

ISSN 2029-9303
ISSN 2783-6215



**LIETUVOS INŽINERIJOS KOLEGIJA HIGHER EDUCATION
INSTITUTION**

INŽINERINĖS IR EDUKACINĖS TECHNOLOGIJOS
Mokslinių straipsnių žurnalas

ENGINEERING AND EDUCATIONAL TECHNOLOGIES

2025 m. Nr. 2

REDKOLEGIJA / EDITORIAL TEAM

Vyriausioji redaktorė/Editor-in-Chief

Doc. Dr. Lina Girdauskienė

Lietuvos inžinerijos kolegija/ Lietuvos Inžinerijos Kolegija Higher Education Institution (Lietuva/Lithuania)

Vyriausiojo redaktoriaus pavaduotoja/ Deputy Editor-in-Chief

Doc. Dr. Esmeralda Štys

Lietuvos inžinerijos kolegija/ Lietuvos Inžinerijos Kolegija Higher Education Institution (Lietuva/Lithuania)

Redaktorių kolegija pagal mokslo kryptis/ Editorial team by scientific field

Inžinerijos mokslų kryptis/ Field of Engineering Sciences

Grupės vadovė/ Group leader

Doc. dr. Rosita Norvaišienė

Lietuvos inžinerijos kolegija/ Lietuvos Inžinerijos Kolegija Higher Education Institution (Lietuva/Lithuania)

Nariai / Members:

Doc. dr. Raimondas Šadzevičius

Lietuvos inžinerijos kolegija/ Lietuvos Inžinerijos Kolegija Higher Education Institution (Lietuva/Lithuania) [ORCID 0000-0002-7616-6598](#)

Prof. Danutė Vaičiukynienė

Kauno technologijos universitetas | Kaunas University of technology (Lietuva/Lithuania) [ORCID 0000-0001-8176-4413](#)

Dr. Rasa Žygienė

Lietuvos inžinerijos kolegija/ Lietuvos Inžinerijos Kolegija Higher Education Institution (Lietuva/Lithuania)

Doc. Dr. Daniele Fiaschi

Florencijos universitetas | University of Florence (Italija/Italy) [ORCID 0000-0002-9704-3191](#)

Prof. Dr. Wojciech Sas

Varšuvos gamtos mokslų universitetas | Warsaw University of Life Sciences (Lenkija/Poland) [ORCID 0000-0002-5488-3297](#)

Doc. Dr. Yuriy Biks, Vinnytsia

Ukrainos nacionalinis technikos Universitetas | National Technical University (Ukraina/ Ukraine) [ORCID 0000-0002-5775-2014](#)

Doc. Dr. Ali Can

Karabuk universitetas | Karabuk University (Turkija/Turkey)

Prof. Dr. Roy Knechtel

Šmalkaldeno taikomųjų mokslų universitetas | University of Applied Sciences Schmalkalden (Vokietija/Germany) [ORCID 0000-0002-2272-6924](#)

Prof. Dr. Liviu Marius Cirtina

Konstatntino Brankuši Universitetas Targy Jiu | Constantin Brâncuși University of Targu Jiu (Rumunija/Romania) [ORCID 0000-0002-7319-3312](#)

Aplinkos inžinerijos mokslų kryptis/ Field of Environmental Engineering Sciences

Grupės vadovė/ Group leader

Doc. dr. Vilda Grybauskienė

Lietuvos inžinerijos kolegija/ Lietuvos Inžinerijos Kolegija Higher Education Institution (Lietuva/Lithuania)

Nariai / Members:

Dr. Vaidotas Lygis

Lietuvos inžinerijos kolegija/ Lietuvos Inžinerijos Kolegija Higher Education Institution (Lietuva/Lithuania) [ORCID 0000-0001-5121-2052](#)

Prof. Dr. Roman Rolbiecki

Gamtos mokslų universitetas Bydgozciuje | Bydgoszcz University of Science and Technology (Lenkija/Poland) [ORCID 0000-0001-6230-4227](#)

Prof. Dr. Givi Gavardashvili

Gruzijos technikos Universitetas | Mirtskhulava Water Management Institute of Georgian Technical University (Sakartvelas/Georgia) [ORCID 0000-0001-5289-3830](#)

Prof. Dr. Ulas Senyigit

Ispartos gamtos mokslų universitetas | Isparta University of applied sciences (Turkija/Turkey) [ORCID 0000-0002-4864-0790](#)

Doc. Dr. Inga Grinfelde

Latvijos gamtos mokslų ir technologiju universitetas | Latvia University of Life Sciences and Technologies (Latvija/Latvia) [ORCID 0000-0002-3220-1777](#)

Doc. Dr. Soleiman Mohammadi Limaei	Vidurio Švedijos Universitetas Mid Sweden University (Švedija/Sweedon) ORCID 0000-0001-6379-6120
Barbara Baesso Moura	Žemės Ekosistemų tyrimų institutas Research Institute on Terrestrial Ecosystems (Italija/Italy) Scopus ID: 57970655200
Assoc. Prof. Dr. Krystyna Kurowska	Varmijos ir Mazūrijos universitetas University of Warmia and Mazury in Olsztyn (Lenkija/Poland) ORCID 0000-0002-1517-7402
Prof. Dr. Marija Hadzi-Nikolova	Goce Delčevo universitetas Goce Delcev University (Šiaurės makedonija/North Macedonia) ORCID 0000-0003-1961-3838

Socialinių ir edukacinių mokslų kryptis/ Field of Social and Educational Sciences

Grupės vadovė/ Group leader

Doc. dr. Dalia Perkumienė	<i>Lietuvos inžinerijos kolegija/ Lietuvos Inžinerijos Kolegija Higher Education Institution (Lietuva/Lithuania)</i>
---------------------------	--

Nariai / Members:

Doc. dr. Giedre Adomavičienė	<i>Lietuvos inžinerijos kolegija/ Lietuvos Inžinerijos Kolegija Higher Education Institution (Lietuva/Lithuania)</i>
Doc. dr. Ieva Zemite	Latvijos kultūros akademija Latvian Culture Academy (Lietuva/Latvija) ORCID 0000-0003-4431-8603
Prof.dr. Ana Nikodinovska Krstevska	Goce Delcev Universitetas Goce Decev University (Šiaurės Makedonija / North Macedonia) ORCID 0000-0003-1617-100X
Prof. dr. Ahmet Atalay	Ardahano universitetas Ardahan University (Turkija/Turkey) ORCID 0000-0003-0263-1677
Prof. dr. Larbi Safaa	Cadi Ayyad Universitetas Cadi Ayyad University (Marokas /Morocco)
Prof. dr. Antonio Silva Sánchez	Ekstramadūros universitetas Universidad de Extremadura (Ispanija/Spain)
Prof. Maria Potes Barbas	Santarem politechnikos institutas Polytechnic Institute of Santarém (Portugalija/Portugal) ORCID 0000-0001-8598-1650

Mokslinių straipsnių žurnalas „Inžinerinės ir Edukacinės technologijos“ (ISSN 2029-9303), leidžiamas Lietuvos inžinerijos kolegijos nuo 2012 m., yra įtrauktas į tarptautinių recenzuojamų mokslinių žurnalų [Index Copernicus Journals Master List](#) duomenų bazę.

Redaktorių kolegija sudaryta siekiant užtikrinti aukštą mokslinę kokybę, skaidrų recenzavimo procesą ir tarptautinį matomumą.

Žurnalas leidžiamas 2 kartus per metus.

Redakcijos adresas:

VšĮ Lietuvos inžinerijos kolegija
Tvirtovės al. 35, LT- 50155 Kaunas
Tel./faks. (8 37 308620)/(8 37 333120)
El. p. redaktorius@lik.tech
<http://www.lik.tech>

Editorial address:

Lietuvos Inžinerijos Kolegija Higher Education Institution
Tvirtovės av. 35, LT- 50155 Kaunas
Phone./fax. (+370 37 308620)/(+370 37 333120)
E-mail. redaktorius@lik.tech
[http:// www.lik.tech](http://www.lik.tech)

Visos leidinio leidybos teisės saugomos. Šis leidinys arba kuri nors jo dalis negali būti dauginami, taisomi ar kitaip platinami be leidėjo sutikimo.

All rights of the publication are reserved. No reproduction, copy or transmission of this publication may be made without publisher's permission.

© Lietuvos inžinerijos kolegija, 2025

ISSN 2029-9303

ISSN 2783-6215

REDAKTORIAUS ŽODIS

Gerbiami skaitytojai ir kolegos,

Mokslinių straipsnių žurnalo „Inžinerinės ir edukacinės technologijos“ atnaujintoji redakcija pristatydamą Jums 2025 metų antrąjį numerį, džiaugiasi, jog šį kartą į Jūsų rankas patenka atnaujintos struktūros mokslinių publikacijų leidinys, pristatantis originalius tyrimus ir taikomuosius darbus aplinkos inžinerijos, inžinerijos mokslų bei socialinių ir edukologinių mokslų kryptyse.

Aplinkos inžinerijos kryptis. Tyrimai atskleidė medžių ir krūmų augmenijos plitimo masto ir pasiskirstymo Lietuvos savivaldybėse pagal medžių rūšis, struktūrines formas ir skirtingas suirimo klases ypatumus, galimybę reguliuoti Dysnos upės ir melioracijos sistemos vandens lygį, siekiant pavasario–vasaros laikotarpiu palaikyti buveinėms palankų hidrologinį režimą. Atskiras dėmesys skirtas ir Lietuvos saugomų ir rekreacinių teritorijų integruotam vertinimui darnaus vystymosi kontekste, užstatytų teritorijų plėtrai Kauno rajono savivaldybėje. Pristatyti šiuolaikiniai tyrimų metodai taikant bepilotės skraidyklės RGB kameras, GIS pagrįstą erdvinių duomenų analizės, skaitmeniniu modeliavimu pagrįstos sistemos taikymą.

Inžinerijos mokslų kryptis. Tyrimams taikyta metodika mechatroninės sistemos parametrams identifikuoti ir optimizuoti, derinant eksperimentinius duomenis, gautus skaitmeniniu osciloskopu, su MATLAB/Simulink modeliavimo rezultatais. Pateikiamas modifikuotu integriniu valdymo algoritmu pagrįstas grįžtamojo ryšio valdiklis, leidžiantis pasiekti didesnio valdymo sistemos atsparumo elektromagnetinių trikdžių sukeliams triukšmo signalams, lyginant su atvejais, kai naudojami proporcinis-integrinis-diferencinis, proporcinis-integrinis ir klasikinis integrinis valdikliai. Analizuojamas šlaitų tvirtinimo daugiakriterinį inžinerinių sprendimų vertinimas. Praktikoje šlaitų tvirtinimo sprendimų parinkimą apsunkina tai, kad sprendimai turi būti vertinami pagal kelis tarpusavyje nesuderinamus kriterijus. Todėl dėl šios priežasties vis dažniau taikomi daugiakriterinio sprendimų vertinimo metodai leidžiantys kompleksškai palyginti skirtingas alternatyvas ir parinkti racionaliausią sprendimą konkrečiomis sąlygomis.

Socialinių ir edukologinių mokslų kryptis. Lietuvos vidurinių mokyklų mokytojų susipažinimo su dirbtinio intelekto (DI) sistemomis rodo atsargią, bet atvirą poziciją dėl DI pagrįsto vertinimo ir tikslinių mokymų bei aiškių etikos gairių poreikį, siekiant paremti atsakingą DI pagrįstų vertinimo sistemų diegimą.

Lietuvos inžinerijos kolegijoje atliktas atvejo tyrimas parodė, kad studentai dažnai naudoja DI įrankiais savo mokymosi procese. Tiek studentai, tiek dėstytojai pripažįsta DI teikiamus privalumus, tokius kaip didesnis darbo efektyvumas ir geresnė mokymosi pagalba.

Nagrinėjant, kaip „ChatGPT“ naudojimo patogumas ir naudotojo patirtis veikia universiteto studentų pasitikėjimą sistema ir jų kritinio mąstymo elgseną gauti rezultatai pabrėžia kompromisus tarp efektyvumo ir refleksyvaus įsitraukimo, o tai rodo, kad nors „ChatGPT“ padeda atlikti akademinės užduoties, jis gali netyčia sumažinti studentų kritinio vertinimo įgūdžius. Studentų įsitraukimas yra pagrindinis akademinės sėkmės aukštajame moksle veiksnys, o studentų motyvacija yra svarbus veiksnys, darantis įtaką įsitraukimui. Tyrimo rezultatai rodo, kad motyvacijos formos prisideda prie studentų įsitraukimo į universitetinę aplinką, o tai pabrėžia poreikį atsižvelgti į daugybę motyvacijos veiksnių, siekiant sustiprinti akademinį įsitraukimą aukštajame moksle.

Šių laikų organizacijos veikia nuolatinio neapibrėžtumo, sudėtingumo, spartaus technologijų progreso ir kintančių klientų poreikių sąlygomis, todėl organizacijos sugebėjimas greitai prisitaikyti tampa pagrindiniu konkurenciniu pranašumu. *Agile* praktikų taikymas organizacijose išryškina komandos, kaip pagrindinio darbo organizavimo vieneto, svarbą, tačiau kartu lemia ir naujus iššūkius, susijusius su komandos veiklos efektyvumu ir rezultatų užtikrinimu dinamiškoje aplinkoje. Šių pokyčių kontekste organizacijose vis plačiau yra taikomas žaidybinimas, kuris laikomas motyvuojančiu darbuotojų elgsenos formavimo ir veiklos rezultatų gerinimo įrankiu.

Tikimės, kad įvairiapusiškai pristatomi tyrimų aspektai paskatins skaitytojus susidomėti publikacijomis, dėkojame straipsnių autoriams ir tikimės sėkmingo tolesnio bendradarbiavimo.

Su pagarba,
vyriausioji redaktorė

dr. Lina Girdauskienė

TURINYS

APLINKOS INŽINERIJOS MOKSLŲ KRYPTIS	7
INTEGRATED ASSESSMENT OF PROTECTED AND RECREATIONAL AREAS IN THE CONTEXT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT	8
Vilma Šalkauskienė Lietuvos Inžinerijos Kolegija Higher Education Institution	
ASSESSMENT OF URBANIZATION DYNAMICS IN SUBURBAN AREAS USING GIS-BASED MONITORING: THE CASE OF DIDVYRIAI VILLAGE OF KAUNAS DISTRICT MUNICIPALITY	17
Daiva Gudritienė, Vilma Šalkauskienė Lietuvos Inžinerijos Kolegija Higher Education Institution	
DYNAMICS OF TREE AND SHRUB VEGETATION EXPANSION IN LITHUANIA 2016-2025	24
Edita Abalikštienė, Vilma Šalkauskienė Lietuvos Inžinerijos Kolegija Higher Education Institution	
A COMPUTATIONAL FRAMEWORK FOR EVALUATING SPRUCE SEEDLING QUALITY UNDER VARIABLE SOIL MOISTURE CONDITIONS	31
Vilda Grybauskienė, Gitana Vycienė Lietuvos Inžinerijos Kolegija Higher Education Institution	
BEPILOTĖS SKRAIDYKLĖS RGB KAMERA GAUTŲ DUOMENŲ TAIKymo GALIMYBĖS ARIAMOSIOS ŽEMĖS SAVYBIŲ NUSTATYMOI	38
Daiva Gudritienė, Emilė Žemaitytė, Darius Pupka Lietuvos inžinerijos kolegija	
VALSTYBINIŲ MIŠKŲ VALDYMO MODELIO KAITA IR JOS POVEIKIS VEIKLOS EFEKTYVUMUI	44
Gintaras Morkūnas Lietuvos inžinerijos kolegija	
PAPRASTOJO BUKO (FAGUS SYLVATICA L.) MEDYNŲ STRUKTŪROS, REGENERACIJOS IR BUVEINIŲ SĄLYGŲ ĮVERTINIMAS	55
Dr. Loreta Semaškienė, dr. Sinilga Černulienė Lietuvos inžinerijos kolegija	
NEGYVOS MEDIENOS KIEKIO IR STRUKTŪROS ĮVERTINIMAS LIETUVOS ŪKINIUOSE MIŠKUOSE.....	65
Sinilga Černulienė, Jurgita Babilienė Lietuvos inžinerijos kolegija	
DYSNOS UPĖS SALPOS HIDROLOGINĖS SĄLYGOS IR JŲ VALDYMAS TAIKANT 2D HIDRONAMINĮ MODELIAVIMĄ	75
Vilda Grybauskienė, Gitana Vyčienė Lietuvos inžinerijos kolegija	
ŽEMĖS ŪKIO NAUDMENŲ IR MIŠKŲ POKYČIAI EUROPOS SĄJUNGOS ŠALYSE.....	83
Vaiva Stravinskienė Lietuvos inžinerijos kolegija	

INŽINERIJOS MOKSLŲ KRYPTIS	90
IDENTIFICATION OF PARAMETERS FOR A DRIVE DYNAMIC MODEL WITH AN ELASTIC COUPLING IN THE MATLAB/SIMULINK ENVIRONMENT	91
Igor Iljin Vilnius Gediminas Technical University	
ELECTROMAGNETIC DISTURBANCE-RESISTANT CONTROLLER BASED ON THE MODIFIED INTEGRAL CONTROL ALGORITHM	99
Martynas Šapurov, Vytautas Bleizgys Vilnius Gediminas Technical University	
KELIO ŠLAITŲ TVIRTINIMO DAUGIAKRITERINIS INŽINERINIŲ SPRENDIMŲ VERTINIMAS.....	104
Regina Motienė Lietuvos inžinerijos kolegija	
SOCIALINIŲ IR EDUKOLOGINIŲ MOKSLŲ KRYPTIS	112
AI IN HIGHER EDUCATION: BENEFITS AND RISKS	113
Inga Dagilienė Lietuvos Inžinerijos Kolegija Higher Education Institution	
INTRINSIC AND EXTRINSIC MOTIVATION AS PREDICTORS OF ACADEMIC ENGAGEMENT IN UNIVERSITY STUDENTS	121
Lina Girdauskienė, Miglė Girdauskaitė Lietuvos Inžinerijos Kolegija Higher Education Institution	
TEACHERS' PERCEPTIONS AND USE OF AI-BASED GRADING SYSTEMS IN LITHUANIA	128
Lina Girdauskienė, Rugilė Girdauskaitė Lietuvos Inžinerijos Kolegija Higher Education Institution	
HOW CHATGPT'S USER EXPERIENCE ENCOURAGES OVER-RELIANCE AND REDUCED CRITICAL THINKING AMONG UNIVERSITY STUDENTS	134
Lina Girdauskienė, Miglė Girdauskaitė Lietuvos Inžinerijos Kolegija Higher Education Institution	
AKADEMINIO RAŠYMO AUTENTIŠKUMO VERTINIMAS: STILOMETRINIŲ POŽYMIŲ ANALIZĖ IR INTEGRACIJA SU KITOMIS DIAPTIKIMO STRATEGIJOMIS.....	141
Gabrielė Ivanovaitė, Sonata Paulauskienė Lietuvos inžinerijos kolegija	
DARBUOTOJŲ ĮSIDARBINAMUMO UŽTIKRINIMO PRAKTIKOS KOLEKTYVINIŲ ATLEIDIMŲ METU: INŽINERINIO PROFILIO DARBUOTOJŲ ATVEJIS	150
Ugnė Savanevičiūtė, Gabija Savanevičiūtė, Lina Girdauskienė Lietuvos inžinerijos kolegija	
ADAPTYVAUS ŽAIDYBINIMO TAIKymo POVEIKIS <i>AGILE</i> KOMANDOS VEIKLOS EFEKTYVUMUI	156
Dovilė Valantiejienė, Lina Girdauskienė Lietuvos inžinerijos kolegija	
DELEGAVIMAS SAVIORGANIZUOTOSE <i>AGILE</i> KOMANDOSE: ATVEJO ANALIZĖ	161
Dovilė Valantiejienė, Lina Girdauskienė Lietuvos inžinerijos kolegija	

APLINKOS INŽINERIJOS MOKSLŲ KRYPTIS

INTEGRATED ASSESSMENT OF PROTECTED AND RECREATIONAL AREAS IN THE CONTEXT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

Vilma Šalkauskienė

Lietuvos Inžinerijos Kolegija Higher Education Institution

Abstract

This article presents an integrated assessment of protected and recreational areas in Lithuania in the context of sustainable development. The aim of the study is to determine the ecological, social, and economic value of selected areas using a composite sustainable development index (KDI). Ten areas of different types were selected for the assessment and evaluated according to 11 criteria, including accessibility, inclusivity, biodiversity, terrain, infrastructure, and accessibility for people with disabilities. The results revealed that the highest scores (50 points) were recorded in the Palanga Botanical Park, which stands out for its developed infrastructure, ecological stability, and attractive landscape. High sustainability levels were also demonstrated by the Puskoriai Outcrop, Balbieriskis Outcrop, and the Tree Canopy Walk complex (45–47 points). Areas with limited infrastructure, such as the Kirkilai Observation Tower or Vente Cape Ornithological Station, exhibit higher biodiversity but lower visitor convenience. The KDI analysis showed that most areas have a relatively high level of sustainability (6.5–9.0 points), with the highest results recorded in Palanga Botanical Park (9.0) and Puskoriai Outcrop (8.7). The study revealed that the ecological value of areas is often associated with limited infrastructure, while developed recreational zones may have lower ecological uniqueness. The obtained results emphasize the need for balanced planning of visitor infrastructure, combining nature conservation with sustainable tourism to preserve the ecological, social, and economic potential of Lithuania's protected areas.

Key words: Protected areas, recreational areas, sustainable development, landscape.

Introduction

Protected and recreational areas are essential components of a region, as they not only help maintain the balance of biodiversity but also contribute to the well-being of local communities and the development of the tourism sector. Over the past decades, increasing attention has been given to environmental protection and recreation in order to ensure sustainable development and preserve natural heritage. Sustainable tourism indicators are a crucial component of planning and managing protected areas (Rasoolimanesh et al., 2020).

The relevance of this study is driven by growing public interest in ecological sustainability and outdoor recreational opportunities. A country's natural resources consist of a clean, healthy environment and a harmonious landscape, which provide suitable conditions for all forms of life, including humans (Kattumuri, 2018; The Sustainable..., 2020). The state of recreational areas can be defined by multiple parameters – sensitivity, degree of degradation, capacity, stability, and others (Walker et al., 2006).

However, with increasing visitor flows, challenges arise regarding infrastructure, area accessibility, and the protection of natural values. This necessitates seeking balanced solutions that ensure both environmental protection and the sustainable development of tourism and recreation. In Lithuania, the ecological, social, and economic value of protected and recreational areas, as well as their management effectiveness, are not sufficiently studied. Consequently, there is a lack of data and recommendations on how to optimally utilize the potential of these areas while maintaining environmental balance. Increasing visitor numbers pose a threat to natural assets due to inadequate infrastructure and limited public awareness, highlighting the need for a comprehensive assessment of these areas and the proposal of sustainable solutions.

Research purpose - to conduct an integrated assessment of protected and recreational areas in the context of sustainable development.

Research Tasks

1. Identify the role of protected and recreational areas in Lithuanian and European land-use policy within the context of sustainable development.
2. Assess selected areas according to chosen sustainability criteria.
3. Evaluate the sustainability level of selected protected and recreational areas using the Composite Sustainability Index (KDI).

A comprehensive evaluation of sites and/or territories allows for the collection of objective data on their condition, providing the basis for recommendations to relevant authorities. The perspectives of local residents and visitors regarding these sites are also important. Since the condition of these areas is constantly changing, it is essential to conduct regular studies that reflect the current state of protected and recreational areas. Such studies help ensure the long-term conservation and effective use of these territories.

Theoretical background

Protected areas in Lithuania and across the globe play a multifaceted role: they ensure the conservation of biodiversity, maintain ecosystem stability, and contribute to climate change mitigation, while also providing social and economic benefits to local communities. Contemporary environmental policy increasingly emphasizes the need to balance conservation, recreation, and economic activity priorities, which requires continuous scientific research, adaptive management, and international cooperation.

In recent decades, Europe has been shifting from the traditional concept of protected areas—focused primarily on restricting human activity—toward integrated landscape and land-use management. Landscape analysis has become an essential tool for shaping sustainable land-use policies, particularly for optimally reconciling conservation and economic interests (Solecka et al., 2018; Siltanen et al., 2022). This trend is evident in many European countries, where the management of protected areas is based on integrating environmental protection, recreational use, and regional development.

One of the most significant challenges is managing areas within the Natura 2000 network. In these territories, conservation and recreational interests often conflict, necessitating a multi-criteria planning approach (Rocchi et al., 2020). From an agricultural perspective, the status of protected areas directly influences farmers' land use, as environmental and economic restrictions affect land management practices (Koemle et al., 2019). The impact of protected and recreational areas on surrounding territories varies depending on management structures and social and economic conditions (Mingarro et al., 2023). This highlights that the role of protected areas should be assessed not only at the national but also at the regional level.

Research highlights that green infrastructure and ecosystem services are key elements for the integrated assessment of protected and recreational areas. Clear land-use planning policies are essential to preserve green infrastructure from degradation (McWilliam et al., 2015; Fňukalová et al., 2021; Marot et al., 2024; Naumann et al., 2021). The effectiveness of green infrastructure management increases with the availability of data and public participation in decision-making processes (Feltynowski et al., 2023). Integrating ecosystem services into spatial planning is significant because it allows for the alignment of environmental protection with societal needs (Di Marino et al., 2019; Díaz-Rodríguez et al., 2024; Yao et al., 2025). These studies indicate that the assessment of ecosystem services should become a central component of protected area policy. Protected areas drive both ecological and social changes and must be evaluated within the broader context of land-use transformations. This is particularly relevant as protected areas often serve as zones of both ecological and recreational potential (Beilin, 2014; van der Zanden et al., 2017).

In Lithuania, protected and recreational areas are regulated through a comprehensive legal framework, including the Protected Areas Law (1993, 2001), the Tourism Law (1998, 2015), the Forest Law (1994, 2001), the Environmental Protection Law (1992), and the Land-Use Planning Law (1995, 2014). Together, these laws ensure environmental protection, sustainable tourism, and the balancing of public interests. At the European Union level, the Habitats Directive (92/43/EEC) and the Birds Directive (2009/147/EC) establish the Natura 2000 network. Internationally, Lithuania is committed to adhering to the Convention on Biological Diversity (1992), the European Landscape Convention (2000), and the World Heritage Convention (1972). UNESCO (2021) emphasizes that the cultural aspect is an inseparable component of a protected area's value.

Recreational areas, often located within protected area boundaries, are important for public health, education, and environmental awareness. Socially, they enhance environmental consciousness (Jasinavičiūtė et al., 2020). However, high recreational intensity can create challenges. Large visitor flows may cause soil erosion and disturb wildlife populations, necessitating visitor management models (Smith et al., 2022).

Economically, recreational areas generate significant added value (Brown et al., 2023; Breiby et al., 2022; Kalinauskas et al., 2023), as ecotourism produces revenue, but it also raises the risk that economic objectives could overshadow primary conservation goals.

Technology has become a crucial component of modern protected area management. Research indicates that such tools enable more effective identification of ecosystem changes, faster response to threats, and more sustainable management of protected areas. The assessment of protected and recreational areas is based on ecological, social, economic, and cultural criteria (Zhang et al., 2023; Liqueste et al., 2015). The ecological assessment evaluates condition, biodiversity, and anthropogenic impact; the social assessment examines accessibility and societal benefits; the economic assessment considers the contribution of ecotourism and long-term investments; and the cultural assessment addresses landscape and heritage value (Unesco, 2021).

Theoretical insights reveal that protected and recreational areas are central elements of sustainable development, requiring integrated planning, multicriteria evaluation, harmonization of ecological, social, and economic dimensions, and active involvement of local communities. Despite rapid advancements, there

remains a lack of integrated empirical studies that simultaneously evaluate the ecological, social, and economic status of recreational and protected areas using a harmonized multidimensional index at the regional level.

Research Methodology

The study employed a comprehensive, multidimensional methodological framework, encompassing spatial data analysis, evaluation of recreational areas according to sustainable development criteria, and calculation of a Composite Sustainable Development Index (KDI). The combination of these methods enabled a systematic and empirical assessment of the sustainability of selected protected and recreational areas, taking into account environmental, social, and economic dimensions.

To perform a comprehensive evaluation, the criteria were adapted based on the assessment of public spaces conducted by Adamonytė et al. (2018) and supplemented with elements of environmental and landscape quality. Each area was assessed using 11 criteria, categorized into ecological, social, and recreational-infrastructural dimensions. The evaluation was conducted during the summer of 2025.

To ensure reliability and objectivity, an expert-based assessment method was applied. The evaluation panel included two specialists from protected area management authorities, three tourists who visited the areas during the study, and the article's author. Scores provided by all evaluators were aggregated, and the average was used for the final assessment of each area. A 5-point scale was used, where higher scores indicated more favorable conditions for recreation and sustainable use (Table 1).

Table 1

Criteria for Evaluating Recreational Areas

Evaluation Feature	Possible Score	Explanation
Accessibility	5	To ensure accessibility, spaces must be integrated into the city street network, with access points aligned with street intersections. The areas should be adapted for everyday human travel and the use of environmentally friendly transportation.
Inclusiveness/ Complexity	5	Public spaces must be adapted for various uses. The area should provide opportunities for play, resting in the shade, and may include cafés, decorative water features, bicycle paths, sports facilities, and more. The assessment considers the current potential for recreational activities, including general, educational, sports, entertainment, commercial, and therapeutic uses.
Biodiversity	5	Assessment of the area from a biodiversity perspective. The evaluation primarily focuses on ecological quality.
Complexity / Uniqueness	5	The following aspects of the area are assessed: dynamics of landscape changes; integration and display of surrounding views; diversity of natural and anthropogenic structures; and the contrast between living nature and built elements. Components reflecting the complexity of the local landscape, as well as natural and cultural heritage, are also evaluated.
Eco-friendliness	5	The assessment considers naturalness, biodiversity, created ecosystems, and ecological capacity. This is understood as creating a favorable microclimate, enhancing biodiversity, energy-efficient site planning, abundance and diversity of greenery, use of healthy and environmentally friendly building materials, and utilization of renewable energy sources.
Condition of the area	5	The planned spatial structure is assessed visually through field investigations (inspection of greenery, photographic documentation) and desk-based studies: analyzing orthophotographic materials and literature sources.
Accessibility for people with disabilities	5	The accessibility of the area for people with disabilities is assessed, with primary attention given to the needs of individuals with mobility impairments.
Landscape diversity	5	The diversity of natural elements, ecosystem quality, visual attractiveness, and environmental naturalness are evaluated. Areas with a variety of natural features and high aesthetic value receive a high rating.
Infrastructure	5	The evaluation considers whether the area has well-developed and properly maintained infrastructure.
Developed recreation areas	5	The assessment considers the number and diversity of zones, their accessibility and layout, as well as their quality and maintenance.
Relief	5	The aesthetic and functional value of the terrain is assessed.
Total:	70	

Source: compiled by the author

For the assessment, 10 recreational areas of different types and functions across Lithuania were selected: the Tree Canopy Walk complex, Vente Cape Ornithological Station, Kirkilai Observation Tower area, Puskoriai Outcrop, Medininkai Hillfort, Balbieriskis Outcrop, Lake Recreation Area, Palanga Botanical Park, Seire Nature Trail, and Pagramantis Nature Trail. The areas were chosen based on their recreational intensity, ecosystem service potential, geographic distribution, and representativeness within Lithuania's protected area system. The assessment criteria included accessibility, inclusiveness and complexity, biodiversity,

uniqueness/distinctiveness, ecological quality, site condition, infrastructure, established recreation zones, landscape diversity, and suitability for people with disabilities.

Additionally, a Composite Sustainable Development Index (KDI) was calculated for the selected areas:

$$KDI = (A + B + C)/3 \quad (1)$$

where: A – environmental sustainability component (0–10): biodiversity, ecological quality, landscape quality, relief; B – social dimension component (0–10): accessibility, inclusiveness, accessibility for people with disabilities, recreational value; C – economic sustainability component (0–10): infrastructure, visitor flow management potential, availability of services.

All 11 evaluation criteria were treated as equally important from a sustainable development perspective and were assigned equal weight (1:1:1) when calculating the individual dimensions (A, B, C) and the final KDI. The KDI was applied to obtain a composite indicator rather than to analyze differences in specific local characteristics using different weighting coefficients.

The components of the Composite Sustainable Development Index (KDI) ($KDI = (A + B + C) / 3$), were calculated based on the sums of normalized criteria to bring the results onto a common 0–10 scale:

- A – Environmental sustainability: 4 criteria, maximum sum = $4 \times 5 = 20$ points
- B – Social dimension: 4 criteria, maximum sum = $4 \times 5 = 20$ points
- C – Economic sustainability: 3 criteria, maximum sum = $3 \times 5 = 15$ points

The score obtained for each dimension (out of the maximum 20 or 15 points) was converted to a standardized 0–10 scale using the formula:

$$\text{Dimension score (0–10)} = \frac{\text{obtained points}}{\text{maximum points for the dimension}} \times 10 \quad (2)$$

This normalization ensured that all three KDI dimensions—despite having a different number of contributing criteria—had equal weight in calculating the final KDI. For example, the environmental sustainability component (A) (of Palanga Botanical Park received 16 points, which corresponds to a normalized score of: $16/20 \times 10 = 8.0$).

The Composite Sustainable Development Index (KDI) is applied to comprehensively assess the sustainability level of territories. The KDI method is important for several reasons.

First, it allows for an integrated evaluation of interconnected environmental, social, and economic factors that determine the sustainability of an area. Such a summary indicator enables the identification of strengths and weaknesses within a territory, facilitating targeted planning of future measures and interventions.

Second, KDI provides a basis for comparing territories with each other, as all dimensions are consolidated into a single standardized metric. This is particularly relevant for setting regional development priorities, evaluating territorial potential, or analyzing progress over time.

Finally, KDI serves as a useful monitoring tool, allowing the assessment of changes over time and providing an empirical foundation for management decisions within the context of sustainable development.

Results and Discussion

After evaluating 10 protected and recreational areas, it was found that the best accessibility is observed at Puskoriai Outcrop, Palanga Botanical Park, and the Tree Canopy Walk Complex. These areas are easily reachable by both private and public transport, resulting in higher visitor flows. In contrast, accessibility is more challenging at Kirkilai (narrow, partly worn or gravel roads, no public transport, etc.), Pagramantis (narrow roads, sections in poor condition, limited public transport access, etc.), and Vente Cape Ornithological Station (Vente Cape is located on a narrow peninsula in the Nemunas Delta with only one main access road and no direct public transport routes), especially during the off-season, which limits visitor numbers but may help preserve ecological conditions.

The highest complexity is observed at Puskoriai Outcrop, Palanga Botanical Park, and Balbieriskis Outcrop, as these areas combine natural, cultural, and recreational elements, providing a diverse visitor experience. In contrast, Kirkilai are less complex, being primarily oriented towards nature-based activities and lacking significant cultural components.

The greatest biodiversity was recorded in the Labanoras Forests, Balbieriskis Outcrop, and Vente Cape Ornithological Station, which host a variety of forest, water, and bird habitats. Areas such as Palanga and Medininkai exhibit moderate biodiversity due to more intensive anthropogenic impacts.

Distinctive relief features were observed at Kirkilai, Balbieriskis Outcrop (Figure 1), Pagramantis, and Puskoriai Outcrop (Figure 1), where steep slopes, deep river valley outcrops, and karst topography dominate.



Fig. 1. Balbieriskis Outcrop (left) and Puskoriai Outcrop (right) – site locations and excerpt from the protected areas cadastral map

Source: compiled by the author

The Vente Cape Ornithological Station and Palanga Park feature relatively flat landscapes, which are more favorable for infrastructure development and the organization of recreational activities. The most developed infrastructure is found in Palanga Botanical Park, the Puskoriai Exposure, and the Tree Canopy Walk complex, as these locations are strategically important for tourism, easily accessible, frequently visited, and prioritized for funding. As a result, high visitor numbers encourage continuous infrastructure expansion and modernization. The Seires nature trail is characterized by a moderate level of infrastructure development, as it is a protected, environmentally valuable area where the aim is to balance recreation and nature conservation. Due to moderate visitor flows, limited development possibilities, and sustainability priorities, the infrastructure is not highly urbanized, yet it remains sufficient for quality recreation and nature exploration. The least developed infrastructure is found in Pagramantis and Kirkilai, as these areas are rural, sparsely populated, and located far from major Lithuanian urban centers, resulting in limited economic incentives to invest in infrastructure.

Palanga Botanical Park and the Tree Canopy Walk complex stand out for their high level of accessibility for people with disabilities, as their infrastructure is modern, standardized, strategically funded, and designed in accordance with universal design principles. At the Tree Canopy Walk, elevators installed in the observation tower allow visitors with mobility impairments to reach the walkway level, and specially adapted ramp systems ensure smooth movement along the path. Information boards in Braille (or with other adaptations) further enhance accessibility, enabling all visitors to enjoy elevated forest views and learn about woodland features. This ensures a comfortable and safe experience for all visitor groups.

Palanga Botanical Park (including the Amber Museum) is also considered highly accessible for visitors with mobility impairments, as most park paths have been renovated with solid, even surfaces, and the museum itself is adapted for wheelchair users. This level of accessibility is maintained through ongoing infrastructure renovation projects aimed at improving the quality and inclusiveness of public spaces.

In contrast, areas with complex terrain such as Kirkilai, Pagramantis, the Balbieriskis exposure, and Medininkai are less suitable for visitors with disabilities. These territories feature steep slopes, cliffs, hilly or uneven surfaces, which make movement by wheelchair or with mobility aids significantly more challenging.

The most ecologically stable areas are the Vente Cape Ornithological Station and Pagramantis, where strong emphasis is placed on nature conservation and where the impacts of urbanization and industry are minimal. Most of these territories are natural or semi-natural, which helps maintain high levels of biodiversity.

The greatest visitor pressure is recorded in Palanga and Puskoriai. Intensive visitation in these areas poses risks to sensitive natural environments for several reasons. First, constant human movement can damage vegetation—trail edges wear down, rare or sensitive plant species are trampled, and in some places natural soil layers may begin to degrade. Second, high visitor numbers can disturb wildlife, especially birds and small mammals that rely on quiet habitats. Third, intensive use often leads to litter accumulation and other forms of pollution, further degrading ecosystem health.

Therefore, in such territories it is essential to limit visitor flows, install nature trails with protective measures, or promote responsible nature-based recreation to ensure that sensitive natural areas are preserved for the future (Table 2).

Table 2

Summary data of recreational area evaluation according to the criteria

Name of the location	Accessibility	I Inclusiveness/ Complexity	Biodiversity	Complexity / Uniqueness	Eco-friendliness	Condition of the area	Accessibility for people with disabilities	Landscape diversity	Infrastructure	Developed recreation areas	Relief	Total:
Treetop Walking Path Complex	5	4	5	5	4	5	4	5	5	4	3	49
Vente Cape Ornithological Station	4	4	4	4	5	4	3	5	3	3	4	43
Kirkilai Observation Tower Area	4	4	4	5	4	5	3	5	4	3	3	44
Puskoriai Exposure	5	5	4	5	5	4	2	5	3	4	5	47
Medininkai Hillfort	4	4	3	4	4	4	2	4	3	3	5	40
Balbieriskis Exposure	5	5	5	4	5	4	2	5	3	3	4	45
Bebrusai Lake Recreation Area	4	4	4	3	4	4	3	4	4	5	3	42
Palanga Botanical Park	5	5	3	5	4	5	4	5	5	5	4	50
Seire Nature Trail	4	3	4	4	5	4	3	4	3	3	3	40
Pagramantis Nature Trail	4	4	4	4	5	4	3	5	4	4	4	45

Source: compiled by the author

According to the evaluation data, the highest scores (50 points) were obtained by the Palanga Botanical Park, highlighting its well-developed infrastructure, diverse ecosystem structure, and visitor convenience. High results (45–47 points) were achieved by the Pagramantis Nature Trail, the Balbieriskis Exposure, and the Puskoriai Exposure, which stand out for their ecological stability, landscape diversity, and attractiveness, although their infrastructure or accessibility for people with disabilities received slightly lower scores.

Territories such as the Vente Cape Ornithological Station and the Kirkilai Observation Tower were evaluated with 43–44 points, emphasizing their biological diversity and ecological significance, while their infrastructure and recreational facility indicators were slightly lower.

The overall trend shows that territories with higher ecological value often have more limited infrastructure, while more developed recreational areas may exhibit lower ecological uniqueness. This suggests that in Lithuania there is a balance between ecological value and recreational convenience that must be carefully managed when planning visitor infrastructure.

The sustainability assessment of the territories revealed significant differences among the environmental, social, and economic dimension scores of individual sites, highlighting areas with high sustainability potential as well as those where certain structural gaps become evident (Figure 2).

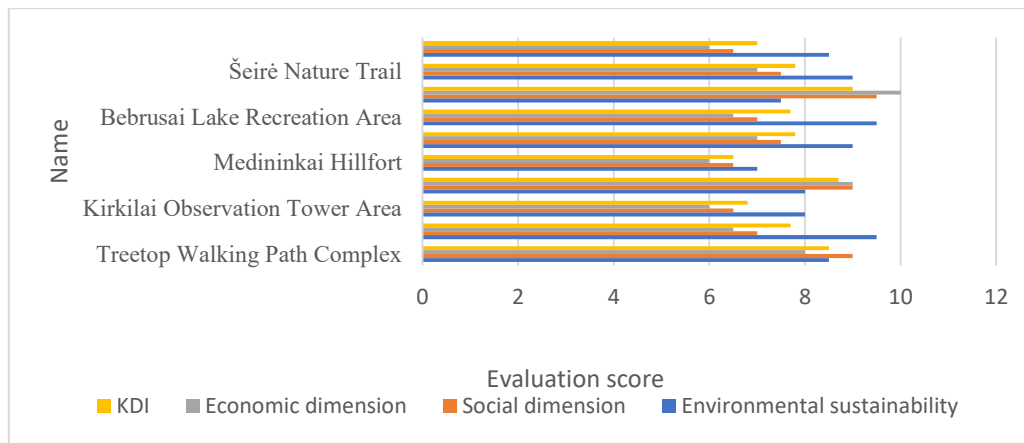


Fig. 2. Composite sustainable development assessment data

Source: compiled by the author

After calculating the KDI, it was determined that the territories can be divided into three levels: high (KDI 8.5–9.0), medium (KDI 7.5–8.0), and lower (KDI 6.5–7.0). The highest KDI (9.0) was obtained by the Palanga Botanical Park, characterized by a particularly strong economic dimension component and a balanced environmental and social value. The Tree Canopy Walk in Anykščiai and the Seire Educational Trail also fall into the high sustainability category (8.5–7.8). The Puskoriai exposure and the Belmontas recreation area (8.7) likewise stand out for strong alignment among the three dimensions. Meanwhile, the lowest KDI results, such as the Medininkai Hillfort (6.5) or the Kirkilai Tower (6.8), indicate that sustainability aspects in these territories are not equally developed. These results are most often influenced by lower scores in the social and economic dimensions.

An assessment of the individual dimensions revealed that the environmental sustainability component across the territories ranges from 7 to 9.5 points, indicating that most of the evaluated areas have high natural value. The highest score (9.5) was given to the Vente Cape Ornithological Station and the Bebrusai Lake recreation area, both distinguished by exceptional biodiversity and landscape quality. Meanwhile, territories such as the Medininkai Hillfort (7) or the Balbieriskis exposure (7.5) demonstrate a somewhat lower environmental potential, although they still remain in the higher part of the scoring scale.

The high environmental scores indicate that all analyzed territories possess a strong natural foundation, which is a key prerequisite for sustainable development, particularly in the context of nature-based tourism.

The indicators used to assess the social dimension range from 6.0 to 9.0 points, which made it possible to identify territories with a higher level of adaptation to visitor needs. The highest social value (9.0 points) was recorded for the Puskoriai exposure and the Anykščiai Treetop Walking Path complex. Their high scores are linked to exceptional physical accessibility, successfully implemented inclusiveness measures, and a wide range of recreational opportunities. The lowest social dimension scores were given to the Kirkilai observation tower and the Medininkai hillfort (6.5 points each), indicating limited infrastructure, lower accessibility for people with disabilities, and restricted recreational activities. Differences in the social dimension are particularly significant because they directly influence visitor experience and accessibility.

The economic sustainability component ranges from 6 to 10 points. The highest score (10) was assigned to the Palanga Botanical Park, which stands out due to its highly developed infrastructure and effective visitor flow management. A high score (9) was also given to the Puskoriai exposure, which features well-functioning infrastructure and strong commercial potential. The lowest economic sustainability scores were recorded for the Medininkai hillfort and the Balbieriskis exposure (6 points each), where infrastructure and service availability are still insufficiently developed. This may limit economic sustainability and the efficient management of visitor flows.

The Puskoriai exposure (8.7) also stands out for its high integration of all three dimensions of sustainable development, reflecting a balanced combination of social, economic, and environmental aspects.

In summary, it can be stated that the environmental dimension is the strongest across most territories, providing a solid foundation for sustainable tourism. The social dimension shows the greatest variability, revealing uneven levels of accessibility and inclusiveness. The economic dimension strongly differentiates the territories, particularly in terms of infrastructure development and the ability to manage visitor flows. Differences in the Composite Sustainable Development Index (KDI) make it possible to identify territories that require targeted interventions to achieve balanced sustainable development. The highest KDI scores are

characteristic of territories where all three dimensions are developed consistently, while the lowest scores appear in areas where one or two dimensions lag significantly behind.

Conclusions

1. Protected and recreational areas play a crucial role in the land-use policies of both Lithuania and Europe in the context of sustainable development. They perform multiple functions by ensuring the preservation of biodiversity, ecosystem stability, and the implementation of environmental protection goals, while also providing social and economic benefits to local communities and visitors.

2. Based on the evaluation of 10 protected and recreational areas in Lithuania, the highest scores were recorded for the Palanga Botanical Park, the Puskoriai Exposure, and the Tree Canopy Walk Complex, which stand out due to their well-developed infrastructure, ecological stability, and attractive landscapes. Areas with limited infrastructure, such as the Kirkilai Observation Tower or the Vente Cape Ornithological Station, exhibit high biodiversity but offer lower visitor comfort. The results indicate that, when planning visitor infrastructure, it is essential to balance nature conservation with sustainable tourism in order to maintain equilibrium between ecological value and recreational convenience.

3. The Composite Sustainable Development Index (KDI) assessment of the selected areas revealed that most territories demonstrate a relatively high level of sustainability (6.5–9.0 points). The highest KDI scores were recorded in the Palanga Botanical Park (9.0), the Puskoriai Exposure and the Belmontas Recreation Area (8.7), and the Tree Canopy Walk in Anykščiai (8.5), all of which are characterized by high social and economic dimension values. The lowest sustainability indicators were found for the Medininkai Hillfort and the Kirkilai Observation Tower (6.5–6.8), primarily due to lower scores in the social and economic dimensions.

References

1. Adamonytė, I., Kriaučiūnaitė-Neklejonovienė, V., & Rekus, D. (2018). Viešųjų erdvių tvarkymo miestelių ir kaimų teritorijose aspektai. *Optimization of Ornamental & Garden Plant Assortment, Technologies & Environment*, 9(14), 77–84.
2. Beilin, R. (2014). Analysing how drivers of agricultural land abandonment differ across Europe. *Land Use Policy*, 36, 347–355. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2013.08.024>
3. Breiby, M. A., Selvaag, S. K., Øian, H., Duedahl, E., Lørfald, M. (2022). Managing sustainable development in recreational and protected areas: The Dovre case, Norway. *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*, 37, 100461. <https://doi.org/10.1016/j.jort.2021.100461>
4. Brown, J., Smith, R., & Johnson, K. (2023). Economic contributions of protected areas: Balancing conservation and development. *Ecological Economics*, 205, 107–123. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2022.107123>
5. Di Marino, M., Hansen, R., Korpela, K., Haase, D., Pauleit, S., & Niemelä, J. (2019). Integrating green infrastructure and ecosystem services in land use planning: The case of two Finnish regions. *Land Use Policy*, 82, 643–656. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.12.020>
6. Díaz-Rodríguez, P., Rodríguez-Darias, A. J., & Arnaiz-Schmitz, C. (2024). Protected areas and their contribution to sustainable development. *Sustainability*, 16(5), 1763. <https://doi.org/10.3390/su16051763>
7. Europos kraštovaizdžio konvencija. (2000). Council of Europe. <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.189933>
8. Feltynowski, M., Stanny, M., & Wojtyszyn, B. (2023). Urban green spaces in land-use policy – Types of data and participation. *Land Use Policy*, 132, 106849. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2023.106849>
9. Fňukalová, E., Zýka, V., & Romportl, D. (2021). The network of green infrastructure based on ecosystem services supply in Central Europe. *Land*, 10(6), 592. <https://doi.org/10.3390/land10060592>
10. Jasinavičiūtė, A., & Veteikis, D. (2020). A new methodology to assess landscape reserves in Lithuania. *Baltica*, 33(2), 200–216. <https://doi.org/10.5200/baltica.2020.2.7201>
11. Kalinauskas, M., Bogdzevič, K., Gomes, E., Inácio, M., Barcelo, D., Zhao, W., & Pereira, P. (2023). Mapping and assessment of recreational cultural ecosystem services supply and demand in Vilnius (Lithuania). *Science of the Total Environment*, 855, 158590. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158590>
12. Kattumuri, R. (2018). Sustaining natural resources in a changing environment: Evidence, policy and impact. *Contemporary Social Science: Journal of the Academy of Social Sciences*, 13(1), 1–16. <https://doi.org/10.1080/21582041.2017.1418903>
13. Koemle, D., Kuhfuss, L., & Finger, R. (2019). The impact of Natura 2000 designation on agricultural land: Evidence from the European Union. *Land Use Policy*, 81, 802–812. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.11.048>
14. Lietuvos Respublikos aplinkos apsaugos įstatymas, Nr. I-2223. (1992). [žiūrėta 2025-10-06]. *Valstybės žinios*. <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.1022>
15. Lietuvos Respublikos miškų įstatymas, Nr. I-671. (1994, nauja redakcija 2001). [žiūrėta 2025-10-06]. *Valstybės žinios*. <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.671>
16. Lietuvos Respublikos saugomų teritorijų įstatymas, Nr. I-301. (1993, nauja redakcija nuo 2024). [žiūrėta 2025-10-06]. *Valstybės žinios*. <https://e-seimas.lrs.lt/>

17. Lietuvos Respublikos teritorijų planavimo įstatymas, Nr. I-1120. (1995, nauja redakcija 2014). [žiūrėta 2025-10-06]. *Valstybės žinios*. <https://e-seimas.lrs.lt/>
18. Lietuvos Respublikos turizmo įstatymas, Nr. VIII-667. (1998, nauja redakcija 2015). [žiūrėta 2025-10-06]. *Valstybės žinios*. <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.667>
19. Liqueste, C., Kleeschulte, S., Dige, G., Maes, J., Grizzetti, B., Olah, B., & Zulian, G. (2015). Mapping green infrastructure based on ecosystem services and ecological networks: A Pan-European case study. *Environmental Science & Policy*, 54, 268–280. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.07.009>
20. Marot, N., Šmid Hribar, M., Bole, D. (2024). Implementing the green infrastructure concept in practice: The case of the EU Strategy for the Alpine Region. *Journal of Environmental Policy and Planning*, 26, 325–338. <https://doi.org/10.1080/1523908X.2024.2383685>
21. McWilliam, W., Brown, R., & Pryor, M. (2015). Evaluation of planning policy for protecting green infrastructure from loss and degradation. *Land Use Policy*, 47, 459–467. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.04.013>
22. Mingarro, M., Rodríguez-Rodríguez, D., & Martínez-Fernández, J. (2023). European national parks protect their surroundings but not everywhere. *Land Use Policy*, 124, 106434. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.106434>
23. Naumann, S., Noebel, R., Fuchs, G., & Roscher, S. (2021). Protected area management in the EU: Supporting the advancement of the Trans-European Nature Network (ETC/BD Technical Report 3/2021). *European Environment Agency*.
24. Rasoolimanesh, S. M., Ramakrishna, S., Hall, C. M., Esfandiar, K., & Seyfi, S. (2023). A systematic scoping review of sustainable tourism indicators in relation to the sustainable development goals. *Journal of Sustainable Tourism*, 31(7), 1497–1517. <https://doi.org/10.1080/09669582.2020.1775621>
25. Rocchi, L., Scolozzi, R., & Gambella, F. (2020). Recreation vs. conservation in Natura 2000 sites: A spatial multi-criteria approach analysis. *Land Use Policy*, 99, 105094. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.105094>
26. Siltanen, J., Petursson, J. G., Cook, D., & Davidsdottir, B. (2022). Diversity in protected area governance and its implications for management: An institutional analysis of selected parks in Iceland. *Land*, 11(2), 315. <https://doi.org/10.3390/land11020315>
27. Smith, J., & Brown, T. (2021). The evolution of protected areas in the Anthropocene: Historical trends and future challenges. *Global Ecology and Conservation*, 29, e01789. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01789>
28. Solecka, I., Pietrzyk-Kaszyńska, A., & Kozak, J. (2018). Landscape analysis for sustainable land-use policy: A case study in Poland. *Land Use Policy*, 72, 236–247. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.12.054>
29. The Sustainable Development Goals Report 2020. (2020). United Nations. <https://unstats.un.org/sdgs/report/2020/>
30. Van der Zanden, E. H., Verburg, P. H., Schulp, C. J. E., & Verkerk, P. J. (2017). Trade-offs of European agricultural abandonment. *Land Use Policy*, 62, 290–301. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.01.014>
31. Walker, B. H., Gunderson, A. P., Kinzig, C., Folke, C., & Schultz, L. (2006). A handful of heuristics and some propositions for understanding resilience in social-ecological systems. *Ecology and Society*, 11(1), 13.
32. Zhang, L., & Müller, F. (2023). Technology-driven management of recreational areas: Innovations and implications. *Journal of Sustainable Tourism*, 31(4), 789–805. <https://doi.org/10.1080/09669582.2022.2078345>

SAUGOMŲ IR REKREACINIŲ TERITORIJŲ INTEGRUOTAS VERTINIMAS DARNAUS VYSTYMOSI KONTEKSTE

Santrauka

Šiame straipsnyje pateikiamas Lietuvos saugomų ir rekreacinių teritorijų integruotas vertinimas darnaus vystymosi kontekste. Tyrimo tikslas – nustatyti pasirinktų teritorijų ekologinę, socialinę ir ekonominę vertę, taikant kompozitinį darnaus vystymosi indeksą (KDI). Vertinimui pasirinkta 10 skirtingo tipo teritorijų, įvertintų pagal 11 kriterijų, apimančių pasiekiamumą, įtrauktį, biologinę įvairovę, reljefą, infrastruktūrą ir pritaikymą neįgaliesiems. Rezultatai atskleidė, kad aukščiausi įvertinimai (50 balų) fiksuoti Palangos botanikos parke, išsiskiriančiame išvystyta infrastruktūra, ekologiniu stabilumu ir patraukliu kraštovaizdžiu. Aukštą darnumo lygį taip pat parodė Pūčkorių atodanga, Balbieriškio atodanga ir Medžių lajų tako kompleksas (45–47 balai). Teritorijos su ribota infrastruktūra, tokios kaip Kirkilų apžvalgos bokštas ar Ventes rago ornitologinė stotis, pasižymi didesne biologine įvairove, bet mažesniu lankytojų patogumu. KDI analizė parodė, kad dauguma teritorijų pasižymi pakankamai aukštu darnumo lygiu (6,5–9,0 balo), o aukščiausi rezultatai fiksuoti Palangos botanikos parke (9,0) ir Pūčkorių atodangoje (8,7). Tyrimas atskleidė, kad teritorijų ekologinė vertė dažnai susijusi su ribota infrastruktūra, o išvystytos rekreacinės zonos gali turėti mažesnę ekologinę unikalumą. Gauti rezultatai pabrėžia būtinybę subalansuotai planuoti lankytojų infrastruktūrą, derinant gamtos apsaugą su tvarių turizmu, siekiant išsaugoti Lietuvos saugomų teritorijų ekologinį, socialinį ir ekonominį potencialą.

Reikšminiai žodžiai: saugomos teritorijos, rekreacinės teritorijos, darnus vystymas, kraštovaizdis.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Vilma Šalkauskienė.

Mokslo laipsnis ir vardas: magistrė, lektorė

Darbo vieta ir pozicija: Lietuvos inžinerijos kolegijos, Aplinkos inžinerijos fakulteto lektorė.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: Žemės naudojimo pokyčiai

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 614 89 370, vilma.salkauskiene@lik.tech

ASSESSMENT OF URBANIZATION DYNAMICS IN SUBURBAN AREAS USING GIS-BASED MONITORING: THE CASE OF DIDVYRIAI VILLAGE OF KAUNAS DISTRICT MUNICIPALITY

Daiva Gudritienė, Vilma Šalkauskienė

Lietuvos Inžinerijos Kolegija Higher Education Institution

Abstract

This study analyzes the development of built-up areas in the Didvyriai village territory of Kaunas District Municipality using GIS-based spatial data analysis. The expansion of built-up areas is assessed as a complex and dynamic process influenced by natural, political, economic, cultural, and social factors. The aim of the study is to evaluate the dynamics and sustainability of built-up area development in the Didvyriai village territory through GIS-based spatial analysis. For monitoring purposes, ORT10LT orthophotos with a spatial resolution of 0.2–0.5 m were used, allowing precise identification of buildings and their footprint areas. The results indicate that between 2005 and 2025, the number of buildings in the study area increased steadily, with the highest construction intensity recorded during 2005–2006 and 2021–2023. During the economic crisis in 2008, urbanization processes decelerated, but saw a subsequent re-intensification from 2020 onwards. The analysis indicated a primary concentration of urban development in the southwestern part of Didvyriai village. Forecasts suggest that by 2030, the number of new buildings is projected to exceed 275. The study revealed that the current development trend does not fully align with the principles of sustainable urbanization, as rapid growth of built-up areas may increase infrastructure load, traffic flows, air pollution, and the demand for social services.

Key words: Urbanization, GIS, orthophotographic maps, sustainable development.

Introduction

The expansion of built-up areas is a complex and dynamic process influenced by various natural, political, economic, cultural, and social factors. Urbanization not only alters the spatial structure of territories but also has a significant impact on landscape quality, environmental stability, and infrastructure load, particularly in peripheral areas where development trajectories are often weakly regulated. Monitoring (Lietuvos..., 1997) and analysis of these changes are essential to ensure sustainable spatial planning and sustainable land-use policy.

In contemporary urbanization research, increasing attention is devoted to spatial data and remote sensing technologies, which enable systematic monitoring of changes in urbanized areas across the landscape. This approach is based on Geographic Information Systems (GIS) analysis, which allows the identification of the dynamics of built-up area growth and its impacts on the environment and society. Satellite imagery analysis provides opportunities to examine land-use changes over long time periods, which is crucial for sustainable urbanization management (Li, 2025). Land-use and land-cover changes are considered key components of current natural resource management and environmental change monitoring strategies (Hegazy et al., 2015).

In Lithuania, monitoring of urbanized areas is not distinguished as a separate monitoring category. Currently, there is a lack of detailed data, as monitoring often relies on satellite-derived datasets with spatial resolutions of 5–10 meters. For more detailed analysis, ORT10LT orthophoto data, which have been collected since 1995 (Lietuvos..., 2025), can be used. The spatial resolution of these datasets ranges from 0.5 to 0.2 meters. The rapid development of digital technologies and GIS-based raster image analysis tools enables detailed identification and analysis of built-up area objects.

The selected research topic is relevant, as recent trends in built-up area changes have been identified in suburban territories, which require systematic monitoring and analysis to prevent chaotic development and ensure harmony with the surrounding landscape. The relevance of this study is particularly evident in Kaunas District, where uncontrolled expansion of built-up areas creates complex challenges, including poor road surface quality, insufficient street lighting, a lack of social services, and increasing dependence on private transportation. Furthermore, chaotic development often generates unforeseen and substantial investments in the subsequent installation of engineering infrastructure networks.

The aim of this study is to evaluate the dynamics and sustainability of built-up area development in the territory of Didvyriai village, Kaunas District Municipality, using GIS-based spatial data analysis.

The objectives of the study are: 1. To conduct monitoring of built-up area development in Didvyriai village during the period 1995–2024 using GIS analysis based on ORT10LT raster data. 2. To present a forecast of built-up area development. 3. To determine whether the expansion of built-up areas in Didvyriai village complies with the principles of sustainable development.

Theoretical background

Urbanization is one of the key processes shaping contemporary urban development, influencing both urban structure and the environment. Urban expansion is often characterized as dispersed and inefficient territorial growth, particularly in suburban zones where the number of individual residential buildings is increasing (Blakime et al., 2024; Surya et al., 2021). Rapid population growth intensifies pressure on peripheral areas, leading not only to infrastructure deficiencies but also to the degradation of ecological systems (Wiwoho et al., 2023; Gondo et al., 2023). Research indicates that urban development is closely associated with land-use changes, which frequently transform traditional rural areas into urbanized zones, alter spatial patterns, and contribute to emerging ecological and social challenges (Mallick et al., 2023; Mallick, 2021).

In rapidly developing regions, such as India, African countries, and Southeast Asia, urbanization often occurs in an unplanned manner, resulting in challenges related to sustainable urban planning, land suitability, and urban resilience (Mallick et al., 2024; Blakime et al., 2024; Surya et al., 2021).

Land-use changes and their driving forces can be classified into natural and anthropogenic factors. Natural factors include climate, soil, and topography, while anthropogenic factors encompass population growth, technological development, economic activity, political frameworks, and cultural influences (Wiwoho et al., 2023; Gondo et al., 2023). Studies confirm that anthropogenic factors generally exert more rapid impacts than natural factors, and their interactions vary depending on spatial and temporal scales (Wiwoho et al., 2023; Mallick et al., 2023).

To accurately monitor urbanization processes and changes in built-up areas, various spatial data sources are employed (Gudritienė et al., 2020), including satellite imagery (Georeferencinio..., 2017), GIS, and orthophoto maps (Li, 2025; Nistor, 2021; Li, 2014). High-resolution data not only enable the identification of urbanized areas but also allow for detailed monitoring of individual land parcels, transportation infrastructure expansion, and changes in green spaces (Li, 2025; Li, 2014).

Digital raster orthophoto maps ORT10LT at a scale of 1:10,000 covering the entire territory of the Republic of Lithuania are available through the Lithuanian Spatial Information Portal (www.geoportal.lt). The adoption of digital aerial photogrammetric methods in Lithuania has opened new technical possibilities for the use of orthophoto maps. Following the production of orthophoto maps based on aerial photographs from the period 1992–1996, the development of GIS technologies in Lithuania expanded significantly. The advancement of GIS has been and continues to be closely linked to innovations introduced in disciplines such as geography, cartography, photogrammetry, remote sensing, geodesy, civil engineering, and statistics. Photogrammetric methods are considered the most efficient for the creation and updating of digital maps. Orthophoto plans are widely used for interpretation and digitization in the production of digital maps and spatial datasets at various scales.

The planning and management of green spaces in urbanized areas are becoming an increasingly important component of sustainable territorial development, as urbanization leads to the expansion of impervious surfaces, reduces biodiversity, and deteriorates environmental quality (He et al., 2023; Hansen et al., 2023). Studies highlight that the level of urbanization influences the effectiveness of green spaces (He et al., 2023; Hansen et al., 2023). Moreover, urban expansion is directly linked to climate change, making urbanization monitoring a crucial tool in both spatial planning (Mallick, 2021; Mallick et al., 2023) and environmental protection contexts (Gilbert et al.; Shi, 2023).

Accurate spatial data analysis, land-use change monitoring, and sustainable planning strategies are essential for ensuring effective urban development and environmental protection (Li, 2025; Nistor, 2021; Mallick et al., 2024).

Overall, the reviewed studies highlight that urbanization-driven land-use changes require continuous and methodologically robust monitoring to mitigate negative environmental and social impacts. The integration of high-resolution spatial data and GIS-based analysis is therefore essential for supporting sustainable urban planning, informed decision-making, and effective management of urban and peri-urban territories.

Research Methodology

The study was conducted in Didvyriai village, Kaunas District Municipality, within a 50 ha study area. This area was selected due to the rapid suburban urbanization taking place in recent decades. The chosen study area is representative of a typical rapidly urbanizing suburban zone, where urban development is strongly influenced by proximity to the city of Kaunas.

Spatial orthophoto data from the ORT10LT dataset, which has been collected nationwide in Lithuania since 1995, were used in this study. The spatial resolution of these data ranges from 0.2 to 0.5 m, making them

suitable for detailed identification of built-up areas and individual buildings. The analysis period covered 2005–2024.

The data were compiled through the interpretation of ORT10LT dataset layers produced in different years since 1995. Following desk-based raster image interpretation, polygon and point feature layers were created to represent built-up areas and individual buildings, respectively (Figure 1).



Fig. 1. Distribution of buildings in Didvyriai village territory during the periods of 2012–2013, 2015–2017, 2018–2020 and 2021–2023

Source: compiled by the authors

To assess changes in building size, the built-up area was calculated for each building and classified into three categories: up to 100 m², 101–200 m², and 201–300 m². Using GIS, the spatial structure of new buildings within the territory, their distribution, and development directions were determined. Thematic map visualizations were created, clearly illustrating urbanization dynamics and facilitating data comparison across different periods. The collected data were analyzed using statistical indicators and period-to-period comparisons. The analysis allowed for evaluating changes in the number of buildings, built-up areas, and size categories during the studied period.

The obtained results were compared with the provisions of the Kaunas District Municipality Master Plan (Kaunas..., 2025) to assess whether the actual development of built-up areas aligns with the planned functional zones and principles of sustainable development.

To evaluate the potential development trend of built-up areas in Didvyriai village up to 2030, a linear trend extrapolation method was employed, based on observed changes in the number of constructed buildings over the analyzed period. This approach is commonly used in urbanization studies when the goal of forecasting is to identify general development directions rather than to predict exact future scenarios (Hegazy et al., 2015; Mallick et al., 2023).

The projection was derived from data covering 2005–2024, during which the number of buildings in Didvyriai village increased from 3 to 133. The average annual growth rate of buildings was calculated and subsequently extrapolated for the 2024–2030 period. This method allowed for an estimation of urbanization growth, assuming that economic and demographic conditions remain relatively stable and that construction intensity is not affected by potential economic crises.

Results and Discussion

According to the Kaunas District Municipality Master Plan, the majority of the Didvyriai village territory has been designated as development areas intended for new residential zones with local (polyfunctional) centers. The plan emphasizes that urban expansion should not increase in environmentally sensitive areas, giving priority instead to the formation and optimization of existing urbanized structures.

The Kaunas Regional Development Plan for 2022–2030 outlines the development of green infrastructure in urbanized areas to reduce air pollution and improve residents' quality of life by establishing and maintaining parks and increasing greenery in multi-apartment neighborhoods. One of the main drivers of urbanization in the area is ongoing construction. Newly built structures are modern and comply with current energy efficiency and environmental standards.

Analysis of data from 2005–2025 revealed that in 2005, the Didvyriai village study area contained only three residential buildings, whereas during 2021–2023, their number increased to 88. The most recent orthophotographic map identified an additional 45 new buildings, bringing the total number of buildings in the study area at the end of the analyzed period to 133 (Table 1).

Table 1

Changes in the Number of Buildings from 2005 to 2024

Year	Number of Buildings	Change (units)	Change since start of monitoring
2005-2006	3	-	-
2009-2010	25	22	22
2012-2013	30	5	27
2015-2017	42	12	39
2018-2020	53	11	50
2021-2023	88	35	85
2024	133	45	130

Source: compiled by the authors

From 2005 to 2023, the number of buildings in the study area increased steadily. The majority of constructions occurred during the periods 2005–2006 and 2021–2025. It is likely that in 2008, when the economic crisis began in Lithuania, the urbanization process slowed down, but it regained momentum from 2020 onwards.

Residential construction dominates in this area, accompanied by the necessary social infrastructure, including scattered plots for commercial and public-use facilities that support the quality of social life and development of the territory. The planned building type for the area consists of single-family and two-family houses. Newly formed land plots, taking into account the surrounding established residential areas and prevailing plot sizes, are no smaller than 0.0700 ha.

Analysis of building footprint data revealed that most buildings occupy an area of 101 - 200 m² (Table2).

Table 2

Building Footprint Areas in the Territory, 2005–2023

No.	Built-up Area (m ²)	Construction Period	No.	Built-up Area (m ²)	Construction Period
1	120	2018-2020	45	110	2018-2020
2	194	2015-2017	46	110	2018-2020
3	135	2021-2023	47	110	2012-2013
4	196	2012-2013	48	110	2012-2013
5	145	2009-2010	49	110	2012-2013
6	92	2009-2010	50	110	2018-2020
7	180	2009-2010	51	110	2021-2023
8	212	2009-2010	52	110	2021-2023
9	186	2009-2010	53	110	2021-2023
10	212	2009-2010	54	110	2021-2023
11	212	2009-2010	55	110	2021-2023
12	195	2009-2010	56	110	2021-2023
13	110	2009-2010	57	110	2021-2023
14	102	2009-2010	58	110	2021-2023
15	202	2009-2010	59	110	2021-2023
16	130	2009-2010	60	110	2021-2023
17	130	2009-2010	61	110	2021-2023
18	130	2009-2010	62	110	2021-2023
19	188	2009-2010	63	110	2021-2023
20	190	2009-2010	64	110	2021-2023
21	220	2009-2010	65	110	2021-2023
22	220	2009-2010	66	110	2021-2023
23	130	2015-2017	67	110	2021-2023
24	90	2015-2017	68	110	2021-2023
25	120	2015-2017	69	110	2021-2023
26	90	2015-2017	70	110	2021-2023
27	50	2015-2017	71	110	2021-2023
28	190	2015-2017	72	110	2021-2023
29	155	2015-2017	73	110	2021-2023
30	220	2015-2017	74	280	2009-2010
31	150	2015-2017	75	90	2005-2006
32	115	2015-2017	76	110	2005-2006
33	115	2015-2017	77	130	2005-2006
34	80	2018-2020	78	130	2021-2023
35	260	2018-2020	79	130	2021-2023
36	140	2018-2020	80	130	2021-2023
37	180	2018-2020	81	160	2021-2023
38	140	2018-2020	82	180	2021-2023
39	300	2009-2010	83	110	2021-2023

No.	Built-up Area (m ²)	Construction Period	No.	Built-up Area (m ²)	Construction Period
40	110	2009-2010	84	120	2021-2023
41	110	2009-2010	85	142	2021-2023
42	180	2012-2013	86	143	2021-2023
43	120	2018-2020	87	144	2021-2023
44	110	2018-2020	88	145	2021-2023

Source: compiled by the authors

During the period 2005–2006, the study area contained only three residential buildings: 10–100 m² – 1 building; 101–200 m² – 2 buildings; 201–300 m² – 0 buildings.

In 2009–2010, there were 22 residential buildings in the study area. From 2006 to 2010, 22 new buildings were constructed. They are located in the northwestern part of the study area and form a dense cluster.

During 2012–2013, the study area contained 30 residential buildings. From 2010 to 2013, five new buildings were added, primarily in the western part of the territory. Based on footprint area, the buildings are distributed as follows: 10–100 m² – 0 buildings; 101–200 m² – 5 buildings; 201–300 m² – 0 buildings.

In 2015–2017, there were 42 residential buildings in the study area. From 2013 to 2017, 12 new buildings were constructed. According to their footprint area, the newly built structures are distributed as follows: 10–100 m² – 3 buildings; 101–200 m² – 8 buildings; 201–300 m² – 1 building.

During 2018–2020, the study area contained 53 residential buildings. From 2017 to 2020, 11 new buildings were constructed, primarily located in the northern part of the study area. Based on footprint area, the new buildings are distributed as follows: 10–100 m² – 7 buildings; 101–200 m² – 4 buildings; 201–300 m² – 0 buildings.

During the period 2021–2023, the study area contained 88 residential buildings. From 2020 to 2023, 35 new buildings were constructed, mostly in the southwestern part of the village. These new buildings primarily occupy areas of 100–200 m², indicating a trend toward constructing larger footprint buildings. Based on footprint area, the distribution is as follows: 10–100 m² – 0 buildings; 100–200 m² – 35 buildings; 200–300 m² – 0 buildings.

In 2025, the ORT10LT layer again indicated a significant increase in the number of buildings, all of which are located in the southwestern part of the plots. By 2025, an additional 45 new buildings had been constructed, predominantly in the southwestern part of the village, occupying areas of 100–200 m².

The analysis shows that throughout the entire period, residential buildings occupying 100–200 m² were the most frequently constructed in the study area. Between 2022 and 2023, this footprint size was the most dominant. These buildings allow for more efficient use of land, providing greater living space on the same plot. Currently, small residential buildings prevail. While buildings larger than 200 m² were popular before 2010, their construction completely lost popularity from 2020 onwards (Figure 2).

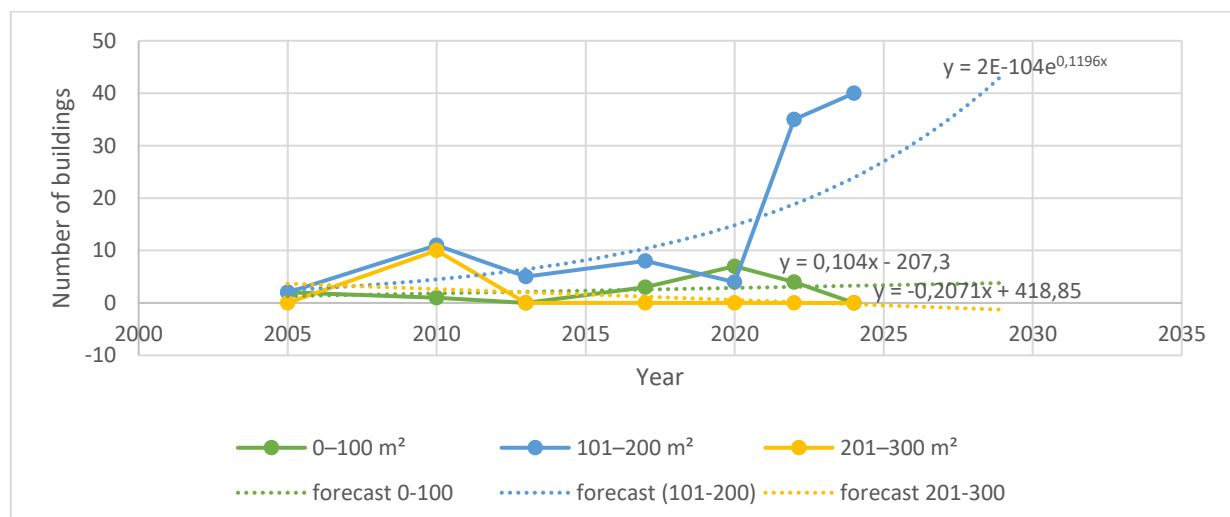


Fig. 2. Distribution of Buildings by Footprint Area in 2005–2023 in Didvyriai Village and Forecast

Source: compiled by the authors

Analyzing development trends, it can be stated that from 2005 to 2010, construction focused on larger and more diverse houses. In 2010, as many as 10 buildings exceeding 200 m² were recorded, reflecting higher investment activity and increased income typical of an economic upturn. Between 2013 and 2017, following

the economic crisis, construction in 2013 dropped drastically. The development of buildings larger than 200 m² completely disappeared. From 2020 to 2024, development became dominated by a single category. In recent years, the vast majority of buildings fall within the 101–200 m² range, indicating a strong demand for standard, medium-sized single-family homes.

The forecasts indicate that the pace of development will maintain its upward trend, which may pose significant challenges for the Didvyriai village region. According to the projections, by 2030, the number of new buildings in Didvyriai village is likely to exceed 275 (considering only the period from 2024 to 2030). This growth exceeds the capacity of both existing and planned infrastructure. Expanded water supply, sewage, and road networks would be required beyond current capacities, directly resulting in inadequate infrastructure in new residential areas.

The increase in the number of residential buildings will also raise demand for preschool and primary education facilities. If these projections materialize, at least two new kindergartens or school branches may be needed within six years, which is not accounted for in any current municipal planning documents. Each new building implies at least one additional vehicle commuting to Kaunas city center during morning peak hours, which would drastically increase traffic congestion and air pollution throughout the Kaunas district suburbs.

The forecast data clearly indicate that further development of Didvyriai village, if it continues along the current trajectory without active municipal intervention, is unsustainable. It may lead to critical socio-economic losses over the next decade.

Conclusions

1. From 2005 to 2025, the number of buildings in the study area increased steadily. The most intensive construction periods were 2005–2006 and 2021–2023. During the 2008 economic crisis, urbanization slowed down, but from 2020 onwards it accelerated. Collected data indicate that urban development has been concentrated in the southwestern part of the village.

2. Classification of buildings by footprint area revealed that most constructions are residential buildings with an area of up to 200 m². In 2005, the study area in Didvyriai village contained only three buildings, one of which fell into the up to 100 m² category, and two into the 101–200 m² category. By the end of the analyzed period, the area contained 133 buildings. Of these, 110 buildings fall into the 101–200 m² range; 12 buildings occupy up to 100 m², and 11 buildings exceed 200 m². Forecasts suggest that by 2030, the number of new buildings could exceed 275. Further development may place a burden on infrastructure, increase traffic and air pollution, and elevate demand for social services.

3. The analysis showed that the development of built-up areas in Didvyriai village does not fully comply with the principles of sustainable development. Although buildings are designed for efficient land use, the rapidly increasing number of residential houses may create social, economic, and environmental challenges if effective spatial planning and infrastructure development are not implemented.

References

1. Blakime, T.-H., Adjonou, K., Komi, K., Hlovor, A. K. D., Gbafa, K. S., Zoungrana, J.-B. B., Polorigni, B., & Kokou, K. (2024). Dynamics of built-up areas and challenges of planning and development of urban zone of Greater Lomé in Togo, West Africa. *Land*, 13(1), 84. <https://doi.org/10.3390/land13010084>
2. Gilbert, K. M., & Shi, Y. (2023). Nighttime lights and urban expansion: Illuminating the correlation between built-up areas of Lagos City and changes in climate parameters. *Buildings*, 13(12), 2999. <https://doi.org/10.3390/buildings13122999>
3. Gondo, R., Kolawole, O. D., & Mfundisi, K. B. (2023). Land use and land cover changes along the Boteti-Thamalakane River system in Ngamiland District, Botswana. *Scientific African*, 20, e01595. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2023.e01595>
4. Gudritienė, D., Šalkauskienė, V., Abalikštienė, E., & Pupka, D. (2020). GRPK ir ORT10LT erdvių duomenų apie tvenkinių užimamą padėtį tikslumo ir informatyvumo vertinimas. *Miškininkystė ir kraštovaizdis*, 40–45.
5. Hansen, R., Buizer, M., Buijs, A., Pauleit, S., Mattijssen, T., Fors, H., & Konijnendijk, C. (2023). Transformative or piecemeal? Changes in green space planning and governance in eleven European cities. *European Planning Studies*, 31(12), 2401–2424. <https://doi.org/10.1080/09654313.2022.2139594>
6. He, M., Ge, D., Jiang, J., Wang, P., & Yao, C. (2023). How do urban function and development level affect construction level of green infrastructure? A case study of 110 built-up areas of cities in the Yangtze River Economic Zone. *Cities*, 143, 104620. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2023.104620>
7. Hegazy, I. R., & Kaloop, M. R. (2015). Monitoring urban growth and land use change detection with GIS and remote sensing techniques in Daqahlia governorate, Egypt. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 4(1), 117–124. <https://doi.org/10.1016/j.ijsbe.2015.02.005>

8. Kauno rajono savivaldybė. (2025). Informacija apie Kauno rajono savivaldybės teritorijos bendrojo plano sprendinius. Teritorijų planavimo dokumentų rengimo sistema. Retrieved December 16, 2025, from https://www.planuojustatau.lt/lt/planuoju_rtpd/kauno_raj/sav_bendrieji
9. Li, Y. (2025). Multi-temporal analysis of land use change using GIS and satellite imagery: Implications for sustainable urban planning. *Advances in Engineering Innovation*, 15, 21–25. <https://doi.org/10.54254/2977-3903/2025.20517>
10. Li, X. (2014). Object based land cover mapping with high resolution orthophotos and DEM data. *Remote Sensing*, 6(11), 11372. <https://doi.org/10.3390/rs6111372>
11. Lietuvos erdvinės informacijos portalas. (2025). Retrieved December 16, 2025, from <https://www.geoportal.lt/geoportal/>
12. Lietuvos Respublikos Seimas. (1997). Lietuvos Respublikos aplinkos monitoringo įstatymas (Nr. VIII-529). <https://eseimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.47236/asr>
13. Lietuvos Respublikos žemės ūkio ministerija. (2017). Georeferencinio pagrindo kadastro erdviųjų duomenų rinkinio specifikacija (Isakymas Nr. 3D-850). <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/f9f40a00ec6d11e78a1adea6fe72f3c5>
14. Mallick, S. K. (2021). Prediction–adaptation–resilience (PAR) approach: A new pathway towards future resilience and sustainable development of urban landscape. *Geography and Sustainability*, 2(2), 127–133. <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2021.06.002>
15. Mallick, S. K., Rudra, S., & Maity, B. (2023). Unplanned urban built-up growth creates problem in human adaptability: Evidence from a growing up city in eastern Himalayan foothills. *Applied Geography*, 150, 102842. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2022.102842>
16. Mallick, S. K., Rudra, S., & Maity, B. (2024). Land suitability assessment for urban built-up development of a city in the Eastern Himalayan foothills: A study towards urban sustainability. *Environment, Development and Sustainability*, 26(2), 3767–3792. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02857-8>
17. Nistor, C. (2021). Remote sensing based analysis of urban landscape changes: A case study of Bucharest. *Remote Sensing*, 13(12), 2323. <https://doi.org/10.3390/rs13122323>
18. Surya, B., Salim, A., Hernita, H., Suriani, S., Menne, F., & Rasyidi, E. S. (2021). Land use change, urban agglomeration, and urban sprawl: A sustainable development perspective of Makassar City, Indonesia. *Land*, 10(6), 556. <https://doi.org/10.3390/land10060556>
19. Wiwoho, B. S., Phinn, S., & McIntyre, N. (2023). Two decades of land-use dynamics in an urbanizing tropical watershed: Understanding the patterns and drivers. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 12(3), 92. <https://doi.org/10.3390/ijgi12030092>

URBANIZACIJOS DINAMIKOS VERTINIMAS PRIEMIESTINĖSE TERITORIJOSE TAIKANT GIS PAGRISTĄ MONITORINGĄ: KAUNO RAJONO SAVIVALDYBĖS DIDVYRIO KAIMO ATVEJU

Santrauka

Šiame tyrime analizuojama užstatytų teritorijų plėtra Kauno rajono savivaldybės Didvyriai kaimo teritorijoje, taikant GIS pagrįstą erdviųjų duomenų analizę. Užstatytų teritorijų plėtra vertinama kaip sudėtingas ir dinamiškas procesas, kurį lemia gamtiniai, politiniai, ekonominiai, kultūriniai ir socialiniai veiksniai. Tyrimo tikslas – įvertinti užstatytos teritorijos plėtros dinamiką ir darnumą Kauno rajono savivaldybės Didvyriai kaimo teritorijoje, taikant GIS pagrįstą erdviųjų duomenų analizę. Monitoringui naudoti ORT10LT ortofotografiniai žemėlapiai, kurių skiriamoji geba siekia 0,2–0,5 m, kurie leidžia tiksliai identifikuoti pastatus ir jų užstatymo plotus. Tyrimo rezultatai parodė, kad 2005–2025 m. laikotarpiu pastatų skaičius analizuojamoje teritorijoje nuolat augo, o didžiausias statybų intensyvumas fiksuotas 2005–2006 m. ir 2021–2023 m. Ekonominės krizės laikotarpiu (2008 m.) urbanizacijos procesai buvo sulėtėję, tačiau nuo 2020 m. vėl suintensyvėjo. Nustatyta, kad urbanizacijos plėtra daugiausia susitelkusi pietvakarinėje Didvyriai kaimo dalyje. Prognozės rodo, kad iki 2030 m. naujų pastatų skaičius gali viršyti 275 pastatus. Tyrimas atskleidė, kad esama plėtros kryptis nevisiškai atitinka darnios urbanizacijos principus, nes spartus užstatytų teritorijų augimas gali didinti infrastruktūros apkrovą, transporto srautus, oro taršą ir didesnę socialinių paslaugų poreikį.

Reikšminiai žodžiai: urbanizacija, GIS, ortofotografiniai žemėlapiai, darni plėtra.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Daiva Gudritienė

Mokslo laipsnis ir vardas: magistrė, lektorė

Darbo vietą ir poziciją: Lietuvos inžinerijos kolegijos, Aplinkos inžinerijos fakulteto lektorė.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: Nuotoliniai tyrimų metodai

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 616 43034, daiva.gudritiene@lik.tech

Autoriaus vardas, pavardė: Vilma Šalkauskienė

Mokslo laipsnis ir vardas: magistrė, lektorė

Darbo vietą ir poziciją: Lietuvos inžinerijos kolegijos, Aplinkos inžinerijos fakulteto lektorė.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: Žemės naudojimo pokyčiai

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 614 89 370, vilma.salkauskiene@lik.tech

DYNAMICS OF TREE AND SHRUB VEGETATION EXPANSION IN LITHUANIA 2016-2025

Edita Abalikštienė, Vilma Šalkauskienė

Lietuvos Inžinerijos Kolegija Higher Education Institution

Abstract

The article evaluates the extent and spatial distribution of tree and shrub vegetation expansion across Lithuanian municipalities during the period 2016–2025. The analysis was carried out using data from the Land Fund of the Republic of Lithuania for 2016, 2020, and 2025, applying comparative and regression analysis. It was determined that spontaneous expansion of woody vegetation is a widespread process, although its intensity varies spatially. The results show that the extent of tree and shrub expansion is not directly related to the average land productivity score of municipalities, and these changes are driven by other factors.

Key words: Woody vegetation, Tree and shrub cover, Land cover change.

Introduction

In Lithuania, changes in tree and shrub vegetation have become increasingly evident since the early 1990s. By around the year 2000, more than one-tenth of former agricultural land had become overgrown with low-value shrubs and young woody vegetation. The most significant increase in woody vegetation cover was recorded between 2000 and 2006, when an average of 10,000 to 30,000 hectares of land per year underwent natural overgrowth, with these areas later inventoried and, in some cases, officially added to the forest land category (Nacionalinis, 2021). In addition to natural succession, part of the expansion of woody vegetation resulted from planned afforestation measures. Since 2004, the implementation of Rural Development Programme measures has encouraged the establishment of new forest stands on former agricultural land. During the first EU funding period (2004–2006), approximately 5,000 hectares of private land were afforested; around 10,000 hectares were planted in 2007–2013, and approximately 7,000 hectares in 2014–2020 (Kryzk et al., 2024). However, planned afforestation represents only a share of the overall increase in tree and shrub cover, as natural overgrowth remained a major component of land cover change. International studies show that the dynamics of woody vegetation expansion vary considerably across regions and depend on biophysical, socio-economic, and institutional factors. The object of the study is tree and shrub vegetation cover. The study applies statistical analysis, temporal comparison of reference years and regression modelling.

The aim of this study is to evaluate the extent and distribution of tree and shrub vegetation across Lithuanian municipalities during the period from 2016 to 2025.

The objectives of the study are: (1) to assess changes in the share of trees and shrubs across Lithuanian municipalities between 2016 and 2025, identifying those with the highest and lowest relative changes; and (2) to analyse differences in woody vegetation expansion between urban and rural municipalities, as well as to examine the relationship between land productivity and the extent of tree and shrub expansion.

The article is structured as follows: the first section presents the introduction; the second section describes the materials and methods; the third section outlines the theoretical background; the fourth section analyses the dynamics of tree and shrub expansion on agricultural land; and the final section presents the conclusions.

Materials and methods

The study evaluated the extent of the spontaneous expansion of tree and shrub vegetation in Lithuanian municipalities during the period 2016–2025. Municipalities were selected as the unit of analysis to enable a comparison of the intensity of these processes across the country.

The research employed data from the Lithuanian Land Fund for the years 2016, 2020, and 2025. These datasets contain detailed information on land-use categories and land cover, allowing the identification of areas that transitioned to shrub- or tree-dominated vegetation. All datasets were aggregated at the municipal level to ensure temporal comparability.

Woody vegetation was quantified in two ways: as an absolute area (ha) and as a percentage of the total municipal land area. The use of both measures allowed the analysis to capture not only the overall scale of change but also its relative significance in municipalities of different sizes and land-use structures.

Temporal changes were examined through a comparative analysis of the three reference years. Based on the observed trends, a forecast was developed to estimate the potential continuation of tree and shrub vegetation expansion under unchanged conditions.

To assess factors associated with the expansion of tree and shrub vegetation, a regression analysis was conducted. The dependent variable was the change in tree and shrub vegetation area, while the primary

explanatory variable was the average soil productivity score at the municipal level. Additional indicators, such as the share of forest land in each municipality, were included to provide contextual information and support the interpretation of the results.

Theoretical Background

Abandonment of agricultural land is widespread in many European countries (Cartwright, 2022). This process most often occurs on low-productivity agricultural land where intensive farming activities are not carried out (Dagiliūtė & Kazanavičiūtė, 2024; Mozgeris & Juknelienė, 2021). Studies show that land abandonment does not occur randomly but most often takes place in areas with unfavourable farming conditions. A higher probability of shrub and tree growth is observed in hilly areas, on steep slopes, or near existing forest areas (Kolecka et al., 2015; Pedley et al., 2022). In addition to natural conditions, vegetation growth is also influenced by social and economic factors. Processes such as rural population decline, labour shortages, increasing land parcel fragmentation, and changing agricultural markets have contributed to the reduction of agricultural activity (Juknelienė et al., 2025).

In post-socialist countries, including Lithuania, these trends were further strengthened by economic and institutional restructuring, when many small farms became economically unviable and remote, low-productivity land parcels were abandoned (Prokopová et al., 2018). Over time, these areas developed into shrublands and young forest stands (Tiškutė-Memgaudienė, 2021; Ivavičiūtė, 2023). Such expansion is associated with various ecological consequences. New areas of woody vegetation contribute to carbon accumulation and improve soil stability (Fayet et al., 2022; Sujetovienė & Dabašinskas, 2022). These areas are increasingly recognised as potential sites for habitat restoration and for strengthening ecological networks (Wang et al., 2023).

However, the expansion of woody vegetation is not evaluated only positively. The loss of open grassland habitats poses a threat to species, and the abandonment of pastures and meadows is associated with a decline in herbaceous biodiversity (Prus et al., 2022). In addition to ecological aspects, land-use changes affect cultural landscapes and rural identity, as long-established agricultural structures are replaced by unmanaged vegetation (Frei et al., 2020). Reduced agricultural activity may weaken economic resilience, particularly in peripheral rural regions (Pawlewicz & Pawlewicz, 2023).

The processes observed in Lithuania correspond to general European trends (Liu et al., 2022; Plieninger et al., 2016). Although afforestation support measures have been implemented in the country since 2004, the expansion of trees and shrubs on agricultural land still occurs mainly due to spontaneous natural regeneration rather than planned tree planting (Mozgeris et al., 2021). National land monitoring and forest inventory data confirm the continued increase of woody vegetation on agricultural land (Petrokas et al., 2025).

This study contributes to the existing body of research by analysing municipality-level changes in tree and shrub vegetation in Lithuania between 2016 and 2025, using official land fund and land-use monitoring data (ŽISIS, 2025). The study quantifies the extent of spontaneous woody vegetation expansion and examines the key factors associated with its spatial variation across the country within the broader context of land-use change processes.

Dynamics of tree and shrub expansion

Currently, forests cover more than one-third of Lithuania's territory, totaling approximately 2.2 million hectares. An analysis was conducted of forested areas within the national land fund, providing insights into their long-term dynamics and changing share within the overall land-use structure (Table 1).

In addition, areas of trees and shrubs not classified as forests, such as isolated stands, groups, or rows covering at least 0.1 ha, as well as green corridors, parks, and squares, were included in the analysis.

Between 2016 and 2025, the area of trees and shrubs in Lithuania increased markedly, from 158,559 ha to 218,356 ha. In relative terms, these areas accounted for approximately 2.4% and 3.4% of the national territory, respectively. The net increase over the study period therefore amounted to nearly 0.9% of Lithuania's total land area. This steady growth indicates a persistent and spatially widespread process of woody vegetation expansion within agricultural land, rather than short-term or episodic land cover fluctuations.

Table 1

Dynamics of spontaneous woodland and shrub expansion in Lithuanian municipalities

Municipality	Area of trees and shrubs land (ha)				Municipality	Area of trees and shrubs land (ha)			
	2016	2020	2025	change		2016	2020	2025	change
Akmene	1100	1302	1457	357	Palanga city	246	270	325	80
Alytus city	189	235	215	26	Panevezys city	264	351	417	154
Alytus	4519	5670	6484	1964	Panevezys	2447	3723	3853	1406
Anyksciai	6245	9181	9656	3411	Pasvalys	1831	1757	1669	-162

Municipality	Area of trees and shrubs land (ha)				Municipality	Area of trees and shrubs land (ha)			
	2016	2020	2025	change		2016	2020	2025	change
Birstonas	353	377	456	103	Plunge	1984	2517	2869	885
Birzai	2117	2889	2818	701	Prienai	2671	3210	3489	819
Druskininkai	950	1223	1286	336	Radviliskis	2747	3481	3927	1180
Elektrėnai	1880	2449	2702	822	Raseiniai	2983	3290	3676	693
Ignalina	4882	6775	6801	1919	Rietavas	630	771	899	268
Jonava	1714	2153	2298	585	Rokiskis	5883	8691	8853	2970
Joniskis	588	988	1074	486	Skuodas	973	1154	1330	357
Jurbarkas	1471	1863	2211	740	Sakiai	1502	1854	2048	546
Kašiadorys	3750	4667	5147	1398	Salcininkai	5163	6433	6253	1090
Kalvarija	1275	2130	2400	1126	Siauliai city	393	481	592	199
Kaunas city	565	731	722	157	Siauliai	3245	3301	3860	615
Kaunas	2688	3395	3616	928	Silalė	1542	1839	2206	664
Kazlu Ruda	1449	1603	1821	373	Silutė	2813	3908	4453	1640
Kedainiai	2230	2512	2549	319	Sirvintos	2678	3747	4034	1356
Kelme	5747	7509	8521	2774	Svencioniai	6102	7332	7698	1597
Klaipėda city	645	433	483	-162	Tauragė	2190	2950	3368	1179
Klaipėda	2648	2377	2784	136	Telsiai	3011	3694	4192	1181
Kretinga	1054	1140	1395	341	Trakai	5779	6495	6609	830
Kupiskis	1894	2832	3288	1393	Ukmergė	3585	4878	5463	1878
Lazdijai	4705	6108	7361	2656	Utena	4884	7394	7549	2665
Marijampolė	813	1016	1071	258	Varena	4379	5035	5390	1011
Mazeikiai	1181	1610	1673	493	Vilkaviskis	2969	3424	3513	544
Moletai	7260	9000	10277	3017	Vilnius city	1208	1623	1968	760
Neringa	1	11	21	20	Vilnius	11460	13818	14402	2942
Pagegiai	1497	1974	2025	528	Visaginas	152	213	312	160
Pakruojis	2275	2673	2588	313	Zarasai	5163	7873	7939	2775
Total in Lithuania:						158559	202331	218356	59797

Source: compiled by the authors using data from the Land Fund of the Republic of Lithuania.

An analysis of land-use change at the municipal level reveals a clear and consistent increase in the natural expansion of shrubs and trees across most Lithuanian municipalities. At the same time, the magnitude and pace of woody vegetation expansion vary considerably among regions, reflecting differences in environmental conditions, land productivity, demographic patterns, and local land-use practices. In several municipalities, the increase in tree and shrub cover was particularly pronounced, exceeding 2,500 ha over the study period. In contrast, most municipalities experienced more moderate changes, generally ranging from 100 to 1,500 ha, indicating the widespread but gradual nature of land abandonment or low-intensity agricultural use across the country.

In contrast to this general pattern, a limited number of municipalities experienced stable or slightly decreasing areas of trees and shrubs on agricultural land. In Klaipėda municipality, for instance, a small reduction in woody vegetation was observed, most likely linked to urban expansion, infrastructure development, and construction activities that replaced previously overgrown areas. A comparable trend was identified in Pasvalys municipality, where the area covered by shrubs and trees decreased by approximately 162 ha.

This decline is particularly noteworthy given the relatively high land productivity in Pasvalys municipality and the prevalence of intensive agricultural practices. These conditions suggest that active land use, consistent cultivation, and effective land management can limit or even reverse spontaneous woody vegetation expansion at the local scale. Such cases underline the importance of human land-use decisions in shaping land-cover dynamics, in contrast to the dominant national trend of natural vegetation encroachment. Overall, the findings indicate that spontaneous expansion of woody vegetation continues to affect a substantial proportion of agricultural land in Lithuania.

To evaluate the dynamics of spontaneous woodland and shrub expansion on agricultural land across Lithuanian municipalities, several indicators were analyzed (Table 2).

Table 2

Indicators of woodland and shrub spontaneous expansion in rural Lithuanian municipalities

Municipality	Area (ha)	Productivity score	Forest area (ha)	Forest area (%)	Change in shrubs and trees area, 2016–2025 (ha)	Change as % of municipal area
Akmene	84379	47.4	26382	31.3	357	0.4
Alytus	140339	38.7	34699	24.7	1964	1.4
Anyksciai	176411	37.5	57751	32.7	3411	1.9

Municipality	Area (ha)	Productivity score	Forest area (ha)	Forest area (%)	Change in shrubs and trees area, 2016–2025 (ha)	Change as % of municipal area
Birzai	147579	47.4	40596	27.5	701	0.5
Druskininkai	45301	32.7	31220	68.9	336	0.7
Elektrenai	50870	36.1	16836	33.1	822	1.6
Ignalina	144084	36.2	52707	36.6	1919	1.3
Jonava	94352	42.6	39108	41.4	585	0.6
Joniskis	115163	50.5	22191	19.3	486	0.4
Jurbarkas	150618	48.0	56531	37.5	740	0.5
Kaisiadorys	108664	38.5	35892	33.0	1398	1.3
Kalvarija	44026	38.3	5208	11.8	1126	2.6
Kaunas	149548	48.0	48503	32.4	928	0.6
Kazlu Ruda	55453	38.4	32254	58.2	373	0.7
Kedainiai	167664	51.6	43149	25.7	319	0.2
Kelme	170464	37.6	50817	29.8	2774	1.6
Klaipeda	132336	38.8	34690	26.2	136	0.1
Kretinga	98930	39.2	34171	34.5	341	0.3
Kupiskis	108008	41.8	31539	29.2	1393	1.3
Lazdijai	130609	36.9	45732	35.0	2656	2.0
Marijampole	75486	48.5	11086	14.7	258	0.3
Mazeikiai	121958	43.3	35689	29.3	493	0.4
Moletai	136682	34.6	42428	31.0	3017	2.2
Pagegiai	53542	37.6	8869	16.6	528	1.0
Pakruojis	131520	47.5	25751	19.6	313	0.2
Panevezys	217712	47.4	74988	34.4	1406	0.6
Pasvalys	128887	52.3	21898	17.0	-162	-0.1
Plunge	110549	35.3	39123	35.4	885	0.8
Prienai	103254	40.5	28600	27.7	819	0.8
Radviliskis	163406	47.2	40114	24.5	1180	0.7
Raseiniai	157284	42.1	37474	23.8	693	0.4
Rietavas	58562	35.9	31270	53.4	268	0.5
Rokiskis	180631	38.4	53797	29.8	2970	1.6
Skudotas	91095	39.9	18179	20.0	357	0.4
Sakiai	145374	48.5	33764	23.2	546	0.4
Salcininkai	149261	36.4	68449	45.9	1090	0.7
Siauliai	180687	45.1	61677	34.2	615	0.3
Silale	118804	34.2	35014	29.5	664	0.6
Silute	168245	34.9	37527	22.3	1640	1.0
Sirvintos	90544	38.6	28756	31.8	1356	1.5
Svencioniai	169149	36.4	94821	56.1	1597	0.9
Taurage	117866	37.9	45145	38.3	1179	1.0
Telsiai	143858	35.8	48809	33.9	1181	0.8
Trakai	120734	33.2	58698	48.6	830	0.7
Ukmerge	139479	39.7	45235	32.4	1878	1.3
Utena	123019	35.1	41765	33.9	2665	2.2
Varena	221587	34.2	148093	66.8	1011	0.5
Vilkaviskis	126281	45.2	13690	10.8	544	0.4
Vilnius	212899	36.0	86821	40.8	2942	1.4
Zarasai	133133	35.5	51060	38.4	2775	2.1

Source: compiled by the authors

The dataset includes the total area of municipalities and the average land productivity score. Forest area is presented both in hectares and as a proportion of total municipal land, allowing for meaningful comparisons between regions of different sizes and land use intensity. Attention was given to changes in woodland and shrubs land between 2016 and 2025, expressed both in absolute values (ha) and as a percentage of total municipal area. This dual presentation provides a comprehensive understanding of both the magnitude and the relative importance of spontaneous expansion within local agricultural land.

Based on this trend, a forecast was conducted to assess how tree and shrub encroachment may continue to increase on agricultural land in the future (Fig. 1).

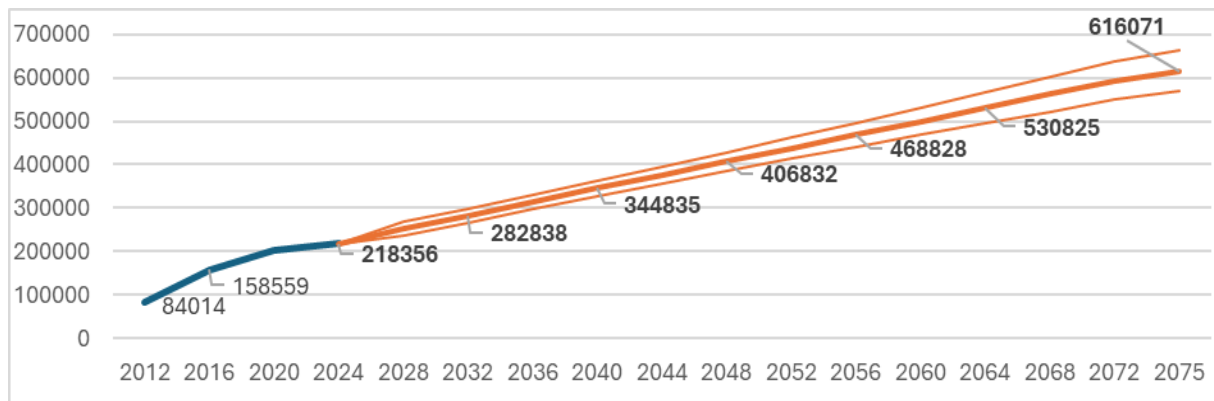


Fig. 1. Forecast of tree and shrub vegetation spontaneous expansion

Source: compiled by the authors

The forecast is based on observed trends in the expansion of developing tree and shrub vegetation between 2012 and 2025, during which the total area increased substantially. Linear extrapolation of this trend indicates a continued long-term increase, with the total area projected to exceed 300,000 ha in the mid-term and approach 600,000 ha in the long term, assuming no major changes in land-use practices.

A regression analysis (Fig. 2) was conducted to examine the relationship between municipal land productivity scores and the extent of spontaneous expansion of woodland and shrubs on agricultural land across Lithuanian municipalities. The aim was to determine whether areas with higher agricultural suitability were more or less prone to spontaneous expansion.

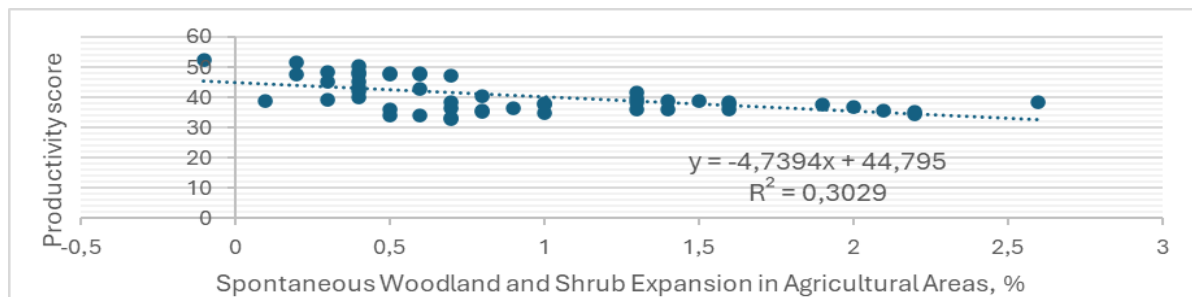


Fig. 2. Regression of spontaneous woodland and shrub area on municipal land productivity

Source: compiled by the authors

The results indicate a weak positive correlation ($r = 0.30$) between land productivity and the area of spontaneous woodland and shrub expansion. This suggests that although more productive land may slightly increase the likelihood of spontaneous afforestation, the relationship is neither strong nor predictive. Local environmental and socio-economic factors - such as land abandonment patterns, soil texture, topographic variability, proximity to existing forest patches, and specific land management regimes - appear to exert a more substantial influence on the dynamics of natural vegetation encroachment.

Comparative studies conducted in various European regions, including Eastern Europe, indicate that farmland abandonment and subsequent natural vegetation regeneration are primarily shaped by long-term land-use trajectories, demographic transformations, governance arrangements, and agricultural policy instruments rather than by single biophysical factors (Plieninger et al., 2016; Fayet et al., 2022; Prokopová et al., 2018). Evidence from post-socialist countries, including Lithuania, further demonstrates that agricultural land productivity on its own provides limited explanatory power for spontaneous afforestation patterns, which are instead driven by a combination of socio-economic and institutional conditions (Juknelienė et al., 2025).

Conclusions

1. Between 2016 and 2025, the share of trees and shrubs in Lithuania increased from 2.4% to 3.4% of the national territory, indicating a sustained expansion of spontaneous woody vegetation. The highest relative increases were observed in Kalvarija, Utena, Moletai, and Zarasai district municipalities (+2.1–2.6%), while minimal changes ($\leq 0.2\%$) occurred in Kedainiai, Pakruojis, Klaipėda district, and Marijampole municipalities. Pasvalys district municipality was the only municipality showing a slight decline (-0.1%).

2. Urban municipalities, including Klaipėda, Alytus, and Šiauliai city municipalities, exhibited consistently low increases (0.1–0.3%), reflecting more intensive land use compared to district municipalities. Regression analysis showed a weak relationship between land productivity and woody vegetation expansion ($r = 0.30$).

References

1. Cartwright, A. (2022). *Farmland abandonment in Eastern Europe and Central Asia*. 13th International Landnet Workshop, Skopje, North Macedonia. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/reu/europe/documents/Events_2022/landnet13presentation/6.1_AC.pdf
2. Dagiliūtė, R., & Kazanavičiūtė, V. (2024). Impact of Land-Use Changes on Climate Change Mitigation Goals: The Case of Lithuania. *Land*, 13(2), 131. <https://doi.org/10.3390/land13020131>
3. Fayet, C. M. J., Reilly, K. H., Van Ham, C., & Verburg, P. H. (2022). What is the future of abandoned agricultural lands? A systematic review of alternative trajectories in Europe. *Land Use Policy*, 112, 105833. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105833>
4. Frei, T., Derks, J., Rodríguez Fernández-Blanco, C., & Winkel, G. (2020). Narrating abandoned land: Perceptions of natural forest regrowth in Southwestern Europe. *Land Use Policy*, 99, 105034. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.105034>
5. Ivavičiūtė, G. (2023). Trees and shrubs greenery area changes in Vilnius and Kaunas counties. 2023: *Rural Development. Bioeconomy for the Green Deal*. <https://doi.org/10.15544/RD.2023.018>
6. Juknelienė, D., Narmontienė, V., Valčiukienė, J., & Mozgeris, G. (2025). Driving forces of agricultural land abandonment: A Lithuanian case. *Land*, 14(4), 899. <https://doi.org/10.3390/land14040899>
7. Kolecka, N., Kozak, J., Kaim, D., Dobosz, M., Ginzler, C., & Psomas, A. (2015). Mapping secondary forest succession on abandoned agricultural land with LiDAR point clouds and terrestrial photography. *Remote Sensing*, 7(7), 8300–8322. <https://doi.org/10.3390/rs70708300>
8. Kryszk, H., Valčiukienė, J., Juknelienė, D., Mazur, A., & Kurowska, K. (2024). Declining interest in afforestation under the Common Agricultural Policy: Evidence from Poland and Lithuania. *Frontiers in Environmental Science*, 12, Article 1450374. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1450374>
9. Liu, B., Song, W., & Sun, Q. (2022). *Status, trend, and prospect of global farmland abandonment research: A bibliometric analysis*. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(23), 16007. <https://doi.org/10.3390/ijerph192316007>
10. Mozgeris, G., & Juknelienė, D. (2021). *Modeling future land use development: A Lithuanian case*. *Land*, 10(4), 360. <https://doi.org/10.3390/land10040360>
11. Mozgeris, G., Skorupskas, R., Šviežikas, I., & Jasinavičiūtė, A. (2021). Miškų plėtros ne miško žemėje Lietuvoje galimybių studija. *Valstybinė saugomų teritorijų tarnyba*. Studija parengta Bendrųjų miškų ūkio reikmių finansavimo programos lėšomis.
12. Nacionalinis miškų susitarimas (2021). *Šalies miškų rodikliai ir jų kaita – pagrindiniai Lietuvos miškingumo pokyčiai 2000–2020*. Valstybinė miškų tarnyba.
13. Pawlewicz, A., & Pawlewicz, K. (2023). *The risk of agricultural land abandonment as a socioeconomic challenge for the development of agriculture in the European Union*. *Sustainability*, 15(4), 3233. <https://doi.org/10.3390/su15043233>
14. Pedley, D., McWilliam, W., & Doscher, C. (2022). *Forests from the grass: Natural regeneration of woody vegetation in temperate marginal hill farmland under minimum interference management*. *Restoration Ecology*, 31(1), e13852. <https://doi.org/10.1111/rec.13852>
15. Petrokas, R., Manton, M., Kulbokas, G., & Muraškienė, M. (2025). Development of forest tree species composition: Selected results of the National Forest Inventory of Lithuania. *Plants*, 14(5), 667. <https://doi.org/10.3390/plants14050667>
16. Plieninger, T., Draux, H., Fagerholm, N., Bieling, C., Bürgi, M., Kizos, T., Kuemmerle, T., Primdahl, J., & Verburg, P. H. (2016). The driving forces of landscape change in Europe: A systematic review of the evidence. *Land Use Policy*, 57, 204–214. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.04.040>
17. Prokopová, M., Cudlín, O., Včeláková, R., Lengyel, S., Salvati, L., & Cudlín, P. (2018). Latent Drivers of Landscape Transformation in Eastern Europe: Past, Present and Future. *Sustainability*, 10(8), 2918. <https://doi.org/10.3390/su10082918>
18. Prus, B., Uruszczak, M., & Hernik, J. (2022). Arguments based on biocultural diversity to cease abandonment of traditional agricultural systems: Lessons from Poland. *Biodiversity and Conservation*, 31(15), 2453–2478. <https://doi.org/10.1007/s10531-021-02297-2>
19. Sujetovienė, G., & Dabašinskas, G. (2022). Interactions between changes in land cover and potential of ecosystem services in Lithuania at temporal and spatial scale. *Ecological Complexity*. Vol. 49, 00984. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2022.100984>
20. Tiškutė-Memgaidienė, D. (2021) Changes of forest land cover in Lithuania during the period 1950–2017: a comparative analysis. *Research for Rural Development*, 274–279. [doi:10.22616/rrd.27.2021.039](https://doi.org/10.22616/rrd.27.2021.039)
21. Žemės ūkio išteklių stebėsenos informacinė sistema (ŽISIS). (2025). *Lietuvos Respublikos žemės fondo duomenys (2016–2025 m.)*. Gauta iš <https://zisis.lt/statistika/>

22. Wang, L., Pedersen, P. B. M., & Svenning, J.-C. (2023). Rewilding abandoned farmland has greater sustainability benefits than afforestation. *npj Biodiversity*, 2, Article 5. <https://doi.org/10.1038/s44185-022-00009-9>

MEDŽIŲ IR KRŪMŲ AUGMENIJOS PLITIMO DINAMIKA LIETUVOJE 2016–2025

Santrauka

Straipsnyje vertinamas medžių ir krūmų augmenijos plitimo mastas ir pasiskirstymas Lietuvos savivaldybėse 2016–2025 m. laikotarpiu. Analizė atlikta naudojant Lietuvos Respublikos žemės fondo 2016, 2020 ir 2025 m. duomenis, taikant lyginamąją ir regresinę analizę. Nustatyta, kad analizuojamu laikotarpiu medžių ir krūmų plotas padidėjo nuo 2,4 % iki 3,4 % šalies teritorijos. Didžiausi santykiniai augmenijos plitimo pokyčiai nustatyti Kalvarijos, Utenos, Molėtų, Zarasų ir Lazdijų rajono savivaldybėse, o Pasvalio rajono savivaldybėje fiksuotas nežymus sumažėjimas. Miestų savivaldybėse, tokiose kaip Klaipėdos, Alytaus ir Šiaulių miestai, medžių ir krūmų plitimas buvo nedidelis, kas siejama su intensyvesniu žemės naudojimu. Regresinė analizė atskleidė silpną ryšį tarp savivaldybių vidutinio žemės našumo balo ir medžių bei krūmų plitimo masto, nustatyta, kad šiuos pokyčius lemia kiti aplinkos ir socialiniai veiksniai.

Reikšminiai žodžiai: sumedėjusi augmenija, medžių ir krūmų danga, žemės dangos kaita.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Edita Abalikštienė.

Mokslo laipsnis ir vardas: daktarė, docentė

Darbo vietą ir poziciją: Lietuvos inžinerijos kolegijos, Aplinkos inžinerijos fakulteto docentė.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: Žemės naudojimo pokyčiai

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 606 91 807, edita.abalisktiene@lik.tech

Autoriaus vardas, pavardė: Vilma Šalkauskienė.

Mokslo laipsnis ir vardas: magistrė, lektorė

Darbo vietą ir poziciją: Lietuvos inžinerijos kolegijos, Aplinkos inžinerijos fakulteto lektorė.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: Žemės naudojimo pokyčiai

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 614 89 370, vilma.salkauskiene@lik.tech

A COMPUTATIONAL FRAMEWORK FOR EVALUATING SPRUCE SEEDLING QUALITY UNDER VARIABLE SOIL MOISTURE CONDITIONS

Vilda Grybauskiene, Gitana Vyciene

Lietuvos Inžinerijos Kolegija Higher Education Institution

Abstract

Soil moisture is a critical factor determining the survival and quality of forest nursery seedlings, particularly under increasingly variable climatic conditions. This study presents a computational framework for evaluating the quality of Norway spruce (*Picea abies*) seedlings under different irrigation regimes using a model-based analysis supported by synthetic data generation. Instead of relying on time-specific field measurements, the proposed approach integrates statistically reconstructed seedling growth responses to assess irrigation performance across alternative planting seasons and soil moisture scenarios. Synthetic datasets representing seedling height, stem diameter, and survival probability were generated for spring and summer planting under three moisture regimes: natural soil moisture, 70 – 100% field capacity, and 80 – 100% field capacity. The synthetic values were parameterized based on documented growth trends, variability ranges, and reported correlations between morphological parameters. Seedling quality was evaluated using probability-based indicators, including the likelihood of meeting minimum height and stem diameter requirements, as well as a combined quality compliance metric.

The results reveal pronounced differences between irrigation and planting scenarios. Controlled soil moisture conditions substantially increased the probability of meeting quality requirements, particularly for spring planting. Summer planting scenarios exhibited higher variability and lower compliance probabilities, even under irrigation, indicating an elevated risk profile that cannot be fully offset by moisture control alone.

The proposed computational framework enables flexible scenario analysis and clear visual interpretation of quality-related outcomes, supporting probability based and decision making in forest nursery engineering. This approach complements empirical studies by providing a transparent, transferable methodological tool for evaluating irrigation strategies across variable environmental conditions.

Key words: spruce (*Picea abies*) seedlings; irrigation; soil moisture; synthetic data modelling; seedling quality assessment.

Introduction

Soil moisture is one of the most influential environmental factors affecting the survival, growth, and overall quality of forest nursery seedlings. Adequate water availability during early developmental stages directly influences key morphological attributes such as seedling height and stem diameter, which are widely used as practical indicators of planting stock quality and post-planting performance (Haase, 2007; Grossnickle, 2012). Increasing climatic variability, manifested in more frequent droughts and irregular precipitation patterns, has further intensified the need for effective, adaptive irrigation strategies in forest nursery management (Aliarab et al., 2020; Jeong et al., 2024).

Norway spruce (*Picea abies*) is among the most economically and ecologically important tree species in Northern and Central Europe. The quality of spruce planting stock is strongly dependent on nursery cultivation practices, particularly soil moisture management during seedling growth (Grossnickle & MacDonald, 2018). Numerous studies have demonstrated that both insufficient and excessive soil moisture can negatively affect seedling morphology, survival, and physiological stability, ultimately reducing establishment success after out planting (South et al., 2005; Pinto et al., 2023). Consequently, morphological indicators especially height and stem diameter remain central criteria for evaluating seedling quality in operational forest nurseries (Haase, 2007; Dumroese et al., 2020).

Traditionally, the effects of irrigation regimes on seedling quality have been investigated through field or nursery experiments conducted under specific site and temporal conditions (Dumroese et al., 2020). While such empirical studies provide valuable insights, their applicability is often constrained by local soil characteristics, climatic variability, and logistical limitations. Moreover, experimental assessments typically focus on mean values, which may obscure variability and the risks associated with seedling quality outcomes across different management scenarios (Grossnickle & MacDonald, 2018).

In response to these limitations, model-based and probabilistic approaches have gained increasing attention in agricultural and environmental engineering as complementary tools to empirical experimentation. Such approaches allow systematic exploration of alternative management scenarios and support risk-oriented decision making by explicitly accounting for variability in system responses (Puoetsile, 2023); Aliarab et al., 2020). The use of synthetic data, derived from documented growth relationships and variability ranges reported in the literature, has been proposed as a transparent and reproducible strategy for evaluating system behavior when extensive empirical datasets are unavailable or impractical to obtain.

Despite growing interest in modelling approaches, their application to forest nursery seedling quality assessment remains limited. Few studies integrate probability-based evaluation of morphological quality indicators with irrigation scenario analysis across different planting seasons. Addressing this gap is essential to developing decision-support tools that complement empirical nursery studies and assist practitioners in adapting irrigation strategies to increasingly variable environmental conditions (Saltelli et al., 2020).

Therefore, this study proposes a computational, model-based framework for evaluating the quality of Norway spruce seedlings under different irrigation regimes and planting seasons. By employing synthetic datasets parameterized from established morphological relationships, the framework enables probability-based assessment of seedling quality outcomes and provides a structured basis for comparing irrigation strategies beyond site-specific experimental constraints.

The aim of this study was to develop and apply a computational, model-based framework for evaluating the quality of Norway spruce (*Picea abies*) seedlings under different irrigation regimes and planting seasons using probability-based indicators derived from synthetic data. The specific objectives were to define representative soil moisture and planting scenarios relevant to forest nursery practice, to generate statistically reconstructed datasets describing seedling height, stem diameter, and survival probability, and to compare the likelihood of meeting minimum morphological quality requirements across scenarios. The scientific novelty of this study lies in the integration of synthetic data generation with probability-based evaluation of seedling quality, enabling a systematic assessment of variability and risk associated with irrigation and planting decisions beyond site and time specific experimental constraints.

Materials and methods

This study applies a computational, model-based approach to evaluate the quality of Norway spruce (*Picea abies*) seedlings under different irrigation regimes and planting seasons. The methodological framework was designed to support comparative scenario analysis rather than site-specific prediction, enabling probability-based assessment of seedling quality outcomes. The approach complements empirical nursery studies by enabling systematic exploration of the variability and risks associated with irrigation and planting decisions (Grossnickle & MacDonald, 2018).

Scenario definition. Six planting and irrigation scenarios were analyzed by combining two planting seasons (spring and summer) with three soil moisture regimes: (i) natural soil moisture without irrigation, (ii) moderate irrigation maintaining soil moisture at 70 – 100 % of field capacity, and (iii) intensive irrigation maintaining soil moisture at 80 – 100 % of field capacity. These regimes reflect commonly applied irrigation practices in forest nurseries and thresholds reported in nursery management literature (Dumroese et al., 2020).

The distinction between spring and summer planting scenarios was included because documented differences in water-stress exposure and conifer seedling establishment success across planting seasons (Grossnickle, 2012; Pinto et al., 2023).

Synthetic data generation. Synthetic datasets describing seedling height (cm), stem diameter (mm), and survival probability were generated for each scenario. For every planting and irrigation combination, a fixed sample size was simulated to ensure statistical comparability across scenarios.

Seedling height and stem diameter values were generated using a multivariate normal distribution, parameterized with scenario-specific mean and standard deviation values derived from reported growth trends and variability ranges in forest nursery studies (Haase, 2007; South et al., 2005). Correlation between height and stem diameter was explicitly incorporated to reflect biologically plausible allometric growth relationships commonly observed in conifer seedlings (Thompson, 1985; Grossnickle, 2012). Lower bounds were applied to prevent biologically unrealistic values.

Survival probability was modelled separately using a Bernoulli process, with scenario-specific probabilities reflecting differences in planting season and soil moisture regime. This probabilistic representation aligns with approaches used to describe seedling survival under variable environmental conditions (Pinto et al., 2023; Dumroese et al., 2022).

The use of synthetic data in this study follows established principles for transparent and reproducible modelling, where data are statistically reconstructed from documented relationships rather than generated arbitrarily. Seedling quality criteria and evaluation. Seedling quality was assessed using morphologically based criteria widely applied in forest nursery practice. Minimum thresholds of seedling height (≥ 25 cm) and stem diameter (≥ 5 mm) were selected based on their documented relevance for planting stock performance and early survival (Haase, 2007; Dumroese et al., 2020).

Quality outcomes were evaluated using probability-based indicators, including the probability of meeting the minimum height requirement, the probability of meeting the minimum stem diameter requirement, and the combined probability of meeting both criteria simultaneously. This probabilistic formulation allows

explicit assessment of variability and risk, providing a more informative evaluation than reliance on mean values alone (Grossnickle & MacDonald, 2018; Mexal & Landis, 1990).

Statistical analysis and visualization. Descriptive statistics were calculated for all simulated variables to characterize central tendency and variability across scenarios. Differences between planting seasons and irrigation regimes were analyzed using probability-based quality indicators. Relationships between seedling height and stem diameter were examined through correlation analysis and visualized using scatter plots to illustrate structural patterns in the synthetic datasets (Thompson, 1985; South et al., 2005; Dumroese et al., 2022).

The computational procedure ensures full reproducibility of the analysis by allowing adjustment of input parameters and scenario definitions, enabling consistent comparison of alternative irrigation and planting strategies.

Methodological scope and limitations. The proposed framework is intended to support comparative scenario analysis rather than to replace empirical field or nursery experiments. Site-specific soil properties, microclimatic variability, and long-term physiological acclimation processes were not explicitly modelled. Consequently, the results should be interpreted as indicative of relative differences between scenarios rather than as absolute predictions of field performance. These limitations are consistent with recommended practices for transparent use of simulation-based methods in environmental and agricultural engineering research (Puoetsile, 2023).

Results

Overall patterns of seedling quality across scenarios. The probability-based analysis revealed clear differences in spruce seedling quality between planting seasons and irrigation regimes. Across all scenarios, spring planting consistently resulted in higher survival and higher probabilities of meeting minimum morphological quality requirements compared with summer planting (Table 1). Irrigation intensity further modified these outcomes, indicating a strong interaction between planting season and soil moisture management. Table 1 summarizes the synthetic descriptive statistics and probability-based quality indicators for all analysed scenarios.

Table 1

Synthetic summary of spruce seedling quality indicators under different planting seasons and irrigation regimes

Scenario	Mean height (cm)	SD height (cm)	Mean diameter (mm)	SD diameter (mm)	Survival (%)	P (height ≥ 25 cm) (%)	P (diameter ≥ 5 mm) (%)	P (both requirements) (%)
Spring No irrigation	35	7,8	4,9	1,3	91	95	96	91
Spring 70 – 100% FC	43	8,5	5,4	1,2	99	99	98	97
Spring 80 – 100% FC	44,5	8,7	5,8	1,2	99	100	100	99
Summer No irrigation	21	6,5	4	1,3	72	35	45	38
Summer 70 –100% FC	23	6	5	1,2	88	50	59	55
Summer 80 –100% FC	24,5	6	5,8	1,2	90	75	72	74

Probability-based evaluation revealed pronounced contrasts in combined seedling quality outcomes between planting seasons and irrigation regimes. While Table 1 summarizes scenario-level indicators, the comparative structure of these outcomes highlights systematic differences in both performance and risk profiles across management options. Spring planting scenarios consistently exhibited more stable quality responses, with high compliance probabilities maintained across varying soil moisture conditions. This stability indicates that under favourable seasonal conditions, irrigation primarily enhances uniformity rather than fundamentally altering quality outcomes.

In contrast, summer planting scenarios were characterized by markedly greater sensitivity to soil moisture conditions. The combined quality response in these scenarios showed stronger dependence on irrigation intensity, reflecting increased vulnerability of seedlings to suboptimal moisture availability. Even under controlled irrigation, the spread of quality outcomes remained wider than in spring planting scenarios, suggesting that seasonal stress factors contribute to persistent variability beyond moisture control alone. This distinction between seasonal response patterns is further illustrated through the probabilistic representation of combined quality compliance presented in Figure 1.

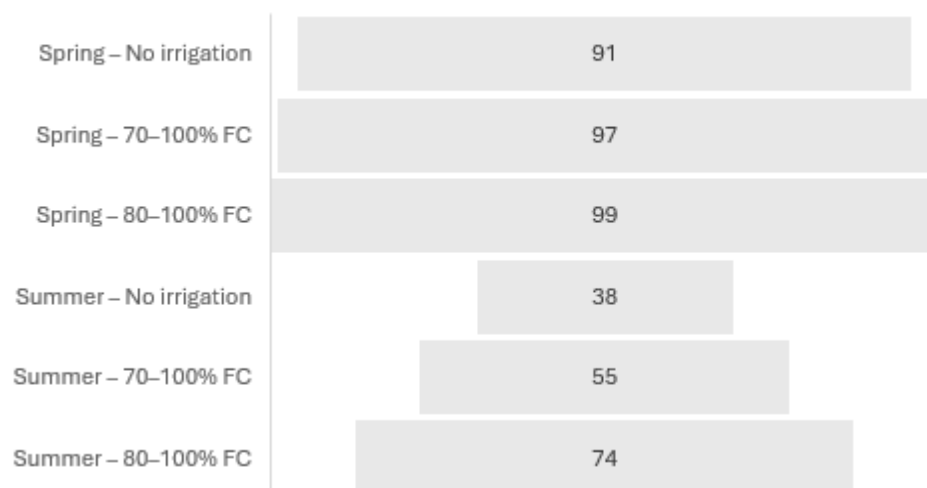


Fig. 1. Probability of spruce seedlings meeting both height and stem diameter requirements under different planting and irrigation scenarios

The relationship between seedling height and stem diameter demonstrated a consistent positive association across all planting and irrigation scenarios, indicating coordinated morphological development of spruce seedlings (Figure 2). This structural relationship remained evident regardless of moisture regime, suggesting that the underlying allometric growth pattern was preserved across management conditions. At the same time, the distribution of data points revealed clear differences in variability and dispersion between scenarios, reflecting distinct morphological response patterns associated with planting season and soil moisture management.

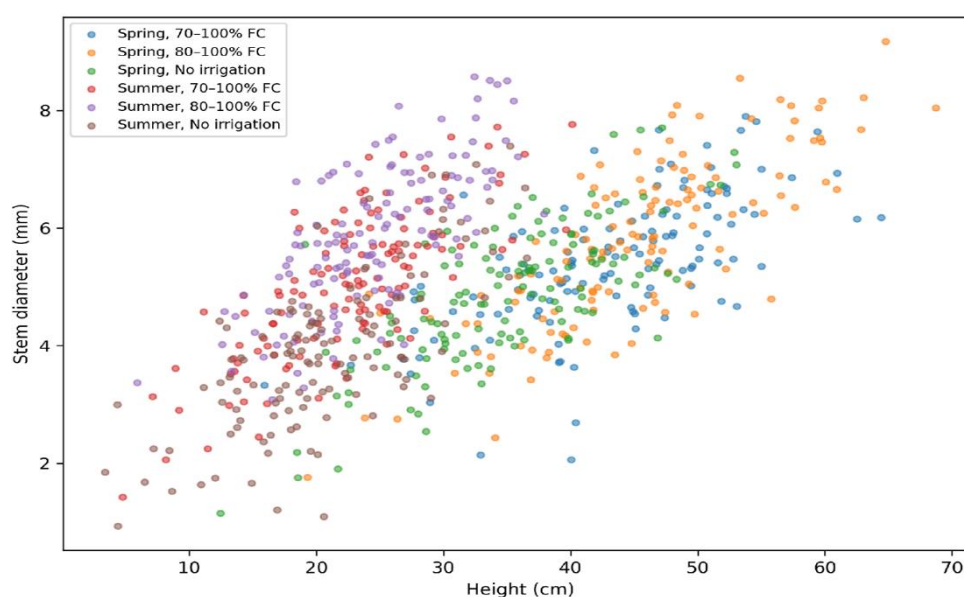


Fig. 2. Synthetic height – diameter relationship of spruce seedlings under different planting and irrigation scenarios (sampled points)

Spring planting scenarios were characterized by more compact point distributions, particularly under irrigated conditions, indicating greater uniformity in seedling morphology and reduced variability among individuals. The clustering of height–diameter values suggests more homogeneous growth responses, which are typically associated with favourable establishment conditions. In contrast, summer planting scenarios exhibited noticeably broader dispersion, especially under natural soil moisture conditions, reflecting increased heterogeneity in morphological development. This wider spread indicates that individual seedlings responded more variably to environmental conditions, resulting in less uniform growth patterns.

Although intensive irrigation reduced dispersion in summer planting scenarios, the variability remained higher than that observed for spring-planted seedlings. The persistence of broader distributions under summer planting highlights the influence of seasonal conditions on morphological variability that cannot be fully compensated by soil moisture control alone. These structural differences in height–diameter relationships across scenarios provide additional insight into the variability of seedling quality outcomes beyond aggregated summary indicators.

Survival probabilities exhibited patterns consistent with those observed for morphological quality indicators, reinforcing the interaction between planting season and soil moisture regime. Spring-planted seedlings showed consistently high survival across all irrigation scenarios, with relatively narrow variation, indicating stable establishment conditions. High survival rates were maintained even under natural soil moisture, while irrigated spring scenarios further reduced variability among seedlings. This pattern suggests that favourable seasonal conditions support robust survival responses across a range of moisture management strategies.

In contrast, summer planting scenarios were associated with lower and more variable survival outcomes. Under natural soil moisture conditions, survival was markedly reduced, reflecting increased stress exposure during establishment. Irrigation substantially improved survival in summer planting scenarios; however, variability remained higher than in spring planting even under controlled moisture conditions. The persistence of variability indicates that seasonal effects extend beyond water availability alone and contribute to heterogeneous survival responses among seedlings.

Taken together, the probability-based synthesis of survival and morphological quality outcomes highlights the dominant role of planting season in shaping both performance and risk profiles. While irrigation consistently improved seedling quality and survival, its effectiveness was strongly modulated by planting season. The probabilistic framework enabled explicit comparison of these combined effects, revealing differences in variability and compliance likelihood that would not be captured through mean values alone. This integrated assessment provides a more comprehensive representation of seedling performance under alternative management scenarios.

Discussion

The results of this study confirm the central role of soil moisture management and planting season in determining the quality and survival of Norway spruce seedlings, while also demonstrating the added value of a probability-based, computational evaluation framework. Morphological indicators such as seedling height and stem diameter, which are widely recognized as reliable proxies for planting stock quality (Haase, 2007; Grossnickle & MacDonald, 2018), showed clear and systematic responses to irrigation regimes and seasonal conditions. The observed differences between spring and summer planting scenarios are consistent with previous findings that emphasize the importance of favourable environmental conditions during early establishment for conifer seedlings (Grossnickle & MacDonald, 2018).

The consistently high quality compliance and survival probabilities observed under spring planting across all moisture regimes align with earlier studies reporting improved establishment success when seedlings experience lower evaporative demand and reduced physiological stress during planting and early growth (South et al., 2005; Pinto et al., 2023). In this context, irrigation during spring planting appears to enhance uniformity rather than fundamentally altering seedling performance, as reflected by the relatively compact morphological distributions and limited variability observed in the results. This supports the notion that under favourable seasonal conditions, nursery management practices primarily act to stabilize growth responses rather than to compensate for severe environmental constraints.

In contrast, summer planting scenarios exhibited markedly lower and more variable outcomes, even under irrigated conditions. These findings are consistent with literature indicating that increased temperature and moisture stress during summer planting can negatively affect both morphological development and survival of seedlings (Grossnickle & MacDonald, 2018; Pinto et al., 2023). Although irrigation substantially improved survival and quality compliance in summer planting scenarios, the persistence of higher variability suggests that soil moisture control alone cannot fully offset the influence of seasonal stress factors. This observation reinforces previous conclusions that irrigation effectiveness is strongly context-dependent and interacts with broader environmental conditions (Dumroese et al., 2020).

A key contribution of this study lies in the explicit consideration of variability and risk through probability-based indicators. Traditional assessments of seedling quality often rely on mean morphological values, which may mask heterogeneity in individual responses and underestimate the likelihood of substandard outcomes (Grossnickle & MacDonald, 2018). By contrast, the probabilistic framework applied here enabled quantification of the likelihood of meeting minimum quality thresholds under different management scenarios.

This approach provides a more nuanced representation of seedling performance and aligns with recommendations to incorporate uncertainty and variability into environmental and agricultural modelling.

The use of synthetic data further supported flexible scenario analysis without dependence on site-specific experimental datasets. Synthetic datasets, when parameterized from established growth relationships and variability ranges, offer a transparent and reproducible means of exploring alternative management options. In the context of forest nursery research, this approach complements empirical studies by enabling systematic comparison of scenarios that may be impractical or resource intensive to test experimentally. However, as emphasized in literature, such modelling approaches should be interpreted as supportive rather than substitute to field-based experimentation.

Overall, the findings underscore the importance of integrating planting season considerations with irrigation management when evaluating seedling quality outcomes. The probabilistic, model based framework presented in this study provides a structured means of assessing both performance and risk, offering practical insights into nursery management while remaining consistent with established understanding of seedling physiology and quality assessment. By bridging empirical knowledge and computational analysis, the approach contributes to the development of decision-support tools suited to increasingly variable environmental conditions.

Conclusions

1. The proposed computational framework effectively quantified differences in spruce seedling quality across irrigation regimes and planting seasons, demonstrating its applicability for probability-based assessment of nursery management scenarios.
2. Under spring planting conditions, the probability of meeting both minimum height (≥ 25 cm) and stem diameter (≥ 5 mm) requirements exceeded 90% across all irrigation regimes and reached up to 99% under intensive irrigation (80 – 100% field capacity).
3. Summer planting was associated with substantially lower quality compliance and higher variability. Without irrigation, only 38% of seedlings met both quality requirements, while intensive irrigation increased compliance to 74%, indicating that irrigation reduces but does not eliminate seasonal risk.
4. Survival outcomes followed similar patterns, with spring-planted seedlings showing consistently high survival (91 – 99%) and summer-planted seedlings exhibiting lower survival, particularly under non-irrigated conditions (72%).
5. The probability-based approach provided clearer insight into variability and risk than mean values alone, supporting more informed irrigation and planting decisions in forest nursery engineering. While the framework does not replace empirical field experiments, it offers a practical and transferable tool for evaluating irrigation strategies under variable environmental conditions.

References

1. Grossnickle, S. C., & MacDonald, J. E. (2018). Seedling quality: history, application, and plant attributes. *Forests*, 9(5), 283. <https://www.mdpi.com/1999-4907/9/5/283>
2. Grossnickle, S. C. (2012). Why seedlings survive: influence of plant attributes. *New Forests*, 43(5), 711-738.
3. Haase, D. L. (2007). Morphological and physiological evaluations of seedling quality. In: Riley, LE; Dumroese, RK; Landis, TD *National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations-2006. Proceedings RMRS-P-50. Fort Collins, CO: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. p. 3-8, 50.* <https://research.fs.usda.gov/treesearch/30883>
4. Thompson, B. E. (1985). *Seedling morphological evaluation—what you can tell by looking*. In M. L. Duryea (Ed.), *Evaluating Seedling Quality: Principles, Procedures, and Predictive Abilities of Major Tests* (Workshop Proceedings; pp. 59–71). Oregon State University.
5. Dumroese, R. K., Page-Dumroese, D. S., & Pinto, J. R. (2020). Biochar potential to enhance forest resilience, seedling quality, and nursery efficiency. *Tree Planter's Notes*. 63 (1): 61-68., 63(1), 61-68. <https://research.fs.usda.gov/treesearch/60390>
6. Dumroese, R. K., Balachowski, J. A., Flores, D., & Horning, M. E. (2022). Reforestation to mitigate changes to climate: More than just planting seedlings. In *XV World Forestry Congress: Building a green, healthy, and resilient future with forests.*; 2-6 May 2022; Coex, Seoul, Republic of Korea. Food and Agriculture Organization of the United Nations; Korean Forest Service. 7 p. <https://research.fs.usda.gov/treesearch/64429>
7. Pinto, J. R., Sloan, J. L., Ervan, G., & Burney, O. T. (2023). Physiological and morphological responses of *Pinus ponderosa* seedlings to moisture limitations in the nursery and their implications for restoration. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1127656. <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2023.1127656/full>
8. Jeong, U., Han, S. H., Kim, D., Kim, S., & Cheong, E. J. (2024). Exploring the Efficient Irrigation Period for *Larix kaempferi* Seedlings in Nursery Pots in Greenhouse Conditions Using Optical Measurements. *Forests*, 15(8), 1303. <https://doi.org/10.3390/f15081303>

9. South, D. B., Harris, S. W., Barnett, J. P., Hains, M. J., & Gjerstad, D. H. (2005). Effect of container type and seedling size on survival and early height growth. *Southern Journal of Applied Forestry*, 29(1), 1–8. <https://doi.org/10.1093/sjaf/29.1.1>
10. South, D. B., & Nadel, R. (2020). Irrigation in pine nurseries. *Reforesta*, (10), 40-83. DOI: <https://doi.org/10.21750/REFOR.10.05.88>
11. <https://doi.org/10.21750/REFOR.10.05.88>
12. Puotsile, A. (2023). Optimized parameter estimation and Integrated neural network Forecasting of dynamic Plant-livestock models for Agro-environmental control systems. <http://repository.biust.ac.bw/handle/123456789/672>
13. Aliarab, A., Vazifekhah, E. O., & Sadati, S. E. (2020). Effect of soil moisture content and nitrogen fertilizer on survival, growth and some physiological characteristics of *Platycladus orientalis* seedlings.
14. Jeong, U., et al. (2024). Efficient irrigation period for forest seedlings using optical and physiological indicators. *Forests*, 15(8), 1303. <https://doi.org/10.3390/f15081303>
15. Mexal, J. G., & Landis, T. D. (1990, August). Target seedling concepts: height and diameter. In *Proceedings, western Forest nursery association* (pp. 13-17). <https://rngr.net/publications/proceedings/1990/mexal.pdf>

SKAITMENINIS METODAS EGLĖS SODINUKŲ KOKYBEI VERTINTI KINTANČIOMIS DIRVOŽEMIO DRĖGMĖS SĄLYGOMIS

Santrauka

Dirvožemio drėgmė yra vienas svarbiausių veiksnių, lemiančių miško medelynų sodinukų išgyvenamumą ir kokybę, ypač didėjant klimato sąlygų kintamumui. Šiame tyrime pristatoma skaitmeniniu modeliavimu pagrįsta sistema, skirta paprastosios eglės (*Picea abies*) sodinukų kokybei vertinti taikant skirtingus drėkinimo režimus. Vietoje konkrečiu laiku atliktų lauko matavimų taikomas metodinis sprendimas, leidžiantis statistiškai atkurti sodinukų augimo atsakus ir vertinti drėkinimo efektyvumą skirtingais sodinimo sezonais bei dirvožemio drėgmės scenarijais. Sintetiniai duomenų rinkiniai, apimantys sodinukų aukštį, stiebo skersmenį ir išgyvenamumo tikimybę, buvo generuojami pavasario ir vasaros sodinimui esant trimis drėgmės režimams: natūraliai dirvožemio drėgmei, 70–100 % ir 80–100 % lauko drėgmės talpai. Duomenų parametrai nustatyti remiantis mokslinėje literatūroje aprašytais augimo tendencijomis, variacijos ribomis ir morfologinių rodiklių tarpusavio koreliacijomis. Sodinukų kokybę vertinta taikant tikimybiniais rodikliais pagrįstą metodą, nustatant minimalių aukščio ir stiebo skersmens reikalavimų atitikimo tikimybę bei bendrą kokybės atitikties rodiklį.

Tyrimo rezultatai atskleidė ryškius skirtumus tarp drėkinimo ir sodinimo scenarijų. Kontroliuojamos dirvožemio drėgmės sąlygos reikšmingai padidino sodinukų kokybės reikalavimų atitikimo tikimybę, ypač pavasario sodinimo atveju. Vasaros sodinimo scenarijai pasižymėjo didesne rezultatų sklaida ir mažesne kokybės atitikties tikimybe net ir taikant drėkinimą, kas rodo padidintą riziką, kurios vien drėgmės kontrolė visiškai neeliminuoja.

Siūloma skaitmeninė analizės sistema sudaro prielaidas lanksčiai nagrinėti skirtingus drėkinimo scenarijus ir aiškiai vizualizuoti su sodinukų kokybe susijusius rezultatus. Šis metodinis sprendimas papildė empirinius tyrimus ir gali būti taikomas kaip skaidrus bei perkeliamas įrankis drėkinimo strategijoms vertinti miško medelynų inžinerijoje esant kintančioms aplinkos sąlygoms.

Reikšminiai žodžiai: eglės (*Picea abies*) daigai; drėkinimas; dirvožemio drėgmė; sintetinis duomenų modeliavimas; daigų kokybės vertinimas.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Vilda Grybauskienė.

Mokslo laipsnis ir vardas: daktarė, docentė

Darbo vietą ir poziciją: Lietuvos inžinerijos kolegijos, Aplinkos inžinerijos fakulteto docentė.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: Drėkinimas, drenažas, vandens išteklių valdymas

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 69916524, vilda.grybauskiene@lik.tech

Autoriaus vardas, pavardė: Gitana Vycienė.

Mokslo laipsnis ir vardas: magistrė, lektorė

Darbo vietą ir poziciją: Lietuvos inžinerijos kolegijos, Aplinkos inžinerijos fakulteto lektorė.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: Vandens išteklių valdymas, GIS, drenažas drėkinimas

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 69916524, gitana.vyciene@lik.tech

BEPILOTĖS SKRAIDYKLĖS RGB KAMERA GAUTŲ DUOMENŲ TAIKymo GALIMYBĖS ARIAMOSIOS ŽEMĖS SAVYBIŲ NUSTATYMOUI

Daiva Gudritienė, Emilė Žemaitytė, Darius Pupka
Lietuvos inžinerijos kolegija

Anotacija

Vis populiarėjant nuotoliniams tyrimams, atliekamiems nepilotuojamoje technikoje įmontuotomis kameromis, didėja ir jų taikymo galimybės, kurias būtina analizuoti bei pristatyti, todėl analizuojama tema yra šiuo metu labai aktuali. Šio tyrimo tikslas – išanalizuoti bepilotės skraidyklės RGB kamera gautų duomenų galimybes ariamosios žemės savybėms nustatyti bei aptarti tiesioginius bei netiesioginius interpretavimo požymius leidžiančius nustatyti ariamosios žemės savybes. Keturiuose poligonuose analizuojama ariamoji žemė, kurioje dar nepasėti arba pilnai nesudygę pasėliai. Tyrimo uždaviniai: apžvelgti bepilotės skraidyklės įmontuotų kamerų gaunamą informaciją bei taikymo galimybes; atlikti 4 tyrimo poligonų RGB kamera sudarytų rastrinių duomenų vizualų interpretavimą; aptarti analizuojamų rastrinių duomenų panaudojimo galimybes ariamosios žemės būklės vertinimui. Atlikus visų 4 poligonų ortofotoplanų sudarymą ir interpretavimą taikant RGB kamera gautus planus nustatyti duomenys apie ariamosios žemės būklę: akmenuotumas; piktžolėtumas; erozijos paveiktos teritorijos; užmirkę teritorijos. Ariamosios žemės plotas poligonuose svyruoja nuo 1,5 ha iki 4,1 ha. Visoje išanalizuotoje teritorijoje geros būklės ariamoji žemė sudarė 4,7 ha, akmenuota teritorija – 3,7 ha, pažeista erozijos ir akmenuota – 0,4 ha, užmirkusi teritorija – 0,1 ha, pažeista erozijos – 0,1 ha ir piktžolėta bei akmenuota – 0,02 ha.

Reikšminiai žodžiai: RGB kamera, bepilotis orlaivis, nuotoliniai tyrimo metodai.

Įvadas

Vienas iš labiausiai populiarėjančių fotogrametrinių duomenų gavimo būdų – bepiločiai orlaiviai. Klestint žemdirbystei Europoje, Lietuvos ūkiai turi būti stiprūs rinkoje. Siekiant modernizuoti ūkininkavimo vystymąsi, ūkiuose yra neatsiejamas nuotolinių technologijų naudojimas. Nuotolinių tyrimo metodų naudojimas palengvina prisitaikymą prie vis besikeičiančių meteorologinių bei gamtinių sąlygų. Surinkti duomenys nuotolinių tyrimų metu leidžia ūkininkams identifikuoti galimas grėsmes ir poreikius bei įspėti, kada būtina taikyti tinkamas priemones. Naudojant bepiločius orlaivius su RGB kamera galima nustatyti tiriamosios žemės akmenuotumą, piktžolėtumą, erozijos paveiktas vietas, užmirkusias teritorijas ir t.t., tik tam reikia atlikti daugiau tyrimų, kad išskirti rastrinio vaizdo tiesioginius ir netiesioginius interpretavimo požymius, sukurti ir aprašyti metodiką kuria galėtų naudotis žemės ūkio specialistai.

Šio tyrimo tikslas: išanalizuoti bepilotės skraidyklės RGB kamera gautų duomenų galimybes ariamosios žemės savybėms nustatyti bei aptarti tiesioginius bei netiesioginius interpretavimo požymius leidžiančius nustatyti ariamosios žemės savybes.

Tyrimo uždaviniai:

1. Apžvelgti bepilotės skraidyklės įmontuotų kamerų gaunamą informaciją bei jos taikymo galimybes.
2. Atlikti keturių tyrimo poligonų RGB kamera sudarytų rastrinių duomenų vizualų interpretavimą.
3. Aptarti analizuojamų rastrinių duomenų panaudojimo galimybes ariamosios žemės būklės vertinimui.

Tyrimo objektas: 4 tyrimo poligonai išsidėstę pietvakarinėje Lietuvos dalyje. Visi išanalizuoti poligonai yra skirtingi, juos sudaro skirtingos granuliometrinės sudėties dirvožemiai, kuriems būdingos skirtingos gamtinės sąlygos (reljefas, gruntinių vandenų lygis ir t.t.). Nors tai ariamosios žemės plotai tačiau ir ūkinės veiklos priemonės juose skiriasi. Dalyje plotų vykdomas ekologinis ūkininkavimas.

Atliekant tyrimą buvo taikyti sekantys mokslinio tyrimo metodai: mokslinės literatūros šaltinių analizė; erdvinių duomenų sudarymas bei jų analizė; erdvinių duomenų statistinė analizė; duomenų apibendrinimas bei aptarimas.

Teorinės įžvalgos

Nepilotuojamomis skraidymo priemonėmis su įmontuotomis kameromis gaunami duomenys yra naudojami plačiai: krašto apsaugoje, žemės ūkyje, pramogoms ir kitur. Nagrinėjant galimybes duomenis taikyti žemės ūkyje užsienio šalių autoriai teigia, jog naudojamos skraidymo priemonės gali suteikti reikiamą pagalbą stebint ir analizuojant pasėlių būklę, nustatant žemės plotų ribas, apžvelgiant žemės plotuose esančius objektus ir nustatant erozijos būsenas dėl gamtinių reiškinių kaltės. Pastaruoju metu nepilotuojamos skraidymo priemonės su kameromis tapo vis populiareesnėmis priemonėmis logistikoje, žemės ūkyje, augalininkystėje ir aplinkosaugoje. Žemės ūkyje nepilotuojami dronai yra naudinga pagalbinė priemonė prižiūrėti pasėlius, nustatyti dirvos būklę, o taip pat pasiekti vietas prie kurių nėra tiesioginio patekimo. Skraidantis nepilotuojamas orlaivis gali būti naudingas įrenginys analizuojant dirvos ir augmenijos pokyčius (Huang ir kt., 2018).

Pastaruoju metu vis dažniau nepilotuojami orlaiviai traktuojami kaip vertingos priemonės, palengvinančios ūkių valdymą. Bepiločiai orlaiviai pasižymi dydžių įvairove, jų būna labai mažų arba tokių, kurie gali skristi ilgą laikotarpį. Naudojantis jais galima gauti nuotraukas, kurios yra ryškios ir turi didelę raišką, taip pat skaitmeninius 3D vaizdus. (Costa ir kt., 2020).

(Jeongeun ir kt., 2021) teigia, kad surinkus duomenis nuotolinių tyrimų metu ūkininkams leidžia įvertinti galimas rizikas ir poreikius ar atkreipia dėmesį kada reikia imtis būtinių priemonių. Naudojant termo kameras galima atpažinti žemės paviršiaus sričių drėgnumą, atlikti bandos stebėjimą. Gali būti atpažįstamos sumirkusios sklypo dalys, stebima gyvulių grupė, vandens kiekis girdyklose.

(Gudritienė, 2024) teigia, kad termo duomenys yra naudingi gyvulių grupės stebėjimui atlikti. Taip pat termo kameros gerai parodo suaugusių ir jauniklių gyvulių skaičių. Šios kameros yra naudojamos kaip papildoma priemonė ganyklų priemonių, pašarų ir vandens kontrolei, šėrimo ir girdymo vietose.

Multispektrinis skanavimas padeda atpažinti kritines gyvulių ganymosi vietas taip pat palengvina prisitaikyti prie pastoviai besikeičiančių gamtinių ir meteorologinių sąlygų bei ūkinės veiklos padarinių. Tinkamu metu atsiradusi galimybė leidžia aptikti intensyviai ganomas ir nepraeinamas augalais apaugusias vietas, leidžia iš anksto numatyti rizikas ar poreikius bei nurodo galimą grėsmę kada reikia priimti reikiamus sprendimus (Gudritienė, 2023).

Bepiločiai orlaiviai su tvirtinamomis kameromis yra naudingas prietaisas reljefo, pasėlių, tręšimo ir kitų žemės ūkio darbų stebėjimui. Mokslininkai (Ribera ir kt., 2018) nurodo, kad su bepilotėmis skraidyklėmis galima realiuoju laiku stebėti daug tiksliau ir ekonomiškiau, nei anksčiau naudoti palydoviniai vaizdai.

Dronai, turintys hiperspektrinius, daugiaspektrinius ar šiluminius jutiklius pagal šilumines savybes apskaičiuoja vegetacijos indeksą. Autorių Heap ir kt., (2017) bei Yano ir kt., (2016) teigimu nepilotuojamose skraidymo priemonėse įmontuotomis kameromis galima gauti duomenis, kurie yra atsakingi už pasėlių augimą ir derlių, todėl pasak šių autorių žemės bei pasėlių ir ganyklų vertinimui yra geriausia naudotis RGB kameromis, kurios turi tris pagrindines spalvas, kurios pateikia reikiamus duomenis. 1 lentelėje yra pateikiama šių autorių pastebėjimai, kuriais galima nustatyti naudas, kurias teikia bepiločiai dronai su tvirtinamomis RGB kameromis.

1 lentelė

Bepiločių dronų su RGB kameromis duomenys ariamosios žemės plotų, ganyklų ir pasėlių stebėjimui

Data from unmanned drones with RGB cameras for monitoring arable land, pastures and crops

RGB duomenų rezultatas <i>RGB data result</i>	RGB duomenų taikymo galimybės <i>RGB data applications</i>
Aukštos kokybės ortofotografiniai žemėlapiai	Tai yra aukštos kokybės nuotraukos pateiktos iš oro. Dažniausiai ši funkcija skirta pasėlių stebėjimui, infrastruktūriniais pokyčiams.
Augalų būklės stebėjimo statistiniai rezultatai	Su RGB kameros pagalba galima nustatyti išorinius augalų pokyčius (pageltę arba pajuodę lapai), pasėlių tankį arba nustatyti ir analizuoti pasėlių vystymosi stadijas. Taip pat stebint ganyklas, žemės plotus galima nustatyti piktžolių kiekius ir nustatčius neatitikimus daryti veiksmus, kurie gerintų situaciją.
Augalų dėsningumo ir pasiskirstymo rodikliai	Naudojantis spalvine gama galima nustatyti koks yra augalų pasiskirstymas norimame plote. Taip pat remiantis augalų dėsningumo duomenimis galima nustatyti koks yra augalų pasiskirstymas norimame dirbamos žemės plote.
Sklype esančių objektų identifikacija	Naudojantis dirbtinio intelekto ir RGB kameros gautais duomenimis yra galima suskaičiuoti kiek sklype yra medžių, krūmų, koks yra vandens telkinių kiekis ir visa svarbi informacija.
Erozijos identifikacija	Naudojantis bepiločio drono su RGB kamera duomenimis galima nustatyti ir išanalizuoti kokie yra erozijos pokyčiai sklype atsiradę dėl netinkamų gamtinių sąlygų. Nustačius būklę galima suplanuoti gerinimo veiksmus, kurie pagerintų dirvožemio arba pasėlių būklę.
Pasėlių stebėsena	Remiantis bepiločio drono su RGB kameros pateiktais duomenimis yra galima analizuoti pastovių žemės plotų ar pasėlių pokyčius, o nustačius neatitikimus taikyti gerinimo veiksmus.

Šaltinis: sudarė autoriai remiantis Heap ir kt., (2017) ir Yano ir kt., (2016) duomenimis

Remiantis lentelėje pateiktais tyrimų apibendrinimais galima teigti, jog bepilotės skraidyklės RGB kamera yra gaunama daug svarbių duomenų, kurie yra naudojami žemės plotų, pasėlių ir ganyklų būklės vertinimui bei kitai informacijai, tinkamai žemės ūkyje, kaupti.

Metodika

Tyrimui buvo gauti rastriniai duomenys sudaryti bepilote Sens eFlyeBee skraidykle įmontuota SODA kamera skirta RGB duomenims gauti.

SenseFly eBee plus bepilotis lėktuvėlis (svoris – 0,73 kg; sparnų plotis – 96 cm; struktūra – EPP putplastis, anglies pluoštas; varomoji jėga – elektrinis propeleris, 160 W variklis; GPNS/RTK imtuvas – L1/L2, GPS ir GLONASS; baterija – 11,1 V; maksimalus skrydžio laikas 40 min; skridimo greitis 40-90 km/h; radijo ryšio atstumas – iki 3 km; maksimalus padengimas vienu skrydžiu – 8 kvadratiniai kilometrai).

Bepiločiame orlaivyje integruota 20 MP fotokamera, kurios pagalba gaunamas iki 1,5 cm ortofotografinės nuotraukos tikslumas. Skridimo aukštis galimas nuo 120 iki 974 metrų. Tyrimo metu skridimo aukštis buvo apie 60/80 metrų, nes tokiame aukštyje gaunami pačios geriausios kokybės ir skiriamosios gebos aerovaizdai. Absoliutinis horizontalus/vertikalus tikslumas iki 3/5 cm. Bepilotis orlaivis valdomas paleidžiant iš rankų ir yra visiškai susietas su programine bei valdymo įranga, kuri leidžia automatiškai planuoti skrydį. Bepilotis orlaivis nusileidžia linijiniu būdu 5 m tikslumu.

Prieš pradedant nuotolinį tyrimą išnagrinėjama pasirinkta vietovė, kurioje bepilotis orlaivis kaups duomenis. Prieš pradedant skrydį pasirinktoje teritorijoje išanalizuotas: reljefas, įvertintos nagrinėjamo objekto galimos kliūtys bepiločiam orlaiviui. Apžvelgus 4 poligonų teritorijoje esamus erdvinis objektus yra aptikta, kad aukščiau objektai yra medžiai, kurie yra prie tiriamų poligonų, šalia tyrimo poligonų yra aukštos įtampos stulpų. Bepiločio orlaivio kilimo bei nusileidimo vietos yra parinkta lengvai privažiuojamoje vietoje, kad nebūtų kliūčių bepiločiam orlaiviui pakilti. Skridimo kryptis pasirinkta remiantis esama vėjo kryptimi bandymo metu. Įvertinus šiuos erdvinis objektus, kurie gali trukdyti skrydžiui yra parinktos vietos planiniams kontūrženkliais, pamatuotos jų koordinatės GPNS prietaisu. Kiekvienam poligonui parinkti 5 planiniai kontūrženkliai. Planinių kontūrženklų nužymėjimui naudoti dažai draugiški aplinkai (netoksiški).

Atlikus skrydžius su bepiločiu orlaiviu toliau analizuojami duomenys kameraliuoju būdu. Duomenys perkeliama į pasirinktą programą. Atsidarius programinės įrangos langą galima matyti visų nuotraukų gautų skrendant bepiločiu orlaiviu išdėstymo seką bei sudaryti vientisą planą maršrutams ir jungimą skirtinguose maršrutuose. Duomenys sudaryti atskirais vaizdais buvo sujungti ir sudaryti ortofotoplanai, jie buvo gauti RGB formatu tam, kad tolimesnis darbas galėtų būti vykdomas GeoMap programa.

Braižant su GeoMap programa buvo naudojami šie braižymo įrankiai: laužtė, legendos sukūrimas, srities plotas, plotinių bei linijinių ženklų dėjimas, rastro įterpimas, koordinačių tinklėlis bei koordinatės, plotų nustatymas. Naudotas šablonas yra GKTR 2020. GeoMap programa sukūrus erdvinis duomenis nustatyti ir rezultatuose pateikiami ariamosios žemės plotai.

Rezultatai

Iš bepiločio orlaivio RGB kamera gautų duomenų rastrinių planų analizuojamuose poligonuose nustatytas ariamosios žemės akmenuotumas. Akmenys laukuose – tai negyvosios gamtos sudėtinė dalis, žemės paviršiaus moreninės dangos dedamoji. Lietuvos žemės paviršiuje dominuoja magminės ir nuosėdinės kilmės uolienų luitai kurie pasitaiko dirvožemio viršutiniame sluoksnyje. Akmenuota ariamoji žemė išsiskiria tuo, kad rastriniame jos vaizde matosi nedideli padrikai išsidėstę netaisyklingų formų elementai, kurie dažniau turi šviesius atspalvius (1 pav.). Akmenuotoje ariamojoje žemėje apsunkintas dirbimas žemės ūkio technika, todėl akmenis iš ariamosios žemės reikia šalinti.



1 pav. Akmenuota ariamoji žemė. *Stony arable land.*

Šaltinis: sudarė autoriai

Analizuojant ariamosios žemės plotus galima nustatyti erozijos pažeistas dirbamosios žemės vietas, kurių rastrinis vaizdas išsiskiria šviesesne spalva, netaisyklinga forma, erozijos pažeisti plotai formuojasi aukštumose. Erodavę dirvožemiai yra nederlingi todėl jei pasėliai jau sudygę, tai erozijos pažeistuose plotuose jie būna skurdūs, reti reikalauja papildomų agrarinių priemonių (2 pav.).



2 pav. Erozijos pažeisti ariamosios žemės plotai. *Arable land damaged by erosion.*

Šaltinis: sudarė autoriai

Taip pat RGB kamera gautuose vaizduose, pagal interpretavimo požymius, galima išskirti piktžolėmis apaugusius ariamosios žemės plotus. Piktžolėmis apaugusios teritorijos išsiskiria žalsvos spalvos raistro elementais, kurie užfiksuoti dėl žolinei augalijai būdingo atspalvio (3 pav.).



3 pav. Piktžolėta ariamoji žemė. *Weedy arable land.*

Šaltinis: sudarė autoriai

Analizuojant dirbamosios žemės bei jau suvešėjusių pasėlių plotų rastrinius duomenis galima išskirti užmirkusias teritorijas, t.y. teritorijas kuriose kaupiasi perteklinė drėgmė. Šios teritorijos pasižymi natūralia gamtine forma, tamsesne spalva. Šiose teritorijose gali telkšoti balos, augti nendrės ar meldai arba kita sumedėjusi augalija. Jei plotai jau apaugę sumedėjusiais augalais labai svarbu, kad fotografavimas būtų atliktas kai medžiai yra be lapų, tada gerai matomos užmirkimo žymės. Užmirkimą galima nustatyti ir pagal galias traktorių technologines vėžes, užklimpimo vietas bei kitus netiesioginius interpretavimo požymius (4 pav.).



4 pav. Užmirkusi ariamoji žemė. *Waterlogged arable land.*

Šaltinis: sudarė autoriai

Apibendrinant galima teigti, kad atlikus visų 4 poligonų ortofotoplanų sudarymą ir interpretavimą pagal RGB kamera gautus duomenis galima sukaupti daug aktualios informacijos apie ariamosios žemės savybes bei būklę, tam reikia išskirti tiesioginius ir netiesioginius interpretavimo požymius būdingus kiekvienai ariamosios žemės savybei.

Pagal jau paminėtus tiesioginius ir netiesioginius rastrinio vaizdo interpretavimo požymius išanalizavus visuose keturiuose poligonuose esančią ariamąją žemę gauti duomenys pasiskirstė sekančiai:

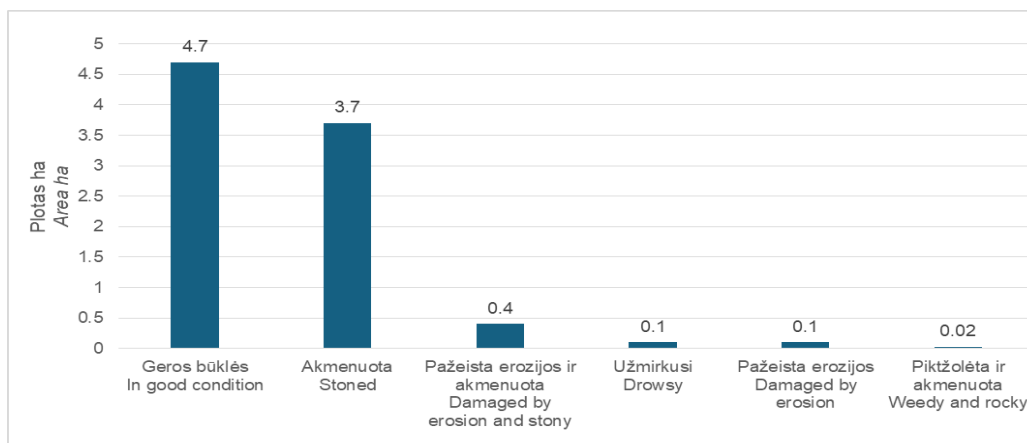
- Pirmajame poligone ariamoji žemė sudaro 1,71 ha, iš šio ploto: 0,17 ha užmirkusios žemės, 0,14 ha ariamosios žemės yra apaugę piktžolėmis, 0,15 ha yra akmenuota, 0,1 ha yra pažeista erozijos, 0,02 ha piktžolėta ir akmenuota ir 1,13 ha geros būklės ariamoji žemė. Galima teigti, kad žemės ūkio veiklai vykdyti yra neigiamų veiksnių, bet daugiau nei pusėje analizuojamos ariamosios žemės ploto, pirmajame poligone, žemės ūkio veiklą vykdyti palanku.

- Antrajame poligone ariamoji žemė sudaro 4,16 ha iš kurių: tik 0,24 ha geros būklės ariamoji žemė, 0,44 ha erozijos pažeista ir akmenuota teritorija, 3,48 ha (net 84%) akmenuota ariamoji žemė. Nors ariamosios žemės plotas didelis, forma patogi dirbti žemės ūkio technika, žemės ūkio veiklą šiame plote labai apsunkina didelis akmenuotumas.

- Trečiajame poligone ariamoji žemė sudaro 1,52 ha, iš šio ploto: 0,12 ha akmenuota, 0,49 ha piktžolėmis apaugę plotai ir 0,91 ha (tai net 60% viso ploto) geros būklės ariamoji žemė. Šiame poligone beveik visas ariamosios žemės sklypas yra palankus dirbti žemės ūkio technika, tik nedidelis plotas yra piktžolėtas ir jam reikalingos papildomos agrarinės priemonės piktžolių naikinimui.

- Ketvirtajame poligone ariamoji žemė sudaro 2,79 ha iš šio ploto: 0,24 ha piktžolėmis apaugę plotai, 0,06 ha erozijos pažeistos vietos ir 2,49 ha (net 89%) geros būklės ariamoji žemė. Didžioji dalis ariamosios žemės ploto yra palanki ūkininkavimui.

Ištyrus visus keturis ariamosios žemės poligonus nustatyta, kad geros būklės ariamosios žemės yra 51%, akmenuotos teritorijos yra 41%, pažeista erozijos ir akmenuota teritorija 5%, užmirkę plotai 1%, pažeista erozijos 1% bei piktžolėta ir akmenuota sudaro 1%. (5 pav.)



5 pav. Visų 4 poligonų ariamosios žemės savybių rezultatai. *Arable land characteristics results for all 4 polygons.*

Šaltinis: sudarė autoriai

Iš viso analizuojamos ariamosios žemės poligonai sudaro 9,08 ha. Gana didelė jos dalis, beveik pusė analizuojamo ploto yra probleminiai dėl savo savybių juos taikant žemės ūkio veiklai vykdyti.

Išvados

1. Bepiločiuose orlaiviuose galima įmontuoti kelių tipų kameras. Multispektrinių spindulių kamera gauti duomenys padeda stebėti augalų sveikatą ir pastebėti skurdžius bei sunykusius pasėlius. Taip pat galima naudoti termo kameras, kurios tinka stebėti laukinius gyvūnus ir gyvulius, gali būti naudojama kaip papildoma priemonė pašarų ir vandens kontrolei šėryklose. Iš bepiločio orlaivio su RGB kamera gautų duomenų yra gaunama daug svarbios informacijos, kuri naudojama labai plačiai žemės dangos objektų atpažinimui ir vertinimui.

2. Atlikus visų 4 poligonų ortofotoplanų sudarymą ir interpretavimą taikant RGB kamera gautus rastrinius duomenis nustatyta, kad galima sukaupti daug aktualios informacijos apie ariamąją žemę. Nustatyti šie duomenys apie ariamosios žemės būklę: akmenuotumas; piktžolėtumas; erozijos paveiktos teritorijos; užmirkę teritorijos.

3. Tyrimo metu kartografuota ir sudaryta bei išanalizuota 9,08 ha ariamosios žemės išsidėsčiusios keturiuose skirtinguose poligonuose. Ariamosios žemės plotas poligonuose svyruoja nuo 1,5 ha iki 4,1 ha. Visoje išanalizuotoje teritorijoje geros būklės ariamoji žemė sudarė 4,7 ha, akmenuota ariamoji žemė 3,7 ha, pažeista erozijos ir akmenuota ariamoji žemė 0,4 ha, užmirkusi ariamoji žemė 0,1 ha, pažeista erozijos ariamoji žemė 0,1 ha ir piktžolėta bei akmenuota ariamoji žemė 0,02 ha.

Literatūra

1. Costa, L.; Nunes, L.; Ampatzidis, Y. 2020. A New Visible Band Index (vNDVI) for Estimating NDVI Values on RGB Images Utilizing Genetic Algorithms [žiūrėta 2025-06-16]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105334>;

2. Gudritienė D.; Šalkauskienė V.; Abalikštienė E.; Pupka D. 2023. Miškininkystė ir kraštovarkla. Nuotolinių tyrimų taikymo galimybės Lietuvos ūkiuose.
3. Gudritienė D.; Šalkauskienė V.; Abalikštienė E.; Pupka D. 2024. Miškininkystė ir kraštovarkla. Nepilotuojamos skraidymo priemonės su termo kamera gautų duomenų taikymo galimybės žemės ūkyje.
4. Heap, I. 2017. The International Survey of Herbicide Resistant Weeds. [žiūrėta 2025-04-09]. Prieiga per internetą: <http://www.weedscience.org>.
5. Huang, Y.; K.N., Reddy; R.S., Fletcher; Pennington, D. 2018. UAV low – altitude remote sensing for precision weed management Weed Technol., 32 (1), p. 2-6.
6. Yano, IH; Alves, JR; Santiago, WE; Mederos, BJT. 2016. Identification of weeds in sugarcane fields through images taken by UAV and random forest classifier. IFAC-PapersOnLine 49:415 – 420.
7. Inkyu, S.; Popovic, M.; Khanna, R.; Zetao, C.; Philipp, L.; Liebisch, F.; Nieto, J.; Stachniss, C.; Walter, A.; Siegwart, R. 2018. WeedMap: A large-scale semantic weed mapping framework using aerial multispectral imaging and deep neural network for precision farming.
8. Jeongeun, K.; Seungwon, K.; Chanyoung, J.; Hyoun, S. 2021. Unmanned Aerial Vehicles in Agriculture: A Review of Perspective of Platform, Control, and Applications [žiūrėta 2025-04-16]. Prieiga per internetą: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8782102>;
9. Ribera, J.; He, F.; Chen, Y.; Habib, F.A.; Delp, J. E. 2018. Estimating Phenotypic Traits From UAV Based RGB Imagery.
10. Steckel, L. 2017. No One Reason for „Frustrating“ Dicamba Issue. Knoxville, TN: University of Tennessee. Accessed September 6.

APPLICATIONS OF DATA FROM THE RGB UAV CAMERA FOR ARABLE LAND AND CROP ASSESSMENT

Summary

The aim of this thesis is to analyse the potential of the data acquired by the RGB camera of the UAV to determine the characteristics of arable land and crops. The layout of the five polygons analysed consists of arable land, cultivated meadows, cultivated pastures, and three surveys with growing crops. The objectives of the work are to provide an overview of the information provided by the cameras on UAVs and its applications; to carry out a visual interpretation of the raster data generated by the RGB camera for the seven study polygons; to discuss the possibilities of using the analysed raster data for the assessment of the condition of arable land; and to determine the possibilities of applying the data generated by the RGB camera for the identification of destroyed or declining crops.

Data from an unmanned aerial vehicle (UAV) with an RGB camera is used to identify and assess land cover objects. In this work, the data acquired by the RGB camera were used to assess the condition of arable land and crops. After orthophotomapping and interpretation of all seven polygons using the RGB camera data, the following conditions of arable land were identified: stony areas, weedy areas, eroded areas, and waterlogged areas. Crop losses were identified due to waterlogging, drought, soil erosion, and destruction by wild animals.

In the research part of the final thesis, a total of 9.08 ha of arable land spread over four different polygons was analysed. The area of arable land varied from 1.5 ha to 4.1 ha per polygon. Across the entire analysed area, 4.7 ha of arable land was in good condition, 3.7 ha was classified as stony, 0.4 ha as both eroded and stony, 0.1 ha as waterlogged, 0.1 ha as eroded, and 0.02 ha as both weedy and stony. In three polygons, areas of degraded crops were identified. A total of 6.47 ha of crops was analysed. Of this area, 5.7 ha was found to be in good condition, 0.5 ha was identified as dead, and 0.27 ha was found to be in poor condition. The dead crops were the result of waterlogging, soil erosion, drought, and the influence of wild animals (escape). Keywords: RGB camera, unmanned aerial vehicle.

Key words: RGB camera, unmanned aerial vehicle, remote sensing methods.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Daiva Gudritienė

Mokslo laipsnis ir vardas: magistrė

Darbo vietą ir poziciją: Lietuvos inžinerijos kolegijos, Aplinkos inžinerijos fakulteto lektorė.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: Nuotolinių tyrimo metodų taikymas žemės dangos objektų kartografavimui bei savybių nustatymui.

Telefonas ir el. pašto adresas: 0 616 43034, daiva.gudritiene@lik.tech

Autoriaus vardas, pavardė: Darius Pupka

Darbo vietą ir poziciją: Lietuvos inžinerijos kolegijos, Aplinkos inžinerijos fakulteto lektorius.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: Nuotolinių tyrimo metodų taikymas žemės dangos objektų kartografavimui, GIS duomenų modeliavimas bei analizė.

Telefonas ir el. pašto adresas: 0 606 91802, darius.pupka@lik.tech

Autoriaus vardas, pavardė: Emilė Žemaitytė

Darbo vietą ir poziciją: Lietuvos inžinerijos kolegijos, Aplinkos inžinerijos fakulteto studentė.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: Nuotoliniai ir kontaktiniai matavimai

Telefonas ir el. pašto adresas: 0 606 91802, emilezemaityte@gmail.com

VALSTYBINIŲ MIŠKŲ VALDYMO MODELIO KAITA IR JOS POVEIKIS VEIKLOS EFEKTYVUMUI

Gintaras Morkūnas

Lietuvos inžinerijos kolegija

Anotacija

Straipsnyje analizuojama valstybinių miškų veikla iki ir po 2018 m. reformos, lyginami pagrindiniai darbo jėgos bei pelningumo rodikliai, siekiant objektyviai įvertinti pokyčių poveikį. Analizė apima darbuotojų skaičiaus, vidutinio darbo užmokesčio, darbuotojui tenkančio miško ploto pasikeitimus. Tiriamos pardavimo pajamos, grynasis pelnas, pelningumas ir medienos kainų įtaką įmonės rezultatams. Tikslas – atsakyti, kaip struktūriniai pokyčiai atsiliepė veiklos efektyvumui.

Nustatyta, kad per analizuojamąjį laikotarpį valstybiniame miškų sektoriuje nuosekliai mažėjo darbuotojų skaičius (6,6 karto), tuo pačiu augo vienam darbuotojui tenkančių prižiūrimų miškų plotai (2,8 karto). Atlyginimai taip pat reikšmingai kilo, tačiau palyginus valstybinio miškų sektoriaus vidutinius atlyginimus su šalies vidurkiu matyta, kad pastaraisiais metais jis šiek tiek mažesnis nei Lietuvoje. Įvertinus pajamų ir pelningumo rodiklius matyti, kad Miškų urėdijos veikla buvo efektyvi tik kai kuriais laikotarpiais. Daugeliu atvejų pelno augimas buvo tiesioginė aukštų kainų pasekmė, o ne sistemingo darbo rezultatas.

Reikšminiai žodžiai: valstybiniai miškai, valstybinių miškų valdymo modeliai, miškų reforma, veiklos efektyvumas.

Ivadas

Valstybiniai miškai Lietuvoje yra ne tik svarbus nacionalinis gamtos išteklius, bet ir reikšminga viešojo sektoriaus ūkio šaka, kuriai keliami aukšti ekonominio efektyvumo, skaidrumo bei tvarumo reikalavimai. Iki 2018 metų valstybinių miškų valdymo sistema buvo paremta decentralizuotu modeliu – miškų ūkį administravo net 42 pelno siekiančios atskiros miškų urėdijos, turėjusios įmonių statusą ir savarankiškus finansinius ir veiklos sprendimus. Jos administravo 1051,5 tūkst. ha valstybinės reikšmės miško žemės plotą. Miškų urėdijose buvo 339 girininkijos. Iš viso valstybės miškų urėdijose dirbo beveik 4000 darbuotojų. 2018 m., nežiūrint didelio pasipriešinimo, įvykdyta reikšminga reforma iš esmės pakeitė šią struktūrą: visos urėdijos buvo centralizuotos į vieną juridinį vienetą – VI Valstybinių miškų urėdiją (VMU). Dabar įmonę sudaro 26 regioniniai padaliniai su 192 girininkijomis. Įmonės savininkė yra valstybė, įmonės savininko teises ir pareigas įgyvendina Lietuvos Respublikos Aplinkos ministerija. Valstybinė miškų urėdija yra viena iš trijų didžiausių valstybės bendrovių trejetuke.

Reforma buvo grindžiama siekiu padidinti veiklos efektyvumą, sumažinti administracines išlaidas ir užtikrinti skaidresnį valstybinių miškų valdymą. Vienas pagrindinių urėdijų reformos tikslų buvo centralizuoti sistemas ir standartizuoti procesus visuose regioniniuose padaliniuose. Beveik visose Europos šalyse veikia viena valstybinius miškus valdanti įmonė, tuo pavyzdžiu sekė ir Lietuva. Reformai pasirinktas latviškos įmonės variantas, kur svarbiausias įmonės veiklos prioritetas yra stambaus verslo medienos ruošos ir prekybos pramonės įmonės. Visgi reformos metu buvo nekalbama apie valstybinių miškų ekologinę, aplinkosauginę, ekonominę, rekreacinę bei kitas visuomenei svarbias vertes, tvarkant juos tvaraus ir subalansuoto miškų ūkio principais. Kalbama tik apie iš valstybinių miškų gaunamą naudą, stambiam verslui palankias prekybos sąlygas ir prielaidas mažinti medienos kainas. Be kita ko, miškininkų bendruomenę piktino ir tai, kad ministerijos vadovai negalėjo pateikti objektyvios ir nešališkos kaštų ir naudos analizės. Tad nenuostabu, kad net ir praėjus keleriems metams nuo pokyčių įgyvendinimo, visuomenėje ir miškininkų bendruomenėje vis dar kyla daug abejonių – ar reforma iš tiesų pasiteisino? Kiekviena pertvarka įneša neaiškumo ir keblumų. Valstybinių miškų urėdija vis dar reformavimosi procese, visgi vienas skaudžiausių reformos momentų – daugybės specialistų nutekėjimas: nemaža dalis miškininkų specialistų išėjo iš darbo, dalis apskritai pasuko į kitas sritis. Tad ar naujoji sistema veikia efektyviau nei senoji? Ar finansiniai rodikliai rodo realų veiklos pagerėjimą, ar tai tik laikino palankių medienos rinkos kainų rezultatas? Šie ir kiti klausimai nagrinėjami straipsnyje.

Darbo tikslas: nustatyti valstybinių miškų valdymo modelio pasikeitimo poveikį veiklos efektyvumui.

Uždaviniai:

1. Išaiškinti valstybinių miškų valdymo struktūrą Lietuvoje bei pokyčius joje.
2. Išanalizuoti pokyčius darbuotojų, darbuotojų skaičiaus ir darbo užmokesčio srityje.
3. Nustatyti pelningumo rodiklių kaitą.

Tiriamąjį darbo objektas – valstybinių miškų urėdija veiklos rodikliai.

Siekiant ištirti esminius veiklos ir finansinių rodiklių pokyčius Lietuvos valstybinių miškų sektoriuje buvo analizuojamas dvidešimt dviejų metų laikotarpio (2002 – 2024 m.) duomenys. Duomenims surinkti ir išanalizuoti buvo vertinami šie aspektai:

- Valstybinių miškų užimami plotai bei plotai, tenkantys vienam darbuotojui.
 - Valstybinių miškų sektoriuje dirbantys asmenys, jų skaičius ir darbo užmokestis.
 - Valstybinių miškų sektoriaus pateikta pelningumo rodiklių kaita.
- Straipsnis susideda iš santraukos, reikšminių žodžių, teorinės įžvalgos, tyrimo rezultatų ir išvadų.

Teorinės įžvalgos

Valstybiniai miškai apibrėžiami kaip miško žemė ir joje esantys ištekliai, nuosavybės teise priklausantys valstybei ir valdomi viešojo sektoriaus institucijų (Forest Europe, 2020). Šie miškai atlieka ne tik ekonominę, bet ir reikšmingą ekologinę, socialinę bei kultūrinę funkciją. Europos šalyse valstybiniai miškai sudaro reikšmingą bendro miškų ploto dalį, todėl jų valdymas laikomas svarbia viešosios politikos ir darnaus vystymosi dalimi.

Valstybiniai miškai dažnai siejami su visuomenės interesų užtikrinimu, biologinės įvairovės apsauga, klimato kaitos švelninimu, rekreacinių paslaugų teikimu bei regionų ekonominiu vystymu. Dėl šių priežasčių valstybinių miškų valdymas skiriasi nuo privačių miškų valdymo ir reikalauja kompleksinio, daugiakriterinio požiūrio.

Europos valstybėse taikomi skirtingi valstybinių miškų valdymo modeliai, kurie priklauso nuo nacionalinės teisinės sistemos, administracinės struktūros ir istorinių tradicijų (Liubachyna ir kt., 2017; Lazdinis, Dudutis, 2008). Mokslinėje literatūroje dažniausiai išskiriami centralizuoto, decentralizuoto ir mišraus valdymo modeliai.

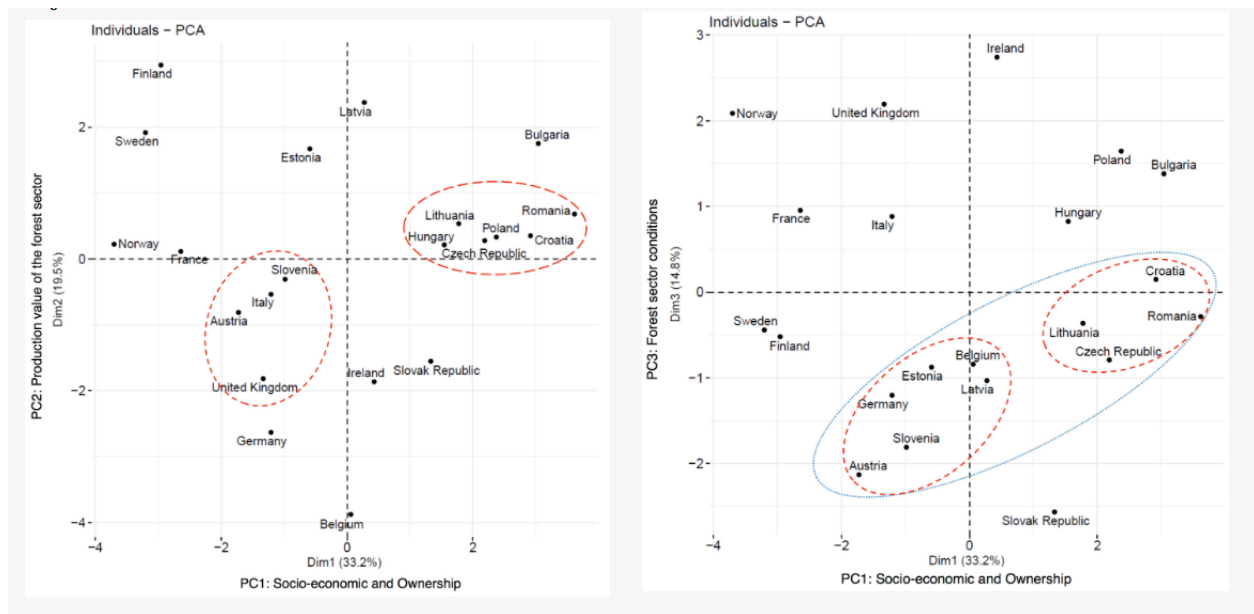
Centralizuoto valdymo modelis pasižymi tuo, kad valstybinių miškų valdymo sprendimai priimami vienoje centrinėje institucijoje. Šis modelis dažnas Rytų ir Vidurio Europos šalyse. Decentralizuotas modelis labiau paplitęs Šiaurės ir Vakarų Europoje, kur sprendimų priėmimo teisės perduodamos regioninėms ar vietos institucijoms. Mišrus modelis apjungia abiejų sistemų elementus ir siekia subalansuoti strateginį valstybės vaidmenį bei vietos lygmens lankstumą.

Veiklos efektyvumas valstybinių miškų sektoriuje apibrėžiamas kaip gebėjimas optimaliai panaudoti turimus išteklius siekiant užsibrėžtų tikslų (Liubachyna ir kt., 2017; Santopuoli ir kt., 2021). Skirtingai nei privačiame sektoriuje, valstybinių miškų veiklos efektyvumas negali būti vertinamas vien tik ekonominiais rodikliais. Mokslinėje literatūroje pabrėžiama būtinybė taikyti integruotą požiūrį, apimančią ekonominius, ekologinius ir socialinius aspektus.

Ekonominis efektyvumas siejamas su pajamų generavimu, sąnaudų optimizavimu ir finansiniu tvarumu. Ekologinis efektyvumas apima biologinės įvairovės išsaugojimą, miškų atsikūrimą ir klimato kaitos švelninimo priemones. Socialinis efektyvumas vertinamas per visuomenės gerovės didinimą, rekreacinių paslaugų prieinamumą ir darbo vietų kūrimą regionuose.

Siekiant nustatyti valstybinių miškų valdymo institucijų tikslus ir veiklos rezultatus Europos šalyse Liubachyna, Bubbico, Secco ir Pettenella (2017) atliko tyrimą, kuriame atskleidė pagrindinius šių institucijų veiklos modelius ir skirtumus. Autoriai rėmėsi daugiakriterine statistine analize ir taikė klasterinę analizę, leidžiančią grupuoti valstybines miškų valdymo organizacijas pagal jų ekonominius, ekologinius ir socialinius veiklos rodiklius. Tyrime nagrinėjami duomenys iš įvairių Europos valstybių atskleidžia, kad valstybinių miškų valdymo organizacijos veikia labai skirtingomis institucinėmis ir politinėmis sąlygomis, tačiau jų veiklos tikslai dažniausiai apima ne tik ekonominį pelningumą, bet ir tvarų miškų valdymą, visuomeninių funkcijų užtikrinimą bei aplinkosauginius įsipareigojimus. Analizės rezultatai parodė, kad organizacijas galima suskirstyti į kelis klasterius, kuriuose dominuoja skirtingi prioritetai: kai kuriose šalyse labiau akcentuojamas ekonominis efektyvumas, kitose – socialinės ir ekologinės funkcijos. Autoriai pabrėžia, kad valstybinių miškų veiklos efektyvumas negali būti vertinamas vien tik finansiniais rodikliais, nes tokia praktika neatskleidžia viso šių organizacijų kuriamo viešojo gėrio. Autoriai padarė išvadą, jog efektyvus valstybinių miškų valdymas Europoje pasižymi gebėjimu subalansuoti ekonominius, ekologinius ir socialinius tikslus, o klasterinė analizė gali būti naudinga priemone lyginant skirtingų šalių valdymo sistemas ir identifikuojant gerąsias praktikas.

Paveiksle pateikiami grafikai su pagrindinių komponentių analizės (PCA) rezultatais, atspindinčiais Europos šalių grupavimą pagal valstybinių miškų sektoriaus socioekonominės, nuosavybės ir produkcijos vertės charakteristikas. Pirmoji pagrindinė komponentė (PC1) apibūdina miškų sektoriaus socioekonominių bei nuosavybės kontekstą, o antroji komponentė (PC2) atspindi miškų sektoriaus produkcijos vertę. Trečioji komponentė (PC3) atskleidžia miškų sektoriaus sąlygas. Šalių tarpusavio atstumai grafike rodo jų panašumus ir skirtumus valstybinių miškų valdymo ir veiklos efektyvumo požiūriu, o išryškėjusios šalių grupės leidžia identifikuoti skirtingus valstybinių miškų valdymo modelius Europos mastu.



1 pav. Europos šalių išsidėstymas pagal valstybinių miškų sektoriaus socioekonominės, nuosavybės, produkcijos vertės charakteristikas bei miškų sektoriaus sąlygas

Šaltinis: Liubachyna ir kt., 2017

Apjungus paveiksle pateiktų grafikų rezultatus, matyti, kad Lietuva nuosekliai patenka į šalių grupę, kuriai būdingas stiprus valstybinių miškų nuosavybės dominavimas ir reikšmingas miškų sektoriaus vaidmuo nacionaliniame socioekonominiame kontekste. Tai atitinka Liubachyna ir kt. (2017) aprašytą Vidurio ir Rytų Europos valstybinių miškų valdymo modelį, kuriam būdinga centralizuota valdymo struktūra ir aiškus valstybės vaidmuo strateginiuose sprendimuose. Pirmojo grafiko (PC1-PC2) rezultatai rodo, kad Lietuvos miškų sektoriaus produkcijos vertė yra vidutinė, lyginant su Šiaurės Europos šalimis, pasižyminčiomis aukštesniu produktyvumu, o tai sutampa su Forest Europe (2020) pateiktais duomenimis apie skirtingą miškų sektoriaus ekonominę intensyvumą Europoje. Tuo tarpu antrojo grafiko (PC1-PC3) rezultatai atskleidžia, kad Lietuvos miškų sektoriaus sąlygos (PC3) išlieka vidutinės ar artimos neigiamoms, kas leidžia daryti prielaidą, jog stiprus valstybinių miškų valdymo modelis savaime neužtikrina optimalios sektoriaus būklės. Ši išvada dera su Santopuoli ir kt. (2021) akcentuojamu poreikiu derinti ekonominę efektyvumą su ekologiniais ir struktūriniais tvaraus miškų valdymo kriterijais. Todėl Lietuvos pozicija PCA erdvėje rodo ne tik valdymo modelio stiprybes, bet ir potencialą tolesniam veiklos efektyvumo bei miškų sektoriaus sąlygų gerinimui, taikant integruotą, rodikliais grįstą valdymo požiūrį.

Tyrimo rezultatai

Valstybinių miškų valdymo struktūros ir žmogiškųjų išteklių analizė

Mokslinėje literatūroje valstybinių miškų valdymo efektyvumas vertinamas taikant įvairius metodus, įskaitant rodiklių analizę, lyginamąją analizę tarp šalių ar organizacijų, daugiakriterinius vertinimo metodus ir statistinius modelius. Dažnai taikomi veiklos rodiklių palyginimai leidžia identifikuoti gerąsias praktikas ir nustatyti valdymo trūkumus.

Empiriniai tyrimai rodo, kad efektyviausios valstybinių miškų valdymo sistemos pasižymi aiškiais strateginiais tikslais, skaidria valdymo struktūra, reguliariu veiklos vertinimu ir suinteresuotųjų šalių įtraukimu į sprendimų priėmimo procesus.

Lietuvoje valstybinius miškus valdo VĮ Valstybinių miškų urėdija (toliau – Urėdija). Tai strateginės svarbos valstybės valdoma įmonė, užsiimanti miškotvarkos, miškininkystės, medienos ruošos bei prekybos veikla ir yra didžiausia medienos sektoriaus įmonė Lietuvoje. Urėdija siekia pateisinti visuomenės lūkesčius dėl Lietuvos miškų išsaugojimo bei miškingumo didinimo, vykdoma edukacinė veikla jaunimui ir visiems besidomintiems miškininkystės temomis.

VĮ Valstybinių miškų urėdijos valdomas turtas siekia 301 mln. Eur. Didžiąją dalį pajamų – 97 proc. – įmonė uždirba iš medienos ir miško kirtimo liekanų prekybos, taip pat vykdo valstybės specialiuosius įpareigojimus naujų miškų įveisimo, miško kelių statybos bei priežiūros, miško priešgaisrinės apsaugos, gamtotvarkos ir aplinkosaugos priemonių bei kitose veiklose. Kaip buvo minėta teorinėse išvalgose, Lietuva

užima vidutinę - stiprią poziciją tarp Europos valstybinių miškų valdymo institucijų, ypač nuosavybės apimties ir veiklos masto požiūriu. Valdoma miškų teritorija (974 tūkst. ha), ir bendras įmonės veiklos plotas (1 040,7 tūkst. Ha), rodo reikšmingą valstybinio miškų sektoriaus koncentraciją ir centralizuotą valdymo modelį. Tai leidžia Lietuvą priskirti prie Vidurio ir Rytų Europos šalių, kuriose valstybiniai miškai sudaro svarbią nacionalinių miškų dalį.

Lietuvos valstybinių miškų sektorius išgyveno ne vieną pertvarką, tačiau reikšmingiausia ir didžiausia vyko 2018 metais. Vertinant valstybinių miškų valdymo modelio pokyčio rezultatus, reikėtų paminėti, kad vena iš reikšmingų reformos sąlygų buvo administracinių išlaidų mažinimas ir administracinės struktūros optimizavimas. To pasėkoje darbuotojų skaičius buvo sumažintas bemaž 30 proc. Apibendrinant valstybių miškų valdymą iki reformos ir po jos, galima sudaryti palyginamąją lentelę, kuri parodo pagrindinius skirtumus tarp valstybinių miškų valdymo iki reformos ir po jos Lietuvoje (1 lentelė).

1 lentelė

Valstybinių miškų valdymo struktūros palyginimas prieš ir po reformos

Kriterijus	Iki reformos (iki 2018 m.)	Po reformos (nuo 2018 m.)
Organizacinė struktūra	42 atskiros miškų urėdijos, kiekviena su administracija	1 juridinis asmuo: VĮ Valstybinių miškų urėdija su 26 regioniniais padaliniais
Valdymo lygis	Decentralizuotas, kiekviena urėdija veikė atskirai. 42 urėdai (vietiniai vadovai)	Centralizuotas, viską koordinuoja centrinė būstinė. 1 generalinis direktorius ir pavaduotojai
Finansų valdymas	42 buhalterijos, skirtingos apskaitos praktikos	Vieningas biudžetas, centralizuota apskaita, bendra ERP sistema
Pelnas	Nedidelė dalis tekdavo valstybei	Reikšmingi dividendai valstybės biudžetui (pvz., 58,9 mln. €)
Administracija	Kiekvienoje urėdijoje – vadovai, buhalteriai, teisininkai	Optimizuota – sumažintas darbuotojų dubliavimas
Žmogiškieji ištekliai ir darbuotojų skaičius	Decentralizuotas personalo valdymas > 4000 darbuotojų	Centralizuotas HR skyrius: atranka, mokymai, atlyginimai ~3000 darbuotojų po optimizacijos
Sprendimų priėmimas	Lokalūs sprendimai	Sprendimai priimami centralizuotai
Investicijos	Lokalios paskirstytos, mažiau strateginės	Strateginės, didesnės apimties, modernizuojama technika
Efektyvumas	Dubliuojamos funkcijos, skirtingi standartai	Efektyvumas didėja per masto ekonomiją, standartizaciją
Ryšys su bendruomenėmis	Stipresnis vietinis ryšys, pažino vietinius miškininkus	Dažnai kritikuojama dėl nutolimo nuo bendruomenių
Kritika	Perteklinė struktūra, neefektyvumas	Baimės dėl privatizacijos, darbo vietų mažinimo

Šaltinis: sudaryta autoriaus, 2025

Kaip matyti iš 1 lentelės duomenų, po 2018 m. reformos valstybinių miškų valdymas tampa centralizuotu. Ši centralizacija apima ir sprendimų priėmimą, ir viešuosius pirkimus, ir finansų valdymą. Vyrauja vieninga strategija, kur visi regioniniai padaliniai pavaldūs centrinei būstinei. Įmonė turi vieningą finansinę apskaitą. Didesnė veiklos pelno dalis grąžinama valstybei per dividendus. Įmonė vykdo vieningą finansinę apskaitą, vyrauja efektyvesnis biudžeto pasiskirstymas ir investicijų planavimas. Vertinant žmogiškuosius išteklius – iki reformos vyravo didelis darbuotojų skaičius administracinėse grandyse (kas iš dalies paskatino reformą). Buvo daug pasikartojančių funkcijų (pvz., buhalterija kiekvienoje urėdijoje). Tad po reformos darbuotojų skaičius buvo sumažintas. Didžioji dalis žmogiškųjų resursų optimizacijos paveikė specialistų ir vadovų grandį.

Reforma ženkliai pakeitė Lietuvos miškų valdymo struktūrą, tačiau jos poveikis ir toliau kelia diskusijas tiek tarp specialistų, tiek tarp visuomenės, tačiau tam, kad vertinti naudą, reikėtų šią informaciją paanalizuoti įvairesniais aspektais. Žemiau esančioje lentelėje (2 lentelė) pateikiami žmogiškųjų išteklių rodikliai, atspindintys kaitą valstybiniame miškų sektoriuje nuo 2002 m. iki 2024 metų.

Kaip matyti iš 2 lentelės duomenų, valstybiniame miškų sektoriuje vyrauja aiški darbuotojų skaičiaus mažėjimo tendencija. Nuo 2002, t. y. per 22 metus, darbuotojų skaičius sumažėjo maždaug 62.7 % (2002 m. darbuotojų buvo 6270, tuo tarpu 2024 m. liko tik 2342). Mažėjimas vyko gana tolygiai, be reikšmingų atsigavimo laikotarpių.

2 lentelė

Valstybinių miškų sektoriaus darbuotojų skaičiaus, atlyginimų ir miško plotų dinamika 2002–2024 m.

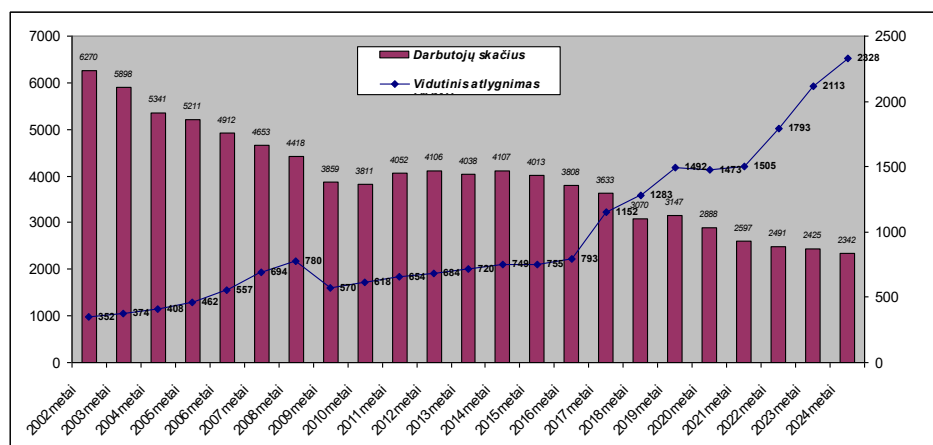
Metai	Darbuotojų skaičius	Vidutinis atlyginimas, eur	Vidutinis atlyginimas šalyje, eur	Atlyginimų skirtumas Lietuvoje ir urėdijose	Valstybinių miškų plotas, tūkst. ha	Plotas vienam darbuotojui, ha
2002	6270	352	331,61	20,39	1011,0	161,24
2003	5898	374	349,86	24,14	1016,7	172,38
2004	5341	408	379,4	28,6	1029,9	192,83
2005	5211	462	420,82	41,18	1041,8	199,92
2006	4912	557	501,33	55,67	1051,2	214,05
2007	4653	694	594,3	99,7	1054,8	226,69
2008	4418	780	671,63	108,37	1059,5	239,81
2009	3859	570	613,42	-43,42	1065,0	275,98
2010	3811	618	614,28	3,72	1067,7	280,16
2011	4052	654	629,92	24,08	1075,4	265,40
2012	4106	684	646,43	37,57	1076,5	262,18
2013	4038	720	677,71	42,29	1077,7	266,89
2014	4107	749	714,49	34,51	1080,9	263,18
2015	4013	755	756,9	-1,9	1084,5	270,25
2016	3808	793	822,8	-29,8	1050,2	275,79
2017	3633	1152	884,8	267,2	1051,5	289,43
2018	3070	1283	970,3	312,7	1102,0	358,96
2019	3147	1492	1358,6	133,4	1104,7	351,03
2020	2888	1473	1524,2	-51,2	1110,04	384,36
2021	2597	1505	1679,3	-174,3	1114,0	428,96
2022	2491	1793	1900,3	-107,3	1115,1	447,65
2023	2425	2113	2110,3	2,7	1112,0	458,56
2024	2342	2328	2336	-8	1074,4	458,75

Šaltinis: sudaryta autoriaus, 2025, pagal Vidutinį mėnesinį bruto ir neto darbo užmokestį bei Lietuvos miškų ūkio statistiką (<https://www.tagidas.lt/savada/9006/> ir <https://amvmt.lrv.lt/lt/atviri-duomenys-1/misku-statistikos-leidiniai/misku-ukio-statistika/>)

Miškų sektorius Lietuvoje nuolat patiria tam tikrų pokyčių ir reformų, 2002–2005 metais buvo atsisakyta savų miško darbininkų ir daugiau orientuotasi į miško rangovų įmonių samdymą. Vėliau įtakos turėjo modernizacijos ir automatizacijos procesai, galiausiai darbuotojų skaičiaus kritimą lėmė 2018 m. valstybinių miškų reforma. Kadangi šios reformos tikslas buvo sutaupyti ~14 mln. €/metus, sumažinant administraciją ir specialistus, tai aiškiai matoma 2 lentelės duomenyse: 563 darbuotojų atsisakė pereiti į naują struktūrą ar buvo atleisti, todėl liko be darbo. Šis skaičius nežymiai padidėjęs 2019 metais toliau stabiliai krito.

Kalbant apie tam tikro sektoriaus darbuotojų skaičiaus kaitą, nemažą įtaką tam turi ir šio sektoriaus darbuotojų atlyginimai: natūralu, kad paklausiausios darbo vietos yra tos, kuriose žadamos karjeros galimybės ir orus darbo užmokestis.

Valstybinių miškų sektoriaus darbuotojų skaičiaus mažėjimą iš dalies lėmė po reformos kritęs pasitikėjimas miškininkais, jų įvaizdžio sumenkimas ir tuo pačiu palyginti nedidelis darbo užmokestis (2 pav.).



2 pav. Vidutinio darbo užmokesčio ir darbuotojų skaičiaus dinamika valstybiniuose miškuose 2002–2024 m.

Šaltinis: sudaryta autoriaus, 2025, pagal Lietuvos miškų ūkio statistiką (<https://amvmt.lrv.lt/lt/atviri-duomenys-1/misku-statistikos-leidiniai/misku-ukio-statistika/>)

Kaip matyti iš 2 paveikslo duomenų, Vidutinis atlyginimas VIVMU reikšmingai augo – nuo 352 Eur (2002 m.) iki 2328 Eur. (2024 m.). Vis gi šiuos duomenis vertinti kaip labai pozityvius nederėtų. Reikia atkreipti dėmesį į keletą faktų:

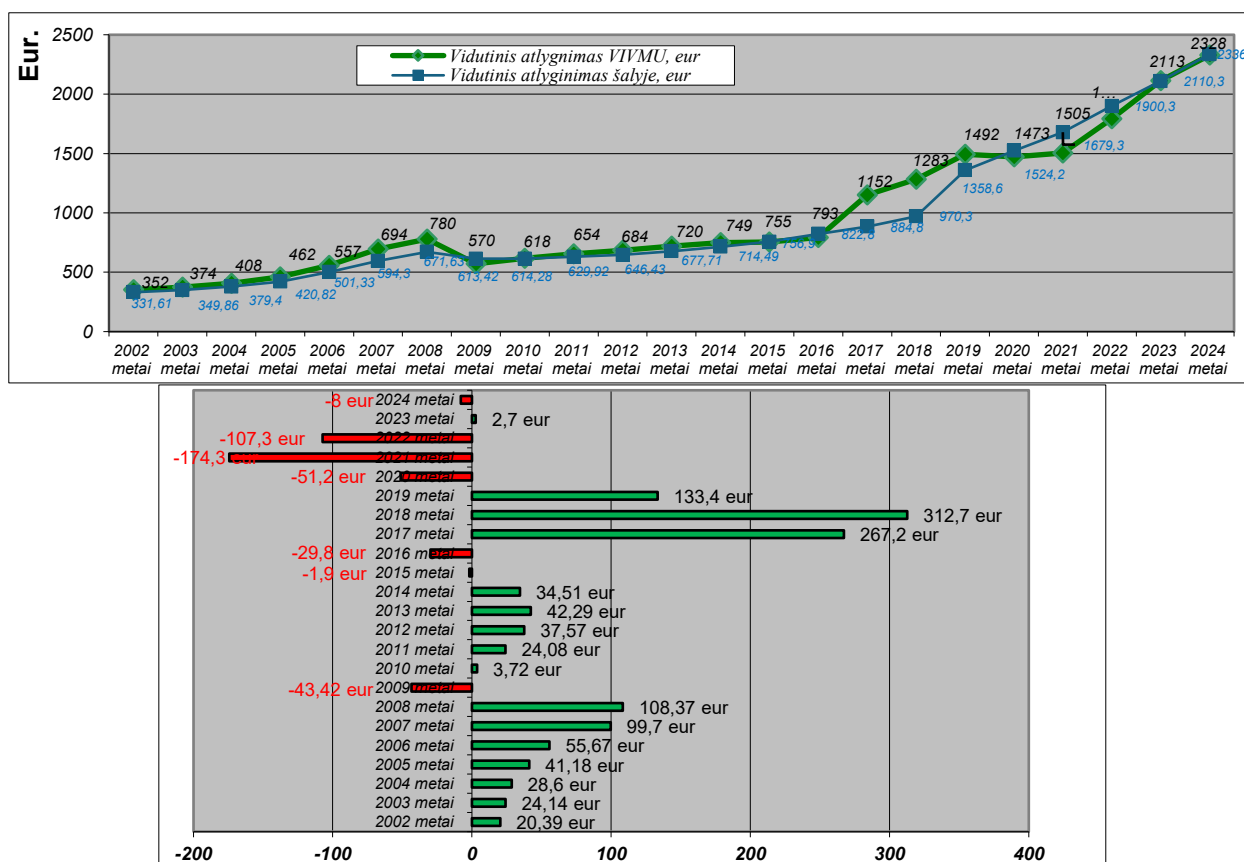
- Lietuva nuo pat įstojimo į ES (2004 m.) nuolat kelia minimalų darbo užmokestį, atsižvelgiant į tai kyla ir vidutinis atlyginimas, ir pragyvenimo lygis, pvz., nuo 2015 m. iki dabar minimali alga padidėjo daugiau nei 3,5 karto. Nuo pat 2002 metų, pasiruošimo stojimui į ES, padidėjimas siekia daugiau nei 6,6 karto per laikotarpį. Taigi visiškai natūralu, kad atsižvelgiant į šiuos faktus augo ir vidutinis darbo užmokestis;

- Kaip matyti iš 2 paveikslo duomenų, ypač spartus atlyginimų augimas fiksuotas po 2016 metų (pvz. 2016 m. – 793 Eur, o 2017 m. – 1152 Eur.). Tai gali būti paaiškinama tuo, kad tuo metu egzistavusios 42 šalies miškų urėdijos jautė artėjančias valstybinio miškų sektoriaus reformas, numatė būsimus darbuotojų atleidimus tad iš anksto tam pradėjo ruoštis, sukeliant darbo užmokestį.

- Nuo 2019 m. apjungus darbdavio ir darbuotojo Sodros mokesčius, pakilo priskaičiuotas darbo užmokestis (bruto). Tai neturėjo įtakos atlyginimui „į rankas“ (neto), tačiau statistikos duomenyse gali būti matomas ir klaidingai traktuojamas, kaip darbo užmokesčio padidėjimas;

- Politiniai, ekonominiai ir socialiniai įvykiai, tokie kaip COVID-19 pandemija, karas tarp Ukrainos ir Rusijos turėjo įtakos infliacijos augimui. Auganti infliacija augina produkcijos ir paslaugų kainas, kilo darbo užmokestis, tačiau reali perkamoji galia žymiai nesiskyrė.

Siekiant nustatyti Valstybinių miškų, kaip svarbaus sektoriaus konkurencingumą, vidutinis darbo užmokestis Urėdijoje buvo palygintas su šalies vidutiniu darbo užmokesčiu. Duomenys pateikti 3 pav. Kaip matyti iš 3 pav. duomenų, atlyginimai Lietuvos valstybiniame miškų sektoriuje mažai kuo skiriasi nuo vidutinio atlyginimo šalyje. Šešiais iš dvidešimt dviejų atvejų vidutiniai atlyginimai Urėdijoje yra netgi žemesni nei šalies vidurkis. Turint omenyje, kad miškų sektoriuje dirba specialistai, beveik nebeliko darbininkų grandies, tokie skaičiai vertinti kaip nepalankūs ir nepatrauklūs. Kartu su 2018 metais įvykusia reforma bei miškininko įvaizdžio kritimu tai sąlygoja ir darbuotojų skaičiaus mažėjimą. Atliktos studijos rodo, kad miškininko specialybę renkasi vis mažiau stojančiųjų, valstybiniuose miškuose pradeda trūkti darbuotojų.

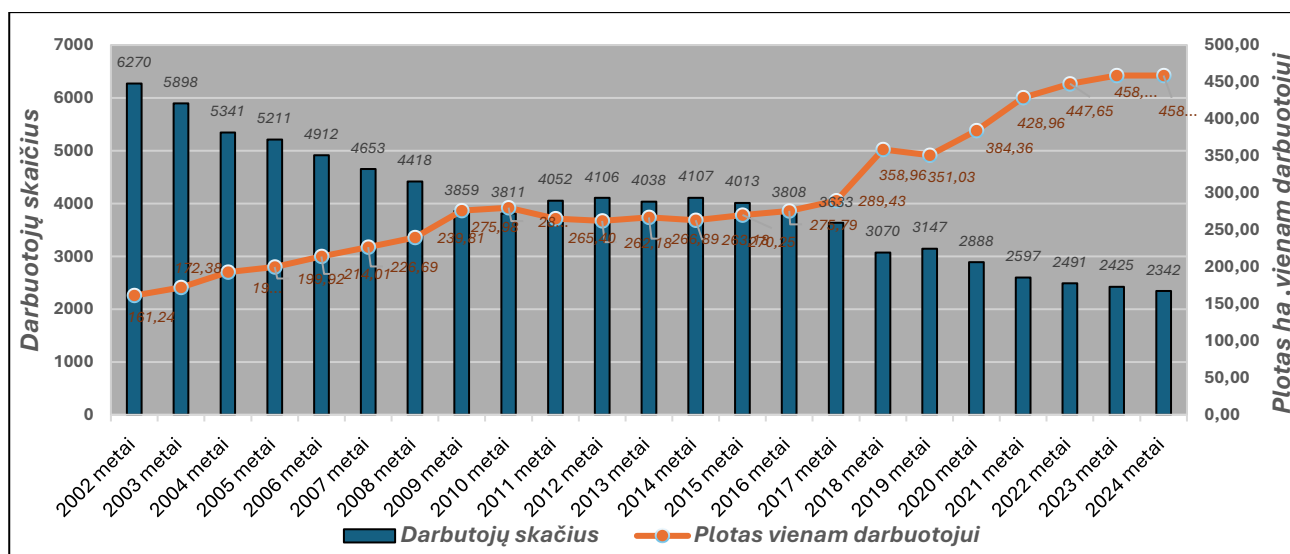


3 pav. Vidutinio darbo užmokesčio Valstybinių miškų urėdijose palyginimas su šalies vidutiniu darbo užmokesčiu 2002-2024 m.

Šaltinis: sudaryta autoriaus, 2025, pagal Vidutinį mėnesinį bruto ir neto darbo užmokestį bei Lietuvos miškų ūkio statistiką (<https://www.tagidas.lt/savadai/9006/> ir <https://amvmt.lrv.lt/lt/atviri-duomenys-1/misku-statistikos-leidiniai/misku-ukio-statistika/>)

Paanalizavus vidutinių atlyginimų valstybiniame miškų sektoriuje ir visoje Lietuvoje dinamiką matyti, kad miškų urėdijoje didžiausias atotrūkis tarp vidutinių atlyginimų visoje Lietuvoje sietinas su reformos pradžia, t. y. 2018 metais. Šiuo laikotarpiu vidutinis atlyginimas valstybiniuose miškuose buvo 312 eur. didesnis nei visoje Lietuvoje (3 pav.). Tai iš dalies galėjo lemti faktas, kad vienas iš reorganizacijos tikslų buvo suvienodinti atlyginimus visiems tas pačias funkcijas atliekantiems darbuotojams. Iki valstybinių miškų sistemos reformos kiekviena urėdija darbo užmokesčius nusistatydavo individualiai. Apjungus jas į vieną struktūrą susidarė tokia situacija, kad skirtinguose regioniniuose padaliniuose dirbantys specialistai už tą patį darbą gaudavo skirtingą darbo užmokestį. Todėl, siekiant socialinės lygybės, atlygis buvo padidintas beveik pusei specialistų, kurių užmokestis, lyginant su kitais tą patį darbą atliekančiais kolegomis, buvo mažiausias. Po pakeitimo šių pareigybių darbuotojų atlyginimas išaugo vidutiniškai 20 proc. Per metus šis pokytis Valstybinių miškų urėdijai tai sudarė apie 416 tūkst. eurų.

Dar vienas svarbus pokytis žmoniškųjų išteklių optimizacijos procese – išaugęs prižiūrimų miškų plotas vienam darbuotojui (4 pav.). Per analizuojamąjį laikotarpį valstybinis miškų sektorius išgyveno ne vieną reformą. Jų metu nuosekliai mažėjo darbuotojų skaičius (6,6 karto), tuo pačiu augo vienam darbuotojui tenkančių prižiūrimų miškų plotai (2,8 karto).



4 pav. Valstybinių miškų ploto, ir ploto, tenkančio vienam darbuotojui, kaita 2002-2024 m.

Šaltinis: sudaryta autoriaus, 2025, pagal Lietuvos miškų ūkio statistiką (<https://amvmt.lrv.lt/lt/atviri-duomenys-1/misku-statistikos-leidiniai/misku-ukio-statistika/>)

Remiantis atliktais valstybinių miškų valdymo tyrimais (Liubachyna ir kt., 2017), Europos šalys suskirstytos į 3 grupes, pasižyminčias skirtingu darbo našumu, kuris išreikštas darbuotojų skaičiumi, tenkančius 1000 ha valdomo miškų ploto. Šis rodiklis leidžia įvertinti organizacijų veiklos efektyvumą žmoniškųjų išteklių panaudojimo požiūriu – kuo rodiklis didesnis, tuo darbo našumas yra mažesnis, nes didesniai plotui valdyti reikia daugiau darbuotojų.

Pirmąją grupę sudaro Šiaurės Europos šalys (Suomija, Norvegija), pasižyminčios mažiausiu darbuotojų skaičiumi 1 000 ha (apie 2 darbuotojus) ir atitinkamai aukščiausiu darbo našumu. Šios organizacijos dažniausiai pasižymi aukštu mechanizacijos lygiu, skaitmenizuotais procesais ir plačiu paslaugų pirkimu iš rinkos.

Antroje grupėje atsideria Vakarų Europos šalys (Vokietija, Prancūzija), kurioms būdingas didelis darbuotojų skaičius vienam miškų ploto vienetui (6-10 darbuotojų). Tai rodo labiau darbo jėga grindžiamą valdymo modelį, dažnai siejamą su platesniu viešųjų funkcijų spektru ir didesniu socialinių bei rekreacinių paslaugų teikimu.

Trečiąją grupę apima Vidurio ir Rytų Europos šalys, kur vidutinis darbuotojų skaičius 1 000 ha yra maždaug 4 asmenys. Čia darbo našumas yra mažesnis nei Šiaurės Europos šalyse, tačiau aukštesnis nei kai kuriose Vakarų Europos organizacijose. Tai atspindi pereinamąjį valdymo modelį, kuriame derinami centralizuoto valdymo bruožai su palaipsniui efektyvumo didinimu.

Įvertinus Liubachyna ir kt. (2017) atlikto tyrimo duomenis matyti, kad Lietuva po 2018 metų reformos perėjo į Šiaurės Europos šalims būdingą valdymo modelį su itin mažu darbuotojų skaičiumi 1000 ha. Tačiau

nuo šių šalių vis dar atsilieka mechanizacijos ir skaitmenizacijos procesuose, tad darbo krūvis darbuotojams yra itin didelis.

Apibendrinant galima teigti, kad valstybiniame miškų sektoriuje vykstančios reformos tiesiogiai koreliuoja su darbuotojų skaičiaus kritimu – centrinės struktūros kūrimas ir regionų optimizavimas reikšmingai sumažino darbuotojų skaičių. Visais laikotarpiais reformų metu administracinės bei techninės funkcijos buvo redukuojamos, centralizuojamos, o specialistai, kurie nesutiko su pokyčiais, liko be darbo. Nors po reformų įvyko naudingų pokyčių: atlyginimų harmonizavimas, struktūros atsigavimas, darbo jėgos modelio pakeitimas (taupant lėšas valstybė perėjo iš samdomų darbininkų modelio prie rangos įmonių, per trečiosios šalies konkursus) visgi nepakankamai apgalvotos socialinės pasekmės, neatlikta socialinio poveikio analizė ir trūkstanti sisteminiai vertinimai bei skaidrumo stoka lėmė socialinę įtampą, kuri stipriai atsiliepė iš miškininko įvaizdžiui.

Valstybinių miškų urėdijų finansinių rodiklių analizė

Vertinant Valstybinių miškų urėdijos finansinius rodiklius reikia paminėti, kad urėdija pagrindines pajamas gauna iš apvaliosios medienos pardavimų, kurie priklauso nuo vidutinės metinės medienos kainos.

Siekiant įvertinti urėdijos veikos efektyvumą, buvo paanalizuoti 15-os metų vidutinės kainos, pajamų ir pelningumo rodikliai. Jie apima laikotarpius tiek iki urėdijos reformos (2010-2017 metai), tiek po reformos (2018-2024 metai). Rezultatai pateikiami 3 lentelėje.

3 lentelė

Valstybinių miškų urėdijų pajamos, grynasis pelnas ir vidutinė medienos kaina, 2010-2024 m.

Metai	Pardavimo pajamos, mln. eur	Grynasis pelnas, mln. Eur	Pelningumas, proc.	Vidutinė medienos kaina (€/m³)
2010 metai	120	11	9,2	27
2011 metai	158	7	4,4	40
2012 metai	143	8	5,6	42
2013 metai	154	11	7,1	43
2014 metai	166	11	6,6	45
2015 metai	156	6	3,8	44
2016 metai	156	7	4,5	41
2017 metai	164	5	3,0	43
2018 metai	180	25	13,9	46
2019 metai	157	5	3,2	44
2020 metai	150	15	10,0	50
2021 metai	206	38	18,4	63
2022 metai	320	108	33,8	70
2023 metai	289	66	22,8	60
2024 metai	273	41	15,0	55

Šaltinis: sudaryta autoriaus, 2025, pagal Lietuvos miškų ūkio statistiką (<https://amvmt.lrv.lt/lt/atviri-duomenys-1/misku-statistikos-leidiniai/misku-ukio-statistika/>)

Kaip matyti iš 3 lentelės duomenų, didžiausios pajamos buvo 2022 m. (320 mln. eur), kai ir vidutinė kaina, ir grynasis pelnas buvo rekordiniai. Pelningiausi metai buvo: 2022 m. (33,8 % pelningumas); 2021 m. (18,4 % pelningumas) ir 2023 m. – pelningumas 22,8 %

Mažiausias pelningumas buvo 2017 m. (3,0 %) nepaisant gana stabilios kainos (43 eur/m³). Tad galima teigti, kad kainai kylant po 2020 m., stipriai auga ir pelnas bei pelningumas.

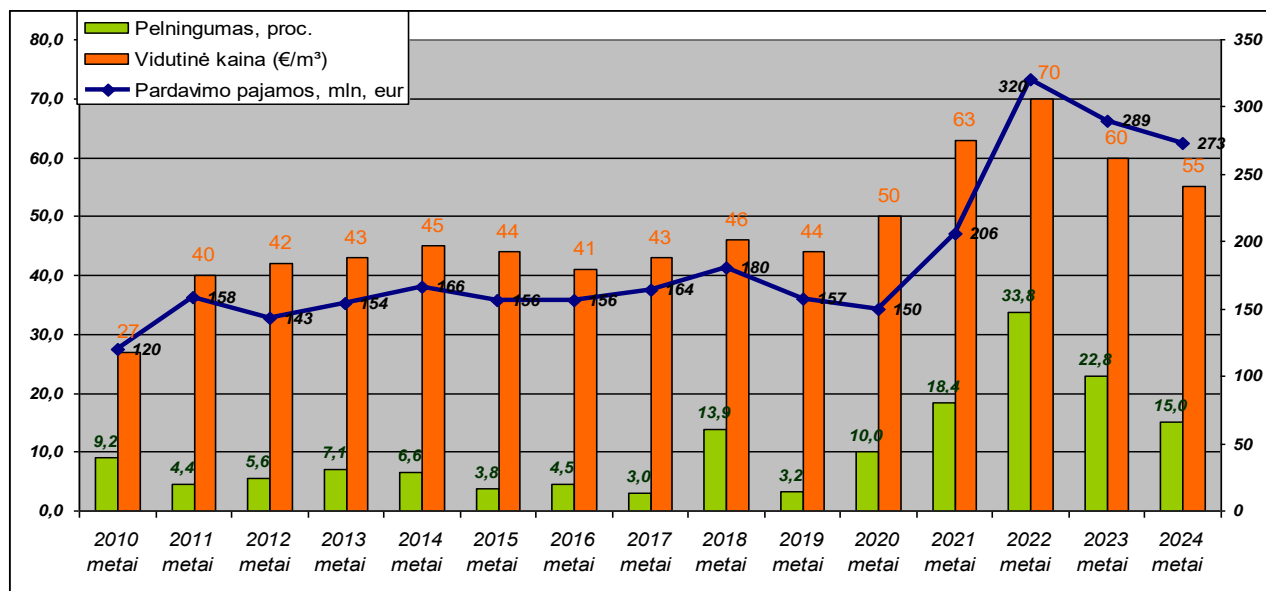
Reformos pradžia ir 2018 m. valstybiniam miškų sektoriui buvo labai sudėtingi. Reikėjo užtikrinti, kad sektoriaus veikla nesustotų, kad būtų toliau vykdomi išpareigojimai medienos perdirbėjams, pirkėjams, rangovams, kitiems verslo partneriams. Vėliau, stipriai išaugusi ir istoriškai aukščiausia medienos kaina leido fiksuoti finansiškai itin sėkmingus metus. Kaip teigia Valstybinė miškų urėdija (www.vivmu.lt), Valstybinė įstaiga Valstybinių miškų urėdija vykdoma pagrindinė veikla generavo vidutiniškai apie 40 mln. eur. per metus grąžą valstybei. Reikėtų paminėti, kad tai tik 2022 metų duomenys. Juos lėmė išaugusi medienos kaina.

Kaip teigia statistika, po reformos VMU pasiekė reikšmingų finansinių rezultatų:

- Pajamos ir pelnas: 2023 m. VMU gavo 288,6 mln. eurų pajamų ir uždirbo 66 mln. eurų grynojo pelno.
- Dividendai: 2023 m. į valstybės biudžetą pervesti 58,9 mln. eurų dividendų, o papildomai sumokėta 13,1 mln. eurų pelno mokesčio.
- Investicijos: 2020 m. į medienos ruošos technikos, automobilių ir darbo priemonių atnaujinimą investuota 12,2 mln. eurų.

Valstybinių miškų urėdijos reforma Lietuvoje atnešė reikšmingų ekonominių rezultatų, įskaitant didesnes pajamas, pelną ir investicijas į modernizaciją. Šie rezultatai rodo, kad reforma prisidėjo prie didesnės ekonominės grąžos ir efektyvesnio resursų valdymo. Tačiau svarbu atkreipti dėmesį į galimus socialinius ir ilgalaikius poveikius, kad būtų užtikrintas tvarus ir subalansuotas miškų ūkio vystymas.

3 lentelės duomenis perkėlus į grafiką (5 pav.) matyti, kad pajamos, pelnas ir vidutinė medienos kaina kinta netolygiai.



5 pav. VĮ Valstybinių miškų urėdijų pajamos, grynasis pelningumas ir vidutinė medienos kaina, 2010-2024 m.

Šaltinis: sudaryta autoriaus, 2025, pagal Lietuvos miškų ūkio statistiką (<https://amvmt.lrv.lt/lt/atviri-duomenys-1/misku-statistikos-leidiniai/misku-ukio-statistika/>)

Kaip matyti iš paveikslu duomenų, medienos kaina yra svarbiausias veiksnys, lemiantis tiek pajamas, tiek pelningumą. Pelningumo augimas nėra tiesiogiai proporcingas kainos kilimui, nes priklauso ir nuo kaštų struktūros, apimtys, sąnaudų efektyvumo. Labiausiai susiję rodikliai: kaina ir pajamos.

Apibendrinant galima teigti, kad urėdijos veikloje yra stipri priklausomybė nuo kainų – pelno šuoliai (2021–2022 m.) tiesiogiai susiję su kainų kilimu.

Didžiausias neefektyvumo požymis – 2011 m., kai kaina kilo drastiškai, bet pelnas ir pelningumas krito.

Veiklos efektyvumo įrodymas – 2010 m. (aukštas pelnas prie žemų kainų) ir 2018 m. (didelis pelnas prie beveik nekintančios kainos).

Kritiniai metai (neefektyvūs) – 2015–2017 m. ir 2019 m., kai iš turimų kainų nebuvo išspaustas pelnas.

Aukso laikotarpis rinkoje - 2020–2022 m.: kainos išaugo nuo 50 eur/m³ iki 70 eur/m³, o kartu smarkiai augo ir pelningumas – net iki 33,8 % 2022 m. (rekordinis 108 mln. eur pelnas). Tačiau reikia pabrėžti, kad pelno šuolis koreliuoja beveik tiesiogiai su kainų kilimu. Tad didelė dalis gerų rezultatų yra rinkos aplinkybių, o ne vidinio efektyvumo pasekmė.

Tad vertinant urėdijos veiklą tiek prieš 2018 m. reformą, tiek po jos galima teigti, kad Valstybinių miškų urėdijos veikla buvo efektyvi tik kai kuriais laikotarpiais. Daugeliu atvejų pelno augimas buvo tiesioginė aukštų kainų pasekmė, o ne sistemingo darbo rezultatas. Vertinant veiklos efektyvumą reikėtų gilintis į sąnaudų struktūrą bei išteklių panaudojimą nepriklausomai nuo rinkos svyravimų.

Tyrinėdami Europos valstybinių miškų valdymo modelius autoriai Liubachyna ir kt. (2017) atkreipė dėmesį, kad Lietuvos atveju matyti ribota ne medienos veiklų įvairovė – dominuoja medelynų veikla, medžioklė ir pavienės papildomos paslaugos (pvz., medienos transportavimas). Tai paaiškina Lietuvos vidutinę poziciją pagal ekonominio produktyvumo ir miškų sektoriaus sąlygų komponentes, nes ribota veiklų diversifikacija mažina galimybes kompensuoti svyruojančias pajamas iš medienos rinkos.

Autoriai mano, kad ne medienos verslo veiklų plėtra yra svarbus veiksnys, lemiantis valstybinių miškų valdymo ekonominį atsparumą ir bendrą veiklos efektyvumą. Organizacijos, pasižyminčios platesniu veiklų spektru, dažniau užima palankesnes pozicijas, o tai leidžia daryti išvadą, jog veiklos diversifikacija turėtų būti laikoma strateginiu prioritetu tobulinant valstybinių miškų valdymo modelius, įskaitant ir Lietuvą.

Išvados

1. Valstybinių miškų valdymo organizacijos pasižymi skirtingais veiklos modeliais, kuriuose įvairiai derinami ekonominiai, ekologiniai ir socialiniai tikslai, o valstybinių miškų veiklos efektyvumo vertinimas neturėtų būti grindžiamas vien finansiniais rodikliais, o turi apimti platesnį tvaraus miškų valdymo kontekstą ir socialinius aspektus. Tyrimas atskleidžia, kad 2018 m. įvykdyta valstybinių miškų valdymo reforma Lietuvoje iš esmės pakeitė sektoriaus organizacinį ir institucinį modelį, pereinant nuo decentralizuotos 42 urėdijų sistemos prie centralizuoto vieno juridinio asmens valdymo. Šis pokytis atitinka mokslinėje literatūroje identifikuojamus efektyvaus valstybinių miškų valdymo principus – aiškią strateginę kryptį, vieningą valdymo struktūrą, standartizuotus procesus ir didesnę finansinę skaidrumą. Reformos rezultatai leidžia teigti, kad centralizacija sudarė prielaidas administracinių išlaidų mažinimui ir veiklos efektyvumo didinimui, ypač finansų valdymo, investicijų planavimo ir administracinių funkcijų optimizavimo srityse. Žmogiškųjų išteklių požiūriu reforma lėmė reikšmingą darbuotojų skaičiaus sumažėjimą, daugiausia administraciniuose ir vadovaujančiuose lygmenyse, taip mažinant funkcijų dubliavimą ir stiprinant masto ekonomijos efektą.

2. Analizuojamuoju laikotarpiu nuosekliai mažėjo darbuotojų skaičius (6,6 karto), tuo pačiu augo vienam darbuotojui tenkančių prižiūrimų miškų plotai (2,8 karto). Nors vidutinis atlyginimas valstybinių miškų sektoriuje reikšmingai augo – nuo 352 Eur (2002 m.) iki 2328 Eur. (2024 m.), visgi šiuos pokyčius daugiau sąlygojo augantis pragyvenimo bei darbo užmokesčio lygis Lietuvoje nei pačios urėdijos siekis motyvuoti darbuotojus patraukliu darbo užmokesčiu. Vidutiniai atlyginimai miškų sektoriuje mažai kuo skyrėsi nuo vidutinio atlyginimo šalyje. Nors dažnu atveju atlyginimai urėdijoje buvo didesni nei Lietuvos vidurkis, visgi skirtumas nebuvo didelis ir pastaraisiais penkiais metais stebima neigiamą darbo užmokesčio kaitos tendencija, kas reiškia, kad atlyginimų vidurkiai Lietuvoje lenkia siūlomą darbo užmokesčių valstybiniame miškų sektoriuje.

3. Valstybinių miškų urėdijos finansinių rodiklių analizė rodo, kad įmonės pajamos, pelnas ir pelningumas yra stipriai priklausomi nuo apvaliosios medienos kainų svyravimų, o reikšmingiausi finansiniai rezultatai pasiekti tais laikotarpiais, kai rinkoje fiksuotos istoriškai aukštos kainos. Nors po 2018 m. reformos VMU pasiekė rekordinį pelną, reikšmingus dividendus valstybei ir padidino investicijas į modernizaciją, didelė šių rezultatų dalis buvo nulemta palankių rinkos sąlygų, o ne vien vidinio veiklos efektyvumo augimo. Ilgalaikė analizė atskleidžia, kad veiklos efektyvumas buvo netolygus tiek iki reformos, tiek po jos, o kai kuriais laikotarpiais pelno potencialas nebuvo išnaudotas net esant palankioms kainoms. Tai leidžia daryti išvadą, jog siekiant didesnio ekonominio atsparumo ir tvarumo būtina ne tik toliau tobulinti sąnaudų ir išteklių valdymą, bet ir strategiškai plėsti ne medienos veiklų diversifikaciją, mažinant priklausomybę nuo cikliškos medienos rinkos.

Literatūra

1. Domarkas, V., Varapnickas, A. (2006). Miškininkystės vystymo Europos Sąjungoje tendencijos ir Lietuvos miškų ūkio valdymo aktualijos. *Viešojo politika ir administravimas*, 18, 52–60.
2. Global Forest Resources Assessment 2020. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome 2020: Prieiga per internetą: <http://www.fao.org/3/ca9825en/ca9825en.pdf>
3. Forest Europe (2020). *State of Europe's forests 2020*. Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe. <https://foresteurope.org/publications/state-of-europes-forests-2020/>
4. Forest Condition in Europe 2020. ICP Forests Technical Report under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (Air Convention): Prieiga per internetą: https://www.icp-forests.org/pdf/ICPForests_TR2020.pdf;
5. FSC® sertifikuotos medienos kainos. Prieiga per internetą: <https://www.pmsa.lt/aktualu/metines-medienos-kainos/>
6. Lazdinis, I., Dudutis, D. (2008). Lietuvos valstybinio miškų sektoriaus valdymo tobulinimas. *Darnaus vystymosi strategija ir praktika*, Mykolo Riomerio universitetas, Mokslo darbai, 35-39.
7. Lietuvos miškų ūkio statistika: <https://amvmt.lrv.lt/lt/atviri-duomenys-1/misku-statistikos-leidiniai/misku-ukio-statistika/>
8. Linser, S., Wolfslehner, B., Asmar, F. Ir kt (2022). National implementation of the Forest Europe indicators for sustainable forest management. *Forests*, 13(2), 191. <https://doi.org/10.3390/f13020191>
9. Liubachyna, A., Bubbico, A., Secco, L., Pettenella, D. (2017). Management goals and performance: Clustering state forest management organizations in Europe with multivariate statistics. *Forests*, 8 (12), 504. <https://doi.org/10.3390/f8120504>
10. Medienos biržos prekybos statistika. Prieiga per internetą: <https://www.baltpool.eu/apzvalgos/medienos-prekybos-apzvalgos/>
11. Medienos biržos prekybos apžvalga. Baltpool. Prieiga per internetą: <https://www.baltpool.eu/dl/2021~02~Medienos-birzos-apzvalga-2021-01.pdf/Medienos-birzos-apzvalga-2021-01.pdf/Medienos-birzos-apzvalga-2021-01>

12. Mizaras, S. Mizaraitė, D. (2014). Miškų tvarkymo darnumo ekonominis ir socialinis vertinimas. Žemės ūkio mokslai T.21. Nr. 2. P. 96-108. Prieiga per internetą: <https://www.lmaleidykla.lt/ojs/index.php/zemesukiomokslai/article/view/2904/1732>
13. Mizaras, S. Kavaliauskas, M., Činga, G. (2013) Daugiafunkcinio miško vertinimas pajamų kapitalizavimo metodu. Lietuvos mokslų akademija, 2013. Prieiga per internetą: <https://www.lmaleidykla.lt/ojs/index.php/zemesukiomokslai/article/view/2690/1522>
14. Oficialioji Lietuvos miškų statistika. Prieiga per internetą: <https://amvmt.lrv.lt/lt/veiklos-sritys/misko-naudojimas-ir-statistika/oficialioji-statistika/>
15. Santopuoli, G., Ferranti, F., Marchetti, M. (2021). Pan-European sustainable forest management indicators: Supporting climate-smart forestry. *Canadian Journal of Forest Research*, 51(8), 1171–1182. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2020-0166>
16. Statistikos departamentas: <https://www.stat.gov.lt/>.
17. Šalies miškų rodikliai ir jų kaita. Valstybinė miškų tarnyba. Prieiga per internetą: https://amvmt.lrv.lt/uploads/amvmt/documents/files/Leidiniai/Leidinyas_Salies_misku_rodikliai_ir_ju_kaita.pdf
18. Valstybinė miškų tarnyba. Valstybinė miškų apskaita. Prieiga per internetą: <https://amvmt.lrv.lt/lt/atviri-duomenys-1/misku-statistikos-leidiniai/valstybine-misku-apskaita/>
19. Vidutinis mėnesinis bruto ir neto darbo užmokestis (be individualių įmonių). Prieiga per internetą: <https://www.tagidas.lt/savada/9006/>
20. VĮ Valstybinių miškų urėdija. Finansinių ataskaitų rinkiniai. Prieiga per internetą: <https://vmu.lt/administracine-informacija/>

CHANGES IN THE STATE FOREST MANAGEMENT MODEL AND ITS IMPACT ON PERFORMANCE EFFECTIVENESS

Summary

The article analyzes the performance of state forests before and after the 2018 reform, comparing key indicators of labor force, wages, and profitability in order to objectively assess the impact of the changes. The analysis will cover changes in the number of employees, average wages, and forest area per employee. Sales revenue, net profit, profitability, and the impact of timber prices on the company's results will be examined. The aim is to answer how structural changes have affected business efficiency.

It was found that during the period under review, the number of employees in the state forestry sector decreased steadily (6.6 times), while the area of forest managed per employee increased (2.8 times). Salaries also rose significantly, but a comparison of average salaries in the state forestry sector with the national average shows that in recent years they have been slightly lower than in Lithuania as a whole. An assessment of income and profitability indicators shows that the Forest Enterprise's activities were effective only in certain periods. In most cases, profit growth was a direct result of high prices rather than the result of systematic work.

Key words: state forests, state forest management models, forest reform, operational efficiency.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Gintaras Morkūnas.

Mokslo laipsnis ir vardas: lektorius

Darbo vietą ir poziciją: VŠĮ Lietuvos inžinerijos kolegijos, Aplinkos inžinerijos fakulteto Miškininkystės, žemės ūkio ir kraštovaizdžio studijų krypties programos lektorius.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: miškininkystė, miškotvarka, miškų ūkio politika ir valdymas, miškų ekonomika.

Telefonas ir el. pašto adresas: 0 698 83599, gintaras.morkunas@lik.tech

PAPRASTOJO BUKO (*FAGUS SYLVATICA* L.) MEDYNŲ STRUKTŪROS, REGENERACIJOS IR BUVEINIŲ SĄLYGŲ ĮVERTINIMAS

Dr. Loreta Semaškienė, dr. Sinilga Černulienė
Lietuvos inžinerijos kolegija

Anotacija

Paprastasis bukas (*Fagus sylvatica* L.) pietvakarių Lietuvoje auga už natūralaus arealo ribų, todėl jo populiacijų būklės ir regeneracijos vertinimas yra svarbus siekiant suprasti šios rūšies aklimatizacijos galimybes klimato kaitos kontekste. Buko išlikimas mišriuose medynuose priklauso nuo mikrobuveinių, konkurencijos ir lokalsios aplinkos sąlygų, kurios arealo pakraščiuose tampa ribojančios.

Šio tyrimo tikslas – įvertinti buko paplitimą, augimo parametrus ir savaiminį atžėlimą Kalvelių girininkijoje, remiantis ilgalaikiais miškotvarkos duomenimis ir detalio lauko inventorizacija.

Analizuoti keturių miškotvarkos laikotarpių duomenys parodė, kad 1989–2024 m. buko plotai išliko stabilūs (10,2–14,9 ha), o pats bukas dažniausiai formuoja antrąjį medyno ardą mišriuose pušynuose ir eglynuose. Dendrometriniai rodikliai tarp skirtingų sklypų gerokai skyrėsi: buko aukštis siekė 19,9–27,0 m, o skersmuo – 21,2–27,8 cm, kas rodo ryškią mikrobuveinių ir konkurencinės aplinkos įtaką medžių augimui. Savaiminio atžėlimo vertinimas parodė fragmentišką regeneraciją – gausus pomiškis aptiktas tik dalyje sklypų, o daugumoje vietų bukas beveik nesidaugina dėl riboto apšvietimo, storos paklotės ir konkurencijos su beržu bei klevu. Žolinio ardo analizė atskleidė aiškius mikroklimato skirtumus: drėgnesniuose sklypuose rūšių įvairovė buvo didesnė, o sausesniuose dominavo mažai rūšių turinčios bendrijos.

Tyrimo rezultatai rodo, kad Kalvelių girininkijoje bukas išlieka gyvybingas ir gerai prisitaikęs, tačiau jo natūralizacijos tempas yra lėtas ir priklauso nuo lokalių ekologinių sąlygų. Tai svarbu prognozuojant buko plėtros potencialą Lietuvoje ir jo įsitvirtinimą šiaurės rytiniame arealo pakraštyje.

Reikšminiai žodžiai: *Fagus sylvatica*, introdukcija, regeneracija, pomiškis, miško struktūra.

Įvadas

Pastaraisiais dešimtmečiais Europoje stebimos aiškos klimato kaitos tendencijos keičia miškų ekosistemų struktūrą, rūšinę sudėtį ir atskirų medžių rūšių konkurencingumą. Viena iš rūšių, kurios paplitimas ir ekologinis vaidmuo pastebimai kinta, yra paprastasis bukas (*Fagus sylvatica* L.). Šios rūšies natūralus arealas istoriškai siekė Pietų Skandinaviją, Vakarų ir Vidurio Europą, tačiau klimato šiltėjimas lemia spartų buko plitimą į šiaurę ir rytus. Tai fiksuojama tiek Baltijos šalyse, tiek Lenkijoje, Čekijoje ir Vokietijoje, kur bukas užima vis didesnes mišrių ir grynų medynų buveines. Lietuvoje buko paplitimas vis dar fragmentiškas, tačiau pastarųjų dešimtmečių inventorizacijos rodo, kad ši rūšis sėkmingai auga pietvakarių regione, o kai kuriose girininkijose pradeda formuoti stabilias antrųjų ardų grupes.

Pietvakarinė Lietuvos dalis pasižymi palyginti švelnesniu klimatu, didesniu kritulių kiekiu ir dirvožemių, tinkamų bukui, įvairove, todėl būtent šis regionas vertinamas kaip potenciali būsimo buko plėtros zona. Tam tikslui aktualu analizuoti lokalias populiacijas, jų amžiaus struktūrą, paplitimą, ardų padėtį, atžėlimą ir taksacinius rodiklius. Tyrimai mažesniu masteliu leidžia tiksliai įvertinti, ar rūšis yra aklimatizavusi, kokios augavietės jai tinkamiausios ir kokį potencialą turi tolesniam plitimui.

Kalvelių girininkija Jurbarko rajone yra ypač tinkama teritorija tokiai analizei. Tai miškinga (64 % miškingumas) ir struktūriškai įvairi teritorija, kurioje vyrauja spygliuočių medynai, tačiau aptinkama ir mišrių medynų su priemaišiniaus bukų ardaus. Nors buko paplitimo plotas girininkijoje santykinai nedidelis (14,9 ha), ši rūšis čia aptinkama brandaus amžiaus, daugiausia antrajame arde, o tokia padėtis leidžia vertinti ankstyvasias natūralizacijos ir aklimatizacijos fazes. Buko augimas pušynų struktūroje taip pat sudaro galimybę įvertinti mišrių medynų formavimosi tendencijas, jų produktyvumo ir ekologinio stabilumo potencialą.

Tyrimai, kurie apima nedideles teritorijas, tačiau yra orientuoti į konkrečių rūšių ekologines savybes ir struktūrą, suteikia vertingą informaciją apie rūšių prisitaikymą ir plėtros galimybes kintančiame klimate. Todėl Kalvelių girininkijos atvejis leidžia ne tik charakterizuoti vietinę buko populiaciją, bet ir pateikti įžvalgas, aktualias platesniam regionui. Šios įžvalgos svarbios vertinant potencialias miškotvarkos kryptis, mišrių medynų formavimo strategijas ir galimą paprastojo buko vaidmenį Lietuvos miškų ūkio struktūroje ateityje.

Tyrimo tikslas – įvertinti paprastojo buko (*Fagus sylvatica* L.) struktūrą, paplitimą ir regeneracijos ypatumus Kalvelių girininkijoje.

Tyrimo objektas – Kalvelių girininkijoje augantys paprastojo buko medynai ir jų savaiminio atžėlimo populiacijos.

Tyrimo uždaviniai – nustatyti buko ardu padėtį ir dendrometrinius parametrus, įvertinti savaiminio atžėlimo intensyvumą bei įvairovę skirtingose mikrobuveinėse ir identifikuoti veiksniai, lemiančius šios rūšies įsitvirtinimą pietvakarių Lietuvos sąlygomis.

Straipsnis susideda iš anotacijos, reikšminių žodžių, teorinės įžvalgos, metodikos, tyrimo rezultatų ir išvadų.

Teorinės įžvalgos

Sumedėjusių augalų introdukcija – tai globalizacijos, klimato kaitos ir žmogaus veiklos nulemtas procesas, turintis didelę įtaką miškų ekosistemų struktūrai ir funkcionavimui. Europoje egzotinių sumedėjusių rūšių gausėjimas daugiausia siejamas su XIX–XX a. medelynų plėtra, sodininkystės ir miškininkystės eksperimentais (Richardson, Rejmánek, 2011). Intensyvėjanti prekyba augalais ir lengvesnis tarptautinis judėjimas įgalino rūšių perkėlimą į naujas biogeografines zonas, o kai kurios iš jų tapo invazinės, reikšmingai keičiančios vietinių ekosistemų dinamiką (Pyšek ir kt., 2020). Šiuolaikiniai tyrimai pabrėžia, kad introdukuoti medžiai dažnai pasižymi dideliu plitimo potencialu, prisitaikymu prie skirtingų klimato sąlygų ir gebėjimu konkuruoti su vietinėmis rūšimis, todėl jų poveikio vertinimas tampa vienu aktualiausių miškų ekologijos klausimų (Essl ir kt., 2020).

Lietuvoje svetimžemių augalų auginimo tradicijos siekia XIV–XV a. Istoriniai duomenys rodo, kad Vilniuje jau tada veikė sodai, kuriuose, be vietinių vaistinių ir vaisinių rūšių, tikėtina auginti ir dekoratyviniai medžiai bei krūmai. Lietuvos didysis kunigaikštis Vytautas, pasak šaltinių, į savo rezidencijų sodus atsiveždavo įvairių augalų iš Vakarų Europos, taip formuodamas pradinę introdukcijos kryptį Lietuvos teritorijoje (Boguševičiūtė ir kt., 1963). Kryptinga, sistemiškai organizuota augalų introdukcija Lietuvoje įgavo pagreitį XVIII a., kai 1775 m. buvo įkurtas Gardino botanikos sodas, tapęs vienu pažangiausių to meto Rytų Europoje ir turėjęs apie 2000 augalų rūšių kolekciją (Kasperavičius, 2008). Nuo 1781 m., pradėjus veikti Vilniaus universiteto botanikos sodui, introdukcijos procesas tapo nuosekliai dokumentuotas ir moksliškai pagrįstas: XIX a. pabaigoje Lietuvos dvarų parkuose ir botanikos soduose jau auginta apie 500–600 sumedėjusių augalų taksonų (Januškevičius ir kt., 2006).

Šiuo metu Lietuvoje pagrindinės introdukuotų sumedėjusių augalų kolekcijos telkiasi botanikos soduose, arboretumuose, dendrologinėse kolekcijose ir istoriniuose parkuose. Botanikos sodų ir arboretumų kolekcijose saugoma apie 2600, individualiose kolekcijose – 1700, o senuosiuose parkuose – apie 350 sumedėjusių introdukuotų taksonų (Januškevičius ir kt., 2006). Šis genofondas yra vienas reikšmingiausių Baltijos regione, o ilgaažiai dvarų parkų medžiai pateikia unikalią informaciją apie ilgalaikę aklimatizaciją, adaptacijos ribas ir rūšių ekologinį plastiškumą.

Pagal klasikinę introdukcijos sampratą, medžių perkėlimas už natūralaus arealo ribų vyksta trimis esminėmis fazėmis: introdukcijos, aklimatizacijos ir natūralizacijos (Danusevičius, 2000). Pirmoji fazė apima pradinį rūšies perkėlimo veiksmą, kai rūšies ilgalaikės išlikimo perspektyvos dar neaiškios. Lietuvos Respublikos saugomų gyvūnų, augalų ir grybų rūšių bei bendrijų įstatyme (1997) introdukcija apibrėžiama kaip įvežimas ir platinimas siekiant rūšį įkurdinti gamtoje. Aklimatizacijos metu rūšies individai prisitaiko prie naujų aplinkos sąlygų iš esmės nepakeisdami genetinės struktūros (Danusevičius, 2000). Natūralizacijos fazę Richardson ir kt. autoriai (2000) apibrėžia kaip procesą, kurio metu rūšis tampa savarankiškai plintanti, gebanti formuoti stabilias populiacijas ir užimti ekologines nišas priimančios aplinkos bendrijose. Šios trys fazės atitinka tarptautiniu mastu pripažintas biologinių invazijų teorijas, kuriose pabrėžiama, kad natūralizacija yra būtina, bet nepakankama sąlyga invazyvumui, o sėkminga introdukcija priklauso nuo klimato panašumo, fenotipinio plastiškumo ir reprodukcinių strategijų.

Lietuvoje sumedėjusių augalų introdukcijos praktika apima tiek moksliškai pagrįstą, instituciniuose botanikos soduose vykdomą introdukciją, tiek gausią mėgėjų sodininkų veiklą, neretai vadinamą „stichine introdukcija“ (Januškevičius ir kt., 2006). Formalioji introdukcija paprastai vykdoma keturiais etapais: potencialių rūšių atranka, introdukcinės medžiagos surinkimas, bandymai ir aklimatizacija bei masinis dauginimas. Sėklų mainai tarp botanikos sodų išlieka vienu iš plačiausiai taikomų metodų, tačiau jam būdinga rizika gauti hibridinę ar taksonomiškai negryną medžiagą, ypač kai sėklos renkamos mišrioje kolekcijoje, kur didelė kryžmadulkos tikimybė (Januškevičius ir kt., 2006). Patikimiausiu metodu laikomas dauginamosios medžiagos rinkimas ekspedicijose į natūralias populiacijas, nes tai leidžia įvertinti ekologinius rūšies poreikius ir atrinkti morfologiškai bei fiziologiškai perspektyviausius individus. Kita vertus, iš Vakarų Europos įvežti augalai dažnai būna išauginti šiltesnio klimato sąlygomis ir todėl mažiau atsparūs Lietuvos žiemoms, kas lemia apšalimus ir prastesnę prisitaikymą (Januškevičius, 2000).

Paprastasis bukas (*Fagus sylvatica* L.) yra viena svarbiausių Europoje plačiai paplitusių plačialapių rūšių, kurios natūralus arealas driekiasi nuo Pietų Švedijos ir Didžiosios Britanijos iki Pirėnų, Alpių, Balkanų ir Ukrainos (Navasaitis, 2008). Šiaurinė arealo riba ties Karaliaučiumi rodo šios rūšies jautrumą žemoms

temperatūroms, tačiau pastaraisiais dešimtmečiais fiksuojamas spartesnis buko plitimas į šiaurę, kas siejama su klimato kaita (Danusevičius, 2010). Lietuvoje grynų buko medynų nėra, tačiau nedidelės mišrios buko medynų grupės aptinkamos Kliošių, Ašpurvių, Girulių miškuose, Žagarės parke ir Kauno apylinkėse (Pilkas, Marozas, 2011).

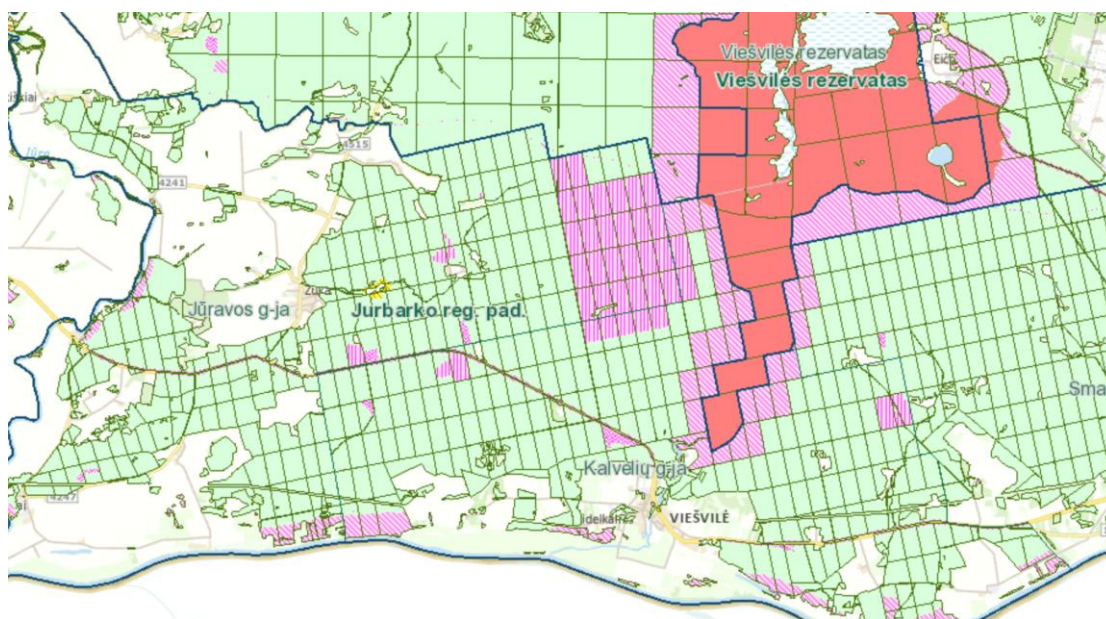
Buko morfologiniai, fiziologiniai ir ekologiniai požymiai lemia jo prisitaikymo strategijas. Tai 20–35 (50) metrų aukščio, 1,8 (2,5) metro skersmens kamieną galintis išauginti medis su skėstašake laja, plona pilka žieve, odiškais lapais ir kas 3–5 metus gausiai derančiais riešutėliais. Bukas yra vidutiniškai reiklus šilumai (Kairiūkštis, 1979), labai jautrus pavasario šalnoms (Juodvalkis, 1979), tačiau gerai pakelia ūksmę ir sudaro produktyvius medynus derlinguose, vidutiniškai drėgnuose priemoliuose ar priemoliuose. Jauname amžiuje augimas lėtas, tačiau 50–60 metų pasiekia maksimumą, o medynai gali sukaupti iki 800–900 m³/ha medienos (Navasaitis, 2008). Ilgaamžiškumas (200–300, retais atvejais iki 500 metų) rodo šios rūšies ekologinį atsparumą, tačiau tarptautiniai tyrimai fiksuoja jos jautrumą sausoms pietinėje arealo dalyje, kur pastaraisiais dešimtmečiais stebimas populiacijų nykimas.

Šie duomenys rodo, kad paprastas bukas yra ekologiškai svarbi, tačiau aplinkos pokyčiams jautri rūšis, kurios introdukcijos ir aklimatizacijos rezultatai Lietuvos sąlygomis priklauso nuo klimato šiltėjimo tendencijų, dirvožemio savybių ir genetinio kintamumo, sukaupto tiek natūraliose, tiek introdukuotose populiacijose.

Tyrimų metodika

Kalvelių girininkijos miškai išsidėstę vakarinėje Jurbarko rajono savivaldybės dalyje ir pasižymi dideliu miškingumu bei pakankamai produktyviais medynais. Inventorizacijos duomenimis, girininkijos veiklos teritorijoje iš viso inventorizuota 3018 ha miškų, iš kurių 60 % sudaro valstybinės reikšmės miškai, o 38 % – privatus ir nuosavybės teisių atkūrimui skirti plotai.

Kalvelių girininkijos teritorijos erdvinė struktūra, kvartalų tinklas ir jų sąsajos su saugomomis teritorijomis pavaizduotos teritorijos schemoje (1 pav.).



1 pav. Kalvelių girininkijos miškų kvartalų schema

Šaltinis: sudaryta autorių

Bendras girininkijos veiklos plotas siekia 4,6 tūkst. ha, o teritorijos miškingumas yra 64 %, viršijantis vidutinį urėdijos miškingumo rodiklį (37,7 %).

Kalvelių girininkijos medynų struktūroje dominuoja spygliuočių medžiai, užimantys 76,5 % viso medynų ploto. Absoliučiai vyraujanti medžių rūšis yra paprastoji pušis, sudaranti 79,1 % spygliuočių medynų. Pušynams būdingas vidutinis 66 metų amžius, 1,1 bonitetas ir 325 m³/ha vidutinis tūris, o brandžių pušynų tūris siekia 403 m³/ha. Eglė užima 7,4 % medynų ploto ir pasižymi aukštu skalsumu (0,84) bei dideliu brandžių medynų tūriu (376 m³/ha).

Minkštieji lapuočiai sudaro 13,3 % medynų ploto, iš kurių didžiausi plotai tenka beržynams (10,3 %). Beržynų vidutinis amžius yra 42 metai, bonitetas 1A, o vidutinis tūris – 212 m³/ha. Juodalksnynai užima 2,7

%, drebulynai 0,3 %, o baltalksnynai – tik simbolinę dalį medynų ploto, tačiau pasižymi didžiausiu skalsumu visoje girininkijoje (0,86). Tai rodo, kad tam tikruose vietovės mikroreljefo ir dirvožemio plotuose formuojasi tankesnė, drėgmę mėgstantys medynai.

Vidutinis Kalvelių girininkijos medynų amžius yra 61 metai, o paprastojo buko – 71 metai, tai rodo ilgalaikį šios rūšies augimą girininkijos medynuose ir santykinai brandžią buko amžiaus struktūrą. Bendras girininkijos medynų bonitetas siekia 1,1 ir atspindi aukštą teritorijos našumą. Pušynai ir klevynai pasižymi aukščiausiais bonitetais, o tai būdinga derlingesniems vakarų Lietuvos smėlingiems priemoliams ir priesmėliams, turintiems geras augavietės savybes.

Vidutinis medynų skalsumas yra 0,81, rodantis pakankamai uždara medyno struktūrą ir optimalų medžių tankį. Didžiausias skalsumas nustatytas baltalksnynuose ir eglynuose, o pušynų skalsumas atitinka būdingą šių medynų struktūrai Lietuvos žemumose.

Kalvelių girininkijoje aptinkamas paprastas bukas užima nedidelį – 14,9 ha – plotą ir daugiausia auga medynų antrajame arde. Ši rūšis čia aptinkama tik dviejuose kvartaluose, todėl jos paplitimas laikytinas lokaliu. Bukas girininkijoje nėra vyraujanti rūšis, grynų bukynų neformuoja, tačiau jo stabilus augimas mišrių medynų struktūroje rodo, kad ši rūšis prisitaikiusi prie vietinių edafinių ir mikroklimatinių sąlygų. Tai ypač reikšminga vertinant klimato kaitos kontekste dažnai aptariamą buko plitimo potencialą šiaurės kryptimi.

Paprastojo buko paplitimas Kalvelių girininkijoje nustatytas analizuojant miškotvarkos dokumentus, medynų taksacinius aprašus ir esamus miško kartografinius duomenis. Tolesniems lauko tyrimams buvo atrinkti tie medynai, kuriuose bukas sudaro reikšmingą priemaišą ir kuriuose ši rūšis yra labiausiai įsitvirtinusi. Atrankos kriterijai apėmė buko dalį medyno rūšinėje sudėtyje, jo amžiaus struktūrą bei ardų padėtį.

Lauko tyrimuose kiekviename atrinktame medyne buvo įrengti skrituliniai apskaitos bareliai. Barelio plotas buvo 500 m² (r = 12,62 m), o jo dydis parinktas atsižvelgiant į vidutinį medynų skersmenį ir skalsumą, siekiant užtikrinti reprezentatyvią struktūrinių rodiklių imtį.

Kiekviename apskaitos barelyje buvo registruoti visi ≥ 8 cm skersmens medžiai. Skersmenys matuoti žerglėmis 1,3 m aukštyje nuo šaknies kaklelio. Nustatyti pagrindiniai dendrometriniai rodikliai: skersmuo, aukštis ir tankumas. Atliekant paprastojo buko kiekybinius matavimus kiekviename barelyje išmatuota 7–10 buko medžių aukščių, taip pat įvertinti keli antraeiliai dendrometriniai elementai.

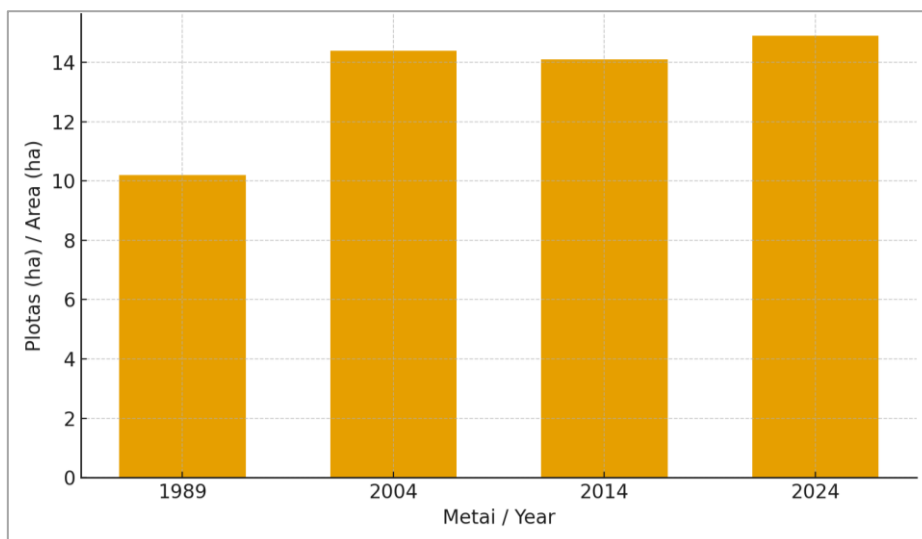
Be medžių ardų struktūros buvo vertinama ir žemesniųjų augalijos sluoksnių sudėtis. Bareliuose fiksuota trako (krūmų) rūšinė sudėtis, tankumas, aukštis ir glaudumas; pomiškio rūšinė sudėtis ir gausumas; taip pat žolinės dangos ir samanų bendrijų sudėtis. Šie duomenys sudarė galimybę įvertinti paprastojo buko konkurencinę padėtį ir regeneracijos galimybes skirtinguose medynų tipuose.

Savaiminio atžėlimo (pomiškio) gausumui įvertinti kiekviename tirtu medyno plote buvo nutiesta 50 m ilgio apskaitos juosta. Į apskaitos plotą pateko visi savaiminiai medžiai, augantys 1 m atstumu abiejose juostos pusėse. Apskaitos juostos vieta parinkta apžiūrėjus trako struktūrą ir pomiškio pasiskirstymą, siekiant, kad apskaita atspindėtų vidutinę medyno situaciją. Pagal šiuos duomenis apskaičiuotas savaiminukų tankumas vienetais hektare. Apskaitos juostų skaičius derintas su barelių skaičiumi ir koreguotas atsižvelgiant į konkrečios medyno dalies plotą.

Surinkti duomenys suvesti į žiniaraščius, apskaičiuoti vidurkiai ir pagrindiniai statistiniai rodikliai. Duomenų analizei, tendencijų nustatymui ir grafinei interpretacijai buvo naudojama programa „Microsoft Excel“.

Tyrimo rezultatai

Remiantis keturių miškotvarkos laikotarpių analize, paprastojo buko užimamas plotas Kalvelių girininkijoje per beveik 35 metų laikotarpį kito netolygiai (2 pav.).



2 pav. Paprastojo buko ploto kaita Kalvelių girininkijoje (1989–2024 m.)

Šaltinis: sudaryta autorių

1989 m. inventorizacijos metu bukas užėmė 10,2 ha, daugiausia augdamas antrajame medynų arde. 2004 m. jo plotas padidėjo iki 14,4 ha, t. y. buvo užfiksuotas apie 41 % teritorijos augimas, palyginti su 1989 m. Šis pokytis sietinas su medynų amžiaus progresija, tankėjančia struktūra ir palankesnėmis sąlygomis buko išlikimui mišriuose pušynuose.

2014 m. inventorizacijoje fiksuotas nežymus sumažėjimas iki 14,1 ha. Toks pokytis nėra ekologiniu požiūriu reikšmingas ir daugiausia gali būti siejamas su miškotvarkos kvartalų ribų bei sklypų pertvarkymu, dėl kurio pakito apskaitinių plotų konfigūracija. Faktinis buko paplitimas ir jo dalis antrajame arde iš esmės liko panašūs kaip 2004 m.

2024 m. papildomo vertinimo metu nustatyta, kad buko plotas vėl šiek tiek padidėjo – iki 14,9 ha. Tai leidžia teigti, kad ilgalaikė buko augimo tendencija yra nuosaikiai didėjanti, nors pokyčių amplitudė nedidelė. Šis augimas labiau atspindi natūralią buko stabilizaciją esamuose medynuose, o ne spartesnę plitimą, nes šioje Lietuvos dalyje bukas vis dar auga arealo pakraštyje, kur jam būdingas nepastovus sėklų derėjimas ir jautresnis pomiškio išlikimas.

Kalvelių girininkijos duomenys rodo, kad bukas per kelis dešimtmečius palaipsniui išsivertina, tačiau jo plitimo intensyvumą riboja stora pušynų paklotė, konkurencija su vyraujančiomis rūšimis bei klimato veiksniai, būdingi arealo periferijai. Dėl šių priežasčių buko augimo ploto dinamika išlieka santykinai stabili, be staigių šuolių ar nuosmukių.

Analizuojant keturiuose Kalvelių girininkijos sklypuose augančių paprastųjų bukų dendrometrinius rodiklius (1 lentelė), nustatyta, kad buko populiacija pasižymi dideliu struktūriniu kintamumu, būdingu introdukuotoms arba arealo pakraščiuose augančioms populiacijoms.

1 lentelė

Paprastojo buko (*Fagus sylvatica* L.) dendrometrinių rodiklių charakteristika tyrimo sklypuose

Rodiklis	Sklypas A	Sklypas B	Sklypas C	Sklypas D
Tankis, vnt./ha	200–360	140–300	40–240	40–320
Vidurkis ± SD	270 ± 68	230 ± 72	220 ± 85	250 ± 110
Skersmuo, cm	18,5–24,1	11,0–27,6	21,7–35,1	23,5–35,1
Vidurkis ± SD	21,6 ± 2,41	21,2 ± 7,1	27,3 ± 6,0	27,8 ± 5,5
Aukštis, m	19,8–25,8	9,2–25,2	22,7–30,3	23,5–30,3
Vidurkis ± SD	22,7 ± 2,47	19,9 ± 6,7	26,95 ± 3,7	26,0 ± 3,5
Medyno tūris, m³/ha	62,16–200,9	7,11–158,87	44,21–97,63	53,89–131,36
Vidurkis ± SD	114,9 ± 62,3	101,05 ± 64,5	89,77 ± 19,5	110,63 ± 34,0
Buko tūris, m³/ha	62–200	7–159	44–98	54–131
Vidurkis	115	101	91	111
Santykinis skalsumas	0,23–0,53	0,09–0,43	0,10–0,29	0,14–0,40
Vidurkis ± SD	0,35 ± 0,145	0,32 ± 0,14	0,28 ± 0,08	0,33 ± 0,11

Šaltinis: sudaryta autorių

Tankio, skersmens, aukščio ir tūrio intervalai tarp sklypų rodo, kad bukas Kalvelių girininkijoje dar nėra pasiekęs stabilios, savaime susiformavusios struktūros ir reaguoja į vietinius mikroklimatinius bei konkurencinius veiksnius.

Medžių tankumas tyrimo sklypuose svyravo nuo 40 iki 360 vnt./ha; didžiausia buko gausa nustatyta A sklype, o mažiausia – C ir B sklypuose. Toks fragmentiškas pasiskirstymas būdingas buku, augančiam už natūralaus arealo ribų arba mišriuose medynuose, kuriuose šviesos kiekis ir erdvinė konkurencija stipriai įtakoja sėklinį atsinaujinimą (Packham ir kt., 2012; Pilkauskas ir kt., 2011). Bukas yra ūksminė rūšis, tačiau stabilios regeneracijos pasiekti negali esant pernelyg uždaram medynui ar storai paklotei – tokios sąlygos riboja jo įsitvirtinimą (Packham ir kt., 2012).

Kamienų skersmens ir aukščio rodikliai rodo aiškius skirtumus tarp sklypų. Sklypuose C ir D buakai pasižymi didesniu vidutiniu skersmeniu (27,3–27,8 cm) ir aukščiu (apie 26–27 m), o A ir B sklypuose – mažesniais matmenimis. Tai leidžia teigti, kad buko augimas labiau priklauso nuo konkrečios augavietės šviesos režimo ir konkurencijos intensyvumo, o ne vien nuo klimato ar dirvožemio. Aussenac (2000) pabrėžia, kad bukas itin jautriai reaguoja į medyno mikroklimato pokyčius: pritemdytame antrame arde skersmenų prieaugiai smarkiai krinta, tačiau aukščio prieaugis gali išlikti intensyvus, dėl ko buakai tampa išsistiebę ir mažesnio skersmens – tai atitinka ir Kalvelių girininkijos duomenis.

Medyno tūrio ir buko tūrio analizė parodė, kad didžiausias buko tūris (111–115 m³/ha) nustatytas A ir D sklypuose, kur buakai yra paplitę pakankamai gausiai, bei pasižymi didesniais dendrometriniais parametrais. Tuo tarpu C sklype, nors buakai yra aukšti, jų tūris išlieka mažesnis dėl žemesnio tankumo. Tokia struktūrinė diferenciacija būdinga mišriems medynams, kuriuose bukas konkuruoja su pušimi ir egle, taigi jo tūris labiau priklauso nuo jo dalies medyne nei nuo individualių medžių augimo tempų (Bauhus ir kt., 2017). Buko augimas mišrių medynų sąlygomis gali būti arba skatinamas, arba ribojamas, priklausomai nuo to, ar vyraujanti rūšis užtikrina pakankamą šviesos kiekį apatinio ardo individams.

Santykinio skalsumo vertės (0,28–0,35) patvirtina, kad buku Kalvelių girininkijoje dar nėra susiformavusių optimalių sąlygų, būdingų brandesniems bukynams, kuriuose skalsumas dažnai siekia >0,5 (Packham ir kt., 2012). Nedidelis skalsumas reiškia, kad bukas daugelyje sklypų auga kaip antraeilė rūšis, o jo būklė ir struktūra priklauso nuo dominuojančių rūšių dangos. Dėl šių priežasčių struktūriniai parametrai Kalvelių girininkijoje visiškai atitinka už natūralaus arealo ribų augančių bukų populiacijų ypatumus, kuriuos aprašė Pilkauskas ir kt. (2011): didelis variantiškumas, reaklimatizacijos požymiai ir pavienės klestinčios grupės.

Šių duomenų interpretacija sutampa ir su klimato kaitos studijomis, rodančiomis, kad bukas plečiasi į šiaurę ir į aukštesnes platumas, tačiau arealo pakraščiuose medynų struktūra išlieka nevienoda ir labai jautri aplinkos veiksniams (Kramer ir kt., 2010; Jump ir kt., 2006). Kalvelių girininkijos rezultatai rodo, kad bukas jau formuoja stabilius medynų fragmentus, tačiau jo plėtros potencialas tiesiogiai priklausys nuo konkurencijos su pušimi ir egle, dirvožemio drėgnumo bei šviesos režimo.

Pomiškio analizė Kalvelių girininkijoje atskleidė didelius tirtų sklypų regeneracijos intensyvumo skirtumus (2 lentelė).

2 lentelė

Pomiškio rūšinės sudėties charakteristika tyrimo sklypuose

Sklypai	Medžių rūšis, vnt./ha		
	Paprastasis bukas	Paprastasis klevas	Karpotasis beržas
Sklypas A Vidurkis ± SD	0-5600 2250 ± 2620	0-500 200 ± 221	0
Sklypas B Vidurkis ± SD	0-200 50 ± 94	0-500 125 ± 216	0
Sklypas C Vidurkis ± SD	0	2700-3200 2950 ± 353	8000-9200 8600 ± 848
Sklypas D Vidurkis ± SD	0	0	0

Šaltinis: sudaryta autorių

Kalvelių girininkijoje nustatyti paprastojo buko (*Fagus sylvatica* L.) regeneracijos skirtumai rodo, kad šios rūšies atžėlimas labai priklauso nuo vietinių sąlygų – šviesos kiekio, dirvožemio drėgmės ir konkurencijos su kitomis rūšimis. Mūsų gauti rezultatai aiškiai sutampa su mokslinėje literatūroje pateikiamomis įžvalgomis.

Sklype A bukas sudaro didžiausią pomiškio kiekį, o tai rodo, kad čia susidarė palankiausios sąlygos jo natūraliai regeneracijai.

Bukas geriausiai atželia ten, kur yra vidutinis šviesos kiekis (ne visiškai pavėsis, ir ne visiškai atvira erdvė) ir kur dirvožemis išlieka pakankamai drėgnas (Petritan ir kt., 2013; Madsen, Larsen, 1997). Tokios

sąlygos dažniausiai susidaro nedideliuose medyno praretėjimuose ar natūraliose atvirose vietose po lajomis, kurios įleidžia šiek tiek daugiau šviesos, bet neužleidžia teritorijos greitai augančioms pionierinėms medžių rūšims. Tai visiškai atitinka mūsų stebėtą situaciją A sklype.

Priešingai, sklypuose C ir D buvo pomiškis neaptiktas, o vietoje jo gausiai dygsta beržas. Van Couwenberghe ir kt. (2013) nustatė, kad bukas dažnai pralaimi konkurencinę kovą su šviesamėgėmis rūšimis, tokiomis kaip beržas ar drebulė. Šios rūšys greitai įsitvirtina, sudaro tankų sąžalyną ir fiziškai bei šviesos požiūriu blokuoja buko sėjinukų išlikimą. Mūsų duomenys tai patvirtina: ten, kur beržo pomiškis siekia 8000–9200 vnt./ha, bukų išvis nėra.

Sklype B buvo pomiškis buvo aptiktas tik viename iš keturių barelių, todėl bendras regeneracijos intensyvumas šiame sklype vertintinas kaip labai menkas ir fragmentiškas. Literatūra rodo, kad tokie pavieniai atžėlimai būdingi vietovėms, kuriose sąlygos trumpam pagerėja labai lokaliai – pavyzdžiui, atsivėrus lajoms ar susidarius lokaliai drėgnesnei mikrobuveinei (Madsen, Larsen, 1997; Petritan ir kt., 2013). Tačiau didžiojoje sklypo dalyje bukas neatsikuria, o tai atitinka Geßler ir kitų autorių (2007) išvadas apie jo jautrumą sausrui ir konkurencijai jauname amžiuje.

Dendrometriniai duomenys rodo, kad C ir D sklypuose bukų vidutiniai aukščiai ir skersmenys yra didesni nei kituose sklypuose. Tai leidžia manyti, kad brandžios kartos medžiai šiuose sklypuose augo palankiomis sąlygomis, tačiau tai neatsispindi jų regeneracijoje. Literatūroje toks reiškinys aprašomas kaip būdingas brandiems buko medynams, kuriuose paviršiaus mikroklimatas ir konkurencija skiriasi nuo viršutinio ardo sąlygų (Nagel et al., 2010). Kitaip tariant, dideli medžiai gali augti gerai, bet jų sėjinukai neišgyvena dėl šviesos stokos, tankios paklotės arba intensyvios konkurencijos pomiškyje.

Mūsų duomenys tai patvirtina: C sklype regeneraciją visiškai blokuoja tankus beržo pomiškis, o D sklype buko sėjinukai neatsikuria dėl labai riboto šviesos kiekio ir galimos dirvožemio perdziūvimo rizikos. Tokios sąlygos literatūroje nurodomos kaip ypač nepalankios buko plitimui (Madsen, Larsen, 1997; Geßler ir kt., 2007).

Pagrindinė išvada yra ta, kad sėkminga buko regeneracija priklauso ne nuo to, kaip gerai auga brandi karta, bet nuo mikrobuveinių sąlygų žemutiniame arde. Bukas atželia tik ten, kur šviesos, drėgmės ir konkurencijos balansas yra palankus – būtent tokia situacija nustatyta sklype A.

Tyrimo sklypuose nustatyta žolinė ir samanų danga (3 lentelė) atskleidė ryškius mikrobuveinių skirtumus, kurie būdingi vidutinių plotumų buko medynams.

3 lentelė

Žolinio ardo rūšinė sudėtis tyrimo sklypuose

Rūšis	Sklypas A	Sklypas B	Sklypas C	Sklypas D
<i>Dryopteris filix-mas</i> (L.) Schott	+	+	–	+
<i>Oxalis acetosella</i> L.	+	+	+	+
<i>Maianthemum bifolium</i> L.	+	–	+	–
<i>Dicranum scoparium</i> Hedw.	+	+	–	–
<i>Dryopteris carthusiana</i> (Vill.) H.P. Fuchs	–	–	+	–

Šaltinis: sudaryta autorių

Visuose sklypuose augantis paprastasis kiškiakopūstis (*Oxalis acetosella* L.) rodo stabilų pavėsį ir vidutinę dirvožemio drėgmę, nes ši rūšis yra viena būdingiausių brandžių Europos buko miškų žolinio ardo komponentų (Tessier et al., 2001). Jos nuolatinis pasikartojimas visuose sklypuose leidžia manyti, kad nė viename plote nėra ekstremalaus išdziūvimo ar staigaus šviesos padidėjimo.

Sklypas A išsiskyrė didžiausia rūšių įvairove: čia aptiktos kelminis papartis (*Dryopteris filix-mas* (L.) Schott), dvilapė medutė (*Maianthemum bifolium* L.) ir šakotoji dvyndantė (*Dicranum scoparium* Hedw.). Tokia struktūra būdinga drėgnesnėms, mažiau trikdromoms ir storesnės paklotės vietoms, kur mikroreljefas ir lajos sudaro mozaikišką šviesos režimą (Brunet et al., 2010). Dvilapė medutė (*Maianthemum bifolium* L.) laikoma tikra miško rūšimi, būdinga pavėsingoms vidutinio drėgnumo ir rūgštesnio, skurdesnio derlingumo dirvožemio augavietėms. Ji taip pat priskiriama senų miškų indikatorių grupei tiek spygliuočių, tiek mišriuose lapuočių miškuose (Orczewska 2010; Schmidt et al. 2011). Jos aptikimas sklype A leidžia manyti, kad čia išlikusios palankios pavėsio ir vidutinio dirvožemio drėgnumo mikrobuveinės sąlygos.

Šakotoji dvyndantė (*Dicranum scoparium* Hedw.) paprastai aptinkama rūgščiuose, storesnės paklotės miškuose, todėl ši rūšis taip pat rodo, kad A sklypas yra „brandesnis“ ir mikroklimato požiūriu stabilesnis.

Sklype B žolinė danga paprastesnė – vyrauja paprastasis kiškiakopūstis (*Oxalis acetosella* L.) ir kelios paprėtų rūšys. Paprastasis kiškiakopūstis plačiai paplitęs Europos mišriuose ir lapuočių miškuose, jam būdingos pavėsingos ir vidutinio drėgnumo buveinės, o po žeme esantys šakniastiebiai leidžia lengvai

atsinaujinti ir išlikti po vidutinio intensyvumo trikdymų, tokių kaip kirtimai ar paklotės pažeidimai (Dincă et al., 2025).

Sklypo C rūšių įvairovė, ypač smailialapis papartis (*Dryopteris carthusiana* (Vill.) H.P. Fuchs) rodo dar didesnę drėgmę arba reljefo įdubas, nes smailialapis papartis (*Dryopteris carthusiana* (Vill.) H.P. Fuchs) dažniausiai aptinkamas drėgnesnėse vietose, kur dirvožemis išlieka neuždžiūvęs net vasarą.

Sklypas D pasižymėjo pačia paprasčiausia žoline danga – iš esmės tik paprastasis kiškiakopūstis (*Oxalis acetosella* L.) ir pavienės paparčių rūšys. Tai rodo, kad šiame sklype gali trūkti drėgmės, o paklotės sluoksniu tikėtina yra plonesnis. Miško žolinio ardo įvairovė reikšmingai mažėja, kai vasarą paviršinis dirvožemis perdziūsta ir mikroklimatas tampa vienodesnis (De Frenne ir kt., 2013). Būtent tokie požymiai tikėtini sklype D, kuriame nėra jautresnių rūšių, tokių kaip dvilapė medutė (*Maianthemum bifolium* L.) ar šakotoji dvyndantė (*Dicranum scoparium* Hedw.).

Apskritai gauti rezultatai atskleidžia, kad žolinė ir samanų danga labai tiksliai atspindi mikroklimato, drėgmės ir paklotės pokyčius tyrimo sklypuose. Rūšių skirtumai tarp sklypų A–D visiškai dera su literatūroje aprašomais Europos buko miškų ekologiniais principais, susijusiais su šviesos režimo mozaikiškumu, dirvožemio drėgme ir buveinių stabilumu.

Išvados

1. Paprastojo buko paplitimas Kalvelių girininkijoje per 1989–2024 m. išliko stabilus, svyravo nuo 10,2 iki 14,9 ha. Nedideli ploto pokyčiai daugiausia susiję su miškotvarkos kvartalų ribų kaita, o ne su realiais ekologiniais pokyčiais.

2. Bukas daugiausia auga antrajame mišrių pušynų arde, o į pirmąjį ardą patenka tik pavieniai individai. Tai patvirtina, kad Kalvelių girininkija yra natūralaus arealo pakraštys, kuriame bukas išlieka, bet nėra dominuojanti rūšis.

3. Dendrometriniai rodikliai tarp sklypų skyrėsi, tačiau bendros tendencijos rodo, kad bukas geriau auga sklypuose, kuriuose yra didesnis drėgmės prieinamumas ir mažesnė konkurencija pirmajame arde. Aukščių vidurkiai svyravo nuo 19,9 iki 27,0 m, o skersmenys – nuo 21,2 iki 27,8 cm.

4. Savaiminis buko atžėlimas buvo labai nevienodas: gausus tik viename tirtame plote (sklypas A), o kituose praktiškai nefiksuotas. Tai rodo, kad šviesos ir paklotės sąlygos yra pagrindiniai buko atžėlimą ribojantys veiksniai.

5. Skirtinguose sklypuose nustatyta žolinė ir samanų danga skyrėsi, atspindėdama mikroklimato ir dirvožemio drėgmės kontrastus. Drėgnesni sklypai turėjo didesnę rūšių įvairovę, o sausesniuose dominavo viena–dvi rūšys.

6. Buko regeneraciją riboja miško paklotė ir konkurencija su pirmojo ardo medžiais. Net sklypuose, kuriuose bukas pasiekė gerus augimo rodiklius, savaiminukų beveik neaptikta, todėl natūralus plitimas yra epizodinis ir priklausomas nuo mikrobuvinių.

7. Kalvelių girininkijoje sąlygos buko augimui yra tinkamos, tačiau daug veiksmų riboja jo plėtrą, todėl natūralus arealo plėtimas į šiaurę šiame regione vyksta lėtai ir fragmentiškai.

Literatūra

1. Aussenac, G. (2000). Interactions between forest stands and microclimate: Ecophysiological aspects and consequences for silviculture. *Annals of Forest Science*, 57(3), 287–301. <https://doi.org/10.1051/forest:2000119>
2. Bauhus, Juergen & Forrester, David & Gardiner, Barry & Jactel, Hervé & Vallejo, Ramon & Pretzsch, H.. (2017). Mixed-species forests: ecology and management.
3. Boguševičiūtė A., Lukaitienė M., Navasaitis M., Skeivienė O., Vengeliauskaitė A., Šelgienė T., Žuklys L., 1963: Dekoratyvinė sodininkystė. Vilnius.
4. Bugno-Pogoda, A., & Durak, T. (2021). Climate and Management Factors Underlying Changes in Beech Forest Herbaceous Layer Plant Communities in the Polish Eastern Carpathians. *Forests*, 12(11), 1446. <https://doi.org/10.3390/f12111446>
5. Danusevičius J. (2010). Dar kartą dėl invazinių medžių rūšių. Mūsų girios. Nr. 1. p. 14.
6. Danusevičius, D. (2000). Miško medžių introdukcija ir selekcija. Kaunas: Lietuvos miškų institutas. 160 p.
7. De Frenne, P., Rodríguez-Sánchez, F., Coomes, D.A., Baeten, L., Verstraeten, G., Vellend, M., Bernhardt-Römermann, M., Brown, C.D., Brunet, J., Cornelis, J., Decocq, G.M., Dierschke, H., Eriksson, O., Gilliam, F.S., Hédal, R., Heinken, T., Hermy, M., Hommel, P., Jenkins, M.A., & Verheyen, K. (2013). Microclimate moderates plant responses to macroclimate warming. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 110 (46) 18561–18565. <https://doi.org/10.1073/pnas.1311190110>
8. Dinčă L., Crișan, V., Murariu, G., Țupu, E. (2025). *Oxalis Acetosella* in forests. a systematic bibliometric study over the last 47 years. *Scientific Papers. Series B, Horticulture*. Vol. LXIX, No. 1. https://horticulturejournal.usamv.ro/pdf/2025/issue_1/Art92.pdf

9. Essl, F, Lenzner, B, Bacher, S, et al. (2020). Drivers of future alien species impacts: An expert-based assessment. *Glob Change Biol*, 26: 4880–4893. <https://doi.org/10.1111/gcb.15199>
10. Geßler, A., Keitel, C., Kreuzwieser, J. et al. (2007). Potential risks for European beech (*Fagus sylvatica* L.) in a changing climate. *Trees*, 21, 1-11. <https://doi.org/10.1007/s00468-006-0107-x>
11. Januškevičius L., Baronienė V., Liagienė D. (2006). Sumedėjusių augalų introdukcija ir aklimatizacija bei jų rezultatai ir perspektyvos Lietuvoje. Kaunas.
12. Januškevičius, B. (2000). Miško želdinių introdukcijos patirtis Lietuvoje. Kaunas: Lietuvos miškų institutas.
13. Juodvalkis A., Kairiūkštis L., (1979). Miškas – geografinis reiškinys. Miškininkystė (sud. L. Kairiūkštis). Vilnius: Mokslas: 41-51.
14. Jump, A., Hunt, J. & Penuelas, J. (2006). Rapid climate change-related growth decline at the southern range edge of *Fagus sylvatica*. *Global Change Biology*. 12. 2163 - 2174. 10.1111/j.1365-2486.2006.01250.x.
15. Kasperavičius, A. (2008). Gamtos mokslų raida Lietuvos Didžiojoje Kunigaikštystėje. Lietuvos istorijos studijos, 21, 95–118.
16. Kramer, K., Degen, B., Buschbom, J., Hickler, T., Thuiller, W., Sykes, M. T., & de Winter, W. (2010). Modelling exploration of the future of European beech (*Fagus sylvatica* L.) under climate change-Range, abundance, genetic diversity and adaptive response. *Forest Ecology and Management*, 259(11), 2213–2222. <https://portal.research.lu.se/en/publications/modelling-exploration-of-the-future-of-european-beech-fagus-sylva/>
17. Madsen, P., Larsen, J.B. (1997). Natural regeneration of beech (*Fagus sylvatica* L.) with respect to canopy density, soil moisture and soil carbon content, *Forest Ecology and Management*, Volume 97, 2, 95-105. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(97\)00091-1](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(97)00091-1).
18. Marozas, V., Pilkauskas, M. 2011. Paprastasis bukas Lietuvoje. Mūsų girios, Nr. 12. P. 18
19. Nagel, T.A., Svoboda, M., Rugani, T. et al. (2010). Gap regeneration and replacement patterns in an old-growth *Fagus* - *Abies* forest of Bosnia–Herzegovina. *Plant Ecol*, 208, 307–318. <https://doi.org/10.1007/s11258-009-9707-z>
20. Navasaitis M. 2008. Dendrologija. Vilnius: Margi raštai, 856 p.
21. Packham, J.R., Thomas, P.A., Atkinson, M.D. and Degen, T. (2012), Biological Flora of the British Isles: *Fagus sylvatica*. *J Ecol*, 100: 1557-1608. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2012.02017.x>
22. Orczewska, A. (2010). Colonization capacity of herb woodland species in fertile, recent alder woods adjacent to ancient forest sites. *Polish Journal of Ecology* 58: 297–310.
23. Pilkauskas, M., Augustaitis, A. & Marozas, V. (2011). Growth peculiarities of European beech trees outside their natural distribution range in Lithuania. *RURAL DEVELOPMENT* 2019. 2013. 10.15544/RD.2011.2.019.
24. Petritan A.M., Nuske, R. S., Petritan, I.C., Tudose, N.C. (2013). Gap disturbance patterns in an old-growth sessile oak (*Quercus petraea* L.) - European beech (*Fagus sylvatica* L.) forest remnant in the Carpathian Mountains, Romania, *Forest Ecology and Management*, 308, 67-75. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.07.045>.
25. Pyšek, P., Hulme, P.E., Simberloff, D., Bacher, S., Blackburn, T.M., Carlton, J.T., Dawson, W., Essl, F., Foxcroft, L.C., Genovesi, P., Jeschke, J.M., Kühn, I., Liebhold, A.M., Mandrak, N.E., Meyerson, L.A., Pauchard, A., Pergl, J., Roy, H.E., Seebens, H., van Kleunen, M., Vilà, M., Wingfield, M.J., Richardson, D.M. (2020). Scientists' warning on invasive alien species. *Biol Rev*, 95(6):1511-1534. <https://doi.org/10.1111/brv.12627>
26. Richardson, D.M. and Rejmánek, M. (2011). Trees and shrubs as invasive alien species – a global review. *Diversity and Distributions*, 17: 788-809. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2011.00782.x>
27. Richardson, D. M., Pyšek, P., Rejmánek, M., Barbour, M. G., Panetta, F. D., & West, C. J. (2000). Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. *Diversity and Distributions*, 6, 93-107. https://www.ibot.cas.cz/personal/pysek/pdf/naturalization_and_invasion_%20of_alien_plants.pdf
28. Schmidt, M., Kriebitzsch W.-U., Ewald J. (2011). Waldartenlisten der Farn-und Blütenpflanzen, Moose und Flechten Deutschlands. BfN-Skripten 299: 1–111.
29. Saugomų gyvūnų, augalų, grybų rūšių ir bendrijų įstatymas (1997). Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.46423/asr> Žiūrėta 2024-03-01.
30. Van Couwenberghe, R., Gegout, J.C., Lacombe, E., Collet, C. (2013). Light and competition gradients fail to explain the coexistence of shade-tolerant *Fagus sylvatica* and shade-intermediate *Quercus petraea* seedlings. *Ann. Bot.* 112, 1421–1430. <https://doi.org/10.1093/aob/mct200>

ASSESSMENT OF THE STAND STRUCTURE, REGENERATION, AND HABITAT CONDITIONS OF EUROPEAN BEECH (*FAGUS SYLVATICA* L.)

Summary

The European beech (*Fagus sylvatica* L.) grows outside its natural range in southwestern Lithuania, making the assessment of its population condition and regeneration important for understanding the species' acclimatization potential under climate change. The persistence of beech in mixed stands depends on microhabitats, competition, and local environmental conditions, which become limiting at the range margin.

The aim of this study was to evaluate the distribution, growth parameters, and natural regeneration of beech in the Kalveliai Forest District, based on long-term forest inventory data and detailed field surveys.

The analysis of four forest management periods showed that between 1989 and 2024 the area occupied by beech remained stable (10.2–14.9 ha), and the species typically forms the second canopy layer in mixed pine and spruce stands.

Dendrometric measurements revealed considerable variation among plots: beech height ranged from 19.9 to 27.0 m, and diameter from 21.2 to 27.8 cm, indicating pronounced effects of microhabitat conditions and competitive environment on growth. Natural regeneration was highly uneven - abundant regeneration was recorded only in several plots, whereas in most areas beech regenerated poorly due to limited light, thick litter, and competition with birch and maple. The analysis of the herb layer highlighted clear microclimatic differences: species diversity was higher in moister plots, while drier areas were dominated by low-diversity plant communities.

The results indicate that beech remains viable and well adapted in the Kalveliai Forest District, but its naturalization proceeds slowly and depends on local ecological conditions. These findings are important for predicting the potential expansion of beech in Lithuania and its establishment in the northeastern part of its range.

Key words: *Fagus sylvatica*, introduction, regeneration, understory, stand structure.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Loreta Semaškienė

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas

Darbo vieta ir pozicija: Lietuvos inžinerijos kolegija, Aplinkos inžinerijos fakultetas, docentė

Autoriaus mokslinių interesų sritys: miško ekologija, dendrologija, augalų introdukcija, želdinių inventorizacija, būklės vertinimas

Telefonas ir el. pašto adresas: +37068710051, loreta.semaskiene@lik.tech

Autoriaus vardas, pavardė: Sinilga Černulienė

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas

Darbo vieta ir pozicija: Lietuvos inžinerijos kolegija, Aplinkos inžinerijos fakultetas, docentė

Autoriaus mokslinių interesų sritys: aplinkotyra, miško ekologija, tvarus gamtos išteklių naudojimas

Telefonas ir el. pašto adresas: +37068584542, sinilga.cernuliene@lik.tech

NEGYVOS MEDIENOS KIEKIO IR STRUKTŪROS ĮVERTINIMAS LIETUVOS ŪKINIUOSE MIŠKUOSE

Sinilga Černulienė, Jurgita Babilienė
Lietuvos inžinerijos kolegija

Anotacija

Negyva mediena yra svarbus miško ekosistemų struktūrinis komponentas, darantis didelę įtaką buveinių įvairovei, maistmedžiagų apytakai ir saproksilinių organizmų palaikymui. Šio tyrimo tikslas – įvertinti negyvos medienos kiekius Lietuvos ūkiniuose miškuose ir išanalizuoti jų pasiskirstymą pagal medžių rūšis, struktūrines formas ir skirtingas suirimo klases.

Tyrimo sklypuose bendras negyvos medienos kiekis svyravo nuo 4,0 m³/ha iki 32,0 m³/ha. Didžiausi kiekiai nustatyti sklype, kuriame vyravo stambesnė eglės ir uosio negyva mediena (atitinkamai 23,0 ir 8,8 m³/ha), o mažiausi – beržo ir juodalksnio plotuose (iki 1,1–2,1 m³/ha). Vertinant struktūrines formas nustatyta, kad virtėliai sudarė apie 63 % visos negyvos medienos, o stuobriai – 37 %.

Suirimo analizė parodė, kad daugiausia negyvos medienos sukaupta II–III suirimo klasėse (iki 18,2 m³/ha), kurioms būdingas pažengęs, bet struktūriškai vientisas irimo tarpsnis. Pradinėse ir vėlyvosiose klasėse nustatyti kiekiai buvo gerokai mažesni dėl mažesnio liekanų susikaupimo ir intensyvesnės fragmentacijos.

Tyrimo rezultatai rodo, kad negyvos medienos pasiskirstymas ūkiniuose miškuose yra glaudžiai susijęs su rūšine sudėtimi, kamienų matmenų struktūra ir medyno raidos eiga. Vidutinių suirimo klasių dominavimas atskleidžia nuoseklų negyvos medienos kaupimosi procesą, svarbų miško biologinės įvairovės palaikymui.

Reikšminiai žodžiai: negyva mediena, rūšinė sudėtis, medienos suirimo klasė, virtėliai, stuobriai.

Įvadas

Miško ekosistemos yra vienos sudėtingiausių sausumos ekosistemų. Jų didelę biologinę įvairovę palaiko tiek biotiniai, tiek abiotiniai aplinkos elementai. Negyva mediena – nuo stovinčių nudžiūvusių medžių iki išvartų, šakų ir kamieno fragmentų – yra neatsiejama miško struktūros dalis, atliekanti esminį vaidmenį maisto medžiagų apykaitoje, dirvožemio formavime, saproksilinių organizmų gyvenimo cikluose ir mikrobeveinių įvairovės palaikyme.

Natūraliose miško ekosistemose negyva mediena kaupiasi nuolat. Dėl tarpusavio konkurencijos, klimato poveikio, patogenų, kenkėjų ar kitų priežasčių medžiai periodiškai žūva, o jų liekanos papildo miško paklotę. Tačiau ūkiniuose miškuose šis natūralus procesas yra reikšmingai sutrikdomas. Sanitarinių bei ugdomųjų kirtimų metu pašalinama didžioji dalis pažeistų ar mirstančių medžių. Dėl to negyvos medienos kiekis ir jos struktūrinė įvairovė ūkiniuose miškuose dažnai yra mažesni nei natūraliuose miškuose. Tokia situacija kelia didelę grėsmę saproksiliniams organizmams – vienai labiausiai specializuotų bei nykstančių rūšių grupių, kurių išlikimas tiesiogiai priklauso nuo negyvos medienos buvimo.

Atsižvelgiant į susidariusią situaciją, ypač svarbu nustatyti, kiek negyvos medienos yra ūkiniuose miškuose, ir ištirti jos struktūrą, t. y. suirimo laipsnius bei tipus. Tokie duomenys leidžia objektyviai įvertinti miško ekosistemų būklę, išryškinti esamus buveinių struktūros trūkumus bei numatyti priemones, galinčias pagerinti buveinių kokybę ir kartu padidinti ekosistemų atsparumą klimato kaitai.

Šio tyrimo tikslas – įvertinti negyvos medienos kiekį ir pasiskirstymą ūkiniuose miškuose, atsižvelgiant į jos tipus, suirimo laipsnius ir struktūrą.

Tyrimo objektas – Tauragės regioninio padalinio ūkiniai miškai.

Straipsnį sudaro: anotacija, reikšminiai žodžiai, teorinės įžvalgos, tyrimo metodika, tyrimo rezultatai ir išvados.

Teorinės įžvalgos

Negyva mediena laikoma vienu svarbiausių miško ekosistemų elementų, lemiančiu biologinę įvairovę, buveinių struktūrą ir ilgalaikius miško vystymosi procesus. Jau klasikiniai tyrimai pabrėžė, kad negyva mediena nėra „atliekos“, bet būtina ekosistemos dalis, atliekanti daugybę funkcijų – nuo buveinių kūrimo iki maisto medžiagų ciklo palaikymo (Harmon ir kt., 1986). Be to, įvairūs autoriai nurodo, jog apie trečdalį visų miško organizmų rūšių yra vienaip ar kitaip susijusios su negyva mediena (Siitonen, 2001; Jonsson ir kt., 2005). Tokie organizmai apibūdinami kaip saproksiliniai – jiems vystymosi ciklo metu būtina negyva ar dūlanti mediena (Speight, 1989). Taigi, negyva mediena veikia kaip ekologinis „karštosios zonos“ elementas, sutelkiantis ypatingai daug gyvybės formų miškuose.

Negyvos medienos buvimas tiesiogiai prisideda prie miško biologinės įvairovės. Pavyzdžiui, negyvi medžiai, stuobriai ir pūvantys rąstai sudaro unikalias buveines daugybei rūšių: po žieve ir medienos plyšiuose prieglobstį randa bestuburiai (vabzdžiai, voragyviai), drevėse peri geniniai paukščiai ir kai kurie žinduoliai, o

išvartose tarpsta varliagyviai. Trūnijanti mediena yra ir svarbus maisto šaltinis – ja minta vabalų lervos, taip pat grybai, kerpės sudarančios mitybines grandines, kuriomis maitinasi aukštesnių trofinių lygių organizmai (Christensen ir kt., 2005; Siitonen, 2001). Skaidytojai, ardydami negyvą medieną, grąžina maisto medžiagas į dirvožemį ir gerina jo derlingumą, taip pat prisideda prie anglies kaupimo ekosistemoje. Todėl negyvos medienos irimo procesai yra svarbūs miško dirvožemio formavimuisi ir maisto medžiagų apytakos ciklams (Harmon ir kt., 1986).

Svarbu tai, kad intensyvi ūkinė veikla miškuose dažnai sumažina negyvos medienos gausą ir įvairovę. Natūraliose miško ekosistemose negyvos medienos kaupimasis vyksta nuolat – medžiai žūva dėl konkurencijos, klimato veiksnių, patogenų ar kenkėjų poveikio, todėl visada yra įvairių irimo stadijų medienos. Tuo tarpu ūkinės paskirties (tvarkomuose) miškuose šis procesas yra reikšmingai sutrikdytas: sanitariniai ir ugdomieji kirtimai paprastai pašalina daugumą pažeistų, nudžiūvusių ar virsti pradėjusių medžių. Dėl to tokiuose miškuose negyvos medienos kiekiai ir jos struktūrinė įvairovė būna gerokai mažesni nei sengirėse. Tyrimai rodo, kad Europos sengirėse negyvos medienos susikaupia iki 10-20 kartų daugiau negu intensyviai tvarkomuose medynuose (Christensen ir kt., 2005). Merce ir kt. (2025) lyginamojoje analizėje parodė, kad natūraliuose buko medynuose negyvos medienos kiekis (51–57 m³/ha) yra kelis kartus didesnis nei tvarkomuose miškuose (10–12 m³/ha). Šis skirtumas lemia ir biologinės įvairovės pokyčius: saproksilinių organizmų bendrijos ūkinės paskirties miškuose yra daug skurdesnės. Daugelis saproksilinių rūšių, ypač gyvenančių tik labai specializuotose buveinėse, nyksta negyvos medienos stokojančiuose miškuose (Müller ir kt., 2015). Iš tiesų net apie 50 % visų nykstančių miško organizmų (pvz., įtrauktų į saugomų rūšių sąrašus) sudaro būtent saproksilinės rūšys, kurioms negyvos medienos trūkumas yra vienas pagrindinių nykimo veiksnių (Jonsson ir kt., 2005). Dėl šių priežasčių negyvos medienos apsauga ir gausinimas įvardijami kaip vieni didžiausių šiuolaikinės miškininkystės iššūkių, siekiant išsaugoti biologinę įvairovę miškuose (Doerfler ir kt., 2017; Pöldveer ir kt., 2023).

Negyva mediena yra itin svarbi grybams – ji sudaro substratą daugybei medieną ardančių makro- ir mikogrybų rūšių. Tyrimai rodo, kad ant vieno pūvančio buko kamieno Danijos sengirėje galima aptikti per 50 skirtingų grybų rūšių vaisiakūnių (Heilmann-Clausen, Christensen, 2004). Skirtingos negyvos medienos frakcijos (stambūs rąstai, smulkesnės šakos, stuobriai) palaiko ir nevienodą grybų įvairovę – pavyzdžiui, smulkesnė negyva mediena kai kuriais atvejais gali turėti net didesnę grybų rūšių įvairovę nei tas pats kiekis stambių rąstų, todėl įvairių dydžių bei irimo stadijų mediena praturtina miško grybiją (Heilmann-Clausen ir Christensen, 2004). Be to, medieną ardanys grybai inicijuoja kitų organizmų (bakterijų, vabzdžių) kolonizaciją – taip negyvoje medienoje formuojasi nuoseklios sukcesinės bendrijos, prisidedančios prie ekosistemos dinamikos.

Negyva mediena taip pat padeda palaikyti miško mikroklimatą ir struktūrinį sudėtingumą. Stambūs nuvirtę kamienai ir stuobriai miško paklotėje sulaiko drėgmę, mažina temperatūros svyravimus ir sukuria šešėliuotas, vėsesnes mikrobuveines. Tokiomis sąlygomis klesti kai kurios drėgmę mėgstančios rūšys, pavyzdžiui, kerpės, samanose gyvenantys bestuburiai ar netgi jauni medžių daigai, kuriems reikalinga apsauga nuo išdžiūvimo. Tyrimai patvirtina, kad uždaras miško skliautas su gausia negyva mediena lemia stabilesnį mikroklimatą, kuris švelnina klimato kaitos poveikį pomiškio organizmams (Zellweger ir kt., 2020). Kita vertus, negyvos medienos įvairovė sukuria ir daugybę mikrobuveinių: drevės, įtrūkimai, pusiau išpuvusi tuščiavidurė mediena – visa tai plečia rūšių, galinčių įsikurti miške, spektrą (Froidevaux ir kt., 2016; Lachat ir kt., 2012). Kuo įvairesnė negyvos medienos struktūra (įvairūs skersmenys, puvimo stadijos, padėtis erdvėje), tuo didesnė ir ten randamų organizmų įvairovė. Pavyzdžiui, nustatyta, kad saulės atokaitoje esanti džiūstanti mediena pritraukia specifines šilumamėges vabalų rūšis, o ūksmingose, drėgnose buveinėse randamos visai kitos rūšių grupės (Lachat ir kt., 2012). Toks mikrobuveinių mozaikiškumas yra esminis veiksnys, palaikantis bendrą miško ekosistemos biologinę įvairovę.

Negyvos medienos svarba pasireiškia ir kraštovaizdžio mastu, nes jos pasiskirstymas skirtinguose miško plotuose lemia buveinių tęstinumą ir saproksilinių rūšių judėjimo galimybes. Tyrimai Prancūzijos miškuose parodė, kad miško masyvai, kuriuose yra daugiau saugomų miško plotų su sukaupta negyva mediena, pasižymi žymiai turtingesne saproksilinių vabalų fauna. Priešingai, intensyviai tvarkomuose miškuose su fragmentiškai išsidėsčiusiais negyvos medienos ištekliais daugelio specializuotų rūšių populiacijos tampa izoliuotos, nukenčia jų sklaida ir ilgalaikis išlikimas (Bouget ir Parmain, 2016). Todėl siekiant biologinės įvairovės išsaugojimo, būtina užtikrinti negyvos medienos buveinių tęstinumą visame kraštovaizdyje – išlaikant jos pasiskirstymą ir sąveiką tarp skirtingų miško plotų (Lachat ir kt., 2012). Konkrečios medžių rūšys taip pat gali turėti didelę reikšmę biologinei įvairovei. Pavyzdžiui, drebulė (*Populus tremula*) borealiniuose miškuose laikoma kertine rūšimi, nes jos negyva mediena maitina ir sudaro buveines daugybei specializuotų vabzdžių bei grybų rūšių, kurių neaptinkama ant kitų medžių (Kouki ir kt., 2004; Martikainen ir kt., 2006). Todėl drebulių išsaugojimas biologinės įvairovės salelėse, formuojamose kirtimų metu, padeda užtikrinti

saproksilinių rūšių apsaugą fragmentuotuose miškuose. Tuo tarpu vidutinio klimato Europos miškuose ypatingai svarbų vaidmenį atlieka ąžuolai ir bukai. Senuose buko medynuose negyvoje medienoje aptinkama itin daug saproksilinių vabalų ir grybų rūšių, todėl šių medynų apsauga tiesiogiai prisideda prie regioninės biologinės įvairovės išsaugojimo (Bouget ir Parmain, 2016).

Negyva mediena yra nepakeičiamas komponentas, užtikrinantis miško ekosistemų mozaikiškumą ir gausų organizmų rūšių spektrą. Ji sukuria ir palaiko buveines saproksiliniams bestuburiams, grybams, kerpėms, suteikia maisto ir prieglobstį daugybei rūšių bei padeda vykdyti gyvybiškai svarbius ekologinius procesus. Negyvos medienos gausa ir įvairovė tiesiogiai koreliuoja su miško biologine įvairove visuose lygmenyse – nuo mikrobeinių bendrijų iki viso kraštovaizdžio masto bioįvairovės. Dėl to šiuolaikinėje gamtosauuginėje miškininkystėje pabrėžiama būtinybė išlaikyti ir atkurti negyvą medieną miškuose: palikti dalį žūvančių ir nuvirtusių medžių, formuoti saugomus brandžių medynų plotus, kad būtų užtikrintas šio svarbaus elemento tęstinumas. Tik taip galima ilgalaikėje perspektyvoje išsaugoti saproksilinių organizmų įvairovę ir bendrą ekosistemos gyvybingumą.

Tyrimų metodika

Tyrimas buvo vykdomas Tauragės regioninio padalinio miškuose. Lauko darbų metu negyvos medienos apskaita buvo vykdoma ūkinės paskirties medynuose.

Tyrimams iš viso buvo parinkti 3 sklypai, kurių charakteristika atspindi 1 lentelėje. Tyrimo sklypo dydis – 1200 m², t.y. 20 x 20 m kvadrato formos 3 aikštelės.

1 lentelė

Miško sklypų charakteristika

Sklypo Nr.	Augavietė	Amžius, m	Medyno rūšinė sudėtis*	Skalsumas
1	Nb	58	5J3B1D1U	0,7
2	Nb	83	4B2J2D1E1U	0,7
3	Nc	73	8E2D2B+J	0,9

* B – beržas (*Betula sp.*); D – drebulė (*Populus tremula*), E – paprastoji eglė (*Picea abies*); U – paprastas uosis (*Fracinus excelsior*); J - Juodalksnis (*Alnus glutinosa*); Nb - normalaus drėgnumo, vidutiniškai derlinga; Nc – normalaus drėgnumo, derlinga.

Kiekviename tyrimo sklype buvo inventorizuojama negyva mediena – sausuoliai, stuobriai ir virtėliai. Stuobriu laikomas nulūžęs medis, kurio aukštis nuo šaknies kaklelio daugiau nei 0,5 m. Stuobrių aukštis ir virtėlių ilgis matuojamas tik tos dalies, kur skersmuo yra didesnis už 10 cm. Virtėliai matuojami tik apskaitos aikštelės ribose, o jų skersmuo matuojamas tos dalies viduryje.

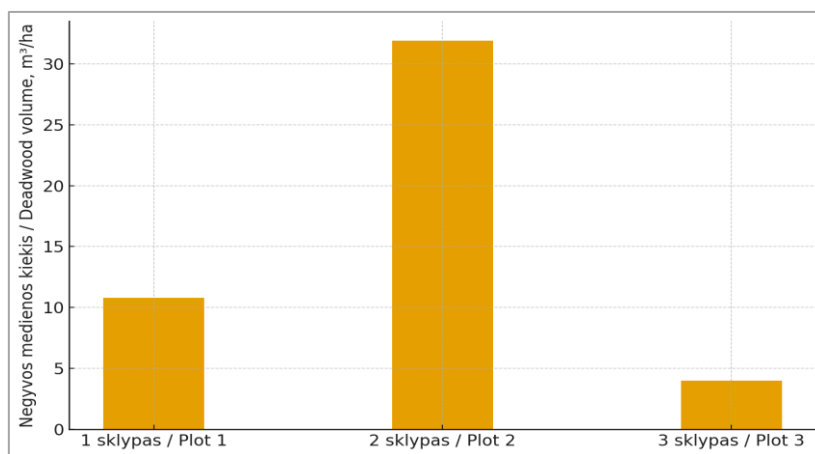
Virtėlių, stuobrių suirimo laipsnis įvertintas pagal 5 kategorijas:

- 1 – šviežias virtėlis (su žieve ir šakutėmis), šviežias kelmas;
- 2 – virtėlis be žievės ir šakučių, mediena dar nesupuvusi;
- 3 – virtėlis be žievės ir šakų, mediena pūvanti, kelmas be žievės (pūvantis);
- 4 – mediena stipriai supuvusi, minkšta, apaugusi samanomis;
- 5 – mediena supuvusi, minkšta ir biri, kamienas ar kelmas po samanų danga (Nevile ir kt., 2006):

Virtėlių ir stuobrių tūris buvo nustatytas naudojantis tūrio lentelėmis (medžių stiebų su žieve tūris). Sausuolių tūris nebuvo skaičiuotas, kadangi bareliuose sausuolių nebuvo aptikta. Duomenys buvo apdorojami ir grupuojami naudojant MS Excel programą.

Tyrimo rezultatai

Tirtuose sklypuose nustatyti negyvos medienos kiekiai buvo pasiskirstę netolygiai (1 pav.). Didžiausias kiekis buvo užfiksuotas antrame sklype, kuriame susikaupė apie 32 m³/ha negyvos medienos. Šis tūris daugiau nei tris kartus viršijo pirmojo sklypo kiekį (apie 10,4 m³/ha) ir beveik aštuonis kartus - trečiojo sklypo rodiklį (apie 4 m³/ha). Remiantis Müller ir Bütler (2010), būtent tokio dydžio negyvos medienos sankaupos viršija ekologinį minimumą, reikalingą daugeliui saproksilinių rūšių palaikymui, todėl antrasis sklypas gali būti laikomas ekologiškai palankesniu. Taip pat antrame sklype vyraavo stambi negyva mediena - eglės ir uosio kamienai – ir tai nulėmė didesnę bendrą tūrį, nes tokių rūšių mediena yra tankesnė ir suyra gerokai lėčiau. Tokia tendencija dera su kitų Europos regionų tyrimais, rodančiais, kad didesnę negyvos medienos kiekį lemia būtent stambesnio skersmens ir lėtai yrantis mediena, ypač spygliuočių (pvz., eglės) bei kietųjų lapuočių (pvz., uosio), kurie miške išlieka ilgiau nei greitai yrantys beržai ar juodalksniai (Harmon ir kt., 1986; Weedon ir kt., 2009; Kahl ir kt., 2017).



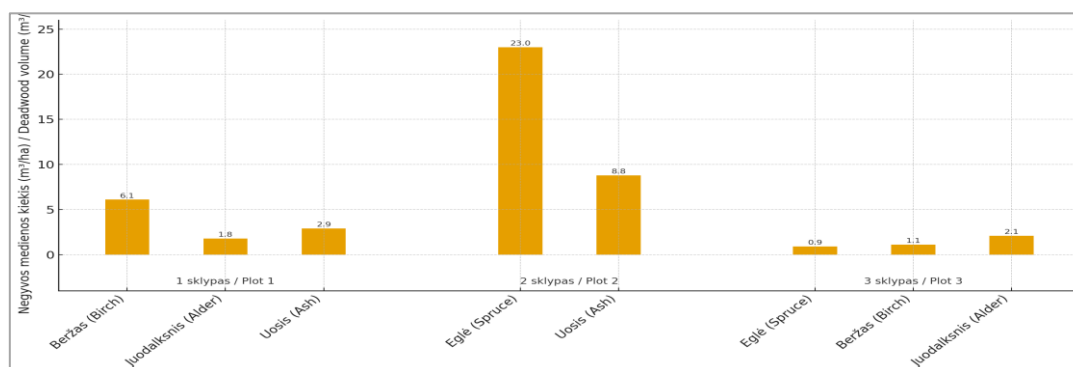
1 pav. Negyvos medienos pasiskirstymas tirtuose sklypuose
Šaltinis: sudaryta autorių

Tuo tarpu pirmame ir trečiame sklypuose dominavo smulkesnės beržo ir juodalksnio liekanos, kurios suyra greičiau, todėl jų sukauptas negyvos medienos kiekis buvo mažesnis. Ši smulki negyva mediena pasižymi greitu irimu, todėl bendras sukauptas kiekis išlieka mažas, o ekologinė vertė ribota (Sefidi, Marvie-Mohadjer, 2010). Tokia struktūra būdinga vidutinio amžiaus ar intensyviau tvarkomiems medynams, kuriuose negyvos medienos kaupimasis yra ribotas. Vítková ir kt. (2018) pažymi, kad būtent toks – mažas ir trumpalaikis negyvos medienos kiekis – yra vienas iš svarbiausių veiksnių, lemiančių saproksilinių rūšių nykimą ūkinės paskirties miškuose.

Lyginant su Lietuvos nacionalinės miškų inventorizacijos duomenimis, 2008 m. šalies miškuose vidutinis likvidinės negyvos medienos kiekis siekė apie 8,5 m³/ha (Kuliešis ir kt., 2008). Tačiau svarbu pabrėžti, kad 2008 m. vertė atspindi to meto situaciją – nuo to laiko, dėl kintančių miškininkystės praktikų ir natūralių procesų, negyvos medienos kiekiai didėjo. 2020 m. valstybinės inventorizacijos duomenimis, šis rodiklis jau siekė apie 14,2 m³/ha (Aplinkos ministerija, 2021). Šis pokytis vertinamas teigiamai, nes didėjantis negyvos medienos kiekis sukuria palankesnes sąlygas saproksilinėms rūšims ir prisideda prie miško ekosistemų biologinės įvairovės palaikymo.

Baltijos šalių kontekste Latvijos miškuose bendras negyvos medienos kiekis siekia apie 19,6 m³/ha (Latvian State Forest Research Institute “Silava”, 2019), tačiau ši reikšmė apima tiek ūkinius, tiek saugomus plotus. Estijoje atliktų inventorizacijos duomenų analizė rodo, kad 2018 m. bendras negyvos medienos kiekis miškuose siekė apie 15,7 m³/ha (Raudsaar ir kt., 2019). Vertinant šių šalių kontekste, Lietuvos rodiklis (14,2 m³/ha) yra artimas Estijos ir Latvijos miškams, tačiau jis viršija Europos miškų vidurkį – 11,5 m³/ha (Aplinkos ministerija, 2021). Šie palyginimai rodo, kad Lietuvos ūkiniai miškai pagal negyvosios medienos kiekius atitinka regiono šalims būdingą intervalą, nors skirtingų sklypų viduje nustatyti kiekiai gali ženkliai kisti dėl vietinių sąlygų, medynų struktūros ir miškotvarkos sprendimų.

Negyvos medienos medynė ekologinę vertę lemia ne tik bendras jos kiekis, bet ir medžių rūšinė sudėtis nuo kurių priklauso medienos irimo greitis, substrato savybės ir tinkamumas saproksiliniams organizmams. Negyvos medienos pasiskirstymas pagal medžių rūšis, pateikti 2 paveiksle.



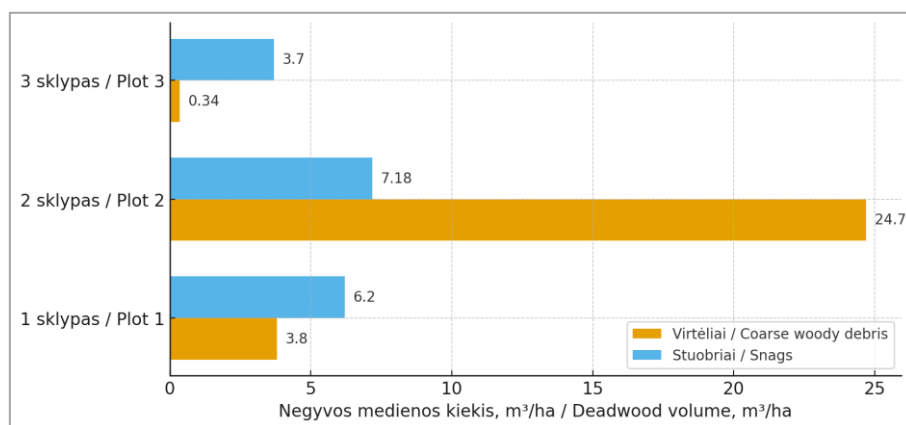
2 pav. Negyvos medienos kiekiai pagal medžių rūšis tirtuose sklypuose
Šaltinis: sudaryta autorių

Antrame sklype išsiskyrė didelis eglės (*Picea abies*) negyvos medienos kiekis (23,0 m³/ha), kuris ekologiniu požiūriu yra ypač reikšmingas. Eglės mediena pasižymi vienais lėčiausių irimo tempų tarp miško medžių rūšių (Weedon ir kt., 2009). Tyrimai rodo, kad eglės rąstų irimo pusamžis siekia apie 18 metų, kai tuo tarpu beržo (*Betula* spp.) – tik apie 9 metus (Laihonen ir kt., 2024). Dėl šių savybių stambūs eglės stuobriai ir rąstai ilgai išliks miške, sudarydami stabilų ir ilgalaikį substratą specializuotoms saproksilinėms rūšims. Šis ilgalaikis substrato stabilumas leidžia vystyti specializuotoms grybų ir vabzdžių bendrijoms, prisitaikiusioms gyventi vėlyvose medienos irimo stadijose, taip užtikrinant jų populiacijų išlikimą (Siitonen, 2001).

Prie lėčiau yrančių rūšių galima priskirti ir uosį (*Fraxinus excelsior*), kurio antrame sklype buvo nustatyta 8,8 m³/ha. Literatūroje nurodoma, kad uosio rąstai yra lėčiau nei daugelio kitų lapuočių – palyginti su buku, klevu ir beržu. Ten, kur negyvos medienos substratą sudaro uosis, jis išlieka santykinai ilgiau stabilus ir prieinamas saproksilinėms rūšims (Zimmerman, 2004).

Pirmame sklype nustatyti palyginti nedideli negyvos medienos kiekiai: beržo nustatyta 6,1 m³/ha, juodalksnio – 1,8 m³/ha, o uosio – 2,9 m³/ha. Trečiame sklype registruotas mažiausias negyvos medienos kiekis, kuriame vyraavo beržo (1,1 m³/ha) ir juodalksnio (2,1 m³/ha) liekanos, o eglės aptikta 0,9 m³/ha.

Remiantis gautais rezultatais didžiausias negyvos medienos kiekis pagal tipus tyrimo sklypuose buvo susikaupęs virtėliuose (63 %), o stuobriai sudarė 37 % viso nustatyto negyvos medienos kiekio (3 pav.). Ši struktūra yra reikšminga biologiniu požiūriu, nes būtent virtėliai užtikrina didesnę mikrobuveinių ir substratų įvairovę saproksilinėms rūšims, o jų gausa paprastai siejama su didesniu rūšių skaičiumi (Seibold ir kt., 2015; Gossner ir kt., 2013).



3 pav. Negyvos medienos pasiskirstymas pagal tipus tirtuose sklypuose

Šaltinis: sudaryta autorių

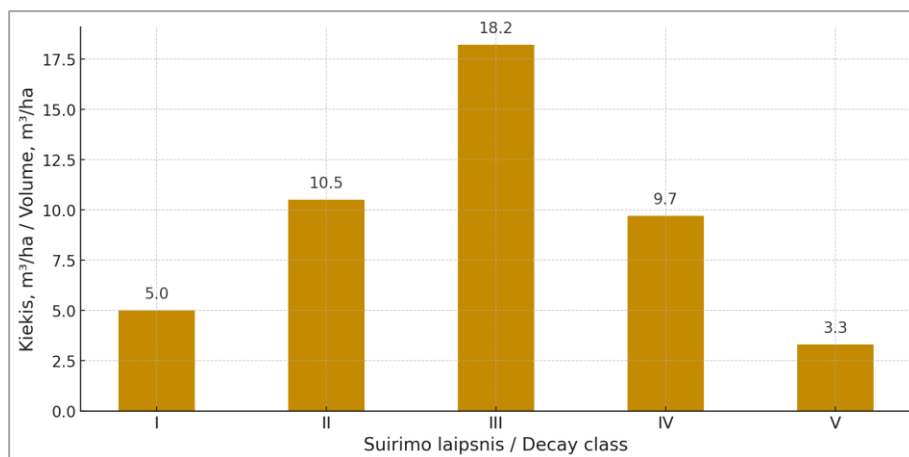
Ryškiausiai išsiskyrė 83 metų amžiaus antrasis sklypas, kuriame fiksuotas didžiausias gulinčios negyvos medienos kiekis (24,7 m³/ha), o stuobriai sudarė papildomus 7,18 m³/ha. Brandesnių medynų struktūrai būdingas didesnis stambių virtėlių kiekis, nes brandūs medžiai dažniau žūsta nuo natūralių pažeidimų: vėjovartų, šaknų puvinio, sausros sukeltų pažeidimų ar kitų veiksnių, o jų didesnio skersmens kamienai suyra lėčiau ir ilgiau išlieka miško paklotėje (Harmon ir kt., 1986; Cornwell ir kt., 2009). Tai ypač aktualu eglės atveju – šios rūšies lėtai yrantis mediena sukuria stabilų substratą ir palaiko ilgaamžes saproksilinių organizmų buveines, todėl antrasis sklypas pasižymi didesniu ekologiniu potencialu.

Tuo tarpu 58 metų pirmame sklype gulinčios medienos kiekis buvo santykinai mažas (3,8 m³/ha). Tiek pirmame tiek trečiame sklypuose dominavo smulkesni ir greičiau yrantys lapuočiai medžiai (beržas, juodalksnis), kurių irimo procesas spartesnis, todėl jų ekologinė vertė trumpalaikė (Sefidi & Marvie-Mohadjer, 2010). Skirtumai tarp sklypų atspindi amžiaus poveikį negyvos medienos susidarymui: brandesniuose medynuose paprastai sukaupiama daugiau gulinčios medienos, kuri ilgainiui formuoja didesnę mikrobuveinių įvairovę saproksilinei faunai.

Su negyva mediena susijusių rūšių įvairovė priklauso nuo medienos puvimo stadijos. Puvimo stadija labiausiai lemia grybų bendrijos sudėtį. Didžiausias medienos grybų skaičius randamas ant vidurinės ir vėlesnės puvimo stadijos negyvos medienos, o mažiausias ant šviežios (Stakėnas ir kt., 2016). Įvairių irimo stadijų negyva mediena svarbi dar ir tuo, jog užtikrina jos tęstinumą ateityje (Humphrey ir kt., 2012).

Negyvos medienos pasiskirstymas pagal medienos suirimo laipsnį pateiktas 4 paveiksle. Iš grafiko matyti, kad pirmos irimo stadijos (šviežios, neseniai nukritusios ar nudžiūvusios ir dar nepradėjusios pūti)

negyvos medienos tyrimo sklypuose buvo mažiausiai ($5 \text{ m}^3/\text{ha}$) t.y. ji sudarė nežymią dalį visų irimo stadijų (I irimo stadijos procentai tyrimo sklypuose svyruoja nuo 5,1 % iki 18,3 %) (5 pav.).

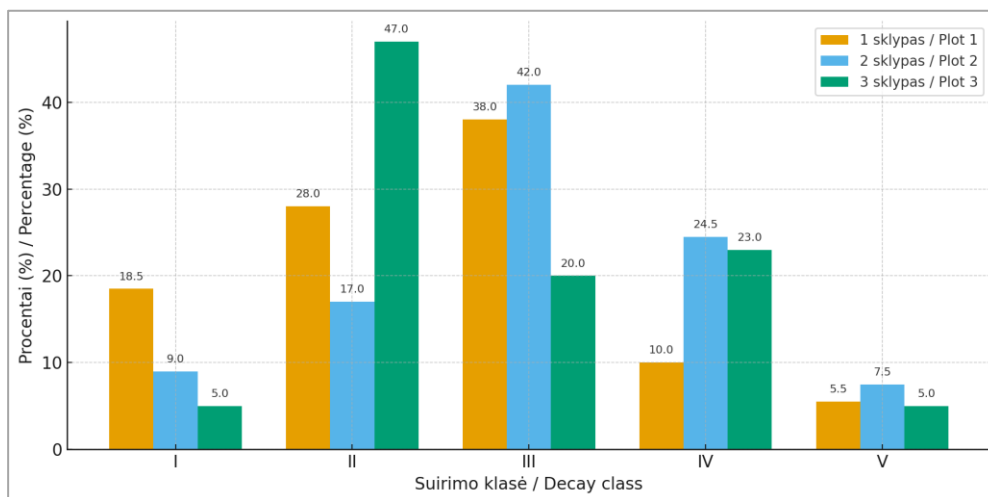


4 pav. Negyvos medienos pasiskirstymas pagal medienos suirimo laipsnį

Šaltinis: sudaryta autorių

Didžiausias negyvos medienos kiekis nustatytas III suirimo klasėje ($18,2 \text{ m}^3/\text{ha}$). Šiai stadijai būdingas pažengęs irimo procesas, kai mediena jau yra smarkiai pažeista, tačiau dar išlaiko pakankamą struktūrinį vientisumą. Toks pasiskirstymas rodo, kad miške vyrauja vidutinės suirimo stadijos liekanos, kurios paprastai susidaro tada, kai medžių žūtis vyksta nuosekliai ir nėra staigių, intensyvių pažaidų. Panaši tendencija nustatoma ir kituose vidutinio klimato miškuose – vidutinės suirimo klasės sukaupia daugiausiai negyvos medienos (Christensen ir kt., 2005; Zhou ir kt., 2007; Stokland ir kt., 2012). Tai leidžia teigti, kad tyrimo sklypai pasižymi nuosekliau, laipsnišku medžių žuvimu, o ne staigiais pažeidimais.

Daugiausiai III suirimo laipsnio medienos susikaupę pirmame ir antrame tyrimo sklypuose (atitinkamai 38 ir 42,1 % nuo bendro visos negyvos medienos kiekio) (5 pav.).



5 pav. Negyvos medienos pasiskirstymas pagal medienos suirimo laipsnį, %

Šaltinis: sudaryta autorių

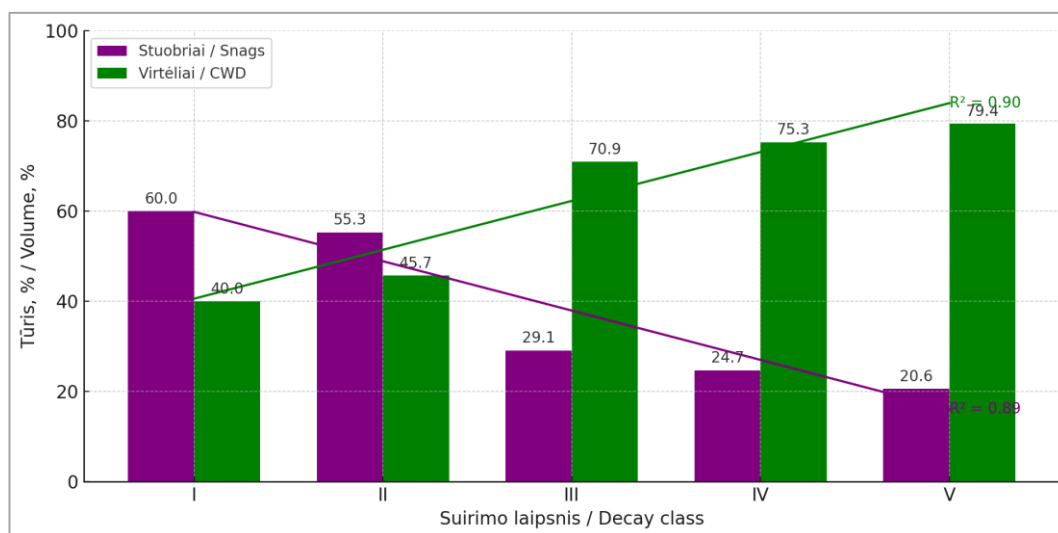
II ir IV suirimo klasėse nustatyti kiekiai buvo panašūs (atitinkamai $10,5$ ir $9,7 \text{ m}^3/\text{ha}$), o mažiausias negyvos medienos kiekis fiksuotas V klasėse ($3,3 \text{ m}^3/\text{ha}$). Toks pasiskirstymas atitinka įprastą negyvos medienos irimo seką: I suirimo klasėje kiekiai paprastai būna maži, nes čia patenka tik neseniai žuvę medžiai, kurių kiekis dar nedidelis. Didžiausi kiekiai sukaupiami II–III klasėse, kuriose laikui bėgant susitelkia daugiau skirtingu metu žuvusių medžių. Vėlyvose IV–V klasėse bendras tūris mažėja, nes intensyviai yrant mediena praranda masę, fragmentuojasi ir dalis jos nebeįtraukiama į apskaitą (Freschet et al., 2011).

Ekologiniu požiūriu didesni II-III suirimo klasės negyvos medienos kiekiai gali sudaryti palankesnes sąlygas saproksilinių organizmų įvairovei (Haeler ir kt., 2021), todėl didžiausias III klasės kiekis gali turėti teigiamą reikšmę potencialiai rūšių įvairovei tirtuose medynuose.

Trečiame sklype, kuriame vyraavo eglė, didžiausia dalis teko II klasei (47,5 %), o III klasę sudarė tik 20,0 %. Spygliuočių mediena pasižymi lėtesniu irimu, todėl vėlesnės suirimo stadijos formuojasi lėtai, o struktūroje dominuoja ankstyvosios klasės (Stokland ir kt., 2012). Be to, trečiame sklype didelis skalsumas (0,9) mažina stiebų žūtį, todėl visuose suirimo laipsniuose fiksuotos mažesnės proporcijos.

Šie rezultatai rodo, kad suirimo struktūrą lemia ne tik pažaidų intensyvumas, bet ir rūšinė sudėtis bei medienos savybės.

Skirstant atskiras negyvos medienos grupes (virtėlius bei stuobrius) pagal medienos suirimo laipsnį, išryškėjo, kad jam didėjant, ženkliai mažėja stuobrių masė, tačiau didėja virtėlių masė (6 pav.).



6 pav. Virtėlių, stuobrių dalis bendroje negyvoje medienoje, esant skirtingam medienos suirimo laipsniui

Šaltinis: sudaryta autorių

Regresinės priklausomybės patvirtina šias tendencijas: stuobrių santykinė dalis pasižymėjo stipria neigiama koreliacija su suirimo laipsniu ($R^2 = 0,89$), o virtėlių – teigiama ($R^2 = 0,90$). Tai rodo, kad virtėliai sudaro vis didesnę vėlyvųjų suirimo stadijų dalį, o stuobriai nyksta jiems yrant ir pereinant į gulinčios medienos formas. Gauti rezultatai sutampa su literatūros duomenimis, teigiančiais, kad stuobriai dominuoja ankstyvose suirimo stadijose, tačiau progresuojant irimui praranda stabilumą, griūva ir pereina į virtuolių medieną, kuri natūraliai vyrauja vėlyvesnėse irimo stadijose (Harmon ir kt., 1986; Stokland ir kt., 2012).

Išvados

1. Tirtuose ūkinės paskirties miškuose negyvos medienos kiekis labai skyrėsi – nuo 4,0 m³/ha (III sklype) iki 32,0 m³/ha (II sklype). Vidutinė sklypų reikšmė siekė apie 15,5 m³/ha, tačiau tik antrasis sklypas viršijo ekologiniuose tyrimuose dažnai minimą >20 m³/ha ribą, laikomą pakankama saproksilinių rūšių buveinių tęstinumui.

2. Rūšinė sudėtis turėjo lemiamą įtaką negyvos medienos kiekiui. II sklype didžiausią dalį sudarė lėtai yrantis eglės mediena (23,0 m³/ha) ir uosis (8,8 m³/ha). Tuo tarpu I ir III sklypuose vyraavo greitai yrantys lapuočiai – beržas (6,1 ir 1,1 m³/ha) bei juodalksnis (1,8 ir 2,1 m³/ha).

3. Didžiausi negyvos medienos kiekiai buvo sukaupti vidutinėse suirimo klasėse (II–III), kurios atskiruose sklypuose sudarė 20–47 % viso tūrio. Tai būdinga miškams, kuriuose medžių žūtis vyksta tolygiai ir nėra staigių pažaidimų, paliekant daugiausia vidutinės irimo stadijos medienos.

4. Negyvos medienos formų struktūroje dominavo virtėliai, kurie sudarė apie 63 % viso tūrio (0,34–24,7 m³/ha). Stuobriai sudarė apie 37 % (3,7–7,18 m³/ha). Tokia proporcija rodo, kad žuvusių medžių pagrindiniai žūties veiksniai buvo vėjavartos, puviniai ir natūralus medžių senėjimas.

5. II sklypas pasižymėjo didžiausiu ekologiniu potencialu saproksilinių organizmų įvairovei, nes jame nustatyta ne tik daugiausia negyvos medienos, bet ir didelė lėtai yrančių rūšių (eglių ir uosio) dalis bei stambių virtėlių koncentracija (24,7 m³/ha). Ši struktūra užtikrina ilgalaikį substrato tęstinumą, svarbų specializuotoms saproksilinėms rūšims.

6. Sklypuose, kuriuose nustatyti maži negyvos medienos kiekiai (ypač III sklype – 4,0 m³/ha), greitai yrantį lapuočių medieną sukuria tik trumpalaikes buveines, todėl bendras negyvos medienos ekologinis potencialas yra ribotas.

Rekomendacijos

1. Ūkiniuose miškuose rekomenduojama išlaikyti įvairaus skersmens negyvos medienos struktūrą, ypač stambią negyvą medieną (eglės, uosio), kuri užtikrina ilgalaikes buveines saproksilinėms rūšims.
2. Rekomenduojama riboti sanitarinių kirtimų intensyvumą ir palikti pakankamą virtelių bei stuobrių kiekį skirtingose irimo stadijose, kad būtų užtikrintas negyvos medienos tęstinumas ir saproksilinių rūšių buveinių įvairovė.
3. Tolesniems tyrimams siūloma vertinti ne tik negyvos medienos kiekius, bet ir mikrobuveinių tipų įvairovę, kuri tiesiogiai siejasi su saproksilinės faunos struktūra ir gausa.

Literatūra

1. Aplinkos ministerija. (2021). Lietuvos miškų rodikliai ir jų kaita. Valstybinė miškų tarnyba. https://amvmt.lrv.lt/uploads/amvmt/documents/files/Leidiniai/Leidynas_Salies_misku_rodikliai_ir_ju_kaita.pdf
2. Bouget, C., Parmain, G. (2016). Effects of landscape design of forest reserves on Saproxylic beetle diversity. *Conserv Biol*, 30, 92-102. <https://doi.org/10.1111/cobi.12572>
3. Christensen, M., Hahn, K., Mountford, E. P., Ódor, P., Rozenberger, D., Diaci, J., Wijdeven, S., Meyer, P., Winter, S., & Vrska, T. (2005). Dead wood in European beech forest reserves. *Forest Ecology and Management*, 210(1-3), 267–282. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.02.032>
4. Cornwell, W.K., Cornelissen, J.H.C., Allison, S.D., Bauhus, J., Eggleton, P., Preston, C.M., Scarff, F., Weedon, J.T., Wirth, C., Zanne, A.E. (2009). Plant traits and wood fates across the globe: rotted, burned, or consumed? *Global Change Biology*, 15: 2431-2449. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.01916.x>
5. Doerfler, I., Müller, J., Gossner, M.M., Hofner, B., Weisser, W.W. (2017). Success of a deadwood enrichment strategy in production forests depends on stand type and management intensity. *Forest Ecology and Management*, 400, 607-620. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.06.013>.
6. Froidevaux, J. S. P., Zellweger, F., Bollmann, K., & Jones, G. (2016). From field surveys to LiDAR: Shining a light on how bats respond to forest structure. *Remote Sensing of Environment*, 175, 242–250. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.12.038>
7. Gossner, M.M., Floren, A., Weisser, W.W., Linsenmair, K.E. (2013). Effect of dead wood enrichment in the canopy and on the forest floor on beetle guild composition. *Forest Ecology and Management*, 302, 404-413. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.03.039>
8. Haeler, E., Bergamini, A., Blaser, S. et al. (2021). Saproxylic species are linked to the amount and isolation of dead wood across spatial scales in a beech forest. *Landscape Ecol*, 36, 89–104. <https://doi.org/10.1007/s10980-020-01115-4>
9. Harmon, M. E., Franklin, J. F., Swanson, F. J., Sollins, P., Gregory, S., Lattin, J., Anderson, N. H., Cline, S., Aumen, N., Sedell, J., Lienkaemper, G., Cromack, K., & Cummins, K. (1986). Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. *Advances in Ecological Research*, 15, 133–302. [https://doi.org/10.1016/S0065-2504\(08\)60121-X](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(08)60121-X)
10. Heilmann-Clausen, J., & Christensen, M. (2004). Does size matter? On the importance of dead wood fractions for fungal diversity in Danish beech forests. *Forest ecology and management*, 201, 105-117. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.07.010>
11. Humphrey, J. & Baley, S. (2012). Managing deadwood in forests and woodlands. Forestry Commission, Practice Guide, Edinburg, ISBN 978-0-85538-857-7, 24 p. <https://cdn.forestresearch.gov.uk/2012/04/fcpg020.pdf>
12. Jonsson, B. G., Kruys, N., & Ranius, T. (2005). Ecology of species living on dead wood - lessons for dead wood management. *Silva Fennica*, 39(2), 289–309. <https://doi.org/10.14214/sf.390>
13. Kahl, T., Arnstadt, T., Baber, K., Bässler, C., Bauhus, J., Borken, W., Buscot, F., Floren, A., Heibl, C., Hessenmöller, D., Hofrichter, M., Hoppe, B., Kellner, H., Krüger, D., Linsenmair, K.E., Matzner, E., Otto, P., Purahong, W., Seilwinder, C., Schulze, E-D., Wende, B., Weisser, W.W., Gossner, M.M. (2017). Wood decay rates of 13 temperate tree species in relation to wood properties, enzyme activities and organismic diversities. *Forest Ecology and Management*, 391, 86-95. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.02.012>.
14. Kouki, J., Arnold, K., & Martikainen, P. (2004). Long-term persistence of aspen – a key host for many threatened species – is endangered in old-growth forests in Finland. *Journal for Nature Conservation*, 12 (2), 41-52. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2003.08.002>
15. Kuliešis, A., Kasperavičius, A., Kvalkauskienė, M., Kulbokas, G. 2008. Lietuvos miškų statistika. Nacionalinė miškų inventorizacija atrankiniu metodu, 2003-2007. Rankraštis. Kaunas, 2008, 185 p.
16. Lachat, T., Oettel, J., Meyer, F. (2025). Do Saproxylic Species Need Habitats, Connectivity, or Connected Habitats?. In: Lapin, K., Oettel, J., Braun, M., Konrad, H. (eds) *Ecological Connectivity of Forest Ecosystems*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-82206-3_3
17. Laihonon, A., Aalto, S.L., Pihlatie, M. et al. Production of greenhouse gases by logging residue in boreal clear-cut forests. *Eur J Forest Res* 143, 1267–1281 (2024). <https://doi.org/10.1007/s10342-024-01688-8>

18. Lanta, V., Sebek, P., Kozel, P., Altman, J., Bače, R., Chlumská, Z., Černý, T., Dvorský, M., Hauck, F., Korznikov, K., Miklín, J., Vodka, Š., Doležal, J., Čížek, L. (2025). Plant and saproxylic beetle dynamics during succession in lowland temperate broadleaf forests reveal only short periods of increased diversity. *Biological Conservation*, 308, 111258. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2025.111258>
19. Latvian State Forest Research Institute "Silava". (2019). NFI Latvia – Deadwood volume and structure, 5-year averages 2006–2016. European Forest Data Centre. <https://forest.eea.europa.eu/resources/national-resource-catalogue/resources/nfi-latvia-all-5-year-averages-2006-2016-subset-forest-all-stands-deadwood-lying-volume-and-area-by-tree-age-classes-copyright-2008-lvmi-silava>
20. Lindman, L., Öckinger, E. & Ranius, T. (2022). Microclimatic conditions mediate the effect of deadwood and forest characteristics on a threatened beetle species, *Tragosoma depsarium*. *Oecologia*, 199, 737–752. <https://doi.org/10.1007/s00442-022-05212-w>
21. Merce, O., Cantar, I., Turcu, D., Ciontu, C., Vasile, C., Cadar, N. (2025). Comparative analysis of dead wood in managed and virgin forests in the beech stands. *JOURNAL of Horticulture, Forestry and Biotechnology*, 29(2), 42–49. <https://jhfb.ro/index.php/jhfb>
22. Müller, J., Bütler, R. (2010). A review of habitat thresholds for dead wood: a baseline for management recommendations in European forests. *Eur J Forest Res* 129, 981–992. <https://doi.org/10.1007/s10342-010-0400-5>
23. Müller, J., Brustel, H., Brin, A., Bussler, H., Bouget, C., Obermaier, E., Heidinger, I.M.M., Lachat, T., Förster, B., Horak, J., et al. (2015). Increasing temperature may compensate for lower amounts of dead wood in driving richness of saproxylic beetles. *Ecography*, 38, 499–509. <https://nsojournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/ecog.00908>
24. Nevillie P., Bastrup-Birk A. et al. 2006. The BioSoil Forest Biodiversity Field Manual. Version 1.0. For the field assessment 2006-07. 34 p.
25. Penttilä, R., Siitonen, J., & Kuusinen, M. (2004). Polypore diversity in managed and old-growth boreal forests in Finland. *Biological Conservation*, 117(2), 271–284. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2003.12.007>
26. Pöldveer, E., Laarmann, D., Korjus, H. (2023). Puistu ruumilise struktuuri arvutuslik kirjeldamine (Computational description of stand spatial structure). *Forestry Studies / Metsanduslikud Uurimused*, 76(1): 90–98. <https://doi.org/10.2478/fsmu-2022-0006>
27. Raudsaar, M., Sims, A., Timmusk, T., Pärt, E., Nikopensius, M., & Matson, T. (2019). Metsavarude hinnang 2018 / Forest Resources Assessment 2018. Estonian Environment Agency (Keskkonnaagentuur). https://www.keskkonnaagentuur.ee/sites/default/files/01_metsavarud_20.08.pdf
28. Schigel, D. S., Niemelä, T. & Kinnunen, J. (2006). Polypores of western Finnish Lapland and seasonal dynamics of polypore beetles. – *Karstenia* 46: 37–64. Helsinki. ISSN 0453–3402.
29. Sefidi, K., Marvie Mohadjer, M.R. (2010). Characteristics of coarse woody debris in natural beech (*Fagus orientalis*) forests. *Journal of Forest Science*, 56(1), 7–17.
30. Seibold, S., Bässler, C., Brandl, R., Gossner, M. M., Thorn, S., Ulyshen, M. D., & Müller, J. (2015). Experimental studies of dead-wood biodiversity - A review identifying global gaps in knowledge. *Biological Conservation*, 191, 139–149. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.06.006>
31. Siitonen, J. (2001). Forest management, coarse woody debris and saproxylic organisms: Fennoscandian boreal forests as an example. *Ecological Bulletins*, 49, 11–41. <https://www.jstor.org/stable/20113262>
32. Speight, M. C. D. (1989). Saproxylic invertebrates and their conservation. *Nature and environment*. Strasbourg: Council of Europe.
33. Stakėnas, V., Varnagirytė-Kabašinskienė, I., Šežienė, V., Araminienė, V., Stakėnienė, L., Muraškienė, M., Garbaravičius, P., Armolaitis, T. (2016). Studija „Anglies sankaupų verčių negyvojoje medienoje, skirtingame jos susiskaidymo laipsnyje, ištirimas bei anglies sankaupų žuvusioje medienoje įvertinimo nacionalinių normatyvų sudarymas ir sankaupų verčių nustatymas“. Mokslinė ataskaita. Kaunas, Girionys. Prieiga per internetą: https://am.lrv.lt/uploads/am/documents/files/KLIMATO%20KAITA/Studijos%2C%20metodin%2C%20med%2C%20BEiaga/Studija_3.pdf [žiūrėta 2025-01-17].
34. Vítková, L., Bače, R., Kjučukov, P., Svoboda, M. (2018). Deadwood management in Central European forests: Key considerations for practical implementation, *Forest Ecology and Management*, 429, 394–405. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.07.034>
35. Weedon, J.T., Cornwell, W.K., Cornelissen, J.H.C., Zanne, A.E., Wirth, C. and Coomes, D.A. (2009), Global meta-analysis of wood decomposition rates: a role for trait variation among tree species? *Ecology Letters*, 12, 45–56. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2008.01259.x>
36. Zhou, L., Dal, L., Gu, H., Zhong, L. (2007). Review on the decomposition and influence factors of coarse woody debris in forest ecosystem. *J For Res*, 18:48–54. <https://doi.org/10.1007/s11676-007-0009-9>
37. Zellweger, F., De Frenne, P., Lenoir, J., Vangansbeke, P., Verheyen, K., Bernhardt-Römermann, M., Baeten, L., Hédli, R., Berki, I., Brunet, J., Van Calster, H., Chudomelová, M., Decocq, G., Dirnböck, T., Durak, T., Heinken, T., Jaroszewicz, B., Kopecký, M., Máliš, F., Macek, M., Malicki, M., Naaf, T., Nagel, T.A., Ortmann-Ajkai, A., Petřík, P., Pielech, R., Reczyńska, K., Schmidt, W., Standovář, T., Świerkosz, K., Teleki, B., Vild, O., Wulf, M., Coomes, D. (2020). Forest microclimate dynamics drive plant responses to warming. *Science*, 368(6492), 772–775. <https://doi.org/10.1126/science.125618>

38. Zimmerman, G. (2004). *Dynamics of coarse woody debris in North American forests: A literature review* (Technical Bulletin No. 877). National Council for Air and Stream Improvement, Inc. <https://www.ncasi.org/wp-content/uploads/2019/02/tb877.pdf#:~:text=7,Wood>

ASSESSMENT OF DEADWOOD QUANTITY AND STRUCTURE IN MANAGED FORESTS OF LITHUANIA

Summary

Deadwood is an essential structural component of forest ecosystems, strongly influencing habitat diversity, nutrient cycling, and the maintenance of saproxylic organisms. The aim of this study was to assess deadwood volumes in managed forests of Lithuania and to analyse their distribution by tree species, structural forms, and decay classes.

Total deadwood volume across the study plots ranged from 4.0 m³/ha to 32.0 m³/ha. The highest amounts were recorded in the plot dominated by large-diameter spruce and ash deadwood (23.0 and 8.8 m³/ha, respectively), while the lowest volumes occurred in areas dominated by birch and alder (as little as 1.1–2.1 m³/ha). In terms of structural forms, coarse woody debris accounted for approximately 63% of the total volume, and snags made up 37%.

The decay analysis showed that most deadwood accumulated in decay classes II–III (up to 18.2 m³/ha), representing an advanced yet structurally coherent stage of decomposition. Early and late decay classes contained substantially smaller volumes due to lower accumulation and more intensive fragmentation.

The results indicate that deadwood distribution in managed forests is closely linked to tree species composition, stem size structure, and stand developmental dynamics. The dominance of intermediate decay classes reflects a gradual deadwood accumulation process that is crucial for supporting forest biodiversity.

Key words: deadwood, tree species composition, decay class, coarse woody debris, snags

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Sinilga Černulienė

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas

Darbo vieta ir pozicija: Lietuvos inžinerijos kolegija, Aplinkos inžinerijos fakultetas, docentė

Autoriaus mokslinių interesų sritys: aplinkotyra, miško ekologija, tvarus gamtos išteklių naudojimas

Telefonas ir el. pašto adresas: +37068584542, sinilga.cernuliene@lik.tech

Autoriaus vardas, pavardė: Jurgita Babilienė

Mokslo laipsnis ir vardas: magistras, lektorė

Darbo vieta ir pozicija: Lietuvos inžinerijos kolegija, Aplinkos inžinerijos fakultetas, lektorė

Autoriaus mokslinių interesų sritys: IT taikymas aplinkos inžinerijoje, tvarus gamtos išteklių naudojimas

Telefonas ir el. pašto adresas: +37060613697, jurgita.babiliene@lik.tech

DYSNOS UPĖS SALPOS HIDROLOGINĖS SĄLYGOS IR JŲ VALDYMAS TAIKANT 2D HIDRONAMINĮ MODELIAVIMĄ

Vilda Grybauskienė, Gitana Vyčienė
Lietuvos inžinerijos kolegija

Anotacija

Dysnos upės žemupio dešiniojo kranto užliejamos pievos ties Didžiasaliu (Ignalinos r.) yra svarbios saugomų paukščių rūšių, ypač meldinės nendrinukės (*Acrocephalus paludicola*), buveinių formavimuisi, tačiau esamas hidrologinis režimas po pavasario potvynio neužtikrina pakankamai ilgo dirvos užmirkimo laikotarpio. Šio tyrimo tikslas – įvertinti galimybes reguliuoti Dysnos upės ir melioracijos sistemos vandens lygį, siekiant pavasario–vasaros laikotarpiu palaikyti buveinėms palankų hidrologinį režimą. Tyrimas atliktas taikant kompleksinį metodų rinkinį: Dysnos upės baseino hidrologinės situacijos analizę, vandens balanso skaičiavimus bei 2D hidrodinaminį modeliavimą naudojant HEC-RAS 6.3 programinę įrangą. Vandens balansas skaičiuotas remiantis Kačergiškės vandens matavimo stoties duomenimis, Utenos meteorologijos stoties daugiamečiais kritulių ir garavimo reikšmėmis bei infiltravimosi nuostolių vertinimu durpiniuose dirvožemiuose. Modeliavimui naudoti charakteringi debitai, atitinkantys skirtingas tikimybes (1–95 %), apskaičiuoti pagal mėnesinį nuotėkio aukštį ir statistinius hidrologinius parametrus.

Gauti rezultatai parodė, kad vidutinio vandeningumo metais (50 % tikimybė) metinis tiriamos teritorijos vandens balansas yra neigiamas ir siekia –119,3 mm. Modeliuojant scenarijų su įrengtais vandens lygio reguliatoriais (šandorais) ir sumažėjusia infiltracija, metinis vandens balanso deficitas sumažėjo 27,36 mm. 2D hidrodinaminio modeliavimo rezultatai atskleidė, kad esant 6,0 m³/s debitui gegužės mėnesį (10 % tikimybė), užliejimo ir užmirkimo sąlygos tiriamoje salpoje gali būti palaikomos iki kelių parų, o tai sudaro prielaidas ilgiau išlaikyti gruntinio vandens lygį arti dirvos paviršiaus. Tyrimas parodė, kad taikant palyginti paprastas ir ekonomiškai pagrįstas vandens lygio reguliavimo priemones galima reikšmingai pagerinti Dysnos upės salpos hidrologinį režimą ir sudaryti palankesnes sąlygas saugomų užliejamų pievų buveinių palaikymui klimato kaitos sąlygomis.

Reikšminiai žodžiai: Dysnos upė, salpos hidrologija, vandens balansas, 2D hidrodinaminis modeliavimas, vandens lygio reguliavimas, vandens lygio reguliavimo įrenginiai (šandorai), užliejamos pievos.

Įvadas

Upių salpos yra vienos ekologiškai vertingiausių kraštovaizdžio dalių, kurių hidrologinis režimas lemia biologinės įvairovės palaikymą ir specifinių buveinių formavimąsi. Natūralus periodinis užliejimas sudaro sąlygas dirvožemio drėgmės balansui, maistinių medžiagų apykaitai ir aliuvinių pievų ekosistemų funkcionavimui. Tačiau daugelyje Europos regionų, taip pat ir Rytų Lietuvoje, salpų hidrologinis režimas per pastaruosius dešimtmečius reikšmingai pakito dėl melioracijos, upių reguliavimo ir klimato kaitos poveikio.

Rytų Lietuvos žemumų upėms būdingas nedidelis išilginis nuolydis ir platus salpų tinklas, kurio funkcionavimas itin priklauso nuo pavasarinio potvynio. Pastaruoju metu stebimas pavasarinio potvynio intensyvumo mažėjimas ir užliejimo trukmės trumpėjimas lemia nepakankamą dirvožemio užmirkimą pavasario–vasaros laikotarpiu. Tai ypač nepalanku aliuvinėms pievoms, kurios yra svarbios saugomų rūšių, įskaitant meldinę nendrinukę (*Acrocephalus paludicola*), buveinių palaikymui. Tokiose teritorijose hidrologinio režimo valdymas tampa svarbiu uždaviniu, jungiančiu vandens ūkio ir gamtotvarkos tikslus.

Pastaraisiais metais salpų tyrimuose vis daugiau dėmesio skiriama ne vien potvynių dažniui ar maksimaliems debitams, bet ir vandens išsilaikymo trukmei, kuri yra kritiškai svarbi buveinių būklei. Tačiau praktikoje dažnai taikomi metodai apsiriboja arba vandens balanso vertinimu, arba hidrodinaminio modeliavimu, nepakankamai atskleidžiant jų tarpusavio sąveiką melioruotose žemumų salpose.

Šio tyrimo mokslinis naujumas grindžiamas integruotu vandens balanso skaičiavimų ir 2D hidrodinaminio modeliavimo taikymu, orientuotu ne į potvynių rizikos analizę, o į užmirkimo trukmės ir drėgmės išsilaikymo palaikymą buveinėms palankiu laikotarpiu. Tyrime pateikiamas kiekybinis vandens lygio reguliavimo priemonių poveikio įvertinimas (mm masteliu), leidžiantis pagrįsti, kad palyginti nedidelės, lokaliai taikomos hidrotechninės intervencijos gali turėti reikšmingą hidrologinį ir ekologinį efektą.

Tyrimo tikslas – įvertinti Dysnos upės dešiniojo kranto salpos ties Didžiasaliu hidrologinį režimą ir, taikant vandens balanso skaičiavimus bei 2D hidrodinaminį modeliavimą, nustatyti vandens lygio reguliavimo priemonių potencialą formuojant užliejamoms pievoms ir saugomoms paukščių buveinėms palankias hidrologines sąlygas klimato kaitos kontekste.

Tyrimo uždaviniai:

Įvertinti Dysnos upės hidrologinę situaciją, analizuojant nuotėkio sezoniskumą ir charakteringus debitus, svarbius salpos užliejimui.

Apskaičiuoti tiriamos teritorijos vandens balansą vidutinio vandeningumo metų sąlygomis, nustatant kritulių, garavimo ir infiltracinių nuostolių įtaką drėgmės išsilaikymui.

Sudaryti ir taikyti 2D hidrodinaminį Dysnos upės ir salpos modelį, leidžiantį įvertinti užliejimo plotus ir trukmę esant skirtingoms hidrologinėms sąlygoms.

Įvertinti vandens lygio reguliavimo priemonių (šandorų, lokalaus patvankos formavimo) poveikį salpos hidrologiniam režimui ir pateikti hidrologiniu modeliavimu pagrįstas rekomendacijas.

Teorinės įžvalgos

Upių salpos laikomos vienomis produktyviausių ir ekologiškai svarbiausių kraštovaizdžio dalių, kurių funkcionavimą pirmiausia lemia hidrologinis režimas. Natūralus periodinis užliejimas sudaro sąlygas maistinių medžiagų pernašai, dirvožemio drėgmės balansui ir specifinių aliuvinių buveinių formavimuisi, kas apibūdinama potvynio impulso koncepcijoje (Junk et al., 1989; Tockner & Stanford, 2002). Potvynių dažnis, intensyvumas ir trukmė yra esminiai veiksniai, palaikantys salpų ekosistemų struktūrą ir biologinę įvairovę.

Daugelio Europos regionų salpų hidrologinis režimas per pastaruosius dešimtmečius reikšmingai pakito dėl upių reguliavimo, melioracijos ir klimato kaitos poveikio (Opperman et al., 2009; Schneider et al., 2017). Tyrimai rodo, kad pavasarinio potvynių intensyvumo mažėjimas ir užliejimo trukmės trumpėjimas neigiamai veikia aliuvinių pievų būklę ir su jomis susijusias saugomas rūšis (Stonevičius et al., 2014; Kriaučiūnienė et al., 2016).

Ypač jautrios hidrologiniams pokyčiams yra aliuvinės pievos, kurios yra svarbios globaliai nykstančiai meldinei nendrinukei (*Acrocephalus paludicola*). Šiai rūšiai palankus hidrologinis režimas pasižymi ilgai išliekančiu aukštu gruntinio vandens lygiu po pavasarinio potvynio, tačiau be ilgalaikio paviršinio užliejimo vasaros laikotarpiu (Tanneberger et al., 2008; Végvári et al., 2015).

Žemumų upėms būdingas nedidelis išilginis nuolydis lemia tai, kad net nedideli vandens lygio ar debito pokyčiai gali sukelti reikšmingus užliejimo ploto ir trukmės skirtumus (Neal et al., 2012). Intensyvi melioracija tokiose sistemose dar labiau sustiprina salpų hidrologinio režimo jautrumą, nes pagreitina vandens nutekėjimą ir sumažina natūralaus vandens sulaikymo galimybes (O'Connell et al., 2007).

Literatūroje pabrėžiama, kad vien potvynių dažnio ar maksimalių debitų analizė nėra pakankama vertinant salpų hidrologines sąlygas. Vis didesnė reikšmė teikiama vandens balanso dedamosioms – krituliams, garavimui ir infiltracijai – kurios lemia drėgmės išsilaikymą po pavasarinio potvynio (Beven, 2012). Vandens balanso metodai leidžia kiekybiškai įvertinti drėgmės deficitą ir identifikuoti laikotarpius, kai salpos tampa hidrologiškai nepalankios ekosistemų funkcionavimui.

Tačiau vandens balanso skaičiavimai neatskleidžia erdvinio užliejimo pasiskirstymo ir hidraulinių ryšių tarp upės vagos, salpos ir melioracijos tinklo. Dėl šios priežasties pastaraisiais dešimtmečiais plačiai taikomas dvimatis hidrodinaminis modeliavimas, leidžiantis detaliam analizuoti vandens lygių, tėkmės greičių ir užliejimo plotų kitimą sudėtingose salpų sistemose (Bates & De Roo, 2000; Horritt & Bates, 2002).

2D hidrodinaminiai modeliai ypač tinkami žemumų upėms, kur reljefo nelygumai ir žmogaus suformuotos hidraulinės struktūros lemia nevienodą užliejimo pobūdį. Tokie modeliai leidžia ne tik vertinti potvynių riziką, bet ir planuoti aktyvų hidrologinio režimo valdymą, orientuotą į ekosisteminių funkcijų palaikymą (Pappenberger et al., 2007; Schneider et al., 2017).

Klimato kaitos sąlygomis, kai stebimas pavasarinio potvynių silpnėjimas ir didėjantis vasaros garavimas, salpų ekosistemos tampa vis labiau priklausomos nuo lokalaus masto vandens lygio reguliavimo sprendinių (Kundzewicz et al., 2018). Todėl integruotas vandens balanso ir dvimačio hidrodinaminio modeliavimo taikymas laikytinas tinkamu teoriniu ir metodiniu pagrindu planuojant salpų hidrologinio režimo valdymą melioruotose žemumų upėse.

Tyrimų metodika

Tyrimas atliktas taikant daugiamečių duomenų integruotą hidrologinės analizės, vandens balanso skaičiavimų ir dvimačio hidrodinaminio modeliavimo metodų derinį, leidžiantį kompleksiskai įvertinti Dysnos upės dešiniojo kranto salpos hidrologinį režimą ties Didžiasaliu ir vandens lygio reguliavimo galimybes. Metodinė schema apėmė tris tarpusavyje susijusius etapus: (i) hidrologinių ir meteorologinių duomenų analizę, (ii) vandens balanso skaičiavimus ir (iii) 2D hidrodinaminį modeliavimą.

Pirmajame etape analizuoti Dysnos upės hidrologiniai ir meteorologiniai duomenys, gauti iš Kačergiškės vandens matavimo stoties ir regioninių šaltinių. Įvertintas daugiametis nuotėkio sezoniskumas, charakteringi vidutiniai ir ekstremalūs debitai bei potvynių tikimybės, ypatingą dėmesį skiriant pavasario–vasaros laikotarpiui, kuris yra kritiškai svarbus užliejamų pievų buveinių formavimuisi. Ši hidrologinė analizė sudarė pagrindą tolesniems vandens balanso ir hidrodinaminio modeliavimo skaičiavimams.

Antrajame etape apskaičiuotas tiriamos teritorijos vandens balansas vidutinio vandeningumo metų (50 % tikimybės) sąlygomis. Skaičiavimai atlikti mėnesiniu žingsniu, įvertinant kritulių (P), garavimo (E), nuotėkio aukščio (h_0) ir infiltracinių nuostolių (I) dedamąsias. Infiltraciniai nuostoliai vertinti atsižvelgiant į

vyraujančius durpinius dirvožemius ir žolinę augaliją. Vandens balansas apskaičiuotas dviem scenarijais: (i) esamomis sąlygomis, kai melioracijos sistema funkcionuoja be aktyvaus reguliavimo, ir (ii) reguliuojamu režimu, kai melioracijos griovių tinkle numatomas vandens lygio reguliavimo įrenginių (šandorų) naudojimas. Šis etapas leido kiekybiškai įvertinti vandens deficito pokyčius pavasario ir vasaros pradžios laikotarpiu bei drėgmės išsilaikymo potencialą salpoje.

Trečiajame etape sudarytas detalus skaitmeninis reljefo modelis (SRM), būtinas dvimačiams hidrodinaminio modeliavimo skaičiavimams. SRM sukurtas integruojant potvynių rizikos žemėlapių reljefo duomenis, Dysnos upės vagos batimetriją ir melioracijos projektų planus, kuriuose pateikta informacija apie griovių gylį, nuolydžius ir tinklo struktūrą. Visi erdviniai duomenys suvienodinti LAS07 aukščių sistemoje, atkuriant tiriamos teritorijos topografinius nelygumus, senvages, melioracijos griovių tinklą ir upės vagos geometriją.

Dvimatis hidrodinaminis modeliavimas atliktas naudojant HEC-RAS 6.3 programinę įrangą. Skaičiavimų tinkle upės vagos ruože taikytos 5×5 m gardelės, salpos teritorijoje – 25 m gardelės, o pakraštinėse ir hidrauliškai jautriose zonose naudotos smulkesnės (4×4 m) gardelės. Maningo šiuurkštumo koeficientai parinkti pagal faktines vagos ir salpos paviršiaus savybes, atsižvelgiant į dugno medžiagą ir augmenijos tipą. Viršutinė modelio pakraštinė sąlyga apibrėžta įtekančiais debitais, atitinkančiais skirtingų tikimybių potvynio scenarijus, o žemutinė – pagal ištekėjimo nuolydį. Modelio kalibravimas atliktas kokybiniu būdu, vertinant modeliuotų užliejimo ribų atitikimą stebimiems potvynių plotams.

Modeliavimas leido nustatyti vandens lygių, tėkmės greičių ir užliejimo plotų erdvinį pasiskirstymą esant 1–95 % tikimybės potvynio scenarijams bei identifikuoti melioracijos griovių tinklo ruožus, jautriausius vandens lygio reguliavimui. Remiantis gautais rezultatais, įvertintas vandens lygio reguliavimo priemonių (šandorų) poveikis salpos hidrologiniam režimui pavasario ir vasaros pradžios laikotarpiu. Šiame tyrime geofiltraciniai procesai (gruntinio vandens dinamika ir horizontali filtracija) nenagrinėjami, nes jie numatyti kaip atskiros tolimesnių tyrimų dalies objektas.

Tyrimo rezultatai

Dysnos upės hidrologinio režimo ir nuotėkio ypatumai. Dysnos upės hidrologinės analizės ir duomenys apibūdinantys nuotėkio sezoniskumą ir charakteringus debitų dydžius, lemiančius salpos užliejimo galimybes parodė, kad didžiausi debitai ir vandens lygiai susidaro pavasario laikotarpiu, sniego tirpsmo metu, tačiau pastaraisiais dešimtmečiais stebima tendencija, jog pavasarinio potvynio intensyvumas mažėja, o užliejimo trukmė trumpėja.

Vidutinio vandeningumo metų sąlygomis (50 % tikimybė) pavasario–vasaros laikotarpiu salpos hidrologinis režimas tampa nepalankus ilgalaikiam dirvožemio užmirkimui, kuris yra būtinas užliejamų pievų buveinių palaikymui. Hidrologinė analizė sudarė pagrindą tolesniems vandens balanso ir hidrodinaminio modeliavimo skaičiavimams. Apskaičiuoti metiniai infiltraciniai nuostoliai I yra 102,6 mm, mėnesinis pasiskirstymas pateikiamas 1 lentelėje.

1 lentelė

Dysnos upės mėnesinis nuotėkio aukštis ir hidrologiniai parametrai

Mėnesiai	Nuotėkio aukštis h_0	Kritulių kiekis	Garavimas E_0	Infiltraciniai nuostoliai I	Vandens balansas
III	28,7	46	6	8,55	2,75
IV	22,8	39	13	8,55	-5,35
V	18,7	40	28,5	8,55	-15,75
VI	14,7	39	56,5	8,55	-40,75
VII	14,4	57	78	8,55	-43,95
VIII	11,7	84	91	8,55	-27,25
IX	10,7	71	91	8,55	-38,55
X	9,4	82	66,5	8,55	-2,45
XI	15,6	65	36	8,55	4,85
XII	19,8	58	22,5	8,55	7,15
I	24,6	51	8	8,55	9,85
II	10,3	52	3	8,55	30,15
Metų	200,7	684	500	102,60	-119,30

Tiriamos teritorijos vandens balanso rezultatai rėmėsi vandens balanso skaičiavimais atliktais vidutinio vandeningumo metų (50 % tikimybės) sąlygomis, vertinant kritulių, garavimo, nuotėkio ir infiltracinių nuostolių sąveiką tiriamoje Dysnos upės salpoje. Gauti rezultatai parodė, kad esamomis sąlygomis metinis vandens balansas yra neigiamas, o didžiausias vandens deficitas formuojasi pavasario pabaigoje ir vasaros pradžioje.

Reguliuojamo scenarijaus, kai melioracijos griovių tinkle numatomas vandens lygio reguliavimo įrenginių (šandorų) taikymas, rezultatai rodo reikšmingą vandens balanso pagerėjimą. Modeliuojant sumažėjusius infiltracinius nuostolius ir pailgintą vandens išsilaikymą salpoje, metinis vandens deficitas sumažėjo 27,36 mm, palyginti su esamomis sąlygomis (2 lent.). Tai sudaro prielaidas ilgiau išlaikyti drėgnas sąlygas, būtinas aliuvinių pievų buveinėms.

2 lentelė

Debitų kreivės parametrų reikšmės pagal aproksimuotos laipsninę postūmio lygtį

Debitų kreivės padėtis	a	b	c
Ties tašku 1	124.996	-1.0392	0.00674
Ties tašku 5	124.112	2.0183	0,00842

Dvimačio hidrodinaminio modeliavimo rezultatai atskleidė vandens lygių ir užliejimo plotų pasiskirstymą Dysnos upės salpoje esant skirtingų tikimybių potvynio scenarijams. Modeliavimas parodė, kad esant nedideliams debitams ($\geq 5\text{--}6\text{ m}^3/\text{s}$) pavasario laikotarpiu, vanduo pradeda skliti į salpą per žemiausias reljefo vietas, tačiau užliejimo trukmė išlieka trumpalaikė. Didėjant debitams, užliejimo plotas ir vandens lygis salpoje reikšmingai auga, o atskiros reljefo įdubos ir melioracijos grioviai tampa pagrindiniais vandens kaupimosi elementais. Modeliavimas taip pat parodė (1 pav.), kad tam tikri griovių tinklo ruožai yra ypač jautrūs vandens lygio reguliavimui ir gali būti efektyviai naudojami vandens sulaikymui pavasario–vasaros laikotarpiu.



1 pav. Dysnos upės salpos užliejimo schema esant skirtingų tikimybių debitams

Šaltinis: sudaryta autorių

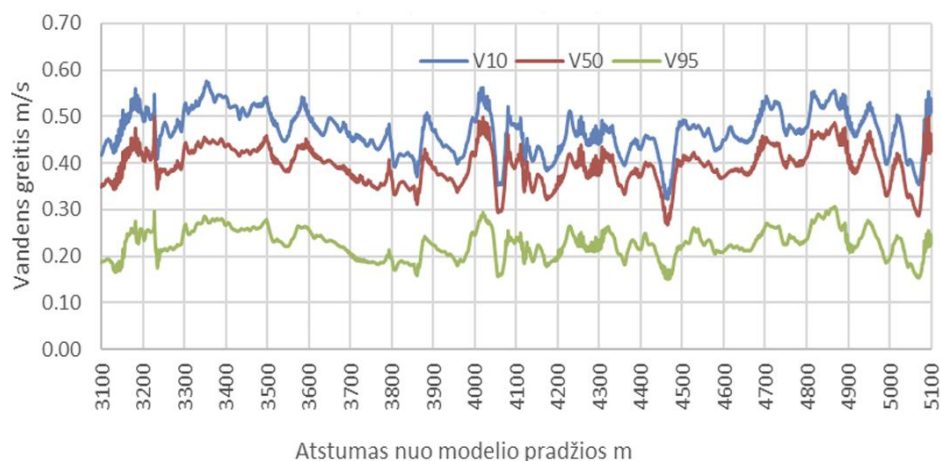
Vandens lygio reguliavimo scenarijų poveikio vertinimas. Modeliuojant vandens lygio reguliavimo scenarijus nustatyta, kad reguliuojamos pralaidos (šandorai) gali reikšmingai pakeisti vandens lygių režimą salpoje pavasario ir vasaros pradžios laikotarpiu (žr. 3 pav.). Reguliuojamomis sąlygomis padidėja vandens lygis žemiausiose salpos vietose, o vandens išsilaikymo trukmė pailgėja, palyginti su esamu režimu. Didžiausias reguliavimo efektas nustatytas tose salpos dalyse, kurios natūraliai pasižymi nedideliu reljefo nuolydžiu ir yra hidrauliškai susietos su melioracijos griovių tinklu. Tai leidžia tikslingai parinkti reguliavimo įrenginių vietas, siekiant maksimalios hidrologinės ir ekologinės naudos.

3 lentelė

Vandens lygiai charakteringuose salpos taškuose esant skirtingiems reguliavimo scenarijams

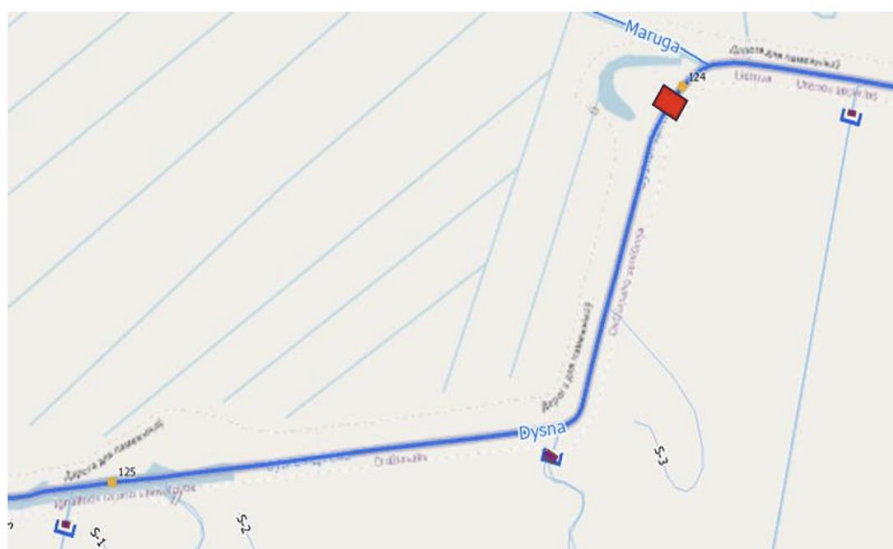
	Plotų pasiskirstymas, ha					
	Vandeningi metai			Vidutiniai metai		
	Gegužė	Birželis	Liepa	Gegužė	Birželis	Liepa
Užlieta	103.20	38.00	18.00	8.80	8.60	7.40
GVL 0-10 cm	86.00	50.00	21.00	1.80	1.70	1.60
GVL 10-30 cm	121.40	162.00	132.00	9.90	9.70	5.00
GVL giliau 30 cm	56.40	117.00	196.00	346.50	347.00	353.00

3 lentelėje pateikti vandens balanso skaičiavimų rezultatai parodo bendras drėgmės pokyčių tendencijas tiriamoje teritorijoje. Siekiant šiuos rezultatus papildyti erdvinio vertinimu ir nustatyti užliejimo intensyvumą bei trukmę konkrečiose salpos vietose, toliau taikytas dvimatis hidrodinaminis modeliavimas (2 pav.).

**2 pav.** Vandens lygių pokyčių palyginimas esamomis ir reguliuojamomis sąlygomis

Šaltinis: sudaryta autorių

Modeliavimas parodė, kad viena efektyviausių vandens sulaikymo vietų tiriamoje teritorijoje yra Dysnos upės vagos ruožas prieš Marugos intaką, kuriame galima formuoti lokalų vandens lygio pakėlimą be reikšmingo poveikio aukštutinei vagos daliai. Ši vieta pasižymi palankia reljefo konfigūracija ir hidrauliniu ryšiu su melioracijos griovių tinklu (žr. 3 pav.).

**3 pav.** Siūlomos patvankos formavimo vieta Dysnos upėje prieš Marugos intaką

Šaltinis: sudaryta autorių

Hidrodinaminio modeliavimo rezultatai rodo, kad Dysnos upės ruožas prieš Marugos intaką yra hidrauliškai tinkamiausia vieta lokaliai vandens lygio pakėlimui formuoti. Šioje atkarpoje upės vagos nuolydis yra nedidelis, o hidraulinis ryšys su dešiniojo kranto salpa ir melioracijos griovių tinklu leidžia efektyviai paskirstyti sulaikomą vandenį salpos teritorijoje. Modeliuojami scenarijai parodė, kad čia suformuota patvanka sudaro prielaidas padidinti vandens lygį žemiausiose salpos vietose ir pailginti užmirkimo laikotarpį pavasario - vasaros pradžioje, nesukeliant reikšmingo neigiamo poveikio aukštutiniams upės ruožams. Tokia lokalizuota vandens lygio reguliavimo priemonė laikytina tikslinga tiek hidrologiniu, tiek ekologiniu požiūriu, ypač siekiant palaikyti užliejamų pievų buveinėms palankias sąlygas.

Diskusija

Gauti rezultatai patvirtina, kad Dysnos upės salpos hidrologinis režimas yra labai jautrus net ir nedideliems vandens lygio bei debito pokyčiams, o tai būdinga žemumų upėms su plačiomis aliuvinėmis salpomis. Panašias tendencijas nurodo ir kiti tyrimai, kuriuose pabrėžiama, jog trumpėjant pavasarinio potvynio trukmei, salpų ekosistemos tampa labiau priklausomos nuo lokalių vandens sulaikymo sprendinių (Tockner & Stanford, 2002; Opperman et al., 2009).

Šiame tyrime nustatytas neigiamas metinis vandens balansas ($-119,3$ mm) vidutinio vandeningumo metais atitinka regioniniu mastu stebimas tendencijas, susijusias su didėjančiu garavimu ir mažėjančia sniego atsargų reikšme pavasariniais potvyniais (Kriaučiūnienė et al., 2016; Kundzewicz et al., 2018). Vandens balanso pagerėjimas taikant reguliavimo priemones rodo, kad net santykinai nedidelės hidrotechninės intervencijos gali turėti disproporcingai didelį poveikį drėgmės išsilaikymui salpose, ypač pavasario–vasaros pereinamuoju laikotarpiu.

Dvimačio hidrodinaminio modeliavimo rezultatai patvirtina literatūroje akcentuojamą 2D modelių pranašumą vertinant salpų užliejimo erdvinį heterogeniškumą ir lokalių sprendinių efektyvumą, palyginti su supaprastintais 1D metodais (Horritt & Bates, 2002; Neal et al., 2012). Identifikuotos hidrauliškai jautrios salpos vietos ir siūloma patvankos formavimo vieta prieš Marugos intaką atitinka gamtotvarkos praktikoje taikomą principą, kai siekiama maksimalios ekologinės naudos minimaliais struktūriniais pakeitimais (Schneider et al., 2017).

Svarbu pažymėti, kad šiame tyrime nebuvo vertinami geofiltraciniai procesai ir gruntinio vandens dinamika, kurie gali reikšmingai prisidėti prie ilgalaikio dirvožemio drėgmės palaikymo. Ankstesni tyrimai rodo, kad hidraulinė sąveika tarp paviršinio ir gruntinio vandens salpose gali sustiprinti arba susilpninti reguliavimo priemonių poveikį, priklausomai nuo dirvožemio savybių ir hidrologinių sąlygų (Beven, 2012; O'Connell et al., 2007). Todėl tolesni tyrimai, integruojantys 2D hidrodinaminį ir geofiltracinį modeliavimą, leistų išsamiau įvertinti ilgalaikį vandens lygio reguliavimo sprendinių efektyvumą.

Gauti rezultatai rodo, kad hidrologiniu modeliavimu pagrįstas vandens lygio reguliavimas gali būti efektyvi priemonė užliejamų pievų buveinių palaikymui ir prisitaikymui prie klimato kaitos, ypač regionuose, kur natūralūs potvyniai tampa vis retesni ir trumpesni.

Išvados

1. Dysnos upės hidrologinio režimo analizė parodė, kad vidutinio vandeningumo metų sąlygomis pavasarinio potvynio trukmė ir intensyvumas nėra pakankami užtikrinti ilgalaikį dirvos užmirkimą salpoje pavasario pabaigoje ir vasaros pradžioje, todėl natūralus hidrologinis režimas neužtikrina užliejamų pievų buveinėms palankių sąlygų palaikymo.

2. Vandens balanso skaičiavimai atskleidė, kad esamomis sąlygomis tiriamos teritorijos metinis vandens balansas yra neigiamas ir siekia $-119,3$ mm, didžiausią vandens deficitą fiksuojant pavasario pabaigoje ir vasaros pradžioje. Taikant vandens lygio reguliavimo priemones ir sumažinus infiltracinius nuostolius, metinis vandens balanso deficitas sumažėja $27,36$ mm, kas rodo reikšmingą drėgmės išsilaikymo pagerėjimą salpoje.

3. Hidrodinaminis modeliavimas parodė, kad Dysnos upės salpos užliejimas prasideda esant santykinai nedideliems debitams (apie $5\text{--}6$ m³/s), tačiau be reguliavimo priemonių užliejimo trukmė išlieka trumpalaikė. Modeliavimas leido identifikuoti reljefo ypatumus ir melioracijos griovių tinklo elementus, kurie yra kritiškai svarbūs vandens kaupimuisi ir išsilaikymui salpoje.

4. Reguluojamų pralaidų (šandorų) taikymas melioracijos griovių tinkle ir siūlomos patvankos formavimas Dysnos upėje prieš Marugos intaką leidžia padidinti vandens lygius žemiausiose salpos vietose ir pailginti vandens išsilaikymo trukmę pavasario ir vasaros pradžios laikotarpiu, nesukeliant neigiamo poveikio aukštutiniams upės ruožams.

5. Tyrimo rezultatai patvirtina, kad integruotas hidrologinės analizės, vandens balanso ir 2D hidrodinaminio modeliavimo taikymas sudaro patikimą metodinį pagrindą lokalių vandens lygio reguliavimo

sprendinių planavimui melioruotose žemumų salpose, orientuotam ne į potvynių rizikos mažinimą, o į užliejamų pievų ir su jomis susijusių buveinių hidrologinių sąlygų palaikymą klimato kaitos sąlygomis.

Rekomendacijos

Rekomenduojama Dysnos upės ruože prieš Marugos intaką įrengti lokalų vandens lygio reguliavimo statinį (patvanką), leidžiantį pavasario–vasaros laikotarpiu palaikyti padidintą vandens lygį salpos teritorijoje be neigiamo poveikio aukštutiniams upės ruožams.

Melioracijos griovių tinkle tikslinga taikyti reguliuojamas pralaidas (šandorus), siekiant sumažinti vandens nutekėjimo intensyvumą ir pailginti drėgmės išsilaikymo laiką užliejamose pievose.

Vandens lygio reguliavimo sprendinius rekomenduojama taikyti adaptuojant juos prie konkrečių hidrologinių metų sąlygų, ypatingą dėmesį skiriant pavasario–vasaros pereinamajam laikotarpiui.

Siekiant įvertinti ilgalaikį taikomų priemonių efektyvumą, ateityje tikslinga integruoti paviršinio ir gruntinio vandens sąveikos (geofiltracijos) modeliavimą.

Siūlomi sprendiniai gali būti naudojami kaip metodinis pagrindas planuojant gamtotvarkos priemones kitose Rytų Lietuvos žemumų upių salpose.

Literatūra

1. Junk, W. J., Bayley, P. B., & Sparks, R. E. (1989). The flood pulse concept in river-floodplain systems. *Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences*, 106, 110–127. https://doi.org/10.1007/978-94-017-2986-4_7
2. Schneider, C., et al. (2017). Floodplain restoration and hydrological connectivity. *Journal of Applied Ecology*, 54(4), 1179–1189. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12848>
3. Stonevičius, E., et al. (2014). Climate change impact on Lithuanian rivers runoff. *Baltica*, 27(1), 1–12. <https://doi.org/10.5200/baltica.2014.27.01>
4. Tanneberger, F., et al. (2008). Habitat requirements of Aquatic Warbler. *Biological Conservation*, 141(2), 305–316. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2007.09.016>
5. Végvári, Z., et al. (2015). Water regime effects on Aquatic Warbler habitats. *Wetlands Ecology and Management*, 23, 327–340. <https://doi.org/10.1007/s11273-014-9379-1>
6. Beven, K. (2012). *Rainfall-Runoff Modelling: The Primer*. Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9781119951001>
7. O'Connell, P. E., et al. (2007). Hydrological modelling and water resources systems. *Hydrological Sciences Journal*, 52(4), 689–700. <https://doi.org/10.1623/hysj.52.4.689>
8. Bates, P. D., & De Roo, A. P. J. (2000). A simple raster-based model for flood inundation simulation. *Journal of Hydrology*, 236(1–2), 54–77. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(00\)00278-X](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00278-X)
9. Tockner, K., & Stanford, J. A. (2002). Riverine flood plains: present state and future trends. *Environmental Conservation*, 29(3), 308–330. <https://doi.org/10.1017/S037689290200022X>
10. Opperman, J. J., et al. (2009). Sustainable floodplains through large-scale reconnection. *Science*, 326(5959), 1487–1488. <https://doi.org/10.1126/science.1178256>
11. Kriaučiūnienė, J., et al. (2016). Changes in Lithuanian river runoff under climate change. *Water*, 8(10), 453. <https://doi.org/10.3390/w8100453>
12. Kundzewicz, Z. W., et al. (2018). Flood risk and climate change. *Hydrological Sciences Journal*, 63(1), 1–28. <https://doi.org/10.1080/02626667.2017.1398446>
13. Horritt, M. S., & Bates, P. D. (2002). Evaluation of 1D and 2D flood inundation models. *Journal of Hydrology*, 268(1–4), 87–99. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(02\)00121-X](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(02)00121-X)
14. Neal, J., et al. (2012). Importance of surface water processes in flood modelling. *Water Resources Research*, 48, W06512. <https://doi.org/10.1029/2011WR011074>

HYDROLOGICAL CONDITIONS OF THE DYSNA RIVER FLOODPLAIN AND THEIR MANAGEMENT USING 2D HYDRODYNAMIC MODELING

Summary

Floodplain hydrological regimes play a crucial role in maintaining biodiversity and ecosystem functions, particularly in lowland river valleys. In recent decades, climate change and river regulation have altered natural flooding patterns, leading to shorter inundation periods and reduced soil moisture availability in floodplain meadows. This poses a significant challenge for the conservation of floodplain habitats and associated protected species.

This study assesses the hydrological regime of the right-bank floodplain of the Dysna River near Didžiasalis (Lithuania) and evaluates the potential of water level regulation measures to improve hydrological conditions for floodplain meadow habitats. An integrated methodological approach was applied, combining hydrological data analysis, water balance calculations, and two-dimensional (2D) hydrodynamic modelling using HEC-RAS 6.3.

Hydrological analysis based on data from the Kačergiškė gauging station revealed pronounced seasonal variability of river discharge, with decreasing intensity and duration of spring floods under average hydrological conditions. Water balance calculations for a mean-flow year (50% probability) indicated a negative annual balance of –119.3 mm, with the

largest water deficit occurring in late spring and early summer. Simulation of a regulated scenario, incorporating water level control structures (sluices) within the drainage network, reduced the annual water balance deficit by 27.36 mm, indicating improved moisture retention within the floodplain.

Results of the 2D hydrodynamic modelling demonstrated that floodplain inundation begins at relatively low discharges (approximately 5–6 m³/s); however, under existing conditions, inundation duration remains short-lived. Modelling identified hydraulically sensitive sections of the floodplain and drainage network where water level regulation is most effective. The proposed water retention structure upstream of the Maruga tributary was shown to increase water levels and prolong water retention in low-lying floodplain areas during the spring–early summer period without causing adverse effects upstream.

The findings confirm that the integration of hydrological analysis, water balance assessment, and 2D hydrodynamic modelling provides a robust framework for planning water level regulation measures aimed at sustaining floodplain meadow habitats under changing climatic conditions. The applied approach supports evidence-based decision-making for floodplain management and habitat conservation in lowland river systems.

Key words: Dysna River, floodplain hydrology, water balance, 2D hydrodynamic modeling, water level regulation, water level regulation devices (sluice gates), flooded meadows.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Vilda Grybauskienė

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras

Darbo vietą ir poziciją: Lietuvos inžinerijos kolegijos, docentė

Autoriaus mokslinių interesų sritys: vandens ir aplinkos inžinerija.

Telefonas ir el. pašto adresas: vilda.grybauskiene@lik.tech

Autoriaus vardas, pavardė: Gitana Vyčienė

Mokslo laipsnis ir vardas: magistras, lektorius

Darbo vietą ir poziciją: Lietuvos inžinerijos kolegijos, lektorė

Autoriaus mokslinių interesų sritys: vandens ir aplinkos inžinerija.

Telefonas ir el. pašto adresas: gitana.vyciene@lik.tech

ŽEMĖS ŪKIO NAUDMENŲ IR MIŠKŲ POKYČIAI EUROPOS SĄJUNGOS ŠALYSE

Vaiva Stravinskienė

Lietuvos inžinerijos kolegija

Anotacija

Lietuvoje yra atlikta nemažai tyrimų įvairiais žemės naudmenų pokyčių aspektais, tačiau trūksta sistemingo palyginimo su kitomis ES valstybėmis, kuo Lietuvos pokyčiai skiriasi nuo kitų ES šalių. Šio darbo tikslas – įvertinti Lietuvos ariamosios žemės, pievų ir miškų plotų pokyčius Europos Sąjungos kontekste. Tyrimo rezultatai atskleidė, kad Lietuvos miško naudmenų pokyčiai 2009–2022 m. laikotarpiu priskirtini vidutiniškai didėjančių teritorijų grupei, kurioje dominuoja dauguma Vidurio ir Šiaurės Europos valstybių. 2012–2022 m. Lietuva išsiskiria ES kontekste itin ryškiais ariamosios žemės ir pievų pokyčiais: fiksuojamas didžiausias pievų plotų sumažėjimas (-8,8 proc.) ir tuo pačiu didžiausias ariamosios žemės plotų padidėjimas (+6,2 proc.). Analizės rezultatai suteikia pagrindą tolimesniems tyrimams, kurie galėtų išsamiau nagrinėti regioninius skirtumus šalies viduje ir jų poveikį ilgalaikiam tvariam vystymuisi.

Reikšminiai žodžiai: Ariamoji žemė, pievos, miškai, žemės naudmenų pasikeitimai.

Ivadas

Žemės naudmenos apibrėžiamos kaip skirtingi žemės paviršiaus naudojimo ir dangos tipai, susiformuojantys dėl gamtinių procesų ir žmogaus ūkinės veiklos sąveikos (Turner et al., 2007; Lambin & Geist, 2006). Mokslinėje literatūroje dažniausiai išskiriamos tokios pagrindinės žemės naudmenų kategorijos kaip žemės ūkio naudmenos, miškai, dirbtinės (urbanizuotos) teritorijos, vandens telkiniai ir kitos natūralios ar pusiau natūralios teritorijos (Land., 2018; Eurostat, 2023).

Temos *aktualumas* - žemės naudmenų struktūra ir jos kaita laikoma vienu svarbiausių rodiklių, atspindinčių socioekonominius procesus, aplinkos būklę ir tvaraus vystymosi kryptis (Verburg et al., 2013). Dėl šios priežasties žemės naudmenų pokyčių analizė yra svarbi teritorijų planavimo ir kraštovaizdžio ekologijos tyrimų dalis. Mokslinė *problema* – Lietuvoje yra atlikta nemažai tyrimų įvairiais žemės naudmenų pokyčių aspektais, tačiau trūksta sistemingo palyginimo su kitomis ES valstybėmis, kuo Lietuvos pokyčiai skiriasi nuo kitų ES šalių.

Šio darbo tikslas – įvertinti Lietuvos žemės naudmenų pokyčius Europos Sąjungos kontekste. Tyrimo uždaviniai: 1. Nustatyti miškų, ariamosios žemės bei pievų pasikeitimus 2009–2022 metų laikotarpiu ES šalyse. 2. Palyginti Lietuvos žemės naudmenų pokyčius su ES šalimis. Darbo objektas – Europos Sąjungos šalių žemės naudmenų plotai. Tyrime analizuojami tik žemės ūkio naudmenų – ariamosios žemės bei pievų - ir miškų pasikeitimai. Darbe taikyti literatūros šaltinių analizės, palyginimo, loginio mąstymo tyrimo metodai. Naudojami Eurostat'o statistiniai žemės naudmenų 2009–2022 metų duomenys. Siekiant įvertinti miško naudmenų pokytį šalyse buvo taikyta k-vidurkių (k-means) klasterinė analizė. Lietuvos žemės naudmenų pokyčiams įvertinti buvo atliktas Laiko eilučių palyginimas (2009–2012–2015–2018–2022 metai). Pievų ir ariamosios žemės pokyčiai buvo vertinama 10 metų laikotarpiu (2012–2022), nes nebuvo pakankamai ankstesnių metų duomenų.

Žemės naudmenų pokyčių teoriniai aspektai

Moksliniuose tyrimuose pabrėžiama, kad žemės naudmenų pokyčius lemia kompleksinė veiksnių sistema, apimanti gamtinius, ekonominius, socialinius ir politinius veiksnius (Lambin et al., 2001; Meyfroidt et al., 2018). Intensyvėjant žemės ūkiui, dalis mažiau derlingų plotų tampa ekonomiškai nepatrauklus ir yra apleidžiami, sudarant prielaidas natūraliai miškų plėtrai (Keenleyside & Tucker, 2010). Lietuvos atveju empiriniai tyrimai rodo, kad pagrindiniai žemės naudmenų pokyčius lemiantys veiksniai yra žemės ūkio naudmenų apleidimas, urbanizacijos procesai, demografinė kaita ir instituciniai sprendimai. D. Juknelienė ir kt. (2021) nustatė, kad 1990–2018 m. laikotarpiu Lietuvoje vyko reikšminga žemės naudmenų transformacija, pasižymėjusi žemės ūkio naudmenų mažėjimu ir miško naudmenų plėtra, ypač mažiau derlingose ir periferiškose teritorijose. Tyrimo rezultatai rodo, kad šie pokyčiai glaudžiai susiję su socioekonominiais procesais po politinių ir ekonominių reformų, įskaitant žemės nuosavybės struktūros kaitą ir žemės ūkio restruktūrizaciją.

Teritorijų planavimo dokumentų analizė taip pat atskleidžia, kad žemės naudmenų kaita Lietuvoje ne visada yra nuosekliai valdoma. Tyrimas, atliktas Vilniaus rajono savivaldybėje, parodė, jog žemės ūkio naudmenų pokyčius dažnai lydi planavimo spragų, interesų konfliktų ir nepakankamos integracijos tarp sektorių problemos (Challenges., 2022).

Miško naudmenų kaita Lietuvoje yra vienas labiausiai ištirtų žemės naudmenų pokyčių aspektų. Istorinė analizė rodo, kad miškų plotų pokyčiai Lietuvoje pasižymėjo aiškiomis erdvinėmis tendencijomis jau XX a. antroje pusėje. D. Juknelienė ir G. Mozgeris (2015) nustatė, kad miško dangos plėtra vyko netolygiai,

labiausiai koncentruojantis rytinėje ir pietrytinėje šalies dalyse, kur vyrauja mažesnio našumo dirvožemiai. Naujesni tyrimai patvirtina, kad ši tendencija išliko ir XXI a. pradžioje. D. Juknelienė ir kt. (2021) bei D. Juknelienė ir kt. (2022) pabrėžia, jog miško naudmenų plėtra dažnai vyksta natūralaus užžėlimo būdu, o ne kryptingai vykdant miškų įveisimo programas. Tai turi tiesioginį poveikį žemės dangos natūralumui – pastaraisiais dešimtmečiais Lietuvoje fiksuojamas bendras natūralių ir pusiau natūralių teritorijų dalies didėjimas. V. Sadauskas ir D. Tiškutė-Memgaudienė (2022) nustatė, kad savivaldybėse, pasižyminčiose mažiausiu miškingumu, miško naudmenų didėjimas teigiamai veikia kraštovaizdžio ekologinį stabilumą, nors pokyčių tempai išlieka netolygūs.

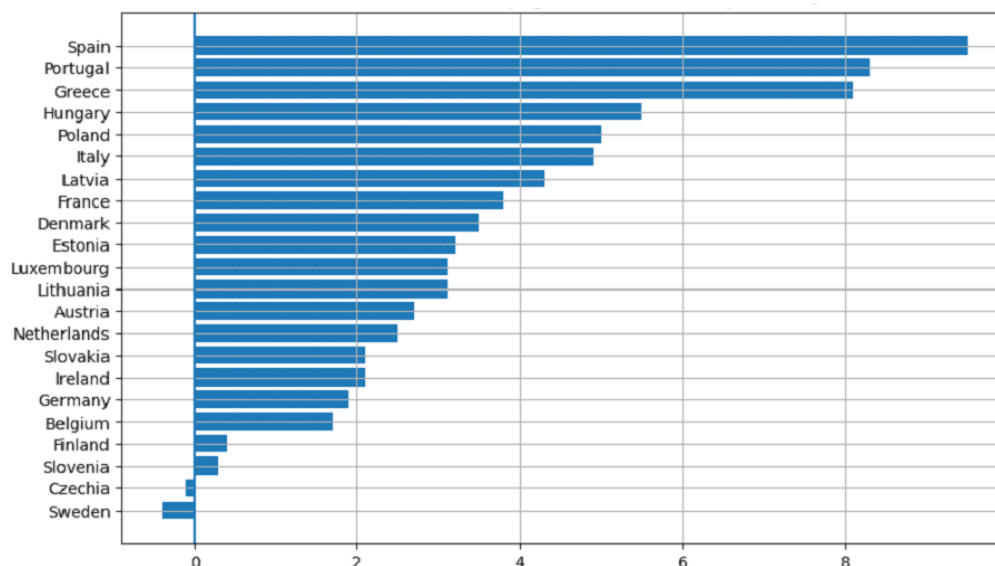
Svarbus vaidmuo tenka ir instituciniams bei politiniams veiksniams, ypač žemės naudojimo reguliavimui, aplinkosaugos politikai ir subsidijų sistemoms (Plieninger ir kt., 2016). Europos Sąjungos Bendroji žemės ūkio politika bei klimato kaitos švelninimo strategijos reikšmingai veikia žemės naudmenų struktūros pokyčius valstybėse narėse (The European., 2021). Miško naudmenų pokyčiai užima ypatingą vietą žemės naudmenų tyrimuose dėl miškų svarbos anglies kaupimui, biologinės įvairovės išsaugojimui ir ekosisteminių paslaugų teikimui (Pan ir kt., 2011; IPCC, 2019). Moksliniai tyrimai rodo, kad daugelyje Europos regionų pastaraisiais dešimtmečiais fiksuojamas miško naudmenų didėjimas, ypač teritorijose, kuriose mažėja tradicinė žemės ūkio veikla (Navarro & Pereira, 2012). Miško naudmenų plėtra dažnai siejama su žemės ūkio naudmenų apleidimu, kaimo gyventojų skaičiaus mažėjimu ir natūraliu miškų užžėlimu (Estel ir kt., 2015). Tuo tarpu šalyse, pasižyminčiose dideliu pradinio miškingumu, stebimas miško naudmenų stabilumas arba nedidelis mažėjimas, kurį lemia subalansuotas miškų naudojimas ir griežtas teritorijų planavimas (Forest Europe, 2020). Mokslinėje literatūroje pabrėžiama, kad miško naudmenų pokyčiai turėtų būti vertinami ne tik kiekybiniu, bet ir kokybiniu požiūriu, atsižvelgiant į miškų struktūrą ir ekologinę būklę (Puettmann ir kt., 2015).

Žemės naudmenų pokyčių tyrimuose plačiai taikomi statistiniai ir erdviniai metodai, leidžiantys analizuoti ilgalaikes kaitos tendencijas ir regioninius skirtumus (Pontius ir kt., 2008). Klasterinė analizė ir kiti daugiamačiai metodai dažnai naudojami siekiant identifikuoti šalių ar regionų grupes, pasižyminčias panašiais žemės naudmenų pokyčių modeliais (Anseeuw ir kt., 2012). Pastaraisiais metais vis didesnį vaidmenį įgauna nuotolinio stebėjimo duomenys ir geografinės informacinės sistemos, leidžiančios tiksliai stebėti žemės dangos transformacijas didelėse teritorijose (Wulder et al., 2018). Šių metodų integravimas su socioekonominiais duomenimis laikomas viena perspektyviausių kryptų žemės naudmenų tyrimuose (Verburg et al., 2015).

Žemės naudmenų pokyčių reikšmė tvariam vystymuisi Lietuvoje nagrinėjama ir per ekosisteminių paslaugų bei klimato kaitos švelninimo prizmę. Kazlauskaitė-Jadzevičė et al. (2021) nustatė, kad žemės naudmenų transformacija, ypač perėjimas nuo intensyvaus žemės ūkio prie miško ar pusiau natūralių naudmenų, reikšmingai prisideda prie organinės anglies kaupimo dirvožemyje, ypač lengvos granulometrinės sudėties dirvožemiuose. Nacionalinio masto žemės fondo analizė taip pat rodo struktūrinius pokyčius, susijusius su žemės naudmenų tvarumu. Puzienė (2024) pažymi, kad Lietuvos žemės fondo struktūra pastaraisiais dešimtmečiais tapo labiau orientuota į aplinkosauginius tikslus, tačiau išlieka regioninių skirtumų, kurie turi būti vertinami planuojant teritorinę plėtrą. Urbanizuotose teritorijose žemės naudmenų pokyčiai pasižymi specifinėmis trajektorijomis. Funkcinių miestų regionų analizė, paremta palydoviniais duomenimis, rodo, kad Klaipėdos, Kauno ir Vilniaus aglomeracijose spartėjanti urbanizacija daro reikšmingą poveikį žemės ūkio naudmenų mažėjimui ir kraštovaizdžio fragmentacijai (Land use changes., 2025).

Rezultatai

Siekiant nustatyti miškų kitimo tendencijas Europos Sąjungos šalyse, procentiniais punktais apskaičiuotas šių teritorijų pokytis (1 pav.). 2009–2022 m. laikotarpiu Europos Sąjungos valstybėse stebimos miško naudmenų dalies pokyčių tendencijos, rodančios ryškius regioninius skirtumus. Daugumoje šalių miško plotai didėjo, tačiau pokyčio dydis ir kryptis reikšmingai skyrėsi tarp valstybių. Didžiausia miško naudmenų dalis viso analizuojamo laikotarpio metu būdinga Šiaurės ir Baltijos šalims (Suomija, Švedija, Estija, Latvija, Slovėnija), tuo tarpu Vakarų ir Pietų Europoje pradiniai miško naudmenų rodikliai buvo žemesni, tačiau kai kuriose šalyse stebėtas didesnis miško teritorijų padidėjimas.



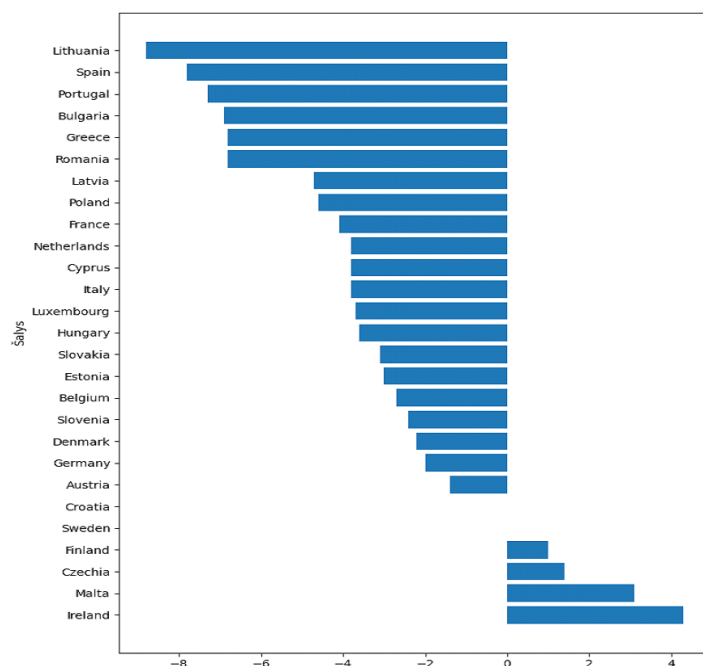
1 pav. Miško naudmenų pokytis 2009–2022 metais (procentiniais punktais) Europos Sąjungos šalyse
Šaltinis: sudaryta autorės pagal Eurostat duomenis (Land cover., 2025)

ES valstybių grupavimas pagal miško naudmenų pokyčius 2009–2022 m. atskleidžia aiškų Šiaurės ir Pietų Europos kontrastą. Pietų Europos šalys pasižymi sparčiausiu miško naudmenų didėjimu: Ispanija (9,2 proc.), Portugalija (8,3 proc.), Graikija (8,1 proc.), tuo tarpu Šiaurės ir Vidurio Europoje vyrauja stabilios arba nežymiai mažėjančios tendencijos: Lietuva (3,1), Austrija (2,7 proc.).

Siekiant identifikuoti bendrus ES valstybių miško naudmenų kaitos modelius, buvo atlikta k-vidurkių (k-means) klasterinė analizė, taikant vieną kintamąjį – miško naudmenų dalies pokytį (proc. punktais) 2009–2022 m. laikotarpiu. Analizės metu išskirti trys klasteriai atspindintys skirtingas miško naudmenų kaitos tendencijas. Pirma grupė šalių, kuriose miško naudmenų dalis mažėjo arba išliko beveik nepakitusi. Šiai grupei priskiriamos Švedija, Suomija, Slovėnija ir Čekija (1 pav.). Šios valstybės pasižymi labai didele pradine miško naudmenų dalimi, ribotomis galimybėmis tolesnei miškų plėtrai. Antrąją grupę šalių sudaro didžiausia ES valstybių dalis, kuriai būdingas nuosaikus miško naudmenų dalies didėjimas. Šiai grupei priskiriamos Vokietija, Prancūzija, Belgija, Nyderlandai, Austrija, Liuksemburgas, Airija, taip pat Baltijos šalys – Lietuva, Latvija ir Estija. Šios grupės šalims būdinga vidutinė arba aukšta pradinė miško naudmenų dalis, tolygi miškų plėtra. Lietuva šiame klasteryje išsiskiria nuosekliu miško naudmenų didėjimu iki 2018 m., po kurio stebimas nedidelis sumažėjimas, tačiau bendra tendencija išlieka teigiama. Lietuvos miškų pokyčiai yra panašūs į Latvijos ir Estijos pokyčius, tačiau absoliuti miško naudmenų dalis išlieka mažesnė nei kaimyninėse šalyse. Trečiąją grupę apima valstybės, kuriose fiksuotas didelis miško naudmenų augimas. Šiai grupei priskiriamos Ispanija, Portugalija, Graikija, Italija, Lenkija ir Vengrija (1 pav.). Šio klasterio šalims būdingos šios tendencijos: santykinai mažesnė pradinė miško naudmenų dalis, reikšmingas žemės ūkio naudmenų apleidimas, natūralus miškų užžėlimas ir (ar) kryptinga miškininkystės politika. Ypač ryškus miško naudmenų augimas stebimas Pietų Europos šalyse, kur miškų plėtra dažnai susijusi su kaimo depopuliacija ir žemės ūkio veiklos mažėjimu.

Nors miško naudmenų dalis Lietuvoje didėjo, jos augimo tempai yra mažesni nei Pietų Europos šalyse, tačiau didesni arba panašūs į Vakarų Europos vidurkį. Tai leidžia teigti, kad Lietuvos miško naudmenų kaita atspindi vidutinę ES tendenciją, o ne kraštutinius miškų plėtros ar nykimo scenarijus. Šio tyrimo rezultatai atskleidė, kad Lietuvos miško naudmenų pokyčiai 2009–2022 m. laikotarpiu priskirtini vidutiniškai didėjančių teritorijų grupei, kurioje dominuoja dauguma Vidurio ir Šiaurės Europos valstybių. Tokia Lietuvos pozicija rodo, jog šalies žemės naudmenų raida iš esmės atitinka bendras Europos Sąjungos tendencijas, tačiau kartu pasižymi tam tikrais regioniniais ypatumais.

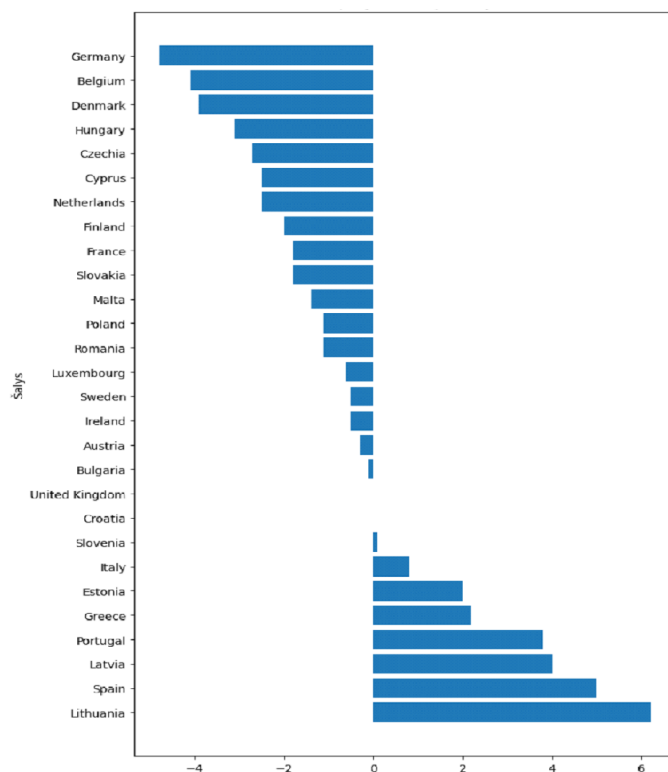
Žemės ūkio naudmenų pokyčiai taip pat nemaži visose šalyse. Išanalizavus 10 metų laikotarpio pievų pasikeitimus, nustatyta, kad daugiausia pievų sumažėjo Lietuvoje (-8,8 proc.). Ispanijoje (-7,8), Portugalijoje (-7,30), Bulgarijoje (-6,90), Graikijoje ir Rumunijoje po (-6,80) (2 pav.).



2 pav. Pievų pokyčiai 2012-2022 metais (procentiniais punktais)
Šaltinis: sudaryta autorės pagal Eurostato duomenis (Land cover, 2025)

Natūralių pievų mažėjimas gali turėti ir neigiamų pasekmių, kaip biologinei įvairovei, dirvožemio anglies kaupimui. Šalys, kuriose pievų plotas padidėjo – tai Airija (4,30 proc.), Malta (3,10 proc.), Čekija (1,4 proc.), Suomija (1 proc.).

Ariamosios žemės plotas 2012-2022 metais Lietuvoje padidėjo daugiausia (+6,2 %) iš visų ES šalių. Portugalijoje, Latvijoje ir Ispanijoje ariamosios žemės padidėjo atitinkamai +3,8; +4,0; +5,0 procentiniu punktu (3 pav.).



3 pav. Ariamosios žemės pokyčiai 2012-2022 metais procentiniais punktais
Šaltinis: sudaryta autorės pagal Eurostato duomenis (Land cover, 2025)

Kadangi pievų Lietuvoje sumažėjo, o ariamosios žemės padidėjo panašiu procentiniu dydžiu, galima daryti prielaidą, kad Lietuvoje vyko pievų pavertimas ariamąja žeme, o ne tiesiog bendras žemės ūkio plėtimasis. Daugelyje Vakarų ir Šiaurės Europos šalių tuo pačiu laikotarpiu ariamosios žemės plotai mažėjo arba išliko stabilūs.

Ariamosios žemės plotų mažėjimas rodo struktūrinius žemės naudojimo pokyčius, susijusius su ūkininkavimo intensyvumo mažėjimu, aplinkosauginių priemonių įgyvendinimu arba žemės ūkio veiklos perskirstymu. Žemės ūkiui tai reiškia tiek ekologinę naudą, tiek galimą produkcijos potencialo mažėjimą, priklausomai nuo regioninio ir institucinės aplinkos konteksto. Daugiausia ariamosios žemės sumažėjo Vokietijoje (-4,8), Belgijoje (-4,1), Danijoje (-3,9), Vengrijoje (-3,1) procento (3 pav.).

2012–2022 m. Lietuva išsiskiria ES kontekste itin ryškiais ariamosios žemės ir pievų pokyčiais: fiksuojamas didžiausias pievų plotų sumažėjimas ir tuo pačiu didžiausias ariamosios žemės plotų padidėjimas. Tai leidžia daryti prielaidą, kad pievos buvo intensyviai konvertuojamos į ariamąją žemę, o šis procesas Lietuvoje vyko sparčiau nei daugumoje kitų ES šalių.

Žemės naudmenų pokyčiai yra glaudžiai susiję su darnaus vystymosi tikslais, ypač klimato kaitos švelninimu, biologinės įvairovės apsauga ir maisto saugumu (UN, 2015; IPBES, 2019). Netvarūs žemės naudojimo sprendimai gali lemti dirvožemio degradaciją, ekosistemų fragmentaciją ir didesnes šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas (Foley et al., 2011). Todėl moksliniuose tyrimuose pabrėžiama būtinybė integruoti žemės naudmenų analizę į teritorijų planavimo ir aplinkosaugos politikos formavimą (OECD, 2021). Ilgalaikė, duomenimis pagrįsta žemės naudmenų stebėseną, leidžia ne tik įvertinti praeities pokyčius, bet ir modeliuoti galimas ateities vystymosi trajektorijas (Lambin & Meyfroidt, 2011). Nepaisant bendrų ES žemės naudojimo ir aplinkosaugos tikslų, 2012–2022 m. laikotarpiu kai kuriose šalyse, ypač Lietuvoje, fiksuojami itin spartūs pievų plotų mažėjimo ir ariamosios žemės didėjimo procesai, kurių mastas ir priežastys ES kontekste išlieka nepakankamai ištirti. Apibendrinant galima teigti, kad Lietuvos žemės naudmenų raida ES kontekste pasižymi stabilumu ir nuoseklumu, tačiau ateityje reikalaus tikslingesnių politikos sprendimų, ypač teritorijų planavimo ir miškų valdymo srityse. Analizės rezultatai suteikia pagrindą tolimesniems tyrimams, kurie galėtų išsamiau nagrinėti regioninius skirtumus šalies viduje ir jų poveikį ilgalaikiam tvariam vystymuisi.

Išvados

1. ES valstybių grupavimas pagal miško naudmenų pokyčius 2009–2022 m. atskleidė aiškų Šiaurės ir Pietų Europos kontrastą. Pietų Europos šalys pasižymi sparčiausiu miško naudmenų didėjimu: Ispanija (9,2 proc.), Portugalija (8,3 proc.), Graikija (8,1 proc.), tuo tarpu Šiaurės ir Vidurio Europoje vyrauja stabilios arba nežymiai mažėjančios tendencijos: Lietuva (3,1), Austrija (2,7 proc.). Išanalizavus 10 metų laikotarpio pievų pasikeitimus, nustatyta, kad daugiausia sumažėjo pievų Lietuvoje (-8,8 proc.). Ispanijoje (-7,8 proc.), Portugalijoje (-7,30 proc.), Bulgarijoje (-6,90 proc.), Graikijoje ir Rumunijoje po (-6,80 proc.). Šalys, kuriose pievų plotas padidėjo – tai Airija (4,30 proc.), Malta (3,10 proc.), Čekija (1,4 proc.), Suomija (1 proc.). Ariamosios žemės plotai padidėjo tik aštuoniose ES šalyse, tarp jų ir Lietuvoje. Likusiose šalyse ariamosios žemės plotai mažėjo: Vokietijoje (-4,8), Belgijoje (-4,1), Danijoje (-3,9), Vengrijoje (-3,1) procento.

2. Tyrimo rezultatai atskleidė, kad Lietuvos miško naudmenų pokyčiai 2009–2022 m. laikotarpiu priskirtini vidutiniškai didėjančių teritorijų grupei, kurioje dominuoja dauguma Vidurio ir Šiaurės Europos valstybių. 2012–2022 m. Lietuva išsiskiria ES kontekste itin ryškiais ariamosios žemės ir pievų pokyčiais: fiksuojamas didžiausias pievų plotų sumažėjimas (-8,8 proc.) ir tuo pačiu didžiausias ariamosios žemės plotų padidėjimas (+6,2 proc.).

Literatūra

1. Anseeuw, W., Boche, M., Breu, T., Giger, M., Lay, J., Messerli, P., & Nolte, K. (2012). Transnational land deals for agriculture in the Global South: Analytical report based on the Land Matrix database. Centre for Development and Environment (CDE), CIRAD, GIGA, ILC
2. Challenges and problems of agricultural land use changes in Lithuania according to territorial planning documents: Case of Vilnius district municipality. (2022) Land Use Policy, 117, 106125.
3. Estel, S., Kuemmerle, T., Alcántara, C., Levers, C., Prishchepov, A. V., & Hostert, P. (2015). Mapping farmland abandonment and recultivation across Europe using MODIS NDVI time series. Remote Sensing of Environment, 163, 312–325.
4. Foley, J. A., Ramankutty, N., Brauman, K. A., et al. (2011). Solutions for a cultivated planet. Nature, 478(7369), 337–342.
5. Forest Europe. (2020). State of Europe's Forests 2020. Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe.
6. IPCC. (2019). Climate Change and Land: An IPCC Special Report. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change.

7. Juknelienė, D., & Mozgeris, G. (2015). The spatial pattern of forest cover changes in Lithuania during the second half of the twentieth century. *Žemės ūkio mokslai*, 22(4), 209–215.
8. Juknelienė, D., Česonienė, L., Jonikavičius, D., Šileikienė, D., Tiškutė-Memgaidienė, D., Valčiukienė, J., & Mozgeris, G. (2022). Development of land cover naturalness in Lithuania on the edge of the 21st century: trends and driving factors. *Land*, 11(3), 339. <https://doi.org/10.3390/land11030339>
9. Juknelienė, D., Kazanavičiūtė, V., Valčiukienė, J., Atkocevičienė, V., & Mozgeris, G. (2021). Spatiotemporal patterns of land-use changes in Lithuania. *Land*, 10(6), 619. <https://doi.org/10.3390/land10060619>
10. Kazlauskaitė-Jadzevičė, A., Tripolskaja, L., Volungevičius, J., & Bakšienė, E. (2021). Impact of land use change on organic carbon sequestration in Arenosol. *Agricultural and Food Science*.
11. Keenleyside, C., & Tucker, G. M. (2010). *Farmland Abandonment in the EU: An Assessment of Trends and Prospects*. Report prepared for WWF Netherlands. Institute for European Environmental Policy, London
12. Lambin, E. F., & Geist, H. J. (2006). *Land-Use and Land-Cover Change: Local Processes and Global Impacts*.
13. Lambin, E. F., & Meyfroidt, P. (2011). Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(9), 3465–3472.
14. Lambin, E. F., Turner, B. L., Geist, H. J., et al. (2001). The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change*, 11(4), 261–269.
15. Land cover and land use statistics. (2023). Eurostat. European Commission
16. Land Cover Classification System (LCCS) – Version 3. (2018). FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
17. Land cover overview by NUTS 2 region. (2025). Eurostat. An official website of the European Union. Prieiga per internetą: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/lan_lcv_ovw/default/table?lang=en
18. Land use changes in Klaipėda, Kaunas, and Vilnius functional urban areas – evidence from satellite imagery. (2025). Geocarto International
19. Meyfroidt, P., Rudel, T., & Lambin, E. (2018). Forest transitions, trade, and the global displacement of land use. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(20), 8016–8021.
20. Navarro, L. M., & Pereira, H. M. (2012). Rewilding abandoned landscapes in Europe. *Ecosystems*, 15(6), 900–912.
21. OECD. (2021). *Territorial Outlook 2021: Towards Stronger Regions and Cities*. OECD Publishing
22. Pan, Y., Birdsey, R. A., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P. E., Kurz, W. A., Phillips, O. L., Shvidenko, A., Lewis, S. L., Canadell, J. G., Ciais, P., Jackson, R. B., Pacala, S. W., McGuire, A. D., Piao, S., Rautiainen, A., Sitch, S., & Hayes, D. (2011). A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science*, 333(6045), 988–993.
23. Plieninger, T., Draux, H., Fagerholm, N., Bieling, C., Bürgi, M., Kizos, T., Kuemmerle, T., Primdahl, J., & Verburg, P. H. (2016). The driving forces of landscape change in Europe: A systematic review of the evidence. *Land Use Policy*, 57, 204–214.
24. Pontius, R. G., Huffaker, D., & Denman, K. (2008). Useful techniques of validation for spatially explicit land-change models. *Ecological Modelling*, 197(1), 158–168.
25. Puettmann, K. J., Wilson, S. M., Baker, S. C., Donoso, P. J., Drössler, L., Amente, G., Harvey, B. D., Knoke, T., Lu, Y., Nocentini, S., Putz, F. E., Yoshida, T., & Bauhus, J. (2015). Silvicultural alternatives to conventional even-aged forest management — what limits global adoption? *Forest Ecosystems*, 2.
26. Puzienė, R. (2024). Analysis of the land fund of the Republic of Lithuania. *Baltic Surveying*, 20(20).
27. Sadauskas, V., & Tiškutė-Memgaidienė, D. (2022). Study of changes in forest land areas and ecological stability in municipalities of Lithuania with the lowest forest cover. In *Young Scientist 2022: Conference Proceedings* (pp. 466–471). Vytauto Didžiojo universitetas.
28. The European Green Deal and Common Agricultural Policy (2021). European Commission. Brussels.
29. Turner, B. L. II, Lambin, E. F., & Reenberg, A. (2007). The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(52), 20666–20671. <https://doi.org/10.1073/pnas.0704119104>
30. UN. (2015). *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. United Nations.
31. Verburg, P. H., Erb, K.-H., Mertz, O., & Espindola, G. (2013). Land system science: between global challenges and local realities. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5(5), 433–437.
32. Verburg, P. H., van de Steeg, J., Veldkamp, T., & Willemen, L. (2015). *Land System Science: Between Global Challenges and Local Realities*. Cambridge: Cambridge University Press.
33. Wulder, M. A., Coops, N. C., Roy, D. P., White, J. C., & Hermosilla, T. (2018). Land Cover 2.0. *International Journal of Remote Sensing*, 39(12), 4254–4284

CHANGES IN AGRICULTURAL LAND USE AND FOREST IN EUROPEAN UNION COUNTRIES

Summary

A number of studies have been conducted in Lithuania on various aspects of land use change, but there is a lack of systematic comparison with other EU countries to show how Lithuania's changes differ from those in other EU countries. The aim of this study is to assess changes in Lithuania's arable land, grassland, and forest areas in the context of the European Union. The results of the study revealed that changes in Lithuanian forest land use in the period 2009–2022 can be classified as belonging to the group of areas with average growth, which is dominated by most Central and Northern European countries. In the period 2012–2022, Lithuania stands out in the EU context with particularly marked changes

in arable land and grassland: the largest decrease in grassland area (-8.8%) and, at the same time, the largest increase in arable land area (+6.2%) have been recorded. The results of the analysis provide a basis for further research that could examine in more detail the regional differences within the country and their impact on long-term sustainable development.

Key words: arable land, meadows, forests, changes in land use.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Vaiva Stravinskienė

Mokslo laipsnis ir vardas:

Darbo vieta ir pozicija: Lietuvos inžinerijos kolegijos, Aplinkos inžinerijos fakulteto lektorė.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: žemės naudmenų kaita bei naudojimas.

Telefonas ir el. pašto adresas: 0 69873557, vaiva.stravinskiene@lik.tech

INŽINERIJOS MOKSLŲ KRYTIS

IDENTIFICATION OF PARAMETERS FOR A DRIVE DYNAMIC MODEL WITH AN ELASTIC COUPLING IN THE MATLAB/SIMULINK ENVIRONMENT

Igor Iljin

Vilnius Gediminas Technical University

Abstract

This paper proposes a methodology for identifying the parameters of a mechatronic system based on experimental data obtained using a digital oscilloscope, as well as for optimizing system parameters through simulation in MATLAB/Simulink. Particular attention is paid to the identification stages, during which the coupling parameters, the moment of inertia, and the friction and stiffness coefficients for a single-mass dynamic model were sequentially determined. The research results confirm the practical applicability of the proposed method for diagnosing and improving industrial equipment.

Key words: Mechatronics, Oscilloscope, Simulation, MATLAB/Simulink, Diagnostics

Introduction

In the context of growing competition and the need to improve production efficiency, the implementation and adaptation of new technologies, particularly in the field of mechatronic systems, are becoming key factors for a company's success.

Diagnosis, improvement, and repair of these devices requires knowledge of their dynamic properties, the patterns of oscillatory processes, and their control principles. A rapid way to solve these problems is by using mathematical models of systems and processes.

The purpose of this work is to determine the possibility of identifying the parameters of a mechatronic system by measuring the voltage on the motor armature and the tachogenerator using a digital oscilloscope

Modelling Principles and the Concept of Identification

Mathematical models are approximate representations of reality, useful for solving applied problems, analysing a system's response to disturbances, and studying dynamics under extreme conditions. Based on their construction method, the models are divided into three groups:

Theoretical Models: These are based on fundamental conservation laws and principles of physics. They can simulate processes across a wide range of variable changes.

Empirical Models: These are created solely from experimental data. Their capabilities are limited to the range within which the experiments were conducted.

Semi-Empirical (Hybrid) Models: These are formed by combining known theoretical laws with data obtained from experiments.

When the dynamic process itself is unknown and its characteristics are determined solely from its response to input signals (identification is based on input $u(t)$ and output $y(t)$ data), the method is called process identification (Augustaitis V. et al., 2011; Iljin I., 2000).

Discussions on the identification of dynamic systems began around the sixth decade of the twentieth century. Many theoretical algorithms for system identification and parameter estimation were proposed, but their potential applications and limitations were less explored. Operational experience with various equipment confirms the critical importance of understanding the dynamic processes that occur within them (Mikleš, et al.;). Since real objects and their parameters are usually not perfectly known, further research is based on using mathematical models of these processes.

Simulation not only promotes a better understanding of how systems function, but also allows one to predict system behaviour (Chaturvedi, D.K., 2017) and to precisely analyse systems under various operating conditions.

This research employs a method to find the dynamic parameters of a model by minimising the differences between the output signals of the real object and its Simulink model under identical input signals. The analysis of dynamic characteristics of similar rotor systems with flexible couplings has been conducted by many authors (Augustaitis V., 2000; Daunoras J., 2001).

For example, the work (Al-Hussain, K.M., 2003) examines the influence of misalignment on the stability of two rotors connected by a flexible mechanical coupling and subject to angular misalignment. Stability conditions are presented graphically for a deeper understanding of the influence of flexible coupling stiffness and angular misalignment on the stability of rotating machinery.

Furthermore, the study (Mukherjee S., et al., 2024) investigates the influence of a flexible disc coupling on the dynamics of a misaligned shaft. The coupling is modelled as a set of viscoelastic elements having

restoring and damping properties. The equation for the composite shaft is derived using the finite element method.

In the study (Zhou, J., et al., 2025), a model with five degrees of freedom was proposed, accounting for this interaction and integrated into the "support-bearing-rotor" system.

In a number of studies, the flexible coupling in rotor systems is considered merely as an extension of the shaft or is ignored altogether, which does not reflect the real system dynamics. A more accurate approach involves modelling the coupling while accounting for its influence on vibrational characteristics at different rotational speeds and levels of unbalance. However, this is typically done using the finite element method (Lingxuan, L., et al., 2015).

The sensitivity analysis of elastic couplings to the frequency characteristics of mechanical systems remains a relevant task. Research has considered the influence of key parameters, including shaft and bearing stiffness, as well as coupling characteristics (Bouslema, M., et al., 2022). The sensitivity of the model to changes in the parameters of the interface has been noted, emphasising the need for their accurate accounting in structural analysis.

Flexible couplings are used to transmit power between two shafts and can more realistically compensate for a combination of parallel, axial, and angular misalignments between them than other types. The presence of a certain degree of misalignment is considered inevitable. The coupling also reduces the transmission of torque and speed fluctuations from one rotor to another due to its flexibility, ensuring a smoother power transmission. However, the dynamic behaviour of the rotors also depends on the characteristics of the coupling, as it incorporates a flexible, damped intermediate element between the connected shafts (Aggarwal, M., et al., 2019).

In the work (Yu, Y., et al., 2023), the authors establish a theoretical foundation for the design and analysis of flexible multi-diaphragm couplings. These couplings are used as power transmission elements and account for axial and radial misalignment. To account for manoeuvre loads in a non-inertial reference frame, coupled differential equations for bending, pendulum motion, and axial deformation were formulated using the Lagrange method.

Optimisation and the Objective Function

The parameter identification process is inherently related to optimisation, the goal of which is to find the best possible solution. In the context of modelling, optimisation involves searching for parameters that minimise an objective function.

In this study, the objective function is used to quantitatively compare the experimental results with the results obtained from the Simulink model.

Experimental Methodology

The research was conducted on a test bench described in (Iljin, I., 2021), which includes an offset printing machine (3), a DC motor (2), and an adjustable rectifier (1) (Fig. 1). A "Velleman PCSU1000" digital oscilloscope (4) connected to a computer (5) was used for data acquisition. The oscilloscope measured the input voltage (voltage across the motor armature) and the output voltage (voltage generated by the tachogenerator).

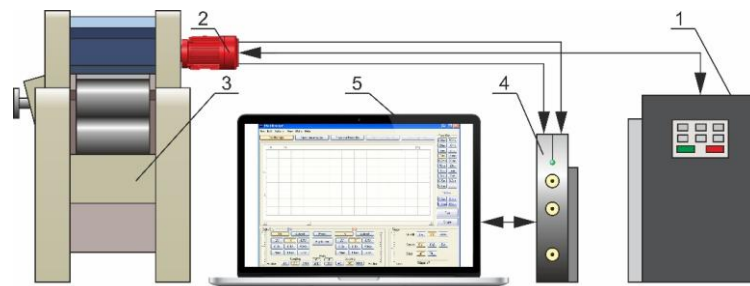


Fig. 1. Overview of the equipment used for the research: 1 – adjustable DC rectifier; 2 – DC motor; 3 – "Rotaprint R40SY" offset printing machine; 4 – "Velleman PCSU1000" digital oscilloscope; 5 – computer.

Source: compiled by the author

The experiment was conducted using a hollow rubber coupling, the coupling rotating and the shaft stopped. Only the coupling parameters (stiffness and damping) are investigated during the motor-driven

operation of the mechanism, where motor start-up and shutdown are measured by switching the electric current on and off. MATLAB/Simulink is used for modelling.

Stages of Modelling in Simulink

Modelling in the MATLAB/Simulink environment involves the following stages:

1. Creating a dynamic model and defining the numerical values of its parameters.
2. Formulating a system of equations and the corresponding block diagram.
3. Creating a Simulink diagram, which is a graphical representation of the block diagram.
4. Iterative verification and adjustment of the model: assigning preliminary numerical values to the model parameters and modifying them until the simulation output closely matches the oscilloscope data.
5. Verifying the adequacy of the model (ensuring that the simulated processes correspond to the real processes).
6. Finding the optimal values of the numerical parameters for each experiment.
7. Analyse the results and perform a final adequacy cheque.

In previous stages (Iljin, I., 2021), the following motor parameters were determined, which were used as initial data for further modelling.

Stages of Parameter Identification

Identification was carried out sequentially: determining the parameters of the motor winding, determining the parameters of the motor rotor, determining the parameters of the coupling connecting the motor to the machine, and determining the parameters of the dynamic model itself.

In the third stage, the coupling parameters were determined: the stiffness coefficient c_m and the damping coefficient r_m . For this step, the motor armature must rotate freely and be mechanically connected to the machine through the flexible coupling. The machine is locked so that the motor rotor can only turn as far as the deformation of the coupling allows. The oscilloscope records the input and output signals. The input signal is the voltage across the motor winding, and the output signal is the voltage generated by the tachogenerator (Fig. 2).

For processing the data obtained from the text file in MATLAB, the universal function txt2Uv is used, which is applied at each subsequent stage. Specifies the location of the input and output signal values and presents the results graphically:

```
function y = txt2Uv (filin, U0, ome0, Mt, MUv, Mome, dUv, dome)
%function y = txt2Uv (filin, U0, ome0, Mt, MUv, Mome, dUv, dome)
t = filin (:, 1)*Mt;
Uom = (filin (:, 3)-ome0)*Mome;
obmin = Uom*1000/15;
om = obmin/60*pi+dome; %1/sec
Uv = -(filin(:, 2)-U0)*MUv+dUv; %Volt
filout (:,1) = t;
filout (:, 2) = Uv;
filout (:, 3) = om;
figure
subplot (311); plot (t, Uv)
grid on;
subplot (212); plot (t, om)
grid on;
y = filout;
```

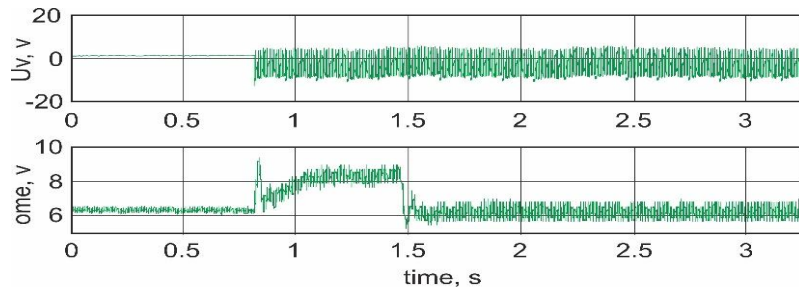


Fig. 2. Experimental data plots on real scale. U_v - motor voltage plot, ome - tachogenerator voltage plot.

Source: compiled by the author

The script "Exp3dat9" sets the motor parameters for further modelling and analysis:

```
clear; clc; format compact
disp ('---Exp3datK9---')
VCL3p = importdata ('K93up.mat');
ome = VCL3p (:, 3);
Uv = VCL3p (:, 2);
t = VCL3p (:, 1);
R2 = [t, ome] ;
S2 = [t, Uv] ;
cm1 = 3,05
cm2 = 4,5
rm1 = 0,033
rm2 = 0,08
gm1 = 0,1285
C = 0,7090
Ra = 1,4
La = 0,0022
Jr = 0,00765
```

The generalised model "Exp3modK9" (Fig. 3) consists of two subsystems: "Drive_001" (the motor model, Fig. 4 and Fig. 5) and "Mp2" (the coupling model, Fig. 6). These are fragments of the Simulink programme, designed using grouped blocks. In the figure, the internal structure of the subsystems is not displayed; only the input and output ports are shown. This simplifies the model representation.

The "From Workspace" block is used to generate an input signal for the model with the required shape and parameters. The element's parameters are set using a standard format matrix $[t, Uv]$, which is generically named "S2" in the "Exp3dat9" programme. This signal is fed into the generalised block "Drive_001". A connection is made from the rotor's angle of rotation (Fir) to the coupling. The other end of the coupling is fixed (that is, $fi2 = 0$).

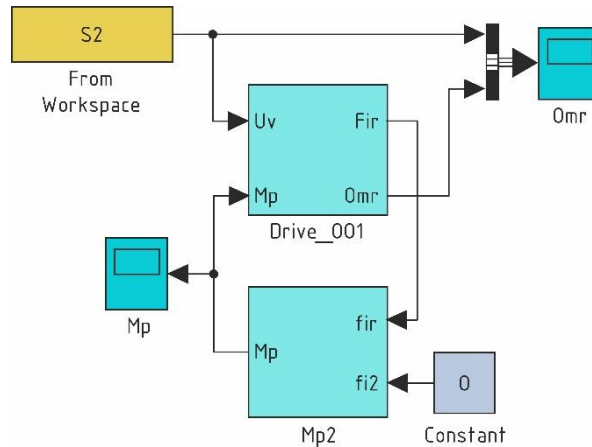


Fig. 3. Model of the object "Exp3modK9" with a locked mechanism (linear friction).
Source: compiled by the author

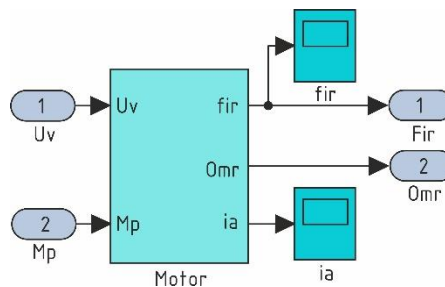


Fig. 4. Subsystem "Drive_001" of the Simulink model "Exp3modK9".
Source: compiled by the author

axis tight; grid on
 ylabel ('ome-omm')
 xlabel ('time, s')

Four plots are generated, reflecting the dynamics of the model parameters (Fig. 7):

plot(t, Uv) - a plot showing the change in motor voltage over time (input signal).

plot(t, omm) - a plot demonstrating the simulated tachogenerator voltage over time (model output signal).

plot(t, ome) - a plot representing the experimentally obtained tachogenerator voltage over time.

plot(t, form) - a plot illustrating the deviation between the experimental and model values of the motor's angular velocity over time.

Where:

ome is the angular velocity of the motor obtained experimentally.

siom is the average value of the motor's angular velocity according to the model.

The form is the difference between the experimental and model values of the angular velocity.

Sform is the sum of squared deviations.

Forma = $\sqrt{\text{Sform} / \text{length}(\text{omm}) / \text{siom}}$ is the conformity criterion, calculated as the square root of the sum of squared deviations, divided by the length of the data series and the average model speed.

The axis labels are set using the xlabel and ylabel commands.

The results of the parameter search are summarised in Table 1.

Table 1

Parameter search results for model „Exp3datK9”

cm1	cm2	rm1	rm2	gm1	C	Ra	La	Jr	Forma 10 ⁻³
3,8	5,00	0,04	0,05	0,1	0,7003	1,44	0,0022	0,006	51,5
3,4	5,00	0,04	0,05	0,1	0,7003	1,44	0,0022	0,006	38,0
3,1	5,00	0,04	0,05	0,1	0,7003	1,44	0,0022	0,006	29,6
2,9	5,00	0,04	0,05	0,1	0,7003	1,44	0,0022	0,006	25,5
2,9	4,80	0,04	0,05	0,1	0,7003	1,44	0,0022	0,006	25,3
2,9	4,60	0,04	0,05	0,1	0,7003	1,44	0,0022	0,006	25,1
2,9	4,30	0,04	0,05	0,1	0,7003	1,44	0,0022	0,006	24,8
2,9	4,3	0,03	0,05	0,1	0,7003	1,44	0,0022	0,006	23,2
2,9	4,3	0,025	0,05	0,1	0,7003	1,44	0,0022	0,006	23,9
2,9	4,3	0,025	0,06	0,1	0,7003	1,44	0,0022	0,006	23,8
2,9	4,3	0,025	0,07	0,1	0,7003	1,44	0,0022	0,006	23,8
2,9	4,3	0,025	0,08	0,1	0,7003	1,44	0,0022	0,006	23,8
2,9	4,3	0,025	0,08	0,11	0,7003	1,44	0,0022	0,006	22,4
2,9	4,3	0,025	0,08	0,12	0,7003	1,44	0,0022	0,006	21,5
2,9	4,3	0,025	0,08	0,12	0,705	1,44	0,0022	0,006	21,3
2,9	4,3	0,025	0,08	0,12	0,709	1,44	0,0022	0,006	21,2
2,9	4,3	0,025	0,08	0,12	0,709	1,44	0,0022	0,007	18,1
2,9	4,3	0,025	0,08	0,12	0,709	1,44	0,0022	0,0074	17,5
2,9	4,3	0,025	0,08	0,12	0,709	1,44	0,0022	0,0076	17,3
2,9	4,3	0,025	0,08	0,125	0,709	1,44	0,0022	0,0076	17,2
2,9	4,3	0,027	0,08	0,1285	0,709	1,44	0,0022	0,0076	17,1

Source: compiled by the author.

The most optimal parameters were obtained from "Exp5datK9": cm1 = 2.9; cm2 = 4.3; rm1 = 0.027; rm2 = 0.0800; gm1 = 0.125; C = 0.7090; Ra = 1.44; La = 0.0022; Jr = 0.0076; Forma = $17.1 \cdot 10^{-3}$.

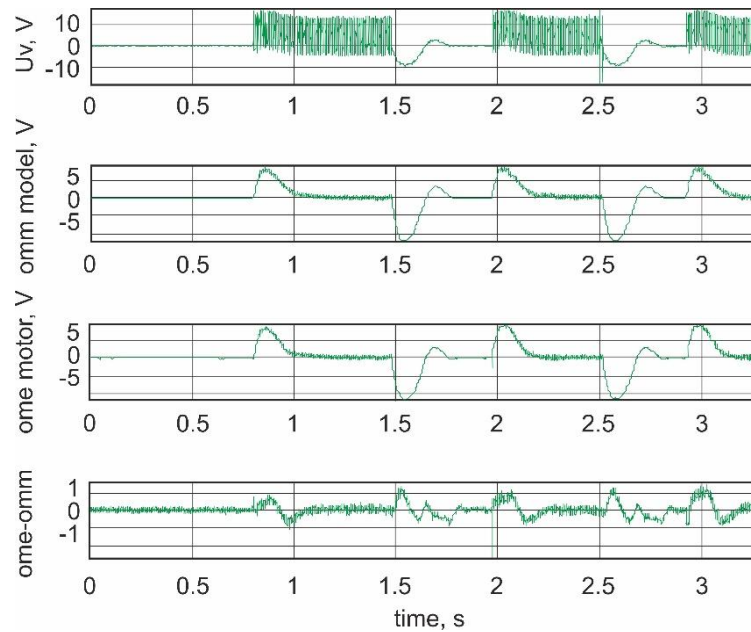


Fig. 7. Plots obtained during the parameter identification stage for model "Exp3modK9".

Source: compiled by the author

- U_v is the plot of the input signal, showing the voltage supplied to the motor.
- omm model is the model output signal, obtained in the Simulink environment, representing the tachogenerator voltage.
- ome motor is the experimental tachogenerator voltage data, recorded using a digital oscilloscope.
- ome-omm is the plot of the discrepancy between the model and the experiment, constructed as the difference between the "ome motor" and "omm model" values.

This representation allows for a visual assessment of the model's accuracy and helps identify potential deviations between the calculated and real data.

Conclusions

As a result of the conducted research, the task of parametric identification of a single-mass dynamic model for a mechatronic system with elastic connecting coupling has been successfully solved. A methodology based on the combined use of a physical experiment and interactive optimisation in the MATLAB/Simulink environment has been developed and tested.

The main results of the work are as follows:

1. A practical methodology was developed: A sequential identification algorithm was proposed, enabling the determination of electric motor parameters, moments of inertia, friction, as well as key coupling characteristics (stiffness and damping coefficients) within a structured single-mass model.
2. A verified model was obtained: As a result of an iterative optimisation process, numerical values were found for the model parameters, achieving a high degree of conformity with the experimental data. The normalised error criterion was $17.1 \cdot 10^{-3}$, which confirms the suitability of the single-mass model obtained.
3. Practical significance was confirmed: It was demonstrated that accounting for the elastic-damping properties of the connecting coupling is critically important even when using a single-mass model. Neglecting these properties leads to a significant discrepancy between the model and the real object.
4. The scope of application was defined: It was established that the identified single-mass model possesses sufficient accuracy for practical use and can be effectively employed for tasks such as drive condition monitoring, analysis of transient processes, as well as for the synthesis and preliminary tuning of control systems (e.g., PID speed controllers), where the use of more complex two-mass models is not justified due to requirements for computational efficiency.

Thus, this work demonstrates that a correctly identified single-mass model, which accounts for the elasticity of the connexion, is an effective tool for engineering analysis and improvement of mechatronic systems, offering a reasonable compromise between precision, complexity and applicability under industrial conditions.

Prospects for further research are associated with the automation of the optimisation process using built-in MATLAB algorithms and the adaptation of the proposed methodology for real-time model identification with the aim of developing adaptive control systems.

References

1. Aggarwal, M., Dutt, J.K. and Chandraker, S., 2019, December. Dynamic characteristics of a flexible coupling. In Gas Turbine India Conference (Vol. 83525, p. V001T05A013). American Society of Mechanical Engineers.
2. Al-Hussain, K.M., 2003. Dynamic stability of two rigid rotors connected by a flexible coupling with angular misalignment. Journal of sound and vibration, 266(2), pp.217-234.
3. Augustaitis V. K., Gičan V. (2011) Poligrafinių mechatroninių sistemų modeliavimas. Vilnius: Technika, 2011.
4. Augustaitis V. K. (2000) Mechaninių virpesių pagrindai. Vilnius: Žiburio leidykla, 2000.
5. Bouslema, M., Fakhfakh, T., Nasri, R. and Haddar, M., 2022. Effect of elastic couplings on the dynamic behaviour of transmission systems. Comptes Rendus. Mécanique, 350(G2), pp.343-359.
6. Chaturvedi, D.K., 2017. Modeling and simulation of systems using MATLAB and Simulink. CRC press.
7. Daunoras J., 2001. Dinaminių sistemų modeliavimas naudojant MATLAB/SIMULINK. Kaunas: Technologija.
8. Iljin I., 2000. Pavaros su atskirais elektroniniu būdu valdomais varikliais taikymas daugiaspalvinėms ofsetinėms rulonėms spausdinimo mašinoms. Daktaro disertacijos santrauka. Vilnius: Technika, 2000.
9. Iljin, I. Spausdinimo įrenginio mechaninės dalies parametrų identifikavimas. Inžinerinės ir edukacinės technologijos. Kaunas: Kauno technikos kolegija. ISSN 2029-9303. 2021, Nr. 2, p. 80-87.
10. Lingxuan, L. and Yuanyuan, M., 2015, April. The Influence of Threaded Coupling on Rotor System with Rubbing Failure. In 2015, 2nd International Conference on Information Science and Control Engineering (pp. 977-980). IEEE.
11. Mikleš, J. and Fikar, M., 2000. Process Modelling, Identification, and Control. Slovak Technical University Press.
12. Mukherjee, S. and Roy, H., 2024. Modeling of flexible damped coupling and its influence on rotor dynamics. Mechanics Based Design of Structures and Machines, 52(3), pp.1377-1398.
13. Yu, Y., Ding, K., Zhao, T. and Li, K., 2023. Nonlinear dynamics of the flexible diaphragm coupling's rotor system during manoeuvring flight. The Journal of Strain Analysis for Engineering Design, 58(3), pp.236-254.
14. Zhou, J., Luo, Z., Li, L., Ma, T. and Li, H., 2025. Numerical and experimental analysis of the influence of elastic supports on bearing-rotor systems. Mechanical Systems and Signal Processing, 224, p.112235.

PAVAROS DINAMINIO MODELIO SU ELASTINGA MOVA PARAMETRŲ IDENTIFIKAVIMAS MATLAB/SIMULINK APLINKOJE

Santrauka

Straipsnyje pristatoma metodika mechatroninės sistemos parametrų identifikuoti ir optimizuoti, derinant eksperimentinius duomenis, gautus skaitmeniniu osciloskopu, su MATLAB/Simulink modeliavimo rezultatais. Identifikavimo etapuose nuosekliai nustatyti jungties parametrai, inercijos momentas, trinties ir standumo koeficientai vienos masės dinaminiam modeliui. Tyrimo rezultatai patvirtina, kad siūloma metodika yra praktiškai pritaikoma pramoninės įrangos diagnostikai ir modernizavimui, užtikrinant didesnę sistemos efektyvumą bei patikimumą.

Reikšminiai žodžiai: mechatronika, osciloskopas, modeliavimas, MATLAB/Simulink, diagnostika.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Igor Iljin.

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas

Darbo vietą ir poziciją: Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Mechanikos fakulteto, Mechatronikos, robotikos ir skaitmeninės gamybos katedros docentas.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: gamybos technologijos, medžiagų technologijos, mechatronika, robotika, poligrafija.

Telefonas ir el. pašto adresas: +370-611-53045, igor.iljin@vilniustech.lt

ELECTROMAGNETIC DISTURBANCE-RESISTANT CONTROLLER BASED ON THE MODIFIED INTEGRAL CONTROL ALGORITHM

Martynas Šapurov, Vytautas Bleizgys
Vilnius Gediminas Technical University

Abstract

The paper presents a feedback controller based on the modified integral control algorithm, which allows achieving higher resistance to electromagnetic disturbances compared to cases when proportional-integral-derivative, proportional-integral and classical integral control algorithms are used. Also the proposed controller guaranties shorter response time of the control system as compared to the classical integral controller. Distinctive feature of the developed controller is that the integral constant changes discretely the value at a certain threshold value of the control error. The control system with the modified integral control algorithm based controller is investigated using the Matlab/Simulink simulation program.

Key words: Feedback control system, electromagnetic disturbances, integral control algorithm, variable integral constant.

Introduction

Actual automatic feedback control systems used in industry are often exposed by the electromagnetic disturbances (Narasimman, 2016: 1167–1176; Ning, 2021: 1686–1693). These disturbances are radiated by various electrical devices used in technological processes, such as electric motors, switches, relays, etc. Noise signals generated by electromagnetic disturbances are usually induced in the feedback signal line of the control system connecting the sensor that measures the controlled parameter with the controller input. The noise signal, when entering the controller input, can cause fluctuations in the parameters of the controlled plant or even cause the instability of control system operation. The vast majority of feedback controllers used in industry are PID (proportional-integral-derivative) controllers, based on the combination of proportional integral and derivative control algorithms (Yuliawan, 2021: 96–102; Zhang, 2022: 105–109). The derivative term of the controller is the most sensitive to noise signals, therefore it is often disconnected in actual applications (Bielskis, 2020: 1–18). The integral term of the controller is the least sensitive to noise signal, because of this a controller with only an integral term is the most resistant to noise signals. However, a control system implemented using a controller with only an integral term is slow, i.e. it responds slowly to changes in operating conditions. Therefore, the response time of the control system, which is the main dynamic parameter, is much longer in a control system based on integral controller as compared to the case when PID or PI (proportional-integral) controllers are used.

This paper presents a feedback controller based on the modified integral control algorithm, which allows achieving faster control system response compared to the classical integral algorithm. Also, the control system with the modified integral controller is characterized by higher resistance to noise signals caused by electromagnetic disturbances compared to cases when PID, PI and I (integral) controllers are used.

The control system with the proposed modified integral controller is investigated using the Matlab/Simulink simulation program. The first section of the paper describes the proposed control algorithm and presents the structure of the analysed control system. The second section presents the simulation results of the control system based on the proposed controller, comparing them with cases when PID, PI and I controllers are used. At the end of the article, based on the obtained research results, the conclusions of the work are presented.

Modified integral control algorithm

Distinctive feature of the proposed modified I controller as compared to classical I controller is that the proposed controller is implemented using the modified integral control algorithm, in which the integral constant in fact is variable because it changes discretely its value at a certain threshold value of the control error. The proposed I controller with the discrete variable constant (vI controller) guaranties shorter response time of the control system than when using the classical I controller.

The algorithm of the vI controller is described by the following equation:

$$U(t) = K_I \int_{t_0}^t e(t) dt, \quad (1)$$
$$K_I = K_{I1}, \quad |e(t)| > e_{tr},$$
$$K_I = K_{I2}, \quad |e(t)| \leq e_{tr},$$

where $U(t)$ is the output signal of the controller, using which the process or plant is controlled, $e(t)$ is the control error, which is calculated as the difference between the desired value of the controlled parameter of the plant $Y_d(t)$ and the actual value of the controlled parameter $Y_a(t)$, K_{I1} and K_{I2} are discrete values of the controller integral constant K_I , e_{tr} is control error threshold value, at which the integral constant value is switched, t is time and t_0 is initial time moment, at which the controller starts to operate. The discrete values of integral constant have to be chosen so that they satisfy the condition $K_{I1} \gg K_{I2}$.

It is seen that in the proposed vI control algorithm (1) the value of integral constant is switched from K_{I1} to K_{I2} and vice versa at a certain threshold value of the control error e_{tr} . If the values of the integral constant are chosen so that they satisfy the condition $K_{I1} \gg K_{I2}$, the vI controller guaranties shorter response time of the control system than when using the classical I control method. This is because in the vI controller the value of K_{I1} can be significantly higher than the K_I of the classical I controller.

The block diagram of the analysed feedback control system is given in Fig. 1. It consists of controller and controlled plant. $Y_d(t)$ is desired (set point) value and $Y_a(t)$ is actual value of the controlled parameter. $D(t)$ is the load disturbance and $N(t)$ is noise signal induced by the electromagnetic disturbances, which adds up with the feedback signal.

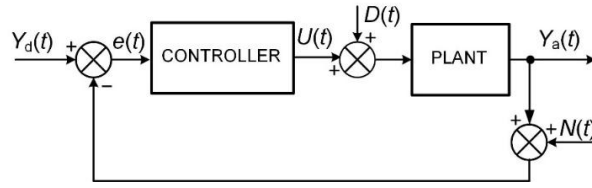


Fig. 1. Block diagram of the feedback control system [Created by authors]

Investigation results

The control system (Fig. 1) based on the proposed vI controller that implements algorithm (1) has been investigated using Matlab/Simulink software. The investigation was performed for the plant, dynamics of which is described by the second order transfer function with the delay $G_p(s) = e^{-Ts} / (\tau s + 1)^2$, where T is plant response delay, τ is time constant. The investigation was performed for the plant with $T = 2$ and $\tau = 1$. Additionally the control system was investigated for the cases when PID, PI and I controllers are used. The parameters of controllers are presented in Table 1.

Table 1

Parameters of controllers			
PID	PI	I	vI
$K_P=0.71$ $K_I=0.276$ $K_D=0.50$	$K_P=0.44$ $K_I=0.222$	$K_I=0.127$	$K_{I1}=0.235$ $K_{I2}=0.07$ $e_{tr}=0.90$

Firstly, the control system set point $Y_d(t)$ unit step and load disturbance $D(t)$ positive and negative unit steps responses were simulated to evaluate the settling time of the control system. The obtained transients are presented in Fig. 2. The set point and load disturbance step responses settling times t_{SPS} and t_{LDS} of the control system for analysed controllers for $\pm 5\%$ tolerance band of $Y_a(t)$ are given in Table 2. Since the t_{LDS} for positive and negative step load disturbance practically coincide (Fig. 2), there in Table 2, the t_{LDS} is presented just for negative step.

The obtained results (Table 2) show that proposed vI controller allows to speed up the control system response as compared to the case when classical I controller is used. On the other hand, the application of PI and PID controllers guaranties shorter response settling time as the vI controller provides. However, PI and especially PID controller are much more noise sensitive in comparison to integral control method-based controllers.

Table 2

Set point and load disturbance unit steps response settling time of control system				
Controller	PID	PI	vI	I
$t_{SPS}, \text{ sec}$	8.3	9.9	12.7	16.7
$t_{LDS}, \text{ sec}$	11.5	11.6	18.6	25.0

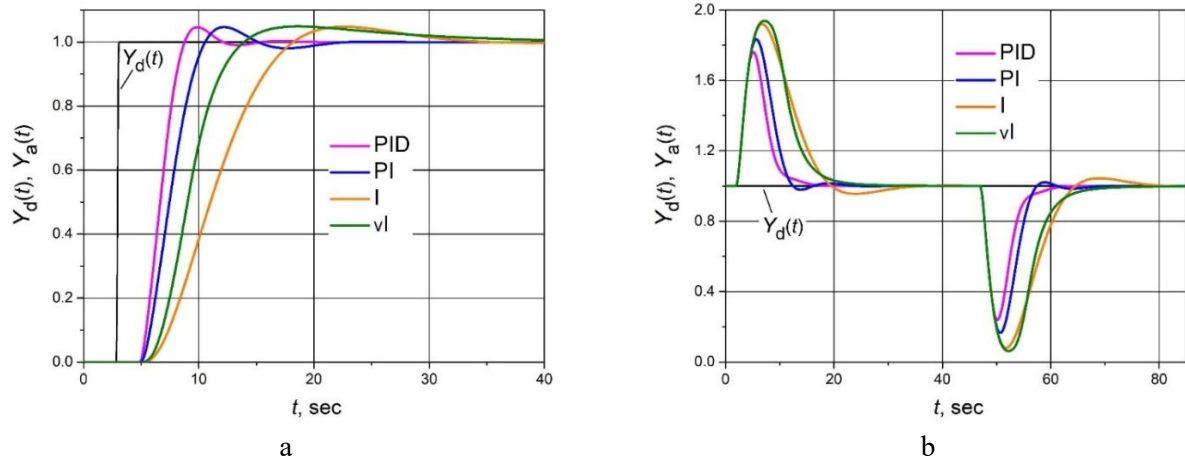


Fig. 2. The set point unit step response (a) and load disturbance positive and negative unit steps responses (b) of the control system based on PID, PI, I and vI controllers
Created by authors

The behaviour of control system based on the vI, I, PI and PID controllers in the situation when system is affected by noise signal $N(t)$ that ads up with the feedback signal of controller was investigated. The analysis was provided when $N(t)$ is band-limited white noise with sampling time $t=1$ sec, seed [23231]. The obtained set point step responses are given in Fig. 3. It is seen that the lowest fluctuations of the controlled parameter caused by the noise signal has the control system based on the proposed vI controller, i.e. the application of vI controller guaranties highest control system resistance to noise signal in comparison to the I, PI and PID controllers.

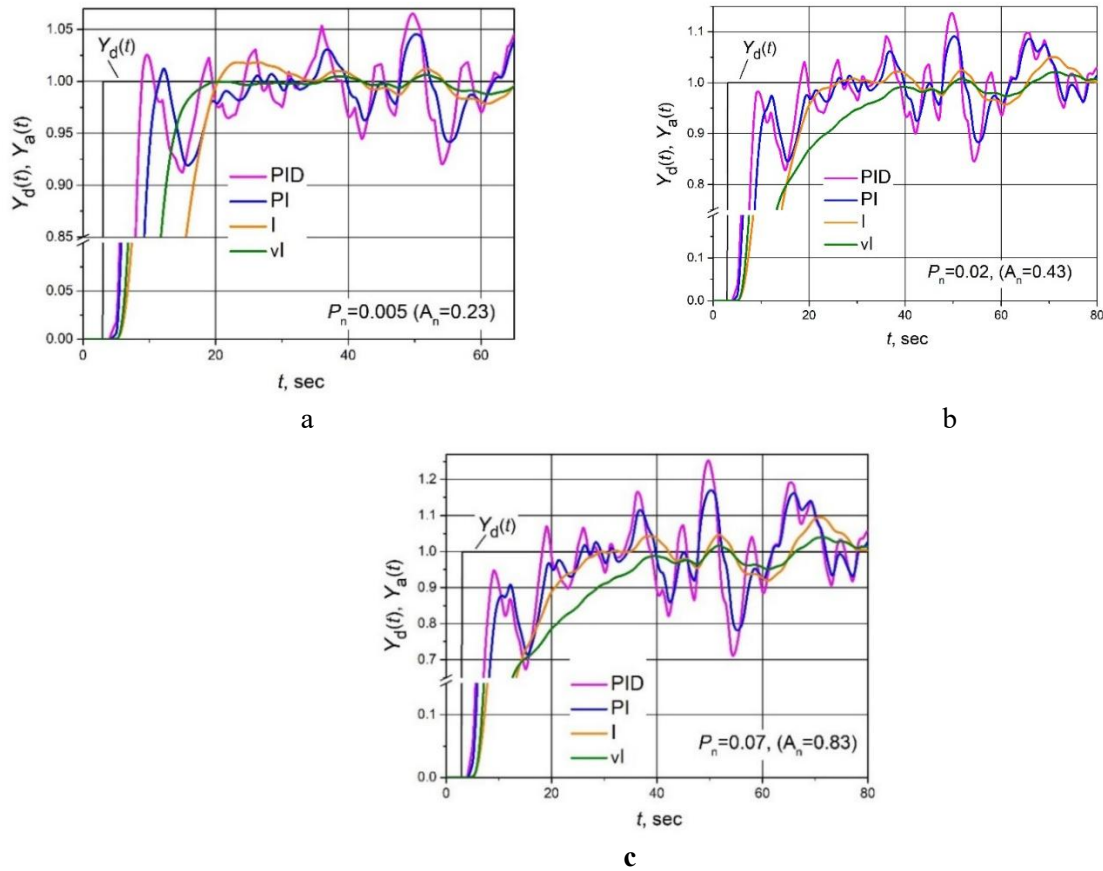


Fig. 3. The set point unit step response of the control system based on PID, PI, I and vI controllers when controller is affected by the band-limited white noise with sampling time $t=1$ sec and seed [23231] at various noise power P_n (amplitude A_n)
Created by authors

The maximal amplitudes of fluctuations caused by the noise signal for all analysed controllers are presented in Table 3. It is seen that the amplitudes of the $Y_a(t)$ fluctuations using vI controller is approximately 2 times lower as compared to the case when I controller is used and 6–9 times lower in comparison when PI and PID controllers are employed.

Table 3

Maximal amplitudes of $Y_a(t)$ fluctuations caused by the noise signal

Controller type \ Noise power (Noise amplitude)	0.005 (0.23)	0.02 (0.43)	0.07 (0.83)
vI	0.01	0.02	0.05
I	0.02	0.05	0.10
PI	0.08	0.15	0.29
PID	0.09	0.17	0.32

Important parameter of control system is robustness, which demonstrates the ability to operate stably when dynamic parameters of the controlled plant change. The analysed control system based on the proposed vI controller was investigated when response delay time T and time constant τ of the plant change by values ΔT and $\Delta \tau$ and controller parameters remain not changed and are adjusted for the case when $\Delta T, \Delta \tau = 0$. The results of investigation are presented in Fig. 4. They show that control system operates stably even when ΔT and $\Delta \tau$ increase by 100%, just the response transient settling time increases.

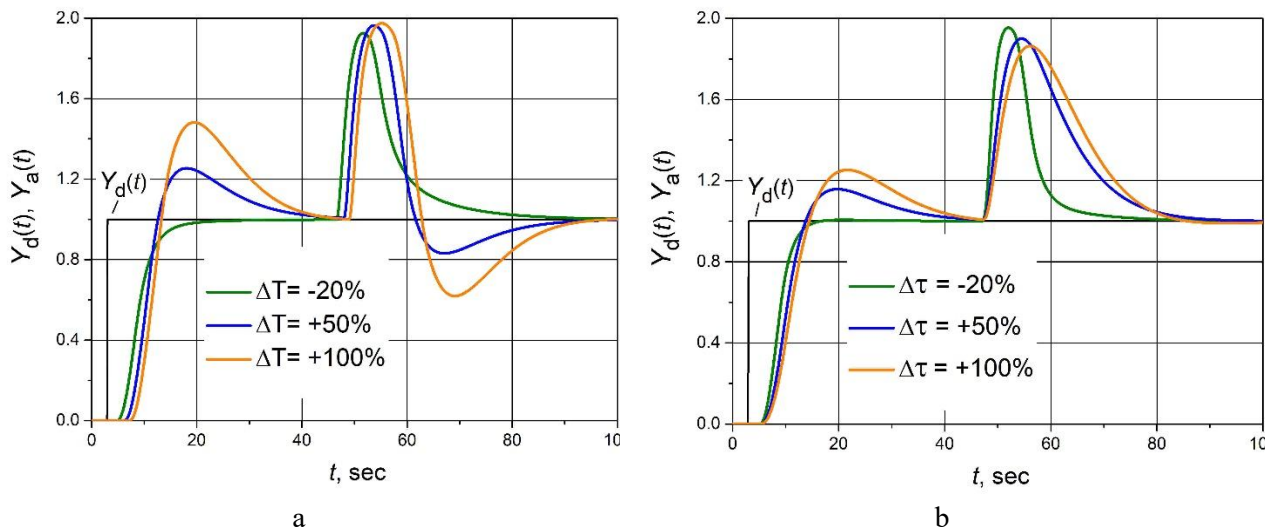


Fig. 4. The set point and load disturbance unit step responses of the control system based on the vI controller when the value of plant response delay changes by ΔT and the value of the time constant – by $\Delta \tau$

Created by authors

Conclusions

1. The application of the proposed vI controller with the discrete variable integral constant allows to speed up the control system response as compared to the case when classical I controller is used. The unit step set point and load disturbance response settling times of the control system with the second order plant with the delay using the vI controller was 12.7 and 18.6 seconds, accordingly. Meanwhile, the same settling times using the classical I controller were 16.7 and 25 seconds, respectively.

2. In the case when band-limited white noise with sampling time $t=1$ sec, seed [23231] affects the control system and adds up with the feedback signal the application of vI controller guaranties highest control system resistance to noise signal in comparison to the I, PI and PID controllers. The maximal amplitudes of the $Y_a(t)$ fluctuations caused by the noise signal using vI controller are approximately 2 times lower as compared to the case when I controller is used and 6–9 times lower in comparison when PI and PID controllers are employed.

3. The investigation of control system robustness when dynamic parameters of the controlled plant change show that control system operates stably even when the plant response delay and time constant increase by 100%. Just the response transient settling time increases in such a case.

4. The disadvantage of the proposed vI controller is that the control system based on this controller has a longer response settling time as compared with the case when PI and PID controllers are used. However, a control system based on the PI and especially PID controller is much more noise sensitive as compared to control system based on the vI controller.

References

1. Bielskis, E.; Baskys, A.; Valiulis, G. Controller for the Grid-Connected Microinverter Output Current Tracking. *Symmetry*, 2020, 12, 112. doi: 10.3390/sym12010112
2. Narasimman, P.; Mercy, E.L. Design and Comparison of Controller for the Reduction of Conducted Electromagnetic Interference in an Inverter. *Circuits and Systems* 2016, 7, 1167–1176. doi: 10.4236/cs.2016.77100
3. Ning, Z.; Mao, Y.; Huang, Y.; Xi, Z.; Zhang, C. A measurement noise rejection method in the feedback control system based on noise observer. *IEEE Sensors Journal* 2021, 21, 1686 – 1693. doi: 10.1109/JSEN.2020.3015837
4. Yuliawan, S.; Wahyunggoro, O.; Setiawan, N. Kalman Filter to Improve Performance of PID Control Systems on DC Motors. *International Journal of Information Technology and Electrical Engineering* 2021, 5, 96–102. doi:10.22146/ijitee.64511
5. Zhang, T.; Jiang, S.; Zhang, T.; Shen, D.; Xu, H. A Kiefer-Wolfowitz algorithm based adaptive PID for magnetic levitation ball system with experimental verification. *In Proceedings of the 41st Chinese Control Conference*, Hefei, China, 25-27 July 2022. doi: 10.23919/CCC55666.2022.9901891

ELEKTROMAGNETINIAMS TRIKDŽIAMAS ATSPARUS VALDIKLIS PAGRĖSTAS MODIFIKUOTU INTEGRINIŲ VALDYMO ALGORITMU

Santrauka

Straipsnyje pateikiamas modifikuotu integriniu valdymo algoritmu pagrįstas grįžtamojo ryšio valdiklis, leidžiantis pasiekti didesnio valdymo sistemos atsparumo elektromagnetinių trikdžių sukeliams signalams, lyginant su atvejais, kai naudojami proporcinis-integrinis-diferencinis, proporcinis-integrinis ir klasikinis integrinis valdikliai. Taip pat siūlomas valdiklis garantuoja trumpesnį valdymo sistemos atsako laiką, lyginant su klasikiniu integraliniu valdikliu. Skiriamasis siūlomo valdiklio bruožas yra tas, kad jame integrinė konstanta diskretiškai keičia savo vertę, esant tam tikrai valdymo paklaidos vertei. Valdymo sistema su pasiūlytu modifikuotu integriniu valdikliu iširta naudojant Matlab/Simulink modeliavimo programą.

Reikšminiai žodžiai: grįžtamojo ryšio valdymo sistema, elektromagnetiniai trikdžiai, integralinio valdymo algoritmas, kintama integralinė konstanta.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Author name, surname: Martynas Šapurov

Science degree and name: doctor

Workplace and position: Vilniustech (Vilnius Gediminas Technical University), Faculty of Electronics associated professor.

Author's research interests: technology sciences, electronics and electrical engineering.

Telephone and e-mail address: +370 684 70305, martynas.sapurov@vilniustech.lt

Author name, surname: Vytautas Bleizgys

Science degree and name: doctor, associated professor

Workplace and position: Vilniustech (Vilnius Gediminas Technical University), Faculty of Electronics associated professor.

Author's research interests: technology sciences, electronics and electrical engineering.

Telephone and e-mail address: +370 687 97647, vytautas.bleizgys@vilniustech.lt

KELIO ŠLAITŲ TVIRTINIMO DAUGIAKRITERINIS INŽINERINIŲ SPRENDIMŲ VERTINIMAS

Regina Motienė

Lietuvos inžinerijos kolegija

Anotacija

Itin dažnas atvejis, kai kokiame nors kelio objekte suformuotus šlaitus nuolatos plauna lietus. To pasekoje susiformuoja vandens išgraužtos vietos, o tai trukdo susiformuoti augaliniam sluoksniui. Be to paplaunamos žemės neretai užteršia aplinką molingomis nuosėdomis. Pirmiausia reikia sutvarkyti patį šlaitą. Panaudojant techniką yra sutvarkomas pats šlaitas: iš naujo suformuojami šlaito kontūrai, atstatomas šlaito kampas, aukštis ir pan. Norint sužinoti kelio šlaitų tvirtinimui tinkantį, inžinerinį sprendimą, buvo atlikta šlaitų tvirtinimo analizė ir daugiakriterinis jų vertinimas, esant skirtingam vertinimo kriterijų reikšmingumui.

Reikšminiai žodžiai: entropinis ekspertinis vertinimo būdas, porinis ekspertinis vertinimo būdas, daugiakriterinis vertinimo būdas, šlaitai.

Įvadas

Kelio šlaitų stabilumo užtikrinimas yra vienas svarbiausių kelių infrastruktūros projektavimo ir eksploatavimo uždavinių. Netinkamai parinkti šlaitų tvirtinimo sprendimai gali lemti nuošliaužas, eroziją, kelio dangos pažeidimus ir eismo saugos sumažėjimą.

Dažnas, kuris susiduria su šlaitais pastebi, jog lyjant lietaus vandens forma keičiasi – prasideda slinkimo procesas. Šis procesas priklauso nuo daugelio veiksnių, tokių kaip gruntiniai arba lietaus vandenys, sniegas, žmonių veiksmas. Šie veiksniai trukdo susiformuoti augaliniam sluoksniui, kuris yra vienas iš tvirtų šlaito indikatorius. Gruntiniai ir lietaus vandenys, netinkamas gruntas ar žmonių veiksmas labiausiai skatina šlaitų slinkimo procesą. Daugeliui šlaito tvirtinimas atrodo beprasmiškas darbas, tačiau tik iki tol, kol šlaitas pradeda slinkti, keldamas pavojų pažeisti pastatus, kelių infrastruktūrą ir t.t. Norint išvengti artėjančių nesklaidumų rekomenduojama atlikti šlaitų tvirtinimo darbus.

Praktikoje šlaitų tvirtinimo sprendimų parinkimą apsunkina tai, kad sprendimai turi būti vertinami pagal kelis tarpusavyje nesuderinamus kriterijus, tokius kaip techninis efektyvumas, ekonominis pagrįstumas, poveikis aplinkai ir eksploatacinės savybės. Todėl dėl šios priežasties vis dažniau taikomi daugiakriterinio sprendimų vertinimo metodai leidžiantys kompleksiskai palyginti skirtingas alternatyvas ir parinkti racionaliausią sprendimą konkrečiomis sąlygomis.

Problema – koks turėtų būti priimtas inžinerinis sprendimas tvirtinant šlaitus, kad būtų užtikrintas stabilumas, sauga ir būtų įgyvendinamas konkrečiomis ekologinėmis ir eksploatacinėmis sąlygomis?

Tyrimo tikslas – atlikti šlaitų tvirtinimo daugiakriterinį inžinerinių sprendimų vertinimą.

Tyrimo objektas – šlaitų tvirtinimo daugiakriterinis inžinerinių sprendimų vertinimas.

Tyrimo uždaviniai:

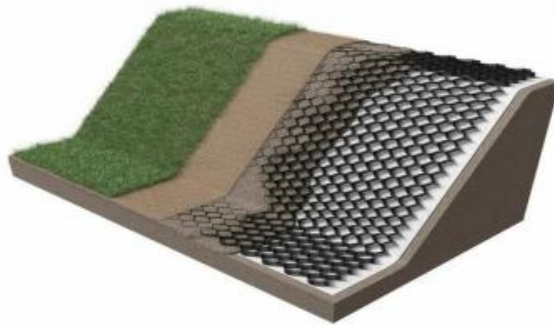
1. Identifikuoti alternatyvių šlaitų tvirtinimo sprendimų variantus.
2. Atlikti šlaitų tvirtinimo daugiakriterinį inžinerinių sprendimų vertinimą.

Tyrimo metodai

1. Daugiakriterinis naudingumo vertės metodas taikomas nustatyti racionaliausią šlaitų tvirtinimo variantą ir priimti sprendimą pagal pasirinktus kriterijus. (Šileikaitė, 2017:104)
2. Entropijos metodas taikomas nustatant šlaitų tvirtinimo alternatyvių projektinių sprendimų vertinimo kriterijų teorinį reikšmingumą.
3. Ekspertinis porinio palyginimo metodas taikomas subjektyvaus kriterijų reikšmingumo nustatymui.

Alternatyvių šlaitų tvirtinimo inžinerinių sprendinių analizė

Geokorys A1 (1 variantas). Vienas iš optimaliausių būdų sutvirtinti šlaitą. Dažnas, kuris susiduria su šlaitais pastebi, jog lyjant lietaus vandens forma keičiasi – prasideda slinkimo procesas. Šis procesas priklauso nuo daugelio veiksnių, tokių kaip gruntiniai arba lietaus vandenys, sniegas, žmonių veiksmas. Šie veiksniai trukdo susiformuoti augaliniam sluoksniui, kuris yra vienas iš tvirtų šlaito indikatorius. Norint išlaikyti šlaito formas, sustabdyti slinkimo procesą yra naudojamas geokorys šlaitų tvirtinimui, kitaip dar vadinamas „geocela“



1 pav. Šlaitas sustiprintas geokoriu

Šaltinis: (<https://dekoskalda.lt/slaitu-tvirtinimo-sprendimai/>)

Geokorį galima pildyti gruntu ir apželdinti augalais arba pildyti akmenimis prieš tai paklojant geotekstilę, kuri apsaugo nuo piktžolių augimo į paviršių, geriausiai tinka skaldyti akmenys, nes jie geriau sukimba tarpusavyje nei gludinti (žvirgždas, upiniai akmenys). Šlaito tvirtinimas geokoriu padeda stabilizuoti ir sutvirtinti šlaitą ar krantinę, pasižymi antierozine apsauga, nes yra atsparus neigiamoms oro sąlygoms. Pastaba: jei geokorys užpildomas akmenukais arba dekoratyviniu mulču, rekomenduojama patiesti geotekstilę, kad neaugtų nepageidaujama augmenija. Pildant augalinio grunto sluoksniu geotekstilės kloti nebūtina.



2 pav. Šlaito stiprinimas Geokoriu

Šaltinis: (<https://dekoskalda.lt/slaitu-tvirtinimo-sprendimai/>)

Geokorys prie grunto tvirtinamas „J-formos“ kabliukais, o tarpusavyje apjungiamas plastikiniais (užtraukiamais) dirželiais. „J-formos“ kabliukų išeiga – 2 vnt/m². Norint išgauti maksimalų tvirtumą nerekomenduojama naudoti mažiau nei nurodyta, kitaip šlaito tvirtinimas geokoriais tampa neefektyvus. Geokorys montuojamas iš viršaus į apačią, pradžioje korį sutvirtinus ties inkarine tranšėja. Korys privalo būti gerai įtemptas, kitaip neatliks savo funkcijos. „J-formos“ kabliukas tvirtinamas viršus ties inkarine tranšėja, o vėliau ir visa likusi geokorio ploto dalis. Kablių išeiga – 2 vnt/m². Geokoriai apjungiami tarpusavyje plastmasiniais užtraukiamais dirželiais. Paprastas, tačiau efektyvus ir greitas geokorių apjungimo būdas. Geokorio juostos yra perforuotos, t.y su pramuštomis skylutėmis, todėl apjungimas nesukels papildomų rūpesčių. (dekoskalda.lt/slaitu-tvirtinimo-sprendimai).

Geotekstilė A2 (2 variantas). Geotekstilė yra medžiaga, turinti daugybę naudingų savybių, jos rūšys:

1. Gijinių siūlų audinys (neaustinė geotekstilė): Tai trumpo pluošto medžiaga, kuri leidžia vandeniui pralįsti ir dirvožemiui kvėpuoti. Ji dažnai naudojama stabilizuojant gruntą, atskiriant sluoksnius ir filtruojant vandenį. Ši geotekstilė puikiai tinka įrengiant takus, keliukus ar aikšteles.

2. Split verpalų audimo geotekstilė: Ši medžiaga taip pat yra trumpo pluošto ir neaustinė. Ji naudojama atskirymui ir filtravimui, ypač po skaldos, mulčo ar dekoratyvinių akmenų sluoksniu. Tai padeda sumažinti poreikį ravėti ir išlaiko tvarkingą dirvožemį.

3. Plastikinė plokščios vielos pynutė (neaustinė geotekstilė): Ši geotekstilė yra pagaminta iš propileno su smulkiais poromis. Ji plačiai naudojama didelio masto statyboje, kraštovaizdžio projektavime ir net augalų auginime. Jos pagrindinė funkcija yra apsaugoti žemės plotą nuo piktžolių ir užtikrinti tinkamą dirvožemio kvėpavimą.

4. Trumpų pluoštų neaustinė/plaušinė geotekstilė: Šios rūšies geotekstilė taip pat naudojama filtravimui ir atskyrimui. Ji yra patvari ir ilgalaikė, todėl puikiai tinka įvairioms aplinkoms, įskaitant kapus, komercinius kiemelius ir kt.



3 pav. Šlaitas sustiprintas geotekstilės paklotu

Šaltinis: <https://www.manostogas.lt>)

Geotekstilės montavimas. Šis montavimo procesas tikrai paprastas. Geotekstilė klojama ant paviršiaus, kraštuose tvirtinama smaigais. Vienam vienetui (apytiksliai 20m²) pritvirtinti prie žemės rekomenduojama naudoti bent 10 smaigų, kad rezultatai būtų geriausi. Geotekstilė tarpusavyje jungiama išilgai arba šonu. Uždėjus geotekstilę, ant viršaus užpilamas augalinis arba gruntinis sluoksnis, tolygiai skirstant jį po paviršių. Užpildytame augaliniame ar gruntiniame sluoksnyje galima barstyti žolės sėklas, sodinti dekoratyvinius augalus. Kuo greičiau sužels veja, tuo tvirtesnis paviršius.

Ažūrinės trinkelės A3 (3 variantas). Vienas didžiausių plusų, kuriuos suteikia ažūrinės trinkelės, yra laisvas vandens nubėgimas ir susigėrimas į dirvą. Kaip ir kitus betoninius grindinio elementus, ažūrinės trinkelės taip pat privalu kloti ant specialiai paruošto ir vandeniui laidaus pagrindo. Ažūro tarpeliai dažniausiai užpildomi skalda, tačiau galimas ir kitas variantas - leisti juose laisvai želti žolei. Toks sprendimas tinka tiems, kuriems nenori savose erdvėse daug betono. Kitas labai svarbus betoninių ažūrinių trinkelės privalumas yra tas, kad jos, nors ir su „skylėmis“, tačiau yra tokios pat tvirtos ir ilgaamžės (pabrėžiama – jei sudėtos ant teisingai paruoštų pagrindų). Ažūrinės trinkelės galima naudoti ir industrinėse erdvėse, ūkiuose. Ant jų galima važinėti tiek su sunkvežimiu, tiek su traktoriumi. Ažūrinės trinkelės yra puikus sprendimas tiems, kam reikalingas ypač tvirtas grindinys su dideliu, natūraliu vandens pralaidumu bei tiems, kurie nori, jog jų aplinka būtų gyvesnė ir žalesnė.



4 pav. Ažūrinės trinkelės

Šaltinis: ([https://www.azurines-plytelės | Trinkelių Mozaika](https://www.azurines-plytelės-Trinkelė-Mozaika))

Geosintetinis priešerozinis tinklas A4 (4 variantas). Geosintetinis priešerozinis tinklas yra specialus geomatas, pagamintas iš ekstruzinio polipropileno (PP) sriegių, sukuriančių erdvinę struktūrą su dideliu tuštumų kiekiu. Ši daugiakryptė struktūra sudaro palankią aplinką paviršinės augmenijos šaknų augimui, taip padidindama atsparumą vėjo ir hidraulinei erozijai.



5 pav. Geosintetinis priešerozinis tinklas

Šaltinis: (<https://www.MacMat HS - Maccaferri: Engineering a Better solution>)

Geosintetinis priešerozinis tinklas yra idealus sprendimas, kai reikia apsaugoti šlaitus nuo erozijos ir tuo pačiu sukurti sąlygas estetiškam bei stabiliai augmenijai.

Alternatyvių kelio šlaitų tvirtinimo inžinerinių sprendimų vertinimas

Vertinimo kriterijų sistemos sudarymas ir jų reikšmių skaičiavimas. Šlaito sutvirtinimo sprendimų vertinimui sudaryta tokia vertinimo kriterijų sistema: Kaina (K1), EUR/10 0m² - tai kriterijus, parodantis 100 m² reikalingų medžiagų kainą. Atsparumas šlaito nuslinkimui (K2), balai – kriterijus parodantis šlaito atsparumą esant lietingomis sąlygomis. Mažai atsparus 1 balas, labai atsparus 4 balai Darbų atlikimo laikas (K3), žm.val./100 m² - parodo kiek laiko reikia 100 m² šlaito įrengti. Skaitinė reikšmė nustatyta, remiantis gamybiniais normatyvais Ilgaamžiškumas (K4), metai – kriterijus, parodantis šlaito sutvirtinimo variantų eksploatacijos terminą. Kriterijų skaitinės reikšmės surašomos į 1 lentelę.

1 lentelė

Kriterijų skaitinės reikšmės

Medžiaga \ Kriterijai	Kaina Eur/m ² K1	Atsparumas šlaito nuslinkimui (Balais) K2	Darbų atlikimo laikas (žm.val./100m ²) K3	Ilgaamžiškumas (metai) K4
Geokorys A1	3	3	14	50
Geotekstilė A2	2,8	1	1,5	100
Ažūrinės trinkelės A3	14,49	4	62,5	80
Priešerozinis geotinklas A4	4,4	2	1,5	25

Šaltinis: sudaryta autorės

Alternatyvių projektinių sprendinių vertinimo kriterijų teorinio reikšmingumo nustatymas, taikant teorinį Entropijos metodą. Vertinimo kriterijų teorinis reikšmingumas nustatomas tokia seka: 1. Remiantis 1 lentelėje pateiktomis kriterijų skaitinėmis reikšmėmis, sudaroma pradinių duomenų matricą P. 2. Atliekamas pradinių duomenų matricos normalizavimas į bedimensinių dydžių matricą – P. 3. Nustatomas kiekvieno kriterijaus entropijos lygis. 4. Nustatyti kiekvieno kriterijaus kitimo lygis. 5. Apskaičiuojamas kriterijų teorinis reikšmingumas, sudaroma kriterijų prioritetų eilutė. 6. Skaičiavimo rezultatai pavaizduojami grafiškai ir pateikiamas jų apibendrinimas. Skaičiavimo eiga 1. Remiantis 1 lentelėje pateikta informacija, paruošiami skaičiavimui duomenys, sudarant pradinių duomenų matricą P (2 lentelė).

2 lentelė

Pradinių duomenų matrica

Variantai \ Kriterijai	Matrica P			
	K1	K2	K3	K4
A1	3	3	14	50
A2	2,8	1	1,5	100
A3	14,49	4	62,5	80
A4	4,4	2	1,5	25

Šaltinis: sudaryta autorės

Atliekamas pradinių duomenų matricos normalizavimas į bedimensinių dydžių matricą P. Normalizavimas atliekamas pagal formulę (1):

$$\overline{P}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}; \quad i = \overline{1, m}; \quad j = \overline{1, n} \quad (1)$$

čia P_{ij} – elemento, kurio eilutė yra i o stulpelis j , normalizuotas pavidas; x_{ij} - elementas kurio eilutė i , o stulpelis j ; i – matricos eilutė; j – matricos stulpelis.

Normalizuotos reikšmės surašomos į normalizuotą matricą P (3 lentelė).

3 lentelė

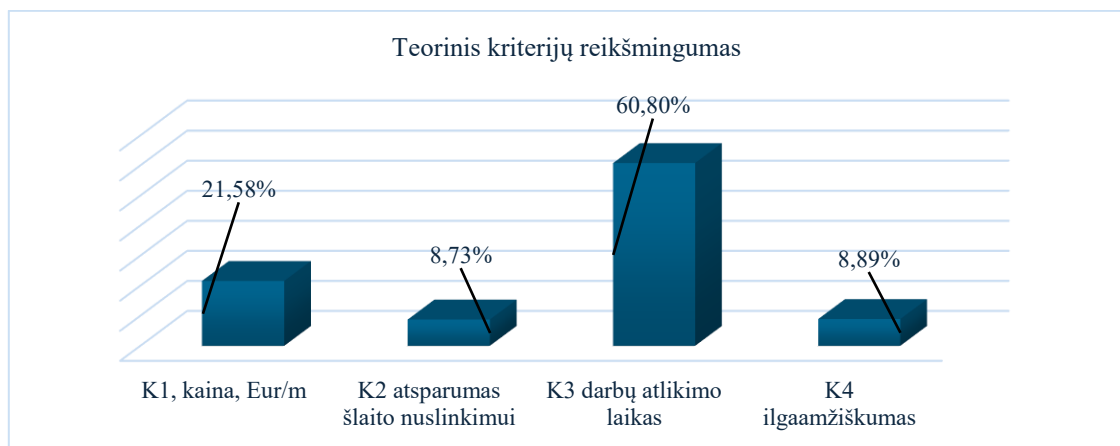
Normalizuotos kriterijų reikšmės				
Kriterijai	Matrica P			
Variantai	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄
A ₁	0,122	0,300	0,176	0,196
A ₂	0,113	0,100	0,019	0,392
A ₃	0,587	0,400	0,786	0,314
A ₄	0,178	0,200	0,019	0,098

Šaltinis: sudaryta autorės

Nustatomas teorinis kriterijaus reikšmingumas $q_{j(i)}$
matricą P normalizavimas atliekamas pagal formulę (2)

$$P_{ij} = X_{ij} / \sum X_{ij} \quad (2)$$

čia X_{ij} – normalizuojamas matricos P narys, $\sum X_{ij}$ - stulpelio, kuriame yra normalizuojamas narys, suma
Rezultatai pateikiami grafiškai 6 paveiksle.



6 pav. Teorinis kriterijų reikšmingumas apskaičiuotas taikant teorinį entropijos metodą

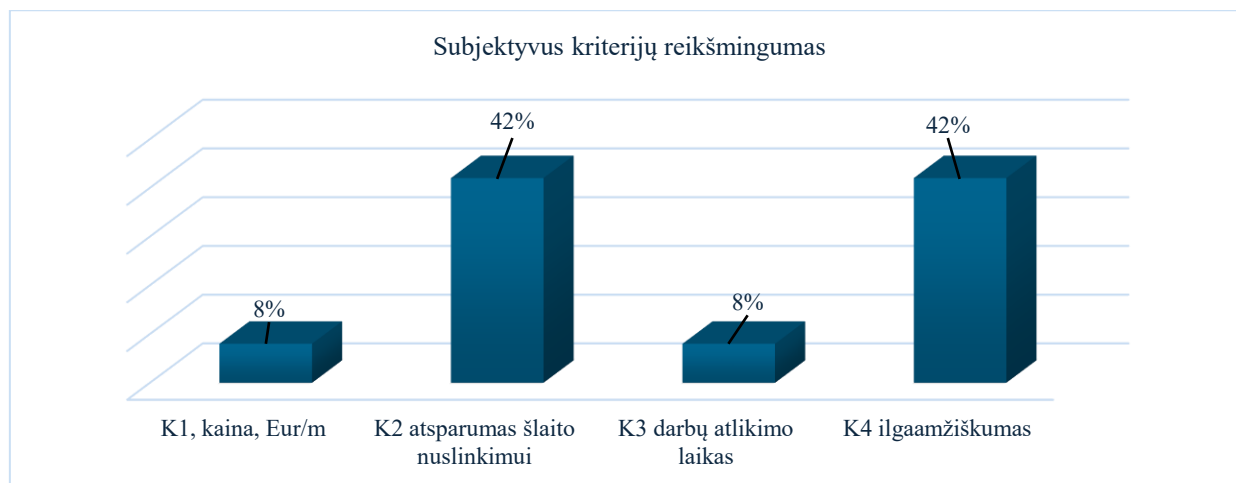
Atliekamas kriterijų palyginimas poromis pagal pasirinktą skalę ir rezultatai surašomi į kriterijų matricą (4 lentelė). Skaičiuojami kiekvieno kriterijaus surinkti balai, surašant juos į kriterijų matricą (4 lentelė):

4 lentelė

Subjektyvus kriterijų reikšmingumas, nustatytas taikant ekspertinį porinio palyginimo metodą

Matrica K							
Kriterijai	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	Balų suma S	q _j	%
K ₁	x	0	1	0	1	1/12 0.08	0,08x100 8
K ₂	2	x	2	1	5	0.42	42
K ₃	1	0	x	0	1	0.08	8
K ₄	2	1	2	x	5	0.42	42
				ΣS	12	1,0	100

Vertinimo kriterijų subjektyvaus reikšmingumo prioritetų skaičiavimai atitinka grupės narių eilutę.
K₂=K₄>K₁=K₃



7 pav. Subjektyvus kriterijų reikšmingumas, nustatytas, taikant ekspertinį porinio palyginimo metodą

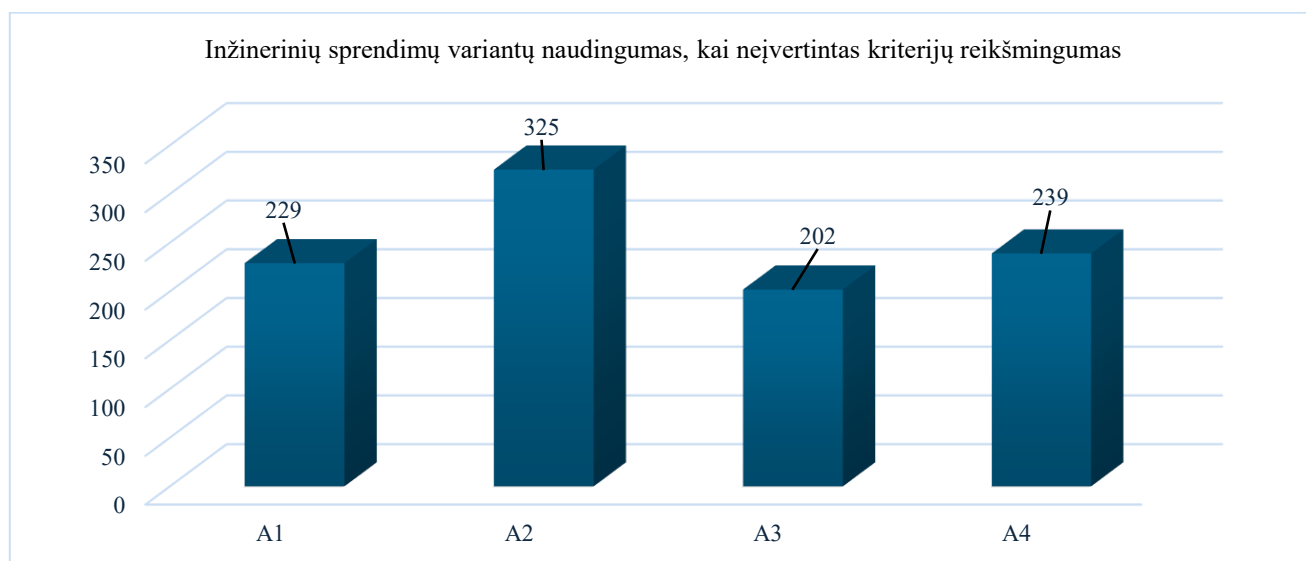
Pasirenkama vertinimo skalė, pvz., [0;10], [0;100] ir didžiausiai normalizuotos matricos kriterijaus reikšmei (3 lentelė) priskiriama maksimali vertinimo skalės reikšmė. Pvz.: $1 \rightarrow 100$. Kitos normalizuotos kriterijų reikšmės apskaičiuojamos pagal proporciją. Pvz.: $0,85 \rightarrow 85$, $0,72 \rightarrow 72$ ir t.t. Gauti rezultatai surašomi į kriterijų naudingumo matricą C_{ij} (5 lentelė). Sumuojami kiekvieno kriterijaus surinkti balai ir užrašoma inžinerinių sprendimų prioritetų eilutė. Geriausias inžinerinis sprendimas yra tas, kurio kriterijai naudingiausi, t.y. surenka didžiausią balų sumą (5 lentelė).

5 lentelė

Kriterijų naudingumas (balais)

Variantai \ Kriterijai	Matrica P			
	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄
K ₁	93	100	19	64
K ₂	75	25	100	50
K ₃	11	100	2	100
K ₄	50	100	80	25
Σ	229	325	202	239

Įvertinus rezultatus sudarome prioritetų eilutę - $A_2 > A_4 > A_1 > A_3$, pagal kurią matome, kad geriausias variantas yra A₂ – geotekstilė.



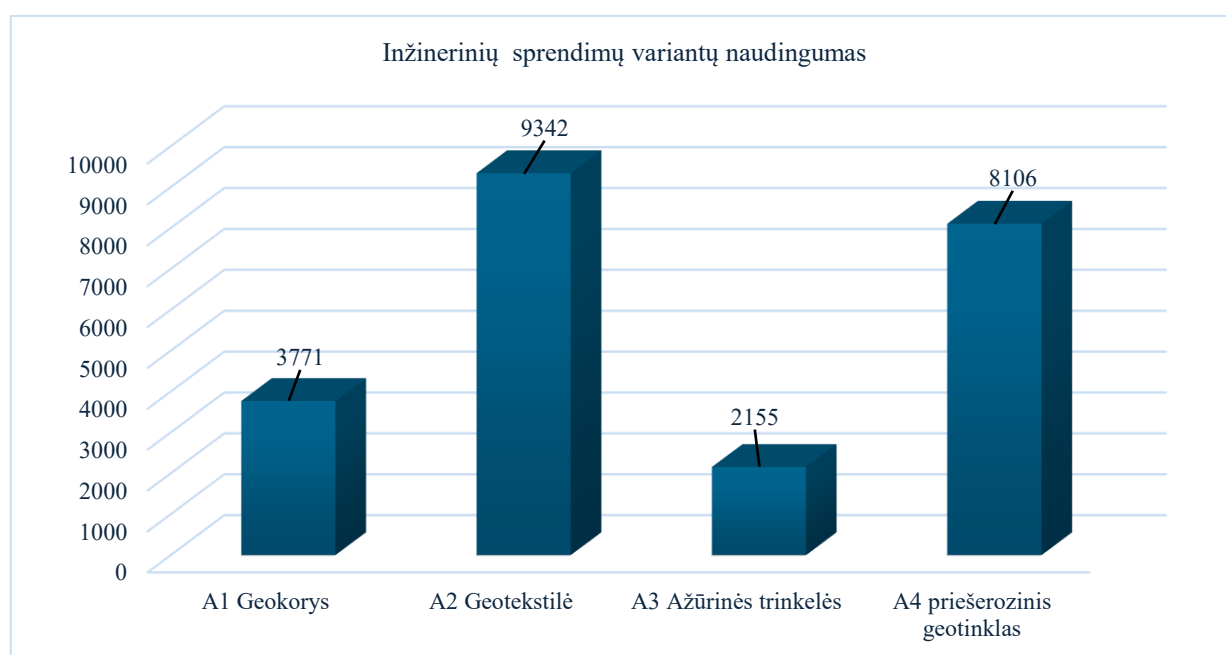
8 pav. Inžinerinių sprendimų variantų naudingumas, kai neįvertintas kriterijų reikšmingumas

Apskaičiuojamos kriterijų vertės balais, kai įvertintas teorinis kriterijų reikšmingumas. Tam tikslui kiekviena kriterijaus reikšmė (balais) (6 lentelė) dauginama iš kriterijaus subjektyvaus reikšmingumo (cij x qj). Gautos reikšmės surašomos į naują matricą.

6 lentelė

Kriterijų naudingumas, įvertinus teorinį reikšmingumą

Kriterijai	Kriterijų teorinis reikšmingumas $\bar{q}_i$, %	Matrica $\bar{C} * \bar{q}_i$			
		A1	A2	A3	A4
K1	21,61%	2017	2161	418	1375
K2	8,77%	658	219	877	439
K3	60,69%	650	6069	146	6069
K4	8,93%	447	893	714	223
Σ		3771	9342	2155	8106



9 pav. Inžinerinių sprendinių variantų naudingumas

Sumuojami kiekvieno kriterijaus surinkti balai ir nustatomas racionalus inžinerinis sprendimas. Tai tas sprendimas, kurio surinktų balų suma yra didžiausia. Sudaroma sprendimų prioritetų eilutė. Visų skaičiavimų rezultatai pavaizduojami grafiškai (9 pav.).

Išvados

1. Identifikuojant alternatyvių šlaitų įrengimo sprendimų variantus buvo parinkti keturi galimi variantai: Geokorys A1 (1 variantas), Geotekstilė A2 (2 variantas), Ažūrinės trinkelės A3 (3 variantas), Geosintetinis priešerozinis tinklas A4.

2. Atlikus daugiakriterinį šlaitų tvirtinimo variantų vertinimą $A3 > A2 > A1 > A4$, ir įvertinus subjektyvų kriterijų reikšmingumą, kur svarbiausias kriterijus buvo K2- atsparumas šlaito nuslinkimui ir K4 – ilgaamžiškumas, nustatyta, kad racionaliausias, A3 variantas – ažūrinės trinkelės, tačiau lyginant visus variantų vertinimo rezultatus, nustatyta, kad geriausias yra A2 variantas - geotekstilė.

Literatūra

1. Automobilių keliai. Kelių techninis reglamentas KTR 1.01:2008. Patvirtintas 2008 m. sausio 9 d. įsakymu Nr. D1-11/3-3.
2. Automobilių kelių žemės darbų atlikimo ir žemės sankasos įrengimo taisyklės (IT ŽS 17). Patvirtintos 2017 m. balandžio 3 d. įsakymu Nr. V-111.
3. Geosintetinis priešerozinis tinklas. Prieiga per internetą <https://www.MacMat HS - Maccaferri: Engineering a Better solution>
4. Lietuvos automobilių kelių direkcija. Valstybinės reikšmės kelių priežiūra ir plėtra 2019–2035 metais [žiūrėta 2025 10 12]. Prieiga per internetą <https://bit.ly/2wsnPHt>
5. Lietuvos Respublikos kelių įstatymas. Įstatymas paskelbtas: Žin. 1995, Nr. 44-1076, i. k. 09510101STA000I-891 Nauja redakcija nuo 2002-10-23:Nr. IX-1113, 2002-10-03, Žin. 2002, Nr. 101-4492 (2002-10-23), i. k. 10210101STA0IX. Kelių įstatymo Nr. I-891 17 straipsnio pakeitimo įstatymas. Patvirtintas 2020 m. lapkričio 10 d. Nr. XIII-3421.
6. Medelienė V. Taikomųjų tyrimų metodologija. Paskaitų pateiktys. <https://moodle.ktk.lt/course/view.php?id=258>
7. Šileikaitė, I. Daugiakriteris inovacijų vertinimo modelis statyboje ir jo taikymas. (Magistro darbas).- VGTU, 2017, 104 p. Prieiga per internetą: <https://vb.vgtu.lt/object/elaba: 22826293>.
8. Šlaitų tvirtinimo sprendimai. Prieiga per internetą <https://dekoskalda.lt/slaitu-tvirtinimo-sprendimai/>
9. Šlaitų sustiprintas geotekstilės paklotu. Prieiga per internetą <https://www.manostogas.lt>
10. Ažūrinės trinkelės. Prieiga per internetą <https://www.azurinesplytelės/Trinkeliu Mozaika.lt>

MULTI-CRITERION EVALUATION OF ENGINEERING SOLUTIONS FOR ROAD SLOPE REINFORCEMENT

Summary

It is an extremely common case when the slopes formed in any road object are constantly washed away by rain. As a result, water-eroded areas form, which prevents the formation of a vegetative layer. In addition, washed-out lands often pollute the environment with clayey sediments. First of all, the slope itself needs to be repaired. Using equipment, the slope itself is repaired: the slope contours are reshaped, the slope angle, height, etc. are restored. In order to find out the most suitable engineering solution for the reinforcement of road slopes, an analysis of the reinforcement of slopes and their multi-criteria evaluation were performed, with different significance of the evaluation criteria.

Key words: entropic expert evaluation method, pairwise expert evaluation method, multi-criteria evaluation method, slopes.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Regina Motienė

Mokslo laipsnis ir vardas: lektorė

Darbo vietą ir poziciją: Lietuvos inžinerijos kolegija, Mechanikos ir statybos inžinerijos studijų krypčių programa

Autoriaus mokslinių interesų sritys: Kelių inžinerija

Telefonas ir el. pašto adresas: +37069944575, regina.motiene@lik.tech

SOCIALINIŲ IR EDUKOLOGINIŲ MOKSLŲ KRYTIS

AI IN HIGHER EDUCATION: BENEFITS AND RISKS

Inga Dagilienė

Lietuvos Inžinerijos Kolegija Higher Education Institution

Abstract

Today, universities globally are transforming their curricula to integrate artificial intelligence (AI) across disciplines. Like many European institutions, Lithuanian universities have also recognised its importance in teaching, learning, evaluation, and professional development, as AI literacy is now essential for students in engineering, business, humanities, medicine and social sciences. Nevertheless, the integration of artificial intelligence (AI) in higher education presents both promising benefits and significant risks. Therefore, it is essential to develop specific guidelines to ensure the responsible and ethical use of AI.

A recent case study conducted at Lietuvos Inžinerijos Kolegija (LIK) revealed that students frequently use AI tools to support their academic work. Both students and lecturers acknowledge the advantages of AI, including efficiency and learning support. However, they also express concerns about potential drawbacks, particularly the risk of academic dishonesty. The integration of artificial intelligence (AI) in higher education presents both promising benefits and significant risks.

The study emphasises the importance of integrating AI thoughtfully into the educational process, aligning its implementation with institutional policies to promote ethical use and prevent misuse.

Key words: Higher education, artificial intelligence, benefits, risks.

Introduction

Information technologies, particularly artificial intelligence (AI), are revolutionising various sectors, and education is no exception. Artificial intelligence has become increasingly frequent in higher education and plays a significant role. AI algorithms and educational robots are now integral to learning, providing support for a wide range of teaching and learning activities (Costa et al., 2017, García et al., 2007). Numerous applications of AI are reshaping the overall teaching and learning landscape (Popenici & Kerr, 2017). Tools such as the AI chatbot ChatGPT are now widely used by students to support the study process — answering questions, assisting with assignments, drafting final theses, generating project plans, and offering ideas. Half of lecturers also employ AI to develop their lessons.

According to Thorp (2023), AI technologies have significant consequences for universities and their communities. While AI offers clear advantages and benefits, it also introduces challenges and risks that require careful consideration. One major concern is the potential for misinformation. Moreover, the integration of AI into teaching process can weaken core academic ethics. The convenience and accessibility of chatbots may lead to misuse, including plagiarism and academic dishonesty. These concerns highlight the need for a thoughtful and ethical approach to AI integration in higher education. Currently, the implementation and regulation of AI use vary across higher education institutions, with each institution adopting its own policies to define appropriate AI usage.

The object of the study is the benefits and risks of AI in higher education. The main objective of the study is to examine the potential and threats related to the use of artificial intelligence in higher education. Specifically, the study aims to analyse the advantages and challenges of artificial intelligence at the Faculty of Industrial Engineering and Technology at LIK. It employs an analysis of scientific literature, a quantitative research approach, and data systematisation.

Theoretical Insights into AI

Artificial intelligence (AI) is the ability of a computer system to perform tasks that normally require human intelligence, such as learning, reasoning, problem-solving, perception, and understanding language. According to Russell and Norvig (2016), AI can be divided into two types: weak AI, which is designed to perform specific tasks, and strong AI, which can perform any cognitive task that a human can do.

The implementation of AI in higher education is relatively new; however, it has expanded rapidly over the past decade and abruptly changed since the release of GhatGPT (OpenAI, 2022). ChatGPT and other advanced generative AI models, such as Microsoft Copilot and Google Gemini, have impacted the overall education process, including lesson planning, teaching material generation, self-direct learning, and assessment. AI tools allow lecturers create more interactive and engaging lessons. They also support personalised learning by adjusting content to each student's needs. Systems like intelligent tutors, automated grading, and virtual assistants make teaching easier and help keep students engaged. In addition, AI enhances accessibility and inclusion by offering features like real-time translation, speech-to-text, and adaptive AI can

also help lecturers monitor student progress and evaluate the effectiveness of the curriculum. As artificial intelligence continues to evolve, it has the potential to make education more effective for everyone.

Nevertheless, researchers show mixed views on AI in education. While AI can help personalise learning and support lecturers, it may also cause over-reliance, mistakes, bias, and reduce critical thinking and human interaction. However, researchers generally agree that students can benefit from using AI chatbots in the learning process, as these tools offer several academic advantages:

- Chatbots can efficiently summarise lengthy texts and highlight key concepts, thereby enhancing independent learning. Tools like ChatGPT are capable of drafting various types of text quickly. Although AI does not generate original ideas, it assists users in structuring and developing their own. It can support academic writing by suggesting titles, outlining methodology sections, and explaining data analysis techniques (Salvagno, Taccone, & Gerli, 2023).

- AI tools can rephrase text while maintaining its original meaning, offering multiple variations to improve clarity and style (Campbell, 2023). Grammarly, for example, provides suggestions for paraphrasing, refining grammar, and enhancing writing style in English.

- AI tools are accessible at any time, which increases student engagement and allows for flexible learning (Cotton, Cotton, & Shipway, 2024). When facing challenges, students can receive immediate answers. ChatGPT has been shown to enhance learner satisfaction, curiosity, and motivation (Hmoud et al., 2024), offering a supportive, tutor-like interaction without fear of criticism.

- AI can generate individualised assignments and assessments tailored to a student's abilities, thereby supporting more differentiated and student-centred teaching approaches (Cotton et al., 2024).

- Chatbots are capable of reducing large volumes of educational material into clear, concise summaries, making the learning process more manageable.

- AI tools help students better organise their work and manage time. For instance, Trevor provides personalised scheduling by suggesting optimal times for completing tasks (Trevor Labs, 2024)

AI tools offer numerous benefits for higher education. They support both students and lecturers, speeding up learning processes and increasing motivation and engagement. Text editing, paraphrasing, summarising, and scheduling features simplify the study process.

Despite this, researchers also admit that AI poses several risks in education:

- Buchanan (2023) warns that researchers should exercise care. Both lecturers and students must carefully assess AI-generated content, since chatbot outputs may not always be reliable (Hmoud et al., 2024).

- AI can create fake academic articles, and ChatGPT may reference sources that aren't real. (Buchanan, 2023). Day (2023) notes that the problem becomes worse when the journals cited are real, but the articles do not exist. ChatGPT may admit mistakes but still repeat them, which can mislead students using inaccurate sources.

- Relying on AI may limit students' critical thinking and creativity compared to learning with human teachers (Šarlauskienė, 2023). Academic tasks aim to build understanding and creativity, and using AI just to get good grades can harm learning.

- The ease of access to chatbots may tempt students to misuse them in academic writing. Since not all institutions recognise AI as a valid source, citing it can be complicated, giving some students an unfair advantage. (Cotton et al., 2024).

- Chatbots should be cited when used in written work. Ethically, AI cannot be considered a scientific author, as it lacks legal responsibility and free will. (Hosseini, Resnik, & Holmes, 2023). Failing to cite AI-generated content is both dishonest and unethical.

- Students using AI for their work may give lecturers a false impression of their understanding (Cotton et al., 2024). If students do not complete the work themselves, the task loses its educational value.

- Existing plagiarism detection tools don't reliably recognise AI-generated text. Honest students might be wrongly punished while dishonest students may go undetected (Šarlauskienė, 2023).

Thus, the benefits of AI come with challenges. Its widespread use in education also brings significant risks. Students may encounter inaccurate or misleading information and fake sources. Misuse of AI can reduce academic integrity, fairness, and equality. Additionally, AI can make it difficult to accurately assess students' competences, creating a false impression of their abilities.

Today, as many European universities offer AI-related study programs, Lithuanian universities are following their example. Lithuanian universities do not have a unified policy on the use of artificial intelligence (AI). While students and lecturers may use AI tools to search for information, clarify complex content, or correct language, AI should not be the primary source. It is intended to serve only as a supplementary resource. Reliable academic sources must be used in studies, and AI-generated content (text, images, audio) cannot be

submitted as original work. Citations must clearly indicate which tools were used and what content was generated by AI. Each higher education institution has a Code of Academic Ethics, which outlines core values such as academic integrity, responsibility, fairness, equality, and transparency. Submitting AI-generated work violates academic integrity and ethical principles. At Lietuvos Inžinerijos Kolegija, AI tools may be used during studies, following their plagiarism prevention policy.

Results and Discussion

Recently, it has been observed that students and lecturers at Lietuvos Inžinerijos Kolegija (LIK) are increasingly using artificial intelligence (AI) tools in the learning process. To examine the benefits and risks, a quantitative study was conducted from September 2024 to May 2025.

The object of the study was to explore the benefits and risks posed by artificial intelligence in higher education. The survey link was sent to first-year students and lecturers from all study programs. Participation in the study was voluntary and anonymous. Respondents were informed about the purpose of the research and how the results would be used.

A total of 107 students from various study programs and 13 lecturers who teach them participated in the survey. The questionnaire contained seven questions. The questions for students and lecturers were formulated in a very similar way to ensure the comparability of the collected data.

The first survey question aimed to determine how frequently students and lecturers use artificial intelligence (Fig. 1).

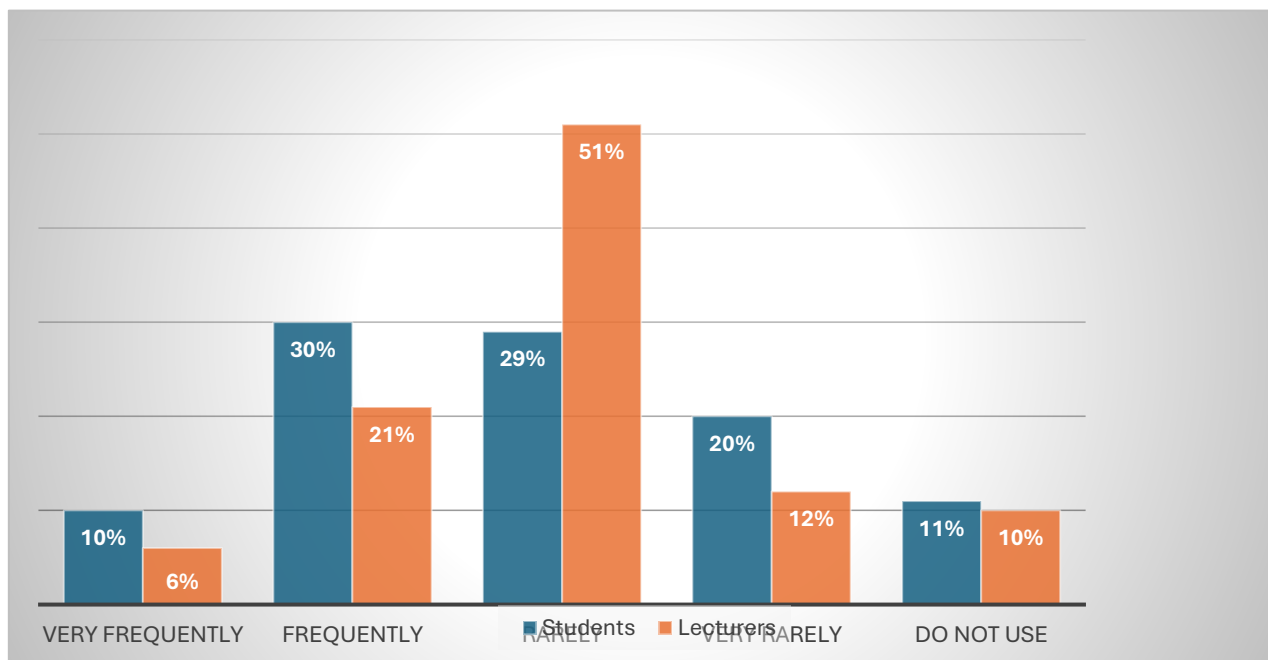


Fig 1. Frequency of AI application

Source: Compiled by the author

Figure 1 shows that only 11 % of students and 10 % of lecturers reported not using artificial intelligence at all in the study process. Among students, 20% use AI tools very rarely, and 29% use them rarely. More than half of the lecturers (51%) use AI tools rarely, while 12 % use them very rarely. Frequent use of AI was reported by 30% of students and 21% of lecturers. A smaller proportion—10% of students and 6% of lecturers—reported using AI tools very frequently in their academic activities. The findings suggest that students use artificial intelligence more frequently than lecturers.

The second question aimed to identify which specific AI tools respondents use in the study process (Fig. 2).

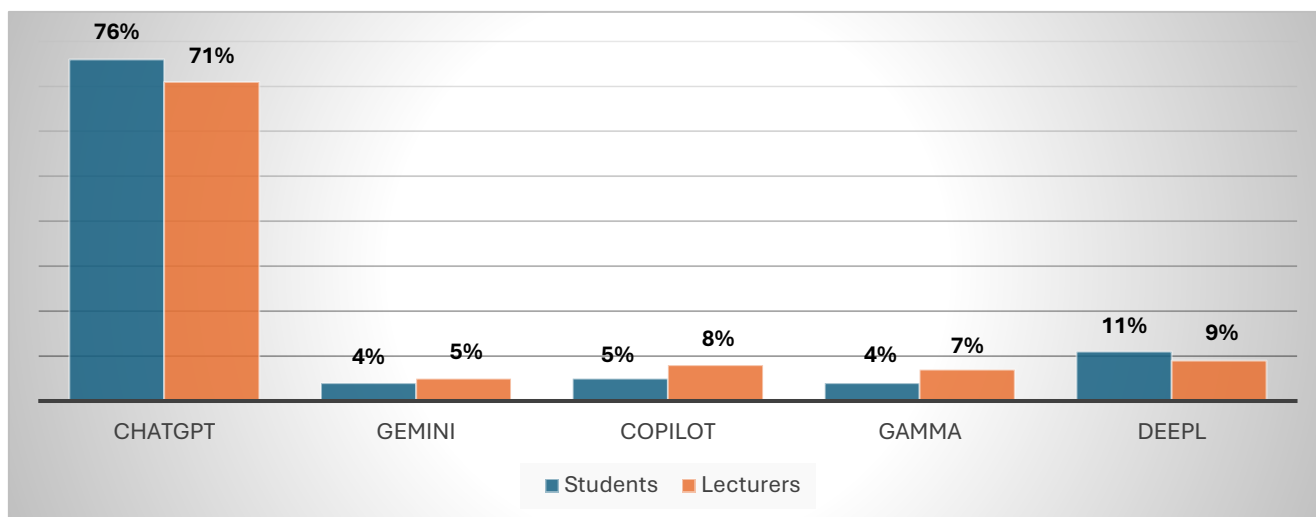


Fig 2. AI-based tools
Source: Compiled by the author

According to the survey results, 76% of students and 71% of lecturers identified ChatGPT as the most commonly used AI tool in the study process. Other tools mentioned included Gemini (used by 4% of students and 5% of lecturers), Copilot (5% of students and 8% of lecturers), Gamma (4% of students and 7% of lecturers), and DeepL (11% of students and 9% of lecturers).

Respondents were asked to indicate whether the use of AI tools is permitted within the study process (Fig. 3).

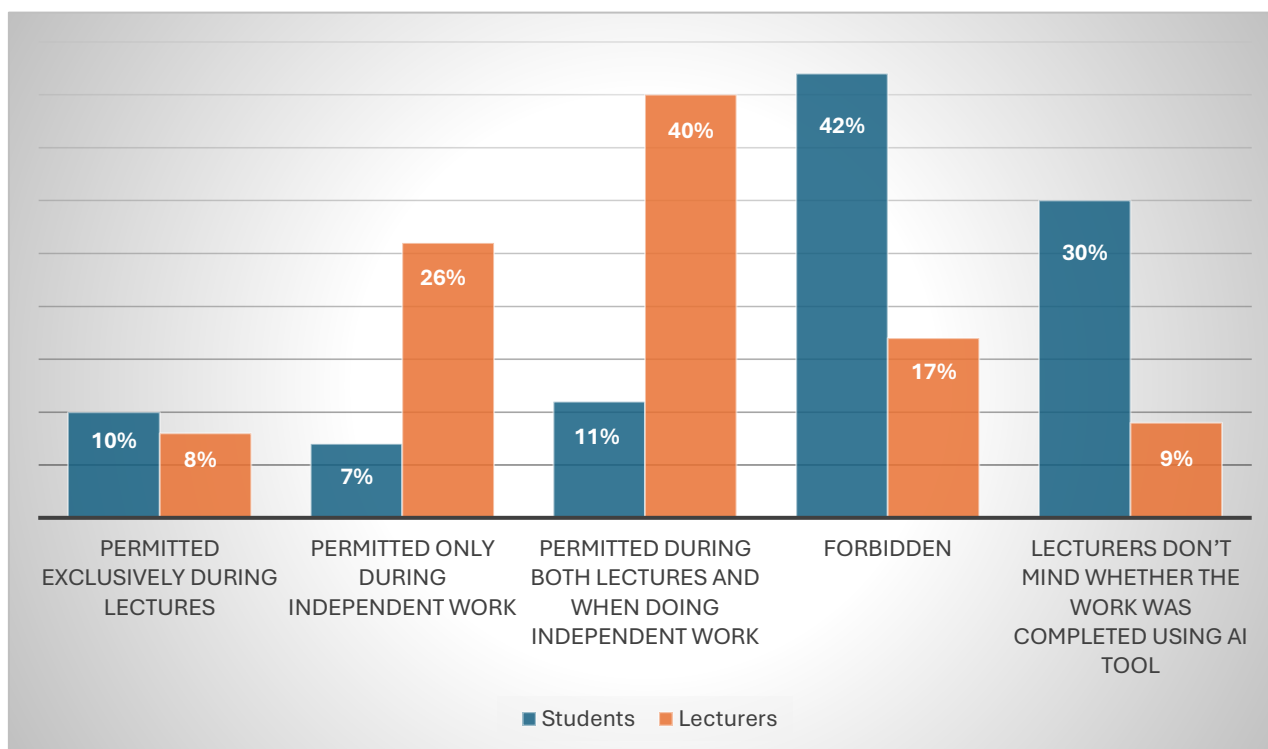


Fig 3. Use of AI tools by students and lecturers in academic setting
Source: Compiled by the author

According to the survey results, 42% of students and 17% of lecturers stated that the use of AI tools is not permitted in the study process. While 40% of lecturers reported that they allow students to use AI tools during both lectures and independent work, only 11% of students confirmed this. Additionally, 9% of lecturers indicated they do not object to the use of AI tools for task completion, a view shared by 30% of students.

Furthermore, 26% of lecturers said that AI tools may be used only for independent work, although just 7% of students reported the same. Finally, 8% of lecturers stated that AI tools may be used during lectures, which was confirmed by 10% of students.

The next question aimed to explore respondents' opinions on the broader integration of artificial intelligence into the study process (Fig. 4).

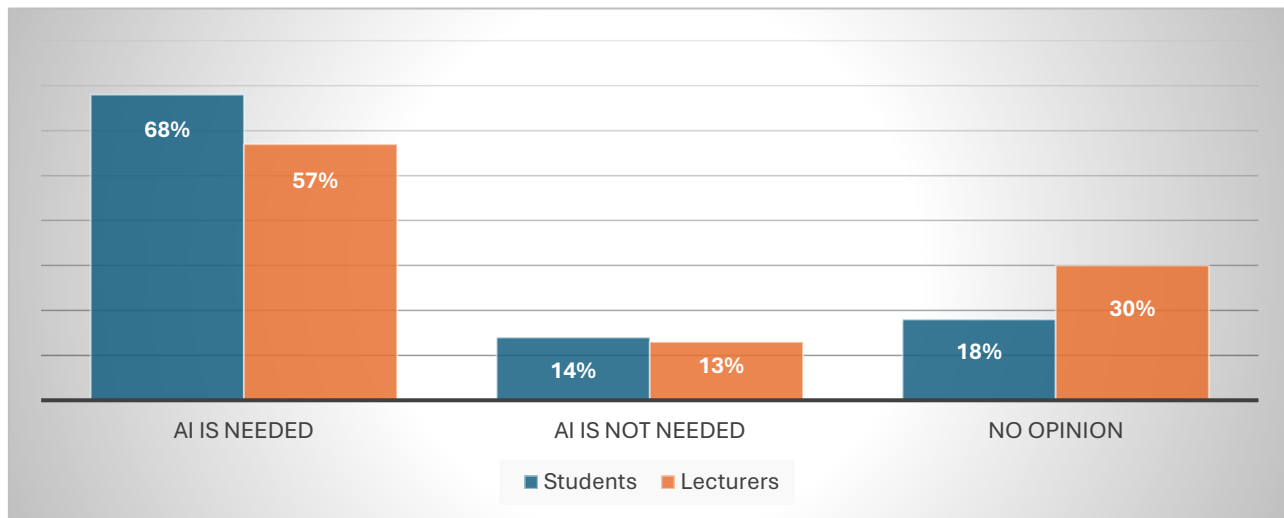


Fig 4. The need for greater AI integration in the study process

Source: Compiled by the author

The majority of students (68%) believe that AI tools should be used more in the study process. This view is shared by 57% of the lecturers who participated in the survey. However, 14% of students and 13% of lecturers disagree with this idea. Additionally, 18% of students and 30% of lecturers expressed no opinion on the matter.

Respondents were also asked whether artificial intelligence helps students achieve better academic results (Fig. 5).

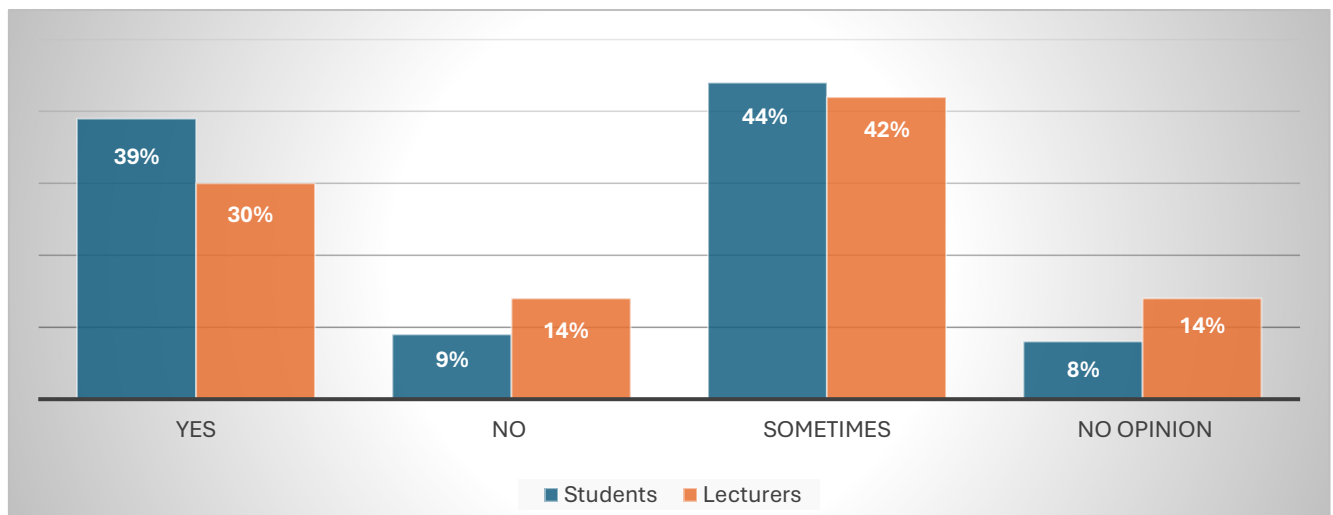


Fig 5. Students' and lecturers' perceptions of AI's usefulness in enhancing learning outcomes

Source: Compiled by the author

39% of students and 30% of lecturers believe that AI helps students achieve better results in their studies. However, 9% of students and 14% of lecturers disagree with this statement. Additionally, 44% of students and 42% of lecturers feel that AI helps students achieve better results only occasionally. 8% of students and 14%

of lecturers reported having no opinion on the matter. Overall, most respondents believe that AI is beneficial in the study process and helps improve academic outcomes.

Respondents were asked to identify the benefits of using AI tools in the study process (Fig. 6).

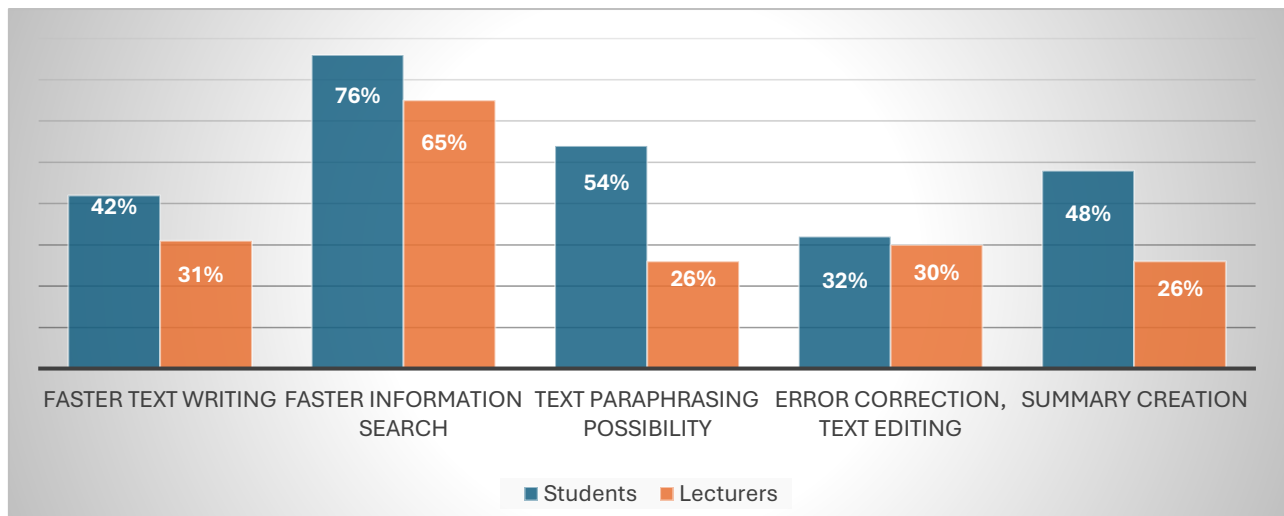


Fig 6. Students' and teachers' opinions on the benefits of AI in the study process

Source: Compiled by the author

More than half of the respondents—76% of students and 65% of lecturers—believe that AI helps find necessary information more quickly. Additionally, 54% of students and 26% of lecturers see AI as useful for paraphrasing texts, while 48% of students and 26% of lecturers value it for creating summaries. AI is also considered helpful for correcting and editing texts (32% of students and 30% of lecturers) and for writing texts more quickly (42% of students and 31% of lecturers). Both students and lecturers see AI as useful, but students see more benefits than lecturers.

The study also aimed to identify the risks respondents see in using AI tools for learning (Fig. 7).

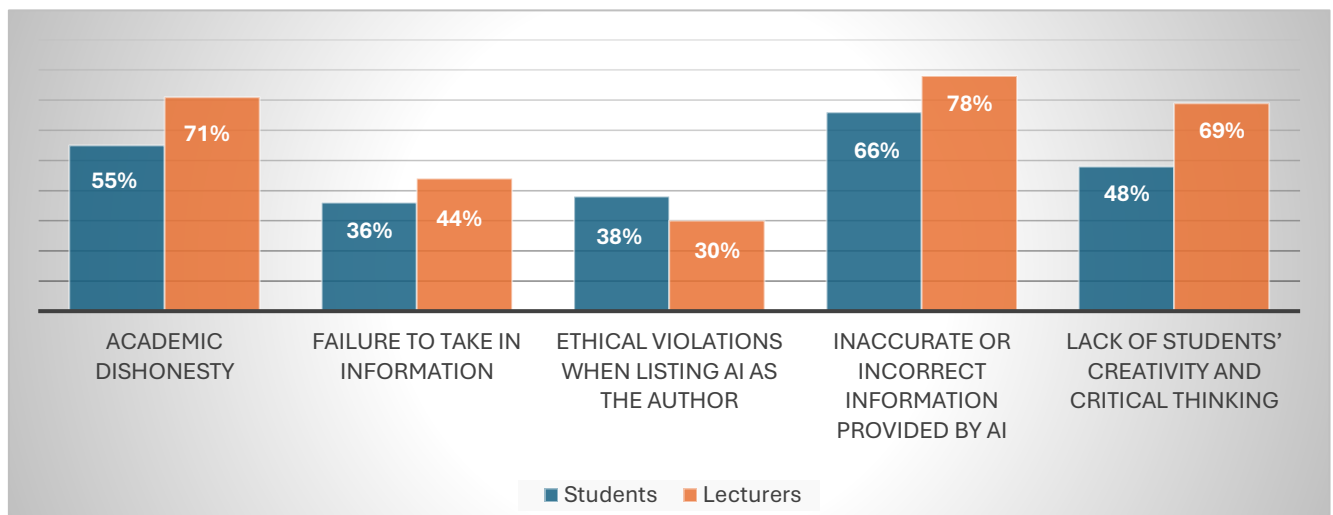


Fig 7. Students' and lecturers' perceptions of the risks posed by AI

Source: Compiled by the author

The majority of students (66%) and lecturers (78%) view inaccurate or incorrect information from AI as a major risk. Additionally, 71% of lecturers and 55% of students believe that AI use can lead to academic dishonesty. Using AI tools may also hinder learning, with 36% of students and 44% of lecturers reporting that information is not fully absorbed. Furthermore, 48% of students and 69% of lecturers feel that AI can inhibit creativity and critical thinking. Ethical risks, such as improper author attribution, were also noted by 38% of

students and 30% of lecturers. The results show that students and lecturers recognise the risks of using AI tools in the study process.

Conclusions

The use of artificial intelligence (AI) in the study process has both positive and negative aspects. AI tools can enhance academic activities by assisting with writing, editing, and paraphrasing texts, creating summaries, planning individualised learning, and personalising assignments. However, AI also poses risks to academic integrity and the depth of knowledge acquisition, particularly when it generates inaccurate or misleading information. In response to the growing use of AI, higher education institutions are developing guidelines and policies for its responsible use. Lietuvos Inžinerijos Kolegija, for example, provides AI usage guidelines as part of its plagiarism prevention procedures.

The research results show that only a small number of students and lecturers completely avoid using artificial intelligence technologies. Students use AI tools more frequently than lecturers, with ChatGPT being the most popular platform. However, AI use in the study process can be seen as giving an unfair advantage, hindering objective assessment of knowledge, reducing motivation for independent learning, and creating ethical risks. As a result, not all lecturers allow AI tools during studies. Despite these concerns, both students and lecturers recognise the benefits of AI and support its broader integration into the academic environment.

References

1. Buchanan, J. (2023). ChatGPT Cites Economics Papers That Do Not Exist. Economist writing every day. Available at: <https://economistwritingeveryday.com/2023/01/21/chatgpt-cites-economics-papers-that-do-not-exist/>
2. Day, T. (2023). A Preliminary Investigation of Fake Peer-Reviewed Citations and References Generated by ChatGPT. The Professional Geographer. Vol. 75, No. 6, 1024-1027. Available at: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00330124.2023.2190373>
3. Campbell, A. (2023). AI terms + education: a glossary of what you need to know. Available at: <https://www.turnitin.com/blog/ai-terms-education-a-glossary-of-what-you-need-to-know>
4. Costa, E. B., Fonseca, B., Santana, M. A., Araújo, F. F. D., Rego, J. (2017). Evaluating the effectiveness of educational data mining techniques for early prediction of students' academic failure in introductory programming courses. Computers in Human Behavior, Vol. 73, 247-256. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0747563217300596?via%3Dihub>
5. Cotton, D. R. E., Cotton, P. A. & Shipway, J. R. (2024). Chatting and cheating: Ensuring academic integrity in the era of ChatGPT. Innovations in Education and Teaching International. Vol. 61, No. 2, 228–239. Available at: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14703297.2023.2190148>
6. García, P., Amandi, A., Schiaffino, S., Campo M. (2007). Evaluating Bayesian networks' precision for detecting students' learning styles. Computers & Education, Vol. 49, No. 3, 794-808. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360131505001788?via%3Dihub>
7. Hmoud, M., Swait, H., Hamad, N., Karram, O. & Daher W. (2024). Higher Education Students' Task Motivation in the Generative Artificial Intelligence Context: The Case of ChatGPT. Vol. 15, No. 33, 2078-2489. Available at: <https://www.mdpi.com/2078-2489/15/1/33>
8. Hosseini, M., Resnik, D. B. & Holmes, K. (2023). The ethics of disclosing the use of artificial intelligence tools in writing scholarly manuscripts. Research Ethics. Vol. 19, No. 4, 449-465 Available at: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/17470161231180449>
9. Lietuvos inžinerijos kolegijos Akademinės etikos kodeksas. Available at: https://www.lik.tech/uploads/9a6bb6a1-c040-4b18-9085-d6d924bf89af/KTK_akademin%20etikos_kodeksas.pdf
10. OpenAI. (2022). Introducing ChatGPT. Available at: <https://openai.com/index/chatgpt/>
11. Popenici, S. A., Kerr S. (2017). Exploring the impact of artificial intelligence on teaching and learning in higher education. Research and Practice in Technology Enhanced Learning, Vol. 12, No. 22, 1-13. Available at: <https://telrp.springeropen.com/articles/10.1186/s41039-017-0062-8>
12. Russell, S. J. & Norvig, P. (2016). Artificial Intelligence: A Modern Approach. Pearson 3rd edition. Available at: <https://elibrary.pearson.de/book/99.150005/9781292153971>
13. Salvagno, M., Taccone, F. S. & Gerli, A. G. (2023). Can artificial intelligence help for scientific writing? Crit Care. Vol. 27, No. 75. Available at: <https://ccforum.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13054-023-04380-2>
14. Šarlauskienė, L. (2023). Dirbtinis intelektas aukštajame moksle: viešosios komunikacijos Lietuvoje aspektas. Mokslo taikomieji tyrimai Lietuvos kolegijose. Vol.1, No. 19, 188–197. <https://ojs.kaunokolegija.lt/index.php/mttlk/article/view/600>
15. Thorp, H. H. (2023). ChatGPT is fun, but not an author. Science. Vol. 379, No. 6630. Available at: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.adg7879>
16. Trevor Labs. Available at: <https://www.trevorai.com/>

DIRBTINIS INTELEKTAS AUKŠTAJAME MOKSLE: NAUDA IR RIZIKOS

Santrauka

Šiandien universitetai visame pasaulyje keičia savo studijų programas, siekdami integruoti dirbtinį intelektą (DI) į įvairias disciplinas. Kaip ir daugelis Europos aukštojo mokslo institucijų, Lietuvos universitetai taip pat pripažįsta DI svarbą mokyme, mokymesi, vertinime ir profesiniame tobulėjime, nes DI raštingumas tampa būtinas inžinerijos, verslo, humanitarinių, medicinos ir socialinių mokslų studentams. Vis dėlto dirbtinio intelekto integravimas į aukštąjį mokslą ne tik atveria daug žadančių galimybių, bet ir kelia reikšmingų rizikų. Todėl būtina parengti aiškias gaires, kurios užtikrintų atsakingą ir etišką DI naudojimą.

Neseniai Lietuvos inžinerijos kolegijoje (LIK) atliktas atvejo tyrimas parodė, kad studentai dažnai naudojami DI įrankiais savo mokymosi procese. Tiek studentai, tiek dėstytojai pripažįsta DI teikiamus privalumus, tokius kaip didesnis darbo efektyvumas ir geresnė mokymosi pagalba. Tačiau jie taip pat išreiškia susirūpinimą dėl galimų trūkumų, ypač dėl akademinio nesąžiningumo rizikos.

Tyrimas pabrėžia, kad DI turi būti integruojamas apgalvotai ir derinamas su institucijos politika, siekiant užtikrinti etišką jo naudojimą ir užkirsti kelią piktnaudžiavimui.

Riekšminiai žodžiai: aukštasis išsilavinimas, dirbtinis intelektas, nauda, rizika.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Inga Dagilienė

Mokslo laipsnis ir vardas: Magistras

Darbo vieta ir pozicija: Lietuvos inžinerijos kolegija, lektorė.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: vertimas, kalbų dėstymo metodikos, ELT, ESP

Telefonas ir el. pašto adresas: 0 606 81358, inga.dagiliene@lik.tech

INTRINSIC AND EXTRINSIC MOTIVATION AS PREDICTORS OF ACADEMIC ENGAGEMENT IN UNIVERSITY STUDENTS

Lina Girdauskienė, Miglė Girdauskaitė

Lietuvos Inžinerijos Kolegija Higher Education Institution

Abstract

Student engagement is a key determinant of academic success in higher education, and student motivation is an important factor influencing engagement. Grounded in Self-Determination Theory, this study examined the relationships between intrinsic motivation, extrinsic motivation, and academic engagement among university students. A quantitative correlational design was used, with data collected from 20 higher education students via a self-report questionnaire. Intrinsic motivation, extrinsic motivation, and engagement were measured using three items each on a seven-point Likert scale, with motivation items adapted from the Work Extrinsic and Intrinsic Motivation Scale. Pearson correlation analysis revealed that both intrinsic motivation ($r = 0.26$) and extrinsic motivation ($r = 0.32$) were positively associated with student engagement, although the relationships were weak. Extrinsic motivation showed a slightly stronger association with engagement than intrinsic motivation. These findings suggest that both forms of motivation contribute to student engagement in university settings, highlighting the need to consider multiple motivational factors when seeking to enhance academic engagement in higher education.

Key words: intrinsic motivation, extrinsic motivation, student engagement, university students

Introduction

“Student engagement can be seen as the glue that holds together all aspects of student learning and growth” (Sutton, 2025). It is widely recognized that student engagement is a key determinant of academic success in higher education (YouScience, 2024). Engaged students are more likely to invest effort in their studies, participate actively in learning activities, and persist in the face of academic challenges. As universities increasingly emphasize active learning and student-centered education, understanding the factors that contribute to student engagement has become an important area of educational research.

One factor consistently linked to engagement is student motivation. Motivation influences not only whether students engage with academic tasks, but also the quality and persistence of that engagement. Among the various theoretical frameworks used to examine motivation in educational contexts, Self-Determination Theory (SDT) has been particularly influential (Deci & Ryan, 1985; 2000). Prior research has highlighted the importance of distinguishing between intrinsic motivation, which is driven by interest and enjoyment, and extrinsic motivation, which is driven by external goals and outcomes (MSEd, 2025). Both forms of motivation have been shown to play a role in shaping students’ academic behaviors and levels of engagement.

This research examines the relationship between intrinsic motivation, extrinsic motivation, and student engagement among university students. By exploring these relationships, the study aims to contribute to a better understanding of how different motivational factors are associated with engagement in higher education.

Based on previous research, the following hypotheses were proposed:

H1: Intrinsic motivation is positively associated with student engagement.

H2: Extrinsic motivation is positively associated with student engagement.

H3: Intrinsic motivation is more strongly associated with student engagement than extrinsic motivation.

Theoretical background

According to Deci and Ryan (1985; 2000), Self-Determination Theory (SDT) is a way of understanding human motivation and personality that relies on standard research methods, while emphasizing that people have natural, inner resources that help them develop their personality and manage their own behavior. This theory is useful in the current study, as it explains how each type of motivation (intrinsic and extrinsic) is affected by environmental factors. Here that factor could be student engagement.

Motivation is the energy, direction, persistence and equifinality, all aspects of activation and intention (Deci & Ryan, 1985; 2000). Although motivation is often seen as a single concept, it’s clear that people are driven by many different factors, which lead to very different experiences and outcomes. For example, people can be driven by a value in activity or oppositely because of an award tightly linked to completing said activity. Therefore, few types of motivation are differentiated.

Firstly, there is intrinsic motivation. It is the inherent tendency to seek out novelty and challenges, to extend and exercise one's capacities, to explore, and to learn (Deci & Ryan, 1985; 2000). Intrinsic motivation is a type of autonomous motivation, where people do an activity simply because they find it enjoyable and choose to do it freely (Gagné, & Deci, 2005). Developmental experts recognize that, from birth, healthy children are naturally active, curious, and playful, even without any specific rewards, however research now

shows that keeping and strengthening this natural tendency needs supportive conditions, because it can easily be disrupted by unsupportive ones (Deci & Ryan, 1985; 2000). Consequently, factors, such as student engagement can influence that innate intrinsic motivation with ease.

Extrinsic motivation, on the other hand, is the performance of an activity in order to attain some separable outcome and, thus, contrasts with intrinsic motivation, which refers to doing an activity for the inherent satisfaction of the activity itself (Deci & Ryan, 1985; 2000). Extrinsic motivation comes from outside a person, such as rewards or pressure from others, and can be especially helpful for encouraging someone to complete tasks that they find unpleasant or uninteresting (MSEd, 2025b).

Both intrinsic and extrinsic motivation are highly influenced by the environment in which an individual operates. While intrinsic motivation thrives when conditions support curiosity, autonomy, and challenge, extrinsic motivation can be shaped by the way external incentives are presented and perceived. In educational contexts, one of the most important environmental factors that can affect both types of motivation is student engagement.

Student engagement refers to how involved or interested students appear to be in their learning and how connected they are to their classes, their institutions, and each other (Axelson & Flick, 2011). Student engagement is a key factor in determining academic success in higher education, and the factors that affect engagement can have significant and lasting effects on student performance and learning outcomes (Li & Xue, 2023). Engaged students are more likely to participate and go through challenges, and take ownership of their learning, which directly supports intrinsic motivation (Le & Sang, 2023). When students feel interested, competent, and connected in the classroom, their natural curiosity and desire to learn are reinforced. Similarly, engagement can influence extrinsic motivation by shaping how students perceive external rewards and expectations (Saeed & Zyngier, 2012). Engaged students are more likely to see grades, feedback, or recognition as meaningful incentives rather than mere obligations. In this way, fostering student engagement creates an environment that nurtures both intrinsic and extrinsic motivation, enhancing overall learning outcomes.

Methodology

The first step in testing the raised research question was drawing up a questionnaire, which would provide quantitative data. The questionnaire assessed all three variables, which were intrinsic motivation, extrinsic motivation and engagement, based on three questions each. The questions for intrinsic and extrinsic motivation were based on the Work Extrinsic and Intrinsic Motivation Scale (WEIMS), as it measures the work motivation grounded in Self-Determination Theory (SDT) (*Work Extrinsic and Intrinsic Motivation Scale (WEIMS)* – *selfdeterminationtheory.org*, n.d.).

The questions chosen were adapted to the current research, thus “work” was replaced with “studies.” From the total WEIMS list, questions 4, 8 and 15 were adopted for intrinsic motivation, as seen in Table 1. These inquiries work well together and are widely used in SDT based research. Questions 7, 11 and 14 represented extrinsic motivation (Table 1), as they capture external goals and performance pressure without over-emphasizing money. The engagement part’s questionnaire was built independently, with questions, such as “I actively participate in my courses,” as they show cognitive, behavioral and attention dimensions of engagement.

The next step was acquiring the participants for the questionnaire. The sample consisted of 20 university students recruited using convenience sampling. All participants were currently enrolled in higher education at the time of data collection (Table 2). Participation was voluntary and responses were collected anonymously. The research participants came from a large scope of countries, which allowed for unbiased responses not based on a single study country (Table 2).

Intrinsic motivation, extrinsic motivation and engagement were measured using a 7 point Likert scale, which reflected the correspondence of questions with the participants (1 being “Does not correspond at all” and 7 being “Corresponds exactly”). Mean scores for all three items were calculated by averaging the relevant items for each participant (the questionnaire was flooded with mock and filler questions to improve data quality and validity. Meade and Craig’s (2012) research “Identifying Careless Responses in Survey Data” showed that including attention checks significantly improves the reliability of self-report data). The mean scores were then included in the correlation calculation, using Pearson's correlation coefficient (Mathematical formula 1) to test the relationship between student motivation and academic engagement.

Table 1

Chosen questionnaire questions, answering the inquiry “Why do you study?” and showing engagement

Questions	Intrinsic motivation (IM)	Extrinsic motivation (EM)	Engagement (E)
	4. Because I derive much pleasure from learning new things.	7. Because I chose this type of work to attain my career goals	I actively participate in my courses
	8. For the satisfaction I experience from taking on interesting challenges	11. Because I want to be very good at this work, otherwise I would be very disappointed.	I put a lot of effort into understanding the course material.
	15. For the satisfaction I experience when I am successful at doing difficult tasks.	14. Because it is the type of work I have chosen to attain certain important objectives.	I stay focused and attentive during lectures or study sessions.

Table 2

Examples of participants’ demographic data

Participant	Age / study year	Study country	Study sphere
1	21 years old / 3rd year	Lithuania	Law
3	20 years old / 3rd year	France	International Relations and International Organizations
7	22 years old / 3rd year	The Netherlands	International Relations
8	21 years old / 3rd year	The Netherlands	International and European Law
14	20 years old / 2nd year	Lithuania	Law

Mathematical formula

Pearson's correlation coefficient

$$r = \frac{\sum[(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})]}{\sqrt{[\sum(X_i - \bar{X})^2 \cdot \sum(Y_i - \bar{Y})^2]}} \quad (1)$$

Here X_i – individual participant’s score on variable X (intrinsic / extrinsic motivation mean score for 1st participant), Y_i – individual participant’s score on variable Y (Engagement mean score for 1st participant), $\bar{X}$ – mean of all X scores (mean of all intrinsic / extrinsic motivation scores), $\bar{Y}$ – mean of all Y scores (mean of all engagement scores), Σ – sum across all participants.

Results

Table 3 represents examples of the participants’ answers in the three areas of intrinsic motivation, extrinsic motivation and engagement on a 7-point scale. Overall, responses indicated moderate to high levels of engagement across all participants.

Table 3

Participants’ answers regarding intrinsic and extrinsic motivation and engagement

Participant	IM1 (4)	IM2 (8)	IM3 (15)	EM1 (7)	EM2 (11)	EM3 (14)	E1	E2	E3
1	4	2	3	4	5	4	5	6	5
2	6	4	4	4	5	4	4	5	4
3	6	4	6	5	6	6	6	6	5
4	7	5	6	5	7	6	7	6	7

Participant	IM1 (4)	IM2 (8)	IM3 (15)	EM1 (7)	EM2 (11)	EM3 (14)	E1	E2	E3
5	7	5	7	6	7	7	7	7	6
6	7	6	7	6	7	7	6	7	4
7	4	5	7	5	6	4	5	6	5
8	7	5	7	4	5	6	4	5	7
9	7	6	6	6	7	4	6	6	5
10	6	4	7	6	7	7	4	5	6
11	4	2	6	6	7	4	5	4	6
12	7	6	6	6	5	5	5	4	4
13	6	6	5	5	4	5	5	6	5
14	3	7	4	5	5	6	7	7	6
15	4	5	7	4	5	7	6	6	5
16	5	5	7	5	5	5	6	5	4
17	6	2	3	6	6	5	5	4	4
18	6	5	4	6	7	6	6	6	6
19	7	6	6	3	7	7	5	6	4
20	4	4	6	6	7	7	6	5	3

Mean scores for intrinsic motivation, extrinsic motivation, and engagement were calculated by averaging the relevant items for each participant. These values are shown in Table 4. Overall, mean scores indicated moderate to high levels of intrinsic motivation ($M \approx 5.4$), extrinsic motivation ($M \approx 5.6$) and engagement ($M \approx 5.4$).

Table 4

Calculated mean scores for intrinsic and extrinsic motivation and engagement

Participant	IM mean score	EM mean score	E mean score
1	3.00	4.33	5.33
2	4.67	4.33	4.33
3	5.33	5.67	5.67
4	6.00	6.00	6.67
5	6.33	6.67	6.67
6	6.67	6.67	5.67
7	5.33	5.00	5.33
8	6.33	5.00	5.33
9	6.33	5.67	5.67
10	5.67	6.67	5.00
11	4.00	5.67	5.00

Participant	IM mean score	EM mean score	E mean score
12	6.33	5.33	4.33
13	5.67	4.67	5.33
14	4.67	5.33	6.67
15	5.33	5.33	5.67
16	5.67	5.00	5.00
17	3.67	5.67	4.33
18	5.00	6.33	6.00
19	6.33	5.67	5.00
20	4.67	6.33	4.67

Pearson correlation coefficients were calculated to examine the relationships between intrinsic motivation, extrinsic motivation, and student engagement. The results are presented in Table 5. Intrinsic motivation showed weak positive correlation with engagement ($r = 0.26$), indicating that higher intrinsic motivation was associated with slightly higher levels of engagement. Extrinsic motivation was also positively correlated with engagement ($r = 0.32$), with a small to moderate association. Both relationships are positive, meaning that motivation is associated with engagement, but neither forms are strong. The relatively weak correlations observed may be attributable to the small sample size and reliance on self-reported measures.

Table 5

Correlation results between variables

Correlation	
Intrinsic motivation and engagement	$r = 0.26$
Extrinsic motivation and engagement	$r = 0.32$

Discussion and conclusions

The research tested the relationship between intrinsic motivation, extrinsic motivation, and student engagement among university students. Consistent with expectations and hypothesis derived from Self-Determination Theory (Deci & Ryan, 1985; 2000), both intrinsic and extrinsic motivation were positively associated with student engagement, suggesting that motivated students tend to be more engaged in their academic activities. However, the strength and nature of these relationships differed, providing useful insight into how different forms of motivation may relate to engagement in higher education contexts.

Self-Determination Theory distinguishes between intrinsic motivation, which is driven by satisfaction of behaving “for its own sake,” and extrinsic motivation, which is driven by external goals, outcomes, or pressures. From an SDT perspective, intrinsically motivated students are expected to display higher-quality engagement, as their behavior is self-endorsed and sustained by interest in learning itself. The weak positive correlation observed between intrinsic motivation and engagement in the research aligns partially with this theoretical expectation. While students who reported higher intrinsic motivation tended to be more engaged, the relationship was modest, suggesting that intrinsic enjoyment alone may not fully account for engagement levels in this sample.

Interestingly, extrinsic motivation demonstrated a slightly stronger association with engagement than intrinsic motivation. Although SDT often emphasizes the superiority of intrinsic motivation, the theory also acknowledges that certain forms of extrinsic motivation, particularly those that are internalized and aligned with personal goals, can support adaptive outcomes. Many extrinsic items used in this study reflected goal-oriented and achievement-related motives (for example, striving to succeed or attain important objectives), which may be especially important in university settings where performance, assessment, and future career prospects play a central role. As such, extrinsic motivation may have functioned as a meaningful driver of engagement in this academic context.

These findings highlight the contextual nature of motivation emphasized by SDT. In structured educational environments, external demands such as grades, evaluations, and long-term goals may encourage students to invest effort and remain engaged, even when intrinsic interest fluctuates. This may help explain why extrinsic motivation showed a comparable and slightly stronger relationship with engagement in the present sample. Rather than contradicting SDT, these results underscore the theory's assertion that motivation exists along a continuum, and that internalized forms of extrinsic motivation can be functional and supportive of engagement.

Despite these insights, the observed relationships were relatively weak, indicating that motivation alone does not fully explain student engagement. Engagement is a multifaceted construct influenced by numerous factors, including teaching practices, course design, peer interaction, and institutional support. The modest correlations found in this study suggest that motivation should be considered as one of several contributing factors rather than a sole determinant of engagement.

Several limitations should be acknowledged. First, the study relied on a small convenience sample, which limits the generalizability of the findings. Second, all measures were based on self-report data, which may be subject to response biases such as social desirability or overestimation of engagement. Additionally, the cross-sectional design prevents any conclusions about causality. Future research could address these limitations by using larger samples, longitudinal designs, or incorporating behavioral indicators of engagement.

In conclusion, the research provides preliminary evidence that both intrinsic and extrinsic motivation are positively related to student engagement in higher education. In line with Self-Determination Theory, the findings suggest that while intrinsic motivation remains important, extrinsic motivation, particularly when aligned with personal goals, may also play a significant role in supporting student engagement. These results emphasize the importance of considering multiple forms of motivation when seeking to understand and enhance student engagement in university settings.

References

1. Axelson, R. D., & Flick, A. (2011). DEFINING STUDENT ENGAGEMENT. *Change*, 43(1), 38–43. <http://www.jstor.org/stable/23568219>
2. Le, W. S., & Sang, C. N. (2023, August 20). *Enhancing Learning Engagement and Academic Performance: A Systematic Review among Private College and University Students in Xi'an, China*. © 2012-2019 International Journal of Sciences: Basic and Applied Research (IJSBAR). <https://www.gssrr.org/JournalOfBasicAndApplied/article/view/16044>
3. Li, J., & Xue, E. (2023). Dynamic Interaction between Student Learning Behaviour and Learning Environment: Meta-Analysis of Student Engagement and Its Influencing Factors. *Behavioral Sciences*, 13(1), 59. <https://doi.org/10.3390/bs13010059>
4. Marylène Gagné, & Deci, E. L. (2005). Self-Determination Theory and Work Motivation. *Journal of Organizational Behavior*, 26(4), 331–362. <http://www.jstor.org/stable/4093832>
5. Meade, Adam & Craig, Bart. (2012). Identifying Careless Responses in Survey Data. *Psychological Methods*. 17. 437-455. 10.1037/a0028085.
6. MSEd, K. C. (2025, October 16). *Intrinsic Motivation vs. Extrinsic Motivation: What's the Difference?* Verywell Mind. <https://www.verywellmind.com/differences-between-extrinsic-and-intrinsic-motivation-2795384>
7. Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2000). Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. *American Psychologist*, 55(1), 68–78. https://selfdeterminationtheory.org/SDT/documents/2000_RyanDeci_SDT.pdf
8. Saeed, S., & Zyngier, D. (2012). How motivation influences student engagement: a qualitative case study. *Journal of Education and Learning*, 1(2). <https://doi.org/10.5539/jel.v1n2p252>
9. Sutton, E. (2025, October 28). Student Engagement: Why It's Important and How To Promote It. *Branching Minds*. <https://www.branchingminds.com/blog/student-engagement-remote-in-person>
10. YouScience. (2024, August 29). *What is student engagement and why is it important?* YouScience. <https://www.youscience.com/resources/blog/student-engagement/>
11. *Work Extrinsic and Intrinsic Motivation Scale (WEIMS)* – [selfdeterminationtheory.org](https://selfdeterminationtheory.org/work-extrinsic-and-intrinsic-motivation-scale/). (n.d.). <https://selfdeterminationtheory.org/work-extrinsic-and-intrinsic-motivation-scale/>

VIDINĖ IR IŠORINĖ MOTYVACIJA KAIP UNIVERSITETO STUDENTŲ AKADEMINIO ĮSITRAUKIMO PROGNOZAVIMO VEIKSNIAI

Santrauka

Studentų įsitraukimas yra pagrindinis akademinės sėkmės aukštajame moksle veiksnys, o studentų motyvacija yra svarbus veiksnys, darantis įtaką įsitraukimui. Remiantis apsisprendimo teorija, šiame tyrime buvo nagrinėjami vidinės motyvacijos, išorinės motyvacijos ir akademinio įsitraukimo ryšiai tarp universiteto studentų. Buvo naudojamas

kiekybinis koreliacinis modelis, kuriame duomenys buvo surinkti iš 20 aukštojo mokslo studentų naudojant savianalizės anketą. Vidinė motyvacija, išorinė motyvacija ir įsitraukimas buvo matuojami naudojant tris elementus pagal septynių balų LIKERTO skalę, o motyvacijos elementai buvo adaptuoti iš Darbo išorinės ir vidinės motyvacijos skalės. PEARSONO koreliacinė analizė parodė, kad tiek vidinė motyvacija ($r = 0,26$), tiek išorinė motyvacija ($r = 0,32$) buvo teigiamai susijusios su studentų įsitraukimu, nors ryšiai buvo silpni. Išorinė motyvacija parodė šiek tiek stipresnį ryšį su įsitraukimu nei vidinė motyvacija. Šie rezultatai rodo, kad abi motyvacijos formos prisideda prie studentų įsitraukimo į universitetinę aplinką, o tai pabrėžia poreikį atsižvelgti į daugybę motyvacijos veiksnių, siekiant sustiprinti akademinį įsitraukimą aukštajame moksle.

Riekšminiai žodžiai: vidinė motyvacija, išorinė motyvacija, studentų įsitraukimas, universiteto studentai

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Lina Girdauskienė.

Science degree and name: doctor.

Workplace and position: Lietuvos Inžinerijos Kolegija|HEI, director.

Author's research interests: human resource management, knowledge management, creative industries, gamification, and management.

Telephone and e-mail address: 0 61806069, lina.girdauskiene@lik.tech

Author name, surname: Miglė Girdauskaitė.

Science degree and name: bachelor's student.

Workplace and position: University of Groningen, bachelor's student.

Author's research interests: learning, motivation, engagement.

Telephone and e-mail address: 0 67907613, m.girdauskaite@student.rug.nl

TEACHERS' PERCEPTIONS AND USE OF AI-BASED GRADING SYSTEMS IN LITHUANIA

Lina Girdauskienė, Rugilė Girdauskaitė

Lietuvos Inžinerijos Kolegija Higher Education Institution

Abstract

Academic performance assessment is essential in education, yet traditional grading practices are often criticized for subjectivity, time consumption and potential bias. In response, artificial intelligence-based grading systems have gained increasing attention, particularly following the expansion of digital learning after the COVID-19 pandemic. Despite this development, research on high school teachers' use of and attitudes toward AI-based grading systems in Lithuania remains limited. This study examines Lithuanian high school teachers' familiarity with, use of and perceptions of such systems. A quantitative survey was conducted among 42 high school teachers from three Lithuanian cities using an anonymous online questionnaire. Descriptive statistical analysis was applied to examine teachers' familiarity, current and intended use, perceived benefits and concerns, related to fairness, transparency and teacher autonomy. The findings indicate limited current use of AI-based grading systems, alongside moderate willingness to adopt them in the future. Teachers perceived time efficiency as a key advantage, while concerns regarding bias and transparency persisted. These results suggest a cautious but open stance toward AI-based grading and highlight the need for targeted training and clear ethical guidelines to support responsible implementation of AI-based grading systems in secondary education.

Key words: Artificial intelligence, AI-based grading systems, teachers, attitudes

Introduction

Academic performance assessment plays a crucial role in education, as it helps identify students' weaknesses and strengths, as well as their level of knowledge and skill development. Through assessment, educators are able to provide meaningful feedback on students' learning outcomes (Tosuncuoğlu, 2018; Wojtczak, 2002; Taras, 2005; Arter & Stiggins 1992). However, performance assessment, as the classic and conventional grading practice presents several limitations. Subjectivity in grading can introduce bias, with teacher perceptions sometimes influenced by students' behavior or demographic characteristics (Link & Guskey, 2019). For instance, research suggests that white teachers are more likely to perceive black students as more troublesome than their white peers, which may influence the grading outcomes (Downey & Pribesh, 2004). Additionally, the manual evaluation of assignments is both time-consuming and costly.

In response to these challenges, alternative grading approaches have emerged, including Artificial Intelligence-based (AI) automated grading systems, which have become increasingly relevant in the post-COVID-19 period due to rapid expansion of online learning.

Although digital learning has been present in education since the early 1980s, when personal computers were first introduced into schools for instructional purposes, its role in Lithuania expanded only in the 2010s. During this period, digital technologies, such as computers and mobile devices, along with learning management systems, including Blackboard, were widely adopted to support information sharing, presentations and feedback provision. However, digital learning in Lithuania became firmly established as "the new normal" in 2020, when the COVID-19 pandemic led to widespread school closures and forced educators to transition rapidly to fully online instruction. As a result, teachers heavily relied on platforms, such as Microsoft Teams, Zoom, Google Meet, Google Classroom and Turnitin to deliver lessons and assess student work (Moskvina, 2021). At the same time, students increasingly incorporated AI-based tools, including ChatGPT and Grammarly, into their learning practices to support writing, comprehension and academic performance. As AI-based programs improved through advancements in algorithmic design and machine learning, their use within the education landscape increased accordingly. However, even if the use of AI in education increased, there is still a limited amount of research done on the high school teachers' adoption of AI-based educational tools and grading systems.

Furthermore, the integration of artificial intelligence into the educational assessment raises additional concerns, including issues of bias, lack of transparency and ethical and privacy concerns, which in some cases may outweigh the limitations associated with the classic grading systems, such as performance assessment or traditional grading methods (Kakungulu, 2024).

Nevertheless, even if there is a higher adoption of AI-based grading, there is limited information on teachers' attitudes towards these systems. Therefore, this paper examines the position of the teachers on the challenges and advantages posed by AI-based grading systems for assessment of student performance, with particular attention to their implications for fairness and bias, efficiency and autonomy in education.

By drawing quantitative data from high school teachers from different cities in Lithuania, this research aims to provide an insight into the use of AI-based grading systems in Lithuania and the attitude of teachers towards it.

Theoretical Background

Teachers' Perception of AI-Based Grading Systems in Prior Research

Research on high school teachers' perspectives and use of AI-based grading systems in Lithuania is currently lacking. Evidence from Estonia, another Baltic country, however, suggests that while teachers recognize efficiency benefits of AI, their confidence in its educational value remains moderate, leading to limited adoption (Granström & Oppi, 2025). Nearly half of surveyed teachers reported not using any AI tools. Factors influencing this low adoption include teachers' readiness, perceived usefulness, which in this case was low due to scarce amount of knowledge, absence of confidence and narrow access to necessary resources (Aynwale et al., 2022; Granström & Oppi, 2025; Sanusi et al., 2024).

These findings highlight the importance of understanding contextual factors, such as training, accessibility and attitudes, when examining teachers' adoption of AI-based grading systems. They provide a foundation for investigating the current perceptions and experiences of Lithuanian high school teachers.

Benefits and Challenges of AI Grading

While AI-based grading systems can address some limitations of traditional assessment, they also introduce new challenges. One major concern is algorithmic bias. AI systems rely on data and programming provided by humans, if these sources reflect bias related to race or gender, the AI may produce biased or unfair grading outcomes, especially if this bias is not corrected during evaluation (Murphy, 2019). In this way, human prejudice can be inadvertently encoded into automated grading systems.

Reliability is another challenge. Current AI systems often struggle to interpret connotative meanings in student work, such as essays, which may result in misjudged or unfair scores (Huang, Zou, Cheng & Xie, 2023). Additionally, AI's access to large datasets raises concerns regarding ethical use, transparency and privacy, as some sources of data may be inappropriate or violate personal confidentiality (Bofill, 2022).

Despite these challenges, AI-based grading offers advantages. AI can provide personalized learning experiences, adapting feedback and content to individual student's levels and preferences (Huang, Zou, Cheng & Xie, 2023). Unlike teachers, who may be limited in the time they can devote to each student, AI systems can deliver timely, individualized feedback, enhancing both efficiency and support student learning.

Artificial Intelligence in Education

The Regulation 2024/1689 of the European Union defines AI system a "machine-based system that is designated to operate with varying levels of autonomy and that may exhibit adaptiveness after deployment, and that, for explicit or implicit objectives, infers, from the input it receives, how to generate outputs such as predictions, content, recommendations, or decisions that can influence physical or virtual environments" (European Parliament, 2024). This definition shows that artificial intelligence systems operate with some level of independence from human control, are self-learning, use machine-learning rather than solely fixed human-defined rules and can either be programmed with clear goals or develop those goals from patterns in the data (Murphy, 2019).

AI in education is highly used for evaluating assessments. AI-based grading systems rely on a combination of machine learning techniques, including supervised learning, unsupervised learning, reinforcement learning, deep learning, natural language learning (NLP) and hybrid approaches (Hussein, Hassan & Nassef, 2019; Misgna, 2025). Among these, supervised learning is the most commonly used, as it allows the system to predict grades based on examples of previously scored student work (Bofill, 2022). In this approach, the model is trained on datasets of assignments or essays paired with human-assigned scores, enabling it to learn patterns that correspond to different performance levels (Verma, Nagar & Mahapatra, 2021). Automated scoring systems, such as ETS's e-rater, employ this technique to evaluate student writing efficiently (Attali & Burstein, 2005). Another widely used approach is NLP, which enables the system to analyze the syntax, semantics and structure of the student submissions. NLP allows AI to assess meaning, coherence and relevance, going beyond basic grammar and spelling checks. Tools, such as GPT and Word2Vec use NLP techniques to interpret and evaluate textual content (Uyar & Büyükahıska, 2025). Deep learning is also frequently applied, as it can capture complex patterns and subtle features within text or structure responses (Misgna, 2025). By modelling the relationships between words, sentences and overall structure, deep learning systems can approximate holistic evaluations of writing quality, a task traditionally considered subjective (Misgna, 2025). Common deep learning architectures include Recurrent Neural Networks (RNN), Long Short-

Term Memory Networks (LSTM) and Convolutional Neural Networks (CNN) (Misgna, 2025). When combined with supervised learning and NLP, these techniques enable AI-based grading systems to assess both the form and content of student work, supporting more comprehensive and consistent evaluation.

Methodology

The research was done through carrying out an anonymous questionnaire, providing quantitative data. A survey approach was chosen, as it allows for the compilation of data from multiple participants efficiently and enables the analysis of trends in teachers' familiarity, attitudes and concerns towards AI-based grading.

Participants of the questionnaire were high school teachers from three different schools in Lithuanian cities of Vilnius, Kaunas and Jonava, which were randomly chosen. The sample consisted of 42 teachers, representing various subjects, such as Physics, Arts, Information Technology (IT) and Lithuanian Literature, and a variety of teaching experience levels, from five to 20 years of experience. Participants were invited via school emails. In addition, participation was voluntary and responses were anonymous, ensuring the confidentiality of the participant teachers.

Data was collected using a self-administered online questionnaire (Google Forms) developed for this research. It consisted of 2 sections: demographic information, including age, gender, city, teaching experience, subject taught and prior experience with educational technology. The second section, perceptions and use of AI-based grading systems, included 12 Likert-scale arguments, where answers were given on a scale from 1 (strongly disagree) to 5 (strongly agree). The second section assessed familiarity with AI-based grading systems, current use and intention to use the systems, perceived benefits (efficiency and consistency) and concerns and limitations (bias, transparency and teacher autonomy).

Responses from the questionnaire were exported to Microsoft Excel for analysis. Descriptive statistics (percentages and means) were calculated for all arguments to draw conclusions on teachers' familiarity, attitudes and concerns. Data was presented in tables where appropriate.

Results

Provided below (Table 1) is an example of participants' demographic data, showing diversity in teachers who took part of the questionnaire.

Table 1

Examples of participants' demographic data

Participant	Age Group (in years)	Gender	City	Teaching experience (in years)	Subject taught	Prior experience with educational technology
3	40-50	Female	Kaunas	5-10	Maths	Yes
15	20-30	Female	Kaunas	1-5	Biology	Yes
28	30-40	Male	Vilnius	5-10	Biology	Yes
33	40-50	Female	Jonava	15-20	Foreign Languages	Yes

The given results show that the majority of questioned teachers, from different schools, of different ages and teaching a variety of subjects, are aware and have prior experience with educational technology (76,2%). However, the mean answer to whether educators are familiar with AI-based grading systems is neutral, and most of the teachers neither agree or disagree that they have received training on AI-based educational tools. The mean answers in regards to familiarity, calculated from the data, are presented in the table below (Table 2).

Table 2

Average answers in regards to familiarity of AI-based educational tools

Argument	Average answers (Likert scale, from 1 to 5)
"I am familiar with AI-based grading systems"	2.9
"I have received training or professional development on AI-based educational tools"	2.5

When asked about the use of AI-based grading systems, teachers on average posed a negative position, with zero of teachers currently using AI-based tools. Nevertheless, the majority of the teachers would consider using the mentioned systems in the future (66,6%). The mean answers in regard to the use of AI-based grading systems, calculated from the data, are presented in the table below (Table 3).

Table 3

Average answers in regards to the use of AI-based grading systems

Argument	Average answers (Likert scale, from 1 to 5)
“I currently use AI-based tools for grading student work”	2.4
“I would consider using AI-based grading systems in the future”	4.1

With respect to the attitude towards the AI-based grading systems, teachers found some benefits in the use of AI, specifically time efficiency, however, they disagreed that such systems can provide a fair evaluation of student work. Furthermore, the mean answers concerning the limitations and challenges of AI were neutral, showing that from the educators’ perspective the limits of AI do not outweigh the benefits. The greatest worry was put towards possible bias and lack of transparency. The mean answers in regard to the benefits and concerns related to the use of AI-based grading systems, calculated from the data, are presented in the table below (Table 4).

Table 4

Average answers in regards to the benefits and limits of AI-based grading systems

Argument	Average answers (Likert scale, from 1 to 5)
“AI-based grading systems save time compared to traditional grading”	3.5
“AI-based grading systems provide consistent and fair evaluation of student work”	2.9
“I am concerned that AI-based grading systems may be biased or unfair”	3.4
“I am concerned that AI-based grading systems lack transparency”	3.4
“I am concerned that AI-based grading systems may reduce teachers’ autonomy in assessment”	3.1

To summarize the given results, while the greater number of teachers are familiar with artificial intelligence and its tools, they are not using them currently to evaluate students' work, posing a neutral position on the benefits and concerns of AI-based grading systems.

Discussion

The present study examined high school teachers’ familiarity with, use of and perceptions of AI-based grading systems in Lithuania. The findings indicate that although most participating teachers have prior experience with educational technology, their familiarity with AI-based grading systems remains limited and none of the respondents currently use such systems for assessing student work. These results suggest that the integration of AI into grading practices in Lithuanian high schools is still at an early stage. Furthermore, the limited adoption indicates that technological availability alone does not ensure pedagogical uptake, particularly in high-stakes practices, such as student assessment.

Consistent with prior research conducted in other educational contexts, teachers in this study perceived time efficiency as a potential benefit of AI-based grading systems. Similar findings have been reported in studies from Estonia, where educators acknowledged the efficiency of AI tools while expressing uncertainty about their pedagogical value (Granström & Oppi, 2025). This indicates that efficiency alone may not be sufficient to encourage adoption without adequate understanding and trust in the technology.

At the same time, teachers expressed moderate concerns regarding fairness, bias and transparency. These concerns align with the existing literature highlighting ethical and accountability issues associated with AI-based assessment systems (Aynwale et al., 2022; Sanusi et al., 2024). The neutral positioning observed in the results suggests neither strong resistance nor strong acceptance, but rather a conscious stance towards AI-based grading.

Despite limited current use, a majority of teachers reported willingness to consider AI-based grading systems in the future. This finding implies that with appropriate training, institutional support and clear ethical guidelines, acceptance of AI-based grading in secondary education may increase.

Conclusion and Limitations

This study explored high school teachers' familiarity with, use of and perceptions of AI-based grading systems in Lithuania. The findings indicate that while most teachers have prior experience with educational technology, their familiarity with AI-based grading remains limited and none currently use these systems for assessing student work. Teachers recognized potential benefits, particularly in terms of time efficiency. However, concerns regarding fairness, bias and transparency were also noted, reflecting ongoing ethical and practical considerations.

Several limitations of this study should be acknowledged. First, the sample size was relatively small (42 teachers), which may limit the generalizability of the findings to the broader population of Lithuanian high school teachers. Second, data was collected through a self-administered survey, relying on teachers' self-reported familiarity, perceptions and intentions. Such responses may be influenced by social desirability or subjective interpretation. Additionally, the study focused on teachers from three cities (Vilnius, Kaunas and Jonava), so perspectives from educators in smaller towns or rural areas were not captured and may differ. Future research should aim to include larger, more diverse samples and employ complementary methods, such as interviews or observational studies (qualitative data), to gain a more comprehensive understanding of teacher perspectives on AI-based grading systems.

Overall, this research contributes to the limited body of knowledge on AI-based grading in secondary education, particularly within the Lithuanian context, providing a foundation for future studies aimed at supporting the effective and equitable implementation of AI in educational assessment.

References

1. Arter, J. A., & Stiggins, R. J. (1992). Performance assessment in education. ERIC. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED346157.pdf>
2. Attali, Y., & Burstein, J. (2005). Automated essay scoring with e-rater v.2.0 (ETS Research Report No. RR-04-45). Educational Testing Service. <https://people.cs.pitt.edu/~huynv/research/argument-mining/Automated%20essay%20scoring%20with%20e-rater%20V.%202.pdf>
3. Ayanwale, M. A., Sanusi, I. T., Adelana, O. P., Aruleba, K. D., and Oyelere, S. S. (2022). Teachers' readiness and intention to teach artificial intelligence in schools. *Comput. Educ.* 3:100099. doi: 10.1016/j.caeai.2022.100099
4. Downey, D. B., & Priresh, S. (2004). When Race Matters: Teachers' Evaluations of Students' Classroom Behavior. *Sociology of Education*, 77(4), 267–282. <https://doi.org/10.1177/003804070407700401>
5. European Union. (2024). Regulation (EU) 2024/1689 of the European Parliament and of the Council on artificial intelligence and amending certain Union legislative acts. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1689/oj/eng>
6. Fundació Bofill. (2022). *Algorithms put to the test: Why AI in education?* Fundació Jaume Bofill. <http://www.jstor.org/stable/resrep62621>
7. Granström, M. & Oppi, P. (2025). Assessing teachers' readiness and perceived usefulness of AI in education: an Estonian perspective. *Frontiers in Education*, 10. https://www.frontiersin.org/journals/education/articles/10.3389/feduc.2025.1622240/full?utm_source=chatgpt.com#B28
8. Huang, X., Zou, D., Cheng, G., Chen, X., & Xie, H. (2023). Trends, Research Issues and Applications of Artificial Intelligence in Language Education. *Educational Technology & Society*, 26(1), 112–131. <https://www.jstor.org/stable/48707971>
9. Hussein, M. A., Hassan, H., & Nassef, M. (2019). Automated language essay scoring systems: a literature review. *PeerJ. Computer science*, 5, e208. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.208>
10. Kakungulu, S. J. (2024). The Role of Artificial Intelligence in Educational Assessment. *EURASIAN EXPERIMENT JOURNAL OF SCIENTIFIC AND APPLIED RESEARCH*, 5(2): 44-48
11. Link, Laura J. and Guskey, Thomas R., (2019). How Traditional Grading Contribute to Student Inequities and How to Fix It. *Educational, School, and Counseling Psychology Faculty Publications*. 53. https://uknowledge.uky.edu/edp_facpub/53
12. Misgna, H., On, BW., Lee, I. et al. A survey on deep learning-based automated essay scoring and feedback generation. *Artif Intell Rev* 58, 36 (2025). <https://doi.org/10.1007/s10462-024-11017-5>
13. Moskvina, J. (2021) "Digital Education: Lithuania among Other European Union States", *Acta Paedagogica Vilnensia*, 47, pp. 52–68. doi:10.15388/ActPaed.2021.47.4.
14. Tosuncuoğlu, I. (2018). Importance of assessment in ELT. *Journal of Education and Training Studies*, 6(9), 163-167. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1188961.pdf>

15. Uyar, A. C., & Büyükahısa, D. (2025). Artificial Intelligence as an automated essay scoring tool: A focus on ChatGPT. *International Journal of Assessment Tools in Education*, 12(1), 20-32.
<https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1463368.pdf>
16. Verma, R., Nagar, V., & Mahapatra, S. (2021). Introduction to supervised learning. In R. Sapaty, T. Choudhury, S. Sapaty, S. N. Mohanty, & X. Zhang (Eds.), *Data analytics in bioinformatics: A machine learning perspective* (1-34). Wiley. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9781119785620.ch1>
17. Wojtczak, A. (2002). Glossary of medical education terms: Part 1. *Medical Teacher*, 24(2), 216–219.
<https://doi.org/10.1080/01421590220120722>

MOKYTOJŲ DIRBTINIO VERTINIMO SISTEMŲ SUVOKIMAS IR NAUDOJIMAS LIETUVOJE

Santrauka

Akademinių pasiekimų vertinimas yra labai svarbus švietime, tačiau tradicinė vertinimo praktika dažnai kritikuojama dėl subjektyvumo, laiko sąnaudų ir galimo šališkumo. Reaguojant į tai, dirbtiniu intelektu (DI) pagrįstos vertinimo sistemos sulaukia vis daugiau dėmesio, ypač po skaitmeninio mokymosi išplitimo po COVID-19 pandemijos. Nepaisant šios tendencijos, tyrimų apie vidurinių mokyklų mokytojų naudojimąsi DI pagrįstomis vertinimo sistemomis ir požiūrį į jas Lietuvoje vis dar nedaug. Šiame tyrime nagrinėjamas Lietuvos vidurinių mokyklų mokytojų susipažinimas su tokomis sistemomis, jų naudojimas ir suvokimas. Kiekybinė apklausa buvo atlikta tarp 42 vidurinių mokyklų mokytojų iš trijų Lietuvos miestų, naudojant anoniminę internetinę anketą. Aprašomoji statistinė analizė buvo taikoma siekiant ištirti mokytojų susipažinimą su DI pagrįstomis vertinimo sistemomis, dabartinį ir numatomą jų naudojimą, suvokiamą naudą ir susirūpinimą, susijusį su sąžiningumu, skaidrumu ir mokytojų autonomija. Išvados rodo ribotą dabartinį DI pagrįstų vertinimo sistemų naudojimą ir vidutinį norą jas diegti ateityje. Mokytojai laiko efektyvumą išvelgė kaip pagrindinį privalumą, tačiau išliko susirūpinimas dėl šališkumo ir skaidrumo. Šie rezultatai rodo atsargią, bet atvirą poziciją dėl dirbtiniu intelektu pagrįsto vertinimo ir pabrėžia tikslinių mokymų bei aiškių etikos gairių poreikį, siekiant paremti atsakingą dirbtiniu intelektu pagrįstų vertinimo sistemų diegimą viduriniame ugdyme.

Rieksminiai žodžiai: dirbtinis intelektas, dirbtiniu intelektu pagrįstos vertinimo sistemos, mokytojai, požiūris

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Lina Girdauskienė.

Science degree and name: doctor.

Workplace and position: Lietuvos Inžinerijos Kolegija|HEI, director.

Author's research interests: human resource management, knowledge management, creative industries, gamification and management.

Telephone and e-mail address: 0 61806069, lina.girdauskiene@lik.tech

Author name, surname: Rugilė Girdauskaitė.

Science degree and name: bachelor's student.

Workplace and position: University of Groningen, bachelor's student.

Author's research interests: learning, motivation and engagement.

Telephone and e-mail address: 0 67306449, r.girdauskaite@student.rug.nl

HOW CHATGPT'S USER EXPERIENCE ENCOURAGES OVER-RELIANCE AND REDUCED CRITICAL THINKING AMONG UNIVERSITY STUDENTS

Lina Girdauskienė, Miglė Girdauskaitė

Lietuvos Inžinerijos Kolegija Higher Education Institution

Abstract

This article examines how the usability and user experience of ChatGPT influence university students' reliance on the system and their critical thinking behaviors. Using a questionnaire with both likert-scale and open-ended items, findings indicate that high usability and authoritative responses encourage frequent use, reduce verification of information and may promote cognitive offloading and automation bias. The results highlight trade-offs between efficiency and reflective engagement suggesting that while ChatGPT supports academic tasks, it may inadvertently diminish students' critical evaluation skills.

Key words: ChatGPT, user experience, AI systems, critical thinking, university students.

Introduction

The rapid introduction of large language models (LLMs), such as ChatGPT into higher education and everyday problem solving contexts has transformed how university students access information and complete academic tasks. These artificial intelligence (AI) driven conversational systems offer highly usable interfaces that facilitate rapid generation of responses, fostering perceptions of efficiency and ease of use (Zhai et al., 2024). However, this enhanced usability may have unintended consequences for critical thinking and cognitive responsibilities in academic contexts. While such systems can support learning and efficiency, a growing body of research suggests that high usability and smooth user experience may also encourage over-reliance on automated outputs and reduce users' inclination to critically evaluate information (Zhai et al., 2024).

Within the literature on automatic and human-computer interaction, the concept of automation bias describes the human tendency to trust and rely on automated systems even when they provide inaccurate information (Hoffman, 2024). This bias emerges when users defer to machine recommendations over their own judgment, a form of behavioral dependence that has been shown to undermine the critical verification behavior in decision contexts (Benda et al., 2021). Although automated systems can improve efficiency and reduce certain errors, they may fail to account for critical information, resulting in inaccurate recommendations (Hoffman, 2024).

At the same time, ChatGPT's conversational style and authoritative tone may further strengthen users' trust in the system (Noh et al., 2025). Responses are presented fluently and confidently, which can make them appear reliable even when they contain inaccuracies. For university students, who often use ChatGPT under time pressure, this combination of speed, clarity and perceived competence may discourage cross-checking information or engaging deeply with the material (Wang & Fan, 2025). As a result, the convenience offered by ChatGPT may unintentionally promote superficial engagement rather than reflective learning.

This situation points to a broader trade-off between usability and responsibility in AI system design. While tools that are easy to use and are efficient can save time, they may also encourage users to rely on the system instead of thinking independently (Hoffman, 2024). Over time, this dependence could influence how students approach problem solving, learning and independent reasoning. Although previous research has noted these potential risks, there is still limited empirical evidence specifically examining how ChatGPT's user experience affects students' reliance and critical thinking.

Therefore, this article aims to address this gap by examining the relationship between perceived usability, reliance, critical thinking and trust in ChatGPT among university students. The central research question is how does the usability and user experience of ChatGPT influence user reliance and critical thinking behavior? To explore this question, this study will focus on students' self-reported experiences and behaviors in the areas of four variables: usability measured by ease of use and clarity, reliance tested through frequency and dependency, critical thinking measured by verification of behavior and trust evaluated by perceived accuracy.

Theoretical background

Understanding how ChatGPT's usability affects reliance and critical thinking requires a closer look at the cognitive mechanisms underlying the human interaction with AI systems. One key concept is cognitive offloading, which refers to the reliance on external tools that can help reduce the demands on an individual's working memory, freeing up mental resources for other tasks (Gerlich, 2025). However, this convenience may also decrease active cognitive engagement and hinder the development of critical skills (Gerlich, 2025). The

widespread access to AI tools, which provide quick answers and ready-made information, can discourage users from performing the mental processes necessary for deep analysis and critical thinking (Gerlich, 2025). In the context of this article, cognitive offloading provides a useful framework for understanding why students might heavily rely on ChatGPT and engage less in critical evaluation.

While cognitive offloading explains how students reduce mental effort, it does not fully account for why users often trust AI generated responses without questioning them. This is where the concept of automation bias becomes relevant. It is the tendency for individuals to rely on suggestions from automated decision making systems, while disregarding the contradictory input from non-automated sources, even when the input is correct (Romeo & Conti, 2025). Automated systems are frequently seen as highly reliable, sometimes even more than human judgement, which can result in two main types of mistakes: errors of commission, where users follow an incorrect recommendation from the system, and errors of omission, where users fail to act because the system did not provide a suggestion (Hoffman, 2024). Here, automated bias helps explain why students may accept ChatGPT's outputs without verifying them. Because ChatGPT provides a clear, fluent and seemingly authoritative response, students may perceive the answers as highly reliable and defer to the system even when the alternative sources offer correct information.

Another aspect that influences the user experience while using ChatGPT is the design of it, which sometimes, whether intentionally or not, could incorporate dark patterns. Dark patterns are design elements that deliberately manipulate users into taking actions they had not intended (Kitkowska, 2025). In the context of ChatGPT, such design features can subtly encourage users to rely on the system's outputs without questioning them. For example, the interface's fast response time, clear formatting and persuasive language may make answers seem more authoritative, nudging students towards accepting information at face value. By considering dark patterns, alongside cognitive offloading and automation bias, this article can better understand how ChatGPT's usability and design may contribute to over-reliance, reduced verification and diminished critical thinking among university students.

Methodology

To address the research aim, a quantitative research design was conducted using a self-administered questionnaire. The questionnaire was developed to measure participants' perceptions and behaviors related to ChatGPT use across four key variables: usability, reliance, critical thinking and trust. Each construct was assessed using three statements, resulting in a total of twelve items. In addition, a few open-ended questions were presented too, which complemented quantitative questions, with a qualitative value and deepened the analysis of ChatGPT. This structure allowed for a focused yet comprehensive assessment of participants' interactions with the AI system.

The questionnaire items were informed by existing literature on technology acceptance, automation reliance and trust in artificial intelligence systems. While no single standardized scale was adopted in full, several items were conceptually adapted from prior studies examining the perceived ease of use, reliance on automated systems (frequency and dependency) and trust in AI-generated information (perceived accuracy). All statements were phrased to reflect the participants' personal experiences with ChatGPT in academic problem-solving contexts. One item in the critical thinking variable ("I usually verify ChatGPT's answers using other sources") was reverse-coded to reduce response bias and better capture reflective evaluation behavior (Table 1).

Participants responded to all items using a 5 point Likert-scale (1 being "strongly disagree" and 5 being "strongly agree"), which indicated the extent to which each statement reflected their views. Likert scaling was chosen due to its widespread use in research and its suitability for measuring subjective perceptions and behavioral tendencies.

Data was collected from 40 participants using convenience sampling, specifically university students. All responses were recorded anonymously to encourage honest reporting and reduce social desirability bias. All participants had prior experience with ChatGPT usage, ensuring that responses were grounded in actual use rather than hypothetical assumptions.

The mean scores were then calculated, which provided a clear summary of results from the questionnaire and more importantly it showed comparisons across questions.

Table 1

Key variables and their statements

Variable	Usability	Reliance	Critical thinking	Trust
Questions	ChatGPT is easy to use for most tasks.	I use ChatGPT as my first option when facing a problem.	I usually verify ChatGPT's answers using other sources.	I trust ChatGPT's answers to be accurate.
	I can get answers quickly	I rely on ChatGPT even for	I accept ChatGPT's	I am aware that ChatGPT

Variable	Usability	Reliance	Critical thinking	Trust
	for most tasks.	tasks I could do myself.	responses without questioning them.	can make mistakes.
	The responses feel natural and authoritative.	I feel less motivated to search for alternative sources.	ChatGPT reduces the need to think deeply about a problem.	I feel confident identifying when ChatGPT is wrong.

Results

The likert-scale responses show distinct patterns across the four measured variables: usability, reliance, critical thinking and trust, as seen in Table 2 (detailed answers are provided in the appendix). Overall, the participants' answers show generally positive perceptions of ChatGPT's usability, accompanied by moderate levels of reliance and trust. Critical thinking showed the most mixed responses.

Table 2

Variables and examples of participants' answers on a likert-scale

Questions / participants' answer	Usability			Reliance			Critical thinking			Trust		
	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.
1.	3	2	2	2	2	2	1	1	2	1	1	1
2.	4	3	2	2	2	3	1	1	2	1	2	1
3.	4	3	2	2	2	3	1	1	3	2	2	2
4.	4	3	3	2	2	3	1	1	3	2	2	2
5.	4	3	3	3	3	3	1	2	3	2	2	2
6.	4	3	3	3	3	3	1	2	3	2	2	2
7.	4	4	3	3	3	3	1	2	3	3	2	2
8.	4	4	3	3	3	3	1	2	3	3	3	2
9.	4	4	3	3	3	3	1	2	3	3	3	2
10.	4	4	3	3	3	3	1	2	3	3	3	2
11.	4	4	3	3	3	3	1	3	3	3	3	4
12.	4	4	3	3	3	5	2	3	3	3	3	4
13.	4	4	4	4	5	5	2	3	3	3	3	4
14.	4	4	4	4	5	5	2	3	3	3	3	4
15.	4	4	4	4	5	5	2	3	3	3	3	4
16.	4	4	4	4	5	5	2	3	5	3	3	4
17.	5	4	4	4	5	5	2	3	5	3	3	4
18.	5	4	4	4	5	5	2	3	5	5	3	4
19.	5	4	4	4	4	5	2	3	5	5	3	4
20.	5	4	4	4	4	5	2	3	5	5	4	4

The mean scores seen in Table 3 suggest that ChatGPT is perceived as highly usable and efficient, encouraging frequent reliance. However, this reliance is accompanied by only moderate trust and reduced critical thinking, indicating that users may prioritize convenience over deep evaluation. These findings highlight the dual role of ChatGPT as both a supportive tool and a potential influence on users' critical engagement and learning behaviors.

The usability items, as recorded on Table 3, received the highest mean scores overall. This could indicate a strong perception of ChatGPT's functionality. The highest mean score ($M=4.58$) for "ChatGPT is easy to use for most tasks" suggests that participants overwhelmingly find ChatGPT intuitive and accessible for most tasks. Similarly, the mean score of "I can get answers quickly without much effort" ($M=4.28$) reflects the efficiency and convenience of the tool. The lowest of the three, yet still positive, was the mean score for "The responses feel natural and authoritative" ($M=3.93$). It could indicate that while participants generally perceive ChatGPT's outputs as coherent and credible, this perception is somewhat more cautious than their assessment of usability and speed.

Mean scores for reliance fall within the moderate to high range, suggesting that participants often turn to ChatGPT when facing problems. The mean score for “I use ChatGPT as my first option when facing a problem” (M= 3.93) indicates frequent initial reliance, while the mean score for “I rely on ChatGPT even for tasks I could do myself” (M= 3.75) suggests partial but not complete dependence. The relatively high score for “I feel less motivated to search for alternative sources” (M= 3.95) points to a potential narrowing of information-seeking behavior, reinforcing the previous concerns on reliance.

The critical thinking items in Table 3 revealed a mixed pattern. The low mean score for “I usually verify ChatGPT’s answers using other sources” (M= 2.65) suggests that participants do not constantly engage in cross-checking information. This finding could indicate a risk of diminished evaluative behavior. Moderate scores for “I accept ChatGPT’s responses without questioning them” (M= 3.28) and “ChatGPT reduces the need to think deeply about a problem” (M= 3.80) suggest that while ChatGPT does not fully replace critical thinking, it may reduce the depth of cognitive engagement for many users.

Lastly, the trust related items in Table 3 show moderate levels of confidence in ChatGPT. Participants reported a neutral degree of trust in accuracy in the statement of “I trust ChatGPT’s answers to be accurate” (M= 3.50), while simultaneously acknowledging its potential to make mistakes “I am aware that ChatGPT can make mistakes” (M= 3.48). The lowest trust related mean score concerned “I feel confident identifying when ChatGPT is wrong” (M= 3.03), indicating uncertainty in the user’s ability to detect inaccuracies. This combination reflects a cautious trust stance, where users rely on ChatGPT while remaining aware of its misjudgment.

Table 3

Mean scores by statement	
Usability	Mean scores
ChatGPT is easy to use for most tasks.	4.58
I can get answers quickly without much effort.	4.28
The responses feel natural and authoritative.	3.93
Reliance	Mean scores
I use ChatGPT as my first option when facing a problem.	3.93
I rely on ChatGPT even for tasks I could do myself.	3.75
I feel less motivated to search for alternative sources.	3.95
Critical Thinking	Mean scores
I usually verify ChatGPT’s answers using other sources.	2.65
I accept ChatGPT’s responses without questioning them.	3.28
ChatGPT reduces the need to think deeply about a problem.	3.80
Trust	Mean scores
I trust ChatGPT’s answers to be accurate.	3.50
I am aware that ChatGPT can make mistakes.	3.48
I feel confident identifying when ChatGPT is wrong.	3.03

Responses to the open-ended questions about reliance and incorrect answers indicate that participants are aware about the limitations that ChatGPT poses. Multiple participants reported having trusted ChatGPT in the past, only to later discover errors, such as incorrect sources, as seen in Table 4 (“*It gives me wrong sources or references to questions*”). This awareness appears to contribute to a more cautious form of trust, where ChatGPT is viewed as useful but not fully reliable.

The second open-ended question in Table 4 highlights participants’ concerns about over-reliance and reduced critical engagement. Several respondents explicitly stated that ChatGPT has weakened their problem solving abilities (“*I feel like it’s broken my brain*”). This AI system also reduced the need to think deeply and shortened the attention spans when working tasks (“*I don’t have to think as much*”). These responses suggest that while ChatGPT increases efficiency, it may also encourage sustained cognitive effort.

At the same time, the answer showed the instrumental benefits of using AI, particularly in terms of speed and convenience. Statements, such as “*ChatGPT provides quick assistance*” and “*it immediately generates the text I need*” reflect the high usability scores observed in the likert-scale results. However, these benefits are often framed alongside concerns about over-reliance and reduced independent thinking, indicating compromises between efficiency and cognitive engagement.

Table 4

Open-ended questions and examples of participants’ answers	
Question	Answers
Have you ever relied on ChatGPT and later realized the answer was incorrect?	“Yes, it gives me wrong sources or references to questions.”
	“Yes, unfortunately.”
	“Yes, I have relied on ChatGPT in the past and later discovered errors in its responses, which made me more cautious about fully trusting its answers.”

Question	Answers
Do you think ChatGPT affects how you think or learn? How?	<i>"It has weakened my problem solving and ability to work on a task for an extended amount of time."</i>
	<i>"It makes me complete tasks quicker. I don't have to think as much."</i>
	<i>"It reduces obstacles in producing a passable answer. You no longer need to think critically or do your own research."</i>
	<i>"I think ChatGPT provides quick assistance, but it also makes me dependent on it instead of seeking out diverse sources and fostering deeper understanding."</i>

Discussion and conclusions

The results of this article suggest that ChatGPT's high usability and efficient interface encourage frequent reliance among university students, while concurrently reducing opportunities for critical evaluation. Participants generally found the system easy to use and appreciated its speed and clarity, yet many reported limited verification of its outputs, reflecting a tendency towards cognitive offloading. Automation bias likely reinforces this pattern, as students perceive ChatGPT's responses as authoritative and trustworthy, even when errors are present. Additionally, elements of the system's design, such as the generation of fast responses, may act as subtle dark patterns, nudging students to accept information without questioning it.

The mean scores from the likert-scale responses further support the role of cognitive offloading and automation bias in students' interactions with ChatGPT. High usability scores, particularly for items like *"ChatGPT is easy to use for most tasks"* (M= 4.58) and *"I can get answers quickly without much effort"* (M= 4.28) suggest that the system's efficiency encourages students to delegate mental effort to the AI rather than engaging deeply in with the material. Moderate reliance scores, combined with relative low critical thinking scores indicate that students frequently accept outputs without verification, reflecting the influence of automation bias. Together, these patterns suggest that ChatGPT's ease of use and authoritative responses make cognitive offloading more likely, while simultaneously fostering trust in the system that may override independent evaluation of information.

Overall, these findings indicate that while ChatGPT can be a valuable tool for academic tasks, its usability and design may inadvertently promote over-reliance and reduced critical thinking (Murshidi et al., 2024). Students benefit from the efficiency and convenience provided by the AI, but these advantages come with trade-offs in independent problem solving and verification behaviors (Mogavi et al., 2023). Educators and system designers should be aware of these potential risks and consider strategies to encourage reflective use, such as prompting cross-checking practices or integrating prompts that stimulate critical engagement.

In conclusion, this article highlights the dual role of ChatGPT in higher education. On the one hand, it is a supportive tool that enhances productivity. On the other hand, it is a system that can diminish the students' engagement with cognitive processes essential for learning. Further research with larger and more diverse samples could clarify the long-term impacts of AI assisted learning on critical thinking skills.

References

1. Benda, N. C., Novak, L. L., Reale, C., & Ancker, J. S. (2021). Trust in AI: why we should be designing for APPROPRIATE reliance. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 29(1), 207–212. <https://doi.org/10.1093/jamia/ocab238>
2. Gerlich, M. (2025). AI Tools in Society: Impacts on Cognitive Offloading and the Future of Critical Thinking. *Societies*, 15, Article 6. <https://doi.org/10.3390/soc15010006>
3. Hoffman, B. (2024, August 27). Automation Bias: What it is and how to Overcome it. *Forbes*. <https://www.forbes.com/sites/brycehoffman/2024/03/10/automation-bias-what-it-is-and-how-to-overcome-it/>
4. Kitkowska, A. (2025). The AI-empowered dark patterns. *ideas.repec.org*. https://ideas.repec.org/h/elg/eechap/21900_19.html
5. Mogavi, R. H., Deng, C., Kim, J. J., Zhou, P., Kwon, Y. D., Metwally, A. H. S., & Hui, P. (2023). ChatGPT in education: A blessing or a curse? A qualitative study exploring early adopters' utilization and perceptions. *Computers in Human Behavior: Artificial Humans*. <https://doi.org/10.1016/j.chbah.2023.100027>
6. Murshidi, G. A., Shulgina, G., Kapuza, A., & Costley, J. (2024). How understanding the limitations and risks of using ChatGPT can contribute to willingness to use. *Smart Learning Environments*, 11(1). <https://doi.org/10.1186/s40561-024-00322-9>
7. Noh, H., Rim, H. B., & Lee, B. (2025). Exploring user attitudes and trust toward ChatGPT as a social Actor: A UTAUT-Based analysis. *SAGE Open*, 15(2). <https://doi.org/10.1177/21582440251345896>
8. Rasul, Tareq & Nair, Sumesh & Kalendra, Diane & Robin, Mulyadi & Santini, Fernando & Ladeira, Wagner & Sun, Mingwei & Day, Ingrid & Rather, A. & Heathcote, Liz. (2023). The Role of ChatGPT in Higher Education: Benefits, Challenges, and Future Research Directions. *Journal of Applied Learning & Teaching*. 6. 10.37074/jalt.2023.6.1.29
9. Romeo, G., & Conti, D. (2025). Exploring automation bias in human–AI collaboration: a review and implications for explainable AI. *AI & Society*. <https://doi.org/10.1007/s00146-025-02422-7>

10. Wang, J., & Fan, W. (2025). The effect of ChatGPT on students' learning performance, learning perception, and higher-order thinking: insights from a meta-analysis. *Humanities and Social Sciences Communications*, 12(1). <https://doi.org/10.1057/s41599-025-04787-y>
11. Zhai, C., Wibowo, S., & Li, L. D. (2024). The effects of over-reliance on AI dialogue systems on students' cognitive abilities: a systematic review. *Smart Learning Environments*, 11(1). <https://doi.org/10.1186/s40561-024-00316-7>

KAIP CHATGPT NAUDOTOJO PATIRTIS SKATINA PERDIDELĮ PASITIKĖJIMĄ IR MAŽINA KRITINĮ MĄSTYMĄ TARP UNIVERSITETO STUDENTŲ

Santrauka

Šiame straipsnyje nagrinėjama, kaip „ChatGPT“ naudojimo patogumas ir naudotojo patirtis veikia universiteto studentų pasitikėjimą sistema ir jų kritinio mąstymo elgseną. Naudojant klausimyną su Likerto skalės ir atvirojo tipo klausimais, gauti rezultatai rodo, kad didelis naudojimo patogumas ir autoritetingi atsakymai skatina dažną naudojimą, mažina informacijos tikrinimą ir gali skatinti kognityvinį perkrovimą bei automatizavimo šališkumą. Rezultatai pabrėžia kompromisus tarp efektyvumo ir reflektivaus įsitraukimo, o tai rodo, kad nors „ChatGPT“ padeda atlikti akademines užduotis, jis gali netyčia sumažinti studentų kritinio vertinimo įgūdžius.

Riekšminiai žodžiai: „ChatGPT“, naudotojo patirtis, dirbtinio intelekto sistemos, kritinis mąstymas, universiteto studentai.

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Lina Girdauskienė.

Science degree and name: doctor.

Workplace and position: Lietuvos inžinerijos kolegija|HEI, director.

Author's research interests: human resource management, knowledge management, creative industries, gamification, and management.

Telephone and e-mail address: 0 61806069, lina.girdauskiene@lik.tech

Author name, surname: Miglė Girdauskaitė.

Science degree and name: bachelor's student.

Workplace and position: University of Groningen, bachelor's student.

Author's research interests: learning, motivation, engagement.

Telephone and e-mail address: 0 67907613, m.girdauskaite@student.rug.nl

Appendix I Table 5

Variables and participants' answers on a likert-scale

Questions / participants' answer	Usability			Reliance			Critical thinking			Trust		
	4.	5.	6.	4.	5.	6.	4.	5.	6.	4.	5.	6.
1.	3	2	2	2	2	2	1	1	2	1	1	1
2.	4	3	2	2	2	3	1	1	2	1	2	1
3.	4	3	2	2	2	3	1	1	3	2	2	2
4.	4	3	3	2	2	3	1	1	3	2	2	2
5.	4	3	3	3	3	3	1	2	3	2	2	2
6.	4	3	3	3	3	3	1	2	3	2	2	2
7.	4	4	3	3	3	3	1	2	3	3	2	2
8.	4	4	3	3	3	3	1	2	3	3	3	2
9.	4	4	3	3	3	3	1	2	3	3	3	2
10.	4	4	3	3	3	3	1	2	3	3	3	2
11.	4	4	3	3	3	3	1	3	3	3	3	4
12.	4	4	3	3	3	5	2	3	3	3	3	4
13.	4	4	4	4	5	5	2	3	3	3	3	4
14.	4	4	4	4	5	5	2	3	3	3	3	4
15.	4	4	4	4	5	5	2	3	3	3	3	4
16.	4	4	4	4	5	5	2	3	5	3	3	4
17.	5	4	4	4	5	5	2	3	5	3	3	4
18.	5	4	4	4	5	5	2	3	5	5	3	4
19.	5	4	4	4	4	5	2	3	5	5	3	4
20.	5	4	4	4	4	5	2	3	5	5	4	4
21.	5	4	4	4	4	5	2	4	5	5	4	4
22.	5	4	4	4	4	4	3	4	5	5	4	5
23.	5	5	4	4	4	4	3	4	5	4	4	3
24.	5	5	4	4	4	4	3	4	5	4	4	3
25.	5	5	4	4	4	4	3	4	4	4	4	3
26.	5	5	4	4	4	4	3	4	4	4	4	3

Questions / participants' answer	Usability			Reliance			Critical thinking			Trust		
	4.	5.	6.	4.	5.	6.	4.	5.	6.	4.	5.	6.
27.	5	5	4	4	4	4	3	4	4	4	4	3
28.	5	5	4	5	4	4	4	4	4	4	4	3
29.	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	3
30.	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	3
31.	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	3
32.	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	3
33.	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	3
34.	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	3
35.	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	5	3
36.	5	5	5	5	4	4	5	5	4	4	5	3
37.	5	5	5	5	4	4	5	5	4	4	5	3
38.	5	5	5	5	4	4	5	5	4	4	5	3
39.	5	5	5	5	4	4	5	5	4	4	5	3
40.	5	5	5	5	4	4	5	5	4	4	5	3

AKADEMINIO RAŠYMO AUTENTIŠKUMO VERTINIMAS: STILOMETRINIŲ POŽYMIŲ ANALIZĖ IR INTEGRACIJA SU KITOMIS DI APTIKIMO STRATEGIJOMIS

Gabrielė Ivanovaitė, Sonata Paulauskienė
Lietuvos inžinerijos kolegija

Anotacija

Šiame tyrime nagrinėjamas stilometrinės analizės taikymas, kaip papildomas įrankis, skirtas lietuvių kalba rašytų akademinių tekstų autentiškumui nustatyti, ypač situacijose, kai esami DI aptikimo įrankiai pasižymi ribotu patikimumu. Tyrime siekta įvertinti dabartinius DI aptikimo įrankius ir jų ribotumus bei pritaikyti stilometriją studentų rašytiems tekstams Lietuvos aukštosiose mokyklose. Buvo analizuojama 50 baigiamųjų darbų imtis, siekiant nustatyti lingvistinius rodiklius, būdingus Lietuvos kolegijose studijuojančio inžineriją studento (žmogaus autoriaus) akademiniam rašymui. Stilometrinė analizė atskleidė tam tikrą stilistinį nuoseklumą, būdingą tiriamai tekstų imčiai, tačiau kartu išryškėjo ir automatizuotos analizės ribotumai. Kai kurie rodikliai buvo klaidingai interpretuojami dėl techninio ar žanrinio konteksto, o tai parodė, kad vien kiekybiniais duomenimis grįsta analizė gali būti nepakankama ir jai reikalinga papildoma kontekstuolizuota kokybinė interpretacija.

Reikšminiai žodžiai: stilometrija, akademinis rašymas, dirbtinio intelekto nustatymas, akademinė etika.

Ivadas

Šiuolaikinėje akademinėje aplinkoje pedagogai susiduria su dvilypiu iššūkiu: vis sparčiau tobulėjant dirbtinio intelekto (DI) technologijoms ir joms vis aktyviau įsiliejančiam akademiniam rašymui, autentiškumo patikra tampa ypač aktuali, tačiau kartu vis mažiau veiksmingi tampa tradiciniai autorystės nustatymo būdai, kadangi technologijos dažnai pranoksta jų galimybes. Šiuo metu taikomi DI sukurtų tekstų aptikimo įrankiai, tokie kaip Turnitin ar GPTZero, dažnai pasižymi ribotu patikimumu ir gali generuoti klaidingus rezultatus (Giray, Sevnarayan ir Ranjbaran Madiseh, 2025), kas mažina pasitikėjimą tarp dėstytojų ir studentų (Weber-Wulff ir kt., 2023; Perkins ir kt., 2024). Be to, pažangūs DI modeliai, tokie kaip GPT-4, geba generuoti tekstus, vis labiau artimus žmogaus rašymo stiliui, pranokdami esamų aptikimo sistemų galimybes.

Atsižvelgiant į šiuos iššūkius, akivaizdžiai išryškėja poreikis alternatyviems, paaiškinamais principais grįstiems metodams, kurie leistų ne tik automatizuotai, bet ir kontekstualiai interpretuoti tekstų autentiškumą. Vienas iš tokių metodų – stilometrinė analizė. Tai statistiniais ir lingvistiniais principais pagrįstas rašytinių tekstų analizės būdas, apimantis sintaksės, leksinės struktūros, sakinių ilgio, kalbos dalių pasiskirstymo ir kitų kiekybinių bei kokybinių požymių vertinimą, leidžiantį identifikuoti rašymo stilių, būdingą konkrečiam autoriui ar autorių grupei (Holmes ir Kardos, 2003).

Stilometrinė analizė jau kurį laiką taikoma autorystės identifikavimui ir plagiato aptikimui įvairiomis kalbomis. Tačiau jos potencialas skirti žmogaus ir DI sugeneruotus tekstus, ypač mažiau tyrinėtoms kalboms, vis dar išlieka menkai ištirtas. Lietuvių kalbos (kaip ir kitų kalbų išskyrus anglų) atveju ši problema tampa dar aktualesnė dėl riboto kalbinių duomenų kiekio, menko įrankių pritaikomumo ir tyrimų stokos (Orenstrakh, Karnalim, Suarez ir Liut, 2024; Li ir kt., 2024).

Svarbu pabrėžti, kad stilometrinis požiūris išsiskiria gebėjimu ne tik pateikti vienareikšmišką automatizuotą rezultatą, bet ir suteikti įžvalgų apie priežastis, dėl kurių konkretus tekstas gali būti vertinamas kaip autentiškas ar įtartinas. Pavyzdžiui, neįprastas skyrybos ženklų ar kalbos dalių pasiskirstymas, ribotas arba, priešingai, neproporcingai įvairus žodynas, nenatūralus sakinių ilgis ar sintaksinė struktūra gali atskleisti stilistinius nukrypimus, nebūdingus žmogaus sukurtiems tekstams.

Šio tyrimo tikslas – išanalizuoti stilometrinės analizės taikymo galimybes, vertinant akademinių tekstų autentiškumą lietuvių kalba.

Tyrimo uždaviniai:

1. Teoriškai išanalizuoti esamus DI sukurtų tekstų aptikimo įrankius ir jų ribotumus akademinėje aplinkoje, taikant juos ne anglų kalba parašytiems tekstams bei įvertinti stilometrijos, kaip alternatyvaus metodo, privalumus.
2. Atlikti stilometrinę analizę Lietuvos aukštųjų mokyklų studentų parengtiems akademiniams tekstams, siekiant įvertinti šio metodo praktinį taikymą autentiškumo nustatymui ir jo integravimo galimybes į DI aptikimo strategijas.

Dabartinė DI aptikimo situacija akademiniame kontekste

Spartus generatyvinių DI modelių, tokių kaip GPT-4 ar Claude, vystymasis iš esmės transformavo akademines autorystės tikrinimo lauką ir iškėlė rimtų iššūkių, užtikrinant akademinių sąžiningumą. Šios technologijos leidžia per labai trumpą laiką sukurti stilistiškai taisyklingus, logiškus ir akademiniam diskursui būdingus tekstus, kurie dažnai yra sunkiai atskiriami nuo žmogaus sukurtų darbų (Cotton, Cotton ir Shipway,

2023). Dėl to tampa vis sudėtingiau nustatyti, ar konkretų tekstą parašė žmogus, ar jis buvo sugeneruotas DI, o tai kelia grėsmę tradicinėms kontrolės praktikoms akademinėje aplinkoje (Giray, Sevnarayan ir Ranjbaran Madiseh, 2025).

Reaguodamos į šiuos pokyčius, aukštosios mokyklos pradėjo taikyti įvairius DI tekstų aptikimo įrankius – tiek komercinius (pvz., Turnitin AI Writing Indicator, GPTZero), tiek atvirojo kodo sprendimus. Visgi esminė šių sistemų problema – jų uždaras, vadinamasis „juodosios dėžės“ veikimo principas. Dažniausiai tokie įrankiai pateikia tik bendrą tikimybės įvertinimą, jog tekstas galėjo būti sugeneruotas DI, tačiau nesuteikia išsamios lingvistinės ar struktūrinės analizės. Tokia praktika mažina vertinimo skaidrumą ir riboja galimybę dėstytojams pagrįsti sprendimus akademinio nesąžiningumo atvejais (Perkins ir kt., 2024; Weber-Wulff ir kt., 2023).

Kita aktuali problema – technologinės pažangos disbalansas tarp naujausių DI modelių ir juos aptikti siekiančių detektorių. Dauguma šių įrankių buvo apmokyti naudojant senesnius modelius, tokius kaip GPT-2 ar GPT-3, tačiau šiuolaikiniai modeliai, pavyzdžiui, GPT-4, geba generuoti itin sudėtingus, struktūruotus ir stilistiškai įvairius tekstus. Todėl net pažangūs aptikimo įrankiai dažnai nesugeba identifikuoti tokių tekstų. Giray, Sevnarayan ir Ranjbaran Madiseh (2025) atvejo analizė parodė, kad tokie įrankiai kaip Turnitin, Quetext ir Grammarly nesugebėjo atpažinti visiškai DI sugeneruoto teksto kaip neautentiško. Tai kelia klausimų dėl realiojo šių įrankių efektyvumo, kuris neretai būna pervertintas. Taip pat būtina paminėti, kad daugelis DI detektorių yra lengvai apeinami, pasitelkiant parafravavimo įrankius ar specializuotas „anti-detektavimo“ platformas, tokias kaip Undetectable AI (Wang ir kt., 2023; Sadasivan ir kt., 2023, cit. Giray, Sevnarayan ir Ranjbaran Madiseh, 2025). Nors kai kurie nauji sprendimai, pavyzdžiui, Originality.ai, deklaruoja 100% aptikimo tikslumą, kitų – tokių kaip Turnitin – efektyvumas svyruoja. Pavyzdžiui, Turnitin sugeba atpažinti tik apie 30% perrašytų DI tekstų (Liu ir kt., 2024, cit. Giray, Sevnarayan ir Ranjbaran Madiseh, 2025). Priešingai, patyrę dėstytojai gali atpažinti net iki 96% tokių tekstų, tad ekspertinis vertinimas vis dar išlieka itin svarbus. Vis dėlto dalis dėstytojų vis dar vengia naudoti DI technologijas arba neturi pakankamų kompetencijų, todėl nesugeba patikimai įvertinti studentų darbų (Giray, Sevnarayan ir Ranjbaran Madiseh, 2025).

Egzistuoja ir priešinga problema – žmogaus parašyti tekstai klaidingai identifikuojami kaip DI sukurti. Tokie atvejai ypač dažni, kai tekstas turi kalbos klaidų ar netradicinę struktūrą. Tokie tekstų požymiai (rašant anglų kalba) dažnai fiksuojami tarp studentų, kurių gimtoji kalba nėra anglų (Katsamakos ir kt., 2024, cit. Giray, Sevnarayan ir Ranjbaran Madiseh, 2025). Pastarieji autoriai taip pat pabrėžia, kad DI detektoriai dažniau klaidingai pažymi kaip neautentiškus tekstus, parašytus ne gimtąja anglų kalba, taip pat neįgaliųjų ar kultūriškai įvairių grupių studentų darbus, taip kurdami diskriminacinę ir nelygybę stiprinančią vertinimo sistemą.

Papildomų sunkumų kelia šių įrankių kalbiniai apribojimai. Dauguma jų sukurti anglų kalbai, todėl premti specifinėmis šios kalbos gramatinėmis savybėmis – pavyzdžiui, artikelių vartojimu, tam tikra sakinio struktūra ar skyrybos normomis – kurios nėra universalios. Dėl to taikant detektorius tekstams kitomis kalbomis, jų patikimumas tampa abejotinas (Orenstrakh ir kt., 2024). Ši problema dar labiau išryškėja daugiakalbiuose kontekstuose, kur DI geba generuoti tekstus įvairiomis kalbomis, o dauguma aptikimo priemonių vis dar orientuotos tik į vienakalbę analizę.

Be technologinių ir kalbinių ribotumų, dabartiniai DI aptikimo įrankiai dažnai prasilenkia su švietimo vertybėmis. Vietoje to, kad atliktų ugdomąją funkciją ir padėtų studentams tobulinti akademinio rašymo įgūdžius, šie įrankiai nepateikia grįžamojo ryšio apie teksto stilistiką, loginę struktūrą ar turinio nuoseklumą, todėl studentai ne ugdo savo rašymo stilių, o rizikuoja jį prarasti (Giray, Sevnarayan ir Ranjbaran Madiseh, 2025; Al Hosni, 2024).

Atsižvelgiant į šiuos problemas aspektus, akivaizdu, kad dabartiniai DI tekstų aptikimo įrankiai ne tik atsilieka nuo generatyvinių modelių technologinės pažangos, bet ir gali lemti klaidingus, diskriminacinius bei pedagogiškai neproduktyvius vertinimus. Siekiant išlaikyti akademinio sąžiningumo principus ir kartu užtikrinti švietimo teisingumą bei įtrauktį, būtina ieškoti naujų, kalbiškai pagrįstų ir su akademinės aplinkos vertybėmis suderintų sprendimų.

Ne anglų kalbomis parašytų tekstų analizės iššūkiai

Didžioji dalis DI aptikimo tyrimų iki šiol buvo sutelkta į tekstus parašytus anglų kalba. Tai suprantama, nes anglų kalba dominuoja akademinėje erdvėje, be to, pasižymi plačiai ištirta lingvistine struktūra, gerai išvystyta skaitmenine infrastruktūra bei prieinamais dideliais, kokybiškai anotuotais tekstynais. Dėl šių priežasčių dauguma šiandien egzistuojančių DI aptikimo įrankių kuriami, treniruojami ir testuojami būtent anglų kalbai. Vis dėlto jų veiksmingumas kitomis kalbomis dažnai ženkliai sumažėja dėl fundamentalių gramatinių, sintaksinių ir stilistinių skirtumų.

Kaip pažymi Orenstrakh ir kt. (2024), „visi LLM (didieji kalbos modeliai) grįsti teksto detektoriai susiduria su sunkumais analizuodami kitas kalbas nei anglų“ (p. 15). Kitaip tariant, tai, kas veikia anglų kalboje, nebūtinai gali būti perkeliama į kitas kalbines sistemas. Tokiose kalbose kaip lietuvių, kurioms būdinga sudėtinga morfologija, turtinga žodžių darybos sistema ir lanksti sakinio struktūra, į anglų kalbos struktūrą orientuoti modeliai neretai pasirodo esantys netinkami.

Li ir kt. (2024) taip pat akcentuoja, kad net taikant bendrą DI aptikimo metodologiją, kiekviena kalba reikalauja specifinio pritaikymo. Aptikimo įrankiai dažnai remiasi anglų kalbai būdingais struktūriniais bruožais – fiksuota žodžių tvarka, artikelių vartojimu, pasikartojančiomis frazėmis ar tipinėmis sakinių konstrukcijomis. Šie požymiai yra esminiai analizės parametrai anglų kalboje, tačiau kitose kalbose – kur tokie elementai neegzistuoja arba veikia visiškai kitaip – jie gali būti klaidinantys arba neinformatyvūs.

Dar vienas reikšmingas iššūkis kyla, kai aptikimo sistemos taikomos ne gimtakalbių anglų kalba parašytiems tekstams. Tokie darbai dažnai pasižymi gramatinėmis ar stilistinėmis ypatybėmis, kurios skiriasi nuo standartinės akademinės anglų kalbos. DI detektoriai šiuos bruožus gali neteisingai interpretuoti kaip dirbtinio teksto indikatorius. Tai kelia riziką, kad autentiški studentų darbai – ypač tarptautinėje, daugiakalbėje akademinėje aplinkoje – bus klaidingai priskirti DI generuotiems (Stanford Institute for Human-Centered Artificial Intelligence, 2023).

Atsižvelgiant į šiuos iššūkius, būtina kurti kalbiškai jautrius aptikimo sprendimus, kurie atlieptų lietuvių kalbos morfologinius, sintaksinius ir stilistinius ypatumus. Tokie modeliai turėtų būti grindžiami vietiniais duomenimis, paremti skaidria analize ir pritaikyti prie konkrečių lingvistinių struktūrų. Tik taip galima užtikrinti patikimą DI generuotų tekstų identifikavimą ir kartu sumažinti riziką dėl neteisingų, akademinės aplinkos pasitikėjimą silpninančių sprendimų.

Stiliometrijos kaip metodo privalumai

Stiliometrija – tai kiekybinė rašytinio teksto analizė, pagrįsta individualių rašymo stiliaus požymių identifikavimu ir jų palyginimu. Šis metodas taikomas įvairiuose kontekstuose – nuo literatūros tyrimų ir teismo lingvistikos iki akademinio sąžiningumo vertinimo. Integravus kompiuterinius metodus, stiliometrinė analizė leidžia objektyviau vertinti tekstų autentiškumą, aptikti galimus plagijavimo atvejus ar net įtarti dirbtinio intelekto generuotą turinį. Be to, ji leidžia sieti kalbinius bruožus su autoriaus psichologinėmis ir socialinėmis savybėmis bei nagrinėti, kaip jos atsispindi tekste.

Teismo lingvistikos srityje stiliometrija taikoma tiriant ginčytinus tekstus – grasinimus, anoniminius laiškus ar kitus dokumentus, kurių autorius nežinomas (Chaski, 2005; Grant, 2007). Literatūros tyrimuose šis metodas naudojamas jau daugiau nei šimtmetį – juo remtasi, pavyzdžiui, analizuojant Viljamo Šekspyro kūrybą ar nustatant „Federalistų dokumentų“ autorius (Mendenhall, 1887; Mosteller & Wallace, 1964, in Stamatatos, 2009).

Vienas praktinių šio metodo taikymo pavyzdžių akademinėje aplinkoje – vidinės institucijos tekstų duomenų bazės kūrimas. Įtraukus ankstesnius studentų darbus, galima lyginti naujus tekstus su anksčiau pateiktais ir įvertinti stilistinį nuoseklumą ar galimus neatitikimus. Tai itin aktualu tais atvejais, kai pateiktas tekstas aiškiai skiriasi nuo ankstesnių darbų stiliistikos ir kelia pagrįstų klausimų dėl autorystės.

Akademiniam kontekste stiliometrija tampa vis svarbesniu įrankiu vertinant tekstų originalumą. Stamatatos (2009) pabrėžia, kad autorystės nustatymas gali būti grindžiamas tokiais mažai sąmoningai kontroliuojamais kalbiniais bruožais kaip funkciniai žodžiai, sakinių struktūra ar žodyno vartojimo įpročiai. Dėl šios priežasties šie požymiai dažnai laikomi rašytojo „stilistiniu parašu“. Tokia analizė padeda ne tik aptikti plagiatą ar DI sukurtą tekstą, bet ir giliau suprasti individualų rašymo stilių bei jo raidą.

Stiliometrinė analizė apima įvairias požymių kategorijas, kurios atspindi skirtingus lingvistinius ir struktūrinius teksto aspektus. Šie požymiai apibendrinti 1 lentelėje.

1 lentelė

Stilometrinių požymių išskyrimo kategorijos ir metodai

Požymis		Aprašymas	Matavimo būdas
Leksinės savybės	Žodžių ilgis, sakinių ilgis	Žodžių ir sakinių ilgio analizė leidžia įvertinti teksto sudėtingumą bei autoriaus rašymo stilių.	Matuojami vidutiniai žodžių bei sakinių ilgiai ir jų pasiskirstymai, naudojant tekstų analizės bibliotekas.
	Žodyno turtingumas	Vertinama, kiek įvairus yra tekste vartojamas žodynas.	Atliekama n-gramų analizė, naudojant įprastus teksto analizės ar vizualizacijos įrankius.
	Žodžių dažnumas ir n-gramos	Nustatomi dažniausiai pasitaikantys žodžiai ir frazės, atskleidžiantys rašymo įpročius.	Atliekama n-gramų (tekste dažnai kartu pasitaikančių žodžių, simbolių sekų) analizė.

Požymis		Aprašymas	Matavimo būdas
	Ortografinės klaidos ir rašyba	Analizuojamos rašybos klaidos ar saviti rašybos bruožai, būdingi konkrečiam autoriui.	Naudojamos rašybos tikrinimo bibliotekos arba individualiai kuriami klaidų modeliai.
Sintaktinės savybės	Kalbos dalies nustatymas	Gramatinės struktūros analizė padeda suprasti, kaip autorius konstruoja sakinius.	Atliekamas kalbos dalių (POS) žymėjimas.
	Sakinio struktūra ir skyryba	Atspindi rašymo eigą, pavyzdžiui, trumpų sakinių ar dažnų skyrybos ženklų vartojimą.	Analizuojami sakinių ilgiai ir skyrybos ženklų dažnumas.
	Sintaksinio medžio gylis ir sudėtingumas	Parodo sakinių sudėtingumą ir rašymo formalumą.	Vertinami sintaksiniai medžiai, naudojant analizatorius, skaičiuojamas struktūrų gylis.
Semantinės savybės	Sinonimų vartoseną	Padeda įvertinti žodyno įvairovę ir žodžių pasirinkimo sąmoningumą.	Atliekamas palyginimas su sinonimų duomenų bazėmis arba naudojami tekstynų analizės metodai.
	Semantiniai ryšiai	Analizuojami sakinių loginiai ryšiai, parodantys minčių struktūrą ir teksto organizaciją.	Naudojami sintaksiniai priklausomybių analizatoriai ryšiams tarp žodžių nustatyti.
Specifinės, nuo konteksto priklausančios savybės	Struktūrinės savybės	Nustatomas dokumento organizacinis stilius – nuo formalios struktūros iki atsitiktinių užrašų pobūdžio.	Naudojami dokumentų analizės įrankiai struktūros elementams identifikuoti.
	Turinio specifiška	Vertinama temos išmanymo raiška pagal specifinių sąvokų ar terminų vartojimą.	Analizuojamas terminų pasiskirstymas, naudojami bendri statistiniai rodikliai.

Šaltinis: sudaryta autorių pagal Stamatatos (2009); Manning, Raghavan ir Schütze (2008); Jurafsky & Martin (2023); Juola (2008)

Tyrimo metodologija ir eiga

Remiantis įvairių autorių stilometrinių tyrimų metodika (žr. 1 lentelę), šio tyrimo tikslas – ištirti rašymo stiliaus ypatumus Lietuvos kolegijų inžinerinių studijų studentų baigiamuosiuose darbuose, pasitelkiant automatizuotą lingvistinę analizę. Atsižvelgus į lietuvių kalbos struktūrinius bruožus – sudėtingą morfologiją su septynių linksnių sistema, veiksmažodžių kaitybos įvairovę ir laisva žodžių tvarka – taikyti analizės metodai bei požymių atranka buvo pritaikyti šiems kalbos ypatumams.

Tyrimo duomenų bazę sudarė 50 inžinerijos bakalauro baigiamųjų darbų, parašytų Lietuvos kolegijų studentų. Šios srities tekstai pasirinkti tiksliai dėl savo žanrinio nuoseklumo, formalios struktūros bei profesinės leksikos, kuri dera su akademinio rašymo konvencijomis. Toks pasirinkimas užtikrina santykinę tekstų homogeniškumą, būtiną stilometrinei analizei. Nors stilometrinuose tyrimuose nėra universaliai priimto optimalaus imties dydžio, pasirinkta apimtis atitinka dažnai praktikoje taikomus modelius ir leidžia atlikti statistškai pagrįstą analizę.

Analizei visi darbai buvo suskirstyti į penkias (kai kur šešias) struktūrines dalis: įvadą, literatūros apžvalgą, metodologiją, tyrimo rezultatus ir išvadas. Nors šios dalys nebuvo vertinamos atskirai, segmentavimas palengvino tekstų paruošimą analizei. Struktūriškai nuoseklūs ir trumpesni teksto vienetai leido sumažinti triukšmo lygį ir užtikrinti didesnę sintaksinių bei leksinių rodiklių stabilumą, kas yra ypač svarbu automatizuotoje analizėje.

Prieš pradedant analizę, dokumentai buvo standartizuoti: iš jų pašalinti netekstiniai elementai – iliustracijos, lentelės, nuorodos, metaduomenys – kad būtų išlaikytas tik kalbinis turinys. Visi darbai nuasmeninti laikantis akademinės etikos principų. Vėliau atlikta tekstų normalizacija – dokumentai konvertuoti į mažąsias raides, segmentuoti į žodžius ir lematizuoti, pasitelkiant lietuvių kalbai pritaikytą modelį. Lematizacija ypač svarbi lietuvių kalbos analizei, nes leidžia apibendrinti skirtingas žodžio formas.

Stilometrinių požymių atranka rėmėsi teoriniais stilistikos ir skaitmeninės lingvistikos principais bei praktiniais tyrimo tikslais. Buvo siekiama atrinkti tokius požymius, kurie būtų automatiškai identifikuojami, patikimi bei nepriklausomi nuo konkretaus teksto turinio. Pagrindinis dėmesys skirtas rodikliams, kurie sudaro vadinamąjį stilistinį parašą: analizuotas žodžių ir sakinių skaičius, vidutinis žodžių ilgis ir žodyno įvairovė. Pastarasis rodiklis (type-token ratio; unikalių ir visų žodžių santykis) leidžia spręsti apie autoriaus polinkį kartoti tuos pačius žodžius ar vartoti įvairesnę leksiką. Taip pat buvo skaičiuojamas hapax legomena – žodžių, pavartotų tik kartą – dažnis, kuris atspindi rašymo individualumą ir novatoriškumą.

Vertinant sintaksinius ypatumus, atlikta kalbos dalių (part-of-speech, POS) analizė ir sakinių sudėtingumo vertinimas. POS struktūra padeda nustatyti, ar autorius linkęs vartoti tam tikras gramatinės formas – pavyzdžiui, dominuoja veiksmažodžiai ar būdvardžiai. Sakinių sudėtingumas buvo įvertintas pagal jų ilgį bei kalbos dalių įvairovę.

Analizei atlikti sukurta sistema, leidžianti vienu metu įkelti kelis dokumentus, automatiškai apskaičiuoti stilistinius rodiklius ir peržiūrėti jų kontekstines ištraukas. Sistema pateikia kiekvieno dokumento ataskaitą, kurioje apžvelgiamas žodžių bei sakinių skaičius, vidutinis žodžių ilgis, žodyno įvairovė, hapax legomena dažnis bei kalbos dalių pasiskirstymas. Internetinė sąsaja leidžia lanksčiai peržiūrėti rezultatus ir pritaikyti analizę pagal konkrečius pedagoginius ar kokybės vertinimo poreikius.

Sugeneravus kiekvienam tekstui stilometrinius rodiklius, kitas analizės etapas buvo susijęs su šių duomenų apibendrinimu ir interpretacija. Pirmiausia išnagrinėti pagrindiniai statistiniai parametrai – kiekvieno rodiklio vidurkiai, minimumai, maksimumai ir dispersijos. Tai leido susidaryti bendrą vaizdą apie stiliaus požymių pasiskirstymą imtyje. Toliau taikyta z-reikšmių analizė, kuri padėjo nustatyti dokumentus, statistiškai reikšmingai išsiskiriančius savo stilistiniais bruožais. Galiausiai pritaikyta pagrindinių komponentų analizė (PCA) – statistinis metodas, leidžiantis sumažinti analizuojamų rodiklių skaičių, išlaikant svarbiausią informaciją. PCA padeda nustatyti pagrindines dimensijas, kuriose skiriasi tekstai. Šių analizių rezultatai buvo interpretuoti siekiant atsakyti į klausimą, ar tarp Lietuvos kolegijose studijuojančių inžinerijos studentų rašto darbų išryškėja nuoseklūs stilistiniai bruožai, būdingi „tipinio“ žmogaus autoriaus rašymui šiame kontekste.

Rezultatai

Atlikus stilometrinę 261 struktūrinio segmento iš 50 Lietuvos kolegijose rašytų inžinerijos bakalauro baigiamųjų darbų analizę, išryškėjo keletas reikšmingų tendencijų.

2 lentelė

Išanalizuotų tekstų stilometriniai požymiai

Požymis	Mažiausias	Didžiausias	Vidutinis
Žodžių skaičius	28	4495	813,264
Sakinių skaičius	3	441	66,253
Vidutinis žodžio ilgis	6.32	7.98	7,156
Vidutinis sakinio ilgis	2.96	28.77	13,317
Tipų ir tokenų santykis	0.358	0.895	0,59
Hapax legomena	18	1092	294,816
Funkcinių žodžių santykis	0.007	0.158	0,097

Žodžių skaičius segmentuose labai skyrėsi – nuo 28 iki 4495, vidutiniškai siekdamas apie 813 žodžių. Sakinių skaičius svyravo nuo 3 iki 441, o vidutinis segmentas turėjo apie 66 sakinius. Tokie rodikliai rodo itin nevienodą segmentų ilgį, kas gali būti susiję su skirtingu skyrių pobūdžiu ar studentų darbo stiliumi.

Kalbant apie vidutinį žodžio ilgį, rezultatai rodo gana nuoseklų vartojimą – daugumoje segmentų žodžiai buvo 6,32–7,98 raidžių ilgio. Sakinių ilgis, matuojamas žodžių skaičiumi sakinyje, taip pat buvo įvairus: nuo labai trumpų sakinių (vos 2,96 žodžio) iki gerokai sudėtingesnių (iki 28,77 žodžio), o vidutinis ilgis siekė 13,32 žodžio.

Vertinant žodyno įvairovę, type-token santykis (TTR), kuris parodo, kiek tekste yra unikalių žodžių santykyje su bendru žodžių skaičiumi, vidutiniškai siekė 0,59. Tai laikoma pakankamai aukšta reikšme – ji rodo, kad autoriai naudojo gana įvairų žodyną. Šį išpuolį sustiprina hapax legomena (žodžių, pavartotų tik vieną kartą segmente) skaičius, kuris vidutiniškai siekė beveik 295, o kai kuriuose segmentuose viršijo 1000.

Funkcinių (ne prasminių) žodžių – tokių kaip jungtukai, įvardžiai, prielinksniai – vartojimo santykis sudarė apie 9,7% visų žodžių. Šis rodiklis laikomas gana stabilu stilometriniu požymiu, nes funkcinių žodžių naudojimą sunku sąmoningai kontroliuoti. Todėl jų pasiskirstymas gali būti naudingas siekiant nustatyti rašymo stiliaus pastovumą arba autorių individualumą.

3 lentelė

Skyrybos ženklų pasiskirstymas išanalizuotuose tekstuose

Ženklas	Mažiausias skaičius	Didžiausias skaičius	Vidurkis
.	4	563	78,40
,	1	428	69,59
(	0	187	10,22
)	0	199	10,33
:	0	101	8,43
"	0	185	7,94
;	0	33	4,97
[	0	41	2,05
]	0	41	2,05
!	0	15	0,21

Ženklas	Mažiausias skaičius	Didžiausias skaičius	Vidurkis
'	0	5	0,16
?	0	1	0,01

Atlikus skyrybos ženklų analizę, paaiškėjo, kad taškai ir kableliai buvo dažniausiai vartojami ženklai. Taškai, žymintys sakinio ribas, segmentuose pasitaikė vidutiniškai 78 kartus. Kableliai taip pat buvo dažni – jų vidutinis kiekis siekė apie 70.

Kiti ženklai, tokie kaip skliaustai, dvitaškiai, kabutės ar kabliataškiai, buvo gerokai retesni, tačiau vis tiek parodė specifinius stiliaus niuansus. Rečiausiai naudoti ženklai buvo šauktukai (vidutiniškai 0,21), apostrofai (0,16) ir klausukai (vos 0,01), kas atitinka lietuvių kalbos akademinio teksto stiliaus normas.

4 lentelė

Kalbos dalių pasiskirstymas išanalizuotuose tekstuose

Kalbos dalis	Mažiausia dalis	Didžiausia dalis	Vidurkis
Daiktavardis (bendrini)	34,43%	66%	43,76%
Veiksmažodis	7,87%	32,95%	20,02%
Būdvardis	0	16,75%	9,78%
Jungtukas	0	12,71%	6,47%
Įvardis	0	13,07%	4,36%
Skaitvardis	0	15,62%	3,78%
Prielinksnis	0	6,56%	3,29%
Prieveiksmis	0	5,19%	2,55%
Daiktavardis (tikrinis)	0	14,61%	1,16%
Dalyvis	0	4,17%	1,15%
Simboliai	0	6,02%	0,89%
Jaustukai / išiktukai	0	0,52%	0,05%
X	0	10,13%	2,74%

Kalbos dalių analizė parodė, kad segmentuose dominavo bendriniai daiktavardžiai, kurie sudarė vidutiniškai 43,76% visų žodžių. Veiksmažodžiai užėmė antrą vietą pagal dažnį (vidutiniškai 20,02%). Būdvardžių (9,78%) bei jungtukų (6,47%) dalis rodo vidutinį sakinių išplėtojamą ir aprašomąją kalbą.

Rečiau pasitaikė įvardžiai, skaitvardžiai, prieveiksmiai. Beveik nepasitaikė jaustukų, simbolių ir neklasifikuotų žodžių, o tai rodo, kad analizuoti tekstai išlaikė standartinį, taisyklingą žodyną, be šnekamosios kalbos ar netipiškų elementų.

Diskusija

Aptariant rezultatus, matyti, kad stilometrinė analizė leidžia nuosekliai atskleisti akademinių tekstų lietuvių kalba, ypač inžinerijos srityje, kalbinius bruožus. Nors dauguma rodiklių atitinka moksliniam stiliui būdingas normas, tam tikri nukrypimai leidžia daryti prielaidą apie specifinius disciplinos stilistikos ypatumus ar individualius rašymo įpročius.

Žodžių ir sakinių skaičiaus analizė atskleidė reikšmingą segmentų įvairovę: žodžių kiekis svyravo nuo 28 iki 4495, sakinių – nuo 3 iki 441. Tokie skirtumai yra suprantami, atsižvelgiant į inžinerinių darbų struktūrą, kur kai kurie skyriai dažnai grindžiami lentelėmis, schemomis ar skaičiavimais, todėl juose gali būti mažiau ištisinio teksto. Dėl šios priežasties trumpi ar sintaksiškai fragmentiški segmentai neturėtų būti laikomi neautentiškos autorystės požymiu.

Vienas reikšmingiausių rodiklių – vidutinis sakinio ilgis, svyravęs nuo 2,96 iki 28,77 žodžio (vidurkis – 13,3 žodžio), gerokai mažesnis nei įprasta moksliniuose tekstuose. Pasak Župerkos (1997), sakinio ilgis akademiniuose tekstuose paprastai siekia 18–36 žodžius, o itin formalizuotose disciplinose dažni dar ilgesni sakiniai. Santykinai trumpą sakinių ilgį galima aiškinti keliais veiksniais: procedūriniu, segmentuotu inžinerinių darbų stiliumi, nekalbinių elementų (lentelių, schemų, iliustracijų) pašalinimu apdorojant tekstą, bei galimu studentų kalbinės kompetencijos skirtumu, ypač bakalauro studijų etape.

Vidutinis žodžio ilgis (7,15 simbolio) atitinka techniniams ir moksliniams tekstams būdingą stilistiką – dažną daugiaskiemenių, terminologinių ar tarptautinės kilmės žodžių vartojimą (Bitinienė, 1997). Šis rodiklis rodo vidutinį kalbos sudėtingumą ir formalų stilių.

Tipų ir tokenų (t.y. unikalių ir visų žodžių) santykis, kurio vidurkis siekė 0,59, bei pakankamai aukštas hapax legomena – žodžių, pavartotų tik vieną kartą – vidurkis (apie 295), rodo vidutinį leksinį įvairumą. Nors mažesnės TTR reikšmės dažnai siejamos su pasikartojančia ar formalia kalba, šiuo atveju gana aukštas rodiklis leidžia daryti prielaidą apie kalbos turtingumą ir žmogišką autorystę.

Funkcinių žodžių vartojimas (vidutiniškai 9,7%) taip pat pateikia vertingų įžvalgų. Stilometriniuose tyrimuose šie žodžiai – jungtukai, prielinksniai ir kt. – laikomi patikimais autoriaus identifikavimo rodikliais,

nes jų vartojimas dažnai nesąmoningas (Kestemont ir kt., 2014; Stamatatos, 2009). Nuoseklus jų pasiskirstymas analizės metu leidžia manyti, kad darbai parašyti žmonių, o ne sukurti automatiškai. Automatizuoti tekstų generavimo modeliai dažnai manipuliuoja šiais elementais mechaniškai arba nenuosekliai.

Dažnas ir taisyklingas kablelių (vid. – 69,6) vartojimas atitinka akademinio rašymo standartus, ypač inžinerijos srityje, kur sakiniai dažnai yra gramatiniu požiūriu sudėtingi. Tokie skyrybos ženklai, tokie kaip šauktukai, pasitaikė itin retai (vid. – 0,21), tačiau jų vartojimas pateikia vertingų kontekstinių įžvalgų. Detalesnė analizė atskleidė, kad šauktukai buvo naudojami ne emociniam tonui sukurti, o standartizuotose techniniuose kontekstuose, pavyzdžiui, frazėse „!!! PAVOJUS“ ar „!!! DANGER“, būdingose saugos ženklavimui, dažnai pasitaikančiam statybos ar pramonės objektų aprašymuose ir neturėtų būti laikoma akademinio stiliaus pažeidimu.

Pastebėtas ir apostrofų vartojimas, kuris, nors lietuvių kalboje nelaikomas taisyklingu, analizuotuose dokumentuose atsirado dėl anglišku nuosavybės formų, ypač techninių terminų ar prekių ženklų pavadinimuose (pvz., „Atmel's AVR serija“). Tokie atvejai būdingi kalbant apie tarptautinius technologinius komponentus ir atspindi neišvengiamą įvairiakalbių elementų integraciją akademiniame kalboje. Šie pavyzdžiai pabrėžia, kad analizėje svarbūs ne tik kiekybiniai rodikliai, bet ir jų konteksto vertinimas. Vien kiekybiniai duomenys gali sudaryti klaidingą įspūdį apie stiliaus nukrypimus, todėl būtina atlikti ir kokybinę analizę, apimančią ženklų funkcijos bei semantinio-pragmatinio konteksto įvertinimą.

Analizuotose tekstuose dominavo nominalinės konstrukcijos – daiktavardžiai sudarė didžiausią kalbos dalių dalį (vid. 43,76%). Nors semantinės jų kategorijos nebuvo nustatytos, toks pasiskirstymas atitinka inžineriniams tekstams būdingą faktų pateikimą, objektų aprašymą ir terminologijos vartojimą. Ši leksinė strategija leidžia autoriams perteikti informaciją tiksliai, objektyviai ir formaliai. Veiksmažodžių vartojimas (vid. 17,52 %) daugiausia susijęs su procesų, veiksmų ir metodikų aprašymu. Būdvardžių (vid. 9,78 %) vartojimas buvo žymiai retesnis, o jų ribotas skaičius rodo tendenciją vengti vertinimo bei išlaikyti objektyvų toną, būdingą akademiniam diskursui.

Ištiktukų / jaustukų analizė pareikalavo daugiau metodologinio dėmesio. Nors pradžioje manyta, kad jų tekstuose nebus rasta, automatizuota analizė parodė, kad ši kalbos dalis pasitaikė, nors ir labai retai (vid. 0,05%, max – 0,52%). Tačiau detalesnis vertinimas atskleidė, kad šie atvejai buvo analizės modelio klaidos: interjekcijomis klaidingai laikyti techniniai simboliai, santrumpos ar formulių komponentai (pvz., „B – ...“, „i – ...“), neturintys nei emocinės, nei pragmatinės funkcijos. Todėl šie rezultatai neatspindi tikro turinio, o rodo modelio ribotumą techniniuose kontekstuose. Šis atvejis iliustruoja dažną automatizuotų kalbos analizės įrankių problemą – netikslūs žymėjimai, kai modelis nėra pritaikytas specifiniam kalbai ar žanrui. Vienas iš galimų sprendimų – modelių tobulinimas naudojant lietuvių kalbos duomenis, apimančius akademinius ir techninius tekstus. Taip pat rekomenduojama taikyti postanalitines strategijas, kai neįprasti atvejai peržiūrimi kontekste ir koreguojami rankiniu būdu.

Atlikus stilometrinę analizę, statistiškai analizuoti lingvistiniai rodikliai – žodžio ilgis, sakinio ilgis, leksinis įvairovės santykis (TTR), funkcinų žodžių proporcijos. Jie pasiskirstė aplink aiškias vidutines reikšmes, o jų standartiniai nuokrypiai buvo gana nedideli. Tai rodo, kad dauguma tekstų pasižymi palyginti panašiu leksiniu ir sintaksiniu sudėtingumu. Šis stilistinis vienodumas leidžia manyti, kad imties vidurkiai atspindi tipišką stilių, kuris susiformavo akademinio rašymo situacijoje. Jis greičiausiai atspindi ne tik užduoties struktūrą, bet ir bendras žanro normas bei akademinio diskurso lūkesčius.

Standartizuotų reikšmių (z-score) analizė parodė, kad tik 147 tekstuose bent vienas stilometrinis rodiklis peržengė ± 2 z ribas. Labai reikšmingų nukrypimų, kai daug rodiklių vienu metu viršijo šią ribą, buvo labai mažai – tik vienas dokumentas išsiskyrė daugiau nei 10 parametru. Tai rodo, kad didžioji dalis tekstų stilistiškai artimi bendroms normoms, o išsiskiriantys atvejai – reti.

Pagrindinių komponentų analizė (PCA) identifikavo du reikšmingus komponentus, kurie kartu paaiškina 43,5 % bendros stilistinės dispersijos. Pirmoji komponentė (PC1), kuri paaiškina 25,8% dispersijos, yra susijusi su tekstų apimtimi – žodžių ir sakinių kiekiu bei sakinių ilgiu. Šis matmuo leidžia diferencijuoti išsamesnius, išplėstus darbus nuo glaustesnių. Skirtumai gali būti susiję tiek su asmeniniu rašymo stiliumi, tiek su darbo dalimi (pvz., analitinė dalis ir išvados). Antroji komponentė (PC2), paaiškinanti 17,6% dispersijos, atspindi leksinius ir gramatinius skirtumus. Ji koreliuoja su TTR, hapax legomena skaičiumi ir kalbos dalių proporcijomis (ypač veiksmažodžių, būdvardžių ir daiktavardžių). Čia atsiskleidžia skirtingi stiliaus pasirinkimai: kai kuriuose tekstuose dominuoja daiktavardžiai, kituose – didesnis veiksmažodžių kiekis. Tokie skirtumai gali rodyti įvairius požiūrius į informacijos pateikimą: vieni studentai labiau akcentuoja veiksmus ir procesus, kiti – objektus ir apibrėžtis. Šių dviejų komponentų sankirtoje galima apibrėžti tam tikrą stilistinę erdvę, kurioje dauguma studentų tekstų išsidėsto gana nuosekliai. Išsiskiriantys tekstai gali būti tiriami toliau,

tačiau svarbu pažymėti, kad stilistiniai nukrypimai nebūtinai rodo nenatūralią autorystę – jie gali būti susiję ir su individualiais rašymo įpročiais, temos interpretacija ar kontekstiniais veiksniais.

Išvados

1. Tyrimo metu nustatyta, kad egzistuojantys dirbtinio intelekto (DI) generuoto turinio aptikimo įrankiai, tokie kaip Turnitin, GPTZero ar ZeroGPT, dažnai veikia kaip „juodosios dėžės“ – t. y. pateikia rezultatą be aiškos paaiškinamosios logikos. Tai ypač problemiška akademiniuose aplinkose, kur svarbus skaidrumas, įrodymai ir objektyvumas. Be to, daugelis šių įrankių sukurti anglų kalbai, todėl jų efektyvumas kitomis kalbomis – ypač lietuvių – išlieka ribotas ar net klaidinantis.

Stilometrija pasižymi tuo, kad leidžia aiškiai pagrįsti tekstų analizės rezultatus, remiantis konkrečiais kalbiniais rodikliais, tokiais kaip sakinių ilgis, žodyno įvairovė, kalbos dalių pasiskirstymas ar skyrybos ženklų vartojimas. Šie požymiai yra interpretuojami ir paaiškinami, o tai didina skaidrumą ir sumažina nepagrįstų kaltinimų riziką. Stilometrijos privalumas ypač išryškėja mažosioms kalboms, kur tradiciniai DI detektoriai gali būti nepatikimi arba netinkami.

2. Atlikta stilometrinė analizė 50 lietuvių kalba parašytų inžinerinių studijų studentų baigiamųjų darbų parodė, kad tam tikri kalbiniai požymiai – žodžių ir sakinių ilgis, žodyno įvairovė, kalbos dalių proporcijos, hapax legomena dažnis bei skyrybos ženklų vartojimas – gali būti naudingi vertinant tekstų autentiškumą. Šie rodikliai padeda atpažinti individualius rašymo stiliaus bruožus, kurie gali skirtis esant kopijavimui, DI generavimui ar kitam neautentiškumui. Tyrimo metu taip pat buvo sukurta ir išbandyta sistema, automatiškai skaičiuojanti minėtus rodiklius ir generuojanti interpretacijai palankias ataskaitas.

Tačiau analizė taip pat parodė, kad stilometriniai požymiai reikalauja kruopštaus aiškinimo. Pavyzdžiui, netikėtas skyrybos ženklų vartojimas gali būti sąlygotas techninių standartų. Todėl kiekybiniai rodikliai turi būti vertinami atsižvelgiant į kontekstą, tekstų pobūdį ir discipliną. Tokia interpretacinė analizė reikalauja kalbinio ir pedagoginio pasirengimo, todėl sistema turėtų būti naudojama kaip pagalbinis, o ne automatinis vertinimo įrankis.

Literatūra

1. Al Hosni, J. (2024). Stylometric analysis of AI chatbot-generated emails: Are students losing their linguistic fingerprint? *Journal of English Language Teaching and Applied Linguistics*, 6(3), 33–42.
2. Bitinienė, A. (1997). *Funkciniai stiliai: sakinio ilgis ir struktūra*. Vilnius: VPU leidykla.
3. Chaski, C. E. (2005). Who's at the keyboard? Authorship attribution in digital evidence investigations. *International Journal of Digital Evidence*, 4(1).
4. Cotton, D. R. E., Cotton, P. A., & Shipway, J. R. (2023). Chatting and cheating: Ensuring academic integrity in the era of ChatGPT. *Innovations in Education and Teaching International*, 61(2), 131–140.
5. Giray, L., Sevnarayan, K., & Ranjbaran Madiseh, F. (2025). Beyond Policing: AI Writing Detection Tools, Trust, Academic Integrity, and Their Implications for College Writing. *Internet Reference Services Quarterly*, 29(1), 83–116.
6. Grant, T. (2007). Quantifying evidence and testing hypotheses: The role of statistics in forensic authorship analysis. *International Journal of Speech, Language & the Law*, 14(1), 1–25. <https://doi.org/10.1558/ijssl.v14i1.1>
7. Holmes, D. I., & Kardos, J. (2003). Who was the author? An introduction to stylometry. *Chance*, 16(2), 5–8.
8. Juola, P. (2008). Authorship attribution. *Foundations and Trends in Information Retrieval*, 1(3), 233–334. <https://doi.org/10.1561/1500000005>
9. Jurafsky, D., & Martin, J. H. (2023). *Speech and language processing* (3rd ed.). Prentice Hall.
10. Kestemont, M. (2014). Function words in authorship attribution: From black magic to theory? *Proceedings of the First Workshop on Computational Linguistics for Literature*, 59–66. <https://doi.org/10.3115/v1/W14-0908>
11. Li, Z., Shi, Y., Liu, Z., Yang, F., Payani, A., Liu, N., & Du, M. (2024). Language Ranker: A Metric for Quantifying LLM Performance Across High and Low-Resource Languages. *arXiv preprint*, arXiv:2404.11553. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2404.11553>
12. Manning, C. D., Raghavan, P., & Schütze, H. (2008). *Introduction to information retrieval*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511809071>
13. Orenstrakh, M. S., Karnalim, O., Suarez, C. A., & Liut, M. (2024 liepa). Detecting LLM-generated text in computing education: Comparative study for ChatGPT cases. *2024 IEEE 48th Annual Computers, Software, and Applications Conference (COMPSAC)* (pp. 121–126). IEEE.
14. Perkins, M., Roe, J., Vu, B. H., Postma, D., Hickerson, D., McGaughran, J., & Khuat, H. Q. (2024). GenAI detection tools, adversarial techniques and implications for inclusivity in higher education. *arXiv preprint*, arXiv:2403.19148. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2403.19148>
15. Stamatatos, E. (2009). A survey of modern authorship attribution methods. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 60(3), 538–560. <https://doi.org/10.1002/asi.21001>
16. Stanford Institute for Human-Centered Artificial Intelligence. (2023). AI detectors biased against non-native English writers. Žiūrėta: 2025-01-13, <https://hai.stanford.edu/news/ai-detectors-biased-against-non-native-english-writers>

17. Weber-Wulff, D., Anohina-Naumeca, A., Bjelobaba, S., Foltýnek, T., Guerrero-Dib, J., Popoola, O., ... & Waddington, L. (2023). Testing of detection tools for AI-generated text. *International Journal for Educational Integrity*, 19(1), 26. <https://doi.org/10.1007/s40979-023-00146-z>
18. Župerka, K. (1983). *Lietuvių kalbos stilistika*. Vilnius: Mokslas.

ASSESSING THE AUTHENTICITY OF ACADEMIC WRITING: ANALYSIS OF STYLOMETRIC FEATURES AND THEIR INTEGRATION WITH OTHER AI DETECTION STRATEGIES

Summary

This study explores the potential of stylometric analysis as a complementary method for assessing the authenticity of academic texts in the context of increasing use of generative AI tools. The research was conducted in response to growing concerns about the limitations of existing AI detection systems, which are often trained on English-language data and produce unreliable results when applied to texts in smaller languages like Lithuanian.

The study had two main objectives: (1) to critically evaluate currently available AI detection tools and their applicability in academic settings, particularly for non-English texts, and (2) to assess the practical value of stylometric methods by analyzing a sample of 50 Lithuanian student theses. Stylometric features such as sentence length, vocabulary richness, part-of-speech distribution, and hapax legomena were extracted and interpreted using both quantitative and qualitative approaches.

The findings show that while stylometric indicators alone do not provide definitive evidence of authorship or AI use, they can reveal stylistic anomalies that, when combined with contextual analysis, help identify potentially inauthentic writing. The study concludes that stylometry should be used alongside other tools and integrated thoughtfully into academic integrity strategies especially in linguistic and educational contexts where traditional AI detectors are less effective.

Key words: stylometry, academic writing, artificial intelligence detection, academic ethics.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Gabrielė Ivanovaitė

Mokslo laipsnis ir vardas: magistras

Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Lietuvos inžinerijos kolegija, Inžinerinės pramonės ir technologijų fakulteto lektorė

Autoriaus mokslinių interesų sritys: taikomoji kalbotyra, daugiakalbystė, mutimodalumas, užsienio kalbų mokymas.

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 601 52592, gabriele.ivanovaite@lik.tech

Autoriaus vardas, pavardė: Sonata Paulauskienė

Mokslo laipsnis ir vardas: magistras

Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Lietuvos inžinerijos kolegija, Inžinerinės pramonės ir technologijų fakulteto lektorė

Autoriaus mokslinių interesų sritys: humanitariniai mokslai, filologija

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 68623244, sonata.paulauskiene@lik.tech

DARBUOTOJŲ ĮSIDARBINAMUMO UŽTIKRINIMO PRAKTIKOS KOLEKTYVINIŲ ATLEIDIMŲ METU: INŽINERINIO PROFILIO DARBUOTOJŲ ATVEJIS

Ugnė Savanevičiūtė, Gabija Savanevičiūtė, Lina Girdauskienė
Lietuvos inžinerijos kolegija

Anotacija

Straipsnis analizuoja darbuotojų patirtis kolektyvinių atleidimų metu, kai uždaromas įmonės padalinys, ir vertina, kaip organizacijos komunikacija bei taikytos pagalbos priemonės siejasi su darbuotojų pasirengimu pereinamajam laikotarpiui. Remiantis empiriniais duomenimis, straipsnyje aptariamos įsidarbinamumo užtikrinimo praktikos, kurios gali padėti darbuotojams persiorientuoti ir planuoti tolimesnius karjeros žingsnius.

Reikšminiai žodžiai: kolektyviniai atleidimai, įmonės padalinio uždarymas, atsakingas atleidimas, komunikacija atleidimų metu, įsidarbinamumas, darbuotojų patirtys.

Ivadas

Masiniai darbuotojų atleidimai, susiję su įmonių restruktūrizacija ar padalinių uždarymu, Lietuvoje nėra pavieniai ar išskirtiniai atvejai. Užimtumo tarnyba duomenys rodo, kad 2015–2025 m. laikotarpiu kasmet buvo fiksuojami grupės darbuotojų atleidimai, apimantys nuo 1,8 tūkst. iki beveik 6 tūkst. darbuotojų per metus (Užimtumo tarnyba, 2023). Didžiausias atleidžiamų darbuotojų skaičius per dešimtmetį užfiksuotas 2018 m., kai 109 darbdavių pranešimuose numatyta atleisti apie 5,8 tūkst. darbuotojų. Ryškus šuolis matomas ir 2020 m. pandemijos pradžioje - 113 pranešimų apie grupės darbuotojų atleidimus ir apie 4,9 tūkst. įspėtų darbuotojų (Užimtumo tarnyba, 2025).

Pastaraisiais metais reikšmingą poveikį darbo rinkai turėjo ir pavienių didelių darbdavių sprendimai. 2022 m. didžiausi grupės atleidimai buvo susiję su nacionaliniais ir stambiais darbdaviais, tarp jų LTG grupė (apie 1 950 darbuotojų), AB „Lietuvos paštas“ (apie 592) ir AB „Kaišiadorių paukštynas“ (apie 395). 2023 m. kolektyvinių atleidimų praktika išliko aktuali - per metus gauta apie 70 pranešimų, numatant atleisti daugiau kaip 3 tūkst. darbuotojų, tarp kurių buvo ir virš 230 „TransUnion“ darbuotojų. 2024 m. užfiksuoti kolektyviniai atleidimo atvejai, kai Uždaroji akcinė bendrovė „VISATEX“ informavo apie daugiau nei 320 darbuotojų, o Telia Global Services Lithuania, UAB apie 153 darbuotojų atleidimą (Užimtumo tarnyba, 2024). 2025 m. užimtumo tarnybos duomenimis per devynis mėnesius 46 darbdaviai pranešė apie grupės darbuotojų atleidimus, kurių metu buvo įspėta apie apie 1,6 tūkst. darbuotojų, o tai rodo, kad didesni atleidimų srautai išlieka ryškūs net po pandemijos laikotarpio (Užimtumo tarnyba, 2025).

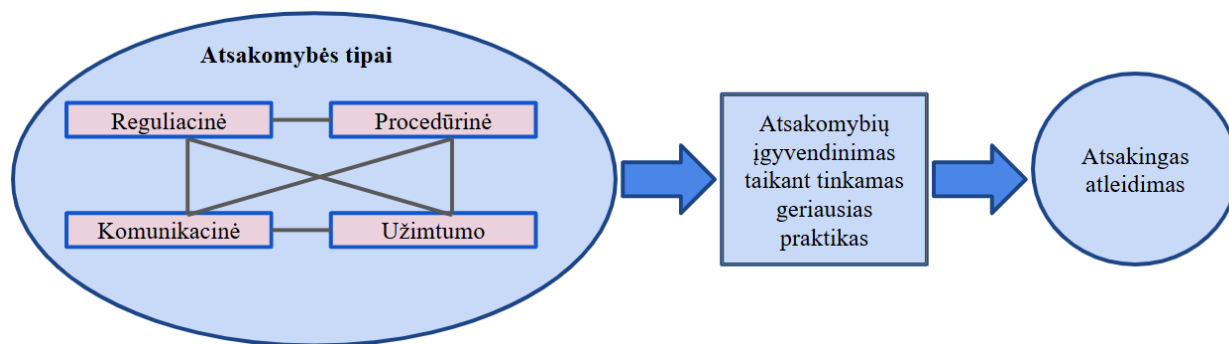
Šie skaičiai rodo, kad masiniai atleidimai Lietuvoje yra darbo rinkos realybė, tačiau statistika neatskleidžia, kaip šie procesai įgyvendinami praktikoje ir kaip juos patiria darbuotojai. Būtent todėl tampa aktualu analizuoti ne tik atleidimų mastą, bet ir darbdavių taikomas darbuotojų pereinamojo laikotarpio ir įsidarbinamumo užtikrinimo praktikas, kurios peržengia formalių teisinių reikalavimų ribas.

Tyrimo tikslas yra ištirti, kaip kolektyvinių atleidimų metu taikytos darbuotojų įsidarbinamumą užtikrinimo praktikos yra vertinamos inžinerinio profilio darbuotojų ir kokios organizacijų taikytos praktikos darbuotojams buvo naudingiausios persiorientuojant darbo rinkoje, kokios laikytos neefektyviomis, ir kaip šios patirtys siejasi su darbuotojų suvokimu apie atleidimo proceso kokybę.

Teorinis pagrindimas

Ankstesni tyrimai rodo, kad darbuotojų reakcijas į kolektyvinius atleidimus labiau lemia ne pats darbo netekimo faktas, o tai, kaip organizacija suvaldo procesą: ar jis suvokiamas kaip teisingas, aiškus ir pagarbus, ir ar darbuotojams suteikiama reali pagalba pereinamuoju laikotarpiu (Datta ir kt., 2010; van Dierendonck ir Jacobs, 2012). Ši logika siejasi su procedūrinio teisingumo tradicija organizacijų tyrimuose, kuri akcentuoja, kad darbuotojai vertina ne tik sprendimo rezultatą, bet ir sprendimo priėmimo bei įgyvendinimo būdą (Greenberg, 1987; Brockner, 1992). McLachlano 2021 metais pasiulytas atsakingo atleidimo modelis išskiria keturias kolektyvinių atleidimų dedamasias. (žr. 1 pav.).

Modelis grindžiamas prielaida, kad atsakingas atleidimas nėra vien formali teisinių reikalavimų laikymosi procedūra. Tai procesas, kuriame organizacija prisiima skirtingus atsakomybės lygius darbuotojų atžvilgiu, išskiriant reguliacinę, procedūrinę, komunikacinę ir užimtumo (employment) atsakomybę (McLachlan, 2021).



1 pav. McLachlano atsakingo darbuotojų skaičiaus mažinimo modelis

Reguliacinė ir procedūrinė atsakomybė

Kolektyvinių atleidimų procesas organizacijose pirmiausia remiasi formaliu teisiniu ir procedūriniu pagrindu, kuris apibrėžia, kaip sprendimas turi būti įgyvendinamas, kad būtų laikomas teisėtu ir nuosekliu. Darbo santykių nutraukimas darbdavio iniciatyva neišvengiamai reikalauja laikytis nustatytų taisyklių dėl informavimo, konsultavimo ir terminų, o grupės atleidimų atveju šios pareigos tampa ypač aktualios, nes jos struktūroja viso proceso eigą ir riboja darbdavio diskreciją (McLachlan, 2021). Mokslinėje literatūroje pabrėžiama, kad net ir esant „neišvengiamam“ sprendimui mažinti darbuotojų skaičių, procesas gali būti suvokiamas kaip teisingesnis, jei sprendimų priėmimo ir įgyvendinimo tvarka yra nuosekli, skaidri ir pagrįsta aiškiais kriterijais, nes būtent procedūrinis teisingumas (procedural justice) formuoja darbuotojų pasitikėjimą organizacija ir jų reakcijas į pokyčius (Greenberg, 1987; Brockner, 1992).

Tačiau darbuotojų patirtys ir proceso vertinimai labiausiai siejami su komunikacijos kokybe ir darbdavio taikomomis pagalbos priemonėmis pereinamuoju laikotarpiu (Datta ir kt., 2010; van Dierendonck & Jacobs, 2012; McLachlan, 2021).

Komunikacinė atsakomybė

Informacijos pateikimo būdas ir dialogo su darbuotojais kokybė viso atleidimo metu apibrėžiama komunikacine atsakomybe. Tai apima kada buvo pranešta apie sprendimą, koku kanalu, ar darbuotojai galėjo užduoti klausimus ir gauti aiškius atsakymus. McLachlan (2021) pabrėžia, kad komunikacija tampa tarpine grandimi tarp formalių procedūrų ir darbuotojų patirčių, nes būtent ji formuoja teisingumo, pagarbos ir pasitikėjimo organizacija suvokimą.

Užimtumo atsakomybė

Praktinė pagalba pereinamuoju laikotarpiu dažniausiai siejama su papildomomis darbdavio iniciatyvomis, kurios peržengia teisinio minimumo ribą ir yra orientuotos į darbuotojų įsidarbinamumo didinimą po atleidimo (McLachlan, 2021). Tokios priemonės gali apimti outplacement paslaugas, karjeros konsultacijas, pagalbą darbo paieškai, perkvalifikavimą ar vidinį darbuotojų perkėlimą, o literatūroje jos išskiriamos kaip viena reikšmingiausių dimensijų, darančių įtaką darbuotojų subjektyviam atleidimo proceso vertinimui. Šios priemonės organizacijose dažniausiai įgyvendinamos dviem būdais: dalis įmonių jas vykdo vidiniais resursais, kai HR ar vadovai organizuoja darbo paieškos seminarus, konsultuoja dėl CV struktūros ir turinio, padeda įsivertinti kompetencijas ir suteikia laiko darbo paieškai dar iki faktinio atleidimo (ILO, 2010; Eurofound, 2019), o kita dalis pasitelkia išorinius paslaugų teikėjus (outplacement ar karjeros konsultavimo įmones), kurie teikia struktūruotą praktinę pagalbą - CV ir motyvacinių laiškų rengimą, darbo pokalbių simuliacijas, individualias konsultacijas, profesinio profilio formavimą bei kai kuriais atvejais papildomas paslaugas, tokias kaip profesionalių CV nuotraukų parengimas ar kandidatų pristatymas potencialiems darbdaviams (Gowan ir Lepak, 2007; CEDEFOP, 2010). Šios priemonės paprastai finansuojamos darbdavio lėšomis ir laikomos užimtumo atsakomybės dalimi, nes jos nėra nustatytos teisės aktuose, tačiau tiesiogiai prisideda prie darbuotojų persiorientavimo ir greitesnės reintegracijos į darbo rinką.

Atsakingas kolektyvinių atleidimų valdymas yra sudėtingas procesas, kuriame susijungia teisinis atleidimo pagrindas, procedūrinis įgyvendinimo nuoseklumas, komunikacijos kokybė ir reali pagalba darbuotojų pereinamajam laikotarpiui. McLachlan (2021) modelis leidžia šiuos elementus analizuoti kaip tarpusavyje susijusias organizacijos atsakomybės sritis, kurių bendras įgyvendinimas lemia, ar atleidimo procesas darbuotojų akimis bus suvokiamas kaip teisingas ir socialiai atsakingas

Tyrimo metodika

Tyrimė taikytas kokybinis tyrimo dizainas, pasirinktas pusiau struktūruotų interviu metodas, leidžiantis derinti iš anksto apibrėžtas temas su galimybe lanksčiai gilintis į individualias respondentų patirtis. Informacija apie tyrimą ir atviras kvietimas dalyvauti buvo platinami per profesinį socialinį tinklą „LinkedIn“, kuris leido pasiekti tikslinę tyrimo dalyvių grupę. Tyrimo dalyviams buvo nustatyti šie atrankos kriterijai. Į tyrimą buvo kviečiami tik tie asmenys, kurių darbo sutartis buvo nutraukta darbdavio iniciatyva be darbuotojo kaltės vykdant kolektyvinius atleidimus, susijusius su įmonės likvidavimu ar struktūrinėmis pertvarkomis, apie kuriuos darbdavys, vadovaudamasis galiojančiais teisės aktais, privalėjo informuoti Užimtumo tarnybą. Apklausoje dalyvavo darbuotojai, kurie įmonėje dirbo inžinerinio pobūdžio darbą.

Pusiau struktūruoti interviu buvo orientuoti į kelias pagrindines temines sritis: darbuotojų informavimas apie atleidimą, organizacijos taikytos priemonės darbuotojų įdarbinamumui užtikrinti. Interviu klausimų struktūra leido atskleisti tiek organizacijos vaidmenį atleidžiant darbuotojus ir užtikrinant jų tolimesnį įsidarbinamumą, tiek ir darbuotojo požiūrį į taikytas organizacinees priemones ir jų veiksmingumą. Interviu struktūra pateikta 1 lentelėje.

1 lentelė

Interviu klausimynas

<i>Tema</i>	<i>Klausimai</i>
<i>Bendrieji klausimai</i>	<i>Papasakokit apie savo karjeros kelią organizacijoje, kurioje vyko masiniai atleidimai: kokios buvo jūsų pareigos, kiek laiko joje dirbote</i>
<i>Darbuotojų informavimas apie atleidimą</i>	<i>Kaip sužinojote apie atleidimą? Kokia buvo jūsų reakcija/ kaip jautėtės? Kaip vertinate darbuotojų informavimą apie atleidimą? Kas buvo gerai? Kas buvo blogai?</i>
<i>Organizacijos taikytos priemonės darbuotojų įdarbinamumui užtikrinti</i>	<i>Kokias priemones organizacija pasiūlė darbuotojų įsidarbinamumui užtikrinti? Kokiomis pasinaudojote ir kaip vertinate jų veiksmingumą. Pateikite pavyzdžius.</i>

Šaltinis: sudaryta autorių

Iš viso tyrimė dalyvavo 24 respondentai. Interviu trukmė svyravo nuo 32 iki 97 minučių. Tyrimė dalyvavo 16 vyrų (67%) ir 8 moterys (33 %). Dalyvių amžiaus struktūra pasiskirstė taip: 5 dalyviai buvo jaunesni nei 25 metų, dažniausiai dar tik pradedantys savo karjerą ir ją derinantys su studijomis; 5 dalyvių buvo 26–30 metų, 6 – 31–35 metų, o 8 dalyvių – 36–40 metų.

Interviu buvo įrašomi gavus informuotą tyrimo dalyvių sutikimą ir vėliau transkribuojami. Duomenų analizė atlikta taikant teminę analizę, leidžiančią identifikuoti pasikartojančius prasminius vienetų, temas ir jų tarpusavio sąsajas. Kodavimas ir duomenų vizualizavimas buvo atliktas su MAXQDA 25 programine įranga.

Rezultatai

Apklaustieji savo karjeros kelią įmonėje, iš kurios buvo atleisti, apibūdino skirtingai. Jauniausioje amžiaus kategorijoje (iki 25 metų) 3 respondentams ši darbo vieta buvo pirmasis darbas, į kurį jie įsidarbino po studijų metais atliktos praktikos įmonėje. Kitų amžiaus kategorijų respondentai pasiskirstė pagal darbo stažą įmonėje. Ilgamečius darbuotojus, kurie įmonėje dirbo penkerius ir daugiau metų, save įvardijo 43 % apklaustųjų. Dar 38 % respondentų nurodė, kad įmonėje dirbo nuo trijų mėnesių iki penkerių metų, o 19 % apklaustųjų – trumpiau nei tris mėnesius (buvo atleisti dar esant bandomajam laikotarpiui). Taip pat, dauguma apklaustųjų (N = 13) įmonėje, kurioje dirbo, bent kartą buvo paaukštinti pareigose.

Darbuotojų informavimas apie atleidimą

Apie artėjančią darbuotojų atleidimą respondentai sužinojo skirtingai. Vyriausiajai amžiaus kategorijai priklausantys respondentai teigė: „Buvo galima nujausti apie artėjančius atleidimus, nes nevyko naujų darbuotojų samdymas, jei išeidavo esami darbuotojai“ (R7, Pos 5). Taip pat jie teigė, kad jautėsi sumažėjęs darbo krūvis: „Pusę metų negavome jokių direktyvų dėl naujų projektų, visos siūlomos idėjos buvo tarsi „iššaldytos““ (R11, Pos 7).

Kitų apklaustųjų patirtys buvo skirtingos: „Buvome sukviesti į gyvą susitikimą, kurio metu įmonės vadovas pranešė apie planuojamus atleidimus“ (R2, Pos 2). Kitiems darbuotojams buvo inicijuotas tą pačią dieną nuotolinis skambutis: „Tiesiog visi gavome pakvietimą darbo dienos pabaigoje prisijungti prie nuotolinio skambučio, kurio metu ir buvo pranešta“ (R17, Pos 9). Taip pat buvo atvejų, kuomet apklaustieji apie atleidimą sužinojo iš elektroninio laiško: „Nebuvo jokių susitikimų, gavome laiškus su priedais sekti tolimesnę informaciją“ (R21, Pos 9).

Kaip matyti, kai kurie darbuotojai iš anksto, prieš gaunant informaciją apie atleidimus, nujautė, kad įmonėje vyksta pokyčiai, kurie daro įtaką jų darbui ir ateities perspektyvoms įmonėje. Pastebima, kad įmonės taikė skirtingas praktikas, pranešdamos informaciją apie atleidimus. Vertinant respondentų atsakymus galima teigti, kad priimtinausia buvo gyvi susitikimai, kurių metu buvo pateikiama informacija ir leidžiama darbuotojams iš karto užduoti jiems rūpimus klausimus: „Manau, kad įmonė pasirinko labai humanišką komunikaciją, rengiant gyvą susitikimą ir leidžiant iš karto užduoti kilusius klausimus“ (R15, Pos 8). Ne taip teigiamai darbuotojai įvertino paštu atsiųstą informaciją su skatinimu sekti tolimesnę informaciją: „Buvo bangu, visi pradėjo kalbėtis, aptarinėti, kas toliau vyks. Vadovai tarsis atsiribojo nuo mūsų, galbūt ir jie buvo pasimetę“ (R17, Pos 9).

Organizacijos taikytos priemonės darbuotojų įdarbinamumui užtikrinti

2 lentelėje pateiktos taikytos priemonės atleidžiamų darbuotojų įsidarbinamumui remti.

2 lentelė

Priemonės atleidžiamų darbuotojų įsidarbinimui remti

Kodas: Veiksmingos priemonės	Kodas: Neveiksmingos priemonės
<i>Darbo paieškos ir atrankų pasirengimo mokymai su konsultantu</i> (N=13)	<i>Vienkartinė psichologinė pagalba</i> (N=3)
<i>CV ir motyvacinio laiško rengimo pagalba</i> (N=9)	<i>Online mokymai „Kaip pasiruošti interviu“</i> (N=9)
<i>Karjeros mugės</i> (N=14)	<i>Bendrinis darbo rinkos pristatymas</i> (R = 11)
<i>Psichologinė ir emocinė parama</i> (N=2)	
<i>Kompetencijų tobulinimo ar perkvalifikavimo galimybės</i> (N=10)	

Šaltinis: sudaryta autorių

Veiksmingos priemonės taikytos atleidžiamų darbuotojų įsidarbinamumui remti

Viena iš veiksmingiausių priemonių respondentų buvo įvardyti darbo paieškos ir atrankų pasirengimo mokymai su konsultantu (N = 13); tokios programos buvo taikytos keliose respondentų atstovaujamosiose įmonėse. Apklaustieji teigė, kad tokio tipo mokymai buvo orientuoti būtent į jų profesiją ir turimą patirtį: „Labai vertinu, kad buvome sugrupuoti mokymuose pagal savo darbo pobūdį, tai leido visiems produktyviai ir koncentruotai įsisavinti gautą informaciją“ (R15, Pos 8). Taip pat galima teigti, kad vienas iš priemonės veiksmingumą lemiančių veiksnių buvo programos tęstinumas. Respondentų teigimu, programa buvo sudaryta iš kelių sesijų, o po kiekvienos iš jų buvo skiriami pasiruošimo darbai kitai sesijai (R2, R15, R24). Ši priemonė leido respondentams geriau suprasti ir persiorientuoti prie pakitusios darbo rinkos bei išvelgti vyraujančias tendencijas: „Įmonėje pradirbau 15 metų, nežinojau, kaip viskas vyksta dabar, mokymai padėjo suprasti, kur ir kaip ieškoti darbo, į ką atkreipti dėmesį, kad atrodyčiau kuo patrauklesnis kandidatas“ (R24, Pos 13).

Dalis apklaustųjų taip pat turėjo galimybę gauti CV ir motyvacinio laiško rengimo pagalbą. Vieniems iš apklaustųjų šią pagalbą suteikė vidiniai įmonės darbuotojai iš personalo skyriaus (R9, R17, R22), kitiems tokias paslaugas teikė išoriniai partneriai (R5, R8, R13, R15, R24). Visi apklaustieji, kurie dalyvavo šioje darbuotojų įsidarbinamumui remti skirtoje programoje, teigė, kad jos metu patobulino savo gyvenimo aprašymą, padarė jį aktualesnį ir labiau atspindintį savo darbinę patirtį: „Mano CV iki šių mokymų buvo tik darbovietės ir darbo laikas jose, mokymų metu gavau įžvalgų, kurios leido suprasti, kad turiu pateikti ir savo pasiekimus“ (R18, Pos 10). Ši programa suteikė darbuotojams daugiau pasitikėjimo savimi, nes jų gyvenimo aprašymai buvo peržiūrėti ir suformuluoti padedant šioje srityje dirbantiems profesionalams: „Jaučiausi drąsi siųsti CV net į aukštesnes pozicijas nei tuo metu užimta, CV mokymai leido peržvelgti ir savo pasiekimus per darbo metus“ (R13, Pos 7).

Pačia veiksmingiausia priemone respondentai įvardino karjeros mugės (N = 14). Apklausoje dalyvavusių respondentų nuomone, tai yra itin efektyvus būdas susipažinti su naujomis karjeros galimybėmis: „Per mėnesį laiko įmonėje apsilankė net trys įmonės, turėjau galimybę pabendrauti su jų atstovais ir išsiginčinti, kuri įmonė man labiausiai tinkama“ (R14, Pos 8). Taip pat respondentai paminėjo, kad tokio formato iniciatyvose kai kurios įmonės siūlė supaprastintą atrankos procesą: „Mums buvo pateiktas paprastesnis atrankos procesas, nereikėjo pildyti jokių kandidatavimo anketų, savo gyvenimo aprašymus siuntėme tiesiai atrankos specialistams jų nurodytu elektroniniu paštu“ (R24, Pos 13). Greitesnis ir efektyvesnis atrankos procesas leido darbuotojams be papildomo streso ir ilgo planavimo derinti darbo pokalbius su juos dominančiomis įmonėmis. Be to, karjeros mugių metu respondentai turėjo galimybę ne tik sužinoti apie tuo

metu siūlomas pozicijas, bet ir apie ateityje planuojamas darbo vietas, kas prisidėjo prie jų didesnio užtikrintumo planuojant tolimesnius karjeros žingsnius.

Kaip veiksminga priemonė buvo įvardinta ir psichologinė bei emocinė parama. Respondentai pabrėžė, kad šioje priemonėje buvo svarbu tai, jog jie turėjo tęstinę galimybę gauti psichologinę paramą, o ne tik vieną sesiją (R4, R12). Vienas iš respondentų pabrėžė, kad personalo skyriaus darbuotojai priminė darbuotojams apie galimybes pasinaudoti šia parama ne tik patiems darbuotojams, bet ir jų šeimos nariams, išsiųsdami informaciją apie valstybės teikiamas psichologinės pagalbos priemones ir esamas galimybes (R4, Pos 3).

Respondentų nuomone, kompetencijų tobulinimo ar perkvalifikavimo galimybių išsigryninimo programos taip pat suteikė daugiau tvirtumo ir užtikrintumo, renkantis karjeros kryptį po atleidimo: „Mokymų komanda mums pravedė „PRINT“ sesijas, kurios padėjo geriau pažinti savo stiprybes ir ugdytinas sritis“ (R11, Pos 3). Respondentai taip pat paminėjo, kad įmonė siuntė priminimus apie esamus mokymus, kuriuos dar buvo galima išklaudyti dirbant įmonėje (R5, R18), taip pat buvo organizuojami susitikimai su Užimtumo tarnyba, kurios metu buvo pristatytos persikvalifikavimo galimybės (R15, R22). Šie veiksniai padėjo pasiruošti tolimesniems karjeros pokyčiams.

Neveiksmingos priemonės taikytos atleidžiamų darbuotojų įsidarbinamumui remti

Respondentų teigimu, neveiksminga priemone buvo vienkartinė psichologinė pagalba: „Nejaučiau, kad suorganizuotas susitikimas atnešė naudą, kurio metu mums buvo pateikta, kokias emocines stadijas pereisime ir kad tai yra normalu“ (R6, Pos 5). Anksčiau pateiktose teigiamai vertinamose priemonėse respondentai teigė, kad psichologinės pagalbos naudą jautė dėl to, jog tai buvo ne vienkartinis susitikimas, o tęstiniai susitikimai esant poreikiui (R4, R12). Dėl šios priežasties galima daryti prielaidą, kad ši priemonė būtų buvusi vertinama kaip veiksminga, jei būtų turėjusi tęstinumą ir būtų personalizuota, o ne bendrinio pobūdžio.

Online mokymai „Kaip pasiruošti interviui“, respondentų nuomone, taip pat nepadėjo pasiruošti darbo pokalbiams ir nebuvo įvardinti kaip veiksminga priemonė: „Tai buvo labai bendriniai mokymai visai įmonei, visiškai nebuvo orientuoti į mano darbo profilį“ (R1, Pos 1). Respondentai (R10, R16) taip pat nurodė, kad tokių mokymų būtų tikėjęsi arba individualiai, arba labai mažose, struktūruotose grupėse, kuriose galėtų užduoti kilusius klausimus ir vystyti diskusiją. Kadangi mokymai buvo skirti labai plačiai auditorijai ir dalyvių skaičius buvo didelis, respondentai neturėjo galimybių užduoti klausimų mokymų metu. Nors buvo galima pateikti klausimus raštu ir sulaukti atsakymų po mokymų, gauti atsakymai nepateisino respondentų poreikio ir lūkesčių, nes jie buvo labai bendriniai ir paviršutiniški.

Labiausiai neveiksminga priemone įsidarbinamumui skatinti respondentų buvo įvardintas bendrinis darbo rinkos pristatymas. Respondentų teigimu, bendrinis darbo rinkos pristatymas, neakcentuojant konkretaus sektoriaus ir pateikiant tik bendruosius nedarbo rodiklius bei paskelbtų darbo pozicijų skaičių, nepadeda darbuotojams pasiruošti naujam karjeros žingsniui (R20, R23). Respondentų nuomone, siekiant, kad tokio pobūdžio programa būtų veiksminga, svarbu tokius mokymus organizuoti sugrupuojant darbuotojus pagal jų darbo pobūdį. Taip pat turėtų būti pateikiama informacija apie tai, kokios tendencijos šiuo metu dominuoja rinkoje, ko galima tikėtis bei kokią derybinę galią turi kandidatai darbo rinkoje, o ne apsiribojama vien bendrų statistinių duomenų pateikimu.

Išvados

Tyrimo rezultatai parodė, kad darbuotojų patirtys kolektyvinių atleidimų metu buvo glaudžiai susijusios su organizacijų taikytomis informavimo ir palaikymo praktikomis. Aiškus, savalaikis ir dialogu grįstas informavimas, ypač gyvų susitikimų metu, buvo vertinamas palankiausiai ir prisidėjo prie mažesnio neapibrėžtumo bei didesnio pasitikėjimo organizacija. Analizuojant darbuotojų įsidarbinamumui skatinti taikytas priemones nustatyta, kad veiksmingiausios buvo tęstinės, personalizuotos ir į konkretų profesinį kontekstą orientuotos iniciatyvos, tokios kaip karjeros mugės, individualūs konsultaciniai mokymai bei CV rengimo pagalba.

Priešingai, vienkartinės ir bendrinio pobūdžio priemonės, įskaitant pavienes psichologinės pagalbos sesijas ar apibendrintus darbo rinkos pristatymus, buvo vertinamos kaip riboto veiksmingumo. Tyrimas taip pat atskleidė, kad priemonių tęstinumas ir galimybė gauti individualizuotą grįžtamąjį ryšį yra esminiai veiksniai, padedantys darbuotojams pasiruošti tolimesniems karjeros pokyčiams. Apibendrinant galima teigti, kad tikslingos ir darbuotojų poreikius atliepiančios organizacinės priemonės gali reikšmingai prisidėti prie sėkmingesnės darbuotojų reintegracijos į darbo rinką po kolektyvinių atleidimų.

Literatūra

1. Užimtumo tarnyba. (2023). Užimtumo tarnyba apžvelgė dešimtmečio grupės darbuotojų atleidimus. <https://uzt.lt/naujienos/8/uzimtumo-tarnyba-apzvelge-desimtmečio-grupes-darbuotoju-atleidimus%3A148>

2. Užimtumo tarnyba. (2025). Lietuvos darbo rinka 2025-10 (ataskaita). <https://uzt.lt/data/public/uploads/2025/11/lietuvos-darbo-rinka-2025-10.pdf>
3. Datta, D. K., Guthrie, J. P., Basuil, D., ir Pandey, A. (2010). Causes and effects of employee downsizing: A review and synthesis. *Journal of Management*, 36(1), 281–348. <https://doi.org/10.1177/0149206309346735>
4. van Dierendonck, D., & Jacobs, G. (2012). Survivors and victims, a meta-analytical review of fairness and organizational commitment after downsizing. *British Journal of Management*, 23(1), 96–109. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8551.2010.00724.x>
5. Greenberg, J. (1987). A taxonomy of organizational justice theories. *Academy of Management Review*, 12(1), 9–22. <https://doi.org/10.5465/amr.1987.4306437>
6. Brockner, J. (1992). Managing the effects of layoffs on survivors. *California Management Review*, 34(2), 9–28. <https://journals.sagepub.com/doi/10.2307/41166691>
7. ILO (International Labour Organization). (2010). Restructuring enterprises through social dialogue (DIALOGUE Working Paper No. 19). https://www.ilo.org/sites/default/files/wcmsp5/groups/public/%40ed_dialogue/%40dialogue/documents/publication/wcms_158362.pdf
8. Eurofound. (2019). European Restructuring Monitor (ERM). <https://www.eurofound.europa.eu/en/resources/european-restructuring-monitor>
9. Gowan, M. A., & Lepak, D. P. (2007). The influence of human resource practices on employment relationships following downsizing. *Human Resource Management*, 46(3), 405–428. <https://doi.org/10.1002/hrm.20172>
10. Cedefop. (2010). Socially responsible restructuring: Effective strategies for supporting redundant workers (Working Paper No. 7). https://www.cedefop.europa.eu/files/6107_en.pdf
11. Užimtumo tarnyba. (2024). Pranešimai apie grupės darbuotojų atleidimus 2024 metais. <https://uzt.lt/darbo-rinka/pranesimai-apie-grupes-darbuotoju-atleidimus-2024-metais/534>
12. McLachlan, C. J. (2021). Developing a framework for responsible downsizing through best fit: The importance of regulatory, procedural, communication and employment responsibilities. *The International Journal of Human Resource Management*. <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/09585192.2021.1958248>

OUTPLACEMENT AND EMPLOYABILITY SUPPORT PRACTICES IN COLLECTIVE REDUNDANCIES: THE CASE OF ENGINEERING PROFESSIONALS

Summary

This article investigates organizational employ-ability support practices in the context of collective redundancies following organizational restructuring and unit closure. Drawing on empirical findings, it identifies how transition support initiatives may contribute to employees' labour market adaptation, re-employment readiness, and longer-term career decision-making within the engineering workforce.

Key words: collective redundancies, closure of a company unit, responsible dismissal, communication during layoffs, employability, employee experiences.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Ugnė Savanevičiūtė

Mokslo laipsnis ir vardas: -

Darbo vietą ir poziciją: -

Autoriaus mokslinių interesų sritys: rinkodara

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 626 500 97, ugne.sava@gmail.com

Autoriaus vardas, pavardė: Gabija Savanevičiūtė

Mokslo laipsnis ir vardas: -

Darbo vietą ir poziciją: -

Autoriaus mokslinių interesų sritys: žmogiškųjų išteklių valdymas

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 626 500 97, ugne.sava@gmail.com

Autoriaus vardas, pavardė: Lina Girdauskienė.

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras.

Darbo vietą ir poziciją: VšĮ Lietuvos inžinerijos kolegija, direktorė.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: žmonių išteklių valdymas.

Telefonas ir el. pašto adresas: 0 61806069, lina.girdauskiene@lik.tech

ADAPTYVAUS ŽAIDYBINIMO TAIKymo POVEIKIS *AGILE* KOMANDOS VEIKLOS EFEKTYVUMUI

Dovilė Valantienė, Lina Girdauskienė
Lietuvos inžinerijos kolegija

Anotacija

Agile praktikų taikymas organizacijose išryškino komandos, kaip pagrindinio darbo organizavimo vieneto, svarbą, tačiau kartu lėmė ir naujus iššūkius, susijusius su komandos veiklos efektyvumu ir rezultatų užtikrinimu dinamiškoje aplinkoje. Šių pokyčių kontekste organizacijose vis plačiau yra taikomas žaidybinimas, kuris laikomas motyvuojančiu darbuotojų elgsenos formavimo ir veiklos rezultatų gerinimo įrankiu. Vis dėlto mokslinėje literatūroje trūksta tyrimų, kurie nagrinėja adaptyvaus žaidybinimo taikymo poveikį *Agile* komandų veiklos efektyvumui, todėl šiuo straipsniu yra siekiama atskleisti adaptyvaus žaidybinimo ir *Agile* komandos veiklos efektyvumo sąsajas. Sisteminė literatūros analizė leido suformuoti konceptualų modelį, kuris paaiškina, kaip adaptyvus žaidybinimas siejasi su *Agile* komandos veiklos efektyvumu. Šiuo straipsniu yra prisidedama prie žaidybinimo taikymo *Agile* komandų kontekste tyrimų, pasiūlant teorinį pagrindą tolesniems empiriniams tyrimams šioje srityje.

Reikšminiai žodžiai: adaptyvus žaidybinimas, *Agile* komandos veiklos efektyvumas.

Ivadas

Šių laikų organizacijos veikia nuolatinio neapibrėžtumo, sudėtingumo, spartaus technologijų progreso ir kintančių klientų poreikių sąlygomis, todėl organizacijos sugebėjimas greitai prisitaikyti tampa pagrindiniu konkurenciniu pranašumu. *Agile* praktikos, kilusios programinės įrangos kūrimo srityje, vis plačiau yra taikomos įvairiose organizacijose kaip priemonė didinti lankstumą ir greitį bei kurti vertę klientui (Denning, 2016). *Agile* pabrėžia autonomiją, saviorganizaciją, komandų bendradarbiavimą ir nuolatinį grįžtamąjį ryšį, tačiau perėjimas nuo individualaus darbuotojo prie komandos, kaip pagrindinio darbo organizavimo vieneto, kelia iššūkių užtikrinant tvarų komandos veiklos efektyvumą ir rezultatų siekimą.

Antroji sparčiai auganti tendencija organizacijų vadyboje yra žaidybinimas. Tyrimai rodo, kad žaidybinimas gali turėti teigiamą poveikį darbuotojų motyvacijai, įsitraukimui ir elgsenai (Gerdenitsch ir kt., 2020; Miri ir Macke, 2022), tačiau empirinės išvados apie žaidybinimo poveikį veiklos efektyvumui išlieka nevienareikšmės (Behl ir kt., 2022), ypač komandos lygmeniu. Be to, daugumoje tyrimų buvo analizuojamas standartizuotas žaidybinimas, laikantis požiūrio, kad vienas sprendimas tinka visiems, o ne adaptyvus žaidybinimas.

Moksliniuose tyrimuose vis daugiau dėmesio yra skiriama adaptyvaus žaidybinimo koncepcijai, kuri dėmesį sutelkia į besinaudojančio žaidybinimu poreikius, kontekstą ir tikslus (Codish ir Ravid, 2014; Klock ir kt., 2020). Vis dėlto adaptyvaus žaidybinimo taikymo poveikis *Agile* komandų veiklos efektyvumui išlieka mažai ištirtas, todėl šiame darbe yra keliama mokslinė problema, kokios yra adaptyvaus žaidybinimo ir *Agile* komandos veiklos efektyvumo sąsajos?

Straipsnio tikslas yra atskleisti adaptyvaus žaidybinimo ir *Agile* komandos veiklos efektyvumo sąsajas. Siekiant šio tikslo keliami šie **uždaviniai**:

1. Apibendrinti adaptyvaus žaidybinimo teorines prielaidas organizacijų kontekste;
2. Apibendrinti *Agile* komandos veiklos efektyvumo charakteristikas;
3. Suformuoti konceptualų modelį, atskleidžiantį adaptyvaus žaidybinimo ir *Agile* komandos veiklos efektyvumo sąsajas.

Tyrime taikomas sisteminės literatūros analizės metodas. Straipsnis susideda iš anotacijos, reikšminių žodžių, teorinių įžvalgų, teorinio modelio aptarimo ir išvadų.

Teorinės įžvalgos apie adaptyvų žaidybinimą

Žaidybinimas organizacijų kontekste apibrėžiamas kaip žaidimų elementų taikymas ne žaidimo, o realaus darbo aplinkos kontekste, siekiant paveikti darbuotojų motyvaciją, elgseną ir veiklos rezultatus (Deterding ir kt., 2011; Koivisto ir Hamari, 2019). Analizuojant žaidybinimo literatūrą galima pastebėti, kad publikacijose aptariama skirtinga žaidybinimo tipologija. Mokslinių publikacijų analizė parodė, kad žaidybinimo tipologija gali būti skirstoma remiantis žaidybinimo taikymo tikslu, atlygio tipu ir remiantis žaidybinimo strategija. Žaidybinimo skirstymas pagal taikymo **tikslą** leidžia identifikuoti ir nusistatyti tinkamiausią žaidybinimo kryptį, aiškiai apibrėžiant tikslinę žaidėjų grupę. Mokslinėse publikacijose žaidybinimas dažniausiai yra skirstomas į vidinį, išorinį ir elgesį keičiantį (Werbach ir Hunter, 2015). Pagal **atlygio tipą** žaidybinimą galima skirstyti į grįžtą išoriniu atlygiu ir prasmingą žaidybinimą (Stansbury ir Earnest, 2017). Pagal **strategiją** žaidybinimą galima klasifikuoti, kaip adaptyvų. Adaptyvus žaidybinimas

grindžiamas lankstumu ir pritaikymu įvairių tipų žaidėjams, taip pat dinamika, kuri skatinama unikalią sąveiką (Codish ir Ravid, 2014).

Literatūros apžvalgos rodo, kad žaidybinimo poveikis nėra universalus ir labai priklauso nuo taikymo konteksto bei naudotojų charakteristikų (Hamari ir kt., 2014; Koivisto ir Hamari, 2019), todėl įvairių sričių žaidybinimo tyrėjai vis daugiau dėmesio skiria būtent adaptyvaus žaidybinimo koncepcijai nagrinėti. Codish ir Ravid (2014) pabrėžia, kad adaptyvus žaidybinimas leidžia pritaikyti žaidybinimo sprendimus prie žaidybinimo besinaudojančiųjų poreikių, tikslų ir aplinkos, taip padidinant jų poveikį. Klock ir kt. (2020) teigia, kad žaidybinimo pritaikymas atsižvelgiant į kontekstą ir užduoties pobūdį yra būtina, kai siekiama ilgalaikių elgsenos pokyčių. Adaptyvaus žaidybinimo svarba ypač išryškėja komandos kontekste. Ayastuy ir kt. (2021) sisteminė analizė parodė, kad adaptyvios žaidybinimo strategijos yra efektyvesnės kolektyvinėse sistemose, kuriose rezultatai priklauso nuo koordinuotos veiklos. Empiriniai tyrimai taip pat rodo, kad adaptyvus žaidybinimas gali didinti saviveiksmingumą, žinių dalijimąsi ir darbo rezultatus (Bitrián ir kt., 2024; Capatina ir kt., 2024), todėl jis gali būti laikomas veiklos procesus palaikančia priemone, o ne vien motyvacinio įrankiu. Adaptyvus žaidybinimas mokslinėje literatūroje apibrėžiamas kaip dinamiškas žaidybinių sprendimų taikymas, kai žaidybinimas veikia taip, kad yra prisitaikoma prie individualių naudotojų ar komandų poreikių, konteksto ir veiklos rezultatų, siekiant užtikrinti didesnę sistemos veiksmingumą (Codish ir Ravid, 2014; Klock ir kt., 2020). Tyrimai rodo, kad adaptyvios žaidybinimo sistemos remiasi darbuotojų ar komandų sąveikos su sistema, jų elgsenos, įsitraukimo ir veiklos rezultatų duomenimis, kurie leidžia identifikuoti veikimo pokyčius ir galimus elgsenos nukrypimus ar procesų išderinimą (Ayastuy ir kt., 2021; Koivisto ir Hamari, 2019). Rodríguez ir kt. (2022) sako, kad adaptyvaus žaidybinimo sistemos turi ne tik fiksuoti tokius pokyčius, bet ir juos interpretuoti kaip signalus, rodančius poreikį keisti žaidybinimo strategiją ar taikomus sprendimus. Tai leistų atliepti kintančias darbo proceso sąlygas ir skirtingus dalyvių poreikius bei palaikyti siekiamą psichologinį ir elgsenos atsaką (Codish ir Ravid, 2014; Hong ir kt., 2024). Klock ir kt. (2020) teigia, kad adaptyvūs sprendimai gali užtikrinti stabilų veiklos efektyvumą, motyvaciją ir pageidaujamą elgseną, nes žaidybinimo sprendimai yra nuolat derinami prie realios organizacinės aplinkos. Apibendrinant mokslinius darbus galima teigti, kad adaptyvaus žaidybinimo veikimas yra grindžiama trimis pagrindiniais principais:

- nuolatiniu veiklos ir elgsenos stebėjimu;
- pokyčių aptikimu ir interpretavimu;
- dinamišku žaidybinimo parametrų reguliavimu (Codish ir Ravid, 2014; Ayastuy ir kt., 2021; Klock ir kt., 2020; Rodríguez ir kt., 2022).

Mokslinėje literatūroje pateikiamos įvairios žaidybinimo klasifikacijos, tačiau empiriniais tyrimais dažniausiai remiamasi Koivisto ir Hamari (2019) pasiūlyta žaidybinimo klasifikacija. Šioje klasifikacijoje išskiriamos trys pagrindinės kategorijos: pasinėrimo, pasiekimų ir socialumo žaidybinimas. Šios kategorijos dažnai taikomos tyrimuose, nes yra empiriškai pagrįstos (Xi ir Hamari, 2020) ir plačiai taikomos tiriant žaidybinimo poveikį organizacijose (Huang ir Zhou, 2020). Nors šiame tyrime nagrinėjamas adaptyvus žaidybinimas, ši žaidybinimo klasifikacija naudojama kaip žaidybinimo konceptualizavimas, nes adaptyvumas šiame kontekste suprantamas kaip žaidybinimo taikymo būdas, kai pasinėrimo, pasiekimų ir socialumo kategorijos taikomos lanksčiai, atsižvelgiant į komandos veiklą ir situaciją.

Teorinės įžvalgos apie *Agile* komandos veiklos efektyvumą

Mokslinėje literatūroje *Agile* komandos veiklos efektyvumas apibrėžiamas kaip konstruktas, apimantis ne tik produktyvumą ar darbo greitį, bet ir komandos gebėjimą mokytis, bendradarbiauti, spręsti konfliktus bei palaikyti aukštą įsitraukimo ir pasitenkinimo darbu lygį. Mokslininkai Iqbal, Omar ir Yasin (2019) pabrėžia, kad *Agile* komandos veiklos rezultatai apima efektyvumą, produktyvumą, mokymąsi, koordinavimą, komandos sanglaudą, bendradarbiavimą, pastangas, subalansuotą narių įnašą ir tarpusavio paramą. Freire ir kt. (2018) teigia, kad komunikacija, koordinavimas, pasitikėjimas ir susitelkimas į komandą yra esminiai veiksniai, kurie lemia *Agile* komandos veiklos efektyvumą (Pflügler ir kt., 2018). Ramírez-Mora ir Oktaba (2018) nurodo, kad efektyvios *Agile* komandos pasižymi gebėjimu identifikuoti pokyčius aplinkoje, greitai pritaikyti veiklos strategiją, dalintis žiniomis ir užtikrinti narių gebėjimą keisti vienas kitą, kas leidžia palaikyti veiklos tęstinumą ir koordinuotą užduočių atlikimą net esant kintančioms sąlygoms. *Agile* komandos veiklos efektyvumas šiame tyrime suprantamas kaip komandos gebėjimas efektyviai dirbti kartu, aiškiai atskiriant komandinio darbo kokybę nuo galutinių veiklos rezultatų (Strode, Dingsøyr ir Lindsjörn, 2022). Remiantis mokslininkais Strode, Dingsøyr ir Lindsjörn (2022) *Agile komandos veiklos efektyvumas suprantamas kaip komandos gebėjimas palaikyti aukštos kokybės komandinį darbą vykstant veiklai, kuris pasireiškia efektyvia koordinacija, dalijimusi atsakomybe, nuolatiniu grįžtamuju ryšiu ir gebėjimu prisitaikyti prie pokyčių, o ne vien galutinių veiklos rezultatų pasiekimu.*

Agile komandos veiklos efektyvumo tyrimuose dažnai remiamasi bendrais komandinio darbo modeliais, kurie identifikuoja universalius komandinio darbo veiksnus, tačiau nėra pritaikyti specifiniam *Agile* darbo kontekstui. Strode, Dingsøyr ir Lindsjörn (2022) pasiūlytas modelis išsiskiria tuo, kad yra sukurtas *Agile* komandoms ir grindžiamas empiriniais tyrimais šiame kontekste. *Agile* komandos efektyvumo modelis (ATEM) konceptualizuoja *Agile* komandos veiklos efektyvumą ne kaip galutinį rezultatą, bet kaip efektyvaus komandinio darbo procesą, kuris leidžia komandai nuosekliai siekti tikslų ir prisitaikyti prie pokyčių. Šiame Strode, Dingsøyr ir Lindsjörn (2022) modelyje *Agile* komandos veiklos efektyvumas aiškinamas per penkis pagrindinius komandinio darbo komponentus: pasidalytą lyderystę, susitelkimą į komandą, funkcijų perimamumą, prisitaikymą ir tarpusavio grįžtamąjį ryšį, kuriuos koordinuoja bendri mąstymo modeliai, tarpusavio pasitikėjimas ir komunikacija (1 lentelė).

1 lentelė

***Agile* komandos veiklos efektyvumas pagal ATEM modelį (Strode, Dingsøyr ir Lindsjörn, 2022)**

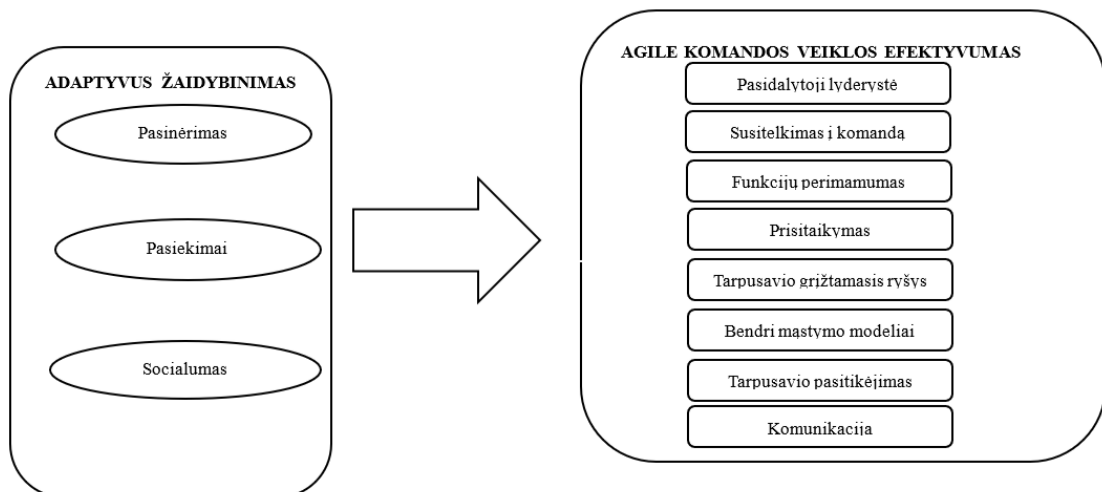
Modelio dedamoji		Paaiškinimas
Komponentas	Pasidalinta lyderystė	Komandos gebėjimas dalytis atsakomybe už sprendimų priėmimą, problemų sprendimą ir darbo organizavimą, kai lyderystės vaidmenys nėra centralizuoti, bet paskirstyti tarp komandos narių.
	Susitelkimas į komandą	Komandos narių orientacija į bendrus tikslus, prioritetų derinimą ir tarpusavio paramą, kai individualūs interesai derinami su komandos interesais.
	Funkcijų perimamumas	Komandos gebėjimas perimti vienas kito užduotis ir atsakomybes, užtikrinant darbo tęstinumą ir lankstų reagavimą į nenumatytas situacijas ar pokyčius.
	Prisitaikymas	Komandos gebėjimas atpažinti vidinius ir išorinius pokyčius, koreguoti darbo eigą, sprendimus ir prioritetus, siekiant išlaikyti veiklos efektyvumą kintančiomis sąlygomis.
	Tarpusavio grįžtamas ryšys	Nuolatinis, atviras ir konstruktyvus grįžtamas ryšys tarp komandos narių, skatinantis mokymąsi, savirefleksiją ir veiklos tobulinimą.
Koordinuojantis mechanizmas	Bendri mąstymo modeliai	Bendras komandos narių supratimas apie tikslus, užduotis, vaidmenis ir darbo procesus, leidžiantis efektyviai koordinuoti veiklą.
	Tarpusavio pasitikėjimas	Pasitikėjimu grįsti santykiai tarp komandos narių, sudarantys prielaidas atvirai komunikacijai, rizikos prisiėmimui ir bendradarbiavimui.
	Komunikacija	Reguliarus, savalaikis ir aiškus informacijos keitimasis, palaikantis koordinaciją, problemų sprendimą ir bendrą komandos veikimą.

Šaltinis: sudaryta autorių pagal Strode, Dingsøyr ir Lindsjörn (2022)

Toks požiūris leidžia aiškiai atskirti komandos veiklos efektyvumą nuo veiklos rezultatų ir išsamiai paaiškinti *Agile* komandos veiklos efektyvumą.

Adaptyvus žaidybinimo ir *Agile* komandos veiklos efektyvumo modelio pagrindimas

Šiame darbe žaidybinimas nagrinėjamas kaip priemonė, kuri gali daryti poveikį *Agile* komandos veiklos efektyvumui. Žaidybinimo konceptualizavimas remiasi mokslinėje literatūroje plačiai taikoma žaidybinimo klasifikacija, o adaptyvumas suprantamas kaip žaidybinimo taikymo būdas, leidžiantis sprendimus pritaikyti prie komandos situacijos. *Agile* komandos veiklos efektyvumas apibrėžiamas remiantis ATEM modeliu, kuris apima pagrindines komandinio darbo dedamąsias *Agile* komandoje ir jas palaikančius mechanizmus.



1 pav. Tyrimo modelis

Šaltinis: sudaryta autorių

Kadangi žaidybinimas organizacijose taikomas siekiant palaikyti komandos veikimą ir bendradarbiavimą, šiame tyrime laikomasi prielaidos, kad adaptyviai taikomas žaidybinimas gali daryti poveikį *Agile* komandos veiklos efektyvumui per ATEM modelio dedamąsias. Šios sąsajos vizualizuojamos siūlomame konceptualiaame modelyje (1 pav.), kuris sudaro teorinį pagrindą tolesniems empiriniams tyrimams.

Mokslinėje literatūroje žaidybinimas apibrėžiamas kaip įrankis leidžiantis formuoti naudotojo patirtį sukeliant tam tikrą psichologinį poveikį ir skatinant pageidaujamą elgesį sąveikoje su sistema (Koivisto ir Hamari, 2019; Huang ir Zhou, 2020). ATEM modelyje *Agile* komandos veiklos efektyvumas aiškinamas per penkias pagrindines komandinio darbo dedamąsias, kurios yra apibrėžiamos per stebimus komandos narių elgesio modelius, tokius kaip aktyvus dalyvavimas, informacijos dalijimasis, bendras sprendimų priėmimas, užduočių perėmimas ir reagavimas į pokyčius (Strode, Dingsøyr ir Lindsjörn (2022)). Tuo remiantis galima teigti, kad žaidybinimo sprendimai gali turėti poveikį elgsenos formoms, kurios ATEM modelyje laikomos veiksmingo komandinio darbo pagrindu. Pasinėrimo, pasiekimų ir socialumo kategorijos apima skirtingus žaidybinimo būdus, kurie formuoja darbuotojo sąveiką su sistema ir sukuria tam tikrą patirties kontekstą (Huang ir Zhou, 2020). Šios patirtys literatūroje siejamos su didesniu įsitraukimu, informacijos dalijimusi, dalyvavimu veikloje ir socialine sąveika, kurie ATEM modelyje įvardijami kaip svarbūs komandinio darbo elgesio požymiai (Strode, Dingsøyr ir Lindsjörn, 2022). Taigi, šiame tyrime laikomasi prielaidos, kad adaptyvus žaidybinimas gali daryti poveikį *Agile* komandos veiklos efektyvumui per ATEM modelio dedamąsias ir siūlomas konceptualus modelis, kuris praplečia supratimą apie žaidybinimo ir *Agile* komandinio darbo efektyvumo sąsajas.

Išvados

1. Atlikta sisteminė literatūros analizė parodė, kad adaptyvus žaidybinimas mokslinėje literatūroje yra nagrinėjamas kaip dinamiškas žaidybinimo taikymo būdas, leidžiantis pritaikyti žaidybinimo sprendimus prie kintančio konteksto ir naudotojų poreikių, tačiau jo taikymo poveikis *Agile* komandų veiklos efektyvumui išlieka nepakankamai ištirtas.

2. *Agile* komandos veiklos efektyvumas literatūroje suprantamas kaip efektyvus komandinio darbo procesas, pasireiškiantis per tokias dedamąsias kaip pasidalinta lyderystė, susitelkimas į komandą, funkcijų perimamumas, prisitaikymas ir tarpusavio grįžtamasis ryšys, kurias palaiko bendri mąstymo modeliai, tarpusavio pasitikėjimas ir komunikacija.

3. Remiantis žaidybinimo ir *Agile* komandinio darbo literatūra, straipsnyje suformuotas konceptualus modelis pagrindžia prielaidą, kad adaptyvus žaidybinimas gali būti siejamas su *Agile* komandos veiklos efektyvumu per ATEM modelio dedamąsias ir sudaro teorinį pagrindą tolesniems empiriniams tyrimams šioje srityje.

Literatūra

1. Ayastuy, M. D., Torres, D., & Fernández, A. (2021). Adaptive gamification in Collaborative systems, a systematic mapping study. *Computer Science Review*, 39, 100333.
2. Behl, A., Jayawardena, N., Ishizaka, A., Gupta, M., & Shankar, A. (2022). Gamification and gigification: A multidimensional theoretical approach. *Journal of Business Research*, 139, 1378-1393.
3. Bitrián, P., Buil, I., Catalán, S. Gamification in workforce training: improving employees' self-efficacy and information security behaviours // *Computers & Security*. 2024, vol. 136, p. 103553.
4. Capatina, A., Juarez-Varon, D., Micu, A., Micu, A. E. Leveling up in corporate training: unveiling the power of gamification to enhance knowledge retention, knowledge sharing, and job performance // *Journal of Innovation & Knowledge*. 2024, vol. 9(1), p. 100428.
5. Codish, D., & Ravid, G. (2014, December). Adaptive approach for gamification optimization. In 2014 IEEE/ACM 7th international conference on utility and cloud computing (pp. 609-610). IEEE.
6. Denning, S. *Agile's* ten implementation challenges // *Strategy & Leadership*. 2016, vol. 44(5), p. 15–20.
7. Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R., & Nacke, L. (2011, September). From game design elements to gamefulness: defining "gamification". In *Proceedings of the 15th international academic MindTrek conference: Envisioning future media environments* (pp. 9-15).
8. Gerdenitsch, C., Sellitsch, D., Besser, M., Burger, S., Stegmann, C., Tscheligi, M., & Kriglstein, S. (2020). Work gamification: Effects on enjoyment, productivity and the role of leadership. *Electronic Commerce Research and Applications*, 43, 100994.
9. Hamari, J., Koivisto, J., Sarsa, H. Does gamification work? A literature review of empirical studies // *Proceedings of the 47th Hawaii International Conference on System Sciences*. 2014, p. 3025–3034.
10. Hong, Y., Saab, N., & Admiraal, W. (2024). Approaches and game elements used to tailor digital gamification for learning: A systematic literature review. *Computers & Education*, 212, 105000.
11. Huang, J., & Zhou, L. (2020). Social gamification affordances in the green IT services: perspectives from recognition and social overload. *Internet Research*.

12. Iqbal, J., Omar, M., & Yasin, A. (2019, January). An Empirical Analysis of the Effect of *Agile* Teams on Software Productivity. In 2019 2nd International Conference on Computing, Mathematics and Engineering Technologies (iCoMET) (pp. 1-8). IEEE.
13. Klock, A. C. T., Gasparini, I., Pimenta, M. S., & Hamari, J. (2020). Tailored gamification: A review of literature. *International Journal of Human-Computer Studies*, 144, 102495.
14. Koivisto, J., Hamari, J. The rise of motivational information systems: a review of gamification research // *International Journal of Information Management*. 2019, vol. 45, p. 191–210.
15. Miri, D. H., & Macke, J. (2022). Gamification, motivation, and engagement at work: a qualitative multiple case study. *European business review*, 34(2), 263-276.
16. Pflügler, C., Wiesche, M., & Kremer, H. (2018). Subgroups in *Agile* and Traditional IT Project Teams.
17. Ramírez-Mora, S. L., & Oktaba, H. (2018, September). Team maturity in *Agile* Software Development: The impact on productivity. In 2018 IEEE International Conference on Software Maintenance and Evolution (ICSME) (pp. 732-736). IEEE.
18. Stansbury, J. A., & Earnest, D. R. (2017). Meaningful gamification in an industrial/organizational psychology course. *Teaching of Psychology*, 44(1), 38-45.
19. Strode, D., Dingsøyr, T., & Lindsjorn, Y. (2022). A teamwork effectiveness model for *Agile* software development. *Empirical Software Engineering*, 27(2), 56.
20. Werbach, K., & Hunter, D. (2015). *The gamification toolkit: dynamics, mechanics, and components for the win*. University of Pennsylvania Press.
21. Xi, N., & Hamari, J. (2019). Does gamification satisfy needs? A study on the relationship between gamification features and intrinsic need satisfaction. *International Journal of Information Management*, 46, 210-221.

THE IMPACT OF ADAPTIVE GAMING APPLICATION ON AGILE TEAM PERFORMANCE EFFICIENCY

Summary

The application of Agile practices in organizations has highlighted the importance of the team as the main unit of work organization, but at the same time has led to new challenges related to the effectiveness of team performance and ensuring results in a dynamic environment. In the context of these changes, gamification is increasingly being applied in organizations, which is considered a motivating tool for shaping employee behavior and improving performance. However, there is a lack of research in the scientific literature that examines the impact of adaptive gamification on the effectiveness of Agile teams, therefore this article aims to reveal the links between adaptive gamification and Agile team performance efficiency. A systematic literature analysis allowed us to form a conceptual model that explains how adaptive gamification is related to the effectiveness of Agile teams. This article contributes to the research on the application of gamification in the context of Agile teams, offering a theoretical basis for further empirical research in this area.

Key words: adaptive gamification, Agile team performance.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Dovilė Valantiejienė.

Mokslo laipsnis ir vardas: Žmonių išteklių valdymo magistras.

Darbo vieta ir pozicija: Kauno technologijos universitetas, doktorantė.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: žmonių išteklių valdymas, žaidybinimas, vadyba.

Telefonas ir el. pašto adresas: 0 60181269, dovile.valantiejiene@ktu.edu

Autoriaus vardas, pavardė: Lina Girdauskienė.

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras.

Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Lietuvos inžinerijos kolegija, direktorė.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: žmonių išteklių valdymas, žinių valdymas, kūrybinės industrijos, žaidybinimas, vadyba.

Telefonas ir el. pašto adresas: 0 61806069, lina.girdauskiene@lik.tech

DELEGAVIMAS SAVIORGANIZUOTOSE *AGILE* KOMANDOSE: ATVEJO ANALIZĖ

Dovilė Valantiejiė, Lina Girdauskienė

Lietuvos inžinerijos kolegija

Anotacija

Populiarėjantis *Agile* požiūris versle ne tik sustiprina komandos vaidmenį organizacijų darbo organizavime, bet ir iškėlė naujus klausimus apie tai, kaip saviorganizuotose *Agile* komandose pasiskirsto sprendimų priėmimas ir atsakomybė. Vienas iš reikšmingų aspektų šioje temoje yra delegavimas, tačiau jis dar nėra sulaukęs pakankamo dėmesio moksle. Šiame darbe yra siekiama atskleisti delegavimo raišką saviorganizuotose *Agile* komandose. Tyrime yra taikoma kokybinė atvejo analizės prieiga, remiantis vienos organizacijos *Agile* komandos atveju. Tyrimo rezultatai parodė, kad delegavimo raiška saviorganizuotoje *Agile* komandoje priklauso nuo abipusės vadovo ir komandos sąveikos, kai vadovas perduoda ne tik užduotį, bet ir sprendimų priėmimo galią, kuria sąlygas pasitikėjimui bei ugdo komandos gebėjimą priimti atsakomybę, veikti kolektyvinio identiteto pagrindu ir reflektuoti apie savo veiklą. Šiuo darbu yra pateikiamos empiriškai pagrįstos išvalgos ir taip prisidedama prie mokslinių diskusijų apie delegavimą saviorganizuotose *Agile* komandose.

Reikšminiai žodžiai: *Agile* komanda, delegavimas, saviorganizavimas.

Įvadas

Organizacijos visame pasaulyje vis dažniau susiduria su sudėtingais, kompleksiškais ir sunkiai prognozuojamais aplinkos pokyčiais, kurie kvestionuoja tradicinius darbo organizavimo ir valdymo būdus. Pastarųjų dešimtmečių iššūkiai, kaip pasaulinė finansų krizė bei pandemijos laikotarpis parodė, kad organizacijų gebėjimas prisitaikyti prie neapibrėžtumo, greitai mokytis ir lanksčiai reaguoti į pokyčius tampa kritiniu veikimo ir išlikimo versle veiksnium. Tyrimuose pažymima, kad būtent *Agile* požiūrį taikančios organizacijos istoriškai pasižymėjo didesniu prisitaikymu sudėtingais ar net krizių laikotarpiais, nes jų veikimas grindžiamas lankstumu, decentralizuotu sprendimų priėmimu ir nuolatiniu mokymusi (Denning, 2018; Grass ir kt., 2020; Imam ir Zaheer, 2021; Steegh ir kt., 2024). Atsižvelgiant į tai, delegavimas tampa vienu iš esminių, tačiau mažai empiriškai pažintu reiškiniu šių komandų specifiniame kontekste.

Ankstesni tyrimai atskleidė, kad delegavimas *Agile* komandų kontekste dažniausiai analizuojamas žvelgiant tik iš pačios saviorganizuotos komandos perspektyvos arba tik iš vadovo taikomos lyderystės perspektyvos. Tyrėjai delegavimą analizuoja per užduočių pasiskirstymo, saviorganizacijos ir įgalinimo prizmę (Masood, Hoda ir Blincoe, 2020; Imam ir Zaheer, 2021; Mihelič ir kt., 2024; Johannessen ir Karlsen, 2024). Masood, Hoda ir Blincoe (2020) nustatė, kad užduočių prisiskyrimas nėra savaime veikianti praktika, o priklauso nuo kontekstinių sąlygų, vadovo elgsenos, komandos patirties bei taikomų strategijų. Mihelič ir kt. (2024) nustatė, kad delegavimas *Agile* komandose keičia savo įgyvendinimo formą, nes atsakomybė ir sprendimų galia paskirstoma komandos viduje, o ne perduodama hierarchijos principu. Imam ir Zaheer (2021) nustatė, kad *Agile* komandose sprendimų priėmimas tampa kolektyviniu procesu. Tyrėjai nustatė, kad formalus atsakomybės perdavimas be realios sprendimų galios nesukuria saviorganizacijos (Imam ir Zaheer, 2021). Johannessen ir Karlsen (2024) teigė, kad delegavimas *Agile* komandose yra glaudžiai susijęs su organizacine kultūra ir pasitikėjimu.

Apibendrinant galima teigti, kad esami tyrimai atskleidė atskirus delegavimo aspektus, tačiau literatūroje stokojama empirinių tyrimų, kurie delegavimą analizuotų kaip dinamišką reiškinį, kuris priklauso nuo komandos vidinių procesų ir sąveikų ne tik tarp komandos narių, bet komandos sąveikos su vadovu, todėl šiame darbe yra keliama mokslinė problema, kaip formuojasi delegavimas saviorganizuotoje *Agile* komandoje?

Straipsnio tikslas - atskleisti delegavimo raišką saviorganizuotos *Agile* komandos kontekste. Siekiant šio tikslo keliama šie **uždaviniai**:

1. Atskleisti delegavimo reiškinį saviorganizuotos *Agile* komandos kontekste;
2. Pateikti tyrimo metodiką;
3. Pristatyti tyrimo rezultatus, identifikuojant veiksnus, lemiančius delegavimo raišką saviorganizuotoje *Agile* komandoje.

Tyrimė taikomas kokybinės atvejo metodas. Straipsnis susideda iš anotacijos, reikšminių žodžių, teorinių išvalgų, tyrimo metodikos pristatymo, tyrimo rezultatų ir diskusijos bei išvadų.

Teorinis saviorganizuotas *Agile* komandos, akcentuojant delegavimo aspektą, apibūdinimas

Organizacijoms siekiant prisitaikyti prie pokyčių, mokytis ir nuolat tobulėti vadyboje yra pasirenkama remtis *Agile* požiūriu, o komanda tuomet tampa pagrindiniu darbo organizavimo vienetu (Grass ir kt., 2020). *Agile* komanda literatūroje apibrėžiama įvairiai, nes dalis autorių apibrėžimuose akcentuoja komandos

charakteristikas, o kiti mokslininkai dėmesį sutelkia į darbo organizavimo principus ir praktikas (Junker ir kt., 2024). *Agile* komandų apibrėžimuose dažniausiai akcentuojama saviorganizacija, autonomija, įgalinimas ir kolektyvinis sprendimų priėmimas. Hoda ir kt. (2011) *Agile* komandą apibrėžia kaip saviorganizuojančią komandą, kuri pati valdo darbo krūvį, perskirsto darbus ir dalyvauja priimant sprendimus. Moe ir kt. (2021) akcentuoja, kad tai autonominė komanda, turinti autoritetą ir didelę atsakomybę priimti su savo darbu susijusius sprendimus. Grass ir kt. (2020) *Agile* komandą sieja su tuo, kad komanda savarankiškai valdo procesus, sprendžia, kaip pasiekti tikslus, ir deleguoja atsakomybę už užduotis skirtingiems komandos nariams. Šiuo apibrėžimu yra remiamasi šiame darbe.

Agile komandos išskirtinumas yra ir tai, kad ji tampa ne tik darbą atliekančiu vienetu, bet ir socialiniu vienetu, kurio veikimas grindžiamas kolektyvinėmis praktikomis, tarpasmeniniais santykiais ir bendrais susitarimais. Dėl šios priežasties *Agile* komandos kontekste ypač aktualus tampa delegavimo aspektas. Delegavimas *Agile* komandoje negali būti suprantamas vien kaip užduočių perdavimas iš vadovo darbuotojui, nes *Agile* komandos veikimas iš esmės remiasi pasidalinta atsakomybe, pasidalyta lyderyste ir kolektyviniu sprendimų priėmimu (Imam ir Zaheer, 2021; Steegh ir kt., 2024). Dėl šių priežasčių delegavimas saviorganizuotose *Agile* komandose tampa kritiškai svarbiu reiškiniu, kuris apima ne tik užduoties priskyrimą ar prisiskyrimą, tačiau ir atsakomybės bei sprendimų teisės pasiskirstymą komandos viduje (Steegh ir kt., 2024; Alami ir kt., 2023).

Nors tradicinėje hierarchinėje organizacijų vadyboje delegavimas dažniausiai reiškia vadovo kontroliuojamą užduočių paskirstymą, kai atsakomybė perduodama žemyn hierarchijoje, tačiau sprendimų teisė išlieka aukštesniuose valdymo lygmenyse, darbą atliekant *Agile* komandomis ši logika iš esmės keičiasi. Masood, Hoda ir Blincoe (2020) pabrėžia, kad *Agile* komandose užduočių paskirstymas dažniausiai vyksta per savarankišką užduočių priskyrimą (angl. self-assignment), kai patys komandos nariai pasirenka, kurias užduotis atliks. Autoriai tai apibrėžia kaip savivaldų darbo paskirstymo mechanizmą, kai tiek visa komanda, tiek atskiri individai aktyviai dalyvauja sprendžiant, kas imsis konkrečių užduočių, o ne pasyviai laukia vadovo nurodymų (Masood ir kt., 2020). Delegavimo sampratą papildė ir Mihelič ir kt. (2024), remdamiesi situacinės lyderystės teorija. Jie delegavimą apibūdina kaip lyderystės stilių, kuris yra tinkamiausias tada, kai komandos nariai yra pakankamai kompetentingi ir motyvuoti prisiimti atsakomybę. Autoriai pabrėžia, kad *Agile* kontekste delegavimas įgauna kitokią formą, nes atsakomybė nėra perduodama per hierarchinį vadovą, bet paskirstoma pačios komandos viduje, taip skatinant pasitikėjimą, savininkiškumo jausmą ir vidinę motyvaciją.

Svarbus delegavimo ypatumas saviorganizuotose *Agile* komandose yra ir tai, kad jis tampa ne vien vadybine technika, bet ir organizacinės kultūros dalimi. Johannessen ir Karlsen (2024) pažymi, kad autonomiškų *Agile* komandų veikimas reikalauja lyderystės, grįstos pasitikėjimu, įtraukimu ir aiškia komunikacija, nes tik tokiomis sąlygomis *Agile* komandos nariai gali savarankiškai priimti sprendimus ir prisiimti atsakomybę už rezultatus.

Tyrimo metodika

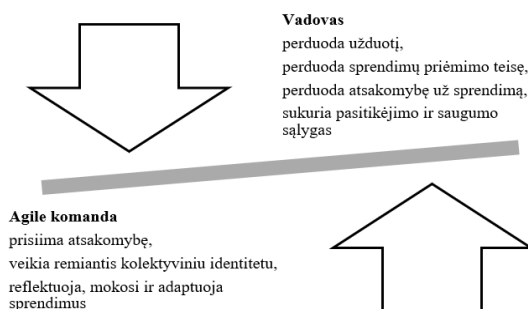
Siekiant giliau suprasti delegavimo raišką saviorganizuotos *Agile* komandos kontekste, šiame tyrime yra pasirinkta kokybinė tyrimo prieiga ir taikoma atvejo analizė. Tyrimo atveju pasirinkta viena *Agile* komanda, veikianti organizacijoje, kurioje yra taikomos *Agile* darbo praktikos. Duomenys buvo renkami taikant du kokybinius duomenų rinkimo metodus: (1) sutelktosios grupės interviu su 7 *Agile* komandos nariais ir (2) pusiau struktūruotą interviu su komandos vadovu. Tokį pasirinkimą lėmė tyrėjų siekis užfiksuoti kolektyvinę komandos patirtį komandos lygiu bei papildyti atvejį vadovo perspektyva. Abu interviu buvo pusiau struktūruoti. Surinkti duomenys buvo analizuojami taikant kokybinę turinio analizę. Tyrimas buvo vykdomas organizacijoje, komandos darbo aplinkoje.

Tyrimo rezultatai ir diskusija

Remiantis atlikta literatūros analize ir empiriniu tyrimu, buvo suformuotas tyrimo empirinis modelis (1 pav.), kuris atskleidžia delegavimo raišką saviorganizuotos *Agile* komandos kontekste. Modelis parodo, kad delegavimas formuojasi kaip dvikryptis procesas tarp vadovo ir komandos. Šis modelis leidžia sistemiškai atskleisti, kaip sąveikos tarp vadovo ir komandos narių lemia sprendimų galios ir atsakomybės pasiskirstymą komandos viduje.

Atliktas kokybinis tyrimas atskleidė, kad delegavimas *Agile* komandoje pasireiškia ne kaip vienkryptis vadovo veiksmas, o kaip dvikryptis procesas, kuriame svarbų vaidmenį atlieka tiek vadovo sprendimai, tiek pačios komandos gebėjimas prisiimti atsakomybę ir sprendimų priėmimo galią. Iš vadovo pusės delegavimas pasireiškia per užduočių perdavimą, sprendimų priėmimo teisės suteikimą ir sąlygų pasitikėjimui bei psichologiniam saugumui kūrimą. Iš komandos pusės delegavimas pasireiškia per atsakomybės prisiėmimą, kolektyvinio identiteto ir kolektyvinio veikimo pasirinkimą bei gebėjimą reflektuoti ir adaptuoti savo

veiklą komandoje. Tokie rezultatai dera su *Agile* komandų samprata, kur saviorganizacija laikoma kertiniu sėkmės veiksniu (Hoda ir kt., 2013), o sprendimų priėmimas ir atsakomybė yra paskirstomi komandos viduje (Moe ir kt., 2021; Grass ir kt., 2020), tačiau parodo, kad vadovo gebėjimas deleguoti, ne tik užduotį, bet ir atiduoti komandai galią priimti sprendimą ir autoritetą taip pat yra svarbus.



1 pav. Tyrimo empirinis modelis

Šaltinis: sudaryta autorių

Atliktas tyrimas taip pat parodė, kad delegavimas tiesiogiai siejasi su vyraujančiu komandos identitetu. Kai komandoje dominuoja kolektyvinis identitetas, t.y. komanda save suvokia, kaip vieną vienetą, aiškiai žino ir siekia bendro tikslo, tada sprendimai priimami kartu, atsakomybė suvokiama kaip bendra, o vadovo vaidmuo išlieka palaikantis. Tuo tarpu komandose, kuriose vyrauja individualus identitetas, t.y. komanda save supranta, kaip pavienių narių sumą, kurie atlieka savo užduoties dalį, sprendimo teisė dažniau grąžinama vadovui, vengiama rizikos, o atsakomybė irgi prisiimama tik už savo atliktos užduoties dalį. Tokį rezultatą galima paremti kitų autorių tyrimais, kurie nustatė, kad kolektyvinis identitetas *Agile* komandose padeda sutelkti dėmesį į bendrus tikslus, stiprina pasitikėjimą ir palaiko saviorganizaciją (Johnson ir Chang, 2006; Beheshtifar ir Rahimi-Nezhad, 2012; Luu ir Narayan, 2017).

Empiriniai duomenys taip pat atskleidė psichologinio saugumo svarbą delegavimo raiškai. Jeigu *Agile* komandoje egzistuoja saugi aplinka, tada sprendimų priėmimas natūraliai „nusileidžia“ į komandos lygmenį. Jeigu yra priešingai, kai psichologinis saugumas silpnas, tada *Agile* komanda linkusi laukti aiškių nurodymų, kaip tiksliai įgyvendinti užduotį, net jei formaliai ji turi suteiktą autonomiją. Alami ir kt. (2023) bei Steegh ir kt. (2024) irgi pateikė panašias išvagas, kad psichologinis saugumas yra būtina sąlyga pasidalyti lyderystei ir kolektyviniam sprendimų priėmimui. Taip pat, Johannessen ir Karlsen (2024) tyrimas atskleidė, kad be psichologinio saugumo ir aiškių tarpusavio susitarimų delegavimas neįvyksta.

Tyrimo duomenys leidžia daryti išvadą, kad iš vadovo pusės delegavimas *Agile* komandoje turi apimti ne tik užduoties perdavimą, bet ir sprendimo galią bei su ja susijusio autoriteto perdavimą. Tik tokiu atveju komandos nariai gali veikti savarankiškai, daryti įtaką vieni kitiems ir koordinuoti veiklą kolektyviniu lygmeniu. Šis radinys gali būti pagrįstas ir mokslininkų darbu, kur delegavimas buvo siejamas ne su kontrolės praradimu, bet su kolektyvinės atsakomybės stiprinimu (Imam ir Zaheer, 2021; Spiegler ir kt., 2021). Ši išvaga dera su Steegh ir kt. (2024) apibrėžta įgalinimo būsena, kai komanda turi realią kontrolę pasirinkti darbo būdus ir priimti sprendimus, bei su Hoda ir kt. (2013) teiginiu, kad saviorganizacija neatsiejama nuo sprendimų priėmimo galios komandoje.

Išvados

1. Atlikta literatūros analizė parodė, kad delegavimas saviorganizuotoje *Agile* komandoje apima ne tik užduočių paskirstymą komandos viduje, bet ir atsakomybės bei sprendimų galios pasidalijimą per nuolatinę sąveiką tarp komandos narių ir vadovo. Delegavimo raiška priklauso nuo pasitikėjimo, komunikacijos ir vadovo gebėjimo sudaryti sąlygas komandos savarankiškumui.

2. Tyrimui buvo pasirinkta kokybinė atvejo analizė. Duomenys rinkti taikant sutelktosios grupės interviu su komandos nariais ir pusiau struktūruotą interviu su komandos vadovu. Duomenų analizė atlikta pasitelkiant kokybinę turinio analizę.

3. Tyrimas atskleidė, kad delegavimas saviorganizuotoje *Agile* komandoje yra dvikryptis procesas, kuris įvyksta tada, kai vadovas perduoda užduotį, sprendimų galią ir kuria pasitikėjimo sąlygas, o komanda tuo pačiu metu prisiima atsakomybę, veikia kolektyviai ir įsitraukia į sprendimų priėmimą. Empirinis modelis parodo, kad delegavimo raišką lemia nuolatinė sąveika tarp vadovo ir komandos.

Literatūra

1. Alami, A., Zahedi, M., & Krancher, O. (2023). Antecedents of psychological safety in *Agile* software development teams. *Information and Software Technology*, 162, 107267.
2. Beheshtifar, M., & Rahimi-Nezhad, Z. (2012). Role of Self-Concept in organizations. *European Journal of Economics, Finance and Administrative Sciences*, 44(44), 159-164.
3. Denning, S. (2018). How major corporations are making sense of *Agile*. *Strategy & Leadership*, 46(1), 3-9.
4. Grass, A., Backmann, J., & Hoegl, M. (2020). From Empowerment Dynamics to Team Adaptability: Exploring and Conceptualizing the Continuous *Agile* Team Innovation Process. *Journal of Product Innovation Management*, 37(4), 324-351.
5. Hoda, R., Noble, J., & Marshall, S. (2011). The impact of inadequate customer collaboration on self-organizing *Agile* teams. *Information and software technology*, 53(5), 521-534.
6. Imam, H., & Zaheer, M. K. (2021). Shared leadership and project success: The roles of knowledge sharing, cohesion and trust in the team. *International journal of project management*, 39(5), 463-473.
7. Junker, T. L., Bakker, A. B., & Derks, D. (2024). Toward a theory of team resource mobilization: A systematic review and)model of sustained *Agile* team effectiveness. *Human Resource Management Review*, 101043.
8. Luu, S., & Narayan, A. (2017). Games at work: Examining a model of team effectiveness in an interdependent gaming task. *Computers in Human Behavior*, 77, 110-120.
9. Masood, Z., Hoda, R., & Blincoe, K. (2020). How *Agile* teams make self-assignment work: a grounded theory study. *Empirical Software Engineering*, 25(6), 4962-5005.
10. Mihelič, A., Vrhovec, S., Markelj, B., & Hovelja, T. (2024). Delegation-based *Agile* secure software development approach for small and medium-sized businesses. *IEEE Access*.
11. Moe, N. B., Šmite, D., Paasivaara, M., & Lassenius, C. (2021). Finding the sweet spot for organizational control and team autonomy in large-scale *Agile* software development. *Empirical Software Engineering*, 26(5), 101.
12. Spiegler, S. V., Heinecke, C., & Wagner, S. (2021). An empirical study on Changing leadership in *Agile* teams. *Empirical Software Engineering*, 26, 1-35.
13. Standahl Johannessen, S., & Karlsen, J. T. (2025). *Agile* transformation in the energy sector: empowering autonomous teams. *International Journal of Energy Sector Management*, 19(2), 389-411.
14. Steegh, R., Van De Voorde, K., & Paauwe, J. (2024). Understanding how *Agile* teams reach effectiveness: A systematic literature review to take stock and look forward. *Human Resource Management Review*, 101056.

DELEGATION IN SELF-ORGANIZING AGILE TEAMS: A CASE STUDY

Summary

The increasing adoption of the *Agile* approach in organisations has strengthened the role of teams in work organisation and raised new questions about how decision-making and responsibility are distributed in self-organising *Agile* teams. One of the key issues in this context is delegation; however, this phenomenon remains insufficiently explored in academic research. This article aims to reveal the manifestation of delegation in a self-organising *Agile* team.

The study employs a qualitative research approach, utilising a case study design. Data were collected using two qualitative methods: a focus group interview and a semi-structured interview with the team manager. The collected data were analysed using qualitative content analysis.

The findings show that delegation in a self-organising *Agile* team emerges as a mutually constituted process between the manager and the *Agile* team. From the manager's perspective, delegation involves not only assigning tasks but also transferring decision-making authority and creating conditions for trust and psychological safety. From the team's perspective, delegation is manifested through the assumption of responsibility, a collective identity, active participation in decision-making, and continuous reflection on team practices. The study contributes to the understanding of delegation as a dynamic and relational process rather than a formal managerial technique and provides empirically grounded insights into delegation in self-organising *Agile* teams.

Key words: Agile team, delegation, self-organization.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Dovilė Valantiejiienė.

Mokslo laipsnis ir vardas: Žmonių išteklių valdymo magistras.

Darbo vietą ir pozicija: Kauno technologijos universitetas, doktorantė.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: žmonių išteklių valdymas, žaidybinimas, vadyba.

Telefonas ir el. pašto adresas: 0 60181269, dovile.valantiejiene@ktu.edu

Autoriaus vardas, pavardė: Lina Girdauskienė.

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras.

Darbo vietą ir pozicija: VšĮ Lietuvos inžinerijos kolegija, direktorė.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: žmonių išteklių valdymas, žinių valdymas, kūrybinės industrijos, žaidybinimas, vadyba.

Telefonas ir el. pašto adresas: 0 61806069, lina.girdauskiene@lik.tech

ISSN 2029-9303
ISSN 2783-6215

INŽINERINĖS IR EDUKACINĖS TECHNOLOGIJOS
2025 Nr. 2

Lietuvių kalbos redaktorė **Sonata Paulauskienė**
Užsienio kalbos redaktorė **Judita Štreimikienė**

Tiražas 70 egz. 165 psl. Parengimo spaudai data 2025-12-22

Išleido: Lietuvos inžinerijos kolegija, Tvirtovės al. 35, LT-50155 Kaunas

www.lik.tech

El.p. info@lik.tech