti, kaip teisingai planuoti sėjomainą. Tinkamai parinkta sėjomaina padeda sumažinti pasėlių piktžolėtumą (Raškauskienė, 2003).

Pagal verslo tyrimų duomenis, 2019 m. pasaulinė pesticidų rinka siekė 84,5 mlrd. USD, iš kurių herbicidai sudarė 51,9 proc. Nuolatinis herbicidų naudojimas prisideda prie didėjančios aplinkos taršos ir skatina piktžolių rūšių atsparumą cheminėms priemonėms (Chen et al., 2021). Anksčiau arimas buvo laikomas patikimiausiu būdu kovoti su piktžolėmis, tačiau pereinant prie beariminio žemės dirbimo pastebėta, kad laukuose padaugėjo tiek vienmečių, tiek daugiamečių piktžolių. Norint išlaikyti pasėlius kuo mažiau piktžolėtus, būtina taikyti kompleksinę piktžolių kontrolę, į kurią įeina: sėjomaina, sėjos laikas, sėklos įterpimo gylis, tinkamo herbicido pasirinkimas ir jo naudojimo laikas (Kinderienė ir kt., 2014).

Tyrimo tikslas – nustatyti skirtingų priešsėlių įtaką piktžolių sėklų kiekiui žieminių kviečių pasėlyje.

Tyrimo objektas – žieminių kviečių (*Triticum aestivum*) pasėlis, kuriame buvo taikyti skirtingi priešsėliai.

Tyrimų metodika

Priešsėlių įtakos žieminių kviečių piktžolėtumui nustatymas. Tyrimas buvo atliktas Tomo Tuniko ūkyje, Kelmės rajone, Vileikių kaime 2024–2025 m. Dirvos užterštumas piktžolių sėklomis tirtas visuose laukeliuose po sėjos ir po derliaus nuėmimo mažųjų ėminių metodu (Stancevičius, 1980). Piktžolių lietuviški ir lotyniški pavadinimai apibūdinti pagal Z. Gudžinsko „Lietuvos induočiai augalai“ 1999. Šiam tyrimui atlikti priešsėliai buvo natūraliai pasirinkti, pagal galimybes ūkio sąlygomis. Prie dirbamo lauko, kuriame augo žieminiai rapsai prijungta kita lauko dalis buvo daugiametė pieva, naudojama jau nuo 2000 m. Laukas buvo ruošiamas vienodai, sėkliuotu arimu bei paruošiant dirvą prieš sėją. Sėta buvo žieminių kviečių veislė 'Bright', po 220 kg ha⁻¹. Pasirinktuose eksperimento laukeliuose nustatytos dirvos agrocheminės savybės: pH svyravo nuo 5,1 iki 6,7, judrusis fosforas nuo 22,0 iki 208,0 mg kg⁻¹, judrusis kalis nuo 7,4 iki 92,5 mg kg⁻¹. Piktžolių sėklų banko analizė ir agrocheminių dirvožemio savybių nustatymas atlikti VDU ŽŪA „Augalinių žaliavų kokybės laboratorijoje“ bei Bandymų stoties laboratorijose. Skirtumų tarp variantų vidurkių esmingumas įvertintas naudojant t kriterijų (Raudonius, 2017). Tyrimų duomenų statistinė analizė atlikta naudojantis kompiuterine programa STAT iš programų paketo SELEKCIJA.

Rezultatai ir aptarimas

Atlikus tyrimus nustatyta, kad žieminių kviečių pasėlyje, viršutiniame tirtame dirvožemio sluoksnyje (0–10 cm), nustatytos keturios trumpaamžės ir penkios daugiamečių piktžolių rūšys (1 lentelė). Baltosios balandos (*Chenopodium album* L.) sėklų kiekis žieminių kviečių pasėlyje (0–10 cm), kurio priešsėlis žieminiai rapsai, buvo esmingai didesnis (2,2 karto), nei po daugiamečių pievos priešsėlio. Viršutiniame tirtame dirvožemio sluoksnyje (0–10 cm) vijoklinio pelėvirkščio (*Fallopia convolvulus* L.) sėklų kiekis didesnis (4,0 karto) vyravo po daugiamečių pievos priešsėlio, skirtingai nei trumpamakščio rūgčio (*Persicaria lapathifolia* L.), kurio sėklų kiekis didesnis nustatytas po žieminių rapsų priešsėlio. Didžiausias (0,65 tūkst. vnt. m⁻²) dirvinio garstuko (*Sinapis arvensis* L.) sėklų kiekis buvo žieminių kviečių pasėlyje, sėtame po žieminių rapsų.

Suskaičiavus daugiamečių piktžolių sėklas tirtame dirvožemio sluoksnyje (0–10 cm) nustatyta, kad didžiausias (1,30 tūkst. vnt. m⁻²) paprastosios juodagalvės (*Prunella vulgaris* L.) sėklų kiekis vyravo laukeliuose po žieminių rapsų priešsėlio. Didesni mėlynžiedžio vikio (*Vicia cracca* L.) ir rauktalapės rūgštynės (*Rumex crispus* L.) sėklų kiekiai buvo rasti po žieminių rapsų, o šliaužiančiojo vėdryno (*Ranunculus repens* L.) ir siauralapio gysločio (*Plantago lanceolata* L.) po daugiamečių pievos priešsėlio žieminių kviečių pasėlyje.

1 lentelė. Priešsėlių įtaka žieminių kviečių pasėlio piktžolių sėklų rūšinei sudėčiai (2024-09-21)

Table 1. The influence of pre-crops on the species diversity of weed seeds in winter wheat crops (2024-09-21)

Piktžolių rūšys / Weed species	Piktžolių sėklų skaičius tūkst. vnt. m ⁻² / Number of weed seeds thousand units per m ⁻²			
	Priešsėlis / Previous crop			
	Dirvožemio sluoksnis (0–10 cm) / Soil layer (0–10 cm)		Dirvožemio sluoksnis (10–20 cm) / Soil layer (10–20 cm)	
	Žieminiai rapsai Winter rapeseed	Daugiametė pieva Perennial meadow	Žieminiai rapsai Winter rapeseed	Daugiametė pieva Perennial meadow
Trumpaamžės piktžolės / Annual weeds				
Baltoji balanda (<i>Chenopodium album</i> L.) / Lamb's quarters	32,93 a	14,95 b	182,65 a	57,20 b
Vijoklinis pelėvirkštis (<i>Fallopia convolvulus</i> L.) / Black bindweed	0,22 a	0,87 a	0,00 a	0,00 a
Paprastoji rietmenė (<i>Echinochloa crus-galli</i> L.) / Barnyardgrass	0,0 a	0,0 a	0,65 a	1,30 a
Dirvinis garstukas (<i>Sinapis arvensis</i> L.) / Wild mustard	0,0 a	0,65 a	1,95 a	0,0 a
Trumpamakštis rūgtis (<i>Persicaria lapathifolia</i> L.) / Pale Persicaria	0,22 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a
Daugiametės piktžolės / Perennial weeds				
Šliaužiantysis vėdrynas (<i>Ranunculus repens</i> L.) / Creeping buttercup	0,00 a	0,65 a	0,00 a	1,30 a
Rauktalapė rūgštynė (<i>Rumex crispus</i> L.) / Curly dock	0,43 a	0,22 a	0,00 a	0,00 a
Paprastoji juodagalvė (<i>Prunella vulgaris</i> L.) / Common self-heal	1,3 a	0,65 a	0,00 a	0,65 a
Siauralapis gyslotis (<i>Plantago lanceolata</i> L.) / Narrowleaf plantain	0,0 a	0,22 a	0,0 a	3,90 a
Mėlynžiedis vikis (<i>Vicia cracca</i> L.) / Boreal vetch	0,65 a	0,43 a	0,65 a	0,0 a

Pastaba: Tarp variantų, pažymėtų ne ta pačia raide (a, b, c), skirtumai yra esminiai ($P < 0,05$).

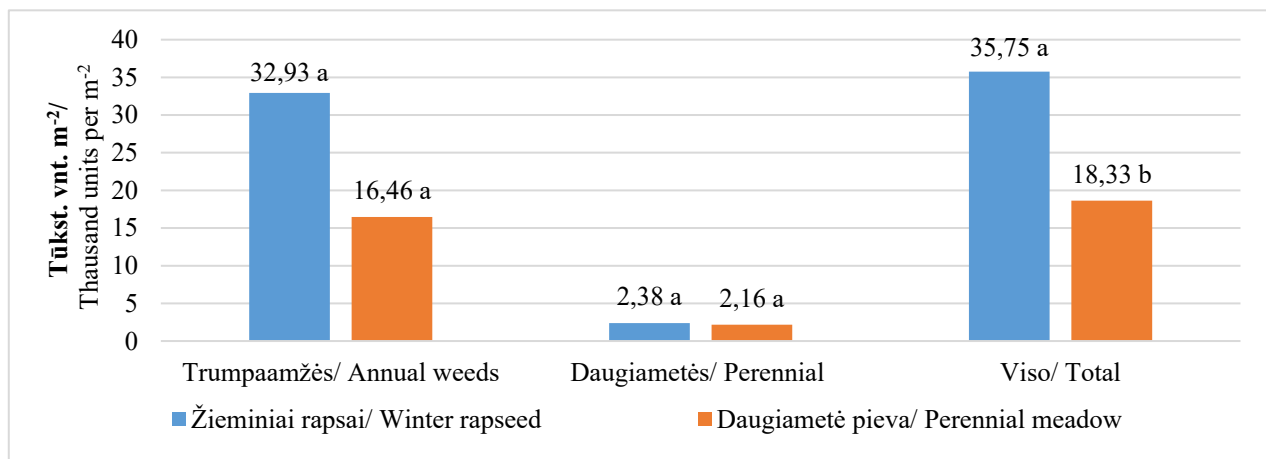
Note: Differences between treatments marked with different letters (a, b, c) are statistically significant ($P < 0.05$).

Atlikus tyrimus gilesniame (10–20 cm) tirtame dirvožemio sluoksnyje, žieminių kviečių pasėlyje po skirtingų priešsėlių, laukeliuose nustatytos trys trumpaamžių ir keturios daugiamečių piktžolių sėklų rūšys. Baltosios balandos (*Chenopodium album* L.) sėklų kiekis tirtame dirvožemio sluoksnyje nustatytas esmingai

didesnis 3,2 karto pasėlyje, sėtame po žieminio rapso priešsėlio, lyginant su daugiamečių pievos priešsėliu. Vijoklinio pelėvirkščio (*Fallopia convolvulus* L.) ir trumpamakščio rūgčio (*Persicaria lapathifolia* L.) sėklų tirtame dirvožemio sluoksnyje nenustatyta. Daugiamečių pievos priešsėlio laukeliuose nustatytas didesnis 2,0 karto paprastosios rietinės (*Echinochloa crus-galli* L.) sėklų kiekis, lyginant juos su žieminį rapsų priešsėlio laukeliais.

Suskaiciavus daugiamečių piktžolių sėklas tirtame dirvožemio sluoksnyje (10–20 cm) nustatyta, kad didžiausias (3,90 tūkst. vnt. m^{-2}) siauralapio gysločio (*Plantago lanceolata* L.) sėklų kiekis vyravo laukeliuose po daugiamečių pievos priešsėlio. Kituose laukeliuose po žieminį rapsų priešsėlio šios rūšies piktžolių sėklų nenustatyta. Žieminį kviečių pasėlyje, kuriame taikytas daugiamečių pievos priešsėlis, nustatyta šliaužiančiojo vėdryno (*Ranunculus repens* L.) (1,30 tūkst. vnt. m^{-2}) ir paprastosios juodagalvės (*Prunella vulgaris* L.) (0,65 tūkst. vnt. m^{-2}) sėklų paplitimas tirtame gilesniame dirvožemio sluoksnyje. Didesnis mėlynžiedžio vikio (*Vicia cracca* L.) sėklų kiekio paplitimas buvo nustatytas žieminį kviečių laukeliuose po žieminį rapsų priešsėlio. Rauktalapės rūgštynės (*Rumex crispus* L.) sėklų tirtuose pasėliuose nenustatyta.

Trumpaamžių piktžolių sėklų kiekis žieminį kviečių pasėlyje po žieminį rapsų priešsėlio (ŽR) siekė 32,93 tūkst. vnt. m^{-2} , o po daugiamečių pievos – 16,46 tūkst. vnt. m^{-2} (1 pav.).



1 pav. Piktžolių sėklų kiekis 0–10 cm dirvožemio sluoksnyje (2024-09-21)

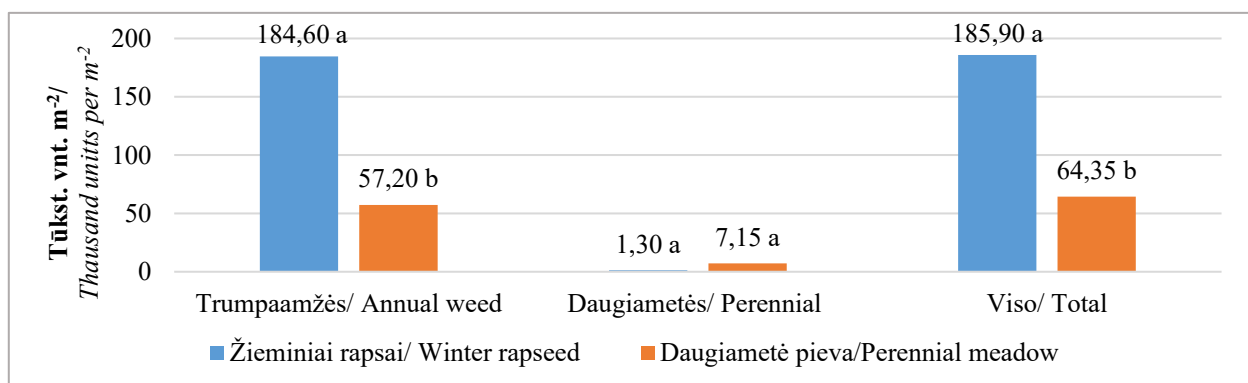
Fig. 1. Number of weed seeds in soil layer of 0–10 cm (2024-09-21)

Pastaba: tarp variantų, pažymėtų ne ta pačia raide (a, b, c), skirtumai yra esminiai ($P < 0,05$).

Note: Differences between treatments marked with different letters (a, b, c) are statistically significant ($P < 0.05$).

Nustačius bendrą daugiamečių piktžolių sėklų kiekį galima teigti, kad laukeliuose kuriuose buvo taikytas žieminio rapso priešsėlis piktžolių skaičius didesnis 10,2 proc., lyginant su daugiamečių pievos priešsėliu. Laukeliuose, kuriuose buvo taikytas žieminio rapso priešsėlis, esmingai 2,0 karto didėjo bendras piktžolių sėklų kiekis, lyginant su laukeliais, kuriuose buvo taikytas daugiamečių pievos priešsėlis.

Ištyrus piktžolių sėklų kiekį gilesniame (10–20 cm) tirtame dirvožemio sluoksnyje, trumpaamžių piktžolių sėklų kiekis laukeliuose, kuriuose taikytas žieminį rapsų priešsėlis, esmingai didesnis 3,2 karto, lyginant su daugiamečių pievos priešsėliu (2 pav.).



2 pav. Piktžolių sėklų kiekis 10–20 cm dirvožemio sluoksnyje (2024-09-21)

Fig. 2. Number of weed seeds in soil layer of 10–20 cm (2024-09-21)

Pastaba: Tarp variantų, pažymėtų ne ta pačia raide (a, b, c), skirtumai yra esminiai ($P < 0,05$).

Note: Differences between treatments marked with different letters (a, b, c) are statistically significant ($P < 0.05$).

Nustčius daugiamečių piktžolių sėklų skaičių žieminių kviečių pasėliuose, priešsėliai neturėjo esminės įtakos. Vertinant bendrą piktžolių sėklų kiekį žieminių kviečių pasėlyje nustatytas esmingai didesnis 2,9 karto piktžolių sėklų kiekis žieminio rapsų priešsėlio laukeliuose, lyginant su daugiametės pievos priešsėlio laukeliais.

Atlikus tyrimus nustatyta, kad žieminių kviečių pasėlyje, gilesniame (10–20 cm) tirtame dirvožemio sluoksnyje, nustatytos keturios trumpaamžės ir viena daugiametės piktžolių rūšis (2 lentelė).

2 lentelė. Priešsėlių įtaka žieminių kviečių pasėlio piktžolių sėklų rūšinei sudėčiai (2025-08-18)

Table 2. The influence of pre-crops on the species diversity of weed seeds in winter wheat crops (2025-08-18)

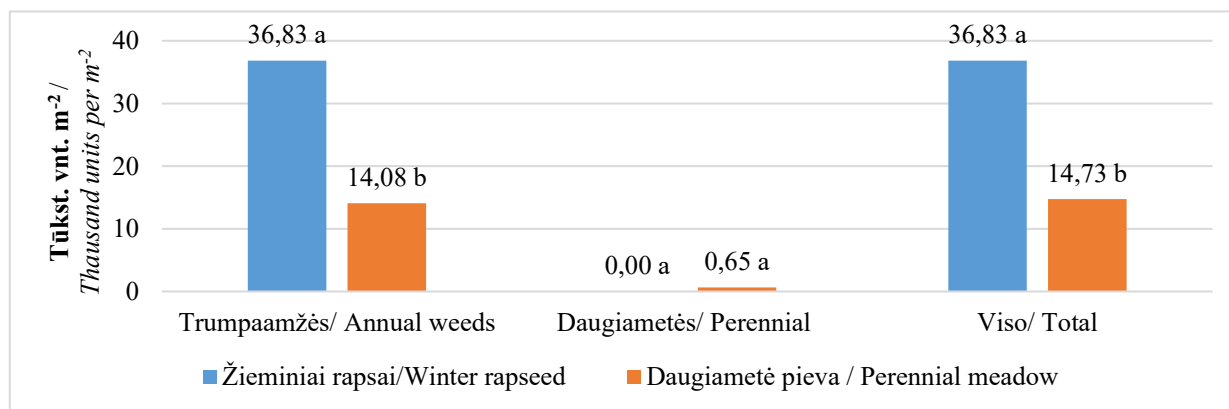
Piktžolių rūšys / Weed species	Piktžolių sėklų skaičius tūkst. vnt. m ⁻² / Number of weed seeds thousand units per m ⁻²			
	Priešsėlis / Previous crop			
	Dirvožemio sluoksnis (0–10 cm) / Soil layer (0–10 cm)		Dirvožemio sluoksnis (10–20 cm) / Soil layer (10–20 cm)	
	Žieminiai rapsai Winter rapeseed	Daugiametė pieva Perennial meadow	Žieminiai rapsai Winter rapeseed	Daugiametė pieva Perennial meadow
Trumpaamžės piktžolės / Annual weeds				
Baltoji balanda (<i>Chenopodium album</i> L.) / Lamb's quarters	36,61 a	13,87 b	120,25 a	37,70 b
Vijoklinis pelėvirkštis (<i>Fallopia convolvulus</i> L.) / Black bindweed	0,22 a	0,22 a	1,30 a	1,30 a
Dirvinė našlaitė (<i>Viola arvensis</i> L.) / Field pansy	0,00 a	0,00 a	0,00 a	1,30 a
Trumpamakštis rūgtis (<i>Persicaria lapathifolia</i> L.) / Sheep's sorrel	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,65 a
Daugiametės piktžolės / Perennial weeds				
Rauktalapė rūgštynė (<i>Rumex crispus</i> L.) / Curly dock	0,00 a	0,65 a	0,00 a	0,00 a

Pastaba: Tarp variantų, pažymėtų ne ta pačia raide (a, b, c), skirtumai yra esminiai ($P < 0,05$).

Note: Differences between treatments marked with different letters (a, b, c) are statistically significant ($P < 0.05$).

Tirtuose dirvožemio sluoksniuose baltosios balandos (*Chenopodium album* L.) sėklų kiekis žieminių kviečių pasėlyje, kurio priešsėlis žieminiai rapsai, buvo esmingai didesnis (nuo 2,6 iki 3,2 karto), nei po daugiametės pievos priešsėlio. Vijoklinio pelėvirkščio (*Fallopia convolvulus* L.) sėklų kiekis žieminių kviečių laukeliuose, tirtuose dirvožemio sluoksniuose ir skirtinguose priešdėliuose, nustatytas gana vienodas. Dirvinės našlaitės (*Viola arvensis* L.) ir trumpamakščio rūgčio (*Persicaria lapathifolia* L.) sėklų rasta tik laukeliuose, kuriuose taikytas daugiametės pievos priešsėlis, gilesniame (10–20 cm) tirtame dirvožemio sluoksnyje. Rauktalapės rūgštynės (*Rumex crispus* L.) sėklų rasta tik žieminių kviečių pasėlyje viršutiniame tirtame dirvožemio sluoksnyje, kurio priešsėlis buvo daugiametė pieva.

Atlikus tyrimus (0–10 cm) nustatyta, kad tiek trumpaamžių, tiek bendras piktžolių sėklų skaičius esmingai didesnis (nuo 2,5 iki 2,6 karto) laukeliuose, kuriuose taikytas žieminių rapsų priešsėlis (3 pav.).



3 pav. Piktžolių sėklų kiekis 0–10 cm dirvožemio sluoksnyje (2025-08-18)

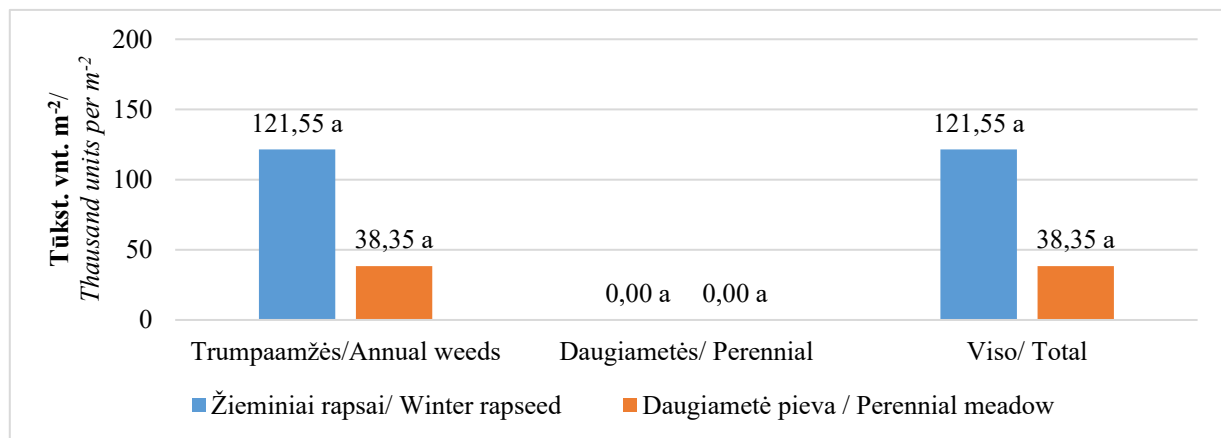
Fig. 3. Number of weed seeds in soil layer of 0–10 cm (2025-08-18)

Pastaba: Tarp variantų, pažymėtų ne ta pačia raide (a, b, c), skirtumai yra esminiai ($P < 0,05$).

Note: Differences between treatments marked with different letters (a, b, c) are statistically significant ($P < 0.05$).

Daugiametinių piktžolių sėklų nustatyta tik laukeliuose, kurių buvo priešsėlis daugiamečių pieva. Žieminių rapsų priešsėlio laukeliuose daugiamečių piktžolių sėklų tirtame dirvožemio sluoksnyje nenustatyta.

Gilesniame tirtame dirvožemio sluoksnyje nustatytos panašios tendencijos kaip ir viršutiniame dirvožemio sluoksnyje (4 pav.).



4 pav. Piktžolių sėklų kiekis 10–20 cm dirvožemio sluoksnyje (2025-08-18)

Fig. 4. Number of weed seeds in soil layer of 10–20 cm (2025-08-18)

Pastaba: tarp variantų, pažymėtų ne ta pačia raide (a, b, c), skirtumai yra esminiai ($P < 0,05$).

Note: Differences between treatments marked with different letters (a, b, c) are statistically significant ($P < 0.05$).

Daugiametinių piktžolių sėklų (10–20 cm) žieminių kviečių laukeliuose, kuriuose buvo taikyti skirtingi priešsėliai, nenustatyta.

Išvados

1. Tyrimo pradžioje (po sėjos) žieminių kviečių pasėlyje identifikuota plati rūšinė įvairovė (4 trumpaamžės ir 5 daugiamečių rūšys), tačiau po derliaus nuėmimo daugiamečių piktžolių rūšių dirvožemyje sumažėjo, nustatyta tik rauktalapė rūgštytė (*Rumex crispus* L.). Viso tyrimo metu dominuojančia rūšimi išliko baltoji balanda (*Chenopodium album* L.), kurios sėklų kiekis rapsų priešsėlio laukeliuose išliko stabiliai didelis abiejuose tirtuose dirvožemio sluoksniuose.
2. Žieminių kviečių vegetacijos pradžioje ir po derliaus nuėmimo žieminių rapsų priešsėlis lėmė esmingai didesnę piktžolių sėklų kiekį, palyginti su daugiamečių pievos priešsėliu. Po derliaus nuėmimo 0–10 cm sluoksnyje piktžolių sėklų kiekis po rapsų buvo 2,5–2,6 karto didesnis, o gilesniame sluoksnyje (10–20 cm) šis skirtumas po žieminių rapsų išliko dar ryškesnis.
3. Nustatyta, kad piktžolių sėklų atsargos gilesniame dirvožemio sluoksnyje (10–20 cm) po kviečių derliaus nuėmimo išlieka didelės (ypač po rapsų priešsėlio – 121,55 tūkst. vnt. m²) kas rodo, jog agrotechninės priemonės vegetacijos metu nepakankamai sumažino gilesnių sluoksnių užterštumą piktžolių sėklomis.

Literatūra

1. Chen, J., Yu, Q., Patterson, E., Sayer, C., & Powles, S. (2021). Dinitroaniline herbicide resistance and mechanisms in weeds. *Frontiers in Plant Science*, 12, 634018.
2. Gudžinskas, Z. (1999). *Lietuvos induočiai augalai*. Botanikos Inst. Leidykla.
3. Kinderienė, I. (2014). Piktžolėtumo pokyčiai javų pasėliuose taikant neariminį žemės dirbimą eroduojamose dirvose. *Žemės ūkio mokslai*, 21(3).
4. Liu, G., He, A., Yang, Z., Lv, J., Pan, X., Zheng, N., & Du, J. (2025). Introducing intercropping into rotation system altered the structure, function and network complexity of soil microbial communities in farmlands of the North China Plain. *Applied Soil Ecology*, 211, 106094.
5. Raškauskienė, A. (2003). *Segetinės floros ir makrofaunos (Lumbricidae) tyrimai javų sėjomainose tausojamosios žemdirbystės sistemoje*. Daktaro disertacija. Kaunas, 134 p.
6. Raudonius, S. (2017). Application of statistics in plant and crop research: important issues. *Zemdirbyste-Agriculture*, 104(4), 377–382.

7. Stancevičius A. Trečiokas K. Piktžolės specializuotose sėjomainose. *Piktlėtumo problemos dabartinėmis ūkininkavimo sąlygomis Baltijos regione: mokslinės konferencijos pranešimai*. Kaunas-Akademija, 1995, 250–261.
8. Stancevicius, A. (1980). New Rational Method for Determining Weed Seed Content in the Soil. *Agronomy, Land Reclamation and Hydro-Engineering*.
9. Tulikov A. M. (2002). Vredonosnost' sornych rastenij v posevach polevych kul'tur. *Izvestija TSCHA*. No.1, 92–107.
10. Wittwer, R. A., Dorn, B., Jossi, W., & Van der Heijden, M. G. (2017). Cover crops support ecological intensification of arable cropping systems. *Scientific reports*, 7(1), 41911.

Jokūbas Tunikas, Rasa Kimbirauskienė, Ancetas Lenkis, Kęstutis Romaneckas, Aušra Sinkevičienė

The Influence of Different Pre-Crops on the Amount of Weed Seeds in Winter Wheat Crops

Vytautas Magnus University, Lithuania

The study was conducted on the farm of Tomas Tunikas, Kelmė district, Pakražanų sen. Vileikiai village. The aim of the study was to determine the influence of different pre-sowings on the amount of weed seeds in a winter wheat crop. Experimental treatments: two different pre-sowings were selected: winter rapeseed (*Brassica napus* L.), perennial meadow. The field experiment was carried out in 4 replicates, there were 8 fields in total. The studies showed that the winter rapeseed pre-sowing in a winter wheat crop forms up to 2.6 times larger weed seed bank than perennial meadow, and in the deeper soil layer this difference is even more significant. Although the species diversity of weeds decreased during the vegetation period, white pigeonpea (*Chenopodium album* L.) remained the dominant weed. The large amount of seeds (121.55 thousand pcs. m⁻²) remaining in the 10–20 cm soil layer after harvest confirms that standard agrotechnical measures do not sufficiently clear the deeper soil layers of accumulated weed stocks.

Keywords: Winter wheat, preceding crops, weeds.

Gauta 2026 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2026 m. balandžio mėn.

Jokūbas TUNIKAS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos, Agronomijos fakulteto, Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedros Agronomijos studijų programos bakalauras. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r. Tel. +37061372370, el. paštas: jokubas.tunikas@vdu.lt.

Jokūbas TUNIKAS. Agriculture Academy of Vytautas Magnus University, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Science, bachelor's degree graduate in Agronomy. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r. Tel. +370 61372370, e-mail: jokubas.tunikas@vdu.lt

Rasa KIMBIRAUSKIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos, Agronomijos fakulteto, Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedros biomedicinos (žemės ūkio) mokslų daktarė, asistentė. Adresas: Studentų g. 15, LT-53361 Akademija, Kauno r. Tel. +370 65645914, el. paštas: ausra.sinkeviciene@vdu.lt

Rasa KIMBIRAUSKIENĖ. Agriculture Academy of Vytautas Magnus University, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Science, Doctor of Biomedical Science, assistant. Address: Studentų g. 15, LT-53361 Akademija, Kauno r. Tel. +370 65645914, e-mail: ausra.sinkeviciene@vdu.lt.

Anicetas LENKIS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos, Agronomijos fakulteto, Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedros Agronomijos studijų programos magistrantas. Adresas: Studentų g. 15, LT-53361 Akademija, Kauno r. Tel. +370 65047614, el. paštas: anicetas.lenkis@vdu.lt

Anicetas LENKIS. 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. Tel. +370 65047614, e-mail: anicetas.lenkis@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 65630044, el. paštas: kestutis.romanekas@vdu.lt

Kęstutis Romaneckas. Agriculture Academy of Vytautas Magnus University, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Sciences, Doctor of Biomedical Sciences, Professor. Address: Studentu 11, LT-53361 Akademija, Kauno distr. Phone: +370 65630044, el. e-mail: kestutis.romanekas@vdu.lt

Aušra SINKEVIČIENĖ. 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 68666859, 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 r. Tel. +370 68666859, e-mail: ausra.sinkeviciene@vdu.lt

SKIRTINGO ŽEMĖS DIRBIMO ĮTAKA PIKTŽOLIŲ SĖKLŲ KIEKIUI ŽIEMINIŲ KVIEČIŲ PASĖLIO DIRVOŽEMYJE

Arvydas Ulpis, Anicetas Lenkis, Augustas Sederevičius, Aušra Sinkevičienė,
Rasa Kimbirauskienė

Vytauto Didžiojo universitetas

Piktžolių sėklų bankas dirvožemyje laikomas pagrindiniu piktžolių plitimo ir išlikimo šaltiniu žemės ūkio ekosistemose, nes būtent jis lemia būsimų piktžolių bendrųjų sudėtį, gausumą ir pasiskirstymą pasėliuose. Dirvožemyje sukauptos gyvybingos sėklos gali išlikti daugelį metų ar net dešimtmečių, todėl net ir taikant efektyvias kontrolės priemones trumpuoju laikotarpiu, piktžolių atsinaujinimas išlieka galimas dėl anksčiau susiformavusio sėklų rezervu. Tyrimas atliktas ūkininko Tomo Tuniko ūkyje, esantis Kelmės rajone, Pakražančio seniūnijoje, Vileikių kaime. Tyrimo tikslas – nustatyti skirtingo žemės dirbimo įtaką piktžolių sėklų kiekiui žieminių kviečių pasėlyje. Eksperimento variantai: tyrimui atlikti buvo pasirinkti 2 žemės dirbimai: 1) Gilus arimas - 20 cm; 2) sekusis purenimas - 10 cm. Buvo atlikti 3 pakartojimai, iš viso 6 bandyminiai laukeliai. Apibendrinant tyrimo rezultatus nustatyta, kad skirtingos žemės dirbimo technologijos turėjo įtakos piktžolių sėklų banko dydžiui ir jų pasiskirstymui dirvožemio sluoksniuose žieminių kviečių (*Triticum aestivum* L.) pasėlyje. Tyrimo duomenys parodė, kad sekliai purenant dirvą piktžolių sėklų skaičius buvo didesnis tiek viršutiniame (0–10 cm) (nuo 1,8 iki 3,4 karto), tiek gilesniame (10–20 cm) (nuo 1,6 iki 1,7 karto) dirvožemio sluoksniuose, palyginti su gilaus arimo variantu. Didžiausią piktžolių sėklų banko dalį sudarė trumpaamžės piktžolių rūšys, tarp kurių dominavo (nuo 4,5 iki 20,8 tūkst. vnt. m⁻²) baltoji balanda (*Chenopodium album* L.). Tyrimo rezultatai rodo, kad žemės dirbimo būdas gali turėti reikšmingą poveikį piktžolių sėklų banko formavimuisi dirvožemyje, todėl tinkamai parinkta dirvos dirbimo technologija gali būti svarbi agrotechninė priemonė reguliuojant piktžolėtumą ir prisidedant prie tvaresnės piktžolių kontrolės žieminių kviečių pasėliuose.

Raktiniai žodžiai: žieminiai kviečiai, žemės dirbimas, piktžolės.

Įvadas

Piktžolių sėklų bankas dirvožemyje yra pagrindinis piktžolių plitimo šaltinis, lemiantis jų rūšinę sudėtį ir gausumą pasėliuose (Auškalnienė ir kt., 2018; Zhang et al., 2021). Dirvožemyje sukauptos gyvybingos sėklos gali išlikti kelerius metus, todėl net ir taikant kontrolės priemones piktžolės gali atsinaujinti. Sėklų banko dydis ir sudėtis atspindi taikomas laukų valdymo praktikas, tokias kaip sėjomaina ar dirvos dirbimas (Auškalnienė et al., 2018; Hunková et al., 2014). Todėl jo analizė svarbi vertinant piktžolių kontrolės veiksmingumą ir planuojant tvaresnes ūkininkavimo priemones.

Žemės dirbimas laikomas viena svarbiausių agrotechninių priemonių, tiesiogiai veikiančių piktžolių populiacijų dinamiką žieminių kviečių pasėliuose. Skirtingų dirbimo technologijų taikymas – nuo tradicinio arimo iki tiesioginės sėjos – reikšmingai keičia dirvožemyje esančio piktžolių sėklų banko išsidėstymą, rūšinę sudėtį ir piktžolių gausumą pasėliuose (Bārberi, Cascio, 2001; Auškalnienė ir kt., 2018). Žemės dirbimas yra viena svarbiausių agrotechninių priemonių, turinčių tiesioginę įtaką piktžolių sėklų banko dydžiui, rūšinei sudėčiai ir jų pasiskirstymui dirvožemio sluoksniuose (Skuodienė ir kt., 2020; Auškalnienė ir kt., 2018). Tradicinis žemės dirbimas gali sukelti intensyvų viršutinio sluoksnio suplūkimą ir sėklų išplitimą, kas gali didinti piktžolių sėklų pasiskirstymą aukštesniuose dirvožemio sluoksniuose arba sumažinti jų gyvybingumą priklausomai nuo aplinkos sąlygų (Jaskulska ir Jaskulski, 2020). Nustatyta, kad juostinis žemės dirbimas gali sumažinti ar pakeisti sėklų banko dydį ir įvairovę viršutiniame dirvožemio sluoksnyje bei skirtingai kaupti sėklas priklausomai nuo priešsėlio rūšies (Hossain et al., 2021). Taikant skirtingas žemės dirbimo sistemas – nuo tradicinio gilaus arimo iki supaprastinto dirbimo ar tiesioginės sėjos – keičiasi sėklų įterpimo gylis, jų sudygimo sąlygos ir išlikimo trukmė. Dėl šių pokyčių formuojasi skirtinga piktžolių bendrųjų struktūra, kuri gali turėti ilgalaikį poveikį piktžolėtumui žieminių kviečių pasėliuose (Auškalnienė ir kt., 2018; Skuodienė ir kt., 2020; Colbach et al., 2012). Todėl žemės dirbimo pasirinkimas yra svarbus veiksnys planuojant veiksmingą ir tvarią piktžolių kontrolės strategiją (Barberi, Lo Cascio, 2001).

Šio tyrimo naujumas grindžiamas žemės dirbimo sistemų poveikio vertinimu piktžolių sėklų banko vertikaliam pasluoksniavimui (stratifikacijai), papildant agrarinių mokslų išvalgas apie minimalaus dirbimo rizikas Baltijos šalių klimato sąlygomis, todėl tyrimo tikslas – nustatyti skirtingo žemės dirbimo įtaką piktžolių sėklų kiekiui žieminių kviečių (*Triticum aestivum* L.) pasėlyje.

Tyrimų metodika

Žemės dirbimo technologijų įtakos nustatymas. Tyrimai atlikti ūkininko Tomo Tuniko ūkyje, esančiame Kelmės rajone, Pakražančio seniūnijoje, Vileikių kaime. Dirvožemio agrocheminės savybės: pH – 4,61–6,27 (nuo rūgštaus iki artimo neutraliam), P₂O₅ – 8,4–65,7 mg kg⁻¹, K₂O – 20,4–75,9 mg kg⁻¹. Pasirinkta žieminių

kviečių veislė 'Bright', taikyta sėjos norma 220 kg ha⁻¹. Sėjos gylis 4 cm. Sėjos data 2024 rugsėjo 19 d. Laukas buvo įdirbtas dviem skirtingais žemės dirbimo būdais: Gilusis arimas (GA) – 20 cm; Seklusis purenimas (SP) – 10 cm. Žemės dirbimas: arta buvo su vartomu 4 korpusų „Kverneland S150“ verstuvėmis „NO28“; sėklusis skutimas atliktas su diskiniu skutikliu „Lemken Rubin 10/500 KUA“. Iš rudens panaudoti herbicidai: „Eledura“ „Ergon“; „Periplus leaf“. Eksperimentas atliktas trimis pakartojimais, iš viso 6 eksperimentiniai laukeliai.

Dirvos užteršimas piktžolių sėklomis tirtas visuose laukeliuose po sėjos ir po kultūrinių augalų derliaus nuėmimo mažųjų ėminių metodu (Stancevičius, 1980). Piktžolių lietuviški ir lotyniški pavadinimai pateikti pagal Z. Gudžinsko „Lietuvos induočiai augalai“ 1999.

Skirtumų tarp variantų vidurkių esmingumas įvertintas naudojant t kriterijų (Raudonius, 2017). Piktžolėtumo tyrimų duomenys, neatitinkantys normaliojo skirstinio dėsnio, prieš statistinį įvertinimą buvo transformuojami naudojant funkciją $y = \lg_{10}(x+1)$. Tyrimų duomenų statistinė analizė atlikta naudojantis kompiuterine programa STAT iš programų paketo SELEKCIJA.

Rezultatai ir aptarimas

Supaprastinto arba gilesnio arimo tikslas yra piktžolių sėklų banko mažinimas, tačiau tyrimai rodo, kad sėklų banko dinamikos rezultatai priklauso nuo dirvos tipo, piktžolių rūšių, arimo gylio bei kt. Lietuvos bei užsienio patirtys rodo, kad gilusis arimas gali sumažinti trumpaamžes piktžoles, bet sėklų bankui gali įtakos neturėti arba net skatinti daugiamečių piktžolių plitimą (Velička ir kt., 2015).

Atlikus tyrimus nustatyta, kad žieminių kviečių pasėlyje, viršutiniame tirtame dirvožemio sluoksnyje (0–10 cm), taikant skirtingus žemės dirbimus, vyravo penkios trumpaamžės ir dvi daugiametės piktžolių rūšys (1 lentelė).

1 lentelė. Pagrindinio žemės dirbimo įtaka žieminių kviečių pasėlio piktžolių sėklų skaičiui ir rūšinei sudėčiai 2024 m.

Table 1. The influence of tillage on the species composition of weed seeds in a winter wheat crop 2024

Piktžolių rūšys / Weed species	Piktžolių sėklų skaičius tūkst. vnt. m ⁻² / Number of weed seeds in thousand unit's pcs. m ⁻²			
	Žemės dirbimas / Tillage systems			
	Dirvožemio sluoksnis (0–10 cm) / Soil layer (0–10 cm)		Dirvožemio sluoksnis (10–20 cm) / Soil layer (10–20 cm)	
	Gilus arimas (GA) / Deep ploughing (DP)	Seklusis purenimas (SP) / Shallow loosening in autumn (SL)	Gilus arimas (GA) / Deep ploughing (DP)	Seklusis purenimas (SP) / Shallow loosening in autumn (SL)
Trumpaamžės piktžolės / Annual and biennial weeds				
Baltoji balanda (<i>Chenopodium album</i> L.) / Lamb's quarters	5,42a	18,63a	4,55a	20,80a
Vijoklinis pelėvirkštis (<i>Fallopia convolvulus</i> L.) / Black bindweed	0,00a	1,08a	0,00a	2,60a
Dirvinė neužmirštuolė (<i>Myosotis arvensis</i> L.) / Field scorpion-grass	0,00a	0,650 a	5,20 a	7,15a
Dirvinis garstukas (<i>Sinapis arvensis</i> L.) / Wild mustard	0,43a	0,43a	5,85a	0,00a
Siauralapis vikis (<i>Vicia angustifolia</i> L.) / Narrow-leaved vetch	0,00a	0,00a	0,65a	0,65a
Daugiametės piktžolės / Perennial weeds				
Paprastoji baltagalvė (<i>Leucanthemum vulgare</i> L.) / Ox-eye daisy	0,43a	0,00a	2,60a	0,00a
Mėlynžiedis vikis (<i>Vicia cracca</i> L.) / Tufted vetch	0,00a	0,87a	1,30a	0,00a

Pastaba: variantų vidurkiai, pažymėti skirtingomis raidėmis (a, b, c), žymi esminius skirtumus tarp skirtingų žemės dirbimų ($P \leq 0,05$).

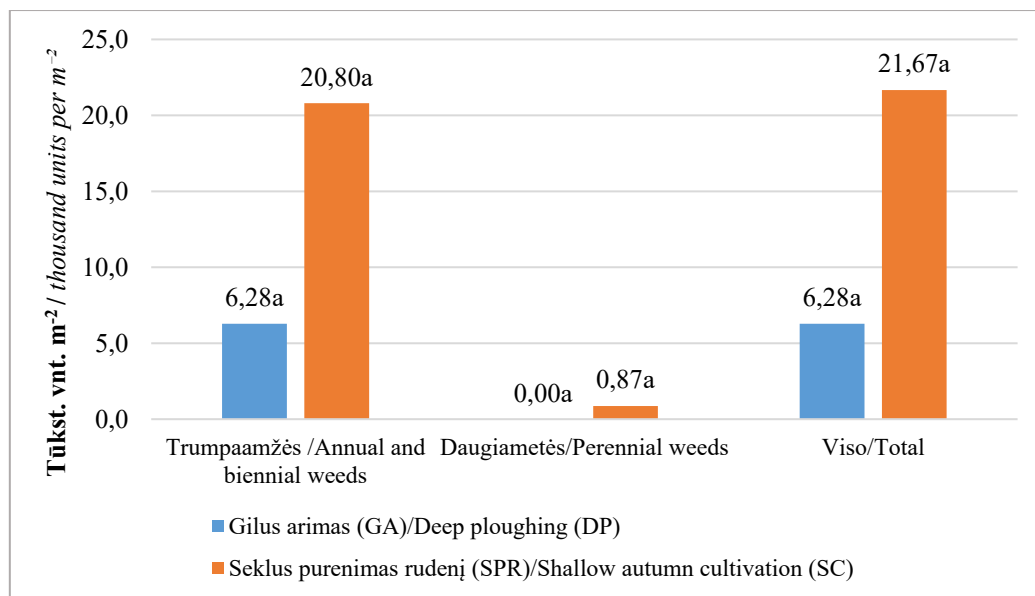
Note: differences between the averages of treatments, marked with different letters (a, b, c), are significant ($P < 0.05$).

Ištyrus piktžolių rūšinę sudėtį skirtinguose dirvožemio sluoksniuose, taikant skirtingas žemės dirbimo sistemas esminių skirtumų nenustatyta. Taip pat tyrimų rezultatai rodo, kad iš trumpaamžių piktžolių, vyravo baltosios balandos (*Chenopodium album* L.) sėklos. Sekliai purentuose laukeliuose (SP) nustatytas didesnis

baltosios balandos (*Chenopodium album* L.) (nuo 3,4 iki 4,6 karto), vijoklinio pelėvirkščio (*Fallopia convolvulus* L.) bei dirvinės neužmirštuolės (*Myosotis arvensis* L.) sėklų skaičius, lyginant su gilaus arimo laukeliais (GA). Žieminių kviečių pasėlyje siauralapio vikio (*Vicia angustifolia* L.) sėklų, tirtame dirvožemio sluoksnyje (0–10 cm) nenustatyta, taikant skirtingas žemės dirbimo sistemas. Viršutiniame tirtame (0–10 cm) dirvožemio sluoksnyje dirvinio garstuko (*Sinapis arvensis* L.) (0,43 tūkst. vnt. m^{-2}), o gilesniame (10–20 cm) siauralapio vikio (*Vicia angustifolia* L.) (0,65 tūkst. vnt. m^{-2}) sėklų kiekis nustatytas vienodas laukeliuose, kuriuose taikytos skirtingos žemės dirbimo sistemos.

Iš daugiamečių piktžolių rūšių vyravo tik paprastosios baltagalvės (*Leucanthemum vulgare* L.) ir mėlynžiedžio vikio (*Vicia cracca* L.) sėklos, tirtuose dirvožemio sluoksniuose, taikant skirtingas žemės dirbimo sistemas. Paprastosios baltagalvės (*Leucanthemum vulgare* L.) sėklų skaičius nustatytas didesnis giliai artuose (GA) laukeliuose viršutiniame ir gilesniame dirvožemio sluoksnyje, nei sekliai purentuose (SP) laukeliuose. Mėlynžiedžio vikio (*Vicia cracca* L.) sėklų skaičiaus pasiskirstymas nustatytas nevienodas skirtinguose dirvožemio sluoksniuose, taikant žemės dirbimo sistemas.

Trumpaamžių piktžolių sėklų skaičius tirtame viršutiniame (0–10 cm) dirvožemio sluoksnyje taikant gilų arimą sudarė 6,28 tūkst. vnt. m^{-2} , o taikant seklią purinimą – 20,80 tūkst. vnt. m^{-2} . Daugiamečių piktžolių sėklų skaičius viršutiniame sluoksnyje gilaus arimo variante buvo 0,00 tūkst. vnt. m^{-2} , o sekliojo purenimo – 0,87 tūkst. vnt. m^{-2} . Bendras piktžolių sėklų skaičius 0–10 cm sluoksnyje, taikant gilų arimą, siekė 6,28 tūkst. vnt. m^{-2} , o taikant seklią purinimą skaičius padidėjo – 3,45 karto (21,67 tūkst. vnt. m^{-2}). Esminių skirtumų nenustatyta (1 pav.).



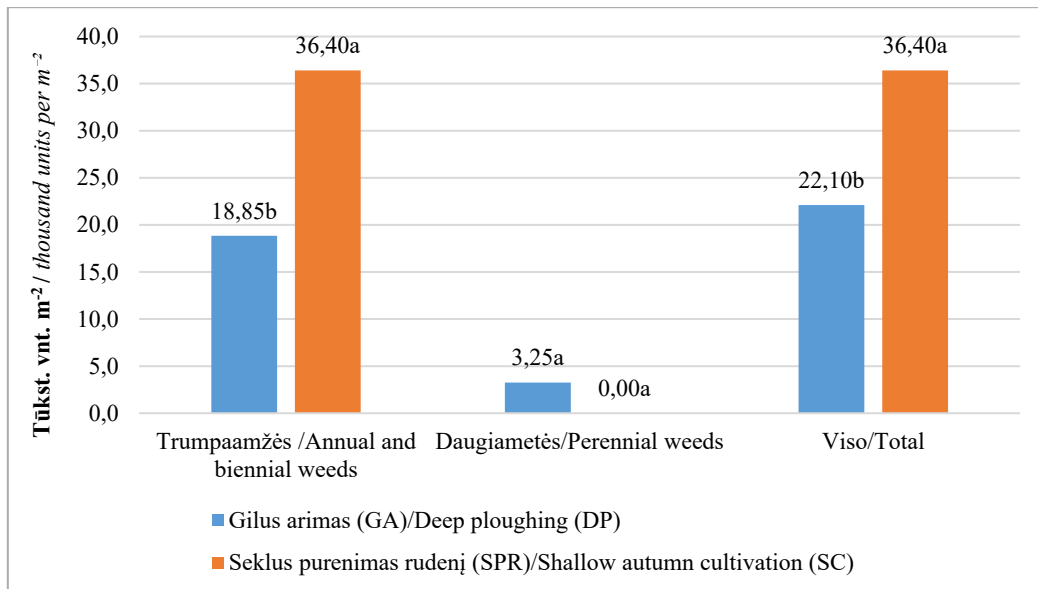
1 pav. Piktžolių sėklų skaičius 0–10 cm dirvožemio sluoksnyje (2024 09 20)

Fig. 1. Weed seed quantity in the 0–10 cm soil layer (2024 09 20)

Pastaba: variantų vidurkiai, pažymėti skirtingomis raidėmis (a, b, c), žymi esminius skirtumus tarp skirtingų žemės dirbimų ($P \leq 0,05$).

Note: differences between the averages of treatments, marked with different letters (a, b, c), are significant ($P < 0.05$).

Trumpaamžių piktžolių sėklų skaičius tirtame gilesniame 10–20 cm sluoksnyje, taikant gilų arimą, siekė 18,85 tūkst. vnt. m^{-2} ir buvo statistiškai reikšmingai mažesnis (1,9 karto) nei taikant seklią purinimą, kur nustatyta 36,40 tūkst. vnt. m^{-2} . Daugiamečių piktžolių sėklų skaičius gilaus arimo variante sudarė 3,25 tūkst. vnt. m^{-2} , o sekliojo purenimo – 0,00 tūkst. vnt. m^{-2} . Tarp šių variantų statistiškai reikšmingų skirtumų nenustatyta. Bendras piktžolių sėklų skaičius 10–20 cm sluoksnyje taikant gilų arimą buvo 22,10 tūkst. vnt. m^{-2} ir statistiškai reikšmingai mažesnis (1,65 karto), palyginti su sekliojo purenimo variantu – 36,40 tūkst. vnt. m^{-2} (2 pav.).



2 pav. Piktžolių sėklų kiekis 10–20 cm dirvožemio sluoksnyje (2024 09 20)

Fig. 2. Weed seed quantity in the 10–20 cm soil layer (2024 09 20)

Pastaba: variantų vidurkiai, pažymėti skirtingomis raidėmis (a, b, c), žymi esminius skirtumus tarp skirtingų žemės dirbimų ($P \leq 0,05$).
Note: differences between the averages of treatments, marked with different letters (a, b, c), are significant ($P < 0.05$).

Atlikus

Atlikus tyrimus po derliaus nuėmimo nustatyta, kad žieminių kviečių pasėlyje, viršutiniame tirtame dirvožemio sluoksnyje (0–10 cm), taikant skirtingus žemės dirbimus vyravo penkios trumpaamžės piktžolių rūšys (2 lentelė). Esminių skirtumų piktžolių rūšių sudėtyje skirtinguose dirvožemio sluoksniuose, taikant įvairias žemės dirbimo sistemas, nenustatyta. Bandymo rezultatai rodo, kad iš trumpaamžių piktžolių vėl vyravo baltosios balandos (*Chenopodium album* L.) sėklos.

2 lentelė. Žemės dirbimo įtaka žieminių kviečių pasėlio piktžolių sėklų rūšinei sudėčiai (2025 08 15)

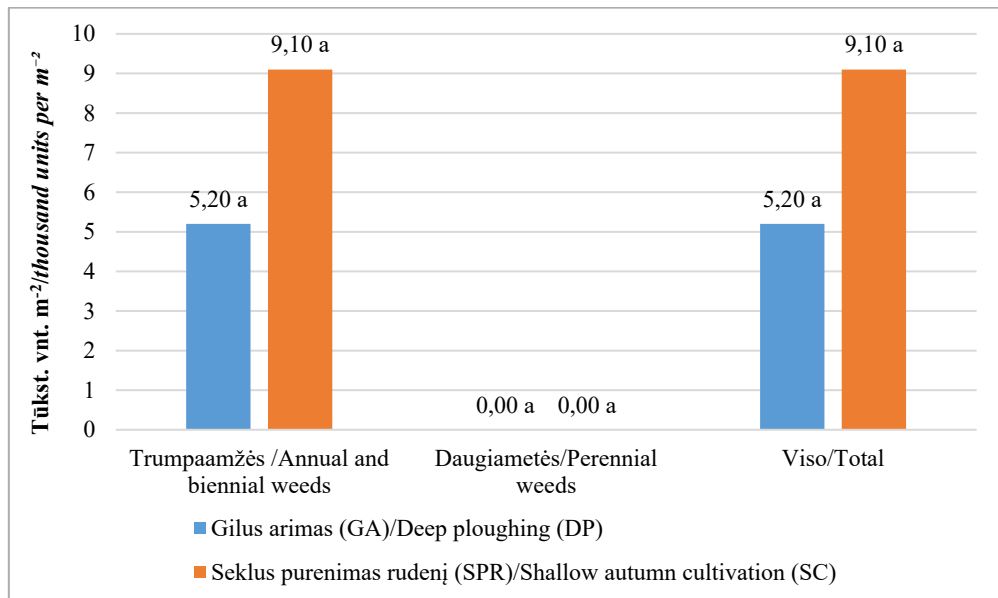
Table 2. The influence of tillage on the species composition of weed seeds in a winter wheat crop (2025 08 15)

Piktžolių rūšys / Weed species	Piktžolių sėklų skaičius tūkst. vnt. m ⁻² / Number of weed seeds thousand units per m ⁻²			
	Žemės dirbimas / Tillage systems			
	Dirvožemio sluoksnis (0–10 cm) / Soil layer (0–10 cm)		Dirvožemio sluoksnis (10–20 cm) / Soil layer (10–20 cm)	
	Gilus arimas (GA) / Deep ploughing (DP)	Seklusis purenimas (SP) / Shallow loosening in autumn (SL)	Gilus arimas (GA) / Deep ploughing (DP)	Seklusis purenimas (SP) / Shallow loosening in autumn (SL)
Trumpaamžės piktžolės / Annual and biennial weeds				
Baltoji balanda (<i>Chenopodium album</i> L.) / Lamb's quarters	4,55a	8,45a	9,10a	18,20a
Vijoklinis pelėvirškštis (<i>Fallopia convolvulus</i> L.) / Black bindweed	0,22a	0,00a	0,00a	0,00a
Dirvinė neužmirštuolė (<i>Myosotis arvensis</i> L.) / Field scorpion-grass	0,00a	0,43a	0,00a	0,00a
Siauralapis vikis (<i>Vicia angustifolia</i> L.) / Narrow- leaved vetch	0,22 a	0,00a	0,65a	0,65a
Dirvinė našlaitė (<i>Viola arvensis</i> L.) / Field pansy	0,00a	0,22a	1,95a	0,65a
Dirvinė krapažolė (<i>Euphorbia helioscopia</i> L.) / Sun spurge	0,22a	0,00a	0,00a	0,00a

Pastaba: variantų vidurkiai, pažymėti skirtingomis raidėmis (a, b, c), žymi esminius skirtumus tarp skirtingų žemės dirbimų ($P \leq 0,05$).
Note: differences between the averages of treatments, marked with different letters (a, b, c), are significant ($P < 0.05$).

Sekliai purentuose laukeliuose rudenį (SP) aptiktas didesnis baltosios balandos (*Chenopodium album* L.) (nuo 1,86 iki 2 karto) bei dirvinės neužmirštuolės (*Myosotis arvensis* L.) sėklų skaičius, lyginant su gilaus arimo laukeliais (GA). Vijoklinio pelėvirkščio (*Fallopia convolvulus* L.) ir dirvinė krapazolė (*Euphorbia helioscopia* L.) sėklų skaičius viršutiniame dirvožemio sluoksnyje (0–10 cm) buvo fiksuotas toks pat (0,22 tūkst. vnt. m^{-2}). Siauralapio vikio (*Vicia angustifolia* L.) sėklų buvo nustatyta vienodai (0,65 tūkst. vnt. m^{-2}) gilesniame dirvožemio sluoksnyje taikant skirtingus žemės dirbimo metodus. Dirvinės našlaitės (*Viola arvensis* L.) sėklų kiekis didžiausias buvo aptiktas (10–20 cm) sluoksnyje (1,95 tūkst. vnt. m^{-2}).

Trumpaamžių piktžolių sėklų kiekis po derliaus nuėmimo tirtame viršutiniame (0–10 cm) dirvožemio sluoksnyje taikant gilų arimą sudarė 5,20 tūkst. vnt. m^{-2} , o taikant sekliųjį purenimą – 9,10 tūkst. vnt. m^{-2} . Daugiamečių piktžolių nebuvo aptikta. Esminių skirtumų neatrasta (3 pav.).

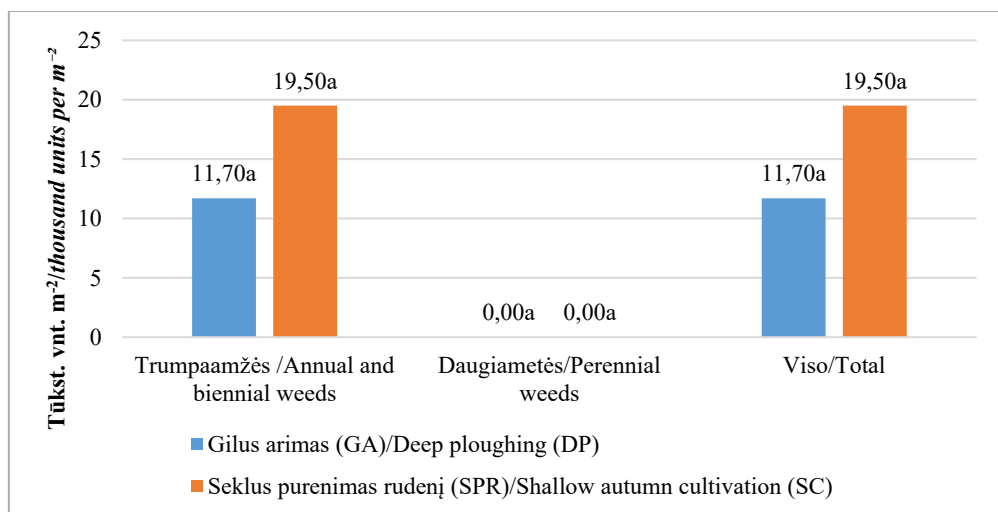


3 pav. Piktžolių sėklų kiekis 0–10 cm dirvožemio sluoksnyje (2025 08 15)

Fig. 3. Weed seed quantity in the 0–10 cm soil layer (2025 08 15)

Pastaba: variantų vidurkiai, pažymėti skirtingomis raidėmis (a, b, c), žymi esminius skirtumus tarp skirtingų žemės dirbimų ($P \leq 0,05$).
Note: differences between the averages of treatments, marked with different letters (a, b, c), are significant ($P < 0.05$).

Trumpaamžių piktžolių sėklų kiekis po derliaus nuėmimo gilesniame dirvožemio sluoksnyje taikant gilų arimą sudarė 11,70 tūkst. vnt. m^{-2} , o taikant seklių rudeninį purenimą – 19,50 tūkst. vnt. m^{-2} . Nors sekliai purenant nustatyta didesnė trumpaamžių piktžolių sėklų gausa, esminių skirtumų tarp variantų nenustatyta. Suminis piktžolių sėklų kiekis 10–20 cm sluoksnyje atitiko trumpaamžių piktžolių kiekį. Daugiamečių piktžolių neatrasta (6 pav.).



4 pav. Piktžolių sėklų kiekis 10–20 cm dirvožemio sluoksnyje (2025 08 15)

Fig. 4. Weed seed quantity in the 10–20 cm soil layer (2025 08 15)

Pastaba: variantų vidurkiai, pažymėti skirtingomis raidėmis (a, b, c), žymi esminius skirtumus tarp skirtingų žemės dirbimų ($P \leq 0,05$).
Note: differences between the averages of treatments, marked with different letters (a, b, c), are significant ($P < 0.05$).

Išvados

1. Nustatyta, kad žemės dirbimo technologija neturėjo esminės įtakos piktžolių sėklų banko dydžiui žieminių kviečių pasėlio dirvožemyje. Viršutiniame 0–10 cm dirvožemio sluoksnyje taikant gilų arimą bendras piktžolių sėklų skaičius sudarė 6,28 tūkst. vnt. m^{-2} , o taikant seklią purvimą – padidėjo iki 21,67 tūkst. vnt. m^{-2} , t. y. buvo 3,45 karto didesnis.
2. Seklusis dirvos purvimas sudarė palankesnes sąlygas kai kurių piktžolių rūšių sėklų kaupimuisi dirvožemyje. Tokiuose laukuose nustatytas didesnis (nuo 1,86 iki 2 karto) baltosios balandos (*Chenopodium album* L.), vijoklinio pelėvirkščio (*Fallopia convolvulus* L.) ir dirvinės neužmirštuolės (*Myosotis arvensis* L.) sėklų skaičius, palyginti su gilaus arimo variantu.
3. Tyrimo rezultatai rodo, kad gilaus arimo taikymas gali prisidėti prie mažesnio piktžolių sėklų kiekio viršutiniame dirvožemio sluoksnyje ir gali būti svarbi agrotechninė priemonė reguliuojant piktžolių sėklų banką bei mažinant piktžolėtumą žieminių kviečių pasėliuose.

Literatūra

1. Auškalnienė, O., Kadžienė, G., Janušauskaitė, D., Supronienė, S. (2018). Changes in weed seed bank and flora as affected by soil tillage systems. *Zemdirbyste-Agriculture*, 105 (3), 221–226.
2. Auškalnienė, O., Kadžienė, G., Janušauskaitė, D., Supronienė, S. (2018). Changes in weed seed bank and flora as affected by soil tillage systems. *Zemdirbyste-Agriculture*, 105 (3), 221–226.
3. Barberi, P., and Lo Cascio, B. (2001). Long-term tillage and crop rotation effects on weed seedbank size and composition. *Weed research*, 41(4), 325–340.
4. Colbach, N., Granger, S., Mézière, D. (2013). Using a sensitivity analysis of a weed dynamics model to develop sustainable cropping systems. II. Long-term effect of past crops and management techniques on weed infestation. *The Journal of Agricultural Science*, 151(2), 247–267.
5. Hossain, M. M., Begum, M., Hashem, A., Rahman, M. M., Ahmed, S., Hassan, M. M., Bell, R. W. (2021). Strip tillage and crop residue retention decrease the size but increase the diversity of the weed seed bank under intensive rice-based crop rotations in Bangladesh. *Agronomy*, 11(6), 1164.
6. Hunková, E., Winkler, J., Demjanová, E. (2011). The weed seed bank assessment in two soil depths under various mineral fertilising. *Acta Univ. Agric. Silv. Mendelianae Brunensis*, 59(5), 105–112.
7. Jaskulska, I., Jaskulski, D. (2020). Strip-till one-pass technology in central and eastern Europe: A MZURI pro-til hybrid machine case study. *Agronomy*, 10(7), 925.
8. Raudonius, S. (2017). Application of statistics in plant and crop research: important issues. *Zemdirbyste-Agriculture*, 104(4), 377–382.
9. Skuodienė, R., Karčauskienė, D., Feiza, V., Feizienė, D., Repšienė, R., Šiaudinis, G. (2020). Changes in weed flora under the influence of long-term application of liming and reduced soil tillage. *Zemdirbyste-Agriculture*, 107(1).
10. Stancevicius, A. (1980). New Rational Method for Determining Weed Seed Content in the Soil. *Agronomy, Land Reclamation and Hydro-Engineering*.
11. Velička, R., Mockevičienė, R., Marcinkevičienė, A., Pupalienė, R., Butkevičienė, L. M., Kriaučiūnienė, Z., Čekanauskas, S. (2015). Necheminių piktžolių kontrolės būdų efektyvumo palyginimas vasarinių rapsų pasėlyje ekologinės žemdirbystės sąlygomis. *Žemės ūkio mokslai*, 22(4).
12. Zhang, Z., Li, R., Zhao, C., Qiang, S. (2021). Reduction in weed infestation through integrated depletion of the weed seed bank in a rice-wheat cropping system: Zhang et al. *Agronomy for Sustainable Development*, 41(1), 10.

Arvydas Ulpis, Rasa Kimbirauskienė, Ancetas Lenkis, Augustas Sederevičius, Aušra Sinkevičienė

Effect of Different Soil Tillage Systems on the Quantity of Weed Seeds in a Winter Wheat Crop

Vytautas Magnus University, Lithuania

The weed seed bank in soil is considered the main source of weed spread and persistence in agricultural ecosystems, as it determines the future composition, abundance and distribution of weed communities in crops. Viable seeds accumulated in the soil can remain for many years or even decades; therefore, even when effective control measures are applied in the short term, weed regeneration may still occur due to the previously formed seed reserve.

The study was carried out on the farm of farmer Tomas Tunikas located in Kelmė district, Pakražantis eldership, Vileikiai village. The aim of the study was to determine the effect of different soil tillage systems on the quantity of weed seeds in a winter wheat crop. Two soil tillage systems were selected for the experiment: (1) deep ploughing – 20 cm and (2) shallow cultivation – 10 cm. Three replications were performed, resulting in a total of six experimental plots.

Summarizing the research results, it was found that different soil tillage technologies influenced the size of the weed seed bank and its distribution in soil layers in a winter wheat (*Triticum aestivum* L.) crop. The study data showed that the

number of weed seeds during shallow soil loosening was higher in both the upper (0–10 cm) (from 1.8 to 3.4 times) and deeper (10–20 cm) (from 1.6 to 1.7 times) soil layers compared to the deep plowing variant. The largest part of the weed seed bank consisted of annual weed species, among which the white pigeonpea (*Chenopodium album* L.) dominated (from 4.5 to 20.8 thousand pcs. m⁻²).

Keywords: Winter wheat, soil tillage, weed seed bank, weeds.

Gauta 2026 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2026 m. balandžio mėn.

Arvydas ULPIS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos, Agronomijos fakulteto, Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedra. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r., tel. +37060655434, el. paštas: arvydas.ulpis@vdu.lt

Arvydas ULPIS. Agriculture Academy of Vytautas Magnus University, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Science. Address: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r. Phone: +370 606 55434, e-mail: arvydas.ulpis@vdu.lt

Anicetas LENKIS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos, Agronomijos fakulteto, Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedra. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r., tel. +370 650 47614, el. paštas: anicetas.lenkis@vdu.lt

Anicetas LENKIS. Agriculture Academy of Vytautas Magnus University, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Science. Address: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r. Phone: +370 650 47614, e-mail: arvydas.ulpis@vdu.lt

Augustas SEDEREVIČIUS. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos, Agronomijos fakulteto, Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedra. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r., tel. +370 662 392130, el. paštas: augustas.sederevicius@vdu.lt

Augustinas SEDEREVIČIUS. Agriculture Academy of Vytautas Magnus University, Faculty of Agronomy, Department of Agroecosystems and Soil Science. Address: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r. Phone: +370 662 392130, e-mail: arvydas.ulpis@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 37 752229, 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 r. Phone: +370 37 752229, e-mail: ausra.sinkeviciene@vdu.lt

Rasa KIMBIRAUSKIENĖ. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos, Agronomijos fakulteto, Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedros žemės ūkio mokslų daktaras, asistentė. Adresas: Studentų g. 15, LT-53361 Akademija, Kauno r., tel. +370 656 45914, 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 Agriculture Science, asist. Address: Studentų g. 15, LT-53361 Akademija, Kauno r. Phone: +370 656 45914, e-mail: rasa.kimbirauskiene@vdu.lt

ŽMOGAUS IR GAMTOS SAUGA 2026

HUMAN AND NATURE SAFETY 2026

Mokslo straipsnių rinkinys
Selected papers

Leidinį maketavo Aldona Bagdonienė

2026 04 20. Tiražas 20 egz. Užsakymo Nr. K26-017.

Išleido
Vytauto Didžiojo universitetas
K. Donelaičio g. 58, LT-44248, Kaunas
www.vdu.lt | leidyba@vdu.lt

Spausdino
UAB „Vitae Litera“
Savanorių pr. 137, LT-44146, Kaunas
www.tuka.lt | info@tuka.lt