VILNIUS TECH

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Darni aplinka

27-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ straipsnių rinkinys

2024 m. balandžio 25 d.

Sustainable environment

Proceedings of the 27th Conference for Junior Researchers “Science – Future of Lithuania”

25 April 2024, Vilnius, Lithuania

ISSN 2029-7157
eISSN 2029-7149

eISBN 978-609-476-359-5

Vilnius, 2024

27-osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos
Darni aplinka, vykusios 2024 m. balandžio 25 d., straipsnių rinkinys.
Vilnius: Vilniaus Gedimino technikos universitetas, 2024. 137 p.

Konferenciją organizavo VILNIUS TECH Aplinkos inžinerijos fakulteto: Aplinkos apsaugos ir vandens inžinerijos, Geodezijos ir kadastro, Kelių ir Pastatų energetikos katedros.

Konferencijos tikslas yra skatinti bendradarbiavimą tarp jaunųjų Lietuvos mokslininkų ir socialinių partnerių. Konferencijos metu buvo pristatomi aktualūs pranešimai skirstomi pagal tokias sekcijas:

1. Aplinkos apsaugos inžinerija / Environmental Protection Engineering
2. Geodezija ir kadastras / Geodesy and Cadastre
3. Kelių ir miestų inžinerija / Road and Urban Engineering
4. Pastatų energetika / Energy for Buildings

Leidinyje pateikiami konferencijos straipsniai (tai yra analitiniai ir moksliniai darbai), kuriuose analizuojami aplinkos apsaugos, geodezijos, kelių ir miestų inžinerijos, pastatų inžinerinių sistemų klausimai. Juo galės naudotis dėstytojai ir mokslo darbuotojai, universitetų ir kolegijų studentai, moksleiviai bei visi, besidomintys minėtomis tematikomis.

Straipsniai, publikuojami 27-osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos **Darni aplinka**, vykusios 2024 m. balandžio 25 d. Vilniuje, straipsnių rinkinyje, referuojami tarptautinėje duomenų bazėje ***Index Copernicus***.

Recenzentai:

doc. dr. Aušra Zigmontienė, Aplinkos apsaugos ir vandens inžinerijos katedra
doc. dr. Rasa Stankevičienė, Aplinkos apsaugos ir vandens inžinerijos katedra
doc. dr. Dainius Paliulis, Aplinkos apsaugos ir vandens inžinerijos katedra
doc. dr. Vaidotas Vaišis, Aplinkos apsaugos ir vandens inžinerijos katedra
prof. dr. Saulius Vasarevičius, Aplinkos apsaugos ir vandens inžinerijos katedra
doc. dr. Oksana Survilė, Aplinkos apsaugos ir vandens inžinerijos katedra
prof. dr. Rasa Vaiškūnaitė, Aplinkos apsaugos ir vandens inžinerijos katedra
doc. dr. Regimantas Dauknys, Aplinkos apsaugos ir vandens inžinerijos katedra
dr. Tomas Astrauskas, Aplinkos apsaugos institutas
dr. Vaidotas Danila, Aplinkos apsaugos institutas
doc. dr. Alvydas Zagorskis, Aplinkos apsaugos ir vandens inžinerijos katedra
doc. dr. Raimondas Grubliauskas, Aplinkos apsaugos ir vandens inžinerijos katedra
prof. dr. Aušra Mažeikienė, Aplinkos apsaugos ir vandens inžinerijos katedra
doc. dr. Tomas Januševičius, Aplinkos apsaugos ir vandens inžinerijos katedra
doc. dr. Jolita Bradulienė, Aplinkos apsaugos ir vandens inžinerijos katedra
dr. Aleksandras Chlebnikovas, Civilinės inžinerijos mokslo centras
prof. dr. Jūratė Sužiedelytė Visockienė, Geodezijos ir kadastro katedra
dr. Eglė Tumelienė, Geodezijos ir kadastro katedra
doc. dr. Darius Popovas, Geodezijos ir kadastro katedra
doc. dr. Dominykas Šlikas, Geodezijos ir kadastro katedra
doc. dr. Romuald Obuchovski, Geodezijos ir kadastro katedra
dr. Rosita Birvydienė, Geodezijos ir kadastro katedra
prof. dr. Donatas Čygas, Kelių katedra
prof. dr. Marija Burinskienė, Kelių katedra
doc. dr. Rasa Ušpalytė-Vitkūnienė, Kelių katedra
doc. dr. Viktoras Vorobjovas, Kelių katedra
doc. dr. Vilma Jasiūnienė, Kelių katedra
doc. dr. Juozas Bielskus, Pastatų energetikos katedra
doc. dr. Kęstutis Čiuprinskas, Pastatų energetikos katedra
doc. dr. Kęstutis Valančius, Pastatų energetikos katedra
doc. dr. Giedrė Streckienė, Pastatų energetikos katedra
dr. Vilūnė Lapinskienė, Pastatų energetikos katedra
dr. Rasa Džiugaitė-Tumėnienė, Pastatų energetikos katedra
doc. dr. Violeta Motuzienė, Pastatų energetikos katedra
doc. dr. Violeta Misevičiūtė, Pastatų energetikos katedra

Bibliografinė informacija pateikiama Lietuvos integralios bibliotekų informacinės sistemos (LIBIS) portale *ibiblioteka.lt*

Konferencijos organizacinio komiteto pirmininkas doc. dr. Viktoras Vorobjovas
Konferencijos organizacinio komiteto sekretorė dr. Eglė Tumelienė
Konferencijos mokslo komiteto pirmininkė doc. dr. Eglė Marčiulaitienė
Konferencijos mokslo komiteto sekretorė doc. dr. Violeta Misevičiūtė

Vyriausioji redaktorė prof. dr. Rasa Vaiškūnaitė

Vilniaus Gedimino technikos universiteto mokslo literatūros knyga (2024-028-K)

https://doi.org/10.3846/da.2024

© Vilniaus Gedimino technikos universitetas, 2024

27-osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos
DARNI APLINKA, vykusios 2024 m. balandžio 25 d., straipsnių rinkinys

Redaktorės *Audronė Jonikienė*, *Aušra Kundrotaitė*, *Dalia Markevičiūtė*
Maketuotoja *Audronė Gurklienė*

TURINYS

Aplinkos apsaugos inžinerija / Environmental Protection Engineering

Evaluation of haematological and biochemical stress biomarkers and physiological parameters in *Carassius gibelio* caught in the coastal zone of the Curonian lagoon
Vita ŽVYNAKYTĖ, Janina PAŽUSIENĖ, Justas DAINYS, Milda STANKEVIČIŪTĖ *1*
https://doi.org/10.3846/da.2024.001

Aglomeravimo procesais paremtų dujų srauto valymo technologijų taikymas ir palyginimas
Stanislovas ZDANEVIČIUS, Aleksandras CHLEBNIKOVAS *7*
https://doi.org/10.3846/da.2024.002

Strategic analysis of Vilnius airport's growth trajectory and noise regulation compliance
Simonas ZAVADSKAS, Raimondas GRUBLIAUSKAS, Vaidotas VAIŠIS *13*
https://doi.org/10.3846/da.2024.003

Geležies turinčių filtro užpildų efektyvumo šalinant tirpųjį fosforą tyrimai
Audrius VARNAGIRIS, Aušra MAŽEIKIENĖ *19*
https://doi.org/10.3846/da.2024.004

Case study of Lithuania: investigation of GHG emissions reduction from municipal solid waste management practices
Ernesta VARAPNICKAITĖ, Saulius VASAREVIČIUS *25*
https://doi.org/10.3846/da.2024.005

Pluoštinių kanapių spalių garso sugerties ir garso perdavimo sumažėjimo tyrimai
Edgaras STRAZDAS, Tomas JANUŠEVIČIUS *30*
https://doi.org/10.3846/da.2024.006

Rišiklio įtakos padangų tekstilės pluošto kompozitinių plokščių garso sugerčiai tyrimas ir vertinimas
Robert RUŽICKIJ, Raimondas GRUBLIAUSKAS *37*
https://doi.org/10.3846/da.2024.007

Sunkiųjų metalų sąveikos su dirvožemio mikroorganizmais literatūros apžvalga
Vaida PALIULIENĖ, Saulius VASAREVIČIUS *43*
https://doi.org/10.3846/da.2024.008

Evaluation of environmentally friendly sound absorption materials made from agricultural waste fibers
Nuushuun Archie GBOE, Raimondas GRUBLIAUSKAS *49*
https://doi.org/10.3846/da.2024.009

Iš popieriaus ir kartono atliekų pagaminto adsorbento panaudojimas kongo raudonajam dažikliui šalinti iš vandens
Monika LIUGĖ, Dainius PALIULIS *55*
https://doi.org/10.3846/da.2024.010

Geodezija ir kadastras / Geodesy and Cadastre

Lietuvos policijos 2015–2022 m. registruotų pažeidimų dėl narkotinių medžiagų ir jų vartojimo Vilniaus miesto savivaldybėje erdvinė analizė
Gordonas JANKŪNAS *61*
https://doi.org/10.3846/da.2024.011

Erdvinė informacija valdymui – Lietuvos Katalikų bažnyčios administracinių teritorijų atvejo studija
Samanta KLUSYTĖ *65*
https://doi.org/10.3846/da.2024.012

Daugiamečių pievų stebėsena, taikant sintetinės apertūros radaro (SAR) koherencijos ir intensyvumo bangų kompoziciją
Gustė METRIKAITYTĖ-GUDELĖ, Jūratė SUŽIEDELYTĖ-VISOCKIENĖ *71*
https://doi.org/10.3846/da.2024.013

Kelių ir miestų inžinerija / Road and Urban Engineering

Analysis of asphalt pavement construction quality parameters automated registration systems
Ignas KAVECKAS, Audrius VAITKUS *76*
https://doi.org/10.3846/da.2024.014

Transporto elektroninio bilieto sistemų diegimo ir palaikymo procesų patirtis, iššūkiai ir problemos
Andrius SAMUILOVAS, Rasa UŠPALYTĖ-VITKŪNIENĖ *82*
https://doi.org/10.3846/da.2024.015

Veiksnių, lemiančių pasirinkimą atlikti keliones dviračiais, ir eismo įvykių, susijusių su kelionėmis dviračiais, analizė
Miglė ZABIELAITĖ-SKIRMANTĖ, Marija BURINSKIENĖ *89*
https://doi.org/10.3846/da.2024.016

Dviračių ir pėsčiųjų eismo konfliktinių taškų analizė8
Greta STABINSKAITĖ, Rasa UŠPALYTĖ-VITKŪNIENĖ *98*
https://doi.org/10.3846/da.2024.017

Pastatų energetika / Energy for Buildings

Administracinio pastato mikroklimato sąlygų įtakos energinio modeliavimo rezultatams analizė
Greta MICKŪNĖ, Kęstutis ČIUPRINSKAS *104*
https://doi.org/10.3846/da.2024.018

Mokslo paskirties pastato šilumos pritėkių ir vėsinimo poreikių analizė
Dovilė VAIŠNORAITĖ, Rasa DŽIUGAITĖ-TUMĖNIENĖ *110*
https://doi.org/10.3846/da.2024.019

Comparison of the energy efficiency of residential buildings in Azerbaijan and Lithuania
Zhala IBRAHIMOVA, Kęstutis VALANČIUS..... *115*
https://doi.org/10.3846/da.2024.020

Vėsos galių palyginimas modeliuojant pastatą IDA ICE programa skirtingais būdais
Reda MAKSIMAVIČIŪTĖ, Artur ROGOŽA *121*
https://doi.org/10.3846/da.2024.021

Administracinio pastato vėdinimo sistemos veikimo efektyvumo vertinimas
Gustas VIGANAUSKAS, Violeta MOTUZIENĖ *128*
https://doi.org/10.3846/da.2024.022

VILNIUS TECH
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

27-oji Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis" teminė konferencija
Proceedings of the 27th Conference for Junior Researchers "Science – Future of Lithuania"

DARNI APLINKA / SUSTAINABLE ENVIRONMENT

2024 m. balandžio 25 d., Vilnius, Lietuva
25 April 2024, Vilnius, Lithuania

ISSN 2029-7157 / eISSN 2029-7149
eISBN 978-609-476-359-5
https://doi.org/10.3846/da.2024.001

Aplinkos apsaugos inžinerija / Environmental Protection Engineering *https://vilniustech.lt/346238*

EVALUATION OF HAEMATOLOGICAL AND BIOCHEMICAL STRESS BIOMARKERS AND PHYSIOLOGICAL PARAMETERS IN *CARASSIUS GIBELIO* CAUGHT IN THE COASTAL ZONE OF THE CURONIAN LAGOON

Vita ŽVYNAKYTĖ[1, 3*], Janina PAŽUSIENĖ[1], Justas DAINYS[2], Milda STANKEVIČIŪTĖ[1]

[1]*Laboratory of Ecotoxicology, Nature Research Centre, Vilnius, Lithuania*
[2]*Laboratory of Fish Ecology, Nature Research Centre, Vilnius, Lithuania*
[3]*Life Sciences Center, Vilnius University, Vilnius, Lithuania*
[*]*Email: vita.zvynakyte@gamtc.lt*

Received 4 March 2024; accepted 18 March 2024

Abstract. This study aimed to assess the health status of *Carassius gibelio*, a comparatively tolerant fish species, in the largest coastal lagoon in Europe – the Curonian Lagoon. Haematocrit and glucose levels were evaluated as reliable biomarkers of stress responses in fish. Additionally, non-specific physiological biomarkers, including hepatosomatic index and condition factor, were utilized to assess the environmental quality of the Curonian Lagoon. Fish samples were collected from two sites: the southern part of Klaipėda port, known as Kiaulės Nugara Island, and the central part of the Curonian Lagoon near Ventė Cape. Based on the multi-biomarker responses of *C. gibelio*, differences were observed between the two sampling sites, but not statistically significant. Consequently, *C. gibelio* cannot be recommended as a suitable bioindicator of environmental pollution and is not recommended for biomonitoring surveys of the Curonian Lagoon.

Keywords: fish, lagoon, glucose, haematocrit, condition factor.

1. Introduction

The EU Marine Strategy Framework Directive (MSFD, Directive 2008/56/EC) and the Water Framework Directive (WFD, 2000/60/EC) aims to protect the marine ecosystem and biodiversity and to achieve and maintain Good Environmental Status (GES) of marine and coastal waters. According to the WFD, transitional aquatic ecosystems like lagoons require preventive exploration and appropriate monitoring programs to ensure protection and restoration. Unfortunately, all Baltic lagoons have been identified as endangered biotopes in the HELCOM Red List (Baltic Marine Environment Protection Commission, 2013). The continuous rise in anthropogenic pressures has led to a significant decline in the quality of coastal lagoons, posing serious challenges to their resilience (Ligorini et al., 2022). Incidentally, it is pertinent to note that lagoons constitute an inherently unpredictable ecosystem characterized by conspicuous natural seasonal and diurnal variations in parameters (Voulvoulis et al., 2017).

It is well known that the use of ecotoxicological biomarkers at different levels of organism, organization allows for the prediction of the biological responses of organisms to environmental stressors, which is useful in environmental risk assessment (Pérez-Iglesias et al., 2023). For these reasons, ecotoxicologists suggest the use of effect-based approaches as tools for monitoring within the WFD (Milinkovitch et al., 2019).

Fish blood parameters are sensitive biomarkers of pollution-induced stress (Afiyah et al., 2023). Therefore, haematological parameters can be used as early-warning signals in aquatic ecosystem biomonitoring surveys (Witeska et al., 2022). Fish blood glucose level (GLU) is widely employed as a sensitive measure of environmental stress (Ohwofasa & German, 2023). As fish encounter stressful conditions, a physiological-biochemical adaptive mechanism is involved that enables the organism to cope with the disturbance and maintain homeostasis by mobilizing energy resources to facilitate the cellular and organismal response to physical threats or environmental challenges (Wu et al., 2017; Balasch & Tort, 2019). Haematocrit (HCT) is also regarded as an indicator of the secondary stress response and an excellent predictor of physiological changes and general health status in fish. The changes in HCT level depend on the type

© 2024 The Author(s). Published by Vilnius Gediminas Technical University. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

of stressor and stress duration to which the fish were exposed (Muñoz et al., 2018; Kim et al., 2019). Assessing stress responses is essential for understanding the impact of shifting environments on the health, performance, and welfare of fish, as well as how fish adapt physiologically to such changes (Makaras et al., 2022).

Organo-somatic and morphometric indices, such as condition factor (CF) and hepatosomatic index (HSI), are used as indicators of general fish health (Sadauskas-Henrique et al., 2021). The condition factor is used to assess the overall health and well-being of individual fish or all fish populations as well as partly reflecting feeding conditions. The HSI is the main indicator of metabolic activity in animals (Prakash & Verma, 2019). This index is widely known as a bio-indicator of contaminant exposure, which is expressed as liver size as a percentage of total body weight. The HSI is considered a sensitive indicator of fish's health status as it manifests changes at the tissue level (Gonino et al., 2019).

The Curonian Lagoon is the largest coastal lagoon in Europe. Unfortunately, it is known that the Curonian Lagoon is under high anthropogenic pressure (Jokšas et al., 2016). Due to low water exchange with the sea and high river discharge, the Curonian Lagoon is more vulnerable and susceptible to the effects of pollution (Vaikutienė et al., 2017). The main input of pollutants into the lagoon comes mainly from the Nemunas River, which provides more than 90% of the total water inflow (Manton et al., 2021). Agriculture is one of the biggest sources of pollution in the Nemunas River basin, accounting for 75–90% of total nitrogen (TN) and approximately 70% of total phosphorus (TP) runoff (Trehan, 2020). Also, sediment tests show polycyclic aromatic hydrocarbons, indicating low to moderate contamination near the Nemunas Delta. Not only is the Curonian Lagoon exposed to a potential risk of contamination from the Nemunas River basin, but it also suffers from anthropogenic sources from Klaipėda Port (Stakėnienė et al., 2019). The port houses several industrial facilities, including large stevedoring, shipbuilding, and ship repair companies. Intense industrial activities in the port could potentially have a significant impact on the ecological condition (Jokšas et al., 2019). The port impact zone was found to be contaminated with heavy metals (Jokšas et al., 2016), polycyclic aromatic hydrocarbons (Stakėnienė et al., 2016), organotin compounds (Raudonytė-Svirbutavičienė et al., 2023). Because of its importance to the Baltic Sea ecological status, the Curonian Lagoon is part of the state environmental monitoring program. Unfortunately, the Curonian Lagoon has not been comprehensively studied yet.

Fish are among the main target groups when conducting biomonitoring and ecological assessment of aquatic environments (Meng et al., 2023). The aim of this study was to evaluate the suitability of *Carassius gibelio* as a bioindicator species for biomonitoring in the Curonian Lagoon. To assess the health status of fish, haematological parameters (haematocrit), biochemical indicators (glucose), and physiological biomarkers (condition factor and hepatosomatic indexes) were evaluated. During this study, were selected two sites in the Curonian Lagoon. One research area was selected near Kiaulės Nugara Island, in the Klaipėda port impact zone and another area was in the central part of the Curonian Lagoon, near Cape Ventė, which is potentially affected by the Nemunas River and its pollution.

2. Materials and methods

Study area

The Curonian Lagoon, located in the southeast of the Baltic Sea, is a large (95 km in length and up to 48 km in width) shallow coastal body (mean depth of 3.8 m and maximum 5.8 m). It is the largest coastal lagoon in Europe, covering an area of about 1584 km^2. The Curonian Lagoon is connected to the sea by the narrow Klaipėda Strait and separated from the sea by the sandy Curonian Spit (Idzelytė et al., 2020). The locations of the study sites were chosen after an assessment of potential sources of pollution. One research area was selected near Kiaulės Nugara Island (55.640576, 21.150863), in the Klaipėda Port impact zone and another area was in the central part of the Curonian Lagoon, near Cape Ventė (55.346191, 21.193340), which is potentially affected by the Nemunas River and its pollution. The selected study locations are approximately 36 kilometers apart.

Sampling of fish

Carassius gibelio (Bloch, 1782) were collected using beach seine net in June 2023. At each research site, 11 fish were sampled, for a total of 22 fish. Immediately after capture, the fish blood samples were taken as described below and the fish were euthanized. All fish were measured to the nearest mm (total length) and weighed to the nearest gram (total weight). After this, fish were placed into a portable refrigerator with the ice, and transported to the laboratory, where dissection was performed. Fish liver weight was measured to the nearest decigram. Fish age was assessed based on growth curve presented by Cristina et al. (2016).

Haematological and biochemical biomarkers

Blood samples were taken from the caudal vein of fish using a disposable syringe (1 mL volume, washed with 3.8% sodium citrate) by drawing approximately 0.1 mL

of blood and then transferring to blood collection tubes. The concentration of GLU level in fish blood was determined using the automatic Glucose analyser (EKSAN-Gm, Analita, Joint-Stock Company Ltd, Lithuania). The minimum detection limit of the blood GLU method is from 2 to 30 mmol/L and the error for repeated measurements (precision) is ≤5 %. The minimal blood sample volume per measurement is 50 µL.

Haematocrit (HCT) level (packed cell volume, PCV) was measured using a routine method by Svobodova et al. (1991). The blood-filled heparinized capillary tubes were centrifuged for 5 min at 100,000 rpm using Microhaematocrit Centrifuge (Haematocrit 210, Hettich Zentrifugen, Germany), after which HTC was determined. The percentage value obtained in this way was multiplied by a coefficient of 0.01, and the resultant value was the HTC in L L^{-1}. Samples for glucose concentration and HTC level were analysed immediately after the blood collection.

Physiological parameters measurement

Condition factor (CF) and hepatosomatic (HSI) index were computed using the following formulas (ICES, 2011): CF = [[body mass (g) / (total length)^3] *100]; HSI = [LW / (BW – LW) *100]; where LW= weight of liver (g) and BW – fish body weight (g).

Statistical analysis

The data were statistically analysed using R Studio (2022.07.2+576) (ggplot2 3.3.6; readxl 1.4.1.; DescTools 0.99.46; rstatix 0.7.0 and ggpubr 0.6.0 packages). The normality of variable distributions was assessed using the Shapiro–Wilk test ($p > 0.05$). The homogeneity of variance was assessed by Levene's test. The Wilcoxon test (Wilcoxon signed-rank test) was used to determine statistical significance.

3. Results

Fish and their general characteristics

Gross morphometric and biological parameters, haematocrit (HCT), glucose (GLU), hepatosomatic index (HSI) and condition factor (CF) of *Carassius gibelio* are presented in Table 1.

Blood glucose and haematocrit levels

HCT and GLU levels were found to be higher for fish caught at Ventė Cape station. However, statistical analysis of HCT and GLU parameters showed no significant differences when comparing different study sites (HCT ($p = 0.340$), GLU ($p = 0.606$)) as shown in Figure 1.

Table 1. Results of morphometric and biological parameters, haematological, biochemical, and other non-specific biomarkers of *C. gibelio* from different study sites (mean ± SD)

	Kiaulės Nugara Island	Ventė Cape
Morphometric and biological parameters		
Length, cm	17.30 ± 0.837	21.40 ± 4.164
Weight, g	95.43 ± 14.581	205.18 ± 116.835
Age	3.2 ± 0.4	3.8 ± 0.98
Biomarkers		
HCT, L-L^{-1}	0.25 ± 0.038	0.26 ± 0.040
GLU, mmol/L	5.30 ± 1.259	6.57 ± 2.883
HSI	3.33 ± 0.998	2.67 ± 0.830
CF	1.84 ± 0.151	1.92 ± 0.168

Condition factor and hepatosomatic index

For fish caught at Klaipėda port, near Kiaulės Nugara Island, study station were established higher HSI, but lower CF, compared to the fish caught in Ventė Cape station. The statistical analysis revealed no significant differences between the fish collected at different sites for both parameters: CF ($p = 0.243$) and HSI ($p = 0.151$), as depicted in Figure 2.

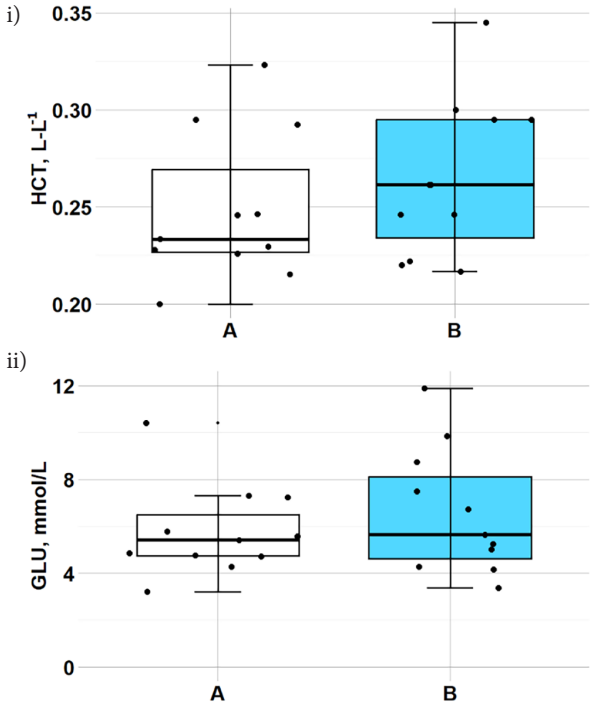


Figure 1. Box plots of *Carassius gibelio* haematological and biochemical parameters (minimum, 25th percentile, median, 75th percentile and maximum values, n = 11). i) haematocrit (HCT, L-L^{-1}); ii) glucose level (GLU, mmol/L). Letters indicate research sites near (A) Kiaulės Nugara Island; and (B) Ventė Cape

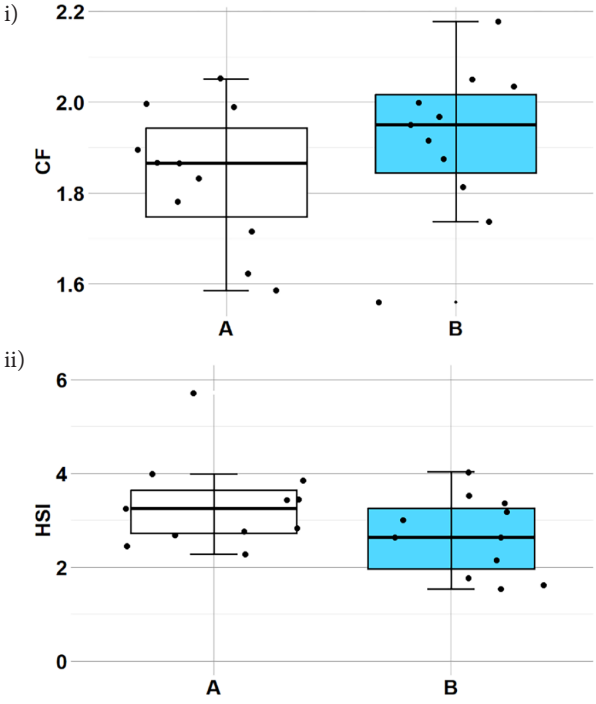


Figure 2. Box plot of *C. gibelio* physiological parameters (minimum, 25th percentile, median, 75th percentile and maximum values, n = 11). i) condition factor (CF); ii) hepatosomatic index (HSI) Letters indicate research sites near (A) Kiaulės Nugara Island; (B) Ventė Cape

4. Discussion

In the present study, the suitability of *C. gibelio* as a bioindicator in Curonian Lagoon biomonitoring surveys was evaluated using different (biochemical, haematological, physiological) biomarkers. Pollution from the Nemunas River basin and Klaipėda Port pose the greatest threat to the Curonian Lagoon (Stakėnienė et al., 2019), so study locations were chosen accordingly. Even though the fish were caught in study stations with different main sources of potential pollution, no statistically significant differences were found in any of the biomarkers studied between the two sampling stations. However, it is important to note that fluctuations in GLU and HSI biomarkers responses were observed, depending on the study location. Blood GLU level increases when fish are stressed by toxic substances or other stressors. For example, a change in glucose levels indicates that gluconeogenesis is occurring in the body, which leads to reduced glucose absorption and indicates liver dysfunction (Hamed et al., 2019). Previous studies have shown that normal blood GLU level in cyprinid fish ranges from 2 to 5 mmol/L mmol/L (Patriche, 2009). In this study, no statistically significant differences were found, but GLU concentrations higher than 5 mmol/L were detected in *C. gibelio* from both study stations, particularly close to Ventė Cape. The area closest to Klaipėda port had the highest average quantities of heavy metals. (Jokšas et al., 2016). Sediment tests reveal the presence of polycyclic aromatic hydrocarbons, indicating low to moderate pollution, as well as significant quantities of naphthalene, which has been linked to adverse biological impacts in the Nemunas Delta region near Ventė Cape (Stakėnienė et al., 2019).

According to the assessment of HCT levels, no differences were observed in fish from both research areas. The results are challenging to interpret due to the limited amount of research available. Previous research has indicated that *C. gibelio* had an average HCT value of 0.227 under laboratory settings (Nikolov & Boyadzieva-Doichinova, 2010). Environmental toxins can increase or decrease haematocrit levels in fish (Witeska et al., 2022), although these fluctuations are heavily influenced by factors such as water temperature, fish species, nutrition, weight, and activity (Seibel et al., 2021).

The HSI and CF are important indicators that help assess how species obtain resources from their habitat, their general well-being, and their adaptation to the environment. This is the first study to analyse HSI and CF in *C. gibelio* caught in a lagoon ecosystem. Based on data from other studies, in the autumn, the average HSI value for *C. gibelio* in a polluted river site was found to be 5.44, while in an unpolluted river, it was – 5.87. Correspondingly, these HSI values changed in the spring to 2.36 at the contaminated site and 1.44 at an unpolluted river site. These results show that the HSI value is significantly reduced during the autumn season, indicating site contamination (Mijošek et al., 2021). The HSI values obtained in this study are difficult to assess because it is known that HSI exhibits a clear seasonal pattern. In general, the HSI is higher in the summer than in other seasons because fish are actively feeding and metabolizing energy during this time. Further on, a higher CF value indicates without a doubt that the fish is in an improved condition. In a study conducted in uncontaminated lakes, CF values ranged between 1.61–1.64 for *C. gibelio* (Jelkić & Opačak, 2023). The mean CF values in this study did not show the potential impacts of environmental contamination. It is important to emphasize that HSI in fish from both study sites does not indicate the effects of chemical pollution and together with CF may indicate a good capacity of *C. gibelio* to cope with stress (Tenji et al., 2020).

Studies of different biomarker responses in *C. gibelio* show potential environmental pollution risks to fish health, but also demonstrate that *C. gibelio* is resilient to environmental contamination. The research results underscore the importance of studying the impact of Curonian Lagoon water quality on fish health. To comprehensively evaluate the status in the Curonian Lagoon, a wider variety of blood parameters must be evaluated.

Also, it is important to consider seasonal variations when evaluating biomarkers. Furthermore, *C. gibelio* is noted for its exceptional tolerance to environmental conditions. As a result, in addition to conducting biomonitoring surveys using various biomarkers, it is also necessary to analyse a wider range of fish species in order to gain a comprehensive understanding of potential environmental pollution risks and their impact on fish health and the ecosystem as a whole.

5. Conclusions

1. No significant differences were found in all biomarker responses of *Carassius gibelio* between two sites in the Curonian Lagoon.

2. Due to its high tolerance to environmental contamination, *C. gibelio* cannot be recommended as a suitable bioindicator and is not recommended for biomonitoring studies of the Curonian Lagoon.

3. It is important to identify reliable fish species for inclusion in pursuance of understanding, assessing, and predicting environmental impacts on lagoon ecosystems.

Acknowledgements

This study was funded by the Research Council of Lithuania (Lithuania) through the project S-BIODIVERSA-23-1.

References

Afiyah, Fira, M. D., Santanumurti, M. B., Jamal, M. T., Muttaqin, A., Subekti, S., & Sari, P. D. W. (2023). Blood glucose profile as a rapid method for observing Koi carp (Cyprinus carpio) health status – Case study of ectoparasites in Blitar, Indonesia. *Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária, 32*(2), Article e014622. https://doi.org/10.1590/s1984-29612023019

Balasch, J. C., & Tort, L. (2019). Netting the stress responses in fish. *Frontiers in Endocrinology, 10*. https://doi.org/10.3389/fendo.2019.00062

Baltic Marine Environment Protection Commission. (2013). *HELCOM Copenhagen Ministerial Declaration*. https://helcom.fi/wp-content/uploads/2019/08/2013-Copenhagen-Ministerial-Declaration-w-cover-1.pdf

European Commission. (2023). *Water framework directive. Environment*. https://environment.ec.europa.eu/topics/water/water-framework-directive_en

European Environment Agency. (2008). *Marine strategy framework directive 2008/56/EC*. https://www.eea.europa.eu/policy-documents/2008-56-ec

Gonino, G., Branco, P., Benedito, E., Ferreira, M. T., & Santos, J. M. (2019). Short-term effects of wildfire ash exposure on behaviour and hepatosomatic condition of a potamodromous cyprinid fish, the Iberian barbel Luciobarbus bocagei (Steindachner, 1864). *Science of the Total Environment, 665*, 226–234. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.108

Hamed, M., Soliman, H. A. M., Osman, A. G. M., & Sayed, A. E.-D. H. (2019). Assessment the effect of exposure to microplastics in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) early juvenile: I. blood biomarkers. *Chemosphere, 228*, 345–350. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.04.153

Ibanescu Gheorghe, D. C., Nica, A., Cristea, V., Răzlog, G. P. (2016). Growth and mortality estamation parameters for the Prusian carp (*Carassius gibelio*, Bloch, 1782) population from Danube river (km 170–196). *Lucrări Ştiinţifice – Seria Zootehnie*, *57*.

Idzelytė, R., Mėžinė, J., Zemlys, P., & Umgiesser, G. (2020). Study of ice cover impact on hydrodynamic processes in the Curonian Lagoon through numerical modeling. *Oceanologia, 62*(4), 428–442. https://doi.org/10.1016/j.oceano.2020.04.006

Jelkić, D., & Opačak, A. (2023, June 30). Sezonske promjene kondicijskoga i gonadosomatskog indeksa Carassius gibelio u parku prirode Kopački rit, Hrvatska. *Poljoprivreda, 29*(1), 43–48. https://doi.org/10.18047/poljo.29.1.6

Jokšas, K., Galkus, A., & Stakėnienė, R. (2016). Heavy metal contamination of the Curonian Lagoon bottom sediments (Lithuanian waters area). *BALTICA, 29*(2), 107–120. https://doi.org/10.5200/baltica.2016.29.10

Jokšas, K., Stakėnienė, R., & Raudonytė-Svirbutavičienė, E. (2019). On the effectiveness of tributyltin ban: Distribution and changes in butyltin concentrations over a 9-year period in Klaipėda Port, Lithuania. *Ecotoxicology and Environmental Safety, 183*, Article 109515. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109515

Kim, J. H., Choi, H., Sung, G., Seo, S. A., Kim, K. I., Kang, Y. J., & Kang, J. C. (2019). Toxic efects on hematological parameters and oxidative stress in juvenile olive founder, *Paralichthys olivaceus* exposed to waterborne zinc. *Aquaculture Reports, 15*, Article 100225. https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2019.100225

Ligorini, V., Malet, N., Garrido, M., Derolez, V., Amand, M., Bec, B., Cecchi, P., & Pasqualini, V. (2022). Phytoplankton dynamics and bloom events in oligotrophic Mediterranean lagoons: Seasonal patterns but hazardous trends. *Hydrobiologia, 849*(10), 2353–2375. https://doi.org/10.1007/s10750-022-04874-0

Makaras, T., Jurgelėnė, Ž., Pakštas, V., & Šemčuk, S. (2022). Interacting effects of graphene oxide derivatives and trace metals on Freshwater Brown Trout (Salmo Trutta L.) behaviour at different stages of development. *SSRN Electronic Journal*. https://doi.org/10.2139/ssrn.4100155

Manton, M., Makrickas, E., Banaszuk, P., Kołos, A., Kamocki, A., Grygoruk, M., Stachowicz, M., Jarašius, L., Zableckis, N., Sendžikaitė, J., Peters, J., Napreenko, M., Wichtmann, W., & Angelstam, P. (2021, February 8). Assessment and spatial planning for peatland conservation and restoration: Europe's trans-border Neman River Basin as a case study. *Land, 10*(2), Article 174. https://doi.org/10.3390/land10020174

Meng, H., Lin, Y., Zhong, W., Zhao, Z., Shen, L., Ling, Z., Zhao, K., & Xu, S. (2023). Fish biomonitoring and ecological assessment in the Dianchi Lake Basin based on environmental DNA. *Water, 15*(3), Article 399. https://doi.org/10.3390/w15030399

Mijošek, T., Filipović Marijić, V., Dragun, Z., Ivanković, D., Krasnići, N., Redžović, Z., & Erk, M. (2021, March). Intestine of invasive fish Prussian carp as a target organ in metal

exposure assessment of the wastewater impacted freshwater ecosystem. *Ecological Indicators, 122*, Article 107247. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107247

Milinkovitch, T., Antognarelli, F., Lacroix, C., Marras, S., Satta, A., Le Floch, S., & Domenici, P. (2019). The effect of hypoxia and hydrocarbons on the anti-predator performance of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Environmental Pollution, 251*, 581–590. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.05.017

Muñoz, J. F., Gade, L., Chow, N. A., Loparev, V. N., Juieng, P., Berkow, E. L., Farrer, R. A., Litvintseva, A. P., & Cuomo, C. A. (2018). Genomic insights into multidrug-resistance, mating and virulence in Candida auris and related emerging species. *Nature Communications, 9*(1), Article 5346. https://doi.org/10.1038/s41467-018-07779-6

Nikolov, B., & Boyadzieva-Doichinova, D. (2010). Parameters of the red blood cell count in three species of carp fishes. *Bulgarian Journal of Agricultural Science, 16*(3), 307–310.

Ohwofasa, I. T., & German, I. C. (2023). Anthropogenic activity and aquatic health with references to hepatotoxicity and endocrine disruption in Chrysichyths furcatus. *Journal of Health Science Research, 8*(1), 11–18.

Patriche, I. (2009). The importance of glucose determination in the blood of the cyprinids. *Lucrări ştiinţifice Zootehnie şi Biotehnologii, 42*(2). https://www.spasb.ro/index.php/public_html/article/download/1450/1380

Pérez-Iglesias, J. M., Natale, G. S., Brodeur, J. C., & Larramendy, M. L. (2023). Realistic scenarios of pesticide exposure alters multiple biomarkers in boana pulchella (anura) adult frogs. *Ecotoxicology, 32*(3), 309–320. https://doi.org/10.1007/s10646-023-02639-6

Prakash, S., & Verma, A. (2020). Length-weight relationships and condition factors of fresh water fishes of Baghel Taal of Bahraich (u.p.), India. *Journal of Experimental Zoology India, 22*(1), 343–345.

Raudonytė-Svirbutavičienė, E., Jokšas, K., & Stakėnienė, R. (2023, May). On the effectiveness of tributyltin ban part II: Temporal and spatial trends of organotin pollution in intense sediment accumulation areas and dumping sites of the Baltic Sea. *Journal of Hazardous Materials Advances, 10*, Article 100294. https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2023.100294

Sadauskas-Henrique, H., Souza-Bastos, L. R., & Silva, G. S. (2021). Chapter Seven – Oil and derivatives. In F. S. B. Kibenge, B. Baldisserotto, & R. Chong (Eds.), *Aquaculture toxicology* (pp. 133–187). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821337-7.00001-3

Seibel, H., Baßmann, B., & Rebl, A. (2021). Blood will tell: What Hematological analyses can reveal about fish welfare. *Frontiers in Veterinary Science*, *8*. https://doi.org/10.3389/fvets.2021.616955

Stakėnienė, R., Jokšas, K., Galkus, A., & Raudonytė-Svirbutavičienė, E. (2016, February 16). Aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons in the bottom sediments from Klaipėda Harbour, Lithuania (Baltic Sea). *Chemistry and Ecology, 32*(4), 357–377. https://doi.org/10.1080/02757540.2016.1142977

Stakėnienė, R., Jokšas, K., Galkus, A., & Raudonytė-Svirbutavičienė, E. (2019). Polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediments from the Curonian Lagoon and the Nemunas River Delta (Lithuania, Baltic Sea): Distribution, origin, and suggestions for the monitoring program. *Environmental Monitoring and Assessment, 191*(4). https://doi.org/10.1007/s10661-019-7367-6

Svobodova, Z., Pravda, D., & Palackova, J. (1991). *Unified methods of haematological examination of fish*. Research Institute of Fish Culture and Hydrobiology.

Tenji, D., Mićić, B., Sipos, S., Miljanović, B., Teodorović, I., & Kaisarevic, S. (2020). Fish biomarkers from a different perspective: Evidence of adaptive strategy of *Abramis brama* (L.) to chemical stress. *Environmental Sciences Europe, 32*, Article 47. https://doi.org/10.1186/s12302-020-00316-7

Trehan, M. (2020). *Analysis of River Basin management plan for the Neman River and discussion, how Peatland Rewetting as a measure for improvement of water quality could be considered*. https://www.moorwissen.de/files/doc/Projekte%20und%20Praxis/desire/RMBP-report-1.pdf

Vaikutienė, G., Skipitytė, R., Mažeika, J., Martma, T., Garbaras, A., Barisevičiūtė, R., & Remeikis, V. (2017). Environmental changes induced by human activities in the Northern Curonian Lagoon (Eastern Baltic): Diatoms and stable isotope data. *Estonian Journal of Earth Sciences,* 99–108 https://doi.org/10.3176/earth.2017.07

Voulvoulis, N., Arpon, K. D., & Giakoumis, T. (2017). The EU Water Framework Directive: From great expectations to problems with implementation. *Science of The Total Environment, 575*, 358–366. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.228

Witeska, M., Kondera, E., Ługowska, K., & Bojarski, B. (2022). Hematological methods in fish – not only for beginners. *Aquaculture, 547*, Article 737498. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737498

Wu, H., Ohnuki, H., Ota, S., Murata, M., Yoshiura, Y., & Endo, H. (2017). New approach for monitoring fish stress: A novel enzyme-functionalized label-free immunosensor system for detecting cortisol levels in fish. *Biosensors and Bioelectronics, 93*, 57–64. https://doi.org/10.1016/j.bios.2016.10.001

CARASSIUS GIBELIO HEMATOLOGINIŲ IR BIOCHEMINIŲ STRESO BIOŽYMENŲ BEI FIZIOLOGINIŲ RODIKLIŲ ĮVERTINIMAS KURŠIŲ MARIŲ PAKRANTĖS ZONOSE

V. ŽVYNAKYTĖ, J. PAŽUSIENĖ, J. DAINYS, M. STANKEVIČIŪTĖ

Santrauka. Šiuo tyrimu siekta įvertinti *Carassius gibelio*, palyginti tolerantiškos taršai žuvų rūšies, sveikatos būklę didžiausioje Europos priekrantės lagūnoje – Kuršių mariose. Buvo vertinami hematologiniai (hematokrito kiekis), biocheminiai (gliukozės koncentracija), fiziologiniai (kepenų somatinis indeksas, įmitimo koeficientas) rodikliai kaip patikimi žuvų reakcijos į stresą biožymenys. Žuvys buvo gaudomos pietinėje marių pakrantėje ties Klaipėdos uostu, netoli Kiaulės nugaros salos, ir centrinėje Kuršių marių dalyje ties Ventės ragu. Vertinant biožymenų atsakus žuvyse reikšmingų skirtumų tarp tirtų stočių nenustatyta. Todėl nerekomenduojama *C. gibelio* rūšies naudoti kaip aplinkos taršos bioindikatoriaus.

Reikšminiai žodžiai: žuvys, marios, gliukozė, hematokritas, įmitimo koeficientas.

VILNIUS TECH
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

27-oji Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis" teminė konferencija
Proceedings of the 27th Conference for Junior Researchers "Science – Future of Lithuania"

DARNI APLINKA / SUSTAINABLE ENVIRONMENT

2024 m. balandžio 25 d., Vilnius, Lietuva
25 April 2024, Vilnius, Lithuania

ISSN 2029-7157 / eISSN 2029-7149
eISBN 978-609-476-359-5
https://doi.org/10.3846/da.2024.002

Aplinkos apsaugos inžinerija / Environmental Protection Engineering *https://vilniustech.lt/346238*

AGLOMERAVIMO PROCESAIS PAREMTŲ DUJŲ SRAUTO VALYMO TECHNOLOGIJŲ TAIKYMAS IR PALYGINIMAS

Stanislovas ZDANEVIČIUS[1], Aleksandras CHLEBNIKOVAS[2*]

[1]*Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Mechanikos fakultetas, Mechanikos ir medžiagų inžinerijos katedra, Vilnius, Lietuva*
[2]*Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Mechanikos fakultetas, Mechanikos mokslo institutas, Vilnius, Lietuva*
[*]*El. paštas aleksandras.chlebnikovas@vilniustech.lt*

Gauta 2024 m. kovo 4 d.; priimta 2024 m. kovo 18 d.

Santrauka. Aplinkos oro kokybė yra laikoma vienu iš tvarios gyvensenos rodiklių. Kietosioms dalelėms šalinti plačiai taikomos tradicinės valymo technologijos, pagrįstos gravitaciniu, išcentriniu, elektrostatiniu ir kitais veikimo principais. Šios technologijos nėra efektyvios šalinant žmogui žalingas, ultrasmulkias, iki 1 µm, kietąsias daleles iš dujų srauto. Tokio tipo kenksmingus žmogui ir aplinkai smulkiųjų dalelių teršalus galima paveikti akustine ar elektros lauko aglomeracija. Vykstant aglomeracijai smulkios dalelės susijungia į didesnę, vientisą dalelę, kurią galima efektyviai nusodinti ir (arba) pašalinti iš dujų srauto tradicinėmis valymo technologijomis. Įvairiose pramonės šakose taikoma aglomeracija gali paversti dulkių frakcijas arba sunkiai apdorojamas medžiagas lengviau valdoma forma. Darbe analizuojamos aktualios, kenksmingiausios žmogui kietosios dalelės, kurių dydis yra nuo 2 µm iki 10 µm, taip pat įvairių aglomeracijos tipų taikymo būdai, kuriais apdorojamas pirminis dujų srautas prieš valymą paveikiant dujų sraute esančias smulkiąsias daleles. Remiantis pasauline literatūra buvo aptartos įvairių tipų aglomeracijos technologijos.

Reikšminiai žodžiai: kietosios dalelės, akustinė aglomeracija, elektros lauko aglomeracija, dujų srautas.

1. Įvadas

Aplinkos oro kokybė yra laikoma vienu iš tvarios gyvensenos rodiklių. Vykstant pramonės revoliucijai absoliučios daugumos gamybos technologinių procesų metu susidaro kenksmingi žmogui ir aplinkai teršalai.

Smulkiadispersės kietosios dalelės (mažesnės nei 5 µm) (SDKD) ir ultrasmulkios kietosios dalelės (mažesnės nei 1 µm) (USKD) lengvai patenka į plaučius bei kvėpavimo takus. Kenksmingiausios žmogui kietosios dalelės, kurių dydis yra iki 2 µm (Brunetti et al., 2020; Fiordelisi et al., 2017).

Kietosioms dalelėms (KD) nusodinti plačiai taikomos tradicinės filtravimo technologijos, pagrįstos gravitaciniu, išcentriniu, elektrostatiniu ir kitais veikimo principais. Šiais principais veikiantys filtrai yra tinkami stambesnėms nei 2,5 µm KD šalinti (Yang et al., 2010). Susiduriama su problema, kad smulkiųjų frakcijų šalinimo iš dujų srauto efektyvumas nėra pakankamas, atsižvelgiant į rekomenduojamas emisijų normas ir ateities perspektyvas mažinti šio pobūdžio taršą. Taip pat esamos technologijos nėra pritaikytos arba nėra efektyvios esant plataus diapazono ir (arba) didelės koncentracijos KD srautui, todėl yra būtinas pirminis užteršto dujų srauto valymas arba specialus apdorojimas prieš pasitelkiant jau minėtas plačiai taikomas filtravimo technologijas (Guo et al., 2017).

Tyrimo tikslas – išanalizuoti taikomus aglomeravimo metodus, jais paremtų technologijų privalumus ir trūkumus bei galimybes taikyti siekiant SDKD paveikti prieš dujų srauto valymo procesą.

2. Aglomeravimo technologijos

Siekiant pagerinti KD filtravimo efektyvumą galima pasitelkti įvairias aglomeracijos technologijas, kurios leidžia padidinti KD prieš joms patenkant į valymo įrenginius. Galimos aglomeracijos technologijos yra šios: elektros lauko aglomeracija (Jia et al., 2024; Thonglek & Kiatsiriroat, 2014), cheminė aglomeracija (Guo et al.,

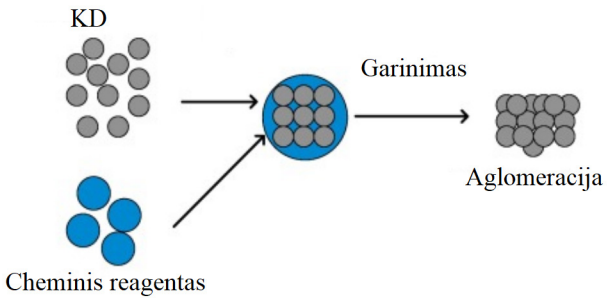
© 2024 Autoriai. Leidėjas Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Šis straipsnis yra atvirosios prieigos straipsnis, turintis Kūrybinių bendrijų (Creative Commons) licenciją (CC BY 4.0), kuri leidžia neribotą straipsnio ar jo dalių panaudą su privaloma sąlyga nurodyti autorių ir pirminį šaltinį.

2017; Liu et al., 2016), heterogeninė kondensacinė aglomeracija (Yang et al., 2010), turbulentinė aglomeracija (Chen et al., 2016; Sun et al., 2020) ir akustinė aglomeracija (Ng et al., 2017; Sheng & Shen, 2007).

Elektros lauko aglomeracijos procese dvifazį srautą sudarančiame dujų sraute tvyrančios kietosios aerozolio dalelės patenka tarp plokščių elektrodų, tarp kurių sukuriamas dvipolis elektrinis laukas, paduodant kintamąją elektros įtampą, į lauką patekusios KD pradeda aglomeruotis. Aglomeracijos efektyvumą galima koreguoti keičiant paduodamos įtampos dydį, maitinimo įtampos dažnį ir reguliuojant pratekančio per įrenginį (aglomeratorių) dujų srauto greitį. Keičiant įrenginio parametrus buvo bandoma rasti didžiausią aglomeracijos efektyvumą (Jia et al., 2024).

Naudojant elektrostatinį lauką KD efektyviausiai aglomeruojasi nuo 200 nm iki 1 μm (Jaworek et al., 2018). Moksliniame tyrime (Lin et al., 2020) taip pat teigiama, kad elektros lauko aglomeracija yra efektyviausia nuo 100 nm iki 1 μm USKD. Elektros lauko aglomeraciją galima taikyti USKD 40,2 % efektyvumu, pasirinkus 45 Hz dažnį ir 9 kV/cm kintamos srovės lauką, efektyvios aglomeracijos ribos yra 0,1–20 μm KD.

Atliekant cheminio aglomeravimą į užterštą KD dujų srautą įpurškiamas cheminis reagentas (1 paveikslas). KD susidūrimui ir aglomeracijai skatinti pasitelkiami fiziniai ir cheminiai procesai. Taikant tokią cheminio aglomeravimo technologiją yra galimybė sulipinti KD į didesnius darinius (Bin et al., 2018; Guo et al., 2017).



1 paveikslas. Cheminio aglomeravimo principinė schema

Cheminės aglomeracijos sistema dažniausiai sudaryta iš cheminės aglomeracijos kameros, tiekimo sistemos, šildymo sistemos, purškimo pistoleto, tirpalo laikymo bako, oro kompresorius ir pastovaus srauto siurblio. Purškimo pistoletas sudarytas iš dvigubo srauto purškimo antgalio. Antgalyje sumaišomas cheminis reagentas ir suslėgtas oras. Antgalis pagamintas iš nerūdijančio plieno. Skysčiui ir dujoms transportuoti buvo naudojami du vamzdžiai. Vienas vamzdis buvo prijungtas prie tirpalo laikymo bako, o kitas – prie oro kompresoriaus. Šildymo sistema buvo naudojama dujų srautui šildyti nuo 50 °C iki 200 °C. Cheminis reagentas purškiamas į cheminės aglomeracijos kamerą, veikiant suslėgto oro jėga (0,8 MPa). Buvo pasirinkti šie reagentai: ksantano derva ($C_{35}H_{49}O_{29}$, XTG), kapa karageninas ($C_{24}H_{36}O_{25}S_2$, KC), poliakrilamidas ($(C_2H_5ON)_n$, PAM), konjako gliukomananas ($(C_6H_{10}O_5)_n$, KGM), nejoninė aktyvioji paviršiaus medžiaga *Triton X-100* ($C_{34}H_{62}O_{11}$, TX-100), anijoninė aktyvioji paviršiaus medžiaga natrio dodecilo sulfatas ($C_{12}H_{25}SO_4Na$, SDS) ir chloridas (natrio chloridas, SDS) (Guo et al., 2017).

Norint įvertinti aglomeracijos poveikį skirtingoms cheminėms aglomeracijos priemonėms, garavimo temperatūra buvo nustatyta 150 °C (Bin et al., 2018).

Eksperimentinio tyrimo rezultatai parodė, kad natrio alginato tirpalas yra efektyviausias. Aglomeravimo efektyvumas nuo 0,1 iki 1 μm dydžio SDKD yra 62,9 % nepridedant cheminių medžiagų, o pridedant vandenį 68,1 %, pektiną 77,6 % ir natrio alginatą efektyvumas sudaro 82,8 % (Bin et al., 2018). Taikant cheminę aglomeraciją galima efektyviai aglomeruoti KD, kurių dydis yra nuo 0,03 iki 10 μm (Sun et al., 2019).

Heterogeninė kondensacinė aglomeracija susideda iš garų kondensato ir KD, taip yra sukuriamas aglomeruotas kietųjų dalelių aerozolis (Yang et al., 2010). Atliekant heterogeninės kondensacinės aglomeracijos tyrimus buvo naudojamos išmetamosios dujos, kurių tūrinis srautas yra 70 N m^3 h^{-1}, jos buvo generuojamos anglimi kūrenamu katilu. Prieš patekdamos į cikloną, išmetamosios dujos pereidavo per specialų indą, kuriame naudojant maišyklę ir elektrinį šildytuvą buvo užtikrinta pastovi dalelių koncentracija ir dydžio pasiskirstymas bei reguliuojama išmetamųjų dujų temperatūra. Ciklone nuo išmetamųjų dujų buvo atskirtos dalelės, kurių dydis buvo didesnis nei 10 μm (Yang et al., 2010).

Heterogeninis kondensavimas kaip išankstinio kondicionavimo būdas ypač tinka dujų srautams, kuriuose yra daug drėgmės. Ši technologija idealiai tinka aukštos temperatūros ir didelės drėgmės užterštam dujų srautui aglomeruoti, pavyzdžiui, sudrėkusioms dulkėms šalinti. Atlikti tyrimai parodė, kad katile susidarantys dūmai kartu neša pelenų KD, kurių dydis nuo 2,5 iki 10 μm. Po aglomeracijos bendras išmetamųjų dujų srauto KD tūris sumažėjo 57,64 %. Taikant šią technologiją galima efektyviai aglomeruoti nuo 0,2 iki 10 μm KD (Liu et al., 2017).

Kito tyrimo metu tirtos mažesnės USKD, kurių dydis buvo 1 μm, ir buvo pasiektas 15 proc. aglomeracijos efektyvumas (Xu et al., 2020).

Taikant turbulentinę aglomeraciją, kai skirtingų dydžių KD įgyja skirtingą greitį ir trajektorijas dėl greičio gradiento turbulentiniame srauto lauke, jos susiduria ir aglomeruojasi (Sun ir kt., 2020).

Turbulentinei aglomeracijai reikalingas karštas dujų srautas, tiekiamas į sistemą iš dujinio šildytuvo, kurio temperatūra gali būti pakelta iki 300 °C, esant 300 Nm^3/val. srautui. Akmens anglies KD buvo tiekiamos kieto aerozolio generatoriumi (SAG 410/U). Tada išmetamosios dujos pateko į turbulentinę aglomeracijos sistemą, smulkios KD dujų sraute aglomeravosi. Turbulentinė aglomeracijos sistema susideda iš kelių vožtuvų ir trijų eilių turbulentinių aglomeratorių. Reguliuojant vožtuvus galima reguliuoti išmetamųjų dujų srautą. Tyrimo metu dujų greitis buvo palaikomas 10 m/sek. Išmetamųjų dujų temperatūrą prie turbulentinės aglomeracijos sistemos įėjimo nustačius 150°, mažesnių nei 1 μm dalelių skaičiaus koncentracija sumažėjo 30,4 proc. Taip pat efektyviai galima aglomeruoti nuo 1 iki 10 μm KD.

Akustinė aglomeracija – tai procesas, kuriam vykstant akustinės bangos paveikia ore sklindančių KD judėjimą ir skatina jų susidūrimus, dėl to susidaro aglomeratai. Susiformavę nauji KD dariniai ir toliau aglomeruojasi ir sukelia dalelių pakopinį augimą (Ng et al., 2017). Akustiniame lauke dalelės yra veikiamos skirtingų ortokinetinės ir hidrodinaminės sąveikos mechanizmų (2 paveikslas), o kiti efektai, tokie kaip akustinis srautas ir turbulencija, dar labiau skatina koaguliacijos procesą. Po susidūrimo dalelės greičiausiai sulips dėl netaisyklingų struktūrų susiliejimo ir tarpmolekulinių traukos jėgų. Dėl diferencinių skysčių ir inercijos jėgų akustinio lauko virpesiuose dalelės virpa skirtingomis amplitudėmis ir fazėmis. Santykiniai judesiai sukelia skirtingo dydžio dalelių susidūrimus (2 paveikslas) (Ng et al., 2017; Sheng & Shen, 2007).

Ortokinetiniai mechanizmai veikia tarp skirtingo dydžio dalelių, esančių atstumu, kuris yra maždaug lygus akustinio lauko poslinkio amplitudei, ir jų santykinis judėjimas iš esmės yra lygiagretus vibracijos krypčiai (Sheng & Shen, 2007).

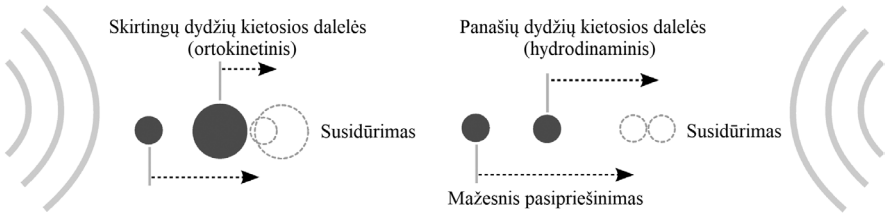
Hidrodinaminės sąveikos mechanizmas nusako susidūrimus, vykstančius dėl klampios dalelių ir jas supančios terpės sąveikos. Susidurti gali ir dalelės, kurias skiria daug didesnis atstumas nei jų akustinio poslinkio amplitudės. Spinduliuotės slėgio sąveika atsiranda dėl netiesinės sąveikos tarp krintančių ir išsibarsčiusių bangų, kurios padalija garso impulsą aplinkinėms KD. Dėl to skirtingose dalelės pusėse susidaro slėgio gradientai ir taip aplink KD susiformuoja traukos ir atstūmimo zonos (Hoffmann & Koopmann, 1997). Akustinis pažadinimo efektas lemia netiesinę išsklaidytų bangų sąveiką ir pasipriešinimo sumažėjimą, kurį patiria iš galo sklendžianti dalelė, keliaujanti link pirmaujančios dalelės. Dėl to iš paskos judanti dalelė didesniu greičiu priartėja prie pirmaujančios dalelės ir jos susidūrusios sulimpa (2 paveikslas). Šis poveikis yra reikšmingas KD aglomeracijai esant dideliam akustiniam intensyvumui ir panašaus dydžio dalelėms (Ng et al., 2017).

Pagrindinę akustinės aglomeracijos įrenginio dalį sudaro vėjo tunelis, aglomeracijos zona, filtras ir ventiliatorius tunelio gale. Vėjo tunelyje suprojektuotas reguliuojamas susitraukimas prie įėjimo, difuzoriaus išleidimo angoje, ir metro ilgio bandymo sekcija, kurios vidiniai matmenys yra 18,5 cm x 18,5 cm. Dujų srautą sukelia tunelio gale esantis ventiliatorius (FSA200/CM), kurio greitis valdomas dažnio keitikliu. Dujų srauto greitis bandymo sekcijoje matuojamas terminiu anemometru (TSI TA430), kuris taip pat gali matuoti temperatūrą. Šie matavimai stebimi prieš aglomeracijos zoną ir po jos. Dalelių skaičius prieš bandomuosius filtrus ir po jų matuojamas naudojant aerozolių spektrometrą (GRIMM, 1.109). Spektrometras matuoja daleles nuo 0,25 μm iki 32 μm 31 dydžio kanalais ir yra sujungtas su kompiuteriu, kuriame veikia GRIMM spektrometras (Ng et al., 2017).

Aukšto dažnio (6,4 kHz) garso bangomis, kurių maksimalus garso slėgio lygis siekia 140 dB, galima paveikti 0,4–0,5 μm dydžio SDKD, judančias su dujų srautu akustiniame lauke, ir paversti jas 0,6–0,8 μm aglomeratais, pasiekiant iki 16 % efektyvumą. Naudojant akustinę aglomeraciją galimą efektyviai aglomeruoti KD nuo 0,06 μm iki 0,8 μm (Ng et al., 2017). Didžiausias efektyvumas pasiekiamas, kai akustinio slėgio lygis yra labai siaurame dažnių diapazone nuo 150 iki 160 dB. Tačiau dar aukštesnio lygio garso bangoms reikia kur kas daugiau energijos ir jos sukelia didelę triukšmo taršą (Xu et al., 2023).

3. Aglomeravimo technologijų analizė

Atliekant elektros lauko aglomeracijos tyrimus buvo pastebėta, kad esant 30 kV maitinimo įtampai



2 paveikslas. Ortokinetiniai ir hidrodinaminiai mechanizmai (Ng et al., 2017)

aglomeracijos efektyvumas smarkiai sumažėja – nuo 64 % iki 42 %, kai srauto greitis padidėja nuo 1 m/s iki 5 m/s (Jia et al., 2024).

Dalelių krūvis, migracija ir elektrostatinė aglomeracija gali būti pagerinti padidinus elektrinio lauko intensyvumą, o dalelių susidūrimas gali būti sustiprintas padidinus dujų srauto greitį.

Dalelių aglomeracijos efektyvumas pagerėja padidėjus elektrinio lauko stiprumui (Chang et al., 2023). Taip pat aglomeracijos efektyvumas kyla, kai didėja bendra masės koncentracija ir dalelių buvimo laikas aglomeratoriuje (Hautanen et al., 2010). Stebint skirtingų dydžių kietąsias daleles buvo nustatyta, kad neturinčios krūvio kietosios dalelės lengvai paslysta per didesnes daleles; kai dalelėms yra suteikiamas skirtingo poliariškumo krūvis, jų susidūrimo tikimybė stipriai išauga (Xu et al., 2021).

Taikant elektros lauko aglomeraciją galima aglomeruoti USKD 40,2 % efektyvumu, o efektyvios aglomeracijos ribos yra nuo 0,1 iki 20 μm KD.

Vienas iš elektrostatinės aglomeracijos aparato trūkumų yra tai, kad negalima aglomeruoti didelės apimties dujų srauto. Šis nepriklausomas įrenginys turi daug apribojimų, o elektros sistemos valdymas reikalauja specialios kompetencijos (Bekkara et al., 2021; Feng et al., 2016; Gajbhiye et al., 2015; Guo et al., 2015).

Atliekant cheminės aglomeracijos tyrimą nustatyta, kad KGM ir KC reagentų mišinys turi pranašumą prieš atskirus KGM arba KC reagentus. Naudojant atskirus KGM ir KC reagentus KD šalinimo efektyvumas yra atitinkamai 34,7 % ir 47,1 %. O abiejų reagentų mišinio efektyvumas yra 59,3 % (Guo et al., 2017). Cheminė aglomeracija, naudojant natrio alginato regentą, leido pasiekti puikius 82,8 % efektyvumo rezultatus aglomeruojant USKD, kurių dydis yra nuo 0,1 iki 1 μm (Bin et al., 2018). Taip pat efektyvi aglomeracija KD, kurių dydis yra nuo 0,03 iki 10 μm (Sun et al., 2019).

Heterogeninės kondensacinės aglomeracijos tyrimo metu pastebėta, kad po KD, kurių dydis nuo 2,5 iki 10 μm, aglomeracijos bendras išmetamųjų dujų srauto KD tūris sumažėjo 57,64 %. Taikant šią technologiją efektyviai aglomeruoti galima nuo 0,2 iki 10 μm dydžio KD (Liu et al., 2017), o USKD, kurių dydis buvo 1 μm, aglomeracijos efektyvumas buvo 15 % (Xu et al., 2020). Vienas iš pagrindinių šios technologijos pranašumų yra galimybė ją taikyti esant labai aukštai, iki 1000 °C, temperatūrai ir labai drėgnoje aplinkoje (de Best et al., 2008).

Atliekant turbulentinės aglomeracijos tyrimą, siekiant palyginti smulkiųjų dalelių aglomeracijos charakteristikas skirtinguose srauto laukuose, buvo atitinkamai išmatuota smulkių dalelių koncentracija prieš aglomeraciją ir po jos. Pradinis mažesnių nei 10 μm dalelių skaičius dujose buvo $9{,}03 \times 10^6$ dalelės/cm^3. Paveikus dalelių srautą turbulentine aglomeracija, dalelių skaičiaus koncentracija sumažėjo iki $7{,}51 \times 10^6$ dalelių/cm^3, šis sumažėjimas sudarė 16,8 % viso šios dalelių frakcijos kiekio (Sun et al., 2020). Tyrimo metu gauti šie rezultatai: mažesnių nei 1 μm dalelių skaičiaus koncentracija sumažėjo 30,4 %, efektyvi aglomeracija vyksta tada, kai KD dydis yra nuo 1 iki 10 μm (Sun et al., 2019).

Akustinės aglomeracijos efektyvumą galima koreguoti keičiant bangų dažnį, jų intensyvumą ir dalelių buvimo laiką akustinėje kameroje, akustinio lauko poveikio dydis turi beveik tiesinį ryšį su dalelių dydžio augimu (Ng et al., 2017), o elektros lauko aglomeracijos efektyvumą galima koreguoti nustatant paduodamos įtampos dydį, paduodamos maitinimo įtampos dažnį ir reguliuojant pratekančio per įrenginį (aglomeratorių) dujų srauto greitį (Jia et al., 2024). Esant 0,4–0,5 μm dydžio SDKD galima pasiekti iki 16 % aglomeracijos efektyvumą. Didžiausias efektyvumas pasiekiamas, kai akustinio slėgio lygis yra labai siaurame dažnių diapazone nuo 150 iki 160. Tačiau dar aukštesnio lygio garso bangoms reikia kur kas daugiau energijos ir jos sukelia didelį triukšmo lygį (Xu et al., 2023).

Informacijos apie taikant šias technologijas patiriamus elektros nuostolius rasta labai mažai. Aglomeracijos technologijų analizė leidžia klasifikuoti ir selektyviai išskirti efektyviausius dalelių stambinimo metodus pirminiu užterštos dujų srauto paruošimo etapu, iki srauto valymo, bei nustatyti kiekvieno veikimo mechanizmo gebą ir apribojimus.

4. Išvados

1. Palygintas visų aglomeravimo technologijų USKD aglomeracijos efektyvumas, efektyvaus technologijų taikymo KD dydžių diapazonas.
2. Taikant elektros lauko aglomeraciją galima efektyviai aglomeruoti plačiausio diapazono KD, kurių dydis nuo 0,1 iki 20 μm, iš visų nagrinėjamų aglomeravimo technologijų, bet ši technologija turi trūkumą: negalima aglomeruoti didelės apimties dujų srauto.
3. Taikant cheminė aglomeraciją galima efektyviausiai aglomeruoti USKD, t. y. efektyvumas siekia 82,8 % naudojant natrio alginato regentą.
4. Vienas iš pagrindinių heterogeninės kondensacinės aglomeracijos privalumų yra galimybė dirbti esant labai aukštai, iki 1000 °C, temperatūrai ir labai drėgnoje aplinkoje.
5. Taikant akustinę aglomeraciją, nustačius didesnį nei 160 dB akustinio slėgio lygį, išgauti garso bangoms reikia daug energijos; be to, jos sukelia didelę triukšmo taršą.

6. Atlikus turbulentinės aglomeracijos tyrimą gauti rezultatai parodė, kad mažesnių nei 1 μm dalelių koncentracija sumažėjo 30,4 %, efektyvi aglomeracija vyksta, kai KD dydis yra nuo 1 iki 10 μm.
7. Aptarti pagrindiniai kriterijai, turintys įtakos aglomeracijos efektyvumui.
8. Remiantis rezultatais, gautais analizuojant aglomeravimo technologijas, rekomenduojama šias išvadas pritaikyti atliekant tolesnius KD aglomeracijos tyrimus.

Literatūra

Bekkara, F. M., Benmimoun, Y., Kheiter, A., Chelih, A., & Tilmatine, A. (2021). Electrostatic charge decay and filtration performance of nonwoven filters in the vicinity of grounded metal grids. *Journal of Electrostatics*, *110*, Article 103554. https://doi.org/10.1016/j.elstat.2021.103554

Bin, H., Yang, Y., Lei, Z., Ao, S., Cai, L., Linjun, Y., & Roszak, S. (2018). Experimental and DFT studies of PM2.5 removal by chemical agglomeration. *Fuel*, *212*, 27–33. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.09.121

Brunetti, A., Macedonio, F., Cui, Z., & Drioli, E. (2020). Membrane Condenser as efficient pre-treatment unit for the abatement of particulate contained in waste gaseous streams. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, *8*(5), Article 104353. https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104353

Chang, Y., Zhang, R., Shi, L., & Jia, P. (2023). Agglomeration characteristics of bipolar agglomerator with one power supply. *SSRN Electonic Journal*. https://doi.org/10.2139/ssrn.4459801

Chen, D., Wu, K., & Mi, J. (2016). Experimental investigation of aerodynamic agglomeration of fine ash particles from a 330 MW PC-fired boiler. *Fuel*, *165*, 86–93. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.10.036

de Best, C. J. J. M., van Kemenade, H. P., Brunner, T., & Obernberger, I. (2008). Particulate emission reduction in small-scale biomass combustion plants by a condensing heat exchanger. *Energy & Fuels*, *22*(1), 587–597. https://doi.org/10.1021/ef060435t

Feng, Z., Long, Z., & Mo, J. (2016). Experimental and theoretical study of a novel electrostatic enhanced air filter (EEAF) for fine particles. *Journal of Aerosol Science*, *102*, 41–54. https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2016.08.012

Fiordelisi, A., Piscitelli, P., Trimarco, B., Coscioni, E., Iaccarino, G., & Sorriento, D. (2017). The mechanisms of air pollution and particulate matter in cardiovascular diseases. *Heart Failure Reviews*, *22*(3), 337–347. https://doi.org/10.1007/s10741-017-9606-7

Gajbhiye, N., Eswaran, V., Saha, A. K., & Kumar, A. (2015). Numerical calculation of particle collection efficiency in an electrostatic precipitator. *Sadhana*, *40*(3), 863–873. https://doi.org/10.1007/s12046-015-0342-1

Guo, B., Yu, A., & Guo, J. (2015). Numerical modelling of ESP for design optimization. *Procedia Engineering*, *102*, 1366–1372. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.01.268

Guo, Y., Zhang, J., Zhao, Y., Wang, S., Jiang, C., & Zheng, C. (2017). Chemical agglomeration of fine particles in coal combustion flue gas: Experimental evaluation. *Fuel*, *203*, 557–569. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.05.008

Hautanen, J., Kilpeläinen, M., Kauppinen, E., Lehtinen, K., & Jokiniemi, J. (2010). Electrical agglomeration of aerosol particles in an alternating electric field. *Aerosol Science and Technology*, *22*(2), 181–189. https://doi.org/10.1080/02786829408959739

Hoffmann, T. L., & Koopmann, G. H. (1997). Visualization of acoustic particle interaction and agglomeration: Theory evaluation. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *101*(6), 3421–3429. https://doi.org/10.1121/1.418352

Yang, L., Bao, J., Yan, J., Liu, J., Song, S., & Fan, F. (2010). Removal of fine particles in wet flue gas desulfurization system by heterogeneous condensation. *Chemical Engineering Journal*, *156*(1), 25–32. https://doi.org/10.1016/j.cej.2009.09.026

Jaworek, A., Marchewicz, A., Sobczyk, A. T., Krupa, A., & Czech, T. (2018). Two-stage electrostatic precipitators for the reduction of PM2.5 particle emission. *Progress in Energy and Combustion Science*, *67*, 206–233. https://doi.org/10.1016/j.pecs.2018.03.003

Jia, Y., Yang, Z., Bu, S., & Xu, W. (2024). Experimental investigation on the agglomeration performance of pre-charged micro-nano particles in uniform magnetic field. *Chemical Engineering Research and Design*, *201*, 523–533. https://doi.org/10.1016/j.cherd.2023.12.009

Lin, W.-Y., Hsiao, T.-C., & Hong, B.-L. (2020). Improving the removal efficiency of fine particulate matters in air pollution control devices: Design and performance of an electrostatic aerosol particle agglomerator. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, *107*, 110–118. https://doi.org/10.1016/j.jtice.2019.12.003

Liu, Y., Hu, B., Zhou, L., Jiang, Y., & Yang, L. (2016). Improving the removal of fine particles with an electrostatic precipitator by chemical agglomeration. *Energy & Fuels*, *30*(10), 8441–8447. https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.6b00626

Liu, J., Chen, D., & Lu, J. (2017). Experiment on fine particle purification by flue gas condensation for industrial boilers. *Fuel*, *199*, 684–696. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.03.028

Ng, B. F., Xiong, J., & Wan, M.-P. (2017). Application of acoustic agglomeration to enhance air filtration efficiency in air-conditioning and mechanical ventilation (ACMV) systems. *PLoS ONE*, *12*, Article e0178851. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178851

Sheng, C., & Shen, X. (2007). Simulation of acoustic agglomeration processes of poly-disperse solid particles. *Aerosol Science and Technology*, *41*(1), 1–13. https://doi.org/10.1080/02786820601009704

Sun, Z., Yang, L., Shen, A., Zhou, L., & Wu, H. (2019). Combined effect of chemical and turbulent agglomeration on improving the removal of fine particles by different coupling mode. *Powder Technology*, *344*, 242–250. https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.12.032

Sun, Z., Yang, L., Wu, H., & Wu, X. (2020). Agglomeration and removal characteristics of fine particles from coal combustion under different turbulent flow fields. *Journal of Environmental Sciences*, *89*, 113–124. https://doi.org/10.1016/j.jes.2019.10.004

Thonglek, V., & Kiatsiriroat, T. (2014). Agglomeration of sub-micron particles by a non-thermal plasma electrostatic precipitator. *Journal of Electrostatics*, *72*(1), 33–38. https://doi.org/10.1016/j.elstat.2013.11.006

Xu, J., Zhang, Y., Zhang, J., Liu, H., Shao, Q., & Chu, H. (2023). Progress in the heterogeneous condensation of water vapor for PM2.5 removal. *Powder Technology*, *427*, Article 118701. https://doi.org/10.1016/j.powtec.2023.118701

Xu, J., Zhao, H., Sun, Y., Long, H., & Zheng, Z. (2020). Heterogeneous condensation for electric arc furnaces fine particles removal. *Powder Technology*, *374*, 323–329. https://doi.org/10.1016/j.powtec.2020.07.027

Xu, Z., Bo, X., Wu, H., Tang, Z., Chen, F., Chen, K., Wang, X., Zhang, G., & Jiang, S. (2021). Numerical simulation of contact and separation of magnetic particles under uniform magnetic field. *Journal of Physics D: Applied Physics*, *55*(8), Article 085001. https://doi.org/10.1088/1361-6463/ac353a

APPLICATION AND COMPARISON OF TECHNOLOGIES BASED ON AGGLOMERATION PROCESSES

S. ZDANEVIČIUS, A. CHLEBNIKOVAS

Abstract. Ambient air quality is considered one of the indicators of a sustainable lifestyle. However, traditional cleaning technologies based on gravitational, centrifugal, electrostatic, and other operating principles are ineffective in removing ultra-fine solid particles (up to 1 μm) harmful to humans from the gas flow. These fine particle pollutants, which are harmful to both humans and the environment, can be addressed through acoustic or electric field agglomeration. During agglomeration, fine particles combine into larger, single particles that can be effectively filtered by traditional cleaning technologies. Agglomeration is used in various industries to transform dust fractions or difficult-to-process materials into a more manageable form.

The work analyzes the most harmful solid particles with sizes ranging from 200 nm to 10 μm. It also explores various ways of using agglomeration techniques to treat the primary gas stream before cleaning, thereby affecting the fine particles in the gas stream. Based on world literature, selected acoustic and electric field agglomeration technologies are discussed.

Keywords: solid particles, acoustic agglomeration, electric field agglomeration, gas flow.

VILNIUS TECH
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

27-oji Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis" teminė konferencija
Proceedings of the 27th Conference for Junior Researchers "Science – Future of Lithuania"

DARNI APLINKA / SUSTAINABLE ENVIRONMENT

2024 m. balandžio 25 d., Vilnius, Lietuva
25 April 2024, Vilnius, Lithuania

ISSN 2029-7157 / eISSN 2029-7149
eISBN 978-609-476-359-5
https://doi.org/10.3846/da.2024.003

Aplinkos apsaugos inžinerija / Environmental Protection Engineering *https://vilniustech.lt/346238*

STRATEGIC ANALYSIS OF VILNIUS AIRPORT'S GROWTH TRAJECTORY AND NOISE REGULATION COMPLIANCE

Simonas ZAVADSKAS*, Raimondas GRUBLIAUSKAS, Vaidotas VAIŠIS

Department of Environmental Protection and Water Engineering, Faculty of Environmental Engineering, Vilnius Gediminas Technical University, Vilnius, Lithuania
**E-mail: simonas.zavadskas@stud.vilniustech.lt*

Received 4 March 2024; accepted 18 March 2024

Abstract. Accurate forecasting of future events is essential for managing and optimizing airport activities, facilitating the minimization of adverse environmental impacts. The availability of detailed information about yearly aircraft movements at Vilnius City International Airport (VNO) offers an opportunity to create various scenarios that projects the growth patterns within airport and aviation industry in general. This scientific research paper explores the temporal trajectory of VNO with a focus on forecasting its evolution towards reaching major airport status of 50 000 aircraft movements per year. The study employs quantitative method in forecasting data with cycling origin using the ratio to moving average method also known as Time Series Method (TSM). Calculations are done by Microsoft Excel software with which regression trend line is obtained. Two various scenarios are projected: the continuous use of Terminal 1 (T1) and the introduction of new Terminal 2 (T2). Forecast show that continuous use of T1 will reach threshold of 50 000 flights per year by end of 4th quarter of 2025. For T2 it is projected that 53 110 flights will be done at VNO at the end of the same year T2 is projected to become operational: 2026 4th quarter. These findings underscore the necessity of strategic planning and infrastructure development to accommodate future growth and increase airport efficiency in line with growing demands.

Keywords: Vilnius International Airport, growth patterns, passenger volumes, aviation, regulatory frameworks.

1. Introduction

As the global aviation industry continues to expand and evolve, the growth of airports in major cities poses economic opportunities and environmental challenges alike. VNO, located in a capital of Lithuania stands out as a country's largest airport with highest quantity of flights, passenger volume and cargo traffic. VNO is the second largest airport in Baltic states. First is Latvia's Riga International Airport and third of is Estonia's Tallinn International Airport. Currently, airport has one terminal in use. The construction of Terminal 2 has started in January 2023. Terminal 2 is scheduled to be opened in first quarter of 2025. Opening of the second terminal forecast to double the quantity of passengers from 1200 per hour to 2400. The opening of the second terminal provides not only economic benefits as it significantly impact passenger demand and air traffic for these and directly dependent airports (Evans & Schäfer, 2011), but it also initiates a significant risk to environment and the health of the airport surrounding population. Also, Therefore, accurate forecasts are crucial for timely introduction of measures and regulations to reduce negative environmental impacts of airport related activities.

In European Union environmental noise directive major airport is defined as follows: "major airport" shall mean a civil airport, designated by the Member State, which has more than 50 000 movements per year (a movement being a take-off or a landing), excluding those purely for training purposes on light aircraft. According to this definition Vilnius City Airport has not reached major airport status (Rodríguez-Díaz et al., 2017).

Studies also show that expansion of airports (with increase of amount of flights) has negative impacts to the human health, wellbeing and also the negative impact on the environment (Sahrir et al., 2014).

© 2024 The Author(s). Published by Vilnius Gediminas Technical University. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

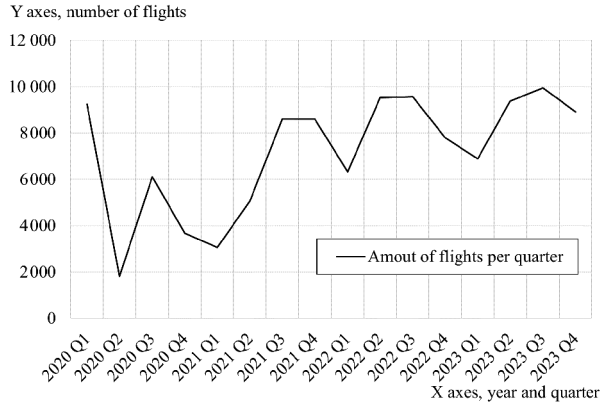


Figure 1. Number of flights at VNO 2020–2023

Figure 1 provides graphical visualization of all flights done at VNO during period of last four years (2020–2023). This data is used for TSM as this method requires most recent data input into calculations.

Environmental noise directive (European Commission [EC], 2002) is considered as one of the main tools of regulating noise impact in European Union (EU). It includes various noise mitigation strategies: higher noise allowance for daytime operations than nighttime operations, planning and zoning of new residential areas and airports, improvements for soundproofing of residential buildings, imposition of taxes or fines on airlines or airports that violate established noise thresholds.

It is important to note that Directives are only binding with regard to the goal that the EU countries must achieve; the means for achieving the goal are up to the individual Member States (EC, 2002). END requires Member States to develop noise maps every five years to determine the exposure to environmental noise, provide information about environmental noise and its effects to the public, and adopt action plans based upon the noise-mapping results to manage noise issues and effects (International Civil Aviation Organization [ICAO], 2004)

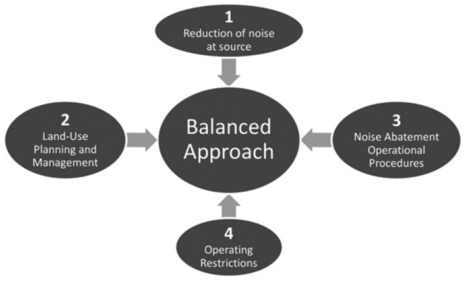


Figure 2. ICAO of balanced approach (source: ICAO, 2004)

Environmental noise includes noise emitted from air traffic, among other sources (Handayani et al., 2023). END only applies to major civil airports, meaning airports with more than 50,000 movements a year (Handayani et al., 2023). For the noise maps, two indicators are used: "L_{den}" for the overall noise level during the day, evening, and night, which is used to describe the annoyance caused by exposure to noise; and "L_{night}" for the sound level during the night used to describe sleep disturbance. However, it is up to the Member States to set limits or target values, or to decide what measures to include in the action plans.

The International Civil Aviation Organization (ICAO, 2004) has set a model called Balanced Approach (BA). This model provides general guidelines for airports for noise mitigation. Figure 2 provides visualization of BA model. This approach is fundamental for noise mitigation for majors airports.

BA is similar to "Green Airport" concept provided by Dalkiran. Concept explains that classifying the impact analysis, affecting each other while focusing on operational or capital investments in the airports (Dalkıran et al., 2021) is similar to BA.

The analysis of the impact of the aircraft activity on surrounding populated areas is based upon a review of the current effective legal acts of the Republic of Lithuania concerning noise effects and other related issues. Main legal documents that are in effect:

- The Law on Public Health of the Republic of Lithuania,
- The Law on Ambient Air Protection of the Republic of Lithuania,
- The Law on Land of the Republic of Lithuania,
- The Resolution No. 343 of the Government of the Republic of Lithuania of 12 May 1992 Regarding the Approval of the Rules for Special Land and Forest Use Conditions,
- The Order No. 4R-193 of the Director of the Civil Aviation Administration of 26 October 2004 Regarding the Approval of the Requirements for Airports.

They also provide general guidelines for sanitary zones, land use and planning in the airport territory. Main purpose of regulations is to ensure that benefits of air travel will be balanced with economic gains and environmental impact.

The increase in aircraft traffic as a consequence of the airport activities expansion directly correlates with nuisance limit.

2. The overview of aircraft movements at VNO during 2017–2023

For correct forecast correct past data and correct interpretation of it is important to get the required results. Data is taken from VNO official website as VNO officials provide all the information about

Table 1. Amounts of flights quarterly at VNO 2017–2023

Year	Jan – Mar, number of flights	Apr – Jun, number of flights	Jul – Sep, number of flights	Oct – Dec, number of flights	Total, number of flights
2017	9325	12037	6895	10996	39253
2018	10280	12734	12740	11439	47193
2019	10254	12711	12685	11790	47440
2020	9246	1827	6105	3679	20857
2021	3062	5067	8598	8598	25325
2022	6335	9525	9577	7796	33233
2023	6894	9386	9956	8920	35156

quantity of passengers and flights yearly. For simpler interpretation of results amounts of flights was divided into yearly quarters. Table 1 is given to show the distribution quantity of flights during 2017–2023. Data is taken from Lithuanian Airport statistics sours (Lithuanian Airports, 2023).

3rd quarter of the year has the highest average amount of flights. More than 9500 flights are done during July–September. It can be associated with vacation period time in the country.

1st quarter of the year has the lowest average amount of flights at VNO – less than 8000. This can be associated with start of the year economics, bad weather and other factors.

The peak of airport activity was reached during the 2019. As shown in Table 1 the total amount of flights during 2019 reached over 47 thousand and over 5 million passengers passed via VNO. However, the following year a drop of 56% (from 47 440 to 20 857) of total flights has been recorded. The quantity of passengers also dropped dramatically: from 5 million to 1.31 million or by 74%. This was due to the COVID-19 pandemic. The decline was one of three times over past twenty years when annual decline in flights and passenger volume was recorded in VNO.

Other two instances where number of passengers dropped were influenced by global and local factors. In 2009 reduced amount of airport activity was due to global economic crisis and in 2017 reduced amount of flights was due to runway reconstruction. These events are impossible to predict with TSM therefore it is important to note limitations of these forecasts.

3. Impact of increased amount of flights on noise

As mentioned before, legal framework for noise control in Republic of Lithuania is regulated by noise control law. Noise limit values are provided in different document called Lithuanian Hygiene Standard.

This law sets noise limits which can be calculated by Equation (1):

$$L_{den} = 10\lg\left(\frac{12\times 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4\times 10^{\frac{L_{evening}+5}{10}} + 8\frac{L_{night}+10}{10}}{24}\right), \quad (1)$$

where L_{den} – day-evening-night noise indictor defined as 24 hours total A-weighted sound level; L_{day} – day noise indicator defined as A-weighted sound level during day time (from 6:00 to 18:00); $L_{evening}$ – evening noise indicator is defined as A-weighted sound level during evening time (from 18:00 to 22:00); L_{night} – night noise is one of the indicators defined as A-weighted sound level during night time (from 22:00 to 6:00)

As is shown in Equation (1) $L_{evening}$ and L_{night} gives higher values to noise indicators due to the potential risk of sleep disturbances.

According to Lithuanian Sanitary Standard HN 33:2011 "Acoustic noise, noise limit values for residential and public buildings and their environment" L_{den} and L_{day} cannot be higher than 65 dBA, $L_{evening}$ more than 60 dBA and L_{night} 55 dBA for residential building affected by transport noise. According to these limit values noise contours are drawn. Each noise value is linked with Lithuanian regulations and define an area, which is considered as "affected" in terms of noise limits in that area. Highest amount noise limits values currently affected are confined inside VNO territory. There are various factors impacting overall L_{den} values: type of aircraft, flight frequency, flight paths and operations, airport infrastructure, time of the day etc.

Because one of the factors impacting L_{den}, L_{day}, $L_{evening}$ and L_{night} is the amount of noise events (in this case amount of aircraft movements), noise maps contour and area impacted by higher values of noise metrics is most likely to increase accordingly to the increase of aircraft movements at airport.

Studies and research done about the impact of increased airport traffic suggests various results. According to 2010 Vilnius International Airport Master Plan (VIAMP) done by international business and strategy consulting firm ALG: Global (ALG) by 2030 due to air traffic increase area of L_{den} values between 55–65 dBA has increased by 49% (3,49 km^2). This increase was modelled using the data from 2010 flights traffic information. It showed the amount of flights during day-time, evening-time, night-time and type of aircraft that was used. Figure 3 provides visualization of noise affected areas increase due to increased amounts of flights. This increase in area affected by noise advocates the importance of appropriately planned airport-area development (Siska, 2014).

As noise generated by aircrafts depends on various unpredictable factors (such as type aircraft, flight paths, landing procedures, weather conditions etc.) it is very problematic to predict exact noise area increase. Therefore, for comparison data for increased area affected by airport noise has been taken from above mentioned ALG studies. Amount of flights during 2010 was 26 094. Projected amount of flights by 2030 in ALG scenario was 55 257 which is increase by 111,76%. Following this logic it can be assumed that scenario when Vilnius airport area affected by 55–65 dBA will increase 2,9 km^2.

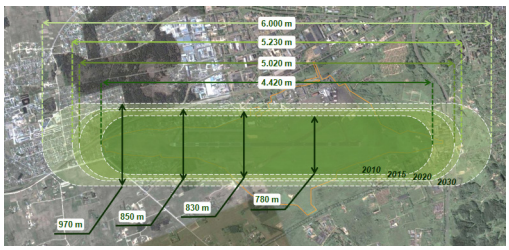


Figure 3. Noise affected area regarding air transport noise (source: Vilniaus oro uostas, 2012)

4. Methods

It can be presumed that data in first table is of the cycling origin. For forecasting a quantitative method is used. To get the wanted results ratio to moving average method is used. Firstly, for correct TSM calculation it is required to have these values: four quarter moving average value, centered average value and percentage of the average.

Four quarters moving average is calculated by adding the latest four quarters of data (in this research paper four latest quarterly amounts of flights). Mathematical expression of moving average is given in Equation (2) and data calculated is taken from Table 1.

$$a_n = \frac{Y_n + Y_{n+1} + Y_{n+2} + Y_{n+3}}{4}, \quad (2)$$

where a_n – four quarters moving average; $Y_{n;n+1...n+3}$ – the data value of calculated quarter.

After acquiring four quarters moving averages it is possible to calculate centered averages. They are calculated according to Equation (3):

$$A_n = \frac{a_n + a_{n+1}}{2}, \quad (3)$$

where A_n – centered average; $a_{n;n+1}$ – the values of moving averages.

Percentage of the average is calculated simply by dividing centered average according to the quarter calculated and multiplied by 100 to receive the percentages. Table 2 provides the calculated values of each quarter accordingly. It is important to note that seasonal index is used for further calculations when TSM of future forecasts is used according to the quarter calculated.

Table 2. Seasonal index calculations

Year	Q1	Q2	Q3	Q4	Sum
2020			72.75	110.7	
2021	156.43	112.82	78.39	89.63	
2022	132.38	88.28	87.48	108.1	
2023	122.72	92.14			
Average	137.18	97.75	79.54	102.8	417.28
X cor.	0,96	0.96	0.96	0.96	
Index	131.67	93.84	76.36	98,70	400.6

After getting values for seasonal values of every quarter's seasonal index it is possible to calculate variables and draw regression trend line. Simplified data table is shown in Table 3. The simplification is explained with … symbol where x is equal to x_{n+1} and y is taken from Table 1 with respective values to quarterly amounts of flights depending on year selected.

Table 3. Variables for regression analysis

x	y	x^*y	x^2
1	9246	9246	1
2	1827	3654	4
3	6105	18 315	9
…	…	…	…
16	8920	142 720	256
$\sum x$	$\sum y$	$\sum x^* y$	$\sum x^2$
136	114571	1084863	1496
$\frac{\sum x}{n}$	$\frac{\sum y}{n}$		
8.5	7160.69		

TSM two different scenarios were modelled: T1 operated without any major restrictions or events that

could impact the current calculated average achieved over 2020–2023 time period and the start of T2 operated starting from 2025 Q1. Regression analysis is calculated by Equation (4):

$$y = a + bx, \tag{4}$$

where y – dependent variable; a – the dependent variable intercept; b – coefficient of explanatory value; x – explanatory variable.

b is a coefficient of explanatory value which is calculated according to Equation (5):

$$b = \frac{n\sum xy - \sum x \sum y}{n\sum x^2 - \left(\sum x\right)^2}, \tag{5}$$

where x – amount of quarters per year; y – dependent variable; n – number of time periods; x – explanatory variable.

a – is a dependent variable intercept and is calculated according to Equation (6):

$$a = \frac{\sum x}{n} - b\left(\frac{\sum y}{n}\right). \tag{6}$$

After everything is calculated specific regression Equation (7) allows to select and decide the data in specific quarter where by choosing the quarter number (x) and multiplying in by its quarters seasonal index amount of flights can be calculated:

$$y = 4385.45 + 326.5x. \tag{7}$$

With calculations from Equation (7) it is possible to calculate the predictions both for T1 and T2. However, the difference between both predictions is the amount of passengers transfer volume. From data interpretation it is taken that increased quantity of passengers will increase amount of flights by 1.5 times, so predictions for T2 is calculated accordingly.

As shown in study about Spanish air traffic and passengers amount increases in the number of "low-cost passengers" positively affects airport efficiency (Fernández et al., 2018). As low cost passengers would be able to use T2 more conveniently and quickly this would lead to more increase in numbers of passengers and therefore increase in flights amount.

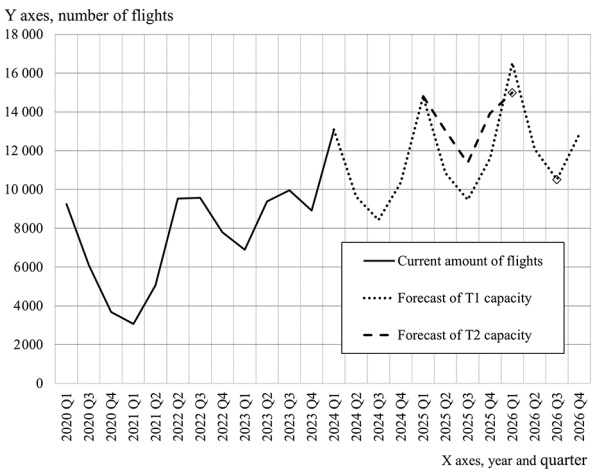


Figure 4. Visualization of T1 and T2 forecasts

For T1 scenario it is calculated that yearly amounts of 50 000 flights would be reached by end of 4th quarter of 2026. Total amount of flights in 2026 in T1 is projected to reach 51 948 flights.

For T2 scenario it is calculated that yearly amounts of 50 000 flights would be reached by the end of 4th quarter of 2025 at the same year it is planned to become operational. Total amount of flights in 2025 in T2 is projected to reach 53 110 flights.

Figure 4 shows the trend line of forecasted flights regarding the T1 and T2. It can be concluded that in both cases by 2026 regulations regarding airport environmental impact must be reviewed and updated.

5. Limitations of TSM

Time series methods often assume that the underlying data is stationary, meaning that statistical properties such as mean and variance remain constant over time. However, real-world data may exhibit trends, seasonality, or other non-stationary patterns, which can affect the accuracy of forecasts. In last two decades such events like global pandemic which led to aviation practically starting from scratch (Kitsou et al., 2022) and global economic crisis have impacted airport activities all around the globe in such way that TSM could not have predicted. Other factor like geopolitical situation and natural disasters can also influent the amount of flights globally.

Time series methods are generally better suited for short to medium-term forecasting horizons (Wang et al., 2017).

Therefore, four year data has been used for forecast calculations. It is important to understand these possible changes and calculate the forecasts accordingly to the actual situations and depend on these type of forecasts with caution and critical thinking.

6. Results

1. According to data from VNO two most likely scenarios for T1 and T2 have been projected with TSM.

2. It has been projected that T1 natural growth of passengers and quantity of flights would reach more than 50 000 flights per year by the end of 2026. T2 would reach threshold 50 000 annual flights on the first year it is projected to become operational: by the end of 2025.

3. For major airports various stricter noise regulations are applied. Procedures on restrictions on flight

times, measuring of noise limits L_{den} and L_{night} drawing of noise maps must be improved at VNO for not violating the noise thresholds in projected forecasts.

7. Conclusions

1. The anticipated increase in airport traffic suggests a correlated rise in noise levels (as shown in VIAMP prepared by ALG), necessitating stricter measures to mitigate the impact of airport noise on the surrounding communities.

2. Analysis of noise regulations, including the European Union's Environmental Noise Directive (END) and the International Civil Aviation Organization's (ICAO) Balanced Approach, highlights the need for measures to reduce noise impacts on communities surrounding VNO, especially as VNO approaches the threshold for major airport status.

3. The study shows the importance of aligning noise regulations and mitigation strategies with forecasted airport growth, emphasizing the need for updated policies and measures to manage noise impacts effectively.

4. Limitations of the TSM approach, such as its sensitivity to external factors and short-to-medium-term forecasting, focuses on the necessity of incorporating flexibility and critical thinking into future forecasting endeavors to take into account unforeseen events and changes in aviation direction.

References

Dalkıran, A., Ayar, M., Kale, U., Nagy, A., Hikmet Karakoc, T. (2021). A review on thematic and chronological framework of impact assessment for green airports. *International Journal of Green Energy*. https://doi.org/10.1080/15435075.2022.2045298

e-tar. (2011). *Lithuanian Hygiene Standard HN 33:2011 "Noise limits in residential and public buildings and their surroundings" approved by the Minister of Health of the Republic of Lithuania on June 13, 2011, Order No. V-604.* https://www.e-tar.lt/portal/en/legalAct/c8f1c660100111e89641ab133a146f0f

European Commission. (2002). *Directive 2002/49/EC Relating to the Assessment and Management of Environmental Noise*. European Commission.

Evans, A., & Schäfer, A. (2011). The impact of airport capacity constraints on future growth in the US air transportation system. *Journal of Air Transport Management, 17*(5), 288–295. https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2011.03.004

Fernández, X. L., Coto-Millán, P., & Díaz-Medina, B. (2018). The impact of tourism on airport efficiency: The Spanish case. *Utilities Policy, 55,* 52–58. https://doi.org/10.1016/j.jup.2018.09.002

Handayani, S., Firmansyah, Oktavilia, S., & Dwi Wishnuwardhani, F. (2023). The impact of airport facilities on non-aeronautical revenue through airport traffic and aeronautical revenue as mediating variables. *KnE Social Sciences*, *8*(9), 1047–1059. https://doi.org/10.18502/kss.v8i9.13420

International Civil Aviation Organization. (2004). *Guidance on the balanced approach to aircraft noise management* (ICAO Doc 9829, AN/451). Montreal. https://perma.cc/23QA-42E6

Kitsou, S. P., Koutsoukis, N. S., Chountalas, P., & Rachaniotis, N. P. (2022). International passenger traffic at the Hellenic Airports: Impact of the COVID-19 pandemic and mid-term forecasting. *Aerospace, 9*(3), Article 143. https://doi.org/10.3390/aerospace9030143

Lithuanian Airports. (2023). *2017–2023 Lithuanian airports aviation statistics overview*. https://www.ltou.lt/en/aviation/airports-statistics/overview

Lodiagin, B. A., & Rincon, C. J. (2023). The effects of COVID-19 pandemic on the performance of airport renovation projects: The case of Pulkovo Airport. *Transportation Research Procedia, 75,* 115–125. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.12.014

Rodríguez-Díaz, A., Adenso-Díaz, B., & González-Torre, P. L. (2017). A review of the impact of noise restrictions at airports. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *50*, 144–153. https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.10.025

Sahrir, S., Bachok, S., & Osman, M. (2014). Environmental and health impacts of airport infrastructure upgrading: Kuala Lumpur International Airport 2. *Procedia – Social and Behavioral Sciences, 153,* 520–530. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.10.085

Siska, M. (2014). How to convert a regional airport into an "airport city" in Central Europe: The "airLED" project. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, *191,* 943–954. https://doi.org/10.2495/SC140802

Vilniaus oro uostas. (2012). *Vilnius International Airport Master Plan*. https://www.eib.org/attachments/registers/67622564.pdf

Wang, Z.-Y., Lin, Y.-C., Lee, S.-J., & Lai, C.-C. (2017). A time series forecasting method. *ITM Web Conference, 12,* Article 03008. https://doi.org/10.1051/itmconf/20171203008

VILNIAUS TARPTAUTINIO ORO UOSTO VYSTYMOSI PROGNOZAVIMAS IR TRIUKŠMO RIBINIŲ DYDŽIŲ VERTINIMAS

S. ZAVADSKAS, R. GRUBLIAUSKAS, V. VAIŠIS

Santrauka. Tikslus ateities įvykių prognozavimas yra būtinas siekiant valdyti oro uostų veiklą ir mažinti jos neigiamą poveikį aplinkai. Taikant kiekybinius metodus atliktas tyrimas leidžia prognozuoti VNO plėtros trajektoriją siekiant įgyti didelio oro uosto statusą ir viršyti 50 000 skrydžių per metus. Modeliuojami du scenarijai: tik esamo pirmojo terminalo (T1) naudojimas ir naujo antrojo terminalo (T2) atidarymo įtaka. Prognozės rodo, kad 2025 metų ketvirtą ketvirtį T1 pasieks 50 000 skrydžių ribą, o T2 galėtų pasiekti 53 110 skrydžių kiekį iki 2026 metų ketvirto ketvirčio, t. y. planuojamo T2 atidarymo. Straipsnis aktualus, nes didesnio pralaidumo oro uostai sukelia daugiau triukšmo, todėl jiems reikalingas griežtesnis triukšmo reguliavimas dėl galimo didesnio poveikio aplinkinėms bendruomenėms ir aplinkai.

Reikšminiai žodžiai: tarptautinis Vilniaus oro uostas, augimo modeliai, skrydžių srautai, reglamentas.

VILNIUS TECH
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

27-oji Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis" teminė konferencija
Proceedings of the 27th Conference for Junior Researchers "Science – Future of Lithuania"

DARNI APLINKA / SUSTAINABLE ENVIRONMENT

2024 m. balandžio 25 d., Vilnius, Lietuva
25 April 2024, Vilnius, Lithuania

ISSN 2029-7157 / eISSN 2029-7149
eISBN 978-609-476-359-5
https://doi.org/10.3846/da.2024.004

Aplinkos apsaugos inžinerija / Environmental Protection Engineering *https://vilniustech.lt/346238*

GELEŽIES TURINČIŲ FILTRO UŽPILDŲ EFEKTYVUMO ŠALINANT TIRPŲJĮ FOSFORĄ TYRIMAI

Audrius VARNAGIRIS*, Aušra MAŽEIKIENĖ

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Aplinkos inžinerijos fakultetas,
Aplinkos apsaugos ir vandens inžinerijos katedra, Vilnius, Lietuva
**El. paštas audrius.varnagiris@stud.vilniustech.lt*

Gauta 2024 m. kovo 4 d.; priimta 2024 m. kovo 18 d.

Santrauka. Šio darbo tikslas – išbandyti geležies turinčių medžiagų efektyvumą sorbuoti tirpųjį fosforą iš realių, biologiniu būdu jau išvalytų, nuotekų. Tyrimams pasirinktos ir į tris eksperimentinio stendo kolonėles patalpintos trys medžiagos, savo sudėtyje turinčios geležies: sorbentai GEH®102, SBGx ir plieno drožlės. Filtravimas vyko 0,74 m/h greičiu iš viršaus į apačią, sorbentų užpildams visą laiką esant apsemtiems, virš užpildų palaikant 25 cm aukščio skysčio sluoksnį. Adsorbentas GEH®102, skirtas geriamajam vandeniui ruošti, išsiskyrė efektyvumu (efektyvumas iki 98 %) šalinant PO_4-P iš biologiškai valytų nuotekų, kuriose skendinčiųjų medžiagų koncentracija yra nedidelė (<2 mg/l). Miltelių pavidalo adsorbentas SBGx maišomas su smėliu, jo efektyvumas šalinant PO_4-P iš nuotekų svyravo nuo 3 iki 41 %. Plieno drožlių užpildas yra tinkamas PO_4-P šalinti iš buitinių nuotekų, šalinimas vyko 91–94 % efektyvumu. Plieno drožlės yra atlieka, kurios antrinis panaudojimas nuotekoms valyti būtų naudingas aplinkos darnumui, todėl rekomenduojama šioje srityje atlikti daugiau tyrimų.

Reikšminiai žodžiai: nuotekos, fosforas, filtravimas, geležis, šalinimas, efektyvumas.

1. Įvadas

Daugelis ežerų ir kiti gamtiniai vandens telkiniai yra veikiami išorinės fosforo (P) apkrovos, kuri gali būti žalinga ekosistemų biotai (Klimeski et al., 2014). Paviršinio vandens eutrofikacija ir tankus cianobakterijų žydėjimas vandenyje kaip galima eutrofikacijos pasekmė yra visame pasaulyje opi problema (Stroom ir Kardinaal, 2016). Suvaldyti ištirpusio fosforo (P) nuotėkį į paviršinius vandenis yra sudėtinga, dažniausiai taikoma prevencijos praktika yra veiksminga tik siekiant užkirsti kelią netirpaus fosforo emisijoms. Ištirpęs P (fosfatai) turi daug didesnį biologinį prieinamumą nei fosforas, esantis kietųjų dalelių sudėtyje (Mendes, 2020). Todėl kuriamos konstrukcijos, skirtos tirpiam P filtruoti iš nuotekų, kol jos dar nepasiekė vandens telkinio (Mažeikienė, 2019; Penn et al., 2017). Iki šiol tirpiems fosfatams iš nuotekų šalinti buvo taikomi įvairūs būdai: cheminis nusodinimas, biologinis apdorojimas, struvitų susidarymas, membraninis sulaikymas ir adsorbcija (Guan et al., 2023). Įprastinis P apdorojimas paprastai pašalina mažiau nei 40 % tirpaus nereaktyvaus P (sNRP). Vadinasi, maždaug 26–81 % nuotekų P gali būti labiau reaktyvios formos (Qin et al., 2015). Siekiant pašalinti iš nuotekų kuo daugiau fosforo, reikalingas papildomas valymas. Fosforo šalinimas iš nuotekų, taikant adsorbcijos procesus, sulaukia daugiau mokslininkų dėmesio (Abukhadra et al., 2020; Penn ir Bowen, 2018). Sorbcijos procesais paremtos technologijos turi keletą privalumų, pavyzdžiui, susidaro mažiau dumblo ir technologijos nėra sudėtingos, veikia paprastai (Wang et al., 2017), tačiau sorbcijos efektyvumas labai priklauso nuo adsorbento pobūdžio ir reakcijos sąlygų. Filtrų sistemos yra perspektyvios technologijos, skirtos ištirpusiam P iš vandens ar nuotekų pašalinti (Penn ir Bowen, 2018). Pagrindinis filtrų sistemos komponentas yra filtro medžiaga, kuri paprastai yra natūralus, sintetinis arba šalutinis produktas, turintis metalo katijonų ir pasižymintis stipriu P sulaikymo afinitetu bei talpa (Mendes, 2020). Filtrų medžiagos paprastai yra akytos ir turtingos Fe, Al, Mg arba Ca (Gubernat et al., 2020). Šarminėje filtro medžiagoje, pvz., plieno šlake ir kalcinuotame kalkakmenyje, yra CaO arba MgO, kurie po gesinimo vandenyje virsta atitinkamais hidroksidais. Paprastai postuluojama, kad amorfiniai trikalcio fosfatai susidaro

© 2024 Autoriai. Leidėjas Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Šis straipsnis yra atvirosios prieigos straipsnis, turintis Kūrybinių bendrijų (Creative Commons) licenciją (CC BY 4.0), kuri leidžia neribotą straipsnio ar jo dalių panaudą su privaloma sąlyga nurodyti autorių ir pirminį šaltinį.

kaip pradinės P nuosėdos Ca pagrindo filtrų medžiagose. Valomų buitinių nuotekų pH dažniausiai būna neutralus (~7,5), todėl būtina ištirti sorbentų veikimą realiomis sąlygomis. Dauguma tyrimų atlikta su dirbtiniais tirpalais ir dirbtinėmis nuotekomis (Kirjanova, 2014). Labiausiai ištirtos medžiagos, sėkmingai adsorbuojančios fosfatus iš tirpalų, yra šios: geležies oksidai, mezosilikatai, ceolitas, bioanglys, raudonasis purvas ir aliuminio oksidai (Ahmed et al., 2016; Stepova et al., 2023). Be to, didėja susidomėjimas geležies atliekų naudojimu vandeniui valyti ir fosfatams regeneruoti (Öfverström et al., 2020).

Darbo tikslas – išbandyti geležies turinčių medžiagų efektyvumą sorbuojant tirpųjį fosforą iš realių, biologiniu būdu jau išvalytų, nuotekų.

2. Tyrimų metodika

Eksperimentinis kolonėlių stendas

Atlikti pasirinktam bandymui VILNIUS TECH Aplinkos apsaugos ir vandens inžinerijos katedros laboratorijoje įrengtas trijų kolonėlių stendas (1 paveikslas). Stendas sudarytas iš trijų skaidraus stiklo kolonėlių, kiekvienos kurių apačioje yra filtrato išleidimo žarnelės ir ventiliai.



1 paveikslas. Eksperimentinis trijų kolonėlių stendas

Trys kolonėlės užpildytos 7 cm aukščio tiriamų medžiagų (sorbentų) sluoksniu. Kiekvienos kolonėlės apačioje, virš dugno, supiltas palaikantysis smulkių granito akmenėlių sluoksnis (3 cm aukščio). Pirmojoje ir antrojoje kolonėlėse virš palaikančiojo sluoksnio supilti kvarcinio smėlio sluoksniai (2 cm). Antrojoje kolonėlėje 3 cm kvarcinio smėlio sluoksnis supiltas ir virš sorbuojančiojo užpildo. Granito akmenėliai bei kvarcinis smėlis laikomi inertinėmis medžiagomis, kurios pačios nesorbuoja fosforo. Eksperimente šios medžiagos panaudotos tik prilaikyti ar prispausti sorbentų sluoksniams.

Sorbciniai filtravimo kolonėlių užpildai

Trys medžiagos, savo sudėtyje turinčios geležies, patalpintos į eksperimentinio stendo kolonėles:

1. Komercinis produktas GEH®102 – patentuotas didelio našumo adsorbentas, skirtas geriamajam vandeniui ruošti. Geležies oksido hidroksido pagrindu pagamintos adsorbcinės granulės, kurios suriša sunkiuosius metalus ir kitus teršalus bei pašalina juos iš požeminio vandens. Nepakeičia natūralių ir vertingų vandens savybių. Cheminė sudėtis: β-FeOOH ir $Fe(OH)_3$; geležies kiekis, priklausomai nuo sausų medžiagų: 600 g/kg (± 10 %); granulių dydis: 0.2–2.0 mm.
2. Geležies oksidų pagrindu pagamintas priedas, gamintojas „SwissBiogas.com SBGx“ (SBGx). Produktas skirtas anaerobiniam dumblo pūdymui intensyvinti (https://swissbiogas.com). Jo sudėtyje yra vienodas FeO ir Fe_2O_3 kiekis, o kitų oksidų procentinė koncentracija yra nedidelė: CaO (<0,5), Al_2O_3 (<0,5), K_2O (<0,05), MnO (<1,0), NiO (<0,1), MgO (<0,5), Cr_2O_3 (<0,2), CoO (<0,05), Zn (<0,1) ir Cu (<0,1). Ši medžiaga yra miltelių pavidalo, dalelių dydis – 0,005–0,007 mm. Geležies oksidų pagrindu pagamintas priedas SBGx maišomas su kvarciniu smėliu santykiu 2:1. Maišyti su smėliu nuspręsta dėl SBGx dalelių smulkumo, kad būtų įmanomas filtravimas.
3. Plieno drožlės, gautos iš UAB „Destata Profil“ (DIN17135, AST45). Plieno drožlės yra atliekos, paimtos iš tekinimo staklių. Drožlių sudėtyje C yra ne daugiau nei 2 % , o Si, Mn, Cr, Ni, Mo, S, P, N cheminių elementų kiekis yra ne didesnis nei 1,8 %. Drožlių dalelių dydis – 1,5–7,5 mm. Plieno drožlės pasirinktos todėl, kad yra atliekos ir jų panaudojimas fosforo sorbcijai iš nuotekų prisidėtų prie aplinkos darnumo. Iš visų metalinių gaminių masės geležis sudaro apie 95 %. Tam įtakos turi santykinis geležies pigumas ir tvirtumas, dėl kurio ją galima panaudoti įvairiose srityse, įskaitant automobilių pramonę, laivų statybą, statybinių konstrukcijų gamybą (Kareiva, 2021). Didžiausias geležies ar plieno panaudojimo trūkumas yra korozija, rūdžių, $Fe(OH)_3$ ir FeO(OH), susidarymas. Kasmet pasaulyje pagaminami milžiniški geležies kiekiai.

Eksperimentų eiga

Iš veikiančio individualaus nuotekų valymo įrenginio atvežta 100±10 litrų nuotekų. Šios gautos nuotekos jau išvalytos naudojant veiklųjį dumblą. Išmatuota atsivežtų

nuotekų temperatūra, pH, skendinčiųjų medžiagų koncentracija ir PO_4-P koncentracija. Nuotekų temperatūra įvertinta matuokliu *SevenGo pro SG6* („Mettler Toledo“, Šveicarija). pH nustatytas potenciometriškai (LST EN ISO 10523:2012), matuojant WTW gamybos pH–metru pH – 330i, matavimų kokybės kontrolei naudoti *Hamilton* (Šveicarija) sertifikuoti etaloniniai buferiniai tirpalai pH 7,00±0,01 ir pH 9,21±0,02. Skendinčiųjų medžiagų koncentracija įvertinta gravimetriniu metodu, nuotekas košiant pro stiklo pluošto koštuvą (LAND 46–2007), sverta KERN (Vokietija) ABJ 220–4M tipo elektroninėmis laboratorinėmis svarstyklėmis. Skendinčiųjų medžiagų koncentracija apskaičiuota pagal 1 formulę:

$$C = \frac{1000 \times (m_2 - m_1)}{V_b}, \quad (1)$$

čia: C – skendinčiųjų medžiagų koncentracija, mg/l; m_2 – koštuvo masė po filtravimo, mg; m_1 – koštuvo masė prieš filtravimą, mg; V_b – bendras mėginio tūris, ml.

Visas ekspermentas yra pradedamas, nuotekas supilant į tris kolonėles. Filtravimas vykdomas iš viršaus į apačią, sorbentų užpildai visą laiką apsemti, palaikant 25 cm aukščio skysčio sluoksnį virš užpildų. Filtravimo greitis yra nustatomas tūriniu metodu. Atliekant ekspermentą nustatyta, kad nuotekos filtruojamos 0,00118 m^3/h debitu. Skersmuo visose kolonėlese vienodas – 0,045 m. Apskaičiuotas kolonėlės skerspjūvio plotas – 0,0016 m^2. Pasitelkus 2 formulę, apskaičiuotas filtravimo greitis:

$$v = \frac{Q}{A}, \text{ m/h ;} \quad (2)$$

čia: v – filtravimo greitis, m/h; Q – filtravimo debitas, m^3/h; A – kolonėlės užpildo paviršiaus plotas, m^2.

Pagal ventilį, kuris yra filtravimo kolonėlės apačioje, galima reguliuoti filtravimo greitį. Viso eksperimento metu palaikomas toks pat, 0,74 m/h, greitis. Filtrato mėginiai pirmomis dienomis imami kas valandą, o tęsiant eksperimentą mėginiai imami tuomet, kai filtratas prateka pro visą stiklo kolonėlę. Paimtuose mėginiuose matuojama tirpaus fosforo (PO_4–P) koncentracija. Matavimams atlikti pasitelktas MERCK „Spectroquant“ testas. Testų ribos: 0,50–30,0 mg/l PO_4–P. Matavimai kartojami po 3 kartus.

3. Rezultatai

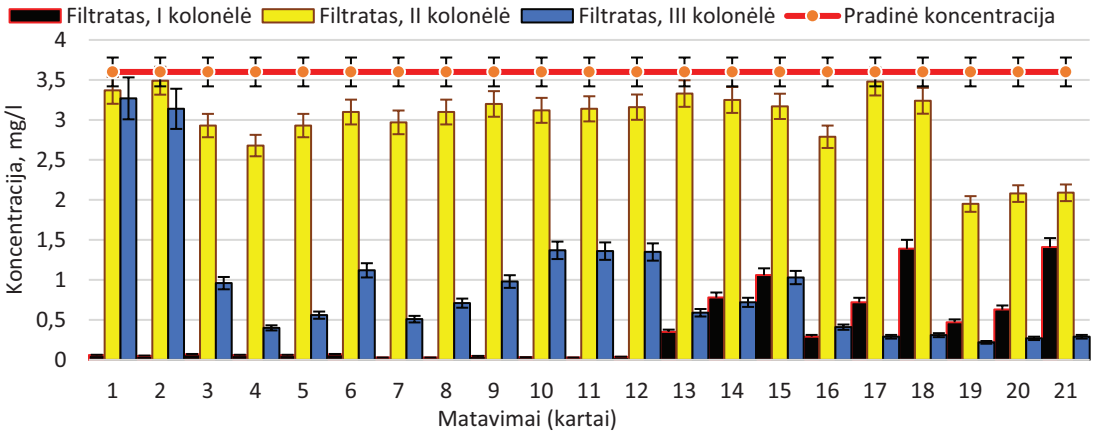
Iš individualaus mažo debito nuotekų valymo įrenginio atsivežtose, biologiniu būdu išvalytose nuotekose skendinčiųjų medžiagų koncentracija labai nedidelė (<2 mg/l), todėl manoma, kad skendinčiosios medžiagos neužkimš filtrų ir nesusidarys dideli slėgio nuostoliai. Gautų nuotekų fiksuotas pH – 7,38, o temperatūra – 15,1 °C. Išmatavus pradinę PO_4–P koncentraciją nuotekose, gauta, kad ji yra 3,6±0,4 mg/l.

Visas filtravimo eksperimentas truko 17 valandų. PO_4–P koncentracijos mažinimo nuotekose, jas filtruojant per kolonėlių užpildus, rezultatai pateikti 2 ir 3 paveiksluose.

Iš 2 paveiksle pateiktų rezultatų matyti, kad eksperimento pradžioje mažiausia (<0,1 mg/l) PO_4–P koncentracija yra filtrate iš pirmosios kolonėlės, kuri užpildyta komerciniu sorbentu GEH®102. Per pirmas dvi filtravimo valandas kiti du sorbentai (SBGx ir plieno drožlės), patalpinti atitinkamai į II ir III kolonėles, neveikė efektyviai, filtrate iš II kolonėlės liko 3,4–3,5 mg/l, o iš III kolonėlės – 3,3–3,2 mg/l PO_4-P koncentracija. Tirpaus fosforo šalinimo iš nuotekų efektyvumas antrąją filtravimo valandą: 98,6 % (I kolonėlė), 3,1 % (II kolonėlė) ir 12,8 % (III kolonėlė). Iš 3 paveikslo matyti, kad, tęsiantis eksperimentui, per 20 filtravimo valandų I kolonėlės efektyvumas šalinant PO_4-P iš nuotekų sumažėjo nuo 98 iki 61 %. Daroma išvada, kad efektyviai veikiančio sorbento geba mažėja. Per visą eksperimento laikotarpį filtrate iš I kolonėlės tik 3 kartus išmatuota 1,1–1,4 mg/l PO_4–P koncentracija, kitais atvejais ji mažesnė nei 1 mg/l. Tokia koncentracija neviršija griežčiausių DLK normų, apibrėžtų LR Nuotekų tvarkymo reglamente. Daroma išvada, kad sorbentas GEH®102 tinkamas fosforui iš buitinių nuotekų šalinti, jei nuotekos jau yra po biologinio valymo ir skendinčiųjų medžiagų koncentracija jose yra maža (<2 mg/l).

Antrosios kolonėlės efektyvumas šalinant tirpųjį fosforą svyravo ribose nuo 3 iki 41 % (3 paveikslas). Efektyvumas padidėjo eksperimento pabaigoje ir paskutines tris valandas viršijo 40 %. Keliama hipotezė, kad pasikeitė sorbento SBGx sudėtyje esančios geležies valentingumas. Gauto sorbento sudėtyje pastebėtas vienodas FeO ir Fe_2O_3 kiekis, tačiau, filtruojant nuotekas apsemtame SBGx sluoksnyje, galėjo vykti bakterijų vykdoma oksidacija ir dvivalentė geležis galėjo pereiti į trivalentę formą. Kaip pastebėjo Su ir kt. (2019), bakterijos, esančios vandeninėje terpėje, veikia sorbcijos procesus.

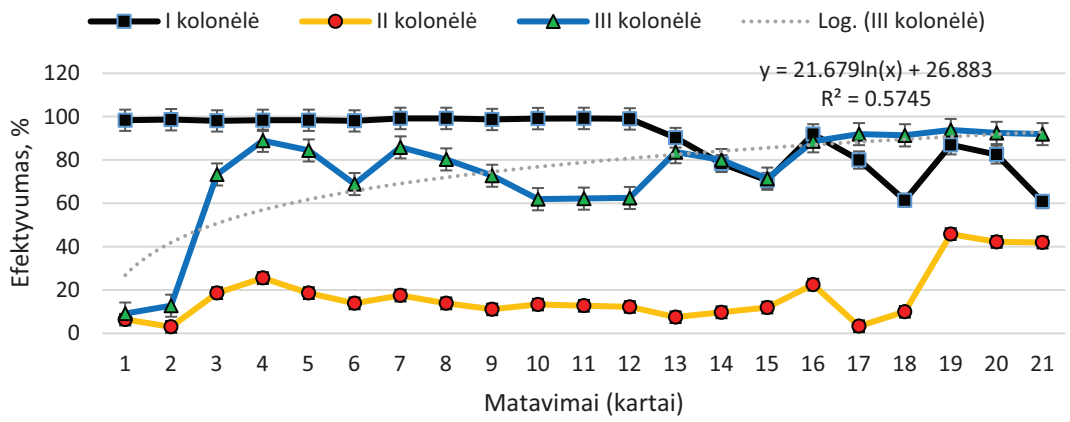
Trečiosios kolonėlės efektyvumas šalinti tirpųjį fosforą svyravo ribose nuo 9 iki 94 % (3 paveikslas). Pažymėtina, kad iš pradžių plieno drožlių užpildas nepasižymėjo efektyvumu šalinti PO_4-P iš nuotekų, o eksperimento pabaigoje III kolonėlės efektyvumas užfiksuotas pats didžiausias. Efektyvumas kito pagal logaritminę funkciją, kurios determinacijos koeficientas R2 = 0.5745. Daroma prielaida, kad nuotekomis apsemtame plieno drožlių sluoksnyje vyko fizikiniai ir biologiniai procesai, kurių metu geležis oksidavosi ir perėjo į trivalentę formą. Eksperimento rezultatai patvirtina jau anksčiau



2 paveikslas. Išmatuotos PO_4–P koncentracijos filtratuose iš trijų kolonėlių bei pradinė PO_4–P koncentracija atsivežtose nuotekose

pastebėtą (Jakubėnas et al., 2014) aplinkybę, kad plieno drožlių užpildui tam, kad jis pradėtų veikti efektyviai (efektyvumas >90 %), reikalingas paleidimo-derinimo laikotarpis. Šio darbo skirtumas tas, kad filtravimo kolonėlėje plieno drožlių užpildas yra apsemtas ir filtruojamos realios nuotekos po biologinio valymo, o Jakubėno ir kt. (2014) tyrime laistomuoju filtru buvo valomos dirbtinės nuotekos.

Trečiosios kolonėlės efektyvumas šalinant tirpųjį fosforą svyravo nuo 9 iki 94 % (3 paveikslas). Pažymėtina, kad iš pradžių plieno drožlių užpildas nepasižymėjo efektyvumu šalinant PO_4–P iš nuotekų, o eksperimento pabaigoje užfiksuotas III kolonėlės efektyvumas yra pats didžiausias. Efektyvumas kito pagal logaritminę funkciją, kurios determinacijos koeficientas $R^2 = 0.5745$. Daroma prielaida, kad nuotekomis apsemtame plieno drožlių sluoksnyje vyko fizikiniai ir biologiniai procesai, kurių metu geležis oksidavosi ir perėjo į trivalentę formą. Eksperimento rezultatai patvirtina jau anksčiau pastebėtą (Jakubėnas et al., 2014) aplinkybę, kad plieno drožlių užpildui tam, kad jis pradėtų veikti efektyviai (efektyvumas >90 %), reikalingas paleidimo-derinimo laikotarpis. Šio darbo skirtumas yra tas, kad filtravimo kolonėlėje plieno drožlių užpildas yra apsemtas ir filtruotos realios nuotekos po biologinio valymo, o Jakubėno ir kt. (2014) tyrime laistomuoju filtru valomos dirbtinės nuotekos. Ankstesnių tyrimų metu neapsemti filtrai dirbo 24 valandas per parą, į kiekvieną filtrą buvo tiekiama 4,32 l/d dirbtinių nuotekų, plieno drožlių sluoksnis buvo 0,9 m ir pasiektas 99 % PO_4–P šalinimo efektyvumas. Šiame tyrime filtravimas vyko per 0,07 m aukščio užpildo sluoksnį, į kolonėles buvo tiekiama 1,18 l/h realių, biologiškai valytų nuotekų ir buvo pasiektas 91–94 % efektyvumas. Daroma išvada, kad plieno užpildas gana efektyviai šalina PO_4-P iš dirbtinių bei realių nuotekų (tiek apsemtame filtre, tiek laistomajame). Pastebėta, kad, filtravimą vykdant po 5 valandas su pertraukomis, po pertraukų II ir III kolonėlių efektyvumas padidėdavo. Tai galima paaiškinti geresne PO_4–P adsorbcija į gilesnius sorbentų sluoksnius, kai filtravimas nevyksta. PO_4–P šalinimo iš skystosios terpės mechanizmas nėra pilnai išaiškintas. Manoma, kad vyksta heterogeninės reakcijos. Pasiekusios kietą geležies paviršių, fosforo junginių molekulės jungiasi su



3 paveikslas. PO_4–P šalinimo trijose kolonėlėse efektyvumas (%)

paviršiumi reaktyviose (cheminė reakcija) ir nereaktyviose (sorbcijos sąveika) vietose. Filtruojant realias nuotekas, kurios yra jau po biologinio valymo, sorbcijos procesai yra veikiami bakterinių fermentų. Venkiteshwaran ir kt. (2018) pastebėjo, kad, panaudojus selektyvias, didelio afiniteto *E. coli* bakterijų fosfatą surišančio baltymo adsorbcijos savybes, atsiranda galimybė sukurti naujovišką valymo sistemą, kuri gali veiksmingai pašalinti tirpųjį fosforą, jį sumažindama iki itin žemo lygio (<100 µg/L). Geležies turintys sorbentai gali būti panaudoti tretinio nuotekų valymo grandyje, kuriant filtravimo sistemas (Mažeikienė et al., 2021). Plieno drožlių efektyvumas sulaikant PO_4–P šio tyrimo pabaigoje susilygino su didelio našumo sorbento GEH®102 efektyvumu ir jį viršijo. Pažymėtina, kad apsemtas plieno drožlių užpildas nesurūdijo, jo tūris nepadidėjo. Rekomenduojama šiuos preliminarius tyrimus išplėsti, ypač atkreipiant dėmesį į plieno apdirbimo atliekos – plieno drožlių – antrinį panaudojimą nuotekoms valyti nuo PO_4–P. Kitas svarbus aspektas – kaip atsiimti fosforą iš panaudotų filtrų užpildų. Norint sukurti žiedinę fosforo ekonomiką, būtina sukurti naujoviškas nuotekų valymo sistemas, kurios galėtų grįžtamai pašalinti neorganinį fosfatą, jį sumažindamos iki itin žemo lygio (<100 µgL/1).

4. Išvados

1. Adsorbentas GEH®102, skirtas geriamojo vandens ruošimui, yra efektyvus (efektyvumas iki 98 %) ir tinkamas PO_4-P šalinti iš biologiškai valytų nuotekų, kuriose skendinčiųjų medžiagų koncentracija yra nedidelė (<2 mg/l).
2. Grynas miltelių pavidalo adsorbentas SBGx nėra tinkamas nuotekoms filtruoti, todėl turi būti maišomas su smėliu ar kita inertine medžiaga. Šio adsorbento efektyvumas šalinant iš nuotekų PO_4–P svyravo nuo 3 iki 41 %.
3. Plieno drožlių užpildas yra tinkamas PO_4-P šalinti iš buitinių nuotekų, kuriose po biologinio valymo yra sumažinta skendinčiųjų medžiagų koncentracija (iki 2 mg/l). Apsemtas 7 cm aukščio plieno drožlių užpildas gali sorbuoti iš nuotekų PO_4-P 91–94 % efektyvumu, kai nuotekos filtruojamos 0,74 m/h greičiu.
4. Plieno drožlės yra atlieka, kurios antrinis panaudojimas nuotekoms valyti būtų naudingas aplinkos darnumui. Todėl rekomenduojama šioje srityje atlikti daugiau tyrimų.

Literatūra

Abukhadra, M. R., Ali, S. M., Nasr, E. A., Mahmoud, H. A. A., & Awwad, E. M. (2020). Effective sequestration of phosphate and ammonium ions by the bentonite/zeolite Na–P composite as a simple technique to control the eutrophication phenomenon: Realistic studies. *ACS Omega, 5*(24), 14656–14668. https://doi.org/10.1021/acsomega.0c01399

Ahmed, M. B., Zhou, J. L., Ngo, H. H., & Guo, W. (2016). Insight into biochar properties and its cost analysis. *Biomass and Bioenergy, 84*, 76–86, https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.11.002

GEH wasserchemie. (n.d.). *GEH®102*. https://www.geh-wasserchemie.com/en/applications/drinking-water/

Guan, Q., Li, Y., Zhong, Y., Liu, W., Zhang, J., Yu, X., Ou, R., & Zeng, G. (2023). A review of struvite crystallization for nutrient source recovery from wastewater. *Journal of Environmental Management*, *344*, Article 118383. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118383

Gubernat, S., Masłoń, A., Czarnota, J., & Koszelnik, P. (2020). Reactive materials in the removal of phosphorus compounds from wastewater – a review. *Materials (Basel) 13*(15), Article 3377. https://doi.org/10.3390/ma13153377

Jakubėnas, A., Dauknys R. ir Kirjanova, A. (2014). Fosfatų šalinimo iš nuotekų, panaudojant metalo drožles, tyrimai. Iš *17-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis" teminės konferencijos „Pastatų inžinerinės sistemos" straipsnių rinkinio* (p. 26–31). Technika.

Kareiva, A. (2021). *Nuostabusis cheminių elementų pasaulis*. Lietuvos mokslų akademija. https://www.lma.lt/uploads/LMA%20leidyba/Kareiva%20internetui1.pdf

Kirjanova, A. (2014). *Buitinių nuotekų individualaus valymo technologijos tyrimai ir sukūrimas* [daktaro disertacija, Vilniaus Gedimino technikos universitetas]. Technika. https://doi.org/10.20334/2307-M

Klimeski, A., Uusitalo, R., & Turtola, E. (2014). Screening of Ca- and Fe-rich materials for their applicability as phosphate-retaining filters. *Ecological Engineering, 68*, 143–154. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.03.054

Mažeikienė, A., Vaiškūnaitė, R. ir Šarko, J. (2021). Sand from groundwater treatment coated with iron and manganese used for phosphorus removal from wastewater. *Science of The Total Environment*, 764, Article 142915. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142915

Mažeikienė, A. (2019). Improving small-scale wastewater treatment plant performance by using a filtering tertiary treatment unit. *Journal of Environmental Management, 232*, 336–341. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.076

Mendes, L R. D. (2020). Edge-of-field technologies for phosphorus retention from agricultural drainage discharge applied sciences. *Applied Sciences, 10*(2), Article 634. https://doi.org/10.3390/app10020634

Öfverström, S., Davidsson, Å., Haghighatafshar, S., Kjerstadius, H., & la Cour Jansen, J. (2020). Waste ochre for control of phosphates and sulfides in digesters at wastewater treatment plants with enhanced biological phosphorus removal. *Clean Technologies,* 2(1), 116–126. https://doi.org/10.3390/cleantechnol2010008

Penn, C., Chagas, I., Klimeski, A., & Lyngsie, G. (2017). A review of phosphorus removal structures: How to assess and compare their performance. *Water, 9*(8), Article 583. https://doi.org/10.3390/w9080583

Penn, C. J., & Bowen, J. M. (2018). *Design and construction of phosphorus removal structures for improving water quality* (1st ed.). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-58658-8

Qin, C., Liu, H., Liu, L., Smith, S., Sedlak, D. L., Gu, A. Z. (2015). Bioavailability and characterization of dissolved organic nitrogen and dissolved organic phosphorus in wastewater effluents. *Science of The Total Environment, 511*, 47–53. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.11.005

Stepova, K., Fediv, I., Mažeikienė, A., Šarko, J., & Mažeika, J. (2023). Adsorption of ammonium ions and phosphates on natural and modified clinoptilolite: Isotherm and breakthrough curve measurements. *Water, 15*(10), Article 1933. https://doi.org/10.3390/w15101933

Stroom, J. M., & Kardinaal, W. E. A. (2016). How to combat cyanobacterial blooms: Strategy toward preventive lake restoration and reactive control measures. *Aquatic Ecology, 50*, 541–576. https://doi.org/10.1007/s10452-016-9593-0

Su, M., Han, F., Wu, Y., Yan, Z., Lv, Z., Tian, D., Wang, S., Hu, S., Shen, Z., & Li, Z. (2019). Effects of phosphate-solubilizing bacteria on phosphorous release and sorption on montmorillonite. *Applied Clay Science*, *181*, Article 105227. https://doi.org/10.1016/j.clay.2019.105227

Venkiteshwaran, K., Pokhrel, N., Hussein, F., Antony, E., & Mayer, B. K. (2018). Phosphate removal and recovery using immobilized phosphate binding proteins. *Water Research X*, *1*, Article 100003.

https://doi.org/10.1016/j.wroa.2018.09.003

Wang, N., Feng, J., Chen, J., Wang, J., & Yan, W. (2017). Adsorption mechanism of phosphate by polyaniline/TiO2 composite from wastewater. *Chemical Engineering Journal*, *316*, 33–40. https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.01.066

EFFICIENCY OF IRON-CONTAINING FILTER FILTERS IN THE REMOVAL OF SOLUBLE PHOSPHORUS

A. VARNAGIRIS, A. MAŽEIKIENĖ

Abstract. The aim of this work is to test the effectiveness of iron-containing materials in sorbing soluble phosphorus from real, biologically treated wastewater. Three materials containing iron were chosen for the research: sorbents GEH®102, SBGx and steel chips, which were placed in 3 columns of the experimental bench. Filtration took place at a speed of 0.74 m/h from top to bottom, the sorbent fillers were covered all the time, and a 25 cm high liquid layer was maintained above the fillers. The GEH®102 adsorbent for drinking water treatment has been shown to be effective (up to 98% efficiency) in removing PO_4-P from biologically treated wastewater with low suspended solids concentrations (<2 mg/l). Powdered adsorbent SBGx was mixed with sand, its efficiency for PO_4-P removal from wastewater ranged from 3 to 41%. Steel chip filler proved to be suitable for PO_4-P removal from domestic wastewater, with 91–94% efficiency. Steel shavings are a waste whose secondary use for wastewater treatment would be beneficial in the context of environmental sustainability, and more research is recommended in this area.

Keywords: wastewater, phosphorus, filtration, iron, disposal, efficiency.

VILNIUS TECH
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

27-oji Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis" teminė konferencija
Proceedings of the 27th Conference for Junior Researchers "Science – Future of Lithuania"

DARNI APLINKA / SUSTAINABLE ENVIRONMENT

2024 m. balandžio 25 d., Vilnius, Lietuva
25 April 2024, Vilnius, Lithuania

ISSN 2029-7157 / eISSN 2029-7149
eISBN 978-609-476-359-5
https://doi.org/10.3846/da.2024.005

Aplinkos apsaugos inžinerija / Environmental Protection Engineering *https://vilniustech.lt/346238*

CASE STUDY OF LITHUANIA: INVESTIGATION OF GHG EMISSIONS REDUCTION FROM MUNICIPAL SOLID WASTE MANAGEMENT PRACTICES

Ernesta VARAPNICKAITĖ*, Saulius VASAREVIČIUS

Department of Environmental Protection and Water Engineering, Faculty of Environmental Engineering, Vilnius Gediminas Technical University, Vilnius, Lithuania
**E-mail: ernesta.varapnickaite@stud.vilniustech.lt*

Received 4 March 2024; accepted 18 March 2024

Abstract. This upcoming article will present a comprehensive case study conducted in Lithuania, focusing on the reduction of greenhouse gas (GHG) emissions through innovative municipal solid waste management practices. The research methodically analyze various waste management strategies implemented across Lithuania and their effectiveness in lowering GHG emissions. A significant portion of the study will be devoted to exploring the policy implications of the findings. It will propose actionable recommendations for policymakers, aimed at enhancing the efficacy of waste management systems in reducing environmental footprints. The outcome of this research is a set of data-driven insights that can inform future waste management policies.

Keywords: waste management, sustainability, decarbonization, GHG emissions, municipal waste.

1. Introduction

Daily human activities significantly contribute to global warming through the release of greenhouse gases (GHGs). An average individual generates approximately 0.74 kilograms of waste daily, as per World Bank data (Kaza, 2018), with a third of this waste being improperly managed, posing environmental risks. This mismanagement contributes to over 3.3 billion tonnes of CO_2 equivalent emissions worldwide. Projections indicate a potential doubling of waste production, underscoring the urgency of adopting effective waste management strategies. These strategies prioritize waste prevention, reuse, recycling, and recovery before resorting to landfill disposal, the latter being a significant source of methane emissions, accounting for about 11% of global and 50% of waste sector-specific methane emissions (Kaza et al., 2018).

The waste management sector plays a pivotal role in the emission of GHGs, with activities ranging from collection to disposal contributing to atmospheric carbon levels. GHGs, including carbon dioxide (CO_2), methane (CH_4), and nitrous oxide (N_2O), are significant in climate change, highlighting the sector's impact on global warming. Addressing the escalating waste volumes necessitates a shift towards decarbonizing waste management practices.

Decarbonization refers to strategies aimed at reducing or eliminating carbon emissions across various sectors, from transportation to waste disposal. Within the waste management sector, decarbonization is viewed as a critical component of climate change mitigation efforts. By adopting and implementing effective decarbonization measures, the sector can significantly reduce its carbon footprint and environmental impact, offering a viable approach to mitigating GHG emissions associated with waste (Morseletto, 2020).

2. Introduction to Lithuania's waste management

As it can be observed from the Figure 1, The annual production of municipal waste in Lithuania has exhibited a relatively constant figure, approximately 1.3 million tonnes, since 2016, with a recorded amount of 1.35 million tonnes in 2020.

Notably, the per capita waste generation has observed a gradual escalation from 444 kilograms per

© 2024 The Author(s). Published by Vilnius Gediminas Technical University. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

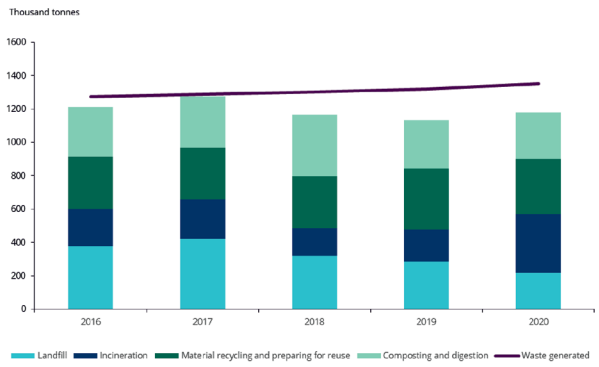


Figure 1. Municipal waste generation and treatment in Lithuania between 2016 and 2020, in thousand tonnes (EEA, 2022)

capita in 2016 to 483 kilograms per capita by 2020. This increment, however, remains below the estimated European Union average of 505 kilograms per capita (European Environmental Agency [EEA], 2022). In a strategic move to diminish its dependency on landfill disposal, Lithuania has significantly expanded its capacity for processing mixed municipal waste. This expansion includes the enhancement of both Mechanical Biological Treatment (MBT) facilities and the adoption of waste-to-energy incineration methods. The operational commencement of two additional waste incineration plants in 2020 markedly augmented the nation's incineration capacity from 255,000 tonnes annually to 615,000 tonnes, as reported by the Ministry of Environment in 2021. As a result, the proportion of waste consigned to landfills decreased from 29.8% in 2016 to 16.3% in 2020, with a corresponding rise in incineration to 25.9% (Valstybės kontrolės tarnyba, 2023).

The current landfill waste mainly consists of MBT residuals, following the 2013 prohibition against the landfilling of untreated waste. Concurrently, the period observed a modest increase in material recycling rates and a significant flow in the quantities of waste composted and digested, primarily driven by MBT-derived outputs classified as composted or digested, according to Eurostat data from 2021 (EEA, 2021).

In the years 2018, 2019, and 2020, the volumes of treated municipal waste were consistently lower than the generated amounts. This discrepancy is attributed to mass losses inherent in the MBT process, as well as the temporary storage of combustible MBT outputs. A notable decline in the treatment rate in 2019 was linked to the increased temporary storage of refuse-derived fuel (RDF), which could not be processed due to the incineration facilities operating at maximum capacity, as indicated by the Lithuanian Environmental Protection Agency in 2019 (European Environmental Agency, 2023). However, this backlog is anticipated to be addressed with the inception of the two new incineration plants in 2021, as stated by the Environmental Protection Agency of Lithuania in 2020 (Valstybės kontrolės tarnyba, 2023).

An improvement in the accessibility of municipal waste collection services has been observed, with coverage expanding from 94% of the population in 2010 to 99% by 2019, demonstrating a significant reduction in the number of individuals not served by waste collection services. This data, provided by the Environmental Protection Agency of Lithuania and Eurostat in 2020 and 2017 respectively, underscores a comprehensive enhancement in waste management infrastructure (Eurostat, 2020).

3. Green House Gas emissions from waste management

GHG emissions from the waste sector can be primarily attributed to a reduction in greenhouse gas (GHG) emissions resulting from the disposal of solid waste, specifically through a decline in landfilling practices. Landfilling refers to the act of depositing waste onto land or into designated areas. One significant contributor to GHG emissions in landfills is the organic portion of the waste, which generates methane emissions. In Lithuania most of the landfills are used for construction and the waste, that are no longer available for recycling or the waste that are left after the treatment. There are only 11 working landfills in Lithuania (Valstybės kontrolės tarnyba, 2023). Although comparing the waste sector with other biggest contributors, the reduction in GHG emissions is not so significant; the waste sector managed to reduce its emissions by 35% over 30 years (EEA, 2023a).

In the Lithuanian waste sector, there has been a pronounced diminution in greenhouse gas emissions (GHGEs), achieving a 1.9-fold decrease from 1.689 million tonnes of CO_2 equivalent to 894 kt CO_2 eq. This trend is associated with demographic decline, enhancements in waste management infrastructure, and elevated environmental consciousness. Methane emissions, predominantly originating from landfill biodegradable waste and wastewater processes, represented 25% of the total methane output in 2021. Additionally, the sector was responsible for 2% of the aggregate nitrous oxide emissions, arising from wastewater treatment, composting, and waste incineration activities. Notably, the fraction of municipal waste directed to landfills has significantly reduced, facilitated by the deployment of mechanical-biological treatment facilities, implementation of deposit-return schemes for disposable packages, and increased societal awareness, ending in a 46% reduction in landfill GHGEs from 1990 to 2021. Enhanced sewage collection and wastewater treatment efficacy have concurrently improved sludge quality and tripled the reduction of

GHGEs from these activities over the examined period (Konstantinavičiūtė, 2021).

In the Figure 2 it can be seen the current trends in GHG emissions from waste sector. In 2019, land disposal of solid waste and sewage sludge was identified as the predominant source of greenhouse gas (GHG) emissions within the waste sector, accounting for approximately 69.6% of its total GHG output. The trend in GHG emissions from these sources initially saw a slight increase from 1990 to 2003, followed by a decline attributed to the reduction in waste disposal volumes, enhanced landfill gas extraction, and the anaerobic digestion of sewage sludge. A notable surge in emissions between 2000 and 2003 was primarily due to the disposal of significant quantities of organic waste from sugar production, which subsequently decreased as this waste began being repurposed for agricultural use by producers. Post-2010, following the development of regional waste management systems and the introduction of Mechanical Biological Treatment (MBT) facilities in 2016, GHG emissions from biological waste treatment, including composting and anaerobic digestion, rose significantly, reaching 15.1% of the sector's total emissions by 2019 (Konstantinavičiūtė, 2021).

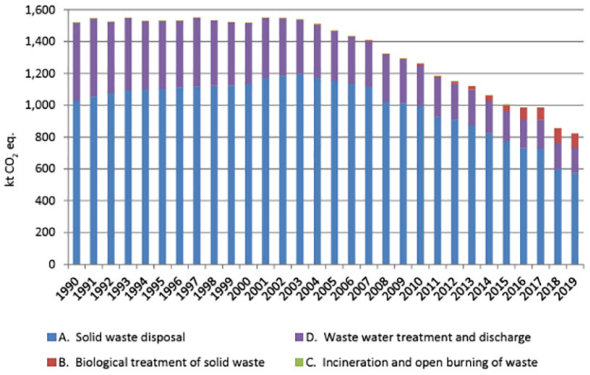


Figure 2. Trend of GHG emissions in waste sector during the period 1990–2019 (Konstantinavičiūtė, 2021)

4. Strategies for GHG emissions reduction in MSW management

Effective waste management is a crucial component of the circular economy, aiming to ensure the safe handling of municipal waste for human health and the environment. This involves reducing waste generation, encouraging the efficient use of secondary materials for recycling or energy production, thereby minimizing the exploitation of natural and other resources and landfilling. The waste hierrarchy is presented in the Figure 3 (European Commission, 2022).



Figure 3. Waste hierarchy (European Commission, 2022)

Policy and regulation play a pivotal role in steering Lithuania's waste management practices towards GHG emissions reduction. The EU's Waste Framework Directive, along with national regulations, has set ambitious targets for recycling and waste reduction, pushing for a transition to a circular economy. Public-private partnerships have been instrumental in achieving these targets, facilitating investments in recycling facilities, waste-to-energy plants, and innovative waste management solutions. These collaborations have enabled the integration of advanced technologies and practices into Lithuania's waste management infrastructure.

The strategic objective of Lithuania's waste prevention and management involves a multifaceted approach aimed at reducing the generation of waste, ensuring the health and environmental safety of waste management practices, and promoting the efficient use of material and energy resources. This strategy prioritizes minimizing the consumption of natural resources and landfill waste disposal while reducing environmental pollution and supplying the industry with local raw materials (Lietuvos Respublikos Vyriausybė, 2021).

The State Waste Prevention and Management Plan for 2021–2027 was developed in line with Lithuania's overarching environmental and sustainable development policies, including the National Progress Plan 2021–2030, the National Sustainable Development Strategy, the National Environmental Protection Strategy, the National Energy and Climate Action Plan for 2021–2030, and the National Climate Change Management Agenda (Lietuvos Respublikos Vyriausybė, 2021). These foundational documents, ratified by various government resolutions and laws, establish the framework for Lithuania's approach to waste management within the context of broader environmental goals, emphasizing circular economy principles and the integration of advanced technologies and innovations. The plan aligns with the National Environmental Policy's (NPP) sixth strategic goal of maintaining high environmental quality and sustainable use of natural resources, protecting biodiversity, mitigating Lithuania's climate impact, and enhancing resilience to climate change effects. It specifically targets reducing waste generation and efficiently

managing waste in accordance with the prioritization of waste management and prevention hierarchies, improving waste sorting at the point of generation, and decreasing the quantity of waste sent to landfills (Valstybės kontrolės tarnyba, 2023).

Strategic waste prevention and management objectives up to 2027 encompass:

- Waste Prevention: Avoiding waste generation and reducing the amount of waste and harmful substances in materials and products by encouraging the choice of reusable items, promoting repair and maintenance services, combating littering, ensuring food waste prevention, and fostering eco-friendly design and business models that incorporate waste prevention.
- Preparation for Reuse: Separating waste at the source for potential reuse or recycling and increasing public environmental awareness and responsibility in waste sorting.
- Recycling and Reuse: Enhancing the recycling process and the use of secondary materials.
- Alternative Waste Utilization: Employing non-recyclable waste to reduce environmental and health risks, and minimizing the amount of waste used for energy production.
- Waste Disposal: Safely disposing of unavoidable waste without harming public health or the environment, including the safe disposal of asbestos waste.

The plan also aims to strengthen the waste prevention and management control system by improving data collection and processing on waste generation and management, tightening control over the activities of product and packaging manufacturers and importers, and enhancing the qualifications of environmental protection control system employees.

Measures to achieve the strategic waste management goals and tasks by 2027 are detailed in the plan's annexes, along with criteria for evaluating the plan's implementation (Valstybės kontrolės tarnyba, 2023).

Other countries has similar, but efficient ways for waste sector decarbonization. For example, Norden Countries as Denmark, Finland, Iceland, Norway and Sweeden has reduced their GHG emissions from waste management sector significantly – by 8 million tonnes of CO_2e, corresponding to a 59% emissions reduction in the sector (Nordic Council of Ministers, 2023). The way to achieve this result were the ban for the landfills, mandatory waste separation – plastics, metals, paper, as well as organic waste. The main accelerator for waste sector decarbonizarion in Nordic countries were waste-to-energy technologies, such as incineration with energy recovery, are utilized to convert non-recyclable waste into heat and electricity, reducing the reliance on fossil fuels for energy generation.

Another example is "Pay as you throw" programm in South Korea, that was implemented in 1995 (Wang et al., 2023). Under this system, households and businesses are charged based on the amount of waste they generate, incentivizing waste reduction and recycling. South Korea's pay-as-you-throw program has been successful in reducing waste generation, increasing recycling rates, and promoting sustainable consumption patterns.

Recommendations

1. According to the other countries examples it is recommended to apply organic waste collection system in all municipalities.
2. Promotion of public awareness and education plays a crucial role in waste reduction and recycling practices, more campaigns would help to increase awareness.

5. Conclusions

1. The waste hierarchy principles–emphasizing prevention, reuse, recycling, and recovery–are central to Lithuania's waste management strategy.
2. The deposit-return system for beverage containers notably improved recycling rates and public participation in sustainable waste management practices.
3. Lithuania's innovative approach to managing non-recyclable waste through waste-to-energy technologies contributes to waste reduction and energy production.
4. The adoption of new technologies and innovative waste management solutions is crucial for addressing the evolving challenges of waste generation and management.

References

European Commission. (2022). *Waste framework directive*. https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/waste-framework-directive_en

European Environment Agency. (2021). *Greenhouse gas emissions by source sector.* Eurostat. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env_air_gge/default/table?lang=en

European Environment Agency. (2023a). *Net greenhouse gas emissions.* Eurostat. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/bookmark/267d40a6-e37e-4745-b44b-03778a428a01?lang=en

European Environmental Agency. (2022). *Early warning assessment related to the 2025 targets for municipal waste and packaging waste.* https://www.eea.europa.eu/publications/many-eu-member-states/early-warning-assessment-related-to

European Environmental Agency. (2023b). *Waste prevention country profile – Lithuania.* https://www.eea.europa.eu/themes/waste/waste-prevention/countries/2023-waste-prevention-country-fact-sheets/lithuania_waste_prevention_2023

Eurostat. (2020). *Waste generation by economic activities and households.* https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Waste_generation_by_economic_activities_and_households,_EU-27,_2018_(%25_share_of_total_waste).png

Kaza, S., Yao, L. C., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). *What a waste 2.0: A global snapshot of solid waste management to 2050.* The World Bank. https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1329-0

Konstantinavičiūtė, I. (2021). *Lithuania's greenhouse gas inventory report 2021.* https://am.lrv.lt/uploads/am/documents/files/KLIMATO%20KAITA/%C5%A0ESD%20apskaitos%20ir%20kt%20ataskaitos/NIR_2021_01_15%20FINAL.pdf

Lietuvos Respublikos Vyriausybė. (2021). *Valstybinis atliekų prevencijos ir tvarkymo 2021–2027 metų planas.* https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.164386/asr

Morseletto, P. (2020). Targets for a circular economy. *Resources, Conservation and Recycling*, *153*, Article 104553. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104553

Nordic Council of Ministers. (2023). *Nordic stocktake pathways to climate neutrality.* https://doi.org/10.6027/temanord2023-545

Valstybės kontrolės tarnyba. (2023). *Komunalinių atliekų tvarkymas.* https://www.valstybeskontrole.lt/LT/Product/Download/4453

Wang, Z., Kim, M.-K., & Kim, H.-N. (2023). *Food waste and pay-as-you-throw system.* https://doi.org/10.2139/ssrn.4527867

LIETUVOS ATVEJO ANALIZĖ – ŠESD IŠMETAMŲJŲ DUJŲ MAŽINIMO IŠ MIŠRIŲ KOMUNALINIŲ ATLIEKŲ SEKTORIAUS VERTINIMAS

E. VARAPNICKAITĖ, S. VASAREVIČIUS

Santrauka. Šiame straipsnyje pristatytas tyrimas apie situaciją Lietuvoje, daugiausia dėmesio skiriant šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) emisijų mažinimui taikant inovatyvias komunalinių atliekų tvarkymo praktikas. Tyrimo metu analizuojamos įvairios visoje Lietuvoje įgyvendinamos atliekų tvarkymo strategijos ir jų efektyvumas mažinant ŠESD emisijas. Dėmesys skiriamas pažangiems technologiniams metodams ir politikos sistemoms, atitinkančioms aplinkos tvarumo tikslus, integruoti. Straipsnyje pasiūlytos įgyvendinamos rekomendacijos, kuriomis siekiama padidinti atliekų tvarkymo sistemų veiksmingumą mažinant ekologinį pėdsaką. Šio tyrimo rezultatas – tai duomenimis pagrįstų įžvalgų rinkinys, galintis padėti formuoti būsimą atliekų tvarkymo politiką.

Reikšminiai žodžiai: atliekos, emisijos, tvarumas, žiedišku-mas, komunalinės atliekos.

VILNIUS TECH
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

27-oji Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis" teminė konferencija
Proceedings of the 27th Conference for Junior Researchers "Science – Future of Lithuania"

DARNI APLINKA / SUSTAINABLE ENVIRONMENT

2024 m. balandžio 25 d., Vilnius, Lietuva
25 April 2024, Vilnius, Lithuania

ISSN 2029-7157 / eISSN 2029-7149
eISBN 978-609-476-359-5
https://doi.org/10.3846/da.2024.006

Aplinkos apsaugos inžinerija / Environmental Protection Engineering *https://vilniustech.lt/346238*

PLUOŠTINIŲ KANAPIŲ SPALIŲ GARSO SUGERTIES IR GARSO PERDAVIMO SUMAŽĖJIMO TYRIMAI

Edgaras STRAZDAS*, Tomas JANUŠEVIČIUS

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Aplinkos inžinerijos fakultetas, Aplinkos apsaugos ir vandens inžinerijos katedra, Vilnius, Lietuva
**El. paštas edgaras.strazdas@vilniustech.lt*

Gauta 2024 m. kovo 4 d.; priimta 2024 m. kovo 18 d.

Santrauka. Atsižvelgiant į globalias tvarumo tendencijas, sintetinės garsą slopinančios medžiagos vis dažniau keičiamos natūralios kilmės medžiagomis. Viena iš tokių medžiagų – pluoštinės kanapės. Nors pasaulyje kanapių pluoštas ir spaliai yra pakankamai gerai ištirti, mokslininkai akcentuoja tyrimų poreikį atskirai kiekvienam regionui, kur auginamos pluoštinės kanapės, nes jų savybės labai skiriasi dėl aplinkos sąlygų įtakos įvairiose jų auginimo vietovėse. Šio tyrimo tikslas – ištirti Lietuvoje užaugintų pluoštinių kanapių spalių, spalių ir pluošto mišinio bei spalių blokelio garso sugerties ir garso izoliavimo savybes ir jų priklausomybę nuo tiriamų bandinių storio ir tankio. Eksperimentiniai tyrimai atliekami vadovaujantis standartiniais metodais ISO 10534-2 ir ASTM E2611-17. Nustatyta, kad didesnio storio kanapių spalių ir kanapių spalių su pluoštu bandiniai geriau sugeria garsą vidutiniuose ir žemuosiuose dažniuose. 150 kg/m^3 tankio bandiniai daugeliu atvejų geriau sugeria garsą visame dažnių diapazone, lyginant su to paties storio 100 kg/m^3 tankio bandiniais. Sumaišius kanapių spalius su dekortikuotu kanapių pluoštu, pagerėjo garso sugertis visoje dažnių juostoje.

Reikšminiai žodžiai: pluoštinės kanapės, kanapių spaliai, garso sugertis, garso perdavimo sumažėjimas.

1. Įvadas

Siekiant užtikrinti tvarumo principus, statybų sektoriuje vis dažniau naudojamos aplinkai nekenksmingos medžiagos, todėl statybinėje akustikoje dažnai naudojamos natūralios kilmės medžiagos, atliekos arba kompozitinės medžiagos (Asdrubali et al., 2012). Norint pagerinti akustinį komfortą, dažnai naudojamos organinės, augalinės kilmės pluoštinės medžiagos, gerai sugeriančios garsą. Pavyzdžiui, Malaizijos mokslininkai pasiūlė naudoti aplinkai nekenksmingas medžiagas: kokoso pluoštą ir šiaudus (Ismail et al., 2016). Natūralus kokoso pluoštas ir šiaudai buvo sumaišyti su sintetiniu pluoštu ir įdėti į triukšmo barjero konstrukciją. Ištyrus barjero prototipą triukšmo slopinimo kameroje, buvo nustatytas reikšmingas garso lygio slopinimas ir didelis šių medžiagų akustinis potencialas. Zulkifli et al. (2010) nustatė, kad kokoso pluoštas gali būti naudojamas kaip kompozitinė medžiaga su medvilniniu pagrindu ir perforuota plokštele, tada garso sugertis gali padidėti iki 0,94–0,95 dažnių diapazone nuo 2600 iki 2700 Hz (Zulkifli et al., 2010). Ouakarrouch et al. (2022) gamino ir tyrinėjo ekologiškas kompozitines plokštes, pagamintas iš 60 % kartono atliekų ir 40 % natūralaus pluošto. Augalinis pluoštas buvo gaunamas iš nendrių, figos medžio, palmės riešutmedžio, alyvmedžio, cukranendrių stiebų, kviečių šiaudų ir ašuotenės daugiamečių žolių. Nustatytas garso sugerties koeficientas siekė 0,4–0,8 ribas (Ouakarrouch et al., 2022). Didelis mokslininkų iš viso pasaulio susidomėjimas augalinėmis medžiagomis rodo šių medžiagų potencialą triukšmo mažinimo srityje ir tolesnių tyrimų poreikį.

Pastaruoju metu pasaulyje dažnai tiriamos pluoštinių kanapių produktų akustinės savybės ir šios medžiagos potencialas akustikoje (Liao et al., 2020; Santoni et al., 2019; Zhang et al., 2023). Iš pluoštinių kanapių gaminamas kanapių pluoštas ir kanapių spaliai. Kanapių spaliai yra medinė kanapių augalo dalis, dažnai naudojama kaip šilumą izoliuojanti medžiaga, kaip augalų ir gyvūnų priežiūros priemonė, taip pat ekologiška statybinė medžiaga. Pastaraisiais metais pluoštinių kanapių auginimas Europos Sąjungoje itin padidėjo – nuo 19 970 hektarų 2015 m. iki 34 960 hektarų 2019 m. 2023 m. Lietuvoje

© 2024 Autoriai. Leidėjas Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Šis straipsnis yra atvirosios prieigos straipsnis, turintis Kūrybinių bendrijų (Creative Commons) licenciją (CC BY 4.0), kuri leidžia neribotą straipsnio ar jo dalių panaudą su privaloma sąlyga nurodyti autorių ir pirminį šaltinį.

buvo auginama 2501,01 hektaro pluoštinių kanapių. Auginant pluoštines kanapes yra prisidedama prie Europos žaliojo kurso tikslų įgyvendinimo: pluoštinės kanapės sugeria didelius kiekius anglies dioksido bei pasižymi greitu biomasės prieaugiu. Lietuvoje masiškai auginti pluoštines kanapes pradėta tik 2014 m., įsigaliojus Lietuvos Respublikos pluoštinių kanapių įstatymui. Dėl šios priežasties pastebima Lietuvoje auginamų pluoštinių kanapių produktų akustinių tyrimų stoka. Nors pasaulyje kanapių pluoštas ir spaliai yra pakankamai gerai ištirti, mokslininkai akcentuoja tyrimų poreikį atskirai kiekvienam regionui, kur auginamos pluoštinės kanapės, nes pluoštinių kanapių savybės labai skiriasi dėl aplinkos sąlygų įtakos įvairiose jų auginimo vietovėse (Delhomme et al., 2020). Pagrindiniai skirtumus lemiantys veiksniai yra klimatas, dirvos struktūra, kritulių kiekis. Skirtingose vietovėse užaugintų pluoštinių kanapių augalai gali skirtis savo pluošto ilgiu, stipriu.

Šio tyrimo tikslas – ištirti Lietuvoje užaugintų pluoštinių kanapių spalių, spalių ir pluošto mišinio bei spalių blokelio garso sugerties ir garso izoliavimo savybes ir jų priklausomybę nuo tiriamų bandinių storio ir tankio.

2. Eksperimentinių tyrimų metodika

Eksperimentiniams tyrimams buvo panaudoti išvalyti kanapių spaliai, pagaminti iš Lietuvoje auginamų pluoštinių kanapių, kurių frakcija svyravo nuo 3 iki 25 mm (1 pav.).



1 paveikslas. Kanapių spaliai

Pluoštinių kanapių spaliai buvo dedami į 3D spausdintuvu atspausdintas formas, kurios nedaro įtakos tyrimų rezultatams. Formos skersmuo siekia 29,9 mm, sienelių storis 1,5 mm (2 pav.).

Siekiant įvertinti kanapių spalių akustinių savybių priklausomybę nuo storio, buvo tiriami mėginiai, įdėti į 20, 40 ir 60 mm ilgio anksčiau minėtas formas. Taip pat, vertinant absorbcines ir izoliacines kanapių spalių savybes, pasirinkta tirti 100 ir 150 kg/m^3 tankio spalių mėginius. Tankis pasirinktas atsižvelgiant į tiriamųjų spalių kietumą ir birumą. Tiriama medžiaga atsveriama ir dedama į formas, tokiu būdu parenkant reikiamą bandinio tankį ir storį. Atsižvelgus į tai, kad kanapių



2 paveikslas. Tiriamiesiems mėginiams laikyti skirta forma (iš šono, iš apačios, iš viršaus)

spaliai yra biri medžiaga, buvo siekiama juos surišti natūraliu dekortikuotu kanapių pluoštu (3 pav.). Dekortikavimas – tai mechaninis procesas, kurio metu spaliai ir kitos augalo dalys yra atskiriamos nuo pluošto. Kanapių spaliai buvo sumaišyti su pluoštu santykiu 2/3.



3 paveikslas. Kanapių spalių ir dekortikuoto kanapių pluošto mišinys

Siekiant palyginti gautus rezultatus, ištirtos kanapių spalių ir gesintų kalkių blokelio (4 pav.) garso sugerties ir garso praradimo medžiagoje savybės. Kalkės naudojamos kaip rišamoji medžiaga. Ištirto blokelio storis siekė 60 mm, tankis 265 kg/m^3, o spalių ir kalkių santykis – 1/1.



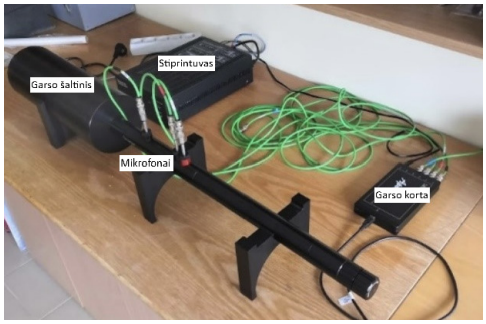
4 paveikslas. Kanapių spalių ir gesintų kalkių blokelis

Eksperimentiniais tyrimais ištirtų medžiagų specifikacija pateikta 1 lentelėje.

1 lentelė. Tiriamųjų medžiagų specifikacija

Medžiaga	Bandinio ilgis (mm)	Bandinio tankis (kg/m^3)
Kanapių spaliai	20/40/60	100/150
Spaliai ir dekortikuotas kanapių pluoštas	20/40/60	100/150
Kanapių spalių blokelis	60	265

Norint nustatyti tiriamųjų medžiagų garso sugertį ir garso perdavimo sumažėjimą medžiagoje, naudojamas interferometras. Interferometras – tai prietaisas, skirtas medžiagos garso atspindžiui ir garso sugerčiai tirti bei analizuoti (5 paveikslas).



5 paveikslas. Tyrimams naudojamo interferometro matavimo sistema

Garso sugerties interferometru tyrimas atliekamas pagal standartą LST EN ISO 10534-2:1998 „Akustika. Garso sugerties koeficiento ir pilnutinės varžos nustatymas interferometrais. 2 dalis. Perdavimo funkcijos metodas (ISO 10534-2:1998)“. Naudojant mikrofonus yra fiksuojamas minimalus ir maksimalus garso slėgio lygis. Gauti duomenys apdorojami taikant matematines bei fizikines formules ir naudojant programinę įrangą. Atlikus skaičiavimus gaunami garso atspindžio ir sugerties koeficientai.

Atlikus garso slėgio matavimą kiekviename dažnyje nustatomas slėgių santykis tarp abiejų mikrofonų (ISO 10534-2):

$$H_{12}=\frac{p_{3(f)}}{p_{1(f)}},\ H_{23}=\frac{p_{3(f)}}{p_{2(f)}}, \tag{1}$$

čia H_{12} – perdavimo funkcija tarp mikrofonų Nr. 1 ir Nr. 2; H_{23} – perdavimo funkcija tarp mikrofonų Nr. 2 ir Nr. 3; p_1 – pirmuoju mikrofonu užfiksuotas slėgis; p_2 – antruoju mikrofonu užfiksuotas slėgis; p_3 – trečiuoju mikrofonu užfiksuotas slėgis; f – dažnis.

Vėliau yra išskaičiuojamas garso bangos numeris ore:

$$k_0=\frac{2\pi f}{c_0}, \tag{2}$$

čia k_0 – bangos numeris ore; f – dažnis; c_0 – garso greitis ore.

Išskaičiuojama krentančios bangos perdavimo funkcija (ISO 10534-2):

$$H_{I(160-1000\,Hz)}=\frac{p_{3I}}{p_{1I}}=e^{-jk_0\left(x_{12}+x_{23}\right)},$$

$$H_{I(1-5\,kHz)}=\frac{p_{3I}}{p_{2I}}=e^{-jk_0\left(x_{23}\right)}, \tag{3}$$

čia H_I – krentančios bangos perdavimo funkcija; s – atstumas tarp mikrofonų; k_0 – bangos numeris ore; j – kompleksinio skaičiaus indeksas; x_{12} – atstumas tarp mikrofonų Nr. 1 ir Nr. 2; x_{23} – atstumas tarp mikrofonų Nr. 2 ir Nr. 3.

Apskaičiuojama atspindėtos bangos perdavimo funkcija (ISO 10534-2):

$$L_{evening}$$

$$H_{R(1-5\,kHz)}=\frac{p_{3R}}{p_{2R}}=e^{jk_0\left(x_{23}\right)}. \tag{4}$$

Apskaičiuojamas atspindžio koeficientas:

$$R_{(160-1000\,Hz)}=\frac{H_{13}-H_{I(160-1000\,Hz)}}{H_{R(160-1000\,Hz)}-H_{12}}e^{2jk_0\left(X_{12}+X_{23}+X_{3s}\right)},$$

$$R_{(1-5\,kHz)}=\frac{H_{23}-H_{I(1-5\,kHz)}}{H_{R(1-5\,kHz)}-H_{13}}e^{2jk_0\left(X_{23}+X_{3s}\right)}. \tag{5}$$

Žinant atspindžio koeficientą, apskaičiuojamas medžiagos garso sugerties koeficientas, kuris yra atvirkščias atspindžio koeficientui:

$$\alpha=1-\left|R\right|^2, \tag{6}$$

čia α – medžiagos garso sugerties koeficientas; R – atspindžio koeficientas.

Siekiant išanalizuoti medžiagos gebą sumažinti garso perdavimą, t. y. nustatyti garso izoliaciją, atliekamas garso perdavimo medžiagoje nustatymas interferometru. Eksperimentinio tyrimo metodas vadinamas keturių mikrofonų metodu, du mikrofonai sumontuoti prieš tiriamąjį objektą, o kiti du mikrofonai už tiriamojo bandinio. Eksperimentiniai matavimai atliekami remiantis standartu ASTM E2611-17.

Visų pirma apskaičiuojamas garso greitis ir oro tankis:

$$C=20{,}047\sqrt{273{,}15+t}, \tag{7}$$

čia t – aplinkos temperatūra, °C.

Tuomet apskaičiuojamas oro tankis (ρ):

$$\rho = 1{,}290\left(\frac{P}{101{,}325}\right)\left(\frac{273{,}15}{273{,}15+t}\right), \quad (8)$$

čia t – aplinkos temperatūra, °C; P – atmosferos slėgis, Pa.

Sudaroma perdavimo matrica:

$$T = \begin{bmatrix} \frac{p_d u_d + p_0 u_0}{p_0 u_d + p_d u_0} & \frac{{p_0}^2 - {p_d}^2}{p_0 u_d + p_d u_0} \\ \frac{{u_0}^2 - {u_d}^2}{p_0 u_d + p_d u_0} & \frac{p_d u_d + p_0 u_0}{p_0 u_d + p_d u_0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} \\ T_{21} & T_{22} \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Apskaičiuojamas garso perdavimo koeficientas (τ):

$$L_{den} \quad (10)$$

čia τ – garso perdavimo koeficientas; k – garso bangos numeris ore, m^{-1}; d – tiriamojo mėginio storis, m; ρ – oro tankis, kg/m^3; c – garso greitis ore, m/s.

Žinant šiuos parametrus, galima apskaičiuoti garso perdavimo sumažėjimą (TL):

$$L_{night} \quad (11)$$

čia TL – garso perdavimo sumažėjimas, dB; τ – garso perdavimo koeficientas.

Apskaičiuojamas ekvivalentinis tiriamojo bandinio garso perdavimo sumažėjimas:

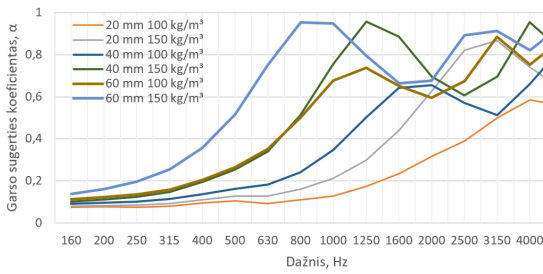
$$TL_{eq} = 10 \times \log\left(\sum_{1=1}^{n} 10^{\frac{L_i}{10}}\right), \quad (12)$$

čia TL_{eq} – bendras ekvivalentinis garso perdavimo sumažėjimas, dB; L_i – garso slėgio lygis 1/3 oktavos dažnių juostoje, dB.

3. Eksperimentinių tyrimų rezultatai

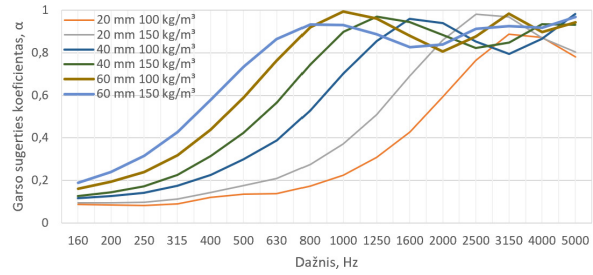
Pasitelkiant aprašytus eksperimentinių tyrimų metodus, pirmiausia ištirta 20, 40, 60 mm storio ir 100 bei 150 kg/m^3 tankio kanapių spalių garso sugertis. Rezultatai pateikti 6 paveiksle.

Ištyrus 20 mm storio kanapių spalių bandinius, nustatyta, kad žemųjų dažnių diapazone (160–500 Hz) garso sugertis yra žema ir garso sugerties koeficientas siekia nuo 0,07 iki 0,13. Analizuojant garso sugertį vidutinių dažnių spektre (630–2000 Hz), nustatyta, kad kanapių spalių garso sugertis siekia nuo 0,09 iki 0,62. Garso sugerties pikas pasiekiamas aukštuosiuose dažniuose ir tiriant 150 kg/m^3 tankio kanapių spalius 3150 Hz dažnyje ir siekia 0,87, o, vertinant 100 kg/m^3 tankio kanapių spalius, garso sugertis aukštuosiuose dažniuose siekia iki 0,58 ties 4000 Hz dažniu. Mažesnio tankio 20 mm kanapių spalių bandinio garso sugertis yra žemesnė visų dažnių diapazone. Vertinant 40 mm storio kanapių spalių bandinius, nustatyta, kad žemųjų dažnių diapazone garso sugertis išlieka nedidelė ir siekia nuo 0,09 iki 0,25. Vidutiniuose dažniuose nuo 630 iki 2000 Hz, geriausi garso sugerties rezultatai pastebimi tiriant 150 kg/m^3 tankio kanapių spalius, kur ties 1250 Hz dažniu pasiekiamas pirmasis garso sugerties pikas – 0,96. 100 kg/m^3 tankio kanapių spalių garso sugertis vidutiniuose dažniuose siekia iki 0,66. Antrasis pikas pasiekiamas aukštųjų dažnių diapazone 2500–5000 Hz ir ties 4000 Hz riba ir siekia 0,95. Analizuojant 60 mm storio kanapių spalių bandinius, rezultatai iš esmės išliko panašūs. 150 kg/m^3 tankio spalių garso sugertis visame dažnių spektre išliko didesnė, o garso sugerties pikai buvo pasiekti ties 800, 3150 ir 5000 Hz, kur atitinkamai siekė 0,95, 0,91 ir 0,94. 100 kg/m^3 tankio kanapių spalių garso sugerties pikas pasiekiamas ties 3150 Hz dažniu ir siekia 0,88.



6 paveikslas. Kanapių spalių garso sugerties rezultatai

Ištyrus kanapių spalius, vėliau buvo tiriamas kanapių spalių ir dekortikuoto kanapių pluošto mišinys. Rezultatai pateikti 7 paveiksle.

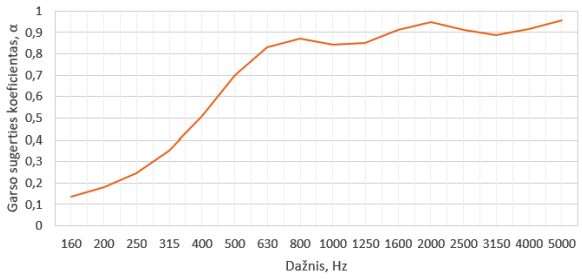


7 paveikslas. Kanapių spalių ir dekortikuoto kanapių pluošto mišinio garso sugerties rezultatai

Analizuojant 20 mm storio bandinius, nustatyta, kad žemųjų dažnių diapazone (160–500 Hz) geriausia garso sugertis yra pasiekiama didesnio tankio mėginio, tačiau išlieka nedidelė ir garso sugerties koeficientas siekia iki 0,20 ties 500 Hz dažniu, vertinant 150 kg/m^3 mėginį. Vidutiniuose dažniuose (630–2000 Hz) garso sugertis siekia nuo 0,14 iki 0,86. Didžiausia garso sugertis vidutiniuose dažniuose pasiekiama ties 2000 Hz dažniu, vertinant tiek 100, tiek 150 kg/m^3 bandinius, ir atitinkamai siekia 0,59 ir 0,86. Vertinant garso sugertį aukštuosiuose dažniuose nuo 2500 iki 5000 Hz, tendencija

išlieka panaši ir didesnio tankio mėginys garsą sugeria geriau. Garso sugerties pikas pasiekiamas ties 2500 Hz dažniu, panaudojus 150 kg/m^3 tankio spalių ir pluošto mišinį, kur garso sugerties koeficientas siekia 0,98, o 100 kg/m^3 tankio mėginio garso sugerties pikas – 0,89 ties 3150 Hz dažniu. Vertinant 40 mm storio mėginius, nustatyta, kad žemųjų dažnių diapazone (160–500 Hz) 100 kg/m^3 tankio bandinio garso sugertis siekia 0,12–0,30, o 150 kg/m^3 tankio – 0,13–0,42. Vidutiniuose dažniuose nuo 630 iki 2000 Hz geriausi garso sugerties rezultatai pastebimi tiriant 150 kg/m^3 tankio 40 mm storio bandinį. Garso sugerties pikas pasiekiamas ties 1250 Hz riba ir siekia 0,97. 100 kg/m^3 bandinio didžiausia sugertis vidutiniuose dažniuose ties 1600 Hz riba siekia 0,95. Analizuojant aukštuosius dažnius (2500–5000 Hz), garso sugerties rezultatai siekia nuo 0,79 iki 0,98. Ties 5000 Hz riba 100 kg/m^3 bandinys pasiekia antrąjį piką, kur garso sugertis siekia 0,98. Dvigubą sugerties piką galima paaiškinti tuo, kad didėjant garso bangos amplitudei didėja garso sugertis. Bangos garso slėgio lygis linkęs mažėti iki nulinės vertės šalia standaus pagrindo, o didžiausioji vertė pasiekiama esant 1/4 ir 1/8 garso bangos ilgiui. Ištyrus 60 mm storio mėginius, nustatyta, kad žemųjų dažnių diapazone (160–500 Hz) 100 kg/m^3 tankio mėginyje garso sugertis siekia 0,19–0,59, o 150 kg/m^3 tankio bandinio garso sugertis svyruoja nuo 0,24–0,73. Vidutiniuose dažniuose nuo 630 iki 2000 Hz geriausi garso sugerties rezultatai pastebimi tiriant 100 kg/m^3 tankio 60 mm storio mėginį, kur pasiekiamas garso sugerties pikas ties 1000 Hz riba ir siekia 0,99. Analizuojant aukštuosius dažnius (2500–5000 Hz), garso sugerties rezultatai siekia nuo 0,82 iki 0,98. Ties 3150 Hz riba 100 kg/m^3 bandinys pasiekia antrąjį piką, kur garso sugertis siekia 0,98.

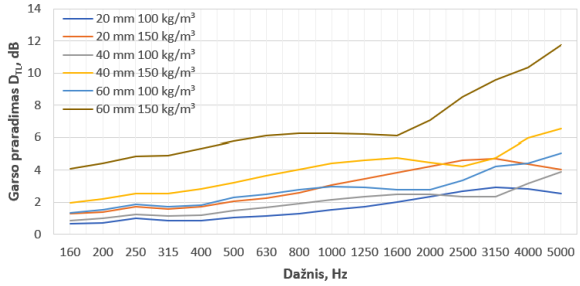
Atliktas kanapių spalių ir kalkių blokelio garso sugerties tyrimas. Rezultatai pateikti 8 paveiksle.



8 paveikslas. Kanapių spalių ir kalkių blokelio (60 mm, 265 kg/m^3 tankio) sugerties rezultatai

Iš grafiko matome, kad blokelio garso sugerties koeficientas žemuosiuose dažniuose svyruoja nuo 0,14 iki 0,79. Vidutiniuose, kur ties 2000 Hz dažniu pasiekiamas garso sugerties pikas – nuo 0,83 iki 0,95. Aukštuosiuose – nuo 0,89 iki 0,95. Pastebima, kad 60 mm storio blokelio garso sugertis, lyginant su atitinkamo storio anksčiau aprašytais mėginiais, žemuosiuose dažniuose yra labai panaši. Vidutiniuose ir aukštuosiuose dažniuose garso sugertis panaši į 60 mm kanapių spalių ir dekortikuoto kanapių pluošto mišinio rezultatus, tačiau itin geresnė už kanapių spalių garso sugertį. Galima daryti prielaidą, kad, pagaminus tokio tipo blokelį iš kanapių spalių ir dekortikuoto kanapių pluošto mišinio, garso rezultatai pagerėtų aukštuosiuose ir vidutiniuose dažniuose.

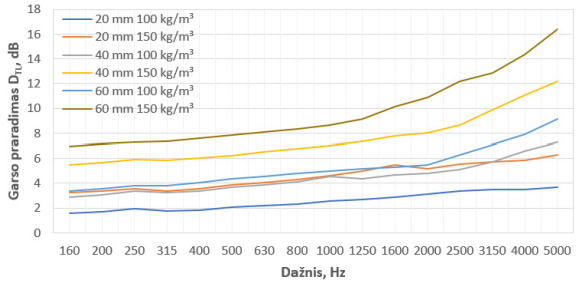
Garso perdavimo sumažėjimo rezultatai pateikti 9–11 paveiksluose.



9 paveikslas. Kanapių spalių garso perdavimo sumažėjimo rezultatai

Kanapių spalių 20 mm bandinio garso praradimas (DTL) žemuosiuose dažniuose svyruoja nuo 0,65 dB iki 1,02 dB naudojant 100 kg/m^3 tankio spalius, nuo 1,38 iki 2,04 dB naudojant 150 kg/m^3 tankio spalius. Vidutiniuose dažniuose svyruoja nuo 1,13 iki 2,34 dB ir nuo 2,26 iki 4,23 dB. Aukštuosiuose dažniuose svyruoja nuo 2,53 dB iki 2,90 dB naudojant 100 kg/m^3 tankio spalius, nuo 4,00 iki 2,70 dB naudojant 150 kg/m^3 tankio spalius. Vertinant 40 mm bandinių garso praradimą, žemiausiosios vertės taip pat išlieka mažesnio tankio bandinyje ir tiriant 100 kg/m^3 tankio spalius siekia nuo 0,96 iki 3,87 dB vertinant visą dažnių spektrą. Tiriant 150 kg/m^3 tankio spalius garso praradimas siekia nuo 2,17 iki 6,53 dB. Analizuojant 60 mm bandinius, 150 kg/m^3 tankio bandinio garso praradimas siekia nuo 4,08 iki 11,76 dB, o 100 kg/m^3 – nuo 1,52 iki 5,06 dB.

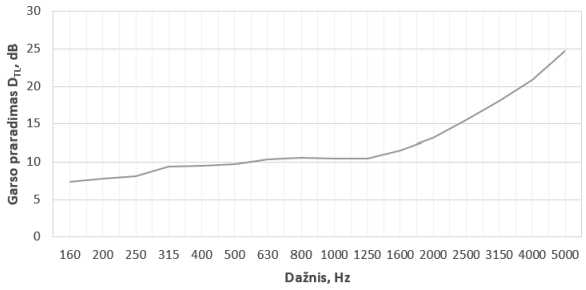
Iš 10 paveikslo galime matyti, kad kanapių spalių ir dekortikuoto kanapių pluošto mišinio garso 20 mm



10 paveikslas. Kanapių spalių ir dekortikuoto kanapių pluošto mišinio garso perdavimo sumažėjimo rezultatai

garso praradimas (DTL) visoje dažnių juostoje (nuo 160 iki 5000 Hz) svyruoja nuo 1,69 iki 3,77 dB naudojant 100 kg/m^3 tankio pluoštą, nuo 3,35 iki 6,32 dB naudojant 150 kg/m^3 tankio pluoštą. Vertinant 40 mm bandinių garso praradimą, vertės visoje dažnių juostoje svyruoja nuo 3,08 iki 7,31 dB naudojant 100 kg/m^3 tankio pluoštą ir nuo 5,68 iki 12,20 dB naudojant 150 kg/m^3 tankio pluoštą. 60 mm storio bandinio rezultatai atitinkamai siekia nuo 3,57 iki 9,12 dB ir nuo 7,14 iki 16,42 dB.

11 paveiksle pateikti kanapių spalių ir kalkių blokelio garso perdavimo sumažėjimo rezultatai.



11 paveikslas. Kanapių spalių ir kalkių blokelio (60 mm, 265 kg/m^3 tankio) garso perdavimo sumažėjimo rezultatai

Nustatyta, kad blokelio garso praradimas (DTL) žemuosiuose dažniuose svyruoja nuo 7,40 iki 9,67 dB, vidutiniuose dažniuose svyruoja nuo 10,38 iki 13,20 dB ir aukštuosiuose dažniuose nuo 15,56 iki 24,72 dB. Lyginant blokelio rezultatus su prieš tai tirtais mėginiais, matyti, kad garso praradimas daugiausia padidėjo aukštųjų dažnių diapazone, tam įtaką daro padidėjęs mėginio tankis. Nustatyta, kad kanapių spaliai garsą izoliuoja blogiausiai, o spalių ir pluošto mišinio rezultatai vidutinių ir žemųjų dažnių diapazone panašėja į tirto blokelio rezultatus, todėl galima daryti prielaidą, kad kaip ir garso sugerties, taip ir garso praradimo vertės padidėtų, pagaminus blokelį iš kanapių pluošto ir spalių mišinio.

4. Išvados

1. Įvertinus skirtingo storio ir tankio mėginių garso sugerties rezultatus, galima prieiti prie išvados, kad didesnio storio kanapių spalių ir kanapių spalių su pluoštu bandiniai geriau sugeria garsą vidutiniuose ir žemuosiuose dažniuose. 150 kg/m^3 tankio bandiniai daugeliu atvejų geriau sugeria garsą visame dažnių diapazone, lyginant su to paties storio 100 kg/m^3 tankio bandiniais.

2. Sumaišius kanapių spalius su dekortikuotu kanapių pluoštu, pagerėjo garso sugertis visoje dažnių juostoje. Geresni rezultatai taip pat pastebėti ir vertinant garso perdavimo sumažėjimo rezultatus.

3. Daroma prielaida, kad kanapių spalių blokelių garso sugerties ir garso praradimo medžiagoje rezultatai padidėtų, jei blokelis būtų pagamintas iš kanapių pluošto ir spalių mišinio.

Literatūra

Asdrubali, F., Schiavoni, S., & Horoshenkov, K. V. (2012). A review of sustainable materials for acoustic applications. *Building Acoustics*, *19*(4), 283–312. https://doi.org/10.1260/1351-010X.19.4.283

ASTM International. (n.d.). *Standard test method for normal incidence determination of porous material acoustical properties based on the transfer matrix method* (ASTM Standard No. E2611-17). Retrieved June 5, 2023, from https://www.astm.org/e2611-17.html

Delhomme, F., Hajimohammadi, A., Almeida, A., Jiang, C., Moreau, D., Gan, Y., Wang, X., & Castel, A. (2020). Physical properties of Australian hurd used as aggregate for hemp concrete. *Materials Today Communications*, *24*, Article 100986. https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2020.100986

International Organization for Standardization. (1998). *Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes– Part 2: Transfer-function method* (ISO Standard No. 10534-2:1998). https://www.iso.org/standard/22851.html

Ismail, A. Y., Shadid, N. A. M., & Nizam, A. M. M. (2016). Development of green curtain noise barrier using natural waste fibres. *Journal of Advanced Research in Materials Science*, *17*(1), 1–9.

Liao, J., Zhang, S., & Tang, X. (2020). Sound absorption of hemp fibers (*Cannabis Sativa L.*) based nonwoven fabrics and composites: A review. *Journal of Natural Fibers*, *19*(4), 1297–1309. https://doi.org/10.1080/15440478.2020.1764453

Ouakarrouch, M., Bousshine, S., Bybi, A., Laaroussi, N., & Garoum, M. (2022). Acoustic and thermal performances assessment of sustainable insulation panels made from cardboard waste and natural fibers. *Applied Acoustics*, *199*, Article 109007. https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2022.109007

Santoni, A., Bonfiglio, P., Fausti, P., Marescotti, C., Mazzanti, V., Mollica, F., & Pompoli, F. (2019). Improving the sound absorption performance of sustainable thermal insulation materials: Natural hemp fibres. *Applied Acoustics*, *150*, 279–289. https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2019.02.022

Zhang, C., Li, H., Gong, J., Chen, J., Li, Z., Li, Q., Cheng, M., Li, X., & Zhang, J. (2023). The review of fiber-based sound-absorbing structures. *Textile Research Journal*, *93*(1–2), 434–449. https://doi.org/10.1177/00405175221084736

Zulkifli, R., Zulkarnain, & Nor, M. J. M. (2010). Noise control using coconut coir fiber sound absorber with porous layer backing and perforated panel. *American Journal of Applied Sciences*, *7*(2), 260–264. https://doi.org/10.3844/ajassp.2010.260.264

STUDIES OF SOUND ABSORPTION AND SOUND TRANSMISSION LOSS OF HEMP SHIVES

E. STRAZDAS, T. JANUŠEVIČIUS

Abstract. Taking into account global sustainability trends, synthetic sound-absorbing materials are increasingly being replaced by natural materials. One such material is hemp fiber. Although hemp fibers and shives are quite well researched

worldwide, scientists emphasize the need for research tailored to each region where hemp fibers are grown, as their properties vary greatly due to environmental conditions in different growing locations. The aim of this study is to investigate the sound absorption and sound insulation properties of hemp shives, shive and fiber mixtures, and shive blocks grown in Lithuania, and their dependence on the thickness and density of the samples tested. Experimental studies are conducted following standard methods ISO 10534-2 and ASTM E2611-17. It has been found that samples of thicker hemp shives and hemp shives with fiber better absorb sound at medium and low frequencies. Samples with a density of 150 kg/m^3 generally absorb sound better across the entire frequency range compared to samples of the same thickness but with a density of 100 kg/m^3. Mixing hemp shives with decorticated hemp fiber improved sound absorption across the entire frequency band.

Keywords: hemp, hemp shives, sound absorption, sound transmission loss.

VILNIUS TECH
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

27-oji Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis" teminė konferencija
Proceedings of the 27th Conference for Junior Researchers "Science – Future of Lithuania"

DARNI APLINKA / SUSTAINABLE ENVIRONMENT

2024 m. balandžio 25 d., Vilnius, Lietuva
25 April 2024, Vilnius, Lithuania

ISSN 2029-7157 / eISSN 2029-7149
eISBN 978-609-476-359-5
https://doi.org/10.3846/da.2024.007

Aplinkos apsaugos inžinerija / Environmental Protection Engineering *https://vilniustech.lt/346238*

RIŠIKLIO ĮTAKOS PADANGŲ TEKSTILĖS PLUOŠTO KOMPOZITINIŲ PLOKŠČIŲ GARSO SUGERČIAI TYRIMAS IR VERTINIMAS

Robert RUŽICKIJ*, Raimondas GRUBLIAUSKAS

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Aplinkos inžinerijos fakultetas, Aplinkos apsaugos ir vandens inžinerijos katedra, Vilnius, Lietuva
**El. paštas robert.ruzickij@vilniustech.lt*

Gauta 2024 m. kovo 4 d.; priimta 2024 m. kovo 18 d.

Santrauka. Vykdant veiklą didelėse patalpose dažnu atveju susiduriama su nepakankamu akustiniu komfortu. Įvairūs sprendiniai yra taikomi, siekiant pagerinti akustines sąlygas. Pakabinamos lubos ir mineralinių vatų plokštės yra vieni iš būdingiausių sprendinių, kaip galima pagerinti patalpų akustinį komfortą. Tačiau, gaminant tokias plokštes, yra naudojami gamtiniai ištekliai ir eikvojami dideli energijos kiekiai. Padangų tekstilės pluoštas – tai atlieka, kuri gaunama perdirbant nebetinkamas naudoti padangas. Kartu su rišamąja medžiaga būtų sukurta kompozitinė garsą sugerianti plokštė, kuri būtų mažiau taršesnė alternatyva plačiai naudojamoms mineralinėms vatoms. Šio tyrimo tikslas yra ištirti, kokią įtaką akustinėms savybėms daro didėjantis rišamosios medžiagos kiekis kompozite. Garso sugerties koeficiento nustatymo metodas paremtas standartiniu metodu, aprašytu ISO 10534-2 standarte. Tyrimo rezultatai parodė, kad, didėjant rišamosios medžiagos kiekiui kompozite nuo 10 iki 50 %, garso sugertis visame spektre mažėja vidutiniškai nuo 4 iki 30 % (kuo didesnis rišiklio kiekis, tuo labiau mažėjo garso sugertis). Gauti rezultatai rodo, kad rišiklio kiekis kompozite lemia kompozitinės garsą sugeriančios plokštės garso sugerties gebą.

Reikšminiai žodžiai: padangų tekstilės atliekos, kompozitinė garsą sugerianti plokštė, antrinis panaudojimas, garso sugerties koeficientas.

1. Įvadas

Projektuodami naujus specialios paskirties pastatus, projektuotojai turi atsižvelgti į daugybę reikalavimų. Vienas tokių – akustinis komfortas patalpose. Patalpos turi būti suprojektuotos taip, kad nebūtų girdimas triukšmas, sklindantis iš gretimų patalpų, taip pat turi būti užtikrinta gera garso sugertis patalpoje, kurioje vyksta kalbos perdavimas, t. y. kur yra skaitomos paskaitos, vyksta svarbūs pranešimai. Perduodamos kalbos suprantamumas tiesiogiai susijęs su aidėjimo trukme, kurią galima reguliuoti pasitelkiant garsą sugeriančias medžiagas (Kawata et al., 2023).

Siekiant suvaldyti aidėjimo trukmę patalpose, dažnu atveju yra diegiamos pakabinamos lubos arba kabinamos mineralinių vatų plokštės (Labia et al., 2020; Olechowska et al., 2018). Taip pat kaip šiuolaikinis modernus sprendinys yra taikomos perforuotos plokštės su vatos užpildu, kurios įrengiamos ant patalpos sienų (Yuvaraj & Jeyanthi, 2020). Pritaikius tokius projektinius sprendinius patalpose, aidėjimo trukmė vidutiniškai sumažėja nuo 0,08 iki 1,33 sekundžių (Ene & Ctalina, 2021). Tačiau tokių plokščių ir vatų gamyba labai prisideda prie aplinkos taršos, nes šių produktų gamybai naudojamos pirminės žaliavos, kurių gavyba yra tarši ir yra paveikiamas gamtinis kraštovaizdis bei plokščių gamybos metu eikvojami dideli energijos kiekiai (Mohamad et al., 2022; Yang et al., 2020).

Mokslininkai visame pasaulyje ieško naujų medžiagų, kurios būtų pritaikytos garso sugerčiai panaudoti. Dažnai garsą sugeriančių plokščių gamybai naudojamos natūralios kilmės medžiagos tokios kaip kokosų, cukranendrių, kanapių, džiuto pluoštai. Tokių kompozitinių garsą sugeriančių plokščių garso sugerties koeficientas kinta nuo 0,40 iki 0,98 (esant 1000 Hz), šie rezultatai parodo šių medžiagų panaudojimo potencialą (Chin Vui Sheng et al., 2022; Pan et al., 2024; Su et al., 2022). Tačiau kuriant naujas akustines medžiagas naudojamos ne tik natūralios kilmės medžiagos, bet ir įvairios atliekos, kurioms siekiama suteikti antrinį panaudojimą. Vieni iš pagrindinių pavyzdžių yra popieriaus gamybos dumblas, tekstilės atliekos (perdirbant senus drabužius), plastiko

© 2024 Autoriai. Leidėjas Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Šis straipsnis yra atvirosios prieigos straipsnis, turintis Kūrybinių bendrijų (Creative Commons) licenciją (CC BY 4.0), kuri leidžia neribotą straipsnio ar jo dalių panaudą su privaloma sąlyga nurodyti autorių ir pirminį šaltinį.

atliekos bei nebetinkamų naudoti padangų tekstilės pluoštas (Liuzzi et al., 2023; Ružickij & Grubliauskas, 2023; Salino & Catai, 2023; Vėjelis et al., 2023). Pastaroji medžiaga mažai tirta, tačiau jos potencialas yra akivaizdus.

Kuriant kompozitines garsą sugeriančias plokštes, pagrindinis dėmesys skiriamas medžiagos ir rišiklio santykiui. Nuo šio parametro priklauso tiek kompozitinės plokštės akustinės savybės, tiek medžiagos mechaninės savybės (Ehsan Samaei et al., 2021; Gomez et al., 2023). Esant nepakankamam rišiklio kiekiui, plokštė bus nestabili, lengvai iširs, tačiau, kai rišiklio kiekis bus per didelis, plokštė bus per standi, todėl itin sumažės garso sugertis (Tie et al., 2020). Taip pat, renkantis rišamąją medžiagą, kiekviena jų skiriasi savo fizikinėmis savybėmis, kai kurios medžiagos yra mažiau klampios, tuomet medžiaga gali labiau padengti pluošto daleles ir geriau surišti tarpusavyje, o kai rišamoji medžiaga pasižymi dideliu klampumu, jos pasiskirstymas medžiagoje gali būti prastesnis, todėl suprastės ir mechaninės plokštės savybės (Xu et al., 2022).

Yra žinoma, kad pluošto ir rišiklio santykis yra pagrindinis kompozitinių garsą sugeriančių medžiagų parametras, todėl svarbu įvertinti, kaip kis garso sugertis, kai keisis rišiklio kiekis kompozitinėje plokštėje.

Tyrimo tikslas – ištirti, kokią įtaką akustinėms savybėms daro didėjantis rišamosios medžiagos kiekis kompozite.

2. Tyrimų metodai ir medžiagos

2.1. Mėginių paruošimo metodika

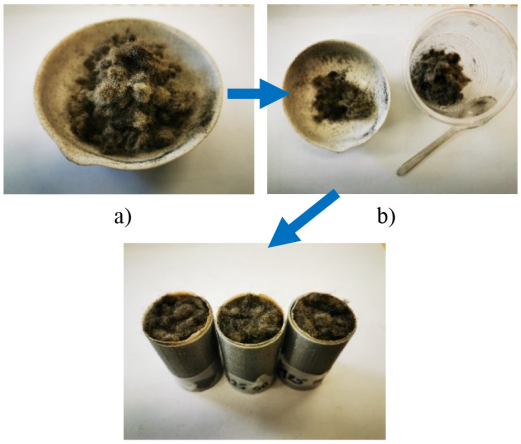
Šiame darbe buvo tirtos kompozitinės garsą sugeriančios plokštės (1 pav.), kurios buvo pagamintos panaudojant nebetinkamų naudoti padangų tekstilės pluoštą (toliau – PTP) bei poliuretano dervos rišamąją medžiagą. Padangų tekstilės pluoštas yra išgaunamas padangų perdirbimo metu, atskiriant padangos komponentus – gumą, metalinį ir tekstilės kordus.



1 paveikslas. Kompozitinės garsą sugeriančios plokštės iš padangų tekstilės pluošto ir poliuretano dervos (PU) rišiklio

Padangų tekstilės pluoštas, gautas iš padangų perdirbimo gamyklos, pirmiausia turi būti išdžiovintas, siekiant pašalinti drėgmę, susikaupusią sandėliavimo metu. Padangų tekstilė džiovinama 3 dienas 60 °C temperatūroje. Pagrindiniai nustatyti PTP fizikiniai parametrai: piltinis tankis – 40,1±2,3 kg/m^3; plaušelių ilgis – 800÷2000 µm, plaušelių skersmuo – 15÷30 µm. Nors ir pašalinus didžiąją dalį gumos priemaišų (stambios frakcijos daleles), pluošte randama iki 10 % gumos dalelių dulkių (dydis 0,1–0,2 mm).

Išdžiovinus padangų tekstilės pluoštą, toliau yra gaminamos kompozitinės garsą sugeriančios plokštės. Kompozitinės garsą sugeriančios plokštės gaminamos naudojant PTP ir poliuretano dervą su kietikiu (PU). Poliuretano derva pasižymi geromis atsparumo drėgmei ir rišamosiomis savybėmis, elastingumu, patvarumu ir tvirtumu (Yong et al., 2018).



2 paveikslas. Kompozitinių garsą sugeriančių bandinių gamybos etapai: a – pluošto išpurenimas; b – maišymas su rišamąja medžiaga; c – mėginių formavimas

2 paveiksle pateikiama mėginių gamybos seka. Pirmiausia yra paimamas reikalingas PTP kiekis ir įdedamas į maišymo talpą. Tuomet paruošiama rišamoji medžiaga – sumaišoma derva su kietikliu, santykiu 2:1. Rišiklis pilamas į pluoštą. Rišiklio inkorporavimas vyksta mechaniniu būdu naudojant mentelę. Maišymo trukmė yra apie 2 minutes. Toks laikas užtikrina tolygų rišiklio pasiskirstymą mėginio matricoje. Po to, kai PTP ir rišamoji medžiaga yra sumaišytos tarpusavyje, masė įdedama į mėginių formavimo formą. Formos vidinis skersmuo 29,9 mm. Formos vidus išklotas sviestiniu popieriumi, kad mėginys nepriliptų prie vidaus sienelių. Mėginys paliekamas džiūti 24 h kambario temperatūroje. Išdžiovinus mėginius, jie išimami iš formos ir tuomet gali būti atliekamas garso sugerties koeficiento nustatymas interferometru. 1 lentelėje pateikiami padangų tekstilės pluošto ir rišiklio santykiai, kurie buvo vertinti šiame tyrime.

1 lentelė. Mėginių maišymo santykiai

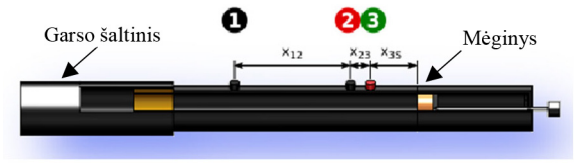
Tankis, kg/m^3	Mėginio storis, mm	Pluošto kiekis, wt %	Rišiklio kiekis, wt %
125÷150	50÷60	90	10
		80	20
		70	30
		60	40
		50	50

Kiekvienam mėginio tipui buvo paruošti 3 bandiniai, nes tai yra minimalus kiekis, kuriuo galima įvertinti matavimų neapibrėžtį. Iš viso buvo paruošta 30 bandinių, kurie buvo ištirti interferometru. Pagrindinis kintamasis parametras, kuris buvo vertinamas – rišamosios medžiagos kiekio poveikis kompozitinės garsą sugeriančios medžiagos garso sugerties koeficiento savybėms.

2.2. Garso sugerties nustatymas perdavimo funkcijos metodu

Akustinis kompozitinių garsą sugeriančių plokščių charakterizavimas atliekamas interferometru. Garso sugerties koeficiento α metodas paremtas standartiniu metodu, kuris yra aprašytas ISO 10534-2 standarte „Akustika. Akustinių savybių nustatymas interferometrais. 2 dalis. Dviejų mikrofonų būdas normaliosios garso sugerties koeficientui ir normaliajai pilnutinei paviršinei varžai nustatyti“ (International Organization for Standardization [ISO], 1998).

Tyrimai atliekami naudojant 30 mm vidinio skersmens interferometrą, į kurį įdedamas mėginys. Mėginys turi tvirtai laikytis vamzdyje, palikdamas kaip įmanoma mažesnius tarpus tarp mėginio ir interferometro sienų. Mėginiai iš galo yra paremti kieto atspindinčio paviršiaus, kad būtų išvengtas garso bangos perdavimas per medžiagą. 3 paveiksle pateikiama interferometro principinė schema.



3 paveikslas. Interferometro principinė schema: 1, 2, 3 – mikrofonai Nr. 1, Nr. 2 ir Nr. 3; x_{12}, x_{23} – atstumai tarp mikrofonų; x_{3S} – atstumas tarp mikrofono Nr. 3 ir mėginio

Perdavimo funkcija H_{12} ir H_{23} yra nustatoma kaip slėgio santykis tarp slėgių, išmatuotų mikrofonais tarp Nr. 1 ir Nr. 2 bei Nr. 2 ir Nr. 3, 1 formulė (ISO, 1998):

$$H_{12}=\frac{p_{3(f)}}{p_{1(f)}},\quad H_{23}=\frac{p_{3(f)}}{p_{2(f)}}, \tag{1}$$

čia p_1, p_2, p_3 – slėgis, užfiksuotais mikrofonais Nr. 1, Nr. 2 ir Nr. 3, Pa; f – dažnis, Hz.

Tuomet yra nustatomi krentančiosios ir atsispindėjusios bangos perdavimo funkcijos atitinkamiems dažnių diapazonams – 160–1000 Hz ir 1000–5000 Hz (ISO, 1998).

$$H_{I(160-1000\ Hz)}=\frac{p_{2I}}{p_{1I}}=e^{-jk_0(x_{12}+x_{23})},$$

$$H_{I(1000-5000\ Hz)}=\frac{p_{3I}}{p_{2I}}=e^{-jk_0(x_{23})}, \tag{2}$$

$$H_{R(160-1000\ Hz)}=\frac{p_{2R}}{p_{1R}}=e^{-jk_0(x_{12}+x_{23})},$$

$$H_{R(1000-5000\ Hz)}=\frac{p_{3R}}{p_{2R}}=e^{-jk_0(x_{23})}, \tag{3}$$

čia x_{12} – atstumas tarp mikrofonų Nr. 1 ir Nr. 2, kuris yra 100 mm; x_{23} – atstumas tarp mikrofonų Nr. 2 ir Nr. 3, kuris yra 20 mm.

Iš 1, 2 ir 3 formulių garso atspindžio koeficientas gali būti apskaičiuojamas pagal formulę (ISO, 1998):

$$R_{(160-1000\ Hz)}=\frac{H_{12}-H_{I(160-1000\ Hz)}}{H_{R(160-1000\ Hz)}-H_{12}}e^{2jk_0(X_{12}+X_{23}+X_{3s})},$$

$$R_{(1000-5000\ Hz)}=\frac{H_{23}-H_{I(1-5\ kHz)}}{H_{R(1-5\ kHz)}-H_{13}}e^{2jk_0(X_{23}+X_{3s})}, \tag{4}$$

čia R – garso atspindžio koeficientas, k_0 – bangos skaičius ore; j – kompleksinio skaičiaus indeksas, x_{3S} – atstumas tarp mikrofono Nr. 3 ir mėginio, kuris yra 60 mm.

Paskutiniu žingsniu yra nustatomas garso sugerties koeficientas, kuris apskaičiuojamas pagal 5 formulę (ISO, 1998):

$$\alpha=1-|R|^2. \tag{5}$$

Garso sugerties koeficientas bematis dydis, kurio vertės kinta nuo 0 iki 1.

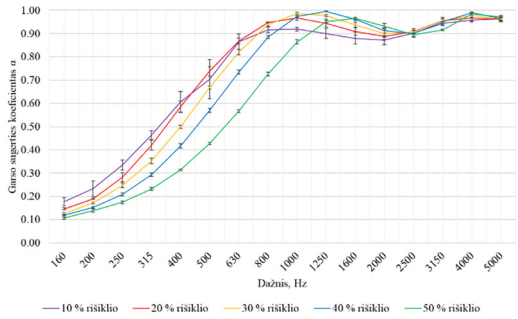
Kiekvienos serijos mėginių matavimų neapibrėžtis apskaičiuojama kaip standartinis matavimų nuokrypis (angl. *standard deviation*).

3. Rezultatai ir diskusija

Šiame skyriuje pateikiami garso sugerties koeficiento rezultatai, kai kintamasis parametras buvo rišiklio kiekis kompozite. Šiame straipsnyje buvo ištirti dviejų tankių ir dviejų storių kompozitinės garsą sugeriančios plokštės, kurių rišiklio kiekis kito nuo 10 iki 50 %, žingsniu kas 10 %.

4 paveiksle pateikti 125 kg/m^3 ir 50 mm storio skirtingų kompozitų garso sugerties rezultatai. Matoma,

kad, didėjant rišiklio kiekiui kompozite, garso sugertis žemuosiuose ir vidutiniuose dažniuose mažėja. Kai rišiklio kiekis mažiausias (10 % bendros masės), garso sugertis žemuosiuose dažniuose kito nuo 0,18 iki 0,70, o, rišiklio kiekiui padidėjus 5 kartus, garso sugertis sumažėjo iki 0,11÷0,43. Didėjantis rišiklio kiekis kompozite sumažina atvirų ertmių kiekį, susidaro daugiau uždarų porų, kurios tampa neefektyvios, nes garso banga negali prasiskverbti į medžiagos gilumą, kur vyktų energijos virsmai. Aukštuosiuose dažniuose matoma, kad garso sugertis kinta visų mėginių paklaidų ribose. Sugerties pikai buvo pasiekti dažniuose nuo 800 iki 1600 Hz ir rezultatai siekė nuo 0,92 iki 1,00.

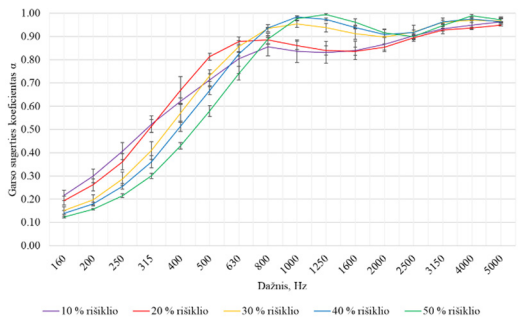


4 paveikslas. 125 kg/m^3 tankio 50 mm storio kompozitinių garsą sugeriančių bandinių (rišiklio kiekis 10÷50 %) garso sugerties rezultatai

5 paveiksle pateikiami rezultatai, kai buvo padidintas mėginių tankis iki 150 kg/m^3. Čia matoma, kad, padidėjus mėginių tankiui, garso sugerties kreivė pasislinko žemesniųjų dažnių link. Didžiausia garso sugertis žemuosiuose dažniuose buvo pasiekta mėginio, kurio rišiklio kiekis buvo 20 %, o rezultatas siekė 0,81 esant 500 Hz. Žvelgiant į žemuosius dažnius, iki 315 Hz, didžiausia garso sugertis buvo pasiekta mėginio su 10 % rišiklio ir sugertis kito nuo 0,21 iki 0,51. Garso sugerties pikai buvo pasiekti nuo 630 iki 1250 Hz, ir vertės kito nuo 0,86 iki 0,99. Galima matyti, kad mėginių, kurių sandaroje buvo nuo 30 iki 50 % rišamosios medžiagos, vidutiniuose (nuo 1000 Hz) ir aukštuosiuose dažniuose garso sugerties koeficientas buvo panašus ir kito 0,91÷0,99 rėžiuose.

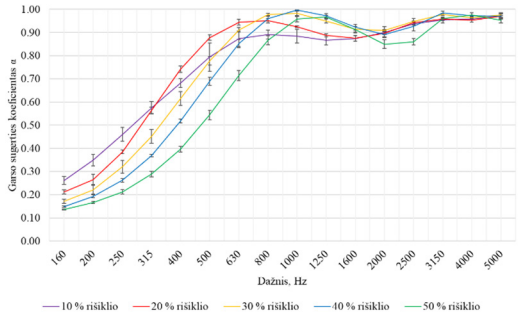
6 paveiksle pateikiami garso sugerties rezultatai, kai mėginių tankis buvo 125 kg/m^3 ir 60 mm mėginių storis. Galima matyti, kad garso sugerties kreivė, lyginant su rezultatais, pateiktais 4 paveiksle, pasislinko žemųjų dažnių link. Iki 315 Hz garso sugertis kito nuo 0,26 iki 0,58 (mėginio su 10 % rišiklio), nuo 315 iki 500 Hz, mėginių su 20 % rišiklio garso sugertis buvo didesnė nei mėginių su 10 % rišiklio ir rezultatai kito nuo 0,58 iki 0,88.

Mažiausi rezultatai buvo užfiksuoti mėginių, kurių rišiklio kiekis kompozite buvo 50 % ir rezultatai nuo



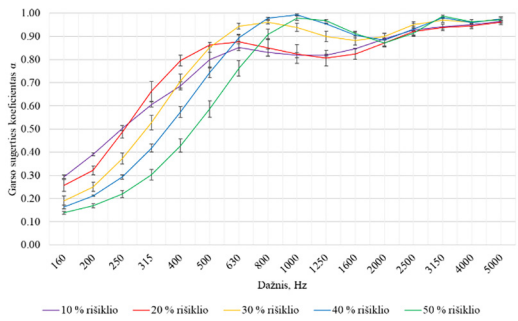
5 paveikslas. 150 kg/m^3 tankio 50 mm storio kompozitinių garsą sugeriančių bandinių (rišiklio kiekis 10÷50 %) garso sugerties rezultatai

0,17 iki 0,54 (žemuosiuose dažniuose). Vidutiniuose dažniuose nėra vienareikšmiško mėginio, kurio garso sugertis buvo didžiausia. Sugerties pikai buvo pasiekti nuo 630 iki 1250 Hz dažnių diapazone, o rezultatai buvo nuo 0,89 iki 1,00. Kaip ir mėginių, kurių storis buvo 50 mm, galima matyti, kad aukštuosiuose dažniuose rezultatai kinta matavimų paklaidų ribose.



6 paveikslas. 125 kg/m^3 tankio 60 mm storio kompozitinių garsą sugeriančių bandinių (rišiklio kiekis 10÷50 %) garso sugerties rezultatai

7 paveiksle pateikiami 150 kg/m^3 60 mm storio mėginių garso sugerties rezultatai. Lyginant gautus rezultatus su 50 mm mėginiais, matoma, kad garso sugerties pikas pasislinko 630÷1000 Hz diapazono link, ir rezultatai siekė nuo 0,88 iki 0,99. Žemuosiuose dažniuose, esant 500 Hz, mėginio su 20 % rišiklio garso sugerties rezultatas buvo didžiausias ir siekė 0,86. Dažniuose nuo 160 iki 250 Hz didžiausia garso sugertis fiksuota mėginio su 10 % rišiklio ir kito nuo 0,29 iki 0,50. Tokia tendencija stebima, nes kai buvo mažesnis rišiklio kiekis mėginio matricoje, buvo didesnis plaušelių kiekis, kuris sudarė didesnį ertmių kiekį. Taip pat padidėjusi garso sugertis žemuosiuose dažniuose pasiekiama, kai mėginio storis yra ¼ bangos ilgio, kurį sugeria. Kaip ir prieš tai buvo matoma, mažiausią garso sugertį žemuosiuose dažniuose parodo mėginys su 50 % rišiklio. Mėginio 50 % masės yra pakeičiama rišikliu, kuris uždaro ertmes, todėl garso banga negali patekti į kompozitinę medžiagą.



7 paveikslas. 150 kg/m^3 tankio 60 mm storio kompozitinių garsą sugeriančių mėginių (rišiklio kiekis 10÷50 %) garso sugerties rezultatai

Atlikus garso sugerties bandymus interferometru, galima matyti, kad didėjantis rišamosios medžiagos kiekis neigiamai veikia kompozitinę medžiagą, nes garso sugertis visame spektre sumažėja. Nustatyta, kad padidinus rišiklio kiekį kompozite nuo 10 iki 50 %, garso sugerties koeficientas vidutiniškai sumažėja nuo 4 iki 30 %, priklausomai nuo mėginių tankio ir storio.

Panašius tyrimus atliko ir kiti autoriai, kurie vertino rišamosios medžiagos įtaką medžiagų garso sugerties koeficiento rezultatams. Autoriai Gomez et al. (2023) atliko tyrimus su trimis skirtingomis medžiagomis (tekstile (audinių), kokosų pluoštu ir fikusinių augalų pluoštu) ir dviem skirtingais rišiklio kiekiais (rišiklis – lateksas). Gauti rezultatai parodė, kad didėjantis rišiklio kiekis visame spektre sumažina garso sugerties gebą. Kai rišiklio kiekis buvo 30 % (tekstilės atveju), garso sugerties koeficientas kito nuo 0,07 iki 0,98, o, padidinus rišiklio kiekį iki 60 %, garso sugertis sumažėjo iki 0,06÷0,90 režių (250–4000 Hz diapazone). Autoriai teigia, kad kompozitinių medžiagų garso sugerčiai didelę įtaką turi ir plaušelių dydis, t. y. kuo mažesnės dalelės, tuo didesnė garso sugertis yra pasiekiama.

Kiti autoriai Das ir Roy (2021) taip pat atliko tyrimus su trimis skirtingais rišiklio kiekiais ir taip pat buvo stebima, kad didinant rišamosios medžiagos kiekį kompozite garso sugertis mažėjo visame spektre. Kai rišiklio kiekis buvo 10 %, garso sugertis kito nuo 0,10 iki 0,98, o, padidinus trimis kartais iki 30 % rišiklio kiekį, garso sugertis sumažėjo 0,07÷0,95 (200–2500 Hz diapazone), ir pasislinko garso sugerties pikas aukštesnių dažnių link. Autoriai teigia, kad didesnis rišiklio kiekis suteikia kompozitinei medžiagai stabilumo, tačiau blokuoja poras, esančias medžiagos viduje.

4. Išvados

1. Atlikus kompozitinių medžiagų garso sugerties tyrimus, buvo gauta, kad, didėjant rišamosios medžiagos kiekiui kompozite, garso sugertis visame spektre mažėja. Toks reiškinys gali būti paaiškintas tuo, kad rišamoji medžiaga užpildo ertmes tarp dalelių, todėl garso banga negali prasiskverbti į medžiagos vidų (Kim & Lee, 2010).

2. Žemuosiuose dažniuose garso sugerties koeficientas siekė nuo 0,18 iki 0,85, kai kompozitinių garsą sugeriančių plokščių sudėtyje buvo nuo 10 iki 20 % rišamosios medžiagos. Vidutiniuose dažniuose garso sugertis kito nuo 0,87 iki 1,00, o aukštuosiuose dažniuose nuo 0,87 iki 0,99.

3. Siekiant panaudoti kompozitines garsą sugeriančias plokštes patalpoje akustiniam komfortui gerinti, plokštės parenkamos pagal tai, kokius dažnius siekiama suvaldyti. Žemųjų dažnių (160–500 Hz) diapazono garso bangoms valdyti geriausia yra naudoti plokštes, kurių sudėtyje yra 10 arba 20 % rišamosios medžiagos (α kinta 0,18÷0,88), vidutiniams dažniams (630–2000 Hz) valdyti – kompozitines plokštes su 20 % rišiklio (α kinta 0,85÷0,94), o aukštųjų dažnių (2500–5000 Hz) diapazono garso bangoms valdyti galima naudoti plokštes (α kinta 0,89÷0,99), kurių sudėtyje yra nuo 10 iki 50 % rišiklio.

Literatūra

Chin Vui Sheng, D. D., Yahya, M. N. B., & Che Din, N. B. (2022). Sound absorption of microperforated panel made from coconut fiber and polylactic acid composite. *Journal of Natural Fibers*, *19*(7), 2719–2729. https://doi.org/10.1080/15440478.2020.1821290

Das, J., & Roy, M. D. (2021). A study of sound absorption properties of jute felt mattress. *Journal of the Institution of Engineers (India): Series E*, *102*(2), 369–375. https://doi.org/10.1007/s40034-021-00229-x

Ehsan Samaei, S., Berardi, U., Taban, E., Soltani, P., & Mohammad Mousavi, S. (2021). Natural fibro-granular composite as a novel sustainable sound-absorbing material. *Applied Acoustics*, *181*, Article 108157. https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2021.108157

Ene, A., & Ctalina, T. (2021). Improving speech intelligibility in a high school classroom using sound absorbing panels. *Romanian Journal of Acoustics and Vibration*, *18*(1), 40–45. https://rjav.sra.ro/index.php/rjav/article/view/255

Gomez, T. S., Zuluaga, S., Jimenez, M., de la Prida, D., Pedrero, A., Navacerrada, M. Á., Restrepo-Osorio, A., & Fernandez-Morales, P. (2023). Sound absorption behavior of repurposed waste fibers: Effects of fiber size, density, and binder concentration. *Applied Acoustics*, *202*, Article 109174. https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2022.109174

International Organization for Standardization. (1998). *Acoustics – Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes – Part 2: Transfer-function method*. https://view.elaba.lt/standartai/view?search_from=primo&id=1278908

Yang, T., Hu, L., Xiong, X., Petrů, M., Noman, M. T., Mishra, R., & Militký, J. (2020). Sound absorption properties of natural fibers: A review. *Sustainability*, *12*(20), Article 8477. https://doi.org/10.3390/su12208477

Yong, Q., Liao, B., Huang, J., Guo, Y., Liang, C., & Pang, H. (2018). Preparation and characterization of a novel low gloss waterborne polyurethane resin. *Surface and Coatings*

Technology, *341*, 78–85.
https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2018.01.012

Yuvaraj, L., & Jeyanthi, S. (2020). Acoustic performance of countersunk micro-perforated panel in multilayer porous material. *Building Acoustics*, *27*(1), 3–20.
https://doi.org/10.1177/1351010X19886588

Kawata, M., Tsuruta-Hamamura, M., & Hasegawa, H. (2023). Assessment of speech transmission index and reverberation time in standardized English as a foreign language test rooms. *Applied Acoustics*, *202*, Article 109093.
https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2022.109093

Kim, H. K., & Lee, H. K. (2010). Acoustic absorption modeling of porous concrete considering the gradation and shape of aggregates and void ratio. *Journal of Sound and Vibration*, *329*(7), 866–879. https://doi.org/10.1016/j.jsv.2009.10.013

Labia, L., Shtrepi, L., & Astolfi, A. (2020). Improved room acoustics quality in meeting rooms: Investigation on the optimal configurations of sound-absorptive and sound-diffusive panels. *Acoustics*, *2*(3), 451–473.
https://doi.org/10.3390/acoustics2030025

Liuzzi, S., Rubino, C., Martellotta, F., & Stefanizzi, P. (2023). Sustainable materials from waste paper: Thermal and acoustical characterization. *Applied Sciences*, *13*(8), Article 4710. https://doi.org/10.3390/app13084710

Mohamad, N., Muthusamy, K., Embong, R., Kusbiantoro, A., & Hashim, M. H. (2022). Environmental impact of cement production and solutions: A review. *Materials Today: Proceedings*, *48*, 741–746.
https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.212

Olechowska, M., Nowoswiat, A., Slusarek, J., & Latawiec, M. (2018). The influence of the distribution of sound absorbing materials on the estimation of reverberation time in rooms. *E3S Web of Conferences*, *49*, Article 00078.
https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184900078

Pan, J., Zhou, X., Gao, Y., Qian, Y., & Lyu, L. (2024). Structural characteristics properties of sugarcane bagasse and its sound absorption as composites. *Textile Research Journal*.
https://doi.org/10.1177/00405175241229231

Ružickij, R., & Grubliauskas, R. (2023). Prediction of sound absorption of waste tyre textile fibre composite material. In *12th International Conference "Environmental Engineering"* (pp. 1–7), Vilnius, Lithuania.
https://doi.org/10.3846/enviro.2023.841

Salino, R. E., & Catai, R. E. (2023). A study of polyurethane waste composite (PUR) and recycled plasterboard sheet cores with polyurethane foam for acoustic absorption. *Construction and Building Materials*, *387*, Article 131201.
https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131201

Su, S., Gao, Y., Zhou, X., Xiong, X., Wang, Y., & Lyu, L. (2022). Structure of waste hemp stalks and their sound absorbing properties. *Polymers*, *14*(22), Article 4844.
https://doi.org/10.3390/polym14224844

Tie, T. S., Mo, K. H., Putra, A., Loo, S. C., Alengaram, U. J., & Ling, T. C. (2020). Sound absorption performance of modified concrete: A review. *Journal of Building Engineering*, *30*, Article 101219. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101219

Vėjelis, S., Vaitkus, S., Kremensas, A., Kairytė, A., & Šeputytė-Jucikė, J. (2023). Reuse of textile waste in the production of sound absorption boards. *Materials*, *16*(5), Article 1987.
https://doi.org/10.3390/ma16051987

Xu, L., Ni, H., Zhang, Y., Sun, D., Zheng, Y., & Hu, M. (2022). Porous asphalt mixture use asphalt rubber binders: Preparation and noise reduction evaluation. *Journal of Cleaner Production*, *376*, Article 134119.
https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134119

INVESTIGATION AND EVALUATION OF THE INFLUENCE OF BINDER ON THE SOUND ABSORPTION PROPERTIES OF TYRE TEXTILE FIBRE COMPOSITE PANELS

R. RUŽICKIJ, R. GRUBLIAUSKAS

Abstract. When performing activities in large rooms, insufficient acoustic comfort is often encountered. Various solutions are applied to improve the acoustic conditions. Suspended ceilings and mineral wool panels are one of the most typical solutions for improving the acoustic comfort of rooms. However, the production of such panels uses natural resources and consumes large amounts of energy. Tyre textile fibre is waste obtained by recycling end-of-life tyres. Together with the binding material, a composite sound absorbing panel would be created, which would be a less polluting alternative to the widely used mineral wool. The aim of this study is to investigate the effect of increasing the amount of binder in the composite on the acoustic properties. The method for determining the sound absorption coefficient is based on the standard method described in the ISO 10534-2 standard. The results of the study showed that with an increase in the amount of binder in the composite from 10 to 50%, the sound absorption in the whole spectrum decreases on average from 4 to 30% (the higher the amount of binder, the more the sound absorption decreased). The obtained results show that the amount of binder in the composite determines the sound absorption capacity of the composite sound absorbing panel.

Keywords: tyre textile waste, composite sound absorbing panel, secondary use, sound absorption coefficient.

VILNIUS TECH
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

27-oji Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis" teminė konferencija
Proceedings of the 27th Conference for Junior Researchers "Science – Future of Lithuania"

DARNI APLINKA / SUSTAINABLE ENVIRONMENT

2024 m. balandžio 25 d., Vilnius, Lietuva
25 April 2024, Vilnius, Lithuania

ISSN 2029-7157 / eISSN 2029-7149
eISBN 978-609-476-359-5
https://doi.org/10.3846/da.2024.008

Aplinkos apsaugos inžinerija / Environmental Protection Engineering *https://vilniustech.lt/346238*

SUNKIŲJŲ METALŲ SĄVEIKOS SU DIRVOŽEMIO MIKROORGANIZMAIS LITERATŪROS APŽVALGA

Vaida PALIULIENĖ*, Saulius VASAREVIČIUS

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Aplinkos inžinerijos fakultetas, Aplinkos apsaugos ir vandens inžinerijos katedra, Vilnius, Lietuva
**El. paštas vaida.paliuliene@stud.vilniustech.lt*

Gauta 2024 m. kovo 4 d.; priimta 2024 m. kovo 18 d.

Santrauka. Žmonių veikla (pramonė, žemės ūkis, kasyba, sąvartynai) susijusi su dirvožemio tarša sunkiaisiais metalais. Ši tarša neigiamai veikia visus gyvus organizmus, įskaitant ir dirvožemio mikroorganizmus. Esant nedidelei sunkiųjų metalų koncentracijai dirvožemio mikroorganizmai gali pašalinti juos. Darbo tikslas: išanalizuoti sunkiųjų metalų sąveiką su dirvožemio mikroorganizmais remiantis pateiktais moksliniais straipsniais. Tiriamas dirvožemio užterštumas įvairiais sunkiaisiais metalais, bet daugiausiai analizuojami kadmis, varis, švinas. Moksliniuose straipsniuose daugiausiai atliekami fitoremediacijos tyrimai, skirti ištirti ryšiui tarp sunkiųjų metalų ir dirvožemio mikroorganizmų naudojant augalus. Taip pat tyrimai atliekami naudojant dirvožemį, užterštą vykdant antropogeninę veiklą. Literatūroje aprašomi su sunkiaisiais metalais užteršto dirvožemio tyrimai, kurie atskleidžia mikroorganizmų panaudojimo galimybes bei jų pokyčius laikui bėgant.

Reikšminiai žodžiai: dirvožemio užterštumas, mikroorganizmai, sunkieji metalai.

1. Įvadas

Dirvožemio taršą sunkiaisiais metalais sukelia žmogaus veikla (Hou et al., 2020; Narayanan & Ma, 2022). Virš 20 milijonų hektarų pasaulio žemės užteršta sunkiaisiais metalais (Jiang et al., 2023). Sunkieji metalai yra labai toksiški ir paplitę aplinkos teršalai, keliantys potencialią grėsmę aplinkai (Shan et al., 2023). Dirvožemio užterštumas sunkiaisiais metalais gali būti žalingas gyvūnams, augalams, žmonėms ir pakeisti arba neigiamai paveikti dirvožemio mikroorganizmus (Li et al., 2024b). Metalų toksinis poveikis gyviems organizmams atsiranda net esant mažoms koncentracijoms, todėl yra poreikis šiuos metalus pašalinti iš aplinkos (Chi et al., 2024). Dirvožemyje esantys mikroorganizmai geba apvalyti nuo sunkiųjų metalų, tačiau jei šių metalų koncentracija yra didelė, tada mikroorganizmai nebepajėgia to padaryti. Sunkieji metalai sutrikdo ekologinę dirvožemio pusiausvyrą, nes žūsta mikroorganizmai ir būna prarandamas dirvožemio derlingumas (Lin et al., 2022).

Sąveiką tarp sunkiųjų metalų koncentracijos ir mikroorganizmų veikia įvairūs veiksniai, pavyzdžiui: pH, azoto (N), fosforo (P) ir kalio (K) kiekis dirvožemyje (Chen et al., 2020; Guo et al., 2021) ir organinių medžiagų sudėtis (Kou et al., 2023). Sunkieji metalai susiję su dirvožemio mikroorganizmais ir dirvožemyje vykstančiais procesais, tokiais kaip dirvožemio biologinės pusiausvyros sutrikdymas ir jo degradavimas. Sunkiųjų metalų poveikis mikroorganizmams priklauso nuo dirvožemio pH, organinių ir mineralinių koloidų kiekio, taip pat nuo sunkiųjų metalų rūšies ir jų cheminių savybių (Yang et al., 2020). Li su bendraautoriais (2024a) nustatė, kad didelė sunkiųjų metalų koncentracija keičia mikroorganizmų prisitaikymą prie užterštos aplinkos, paveikdama mikroorganizmų taksonų simbiozės intensyvumą ir abipusiškumą.

Darbo tikslas: išanalizuoti sunkiųjų metalų sąveiką su dirvožemio mikroorganizmais remiantis pateiktais moksliniais straipsniais.

2. Literatūros apžvalga

Sunkieji metalai gali būti apibrėžiami pagal jų fizines savybes, toksiškumą gyviems organizmams ir cheminį reaktyvumą (Sakin et al., 2024). Jie gali susidaryti iš natūralių (gamtos) ir antropogeninių šaltinių. Antropogeninė

© 2024 Autoriai. Leidėjas Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Šis straipsnis yra atvirosios prieigos straipsnis, turintis Kūrybinių bendrijų (Creative Commons) licenciją (CC BY 4.0), kuri leidžia neribotą straipsnio ar jo dalių panaudą su privaloma sąlyga nurodyti autorių ir pirminį šaltinį.

veikla yra labai svarbi teršiant dirvožemį sunkiaisiais metalais, pvz., pramonės, kasybos ir žemės ūkio veiklos, nes kasybos atliekose, nuotekų dumble, neorganinėse trąšose ir pesticiduose esantys metalai yra linkę trikdyti dirvožemio mikroorganizmus, prasiskverbdami į dirvožemio aplinką (Cai et al., 2024).

Dirvožemyje esantys mikroorganizmai (grybai, bakterijos) gamina tam tikras medžiagas, kurios turi įtakos sunkiųjų metalų judumui ir biologiniam prieinamumui augaluose, tirpindamos metalų fosfatus, išlaisvindamos chelatinius agentus ir sukeldamos redokso pokyčius bei rūgštėjimą (Zeng et al., 2020). Nustatytos reikšmingos koreliacijos tarp dirvožemio užterštumo sunkiaisiais metalais ir mikroorganizmų gausos bei įvairovės pokyčio (Qi et al., 2022). Moksliniais tyrimais nustatytas teigiamas ryšys tarp augalų rizosferos bendrijų įvairovės ir ekosistemų funkcionalumo (He et al., 2024). Augalai daugiausiai sugeria sunkiuosius metalus iš dirvožemio šaknų sistemos per jonų mainus, redokso reakcijas arba tirpimo ir nusodinimo būdu (Li et al., 2024a). Mikroorganizmai yra pagrindiniai azoto, sieros ir fosforo ciklų bei organinių liekanų skilimo dalyviai, kurie susiję su dirvožemio mityba ir aktyvumu (Xiang et al., 2024).

Dauguma mikroorganizmų yra slopinami arba miršta dėl slopinančio ir toksiško teršalų poveikio, leidžiant išgyventi tik dominuojančiai populiacijai. Pavyzdžiui, sunkiųjų metalų kiekis dirvožemyje netoli lydyklos Baiyin mieste Kinijos Gansu provincijoje pasiekė aukštą lygį (326 mg/kg), kuris sumažino *proteobakterijų* ir *acidobakterijų* gausą, tačiau padidino *Actinobacteria, Bacteroidetes, Deinococcus-Thermus* ir *Chloroflexi* dalį (Zeng et al., 2020).

Dirvožemio užterštumas sunkiaisiais metalais atsiranda dėl antropogeninės veiklos.

3. Metodas

Šiame darbe taikyta mokslinės literatūros apžvalga. Išanalizuoti moksliniai straipsniai, susiję su sunkiaisiais metalais ir dirvožemio mikroorganizmais. Naudota visiems prieinama *google scholar* paieškos naršyklė. Pasirinkta visiems prieinama priemonė ieškant mokslinių straipsnių, taip siekta išsiaiškinti, kiek galima laisvai surasti naujausių mokslinių straipsnių, susijusių su šia tema. Vartotas raktinis angliškas žodžių junginys *heavy metals and soil microbes*. Taip pat pasirinktas filtravimo kriterijus – ne senesni moksliniai straipsniai, kurie publikuoti 2024 metais.

4. Mokslinės literatūros apžvalgos rezultatai

Mokslinės literatūros analizės metu išsiaiškinta, kad pagal raktinių žodžių junginį straipsnių, susijusių su sunkiųjų metalų sąveika ir dirvožemio mikroorganizmais, parašyta daugiausiai apie Kinijos šalyje (pvz., Chi et al., 2024; Li et al., 2024a, 2024b; Sun et al., 2024; Wen et al., 2024) kilusias dirvožemio užterštumo sunkiaisiais metalais problemas. 1 lentelėje pateikta mokslinių straipsnių analizė.

Išanalizuota 17 straipsnių, susijusių su sunkiaisiais metalais ir dirvožemio mikroorganizmais. Mokslinės literatūros analizės metu išsiaiškinta, kad daugiausiai analizuojami sunkieji metai yra Cu, Cd ir Pb. Keturiuose straipsniuose analizuojamas vienas sunkusis metalas (Cd) ir jo poveikis dirvožemiui. Trijuose straipsniuose analizuojama po tris sunkiuosius metalus. Dviejuose straipsniuose analizuoti keturi sunkieji metalai, o šešiuose – penki ar daugiau sunkiųjų metalų. Tai rodo mokslininkų įsigilinimo poreikį į skirtingų sunkiųjų metalų poveikį dirvožemiui ir galimas valymo galimybes.

Sakin su bendraautoriais (2024) išsiaiškino, kad fermentų aktyvumas gali mažėti dėl didelės sunkiųjų metalų koncentracijos. Li ir kiti (2024b) įvertino vaisių *Amomum villosum Lour* užterštumą sunkiaisiais metalais Pietų Kinijos plantacijose ir nustatė dirvožemio, grybų ir augalų sąveiką. Wen su bendraautoriais (2024) savo darbe rašė apie sunkiųjų metalų ir dirvožemio mikroorganizmų geochemines savybes revegetacijos procese tiriant Pb ir Zn. Liu ir kiti (2024) rašė apie kadmiui, chromui atsparių padermių atranką ir sunkiaisiais metalais užtersto dirvožemio valymą naudojant mikroorganizmus. Huang su bendraautoriais (2024) pateikė darbą apie sunkiesiems metalams atsparios bakterijos *Bacillus cereus BCS1* galimybes skaidyti piretroidą dirvožemyje. Ghosh su bendraautoriais (2024) tyrė kasyklų, užterštų sunkiaisiais metalais, ir metalų frakcijos poveikį ryšiams, grūdams užterštame dirvožemyje. He ir kiti (2024) atliko tyrimą apie retus dirvožemio mikroorganizmus, kurie tarpininkavo įsisavinant kadmį augaluose, ir nustatė pagrindinį protistų vaidmenį. Sun su bendraautoriais (2024) pateikė straipsnį apie anglimi kūrenamų elektrinių poveikį dirvožemio mikroorganizmų įvairovei. Cai ir kiti (2024) įvertino sąvartynuose sunkiųjų metalų taršos, fizinį, cheminį poveikį dirvožemio mikroorganizmams. Nepal su bendraautoriais (2024) įvertino kopūstų galimybes pašalinti sunkiuosius metalus iš dirvožemio. Chi su bendraautoriais (2024) tyrė *Bassica juncea L.* poveikį ir kadmiu užtreštą dirvožemį. Li ir kiti (2024) taip pat pateikė straipsnį apie kadmį Rytų Kinijos dirvožemyje. Wanas su bendraautoriais (2024) aiškinosi taip pat apie kadmį, kuris randamas žemės ūkio dirvožemyje. Išsiaiškinta ekologinė rizika, susijusi su pakitusių mikroorganizmų funkcijomis, kai užterštas Cd dirvožemis (Li et al., 2024a). Usako žemės ūkio dirvožemio užterštumą sunkiaisiais metalais analizavo Yildiz ir Ozkul (2024) (žr. 1 lentelę).

1 lentelė. Moksliniai straipsniai, susiję su *heavy metals and soil microbes*

Darbo tikslas	Tyrimo rezultatai	Tirti sunkieji metalai	Straipsnio autoriai
Ištirta fermentų aktyvumo, mikroorganzimų biomasės anglies ir CO_2 sąveika sunkiaisiais metalais pagal skirtingą žemės naudojimo paskirtį dirvožemio kokybės ir tvarumo požiūriu.	Yra statistiškai reikšminga teigiama koreliacija tarp dehidrogenazės fermentų aktyvumo ir Mn, Pb, Cd ir Co, o tarp Cr ji buvo neigiama. Nustatyta teigiama koreliacija tarp katalazės fermento aktyvumo ir Mn bei Pb bei tarp ureazės ir Co.	Mn, Pb, Co, Cr	Sakin et al. (2024)
Įvertintas sunkiųjų metalų kaupimasis *A. villosum* vaisiuose iš skirtingų auginimo vietovių (plantacijų) ir ištirtas pavojus sveikatai ir dirvožemio, mikroorganizmų bei augalų reguliavimas.	Cr ir Mn buvo labiausiai teršiantys elementai. Visų tirtų sunkiųjų metalų kaupimasis *A. villosum* vaisiuose buvo nežymus. Sunkiųjų metalų kiekį *A. villosum* vaisiuose netiesiogiai paveikė dirvožemio sunkieji metalai, reguliuodami mikroorganizmų bendruomenę.	Hg, As, Cd, Cr, Cu, Mn, Pb, Zn	Li et al. (2024b)
Tirtas sunkiųjų metalų erdvinis pasiskirstymas, taip pat lemiamas dirvožemio mikroorganizmų bendruomenės vaidmuo per trejus metus trukusią gamybos Pb-Zn atliekų revegetaciją šiaurinėje Guangdongo provincijoje, Kinijoje.	Užsitęsusios atliekų atsargos padidino Pb užterštumą, padidindamos koncentracijas (nuo 10,11 iki 11,53 g/kg) esant ilgalaikiam atmosferos poveikiui. Tačiau revegetacija veiksmingai sumažino Pb, sumažindama jo koncentraciją 9,81 g/kg revegetacijos procese.	Pb, Zn	Wen et al. (2024)
Šis tyrimas apėmė dviejų kadmiui (Cd) ir chromui (Cr) atsparių mikroorganizmų padermių, identifikuotų kaip *Staphylococcus cohnii L1-N1* ir *Bacillus cereus CKN12*, išskyrimą iš sunkiaisiais metalais užteršto dirvožemio.	Adsorbcijos greitis sumažėjo Cr6+ 24,4 % ir Cd 6,43 % naudojant *S. cohnii L1-N1* per 5 dienų laikotarpį. *B. cereus padermė CKN12* parodė visišką Cr6+ sumažėjimą per 48 h intervalą, nors per 120 h laikotarpį buvo įrodytas 57,3 % Cd adsorbcijos pajėgumas. Visi rezultatai priklauso nuo pH, temperatūros, drebėjimo greičio, sėjimo kultūros.	Cd, Cr	Liu et al. (2024)
Išskirta bakterijų padermė, kuri veiksmingai skaido piretroidus net esant abiotiniams įtempiams, susijusiems su sunkiaisiais metalais ir biotiniais įtempiais su autochtoniniais veiksniais.	*Bacillus cereus BCS1* gali efektyviai suskaidyti piretroidus ir pasižymi nepaprastu atsparumu aplinkos stresui.	Pb, Cr ir Cd	Huang et al. (2024)
Įvertintas įvairių metalų frakcijų poveikis įsisavinimui ryžiuose, dirvožemio mikroorganinėms ir biocheminėms savybėms žėručio atliekomis užterštame dirvožemyje Jharkhande, Indijoje.	Ni, Cr, Cd ir Pb ryžių grūduose buvo atitinkamai 0,83±0,41, 0,41±0,19, 0,21±0,14 ir 0,17±0,08 mg/kg. Iš atsitiktinio algoritmo kintamos svarbos grafiko Ni, Cr ir Cd Ws frakcija ir Pb Ex frakcija buvo svarbiausias ryžių grūdų metalo kiekio prognozės rodiklis.	Ni, Cr, Cd ir Pb	Ghosh et al. (2024)
Ištirtas poveikis integruotam rizosferos mikrobiomui, įskaitant bakterijas, grybus, augalų kadmio įsisavinimui.	Rezultatai atskleidė galimą retų mikroorganizmų, ypač protistų, reikšmę Cd užteršto dirvožemio fitoekstrakcijai, nes jie atlieka pagrindinį vaidmenį mikroorganizmų maisto tinkle.	Cd	He et al. (2024)
Rytų Kinijoje ištirta (anglimi kūrenamų elektrinių dirvožemis) mikrobų įvairovė ir bendruomenės struktūros taikant didelio našumo sekos nustatymo metodą.	Anglies krovimas reikšmingai padidino ($p < 0,05$) bendrosios anglies, bendrojo azoto, bendrosios sieros ir Mo kiekį dirvožemyje, o atmosferos teršalų nusėdimas padidino Cu, Zn ir Pb kiekį.	Cu, Zn, Pb	Sun et al. (2024)
Ištirtos fizikinės ir cheminės savybės, šešių metalų (Cu, Zn, Pb, Cd, Cr ir Mn) cheminės frakcijos ir dirvožemio mikroorganizmų bendrijos aplink tipinį sanitarinį sąvartyną.	Cu, Pb, Cr ir Mn buvo kaupiami netoliese esančiose dirbamose žemėse. Cd turėjo didžiausią keičiamos frakcijos procentą (33,7–51,8 %) sąvartynų ir dirbamos žemės dirvožemyje. Sąvartynas gali paveikti dirvožemio grybų, bakterijų bendruomenes.	Cu, Zn, Pb, Cd, Cr ir Mn	Cai et al. (2024)
Įvertintas 5 dirvožemio pakeitimų poveikis trijų kopūstų veislių (*Capture, Primo vantage* ir *Tiara*) derliui, kokybei ir Cd, Cu, Ni, Pb ir Zn kaupimasis kopūstų galvose.	Kopūstai yra geri Cu, Cd, Ni ir Zn kaupikliai, todėl jie gali būti naudojami sunkiųjų metalų fitoremediacijai.	Cd, CuNi, Pb, Zn	Nepal et al. (2024)
Ištirtas tarpinio kukurūzų pasėlių su *Brassica juncea L.* poveikis rizosferos mikroekologinėms savybėms, augalų augimui ir kadmio kaupimuisi.	Kukurūzų tarpsėlis su *Brassica juncea L.* gali būti perspektyvus fitoremediacijos būdas, nesumažinant pasėlių derliaus Cd užterštoje dirvoje.	Cd	Chi et al. (2024)
Ištirtas bakterijų bendruomenės ir mikrobų ekologinių funkcijų atsakas į Cd užterštumą Rytų Kinijos dirvožemyje.	Cd tarša žymiai pakeitė bakterijų alfa ir beta įvairovę. Išsiaiškinta ekologinė rizika, susijusi su pakitusių mikroorganizmų funkcijomis, kai užteršta Cd dirvožemis.	Cd	Li et al. (202a)

1 lentelės pabaiga

Darbo tikslas	Tyrimo rezultatai	Tirti sunkieji metalai	Straipsnio autoriai
Įvertinti žemės ūkio dirvožemio šaltiniai, įtaką darantys veiksniai, atkūrimo strategijos, susijusios su sunkiaisiais metalais.	Dirvožemio pakaitalai, tokie kaip kalkės, veiksmingai imobilizuoja Cd rūgščiame dirvožemyje, tačiau turi ribotą poveikį šarminiam ir neutraliam dirvožemiui.	Cd	Wan et al. (2024)
Įvertinti 48 žemės ūkio paskirties dirvožemio mėginiai, As, Cu, Hg, Ni ir Pb koncentracijos bei fizikinės ir cheminės savybės, siekiant nustatyti galimą ekologinę riziką ir jų šaltinius, Usak mieste, vakarų Turkijoje.	Sunkiųjų metalų koncentracija svyravo nuo 4 iki 61 mg/kg As, 8–48 mg/kg Cu, 0,01–0,06 mg/kg Hg, 30–813 mg/kg Ni ir 4–30 mg/kg Pb. Pramoninė veikla ir per didelis trąšų, pesticidų, fungicidų ir herbicidų naudojimas pagrindiniai rodikliai.	As, Cu, Ni, Pb, Hg	Yildiz & Ozkul (2024)
Nustatytas ryšys tarp dirvožemio sunkiųjų metalų kaupimosi ir įvairios antropogeninės veiklos, buvo sukurtas hibridinis modelis dirvožemio sunkiųjų metalų koncentracijai prognozuoti.	Įvairios antropogeninės veiklos buvo pagrindinė dirvožemio sunkiųjų metalų kaupimosi priežastis (Ni (100 %) = Cu (100 %) > As (98,73 %) > Zn (95,50 %) > Pb (94,90 %)).	Ni, Cu, As, Zn, Pb	Wang et al. (2024)
Ištirtas atmosferoje nusėdusių sunkiųjų metalų (Cu, Cd ir Pb) poveikis mobilumui ir biologiniam prieinamumui dirvožemyje su kalkėmis ir be jų.	Atmosferoje nusėdę sunkieji metalai gali žymiai padidinti jų biologiškai prieinamą koncentraciją dirvos arimo horizonte ir apriboti dirvožemio pakeitimų poveikį sunkiųjų metalų imobilizacijai, taip padidindami pasėlių pasisavinimo riziką.	Cu, Cd ir Pb	Cui et al. (2024)
Ištirti Pb ir Cd koncentracijų pokyčiai požeminiame vandenyje ir specifiniuose dirvožemio sluoksniuose, apimančiuose viršutinį sluoksnį (10–20 cm), vidurinį sluoksnį (50–60 cm) ir apatinį sluoksnį (90–100 cm) visoje Bandung Regency.	Pb ir Cd buvo aptikti visose Bandung Regency dirvožemio mėginių ėmimo vietose, kai vertės viršijo kritinį tašką keliose vietose (Cd viršijo 97 proc., o Pb 3 proc. normas). Abu metalai randami gausiai, ypač didelėmis koncentracijomis Majalaya subrajone, kuris yra pramoninis rajonas (tekstilės pramonė).	Pb, Cd	Anggraeni et al. (2024)

Apie atmosferos nusėdimo įtaką sunkiųjų metalų mobilizacijai ir biologiniam prieinamumui dirvožemyje aiškinosi Cui ir kiti (2024). Anggraeni su bendraautoriais (2024) analizavo Indonezijos sunkiųjų metalų poveikį. Wang su bendraautoriais (2024) nustatė ryšį tarp sunkiųjų metalų kaupimosi ir antropogeninės veiklos (žr. 1 lentelę). Galima pritarti paskutinių mokslininkų minčiai, kad sunkiųjų metalų kaupimasis dirvožemyje priklauso nuo antropogeninės veiklos, nes daugelyje straipsnių analizuoti taršos šaltiniai buvo sąvartynai, kasyklos, pramonės rajonai, žemės ūkis.

5. Diskusija

Mokslinės literatūros analizės metu nustatyta, kad nemažai tyrimų buvo atlikti naudojant augalus siekiant išsiaiškinti metalų poveikį dirvožemiui ir patiems augalams. Su šaknimis susiję mikroorganizmai sudaro ekologinį sąveikos tinklą, tačiau dėl retų rūšių praradimo dirvožemyje gali pasikeisti rizosferos mikroorganizmų bendruomenių sudėtis, dėl to pasikeis mikroorganizmų sąveikos modeliai (He et al., 2024). Li su bendraautoriais (2024b) ištyrė, kad sunkiųjų metalų kaupimasis *A. villosum* vaisiuose buvo nežymus ir jokio tikėtino pavojaus žmonių sveikatai nenustatyta. He su bendraautoriais (2024) nustatė, kad protistų ir bakterijų įvairovė bei kartu pasitaikantis protistų ir grybų tinklo ryšys labiausiai prisidėjo prie augalų Cd įsisavinimo ir augimo (He et al., 2024). Augalai kaupia sunkiuosius metalus (pvz., kopūstai) iš dirvožemio skirtingais lygiais, priklausomai nuo augalų rūšies ir genotipo toje pačioje rūšyje, dirvožemio pH ir organinių medžiagų kiekio (Nepal et al., 2024). Žemas dirvožemio pH padidino turimą Cd tarpsėliuose *Brassica juncea L. rhizosphere* (Chi et al., 2024). Mažai metalo turinčių veislių sodinimas siūlomas kaip praktiškas būdas tvarkyti mažai ar vidutiniškai sunkiaisiais metalais užterštos žemės ūkio paskirties žemę (Wan et al., 2024).

Taip pat pastebėta tendencija, jog moksliniuose straipsniuose tirtas antropogeninės veiklos metu užterštas dirvožemis. Li su bendraautoriais (2024b) tyrė dirbamos žemės dirvožemį ir nustatė pagrindinius sunkiuosius metalus, teršiančius dirvožemį, tai Cr ir Mn. Ghosh su bendraautoriais (2024) tyrė veikiančių kasyklų dirvožemį ir užterštumą Ni, Cd, Cr ir Pb. Kito tyrimo metu užsienio mokslininkai išsiaiškino, kaip geriau suprasti ryšį tarp dirvožemio mikroorganizmų bendruomenių ir anglimi kūrenamų elektrinių ilgalaikio poveikio (Sun et al., 2024). Cai su bendraautoriais (2024) tyrė dirvožemį aplink sąvartyną ir išsiaiškino, kad Cr buvo dominuojantis metalas. Spalvotosios metalurgijos pramonės taršos dirvožemyje dažnai susikaupia itin didelės įvairių rūšių sunkiųjų metalų koncentracijos (Liu et al., 2021). Wan su bendraautoriais (2024) tyrė žemės ūkio

paskirties dirvožemį. Pramoninė veikla ir per didelis trąšų, pesticidų, fungicidų ir herbicidų naudojimas buvo nustatyti kaip pagrindiniai Usako žemės ūkio dirvožemio užterštumo sunkiaisiais metalais šaltiniai (Yildiz & Ozkul, 2024). Wang su bendraautoriais (2024) išsiaiškino, kad Kinijos pramoniniuose rajonuose yra padidėjęs dirvožemio užterštumas sunkiaisiais metalais, tokį patį užterštumą nustatė ir Anggraeni su bendraautoriais (2024) Majalaya subrajone (pramoninis rajonas).

Mokslinių darbų autoriai aprašė tyrimus, susijusius su sunkiaisiais metalais užterštais dirvožemiais ir mikroorganizmų panaudojimo galimybėmis ar pokyčiais. Manoma, kad didelis molio kiekis dirvožemyje sumažina kai kuriuos neigiamus sunkiųjų metalų poveikius fermentams (Sakin et al., 2024). Wen su bendraautoriais (2024) savo tyrime pateikė esminę sunkiųjų metalų užterštumo ir mikroorganizmų bendruomenės dinamiką (Pb-Zn atliekų revegetacijos metu). Bendras dviejų bakterijų naudojimas gali veiksmingai padėti atkurti tropinius dirvožemius, užterštus Cd ir Cr (Liu et al., 2024). *Bacillus cereus BCS1* efektyviai suardė 84 % β-*cipermetrino* (β-*CP*) net ir veikiant įvairioms švino (10–1000 mg·L–1), taip pat chromo (10–1000 mg·L–1) arba kadmio (0,5–50 mg·L–1) koncentracijoms (Huang et al., 2024).

Užsienio mokslininkai išsiaiškino, kaip geriau suprasti ryšį tarp dirvožemio mikroorganizmų bendruomenių ir ilgalaikių anglimi kūrenamų elektrinių trikdžių (Sun et al., 2024). Pb, Cr ir Mn daugiausia egzistavo oksiduojamoje frakcijoje, o Cu ir Zn vyravo likutinėje frakcijoje. *Actinobacteria, Proteobacteria, Chloroflexi* ir *Acidobacteria* buvo dominuojančios bakterijos, o gausiausia grybų – *Ascomycota* (Cai et al., 2024).

Dėl dirvožemio tipų ir taršos šaltinių įvairovės bei sunkiųjų metalų erdvinės kaitos dirvožemiuose nevienalytiškumo mokslinių darbų autoriai pasirenka tirti skirtingai užterštus dirvožemius skirtingais sunkiaisiais metalais.

6. Išvados

1. Išanalizavę 2024 metų mokslinius straipsnius, susijusius su sunkiųjų metalų ir dirvožemio mikroorganizmais, mokslininkai skirtingai pasirenka tirti sunkiuosius metalus dirvožemyje, tačiau dažniausiai buvo tiriami kadmis, varis, švinas.
2. Moksliniuose straipsniuose daugiausiai pateikiami fitoremediacijos tyrimai naudojant augalus. Taip pat tyrimams naudojamas antropogeninės veiklos užterštas dirvožemis. Aprašyti tyrimai susiję su sunkiaisiais metalais užterštais dirvožemiais ir mikroorganizmų panaudojimo galimybėmis bei jų pokyčiais laikui bėgant.

Literatūra

Anggraeni, D., Oginawati, K., Fahimah, N., Salami, I. R. S., Absari, H. R., Mukhaiyar, U., Pasaribu, U. S., Sari, N. K., & Adiyani, L. (2024). Analysis of heavy metals (Pb and Cd) in soil layers of Indonesia: Spatial distribution, potential source, and groundwater effect. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, *9*, Article 100652. https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100652

Cai, S., Zhou, S., Wang, Q., Cheng, J., & Zeng, B. (2024). Assessment of metal pollution and effects of physicochemical factors on soil microbial communities around a landfill. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *271*, Article 115968. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.115968

Chen, J., Nan, J. Xu, D., Mo, L., Zheng, Y., Chao, L., Qu, H., Guo, Y. Li, F., & Bao, Y. (2020). Response differences between soil fungal and bacterial communities under opencast coal mining disturbance conditions. *Catena*, *194*, Article 104779. https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104779

Chi, G., Fang, Y., Zhu, B., Guo, N., & Chen, X. (2024). Intercropping with *Brassica juncea* L. enhances maize yield and promotes phytoremediation of cadmium-contaminated soil by changing rhizosphere properties. *Journal of Hazardous Materials*, *461*, Article 132727. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.132727

Cui, H., Zhao, Y., Hu, K., Xia, R., Zhou, J., & Zhou, J. (2024). Impacts of atmospheric deposition on the heavy metal mobilization and bioavailability in soils amended by lime. *Science of the Total Environment*, *914*, Article 170082. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170082

Ghosh, S., Mondal, S., Mandal, J., Mukherjee, A., & Bhattacharyya, P. (2024). Effect of metal fractions on rice grain metal uptake and biological parameters in mica mines waste contaminated soils. *Journal of Environmental Sciences*, *136*, 313–324. https://doi.org/10.1016/j.jes.2022.10.038

Guo, J., Zhang, Y., Huang, H., & Yang, F. (2021). Deciphering soil bacterial community structure in subsidence area caused by underground coal mining in arid and semiarid area. *Applied Soil Ecology*, *163*, Article 103916. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.103916

He, X., Xiao, X., Wei, W., Li, L., Zhao, Y., Zhang, N., & Wang, M. (2024). Soil rare microorganisms mediated the plant cadmium uptake: The central role of protists. *Science of the Total Environment*, *908*, Article 168505. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168505

Hou, D., O'Connor, D., Igalavithana, A.D., Alessi, D. S., Luo, J., Tsang, D. C. W., Sparks, D. L., Yamauchi, Y., Rinklebe, J., & Ok, Y. S. (2020). Metal contamination and bioremediation of agricultural soils for food safety and sustainability. *Nature Reviews Earth Environment*, *1*, 366–381. https://doi.org/10.1038/s43017-020-0061-y

Huang, Y., Yang, L., Pan, K., Yang, Z., Yang, H., Liu, J., Zhong, G., & Lu, Q. (2024). Heavy metal-tolerant bacteria Bacillus cereus BCS1 degrades pyrethroid in a soil–plant system. *Journal of Hazardous Materials*, *461*, Article 132594. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.132594

Yang, G., Wu, H., Ma, X., Tang, Y., Li, J., Chai, Y., Wang, C., & Yang, H. (2020). Review on the effects of combined pollution of lead and chromium on soil microorganisms and treatment methods. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, *8*(9), 140–150. https://doi.org/10.4236/gep.2020.89009

Yildiz, U., & Ozkul, C. (2024). Heavy metals contamination and ecological risks in agricultural soils of Uşak, western Türkiye: A geostatistical and multivariate analysis. *Environmental Geochemistry and Health*, *46*, Article 58. https://doi.org/10.1007/s10653-024-01856-0

Jiang, M., He, L., Niazi, K. N., Wang, H., Gustave, W., Vithanage, M., Geng, K., Shang, H., Zhang, X., & Wang, Z. (2023). Nanobiochar for the remediation of contaminated soil and water: Challenges and opportunities. *Biochar*, *5*, Article 2. https://doi.org/10.1007/s42773-022-00201-x

Kou, B., He, Y., Wang, Y., Qu, C., Tang, J., Wu, Y., Tan, W., Yuan, Y., & Yu, T. (2023). The relationships between heavy metals and bacterial communities in a coal gangue site. *Environmental Pollution*, *322*, Article 121136. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121136

Li, Y., Gao, Y., Chen, W., Zhang, W., & Lu, X. (2024a). Shifts in bacterial diversity, interactions and microbial elemental cycling genes under cadmium contamination in paddy soil: Implications for altered ecological function. *Journal of Hazardous Materials*, *461*, Article 132544. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.132544

Li, A., Li, A., Luo, C., & Liu, B. (2024b). Assessing heavy metal contamination in *Amomum villosum* Lour. fruits from plantations in Southern China: Soil-fungi-plant interactions. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *269*, Article 115789. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115789

Lin, H., Wang, Z., Liu, C., & Dong, Y. (2022). Technologies for removing heavy metal from contaminated soils on farmland: A review. *Chemosphere*, *305*, Article 135457. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135457

Liu, F., Zhang, K., Zhao, Y., Li, D., Sun, X., Lin, L., Feng, H., Huang, Q., & Zhu, Z. (2024). Screening of cadmium-chromium-tolerant strains and synergistic remediation of heavy metal-contaminated soil using king grass combined with highly efficient microbial strains. *Science of the Total Environment*, *912*, Article 168990. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168990

Narayanan, M., & Ma, Y. (2022). Influences of biochar on bioremediation/phytoremediation potential of metal-contaminated soils. *Frontiers in Microbiology*, *13*, Article 929730. https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.929730

Nepal, A., Antonious, G. F., Gyawali, B. R., Webster, T. C., & Bebe, F. (2024). Assessing the bioaccumulation of heavy metals in cabbage grown under five soil amendments. *Pollutants*, *4*(1), 58–71. https://doi.org/10.3390/pollutants4010005

Sakin, E., Yanardağ, I. H., Ramazanoğlu, I., & Yalçın, H. (2024). Enzyme activities and heavy metal interactions in calcareous soils under different land uses. *International Journal of Phytoremediation*, *26*(2), 273–286. https://doi.org/10.1080/15226514.2023.2238818

Shan, B., Hao, R., Zhang, J., Li, J., Ye, Y., & Lu, A. (2023). Microbial remediation mechanisms and applications for lead-contaminated environments. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, *39*, Article 38. https://doi.org/10.1007/s11274-022-03484-1

Sun, B., Zhu, R., Shi, Y., Zhang, W., Zhou, Z., Ma, D., Wang, R., Dai, H., & Che, C. (2024). Effects of coal-fired power plants on soil microbial diversity and community structures. *Journal of Environmental Sciences*, *137*, 206–223. https://doi.org/10.1016/j.jes.2023.02.014

Zeng, X., Xu, H., Lu, J., Chen, Q., Li, W., Wu, L., Tang, J., & Ma, L. (2020). The immobilization of soil cadmium by the combined amendment of bacteria and hydroxyapatite. *Scientific Reports*, *10*(1), Article 2189. https://doi.org/10.1038/s41598-020-58259-1

Wan, Y., Liu, J., Zhuang, Z., Wang, Q., & Li, H. (2024). Heavy metals in agricultural soils: Sources, influencing factors, and remediation strategies. *Toxics*, *12*(1), Article 63. https://doi.org/10.3390/toxics12010063

Wang, H., Zhao, M., Huang, X., Song, X., Cai, B., Tang, R., Sun, J., Han, Z., Yang, J., Liu, Y., & Fan, Z. (2024). Improving prediction of soil heavy metal(loid) concentration by developing a combined Co-kriging and geographically and temporally weighted regression (GTWR) model. *Journal of Hazardous Materials*, *468*, Article 133745. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.133745

Wen, X., Zhou, J., Zheng, S., Yang, Z., Lu, Z., Jiang, X., Zhao, L., Yan, B., Yang, X., & Chen, T. (2024). Geochemical properties, heavy metals and soil microbial community during revegetation process in a production Pb-Zn tailings. *Journal of Hazardous Materials*, *463*, Article 132809. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.132809

Qi, Q., Hu, C., Lin, J., Wang, X., Tang, C., Dai, Z., & Xu, J. (2022). Contamination with multiple heavy metals decreases microbial diversity and favours generalists as the keystones in microbial occurrence networks. *Environmental Pollution*, *306*, Article 119406. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119406

LITERATURE REVIEW OF THE INTERACTION OF HEAVY METALS WITH SOIL MICROORGANISMS

V. PALIULIENĖ, S. VASAREVIČIUS

Abstract. Human activities (industry, agriculture, mining, landfills) are linked to heavy metal pollution in soil. This pollution adversely affects all living organisms, including soil microorganisms. At low concentrations, soil microorganisms can remove heavy metals. Aim of the work: to analyse the interaction of heavy metals with soil microorganisms based on the scientific articles presented. The contamination of soil with various heavy metals has been investigated, but cadmium, copper and lead have been the most analysed. The scientific papers mainly focus on phytoremediation studies to investigate the relationship between heavy metals and soil microorganisms using plants. Studies are also carried out using soil contaminated by anthropogenic activities. The literature describes studies on soil contaminated with heavy metals which reveal the potential of microorganisms and their changes over time.

Keywords: soil contamination, microorganisms, heavy metals.

VILNIUS TECH
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

27-oji Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis" teminė konferencija
Proceedings of the 27th Conference for Junior Researchers "Science – Future of Lithuania"

DARNI APLINKA / SUSTAINABLE ENVIRONMENT

2024 m. balandžio 25 d., Vilnius, Lietuva
25 April 2024, Vilnius, Lithuania

ISSN 2029-7157 / eISSN 2029-7149
eISBN 978-609-476-359-5
https://doi.org/10.3846/da.2024.009

Aplinkos apsaugos inžinerija / Environmental Protection Engineering *https://vilniustech.lt/346238*

EVALUATION OF ENVIRONMENTALLY FRIENDLY SOUND ABSORPTION MATERIALS MADE FROM AGRICULTURAL WASTE FIBERS

Nuushuun Archie GBOE*, Raimondas GRUBLIAUSKAS

Department of Environmental Protection and Water Engineering, Faculty of Environmental Engineering, Vilnius Gediminas Technical University, Vilnius, Lithuania
**E-mail: n.gboe@stud.vilniustech.lt*

Received 4 March 2024; accepted 18 March 2024

Abstract. Agriculture, the world's largest industry, significantly contributes to the GDP of many developing countries, employing over a billion people and producing 1.3 trillion dollars' worth of food annually. Despite its economic impact, agriculture generates a substantial 140 billion metric tons of waste globally, necessitating sustainable waste management to reduce CO_2 emissions. Natural agricultural waste fibers like coconut fiber, groundnut shell, and sugarcane fiber are explored as eco-friendly alternatives for sound insulation to combat noise pollution. The research investigates their application as sustainable sound-absorbing materials, determining sound absorption coefficients based on the ISO 10534-2 standard. Results indicate coefficients ranging from 0.55 to 0.95 within the 160 Hz to 5000 Hz frequency range. Sugarcane fiber exhibited the most favorable coefficients, reaching 0.95 at 1600 Hz and 0.46 at 800 Hz, followed by coconut fiber with a range of 0.84 at 4000 Hz to 0.57 at 160 Hz. This research highlights the potential of agricultural waste fibers in addressing environmental concerns associated with agricultural waste while providing sustainable solutions for sound absorption.

Keywords: sound absorption, agricultural waste, natural fiber, noise pollution.

1. Introduction

In recent years, rapid urbanization, transportation, and industrialization have become the prime sources of noise pollution in the world. Noise pollution has become a serious environmental problem and causes different types of health problems such as hearing loss, cardiovascular diseases, and sleep disorders (Malawade et al., 2022). As noise problems intensify, there is a growing demand for improved environmental conditions and a more varied lifestyle. There is a need for advanced sound-absorbing materials with broader frequency absorption capabilities (Samsudin et al., 2016).

Growing public concern about noise pollution has led to an increased demand for sound absorption materials as effective noise barriers (Jariwala et al., 2017). These materials play a crucial role in softening the acoustics of enclosed spaces by diminishing sound wave energy and reducing the amplitude of reflected waves. The widely used sound absorption materials in the market, such as glass-fiber or mineral fiber, possess low thermal conductivity and high sound absorption coefficients but have negative environmental impacts during production and potential effects on human health (ALRahman et al., 2013). Natural fibers have received a lot of interest mostly because they have ecological benefits and acoustical qualities. Acoustic absorbers made of natural material are consequently appealing because of their biodegradability and sustainability to help the "Green environmental movement". As an alternative, natural fibers derived from agricultural wastes, coconut fiber, sugarcane fiber, and groundnut shell, can be utilized as affordable, biodegradable, and recyclable sound absorption materials (Gboe & Grubliauskas, 2023).

Over the past 50 years, agricultural production has more than tripled due to expanded soil use, technological advancements from the green revolution, and population growth. The global output is now approximately 23.7 million tons of food per day, placing significant strain on the environment and adversely affecting soil, air, and water resources. This environmental impact poses risks to population health and ecosystem sustainability, with agriculture accounting for 21% of greenhouse

© 2024 The Author(s). Published by Vilnius Gediminas Technical University. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

gas emissions. Recognizing this crisis, a shift toward more sustainable development in the agricultural production system has emerged in recent years, necessitating substantial changes (Duque-Acevedo et al., 2020). Agricultural Waste Management is installed to manage and control the use of byproducts of agricultural production in a manner that sustains or enhances the quality of air, water, soil, plant, and animal resources (Obi et al., 2016).

Coconut waste, a byproduct of coconut cultivation, is abundant globally, with an annual production of 62.5 million tons in over 90 countries, particularly in tropical regions like Thailand, India, Nigeria, and other African nations (Hosseini Fouladi et al., 2010). The large cultivation and expansion of coconut contribute to the higher generation of coconut waste such as coconut husk, shell, frond, fiber, and pulp (Azeta et al., 2021). The sugar industry generates approximately 279 million metric tons of sugarcane waste each year worldwide, with South Africa contributing over 1.353 million metric tons annually, more than 50% of which is recovered in cogeneration facilities (Putra et al., 2013). Improper disposal of sugarcane waste poses environmental and health risks due to its solid, semi-solid, and liquid nature (Ungureanu et al., 2019). Groundnut shells, a byproduct of groundnut processing, represent about 30% of the total weight of the legume, processing, represent about 30% of the total weight of the legume, producing around 11 million tons of waste annually worldwide (Mandala et al., 2023). Despite ongoing development in their utilization, groundnut shells, rich in cellulose, hemicellulose, and lignin, hold promise as a source of cellulosic, hemicellulose, and lignin, hold promise as a source of cellulosic biomass for energy production (Rubino et al., 2019) The research aims to investigate the sound absorption coefficient of agricultural waste fiber materials, namely coconut fiber, groundnut shell, and sugarcane fiber. The goal is to present these materials as eco-friendly alternatives for building acoustic sound-absorbing panels. These panels, when utilized, will reduce noise levels in various settings such as offices, libraries, cafes, etc., contributing to a more acoustically comfortable environment.

2. Materials and methods

2.1. Materials preparation

Groundnut shell material was sourced from a groundnut farm in Liberia's central area (Bong County). To ensure cleanliness, the raw materials underwent a cleaning process using pressured water, removing dust and contaminants. Hand crushing was employed to convert the shells into chips, and subsequent sorting through sieves was done to achieve the desired size. Sugarcane fiber material was obtained from a local kin juice production site in Liberia after extracting the juice and nutritious elements from sugarcane stalks. The fibers were separated and trimmed to a shorter length. Coconut fiber was acquired from coconut husks at a local coconut farm, where street vendors purchase coconut for selling in different parts of the city.

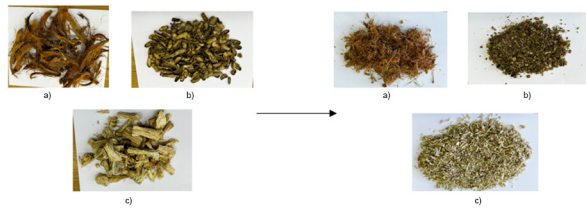


Figure 1. Raw agriculture wastes materials used in the study: a – coconut fiber; b – groundnut shell; c – sugarcane fiber

The materials were exposed to the sun for 8 hours for two days to dry at 25 °C temperature and then they were heated at low temperatures (165 °C) to track the moisture content and frequently record the weight of materials, the moisture content was monitored to ensure the materials were dry. Determining the sound absorption coefficient using the impedance tube method, three sample types of each of the materials (coconut fiber, groundnut shell, and sugarcane fiber) were prepared. The samples were prepared as follows:

- Sample 1: Density of 2.39 kg/m^3 and thickness of 5 cm.
- Sample 2: Density of 3.19 kg/m^3 and thickness of 5 cm.
- Sample 3: Density of 3.99 kg/m^3 and thickness of 5 cm.

The systematic variation in the mass and thickness of the samples provides a comprehensive exploration of the sound absorption characteristics of agricultural waste fiber materials.

2.2. Determination method of sound absorption coefficient in impedance tube

In this study, the sound absorption coefficient was determined according to the ISO 10534-2 standard, utilizing the transfer function method and the two-microphone technique specified by the International Organization for Standardization (ISO, 1998). The research utilized a tube with a 30 mm inner diameter and rigid backing for samples, measuring impedance in the range of 160 to 5000 Hz and presenting results in 1/3 octave bands. Microphones No. 1 and No. 2 were used for low frequencies (160–1000 Hz), and No. 2 and No. 3 for high

frequencies (1000–5000 Hz), with specific distances between microphones. Data was collected using a data acquisition device connected to a computer interface in a controlled laboratory environment of 25 °C and 50% relative humidity (Ružickij & Grubliauskas, 2023).



Figure 2. Sound absorption coefficient measurement impedance tube setup

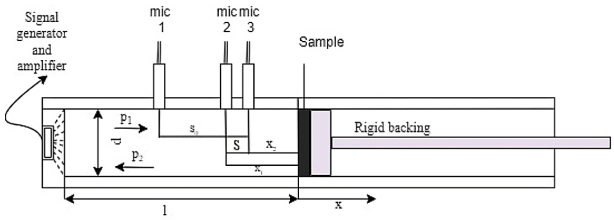


Figure 3. Schematic diagram of impedance tube

As per the procedure, the initial step involves establishing the transfer function. The transfer function, namely H_{12}, and H_{23}, are derived by calculating the ratio of pressure captured by microphone pairs No. 1 and No. 2, and No. 3, across the entire frequency spectrum (ISO, 1998; Ružickij & Grubliauskas, 2023).

$$H_{12} = \frac{P_{2(f)}}{P_1(f)}, \quad H_{23} = \frac{P_{3(f)}}{P_2(f)}; \tag{1}$$

$$H_{I(160-1000\,Hz)} = \frac{P_2 I}{P_1 I} = e^{-jk_o(x_{12}+x_{23})}; \tag{2}$$

$$H_{I(100-5000\,Hz)} = \frac{P_3 I}{P_2 I} = e^{-jk_o(x_{23})}; \tag{3}$$

$$H_{R(160-1000\,Hz)} = \frac{P_{2R}}{P_{1R}} = e^{-jk_o(x_{12}+x_{23})}; \tag{4}$$

$$H_{R(100-5000\,Hz)} = \frac{P_{3R}}{P_{2R}} = e^{-jk_o(x_{23})}. \tag{5}$$

Afterwards, the sound reflection coefficient is determined from Eq. (2) and Eq. (3) (ISO, 1998)

$$R_{(160-1000Hz)} = \frac{H_{12} - H_{I(160-1000\,Hz)}}{H_{R(160-1000\,Hz)} - H_{12}} e^{2jk_o(x_{12}+x_{23}+x_{35})}; \tag{6}$$

$$R_{(1000-5000Hz)} = \frac{H_{23} - H_{I(1-5\,kHz)}}{H_{R(1-5\,kHz)} - H_{13}} e^{2jk_o(x_{23}+x_{35})}, \tag{7}$$

where P_1, P_2, and P_3 represent the pressures captured by the microphones in pascals (Pa); H_I stands for the incident wave transfer function; H_R denotes the reflected wave transfer function; x_{12} signifies the distance between microphones No. 1 and No. 2 in millimeters (mm); x_{23} represents the distance between microphones No. 2 and No. 3 in mm; x_{35} is the distance between No. 3 and the sample in mm; R signifies the sound reflection coefficient; j represents the complex number, and k_o stands for the wave number. In the last step, the sound absorption coefficient is determined (Eq. (5) (ISO, 1998)):

$$\propto = 1 - |R|^2, \tag{8}$$

where R – sound reflection coefficient.

The sound absorption coefficient range is from 0 to 1, without dimensions.

3. Experimental results and discussion

The experiment generated a thorough report, data on sound absorption coefficients for raw materials, along with information on the density, thickness, and frequency range. An examination of the findings was conducted to understand how these factors influence the sound absorion properties demonstrated by natural fiber materials. The goal of this research was to uncover the comex interplay between material composition, physical characteristics, and acoustic performance of the raw material, offering valuable insight into the determinants of sound absorption in natural fibers.

3.1. Coconut Fiber (CF)

– Coconut Fiber (CF 75 kg/m^3, 100 kg/m^3 & 125 kg/m^3 in 5 cm mold)

Figure 4 displays the experimental outcomes for coconut fiber specimens at three distinct densities: 75 kg/m^3, 100 kg/m^3, and 125 kg/m^3. The measurement was carried out across the frequency spectrum ranging from 160 Hz to 5000 Hz.

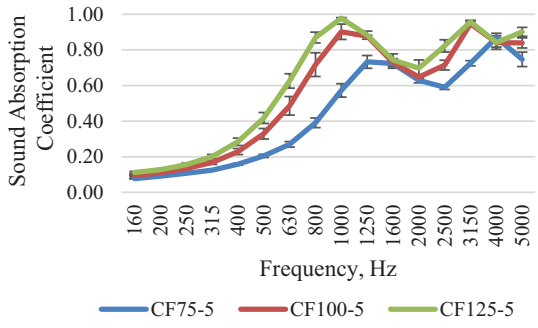


Figure 4. Results of experimental impedance tube measurement coconut Fiber (CF 75 kg/m^3, 100 kg/m^3 & 125 kg/m^3 in 5 cm mold)

Three samples with densities of 75 kg/m^3, 100 kg/m^3, and 125 kg/m^3 demonstrate varied sound absorption coefficient behaviors across different frequency ranges. For the 75 kg/m^3 sample, the absorption coefficient peaks at 0.57 at 1000 Hz for lower frequencies, 0.73 at 1250 Hz for medium frequencies, and 0.84 at 4000 Hz for higher frequencies. For the 100 kg/m^3 sample, maximum absorption occurs between 2000 Hz and 3150 Hz, peaking at approximately 0.79 at 2500 Hz. In the lower frequency range, absorption peaks at 0.72 at 800 Hz, while in the medium frequency range, it peaks at 0.90 at 1000 Hz and in the higher frequency range, absorption reaches its maximum at 0.96 at 3150 Hz.

For the 125 kg/m^3 sample, maximum absorption occurs between 2000 Hz and 3150 Hz, with the highest coefficient of approximately 0.98 at 1000 Hz. Peak absorption remains constant at 0.98 at 1000 Hz for lower frequencies, while in the medium frequency range, it peaks at 0.88 at 1250 Hz. In the higher frequency range, absorption peaks at 0.96 at 3150 Hz. Each sample shows unique frequency-dependent absorption characteristics, with varying peak absorption values and frequencies across the tested density ranges.

3.2. Groundnut Shell (GS)

– Groundnut Shell (GS 75 kg/m^3, 100 kg/m^3 & 125 kg/m^3 in 5 cm mold)

Figure 5 shows experimental results for groundnut shell samples with three different densities: 75 kg/m^3, 100 kg/m^3, and 125 kg/m^3. The measurements were conducted within the frequency range of 160 Hz to 5000 Hz.

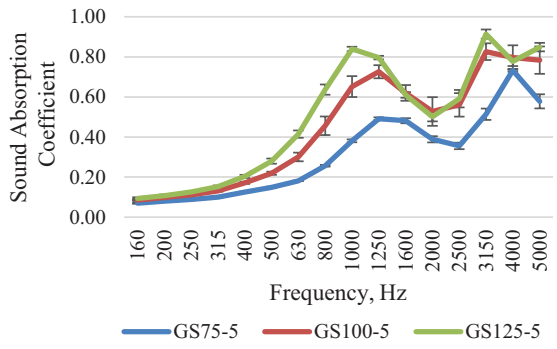


Figure 5. Results of experimental impedance tube measurement Groundnut Shell (GS 75 kg/m^3, 100 kg/m^3 & 125 kg/m^3 in 5 cm mold)

For three samples with densities of 75 kg/m^3, 100 kg/m^3, and 125 kg/m^3, the sound absorption coefficient peak in the frequency range 3150 Hz to 5000 Hz.

For the 75 kg/m^3 sample, the highest absorption value is 0.73 at 4000 Hz, with varying peals across different frequency ranges: 0.38 at 1000 Hz for lower frequencies and 0.49 at 1250 Hz for medium frequencies. For the 100 kg/m^3 sample, the maximum absorption is approximately 0.83 at 3150 Hz, with peaks of 0.46 at 800 Hz for lower frequencies and 0.73 at 1250 Hz for medium frequencies. For the 125 kg/m^3 sample, the highest absorption value at 0.91 at 3150 Hz, with peaks of 0.84 at 100 Hz for lower frequencies and 0.80 at 1250 Hz for medium frequencies. In the higher frequency range, all samples exhibit maximum absorption, with values of 0.73 at 4000 Hz for the 75 kg/m^3 sample, 0.83 at 3150 Hz for the 100 kg/m^3 sample, and 0.91 at 3150 Hz for the 125 kg/m^3 sample.

3.3. Sugarcane Fiber (SF)

– Sugarcane Fiber (SF 75 kg/m^3, 100 kg/m^3 & 125 kg/m^3 in 5 cm mold)

Figure 6 shows experimental results for Sugarcane Fiber samples with three different densities: 75 kg/m^3, 100 kg/m^3, and 125 kg/m^3 in 5 cm mold. The measurements were conducted within the frequency range of 160 Hz to 5000 Hz.

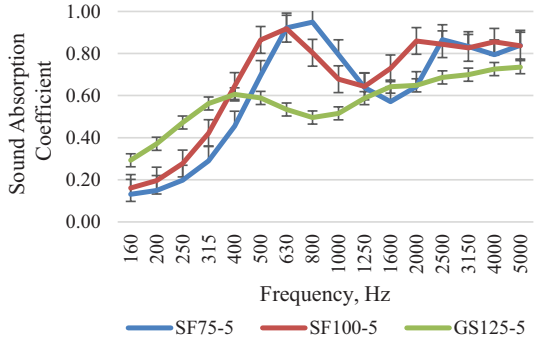


Figure 6. Results of experimental impedance tube measurement Sugarcane Fiber (SF 75 kg/m^3, 100 kg/m^3 & 125 kg/m^3 in 5 cm mold)

For three samples with densities of 75 kg/m^3, 100 kg/m^3, and 125 kg/m^3, the sound absorption coefficients exhibit different patterns across frequency ranges.

For the 75 kg/m^3 sample, maximum absorption occurs in the range of 630 Hz to 800 Hz, reaching approximately 0.95 at 800 Hz. Peak absorption is consistent across lower frequencies, with 0.95 at 800 Hz, while in the medium frequency range, it peaks at 0.64 at 1250 Hz. In the higher frequency range, absorption peaks of 0.87 at 2500 Hz. For the 100 kg/m^3 sample, maximum absorption occurs between 500 Hz to 800 Hz, with a peak of approximately 0.92 at 630 Hz. Peak absorption remains consistent across the lower frequency range at 0.92 at 630 Hz, while in the medium frequency

range, it peaks at 0.86 at 2000 Hz. In the higher frequency range, absorption peaks at 0.86 between 4000 Hz. For the 125 kg/m^3 sample, maximum absorption occurs in the range of 2500 Hz to 5000 Hz, reaching about 0.74 at 5000 Hz. Peak absorption in the lower frequency range is at 0.61 at 400 Hz, while in the medium frequency range, it peaks at 0.68 at 2500 Hz. In the higher frequency range, absorption peaks at 0.74 at 5000 Hz. Each sample exhibits unique frequency-dependent absorption characteristics, with different peak absorption values and frequencies across the tested density ranges.

4. Conclusions

The study examined the sound absorption coefficient of natural agricultural waste fiber materials (coconut fiber, groundnut shell, and sugarcane fiber), finding promising results. Sugarcane fiber with a density of 75 kg/m^3 showed the highest average absorption coefficient (0.86) at 800 Hz, primarily in the low-frequency range. Coconut fiber with a density of 125 kg/m^3 ranked second, with an average coefficient of 0.81 at 4000 Hz, mainly in the high-frequency range. Groundnut shell exhibited the lowest coefficient (0.73) at medium frequencies. These findings suggest this material could serve as an alternative to synthetic ones for sound absorption.

The result evaluates the sound absorption coefficient of the raw material without binder. To explore the sound absorption potential further, using an eco-friendly binder in the sample preparation process with an appropriate mixing ratio is crucial. Adding an eco-friendly binder could enhance the sound absorption properties. Future research aims to conduct a Life Cycle Assessment to comprehensively understand the environmental impact of these materials. understanding of the environmental impact of these materials.

References

ALRahman, L. A., Raja, R. I., & Rahman, R. A. (2013). Experimental study on natural fibers for green acoustic absorption materials. *American Journal of Applied Sciences*, *10*(10), 1307–1314. https://doi.org/10.3844/ajassp.2013.1307.1314

Azeta, O., Ayeni, A. O., Agboola, O., & Elehinafe, F. B. (2021). A review on the sustainable energy generation from the pyrolysis of coconut biomass. *Scientific African*, *13*, Article e00909. https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e00909

Duque-Acevedo, M., Belmonte-Ureña, L. J., Cortés-García, F. J., & Camacho-Ferre, F. (2020). Agricultural waste: Review of the evolution, approaches and perspectives on alternative uses. *Global Ecology and Conservation*, *22*, Article e00902. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e00902

Gboe, N. A., & Grubliauskas, R. (2023). Agriculture waste as sound-absorbing material: Case study Liberia. In *Proceedings of the 26th Conference for Junior Researchers "Science – Future of Lithuania"* (pp. 13–49), Vilnius, Lithuania.

Hosseini Fouladi, M., Nor, M. J. M., Ayub, M., & Leman, Z. A. (2010). Utilization of coir fiber in multilayer acoustic absorption panel. *Applied Acoustics*, *71*(3), 241–249. https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2009.09.003

International Organization for Standartization. (1998). *Acoustics – Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes – Part 2: Transfer-function method* (ISO 10534-2:1998). https://cdn.standards.iteh.ai/samples/22851/2b999ad0cc6c40cd84063eb81ab70944/ISO-10534-2-1998.pdf

Jariwala, H. J., Syed, H. S., Pandya, M. J., & Gajera, Y. M. (2017). Noise pollution & human health: A Review. In *Conference "Noise and Air Pollution: Challenges and Opportunities"* (pp. 1–4). https://www.researchgate.net/publication/319329633_Noise_Pollution_Human_Health_A_Review

Malawade, U. A., Malgaonkar, V. V., Badadhe, A. M., & Jadhav, M. G. (2022). Utilization and study of raw groundnut shell as a source of sound absorbing material. *Journal of Natural Fibers*, *19*(13), 6335–6347. https://doi.org/10.1080/15440478.2021.1916673

Mandala, R., Hegde, G., Kodali, D., & Kode, V. R. (2023). From waste to strength: Unveiling the mechanical properties of peanut-shell-based polymer composites. *Journal of Composites Science*, *7*(8), Article 307. https://doi.org/10.3390/jcs7080307

Obi, F., Ugwuishiwu, B., & Nwakaire, J. (2016). Agricultural waste concept, generation, utilization and management. *Nigerian Journal of Technology*, *35*(4), 957–964. https://doi.org/10.4314/njt.v35i4.34

Putra, A., Abdullah, Y., Efendy, H., Farid, W. M., Ayob, M. R., & Py, M. S. (2013). Utilizing sugarcane wasted fibers as a sustainable acoustic absorber. *Procedia Engineering*, *53*, 632–638. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.02.081

Rubino, C., Bonet Aracil, M., Gisbert-Payá, J., Liuzzi, S., Stefanizzi, P., Zamorano Cantó, M., & Martellotta, F. (2019). Composite eco-friendly sound absorbing materials made of recycled textile waste and biopolymers. *Materials*, *12*(23), Article 4020. https://doi.org/10.3390/ma12234020

Ružickij, R., & Grubliauskas, R. (2023). Prediction of sound absorption of waste tyre textile fibre composite material. In *12th International Conference "Environmental Engineering"* (pp. 1–7), Vilnius, Lithuania. https://doi.org/10.3846/enviro.2023.841

Samsudin, E. M., Ismail, L. H., & Kadir, A. A. (2016). A review on physical factors influencing absorption performance of fibrous sound absorption material from natural fibers. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, *11*(6), 3703–3710.

Ungureanu, N., Vlăduț, V., & Biriș, S. (2019). *Sustainable valorization of sugarcane waste from sugarcane processing.* https://encyclopedia.pub/entry/27272

APLINKAI NEKENKSMINGŲ GARSĄ SUGERIANČIŲ MEDŽIAGŲ, PAGAMINTŲ IŠ ŽEMĖS ŪKIO ATLIEKŲ PLUOŠTO, ĮVERTINIMAS

N. A. GBOE, R. GRUBLIAUSKAS

Santrauka. Žemės ūkis, kaip didžiausia pasaulio pramonė, reikšmingai prisideda prie daugelio besivystančių šalių BVP, įdarbinant daugiau nei milijardą žmonių, ir kasmet pagamina maisto už 1,3 trilijono dolerių. Nepaisant jo ekonominio poveikio, žemės ūkis pasaulyje generuoja 140 milijardų tonų atliekų kiekį, reikalaujantį tvaraus atliekų tvarkymo, siekiant sumažinti CO_2 emisijas. Natūralūs žemės ūkio atliekų pluoštai, tokie kaip kokoso pluoštas, žemės riešutų kevalai ir cukranendrių pluoštas, tyrinėjami kaip ekologiškos alternatyvos garso izoliacijai kovojant su triukšmo tarša. Tyrime nagrinėjama jų, kaip tvarių garsą sugeriančių medžiagų, taikymo galimybė, nustatant garso sugėrimo koeficientus, remiantis ISO 10534-2. Rezultatai rodo koeficientus, kurie kinta nuo 0,55 iki 0,95, 160–5000 Hz dažnių diapazone. Cukranendrių pluošto bandiniai pasižymėjo aukščiausiomis vertėmis (0,95), esant 1600 Hz dažniui, kokoso pluoštas (0,84), esant 4000 Hz dažniui. Šis tyrimas rodo žemės ūkio atliekų pluoštų potencialą sprendžiant su žemės ūkio atliekomis susijusias aplinkosaugines problemas, kuriant tvarius sprendimus garso sugerčiai.

Reikšminiai žodžiai: garso sugertis, žemės ūkio atliekos, natūralus pluoštas, triukšmo tarša.

VILNIUS TECH
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

27-oji Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis" teminė konferencija
Proceedings of the 27th Conference for Junior Researchers "Science – Future of Lithuania"

DARNI APLINKA / SUSTAINABLE ENVIRONMENT

2024 m. balandžio 25 d., Vilnius, Lietuva
25 April 2024, Vilnius, Lithuania

ISSN 2029-7157 / eISSN 2029-7149
eISBN 978-609-476-359-5
https://doi.org/10.3846/da.2024.010

Aplinkos apsaugos inžinerija / Environmental Protection Engineering *https://vilniustech.lt/346238*

IŠ POPIERIAUS IR KARTONO ATLIEKŲ PAGAMINTO ADSORBENTO PANAUDOJIMAS KONGO RAUDONAJAM DAŽIKLIUI ŠALINTI IŠ VANDENS

Monika LIUGĖ*, Dainius PALIULIS

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Aplinkos inžinerijos fakultetas,
Aplinkos apsaugos ir vandens inžinerijos katedra, Vilnius, Lietuva
**El. paštas monika.liuge@vilniustech.lt*

Gauta 2024 m. kovo 4 d.; priimta 2024 m. kovo 18 d.

Santrauka. Tekstilės pramonė – viena iš svarbiausių lengvosios pramonės šakų visoje Europos Sąjungoje. Pagrindinės tekstilės pramonės aplinkosauginės problemos – didelis vandens suvartojimas ir jo užteršimas, naudojamų cheminių medžiagų įvairovė bei didelis energijos poreikis. Svarbu atkreipti dėmesį, jog dažiklių kiekis tekstilės pramonės nuotekose vis dar nėra reglamentuojamas. Pastaruoju metu dideliu savituoju paviršiaus plotu ir nedideliu svoriu pasižymintys adsorbentai, aerogeliai, sulaukė didelio susidomėjimo kaip perspektyvios dažiklius iš užteršto vandens šalinančios medžiagos. Celiuliozės aerogeliai yra nebrangūs, netoksiški. Šio tyrimo metu buvo nustatytas tekstilės pramonėje naudojamo kongo raudonojo dažiklio adsorbcijos efektyvumas naudojant iš popieriaus ir kartono atliekų susintetintą adsorbentą. Bendroji organinės anglies koncentracija buvo pasirinkta kaip kongo raudonojo dažiklio koncentracijos tirpale indikatorius. Tirtos skirtingos sudėties aerogelio kapsulės, celiuliozės kiekis jose skyrėsi nuo 3 % iki 5 %. Aerogelio kapsulėms, kurių sudėtyje buvo 3 % celiuliozės nuo bendros masės, esant 0,1 mg/l dažiklio koncentracijai, pasiektas 74,55 % bendrosios organinės anglies koncentracijos sumažėjimas, esant 1,0 mg/l – 73,68 %, esant 2,0 mg/l – 67,45 %, o esant 5,0 mg/l – 57,98 %. Aerogelio kapsulėms, kurių sudėtyje buvo 5 % celiuliozės nuo bendros masės, esant 0,1 mg/l, pasiektas 80,00 %, esant 1,0 mg/l – 76,04 %, esant 2,0 mg/l – 71,08 %, o esant 5,0 mg/l – 68,02 %.

Reikšminiai žodžiai: adsorbcija, aerogelis, celiuliozė, dažikliai, tekstilė.

1. Įvadas

Plečiantis pramonės sektoriams, kasmet susidaro dideli nuotekų kiekiai (Rahman et al., 2021). Į gamtinę aplinką išleidžiamos neišvalytos nuotekos gali padaryti didelę žalą žmonėms, gyvūnams, augalams ir mikroorganizmams (Kishor et al., 2021). Dažikliai yra organiniai teršalai, turintys sudėtingą cheminę struktūrą, kuri pasižymi dideliu stabilumu (Ardila-Leal et al., 2021).

Kongo raudonasis yra azodažiklių grupei priskiriamas dažiklis, kurio molekulinė formulė yra $C_{32}H_{22}N_6Na_2O_6S_2$. Tai tirpi vandenyje cheminė medžiaga, ištirpus dažikliui susidaro raudonas koloidinis tirpalas (Fan et al., 2022). Dėl spalvos pasikeitimo iš mėlynos į raudoną, esant pH 3,0–5,2, kongo raudonasis dažiklis gali būti naudojamas kaip pH indikatorius.

Tarp dažniausiai mokslinėje literatūroje minimų nuotekų valymo būdų adsorbcija yra laikoma efektyviu nuotekų valymo pasirinkimu (Sočo et al., 2021). Adsorbcijos efektyvumas priklauso nuo adsorbento tipo. Šiuo metu dažniausiai naudojami adsorbentai, pagaminti iš anglies. Aktyvuotoji anglis pasižymi dideliu savituoju paviršiaus plotu, nedidele kaina bei dideliu poringumu (Muhammad et al., 2023). Tačiau ši medžiaga pasižymi prastomis regeneracinėmis savybėmis ir pakartotiniu panaudojimu.

Celiuliozė yra atsinaujinanti ir natūraliai skaidoma biomasės medžiaga. Aerogeliai, gauti ne iš naftos, o, pavyzdžiui, iš celiuliozės, chitozano, lignino, pektino ar kitų medžiagų, pasižymi aukštomis adsorbcinėmis savybėmis šalinant organinius teršalus iš nuotekų (Luo et al., 2021). Tai lemia didelis aerogelių poringumas, didelis savitasis paviršiaus plotas bei mažas tankis (Wang et al., 2023).

Celiuliozės pagrindu pagamintos aerogelio medžiagos gaminamos iš regeneruotos celiuliozės arba nanoceliuliozės, kuriai reikia specialių tirpiklių, augalinių pluoštų apdorojimo rūgštimis ir bazėmis arba

© 2024 Autoriai. Leidėjas Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Šis straipsnis yra atvirosios prieigos straipsnis, turintis Kūrybinių bendrijų (Creative Commons) licenciją (CC BY 4.0), kuri leidžia neribotą straipsnio ar jo dalių panaudą su privaloma sąlyga nurodyti autorių ir pirminį šaltinį.

formaldehidu, glutaraldehidu, epichlorhidrinu (El-Zawahry et al., 2021).

Tyrime naudotos dviejų rūšių aerogelio kapsulės, kuriose celiuliozė sudarė 3 % ir 5 % atitinkamai. Siekta nustatyti, ar iš popieriaus ir kartono atliekų pagamintą adsorbentą yra tikslinga naudoti tekstilės pramonėje naudojamam kongo raudonajam dažikliui šalinti iš vandeninių tirpalų bei kurios sudėties aerogelio kapsulės pasižymi aukštesnėmis adsorbcinės gebos vertėmis.

Tyrimo tikslas – iš popieriaus ir kartono atliekų susintetinto aerogelio taikymo kongo raudonajam dažikliui šalinti iš vandeninių tirpalų galimybių įvertinimas.

2. Metodika

Eksperimentiniams tyrimams pasirinktas tekstilės pramonėje naudojamas kongo raudonasis dažiklis buvo miltelių pavidalo. Vandeninių tirpalų pH reikšmės išmatuotos prieš kiekvieną adsorbcijos tyrimą ir po jo. Prieš eksperimentinius tyrimus atliktas pH matuoklio *Mettler Toledo Multi seven* kalibravimas. Tyrimai atlikti kambario temperatūroje: 20–23 °C temperatūrų intervale.

Eksperimentiniam tyrimui naudota toliau išvardinta laboratorinė įranga bei cheminiai reagentai:

- cheminiai reagentai – chemiškai švarus kongo raudonasis dažiklis; distiliuotas vanduo, kuris atitinka standarto ISO 3696:1987 reikalavimus, 0,1 M H_2SO_4 ir 0,1 M NaOH vandeniniai tirpalai, kalio vandenilio ftalatas;
- laboratorinė įranga – *Radwag* analitinės svarstyklės, stiklo pluošto filtrinis popierius *REF A0478855*, filtrinis popierius *Qualitative Filter Paper Grade 202*, pH matuoklis *Mettler Toledo Multi seven*; 50, 100 ir 500 ml matavimo kolbos, 1, 2, 10, 25 ml graduotos pipetės, *Shimadzu TOC* bendrosios anglies analizatorius, sintetinio oro balionas, vakuuminis siurblys, magnetinė maišyklė *Heidolph MR 1000*.

Tyrimams naudoti stikliniai 50, 100, 500 ml matavimo indai. Prieš naudojimą indai buvo išplauti su distiliuotu vandeniu ir išdžiovinti.

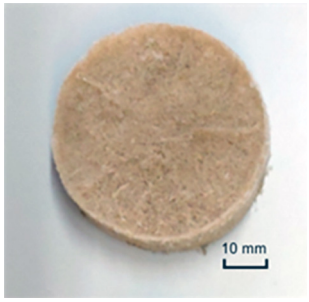
Kongo raudonojo dažiklio adsorbcijos taikant iš popieriaus ir kartono atliekų susintetintą adsorbentą, aerogelį, tyrimai vykdyti iki 24 valandų nuolat maišant magnetine maišykle paruošto dažiklio vandeninius tirpalus. Remiantis mokslinės literatūros šaltiniais pasirinkti šie laiko intervalai: 5 min., 10 min., 30 min., 60 min., 120 min., 240 min., 480 min. ir 1440 min.

Adsorbcijos tyrimui paruošti 0,1 mg/l, 1,0 mg/l, 2,0 mg/l ir 5,0 mg/l koncentracijos kongo raudonojo dažiklio vandeniniai tirpalai.

Į 100 ml matavimo kolbą įberiamas reikiamas kiekis kongo raudonojo dažiklio miltelių ir iki 100 ml žymos į matavimo kolbą įpilama distiliuoto vandens. Mėginiai, skirti adsorbcijos tyrimui statinėmis sąlygomis, perpilami į didesnės talpos (500 ml) stiklinius indus ir dedami į automatinę maišyklę bei maišomi 400 apsukų per minutę greičiu. Remiantis kitų mokslininkų atliktų tyrimų rezultatais nuspręsta naudoti ne didesnį nei 400 apsukų per minutę greitį siekiant nesuardyti pradinės aerogelio kapsulės struktūros. Naudojant didesnį nei 400 apsukų per minutę greitį automatinės maišyklės geležtės pradeda ardyti aerogelio kapsulės struktūrą atplėšiant aerogelį sudarančius pluoštus. Tyrimų metu aeorogelio kapsulės buvo visiškai panardintos paruoštuose vandeniniuose dažiklio tirpaluose.

Nesant galimybės susintetinti vienodo svorio aerogelio kapsulių, o jas karpant, pjaustant ar kitaip smulkinant, yra pakeičiama jų vidinė struktūra, adsorbcijos tyrime statinėmis sąlygomis nuspręsta naudoti po 1 aerogelio kapsulę. Pateikiant skaičiavimų rezultatus yra atsižvelgta į aerogelio kapsulių svorio kitimus.

Aerogelių kapsulės yra skritulio formos, 5 cm skersmens, 1 cm aukščio (1 pav.).



1 paveikslas. Aerogelio paviršiaus nuotrauka, vaizdas iš viršaus

Adsorbcijos tyrimai statinėmis sąlygomis po numatyto adsorbcijos laiko nutraukti atskyrus aerogelio kapsules nuo paruoštų tekstilės pramonėje naudojamo kongo raudonojo dažiklio vandeninių tirpalų filtruojant juos per stiklo pluošto filtrą. Atskirtos aerogelio kapsulės nebuvo pakartotinai panaudotos tolesniuose tyrimo etapuose.

Aerogelio kapsulės yra sudarytos iš mažų celiuliozės skaidulų, kurias galima įžiūrėti ir plika akimi. Tyrime naudotos dviejų rūšių aerogelio kapsulės, kuriose celiuliozė sudarė 3 % ir 5 % atitinkamai. Skirtingo tipo kapsulės vizualiai nesiskiria. Sintetinant skirtingos sudėties aerogelio kapsules apribojimų dėl celiuliozės kiekio jose nėra. Mažesnis nei 3 % ir didesnis nei 5 % celiuliozės kiekis nebuvo naudojamas, nes nurodytą celiuliozės kiekį turinčios aerogelio kapsulės pasižymi mažesnėmis adsorbcinės gebos vertėmis.

Adsorbcijos tyrimuose statinėmis sąlygomis naudotas adsorbentas buvo susintetintas Klaipėdos universitete, inžinerijos katedroje, jūros technologijų ir gamtos

mokslų fakultete. Aerogelio mišinys gaminamas keliais etapais. Vanduo sumaišomas su susmulkintu popieriumi (3 % arba 5 %). Pridėjus aplinkai nekenksmingo kryžminimo agento, krakmolo, 0,1 % nuo bendro kiekio, paruoštas mišinys 3 min. maišomas 20 000 sūk./min. greičiu naudojant *UltraTurrax T25 digital IKA* (nerūdijančiojo plieno rotoriaus / statoriaus skersmuo 18 mm). Toliau mišinys homogenizuojamas ir išpilamas į indelius po 40 ml. Paskui mišinys yra užšaldomas; šaldymas trunka apie 3 valandas esant –18 °C. Liofilizavimo procesas atliekamas vakuume esant 0,015 hPa slėgiui ir –105 °C kondensatoriaus temperatūrai (ScanVac CoolSafe; LaboGene, Lillerodas, Danija). Šio proceso tikslas – išgarinti vandens kristalus. Tokiu būdu suformuojama poringa aerogelių 3D struktūra.

Paruošus pagrindinę aerogelio masę pradedamas jos modifikavimas: po džiovinimo šalčiu mėginiai sudedami į 3 l talpos stiklinę bei padengiami MTMS medžiaga (metiltrimetoksisilanas) siekiant jiems suteikti hidrofobiškumą. Stiklinės viršus uždengiamas aliuminio folija ir dedamas į 70 °C orkaitę 12 valandų.

Kartono ir popieriaus atliekų pagrindu pagamintų aerogelio mėginių kontaktinis kampas yra nuo 117 iki 125° (2 pav.). Jei kampas yra mažesnis nei 90°, aerogelis yra hidrofilinis, o jei kampas didesnis nei 90° – hidrofobinis.



2 paveikslas. Aerogelio kontaktinio kampo nustatymas

Susmulkinus adsorbentą iki granulių aerogelis vis dar išlieka aerogeliu, hidrofobiškumo nepraranda. Tačiau smulkinimas turėtų būti atliekamas tik gamybos metu, nes menkiausias neteisingas aerogelio smulkinimas pjaustant gali pažeisti jo 3D struktūrą. Aerogelio smulkinimas nėra tikslingas, aerogelio poringumas, mažas jo tankis bei didelis savitasis paviršiaus plotas lemia aukštesnes adsorbcinės gebos vertes.

Adsorbuotas anglies kiekis (mg/g) buvo apskaičiuotas remiantis toliau pateikta (1) formule:

$$Q_e = \frac{(C_i - C_e)V}{m}, \text{ mg/g}, \quad (1)$$

čia C_i ir C_e yra pradinė ir pusiausvyrinė anglies koncentracija (mg/l); V – dažiklio tirpalo tūris (l), o m – medžiagos masė (g).

Naudojant *Shimadzu TOC* bendrosios anglies analizatorių buvo nustatytas likutinis ištirpusios organinės anglies kiekis vandeniniuose tirpaluose po adsorbcijos tyrimo statinėmis sąlygomis. Tai greitas ir patikimas metodas, skirtas sekti organinių medžiagų, ištirpusių vandenyje, koncentraciją naudojant anglį kaip indikatorių. Galimi ir kiti dažiklio koncentracijos pokyčio nustatymo būdai, pavyzdžiui, ChDS (cheminis deguonies suvartojimas) matavimas mėginiuose prieš adsorbcijos tyrimą ir po jo. ChDS nustatymas užtrunka ilgiau ir yra daug brangesnis metodas. Siekiant sumažinti tyrimo kaštus, laiką bei remiantis užsienio mokslinėje literatūroje nurodoma praktika, pasirinktas bendrosios organinės anglies koncentracijos matavimas su *Shimadzu* analizatoriumi.

Shimadzu analizatoriaus sistemą sudaro šie blokai: TOC-VCSN – analizatorius; SSM-5000A – kieto mėginio deginimo blokas bei ASI-V – automatinė skysto mėginio paėmimo sistema.

Skystojo mėginio bendrosios anglies tyrimo eiga apima kelis etapus:

- 30 min. prieš pradedant tyrimą įjungiamas analizatorius ir paleidžiamos nešančiosios dujos;
- specialūs 40 ml talpos mėgintuvėliai kruopščiai išplaunami. Į tuščią mėgintuvėlį pripilama ploviklio (pvz., į 1 % (tūrio) sieros rūgšties litrą pridedama 2,5 g jodo ir 12,5 g kalio jodido), purtant gerai suvilgomos buteliuko sienelės, 15 min. palaukiama, išpilamas tirpalas ir gerai perplaunama vandentiekio vandeniu, paskui – distiliuotu vandeniu ir išdžiovinama;
- skystieji mėginiai filtruojami. Suspenduotos kietosios medžiagos pašalinamos naudojant stiklo pluošto filtrą (1,2 μm). Mėginiai pilami į 40 ml talpos specialius mėgintuvėlius taip, kad iki mėgintuvėlio viršaus liktų ~1 cm;
- mėgintuvėliai su mėginiais sudedami į automatinės skystojo mėginio paėmimo sistemos būgną ir analizuojami. Mėginiai, kuriuose yra anglies junginių, kaitinami iki 680 °C deguonies turinčioje aplinkoje anglies degimo vamzdeliuose, užpildytuose platinos katalizatoriumi. Oksidacijos metu susidaręs anglies dioksidas aptinkamas naudojant infraraudonųjų spindulių dujų analizatorių. Detektoriaus signalas sukuria smailę, kurios plotas proporcingas anglies koncentracijai mėginyje.

Standartinių TC tirpalų paruošimas:

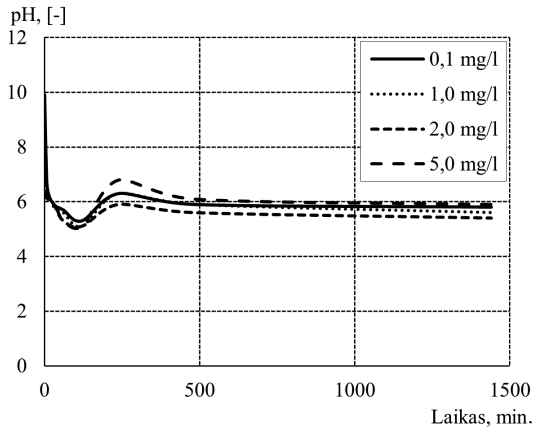
- pasveriama 2,125 g gryno kalio vandenilio ftalato, prieš tai apie 1 valandą džiovinto 105–120 °C temperatūroje ir aušinto džiovinimo spintoje;
- atsvertas kiekis kalio vandenilio ftalato suberiamas į 1 l talpos matavimo kolbą ir ištirpinamas distiliuotame vandenyje;

– standartinis pradinis tirpalas atskiedžiamas distiliuotu vandeniu ruošiant standartinį pasirinktos koncentracijos pradinį tirpalą.

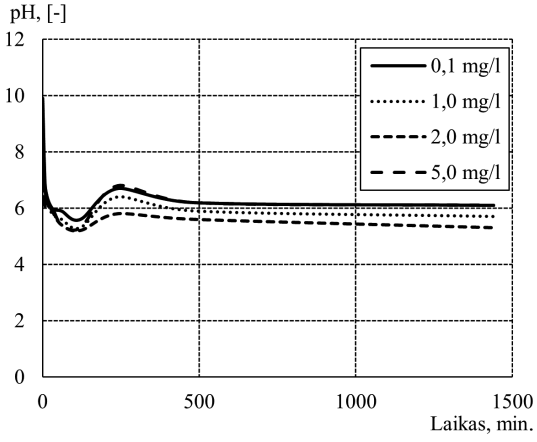
Remiantis anksčiau aprašyto tyrimo metodika atlikti eksperimentiniai tyrimai, kuriais bandyta įvertinti, ar tekstilės pramonėje naudojamas kongo raudonasis dažiklis gali būti pašalintas iš vandeninio tirpalo naudojant adsorbentą, pagamintą iš popieriaus ir kartono atliekų.

3. Rezultatai ir jų analizė

Po 24 valandas trukusio adsorbcijos tyrimo statinėmis sąlygomis pradinė visų mėginių pH vertė pakito (3 ir 4 pav.): pH vertės sumažėjo. Pastebėta, jog kongo raudonojo dažiklio pH vertės mažėjo iki 120 min., tačiau vėliau pH vertės nežymiai pradėjo kilti. Paruoštų kongo raudonojo tirpalų pH pokytį galėjo lemti į vandens ir dažiklio tirpalų tūrį išsiplovusios adsorbentą, aerogelį, sudarančios celiuliozės skaidulos.



3 paveikslas. Kongo raudonojo dažiklio pH priklausomybė nuo adsorbcijos statinėmis sąlygomis laiko, kai naudojamos 3 % celiuliozės turinčios aerogelio kapsulės



4 paveikslas. Kongo raudonojo dažiklio pH priklausomybė nuo adsorbcijos statinėmis sąlygomis laiko, kai naudojamos 5 % celiuliozės turinčios aerogelio kapsulės

Nė viename mėginyje nebuvo pašalintos kongo raudonojo dažiklio spalvos: spalvos intensyvumas sumažėjo, tačiau spalva neišnyko.

Adsorbcijos tyrimo statinėmis sąlygomis metu nustatyta, jog visais atvejais tyrime naudotų aerogelio mėginių svoris po tyrimo padidėjo. Aerogelio kapsulių svoris buvo nustatytas prieš adsorbcijos tyrimą ir po 1440 min. Pradinis 3 % ir 5 % celiuliozės savo masėje nuo bendros masės turinčių aerogelio kapsulių svoris visais atvejais siekė 0,80 g. Po adsorbcijos tyrimo fiksuotas 0,81–0,84 g aerogelio kapsulių svoris. Aerogelio kapsulių svorio padidėjimą lėmė ant aerogelio paviršiaus nusėdusių kongo raudonojo dažiklio dalelių svoris. Aerogelio kapsulės pasibaigus tyrimui buvo džiovinamos krosnyje apie valandą 105–110 °C temperatūroje.

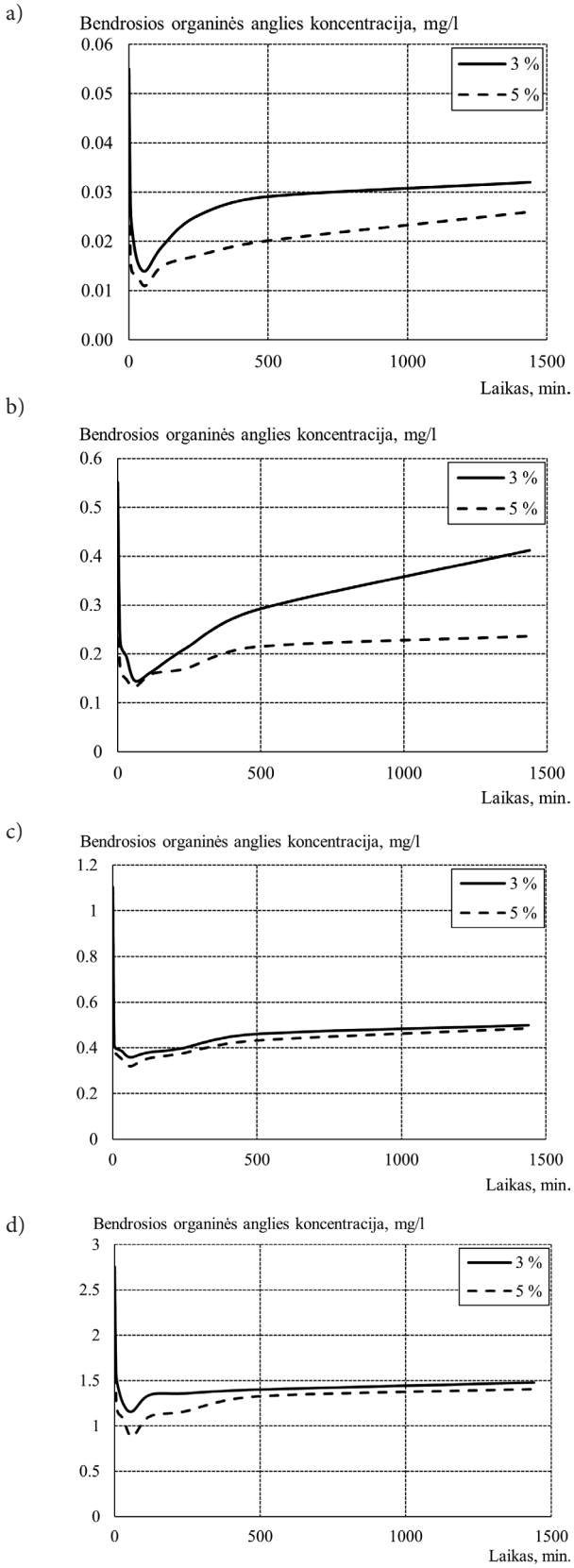
5 paveiksle pateikta bendrosios organinės anglies koncentracijos priklausomybė nuo laiko. Nustatyta, jog norint pašalinti tekstilės pramonėje naudojamą kongo raudonąjį dažiklį galima naudoti tiek 3 %, tiek 5 % celiuliozės turinčias aerogelio kapsules, tačiau verta rinktis aerogelius, kuriuose yra 5 % celiuliozės. Visais atvejais nustatyta, jog likutinė bendrosios organinės anglies koncentracija mėginiuose buvo mažesnė nei prieš adsorbcijos procesą.

Po 60 min. trukusio adsorbcijos tyrimo statinėmis sąlygomis buvo pasiekta adsorbcijos pusiausvyra, t. y. mažiausia likutinė bendrosios organinės anglies koncentracija. Naudojant 3 % celiuliozės turinčias aerogelio kapsules 0,1 mg/l koncentracijos dažiklio tirpale, pasiektas 74,55 % bendrosios organinės anglies koncentracijos sumažėjimas, 1,0 mg/l koncentracijos kongo raudonojo dažiklio tirpalo – 73,68 %, esant 2,0 mg/l – 67,45 %, o esant 5,0 mg/l – 57,98 %. Naudojant 5 % celiuliozės turinčias aerogelio kapsules 0,1 mg/l koncentracijos dažiklio tirpale, pasiektas 80,00 % bendrosios organinės anglies koncentracijos sumažėjimas, esant 1,0 mg/l – 76,04 %, esant 2,0 mg/l – 71,08 %, o esant 5,0 mg/l – 68,02 %.

Tikslios adsorbuotos anglies adsorbcinės gebos ir adsorbcijos efektyvumo vertės pateiktos 1 lentelėje.

1 lentelė. Adsorbcinės gebos ir adsorbcijos efektyvumo vertės

3 % celiuliozės		
Dažiklio koncentracija, mg/l	Adsorbcinė geba, mg/g	Adsorbcijos efektyvumas, %
0,1	0,03	74,55
1,0	0,25	73,68
2,0	0,47	67,45
5,0	1,00	57,98
5 % celiuliozės		
0,1	0,03	80,00
1,0	0,26	76,04
2,0	0,49	71,08
5,0	1,17	68,02



5 paveikslas. Bendrosios organinės anglies koncentracijos priklausomybė nuo laiko: a – 0,1 mg/l dažiklio koncentracijos tirpalas; b – 1,0 mg/l dažiklio koncentracijos tirpalas; c – 2,0 mg/l dažiklio koncentracijos tirpalas; d – 5,0 mg/l dažiklio koncentracijos tirpalas

Ateityje planuojama tęsti pradėtus tyrimus su aerogelio kapsulėmis, kuriose celiuliozė sudaro 3 % ir 5 % atitinkamai. Tikimasi paruošti kongo raudonojo dažiklio vandeninius tirpalus, kurių koncentracija siektų nuo 5,0 mg/l iki 200,0 mg/l.

4. Išvados

Iš popieriaus ir kartono atliekų pagamintas adsorbentas, aerogelis, gali būti naudojamas tekstilės pramonėje naudojamam kongo raudonajam dažikliui šalinti iš vandeninių tirpalų. Naudojant aerogelio kapsules, kurių sudėtyje buvo 3 % celiuliozės nuo bendros masės, esant 0,1 mg/l dažiklio koncentracijai, pasiektas 74,55 % bendrosios organinės anglies koncentracijos sumažėjimas, esant 1,0 mg/l – 73,68 %, esant 2,0 mg/l – 67,45 %, o esant 5,0 mg/l – 57,98 %. Naudojant 5 % celiuliozės nuo bendros masės turinčias kapsules, esant 0,1 mg/l pasiektas 80,00 %, esant 1,0 mg/l – 76,04 %, esant 2,0 mg/l – 71,08 %, o esant 5,0 mg/l – 68,02 % adsorbcijos efektyvumas.

Po 1440 min. trukusio adsorbcijos tyrimo statinėmis sąlygomis pradinė visų mėginių pH vertė pakito: pH vertės sumažėjo. Naudojant aerogelio kapsules, kurių sudėtyje buvo 3 % celiuliozės nuo bendros masės, vandeninių tirpalų pH vertės sumažėjo nuo 8,0–9,9 iki 5,1–5,3, kai adsorbcija truko iki 120 min. Po 120 min. pH vertės pradėjo augti nuo 5,1–5,3 iki 5,9–6,8. Naudojant 5 % celiuliozės nuo bendros masės turinčias kapsules, vandeninių tirpalų pH vertės sumažėjo nuo 8,0–9,9 iki 5,2–5,6, kai adsorbcija truko iki 120 min. Po 120 min. pH vertės pradėjo augti nuo 5,2–5,6 iki 5,8–6,8.

Mėginiuose nebuvo pašalinta kongo raudonojo dažiklio spalva. Optinio tankio matavimai nebuvo atlikti, spalvos intensyvumo pokytis fiksuotas tik vizualiai.

Adsorbcijos tyrimo statinėmis sąlygomis metu pradinis aerogelio svoris siekė 0,80 g. Po 1440 min. trukusio tyrimo aerogelio kapsulių svoris visais atvejais padidėjo iki 0,81–0,84 g. Po adsorbcijos tyrimo statinėmis sąlygomis ant aerogelio paviršiaus nusėdo dažiklio dalelės, kurios lėmė padidėjusį aerogelio kapsulių svorį.

Tirti 0,1 mg/l, 1,0 mg/l, 2,0 mg/l ir 5,0 mg/l kongo raudonojo dažiklio vandeniniai tirpalai. Naudojant 3 % celiuliozės turinčias aerogelio kapsules pasiektos 0,03–1,00 mg/g adsorbcijos efektyvumo vertės; naudojant 5 % celiuliozės turinčias aerogelio kapsules pasiektos 0,03–1,17 mg/g adsorbcijos efektyvumo vertės.

Padėkos

Dėkoju už pagalbą Vilniaus Gedimino technikos universiteto Aplinkos inžinerijos fakulteto Aplinkos apsaugos ir vandens inžinerijos katedros darbuotojams ruošiantis tyrimui.

Literatūra

Ardila-Leal, L. D., Poutou-Piñales, R. A., Pedroza-Rodríguez, A. M., & Quevedo-Hidalgo, B. E. (2021). A brief history of colour, the environmental impact of synthetic dyes and removal by using laccases. *Molecules*, *26*(13), Article 3813. https://doi.org/10.3390/molecules26133813

El-Zawahry, M. M., Hassabo, A. G., Abdelghaffar, F., Abdelghaffar, R. A., & Hakeim, O. A. (2021). Preparation and use of aqueous solutions magnetic chitosan / nanocellulose aerogels for the sorption of Reactive Black 5. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, *11*(4), 12380–12402. https://doi.org/10.33263/BRIAC114.1238012402

Fan, K., Zhang, T., Xiao, S., He, H., Yang, J., & Qin, Z. (2022). Preparation and adsorption performance of functionalization cellulose-based composite aerogel. *International Journal of Biological Macromolecules*, *211*, 1–14. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.05.042

Kishor, R., Purchase, D., Saratale, G. D., Saratale, R. G., Ferreira, L. F. R., Bilal, M., Chandra, R., & Bharagava, R. N. (2021). Ecotoxicological and health concerns of persistent coloring pollutants of textile industry wastewater and treatment approaches for environmental safety. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, *9*(2), Article 105012. https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.105012

Luo, M., Wang, M., Pang, H., Zhang, R., Huang, J., Liang, K., Chen, P., Sun, P., & Kong, B. (2021). Super-assembled highly compressible and flexible cellulose aerogels for methylene blue removal from water. *Chinese Chemical Letters*, *32*(6), 2091–2096. https://doi.org/10.1016/j.cclet.2021.03.024

Muhammad, S., Yahya, E. B., Abdul Khalil, H. P. S., Marwan, M., & Albadn, Y. M. (2023). Recent advances in carbon and activated carbon nanostructured aerogels prepared from agricultural wastes for wastewater treatment applications. *Agriculture*, *13*(1), Article 208. https://doi.org/10.3390/agriculture13010208

Rahman, M. M., Alam, K., & Velayutham, E. (2021). Is industrial pollution detrimental to public health? Evidence from the world's most industrialised countries. *BMC Public Health*, *21*(1), Article 1175. https://doi.org/10.1186/s12889-021-11217-6

Sočo, E., Papciak, D., Michel, M. M., Pająk, D., Domoń, A., & Kupiec, B. (2021). Characterization of the physical, chemical, and adsorption properties of coal-fly-ash–hydroxyapatite composites. *Minerals*, *11*(7), Article 744. https://doi.org/10.3390/min11070774

Wang, Y., Zhang, S., Zhu, J., Li, N., & Yin, Y. (2023). Fabrication of wood-inspired nanocellulose-based aerogels for efficient adsorption and filtration removal of Congo red. *Industrial Crops and Products*, *205*, Article 117482. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117482

USE OF ADSORBENT MADE FROM PAPER AND CARDBOARD WASTE FOR REMOVAL OF CONGO RED DYE FROM WATER

M. LIUGĖ, D. PALIULIS

Abstract. The textile industry is one of the most important light industries in the entire European Union. The main environmental problems of the textile industry are the high water consumption and its pollution, the variety of chemicals used and the high energy demand. It is important to note that the amount of dyes in textile industry wastewater is still not regulated. Recently, adsorbents with a large specific surface area and low weight, aerogels, have attracted great interest as promising materials for removing dyes from polluted water. Cellulose aerogels are inexpensive, non-toxic. During this study, the adsorption efficiency of Congo red, a dye used in the textile industry, was determined using an adsorbent synthesized from paper and cardboard waste. The total organic carbon concentration was chosen as an indicator of the concentration of the dye Congo red in the solution. Aerogel capsules of different compositions were tested, the cellulose content in them varied from 3% to 5%. For aerogel capsules containing 3% cellulose by total weight, at a dye concentration of 0.1 mg/l, a 74.55% reduction in total organic carbon was achieved, at 1.0 mg/l – 73.68%, at 2.0 mg/l – 67.45%, and at 5.0 mg/l – 57.98%. For aerogel capsules containing 5% cellulose by total weight, at 0.1 mg/l, 80.00% was achieved, at 1.0 mg/l – 76.04%, at 2.0 mg/l – 71.08%, and at 5.0 mg/l – 68.02%.

Keywords: adsorption, aerogel, cellulose, dyes, textiles.

VILNIUS TECH
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

27-oji Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis" teminė konferencija
Proceedings of the 27th Conference for Junior Researchers "Science – Future of Lithuania"

DARNI APLINKA / SUSTAINABLE ENVIRONMENT

2024 m. balandžio 25 d., Vilnius, Lietuva
25 April 2024, Vilnius, Lithuania

ISSN 2029-7157 / eISSN 2029-7149
eISBN 978-609-476-359-5
https://doi.org/10.3846/da.2024.011

Geodezija ir kadastras / Geodesy and Cadastre

https://vilniustech.lt/346238

LIETUVOS POLICIJOS 2015–2022 M. REGISTRUOTŲ PAŽEIDIMŲ DĖL NARKOTINIŲ MEDŽIAGŲ IR JŲ VARTOJIMO VILNIAUS MIESTO SAVIVALDYBĖJE ERDVINĖ ANALIZĖ

Gordonas JANKŪNAS*

Vilniaus universitetas, Chemijos ir geomokslų fakultetas,
Geomokslų instituto kartografijos ir geoinformatikos katedra, Vilnius, Lietuva
**El. paštas gordonas.jankunas@chgf.stud.vu.lt*

Gauta 2024 m. kovo 4 d.; priimta 2024 m. kovo 18 d.

Santrauka. Šių laikų pasaulis yra stipriai paveiktas psichoaktyviųjų medžiagų, jų vartojimas smarkiai auga ir tai tampa vis skaudesne visuomenės problema net ir Lietuvoje. Ši problema yra labai skaudi ir sparčiai besivystanti, todėl nenuostabu, kad sprendimo, kaip jos išvengti, dar nėra. Dėl šios priežasties reikalingi įvairūs tyrimai, kuriais remiantis būtų galima mažinti šios problemos pasekmes visuomenei. Šio darbo tikslas – supažindinti su narkotinių medžiagų vartojimo pažeidimų erdvine sklaida Vilniaus miesto savivaldybėje 2015–2022 m. laikotarpiu. Analizuojami esminiai kartografiniai metodai, kurių pagalba buvo sukurti šios temos žemėlapiai. Tikimasi, kad jie bus panaudoti ieškant šios problemos sprendimo būdų. Taip pat plačiai nagrinėjama Lietuvos policijos registruotų įvykių duomenų bazė. Aprašoma darbo eiga, duomenims tvarkyti ir redaguoti naudotos technologijos, pateikiamos išvados.

Reikšminiai žodžiai: kartografija, geografinės informacijos sistemos, erdvinė sklaida, narkotikai, narkotinių medžiagų vartojimas.

1. Įvadas

Per paskutinius penkiolika metų patyliukais įvyko viena iš didžiausių baudžiamosios justicijos ir kriminologijos revoliucijų. Duomenų kiekis ir kokybė, o taip pat ir galimybės šiuos duomenis apdoroti stipriai pagerėjo (Block, 1995). O šiomis dienomis jau atsirado pakankamai informacijos, kad būtų galima nustatyti pagrindinius su nusikalstamumo problemomis susijusius rodiklius, juos apskaičiuojant taip tiksliai, kaip prieš kelerius metus nebuvo įmanoma net pasvajoti. Šiomis dienomis technologijos taip sparčiai atnaujinamos ir pritaikomos, kad tai turi nemažai įtakos teisėsaugos institucijų kasdieniam darbui. Jau anksčiau pastebėta, kad policijos sprendimus ir darbo metodus iš dalies sąlygoja įvairūs geoerdviniai rodikliai, tokie kaip vieta ar erdvė. Įvairūs smeigtukiniai žemėlapiai padėdavo nustatyti tam tikrų nusikaltimų ar kitų įvykių tikslią lokaciją, o šiomis dienomis tai jau atliekama pasinaudojant skaitmeniniais nusikalstamumo žemėlapiais (Dağlar ir Argun, 2016). Pagal 2023 metų duomenis, narkotinių medžiagų vartojimas pasaulyje ne tik išlieka aktyvus, bet ir kiekvienais metais procentiškai didėja: maždaug nuo 2011 metų iki šių, 2023, metų vartotojų skaičius išaugo apytiksliai 50 milijonų, tai yra per šiuos metus atsirado 23 procentais daugiau vartotojų (United Nations Office on Drugs and Crime, 2023). Svarbu paminėti, kad Lietuva ir jos miestai taip pat nėra išimtis, tai yra ypač aktuali visuomenės tema bandant išsiaiškinti šios problemos kilmę ir paplitimą.

Šio darbo tikslas – atskleisti ir analizuoti psichoaktyviųjų medžiagų platinimo ir vartojimo erdvinę sklaidą Vilniaus miesto savivaldybėje.

2. Su narkotikais siejamų nusikaltimų geografijos tyrimų pradžia pasaulyje

Nuo 1970 metų galima rasti įvairių geografų tyrimų, kurių pagrindinis tikslas – nustatyti tuo metu labiausiai vartojamo narkotiko – kokaino – sklaidą (Bradley ir Millington, 2008; Eastwood ir Pollard, 1987; Taylor et al., 2019). Skirtingi šios temos tyrimo laikotarpiai įrodo, kad nusikaltimų, susijusių su narkotikais, tema aktuali jau nuo senesnių laikų. Atliktų tyrimų metu buvo analizuojama Peru ir Bolivijos situacija, kai 1970 metais

© 2024 Autoriai. Leidėjas Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Šis straipsnis yra atvirosios prieigos straipsnis, turintis Kūrybinių bendrijų (Creative Commons) licenciją (CC BY 4.0), kuri leidžia neribotą straipsnio ar jo dalių panaudą su privaloma sąlyga nurodyti autorių ir pirminį šaltinį.

šalyse pradėjo plisti kokamedžio auginimas, kurio lapai yra vienas iš pagrindinių ingredientų gaminant pasaulyje žinomą narkotiką – kokainą. Pirmasis šią situaciją apžvelgė S. South (apie tai plačiau rašoma S. J. Taylor, C. Jasparro ir K. Mattson šaltinyje). 1977 metais S. South analizuodamas šių medžių auginimą ir jais apsodintą plotą pateikė spėjimą, kad auginamo kokamedžio vidinė pasiūla viršys šių šalių vartojimo rodiklius, tad narkotiko vartojimas išplis ir į kitų šalių regionus. Po dešimties metų, kai Bolivijoje kokamedžio auginimas staigiai išaugo ir nemaža dalis užauginto kokamedžio pasiekė Jungtinių Amerikos Valstijų rinką, mokslininkai Eastwood ir Pollard (1987) pratęsė šį tyrimą ir analizuodami tuometinę situaciją patvirtino S. South atliktą spėjimą – kokamedžio auginimas paplito už tradicinių ribų į slėnius ir kolonizacijos zonas. Po 20 metų pertraukos atgal prie šios temos nagrinėjimo grįžo ekonomikas A. Millington ir geografas A. Bradley, kurie 2008 metais apibūdino visą situaciją ir įvardijo, kad Peru ir Bolivijos kokamedžio auginimo paplitimas buvo tik maža dalis žymiai didesnio narkotikų gamybos globalizacijos proceso, paskatinto noro užauginti daugiau tam, kad iš to atsirastų daugiau pelno. Iš šių darbų galima pamatyti, jog geografiniai tyrimai, susiję su narkotikais, domina įvairių sričių specialistus jau nuo 1970 metų. Tikimasi, kad šiam tyrimui analizuoti ateityje bus dar daugiau galimybių, atsiras mokslininkų, kurie bus suinteresuoti pratęsti Vilniaus miesto narkotinių nusikaltimų erdvinę analizę.

3. Duomenų šaltiniai

2005 metais Lietuvos policijos generalinis komisaras pasirašė įsakymą, kuriuo patvirtino policijos registruojamų įvykių registro (toliau – PRĮR) įkūrimą. Šio registro pagrindinė paskirtis – ,,informacinių technologijų priemonėmis registruoti PRĮR objektus, rinkti, kaupti, apdoroti, sisteminti, saugoti, naudoti ir teisės aktų nurodytais atvejais teikti fiziniams ir juridiniams asmenims PRĮR duomenis, informaciją, PRĮR pateiktus dokumentus ir jų kopijas“ (Policijos departamentas prie Lietuvos Respublikos vidaus reikalų ministerijos, 2005)

Toliau įvardijami PRĮR objektai: ,,nusikalstamos veikos, kiti teisės pažeidimai ir įvykiai, kurių tyrimas įstatymu pavestas policijai, į policijos areštines pristatyti ir uždaryti asmenys“. Verta paminėti, kad čia minimos veiklos, kurios galimai turi sąryšių su nusikalstama veikla, o tai reiškia, kad jos dar nėra klasifikuojamos kaip atliktas nusikaltimas, taip yra todėl, kad šiam registrui duomenis pateikia ne tik policijos pareigūnai, bet ir nukentėję ar įvykį matę asmenys: „Į PRĮR duomenis teikia: nukentėjusieji, policijos departamento ir kitų įstaigų pareigūnai, policijos rėmėjai, saugos tarnybų darbuotojai, sveikatos priežiūros įstaigų darbuotojai“.

Tai – pagrindinis šio tyrimo duomenų šaltinis, kuriame galima rasti daug įvairios informacijos, pradedant nuo tikslios įvykių lokacijos bei datos ir baigiant platesniu įvykio apibūdinimu. Skirtingų metų duomenys, sukaupti per 15 metų nuo įvykio datos, leidžia puikiai atlikti analizę ir įvertinti tam tikrų nusikaltimų pasikartojimą pasirinktoje erdvėje. Atsižvelgiant į šiuos faktus ir duomenų kiekį, gavome supaprastintą PRĮR versiją, kurioje nėra įvesti nusikaltusių ar sužeistų žmonių vardai ir pavardės, tokiu būdu išvengiant duomenų apsaugos pažeidimų. Šiame tyrime panaudosime nuo 2015 iki 2022 metų sukauptą informaciją apie narkotinių medžiagų pažeidimų paplitimą Vilniuje, šiuos duomenis gavome tiek rastriniu, tiek vektoriniu pavidalu, tačiau jų atributai yra vienodi. Apie pažeidimus, kurie yra susiję su narkotine sklaida, pateikta tokia informacija:

1) Butas – šis atributas nurodo, kokiame bute įvyko užregistruotas įvykis;
2) Gatvė – šis atributas nurodo, kurioje gatvėje įvyko užregistruotas įvykis;
3) Įregistravimo data – šis atributas užpildomas automatiškai, kai sistemoje užfiksuojamas įvykis;
4) Įvykio data – šis atributas nurodo datą, kai buvo įvykdytas nusikaltimas arba pažeidimas;
5) Namas – šis atributas nurodo, kokiame name buvo užregistruotas įvykis;
6) Savivaldybė – šis atributas nurodo, kokioje savivaldybėje užregistruotas įvykis;
7) Seniūnija – šis atributas nurodo, kokioje seniūnijoje užregistruotas įvykis;
8) Tipas 1 – šis atributas nurodo trumpinį, kuris apibūdina vietoje atliktą nusikaltimą: NAR, VTP, ASM, TUR, VAG;
9) Tipas 2 – šiuo atributu įvardijama nusikaltimo klasifikacija, gali būti tokie kaip eismo saugumas, viešosios tvarkos pažeidimai, nusikaltimai asmeniui, turtinė veikla, vagystė;
10) Vieta 1 – šis rodiklis nurodo detalesnę nusikaltimo vietą, pavyzdžiui, įvardijama, kad tai yra gyvenamoji patalpa, gatvė, atvira vietovė arba transportas;
11) Vieta 2 – šis rodiklis taip pat nurodo detalesnę nusikaltimo vietą, tačiau atsiranda daugiau pasirinkimų, tokių kaip kiemas, kelias, automobilių stovėjimo aikštelė, parduotuvė, degalinė.

4. Duomenų tvarkymas

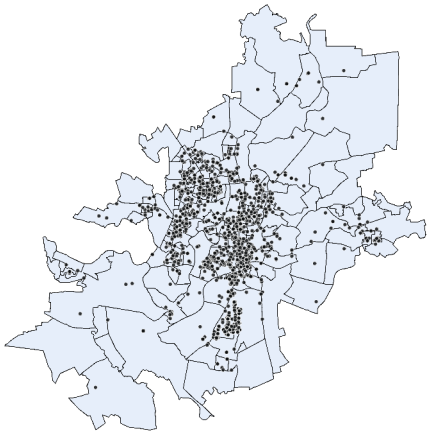
Atliekant narkotinių medžiagų ir jų vartojimo sklaidos analizę Vilniaus mieste PRĮR duomenys turėjo būti šiek

tiek pakoreguoti pagal išsikeltus šio tyrimo reikalavimus, plačiau apie juos:

1. Tik gavus duomenų rinkinį buvo trumpai susipažinta su statistika, PRĮR buvo įkeltas į *ArcGIS* aplinką ir buvo peržiūrėtas duomenų bazės turinys. Atliktas duomenų siaurinimas, kadangi šis tyrimas yra susijęs tik su Vilniaus miesto savivaldybės pažeidimais, o duomenų bazėje pastebėta įvairių įvykių iš visos Lietuvos teritorijos. Pasinaudojant *ArcGIS* filtravimo funkcija (angl. *definition querie*) pašalinta nereikalinga informacija ir palikti tik įvykiai, užfiksuoti Vilniaus mieste.
2. Šis tyrimas skirtas pavaizduoti narkotinių medžiagų pažeidimų sklaidą, todėl iš *ArcGIS* aplinkos pašalinti visi kiti įvykiai ir palikti tik duomenys, susiję su narkotikais ir jų vartojimo įvykiais.
3. Analizuojant informaciją ir kuriant analizei tinkamus žemėlapius buvo sujungti Vilniaus miesto seniūnijų ir PRĮR duomenys, tokiu būdu įvykiai buvo priskirti atitinkamoms seniūnijoms ir buvo galima sukurti žemėlapį, kuris būtų aiškus įvairių sričių specialistams.

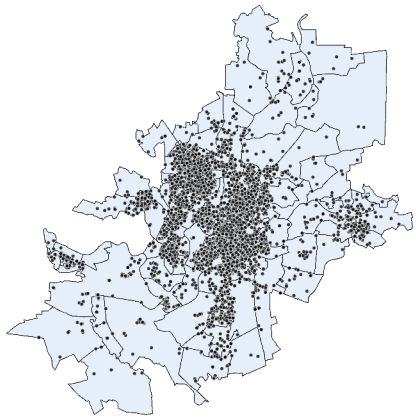
5. Darbo rezultatai

Šio tyrimo metu sukurti įvairaus tipo žemėlapiai, vaizduojantys užfiksuotų narkotinių medžiagų ir jų vartojimo pažeidimų paplitimą Vilniaus mieste nuo 2015 metų iki 2022 metų analizuojant net ir COVID-19 pandemijos laikotarpį. Prie kiekvieno žemėlapio galite rasti trumpą komentarą apie analizės galimybes. Pavaizduoti paveikslai atspindi pirminius atradimus dirbant su PRĮR duomenų baze, tikėtina netolimoje ateityje žemėlapiai ir analizė bus dar labiau išplėtoti.



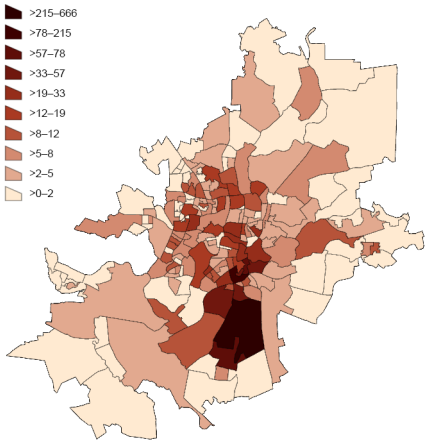
1 paveikslas. Įvykiai, susiję su narkotinių medžiagų paplitimu 2015 metais Vilniuje

Kai įvykiai pavaizduoti taškiniu būdu, vartotojas ar tam tikros srities specialistas, analizuojantis žemėlapį, gali greitai suprasti tikslią užfiksuoto įvykio lokaciją, taip pat gali įžvelgti taškų koncentraciją, tiesa, šis analizės metodas turi ir nemažai trūkumų: jei žemėlapyje pavaizduota daug taškų, jie gali vienas su kitu persidengti – tokiu atveju analizuojant informaciją kiltų sunkumų; tai pastebima ne tik 1 paveiksle, bet ir 2 paveiksle, kuriame pavaizduoti visi Vilniaus miesto teritorijoje nuo 2015 iki 2022 metų užfiksuoti įvykiai, susiję su narkotinių medžiagų vartojimu ir paplitimu, – iš žemėlapio sunku suvokti ir net apytiksliai įvardyti, kiek pažeidimų įvyko centrinėje miesto dalyje.



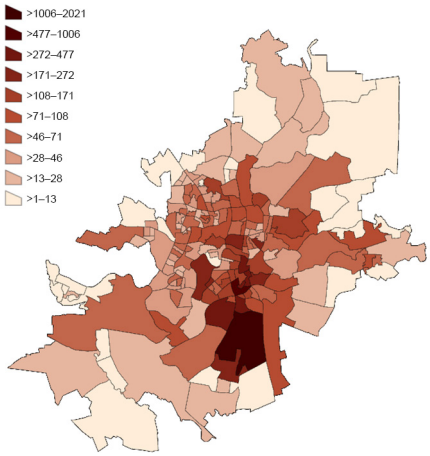
2 paveikslas. Visi įvykiai, susiję su narkotikais, 2015–2022 metais

Analizuoti tokio tipo žemėlapius verta, kai informacinių taškų nėra daug, nes tuomet paminėtos bėdos nekyla. Tiesa, kitas variantas – perteikti taškus labiau vartotojui suprantamu būdu, pavyzdžiui, priskirti taškus Vilniaus miesto seniūnaitijoms ir pagal taškų kiekį sudaryti skales (3 paveikslas).



3 paveikslas. 2015 m. įvykiai Vilniuje, susiję su narkotinių medžiagų paplitimu, pavaizduoti seniūnaitijų ribose

Analizuojant 2 ir 4 paveikslus kartu, informacija nepersidengia ir tai leidžia vartotojui suprasti bei įsidėmėti svarbią informaciją – pamatyti labiausiai pažeistus miesto rajonus.



4 paveikslas. 2015–2022 m. įvykiai Vilniuje, susiję su narkotinių medžiagų paplitimu, pavaizduoti seniūnijų ribose

6. Išvados

1. Nuo 2015 metų iki 2022 metų Vilniaus miesto savivaldybės teritorijoje užfiksuoti 14 623 įvykiai, kurie susiję su narkotinėmis medžiagomis ir jų vartojimu, labiausiai paveiktos Vilniaus miesto dalys: Naujininkai, Senamiestis, Žirmūnai.
2. Tyrimo metu analizuoti 2020 metai, COVID-19 pandemijos metai, nustatyti 1 698 įvykiai, susiję su narkotikais ir jų vartojimu. Palyginti su vidutiniu įvykių skaičiumi per metus (1 828), 2020 m. užfiksuota tik 130 atvejų mažiau.
3. Atliekant tyrimą pastebėtas didelis įvykių augimas aplink Naujininkų seniūniją, pavyzdžiui, per analizuojamus metus Šaltkalvių ir Dzūkų seniūnaitijose užfiksuojamų įvykių skaičius patrigubėjo, taip pat pastebėtas įvykių „slinkimas“ arčiau miesto centro.

Padėka

Dėkoju prof. dr. Giedrei Beconytei už patarimus rengiant šį tyrimą.

Literatūra

Block, C. R. (1995). *STAC Hot-Spot Areas: A statistical tool for law enforcement decisions*. Statistical Analysis center. https://archive.icjia.cloud/files/icjia/archive-holding/stac/Hotspot.pdf

Bradley, A. V., & A. Millington. (2008). Coca and colonists: Quantifying and explaining forest clearance under coca and anti-narcotics policy regimes. *Ecology and Society*, *13*(1). https://doi.org/10.5751/ES-02435-130131

Dağlar, M., & Argun, U. (2016). Crime mapping and geographical information systems in crime analysis. *International Journal of Human Sciences*, *13*(1), 2208–2221. https://doi.org/10.14687/ijhs.v13i1.3736

Eastwood, D. A., & Pollard, H. J. (1987). Lowland colonization and coca control: Bolivia's irreconcilable policies. *Singapore Journal of Tropical Geography*, *8*(1), 15–25. https://doi.org/10.1111/j.1467-9493.1987.tb00182.x

Policijos departamentas prie Lietuvos Respublikos vidaus reikalų ministerijos. (2005). *Lietuvos Policijos Generalinio Komisaro įsakymas dėl policijos registruojamų įvykių registro steigimo* (2005, lapkričio 30, Nr. 5-V-766). https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.267481/asr

Taylor, J. S., Jasparro, C., & Mattson, K. (2019). Geographers and drugs: A survey of the literature. *Geographical Review*, *103*(3), 415–430. https://doi.org/10.1111/j.1931-0846.2013.00007.x

United Nations Office on Drugs and Crime. (2023). *World drug report 2023*. UNODC. https://www.unodc.org/res/WDR-2023/WDR23_Exsum_fin_DP.pdf

ANALYSIS OF SPATIAL DISTRIBUTION OF NARCOTICS AND THEIR USE IN VILNIUS MUNICIPALITY REGISTERED BY LITHUANIAN POLICE IN 2015–2022

G. JANKŪNAS

Abstract. The world today is strongly affected by psychoactive substances, their use is on the rise, and it is becoming an increasingly painful problem for society even in Lithuania. This problem is very painful and rapidly changing before our very eyes, so it is not surprising that there is no solution to avoid this problem yet. For this reason, various studies are needed, based on which it would be possible to reduce the consequences of this problem for society. The purpose of this work is to familiarize with the spatial distribution of violations of the use of narcotic substances in Vilnius city municipality in 2015–2022 period. The essential cartographic methods, with the help of which the maps on this topic were created, are analysed. It is expected that they will be used to find ways to solve this problem, and the database of events registered by the Lithuanian police will also be studied more widely. The work process is described, the technologies used for data management and editing are presented, and the conclusions will be discussed.

Keywords: cartography, geographic information system, spatial distribution, drugs, drug use.

VILNIUS TECH
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

27-oji Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis" teminė konferencija
Proceedings of the 27th Conference for Junior Researchers "Science – Future of Lithuania"

DARNI APLINKA / SUSTAINABLE ENVIRONMENT

2024 m. balandžio 25 d., Vilnius, Lietuva
25 April 2024, Vilnius, Lithuania

ISSN 2029-7157 / eISSN 2029-7149
eISBN 978-609-476-359-5
https://doi.org/10.3846/da.2024.012

Geodezija ir kadastras / Geodesy and Cadastre

https://vilniustech.lt/346238

ERDVINĖ INFORMACIJA VALDYMUI – LIETUVOS KATALIKŲ BAŽNYČIOS ADMINISTRACINIŲ TERITORIJŲ ATVEJO STUDIJA

Samanta KLUSYTĖ*

Vilniaus universitetas, Chemijos ir geomokslų fakultetas,
Kartografijos ir geoinformatikos katedra, Vilnius, Lietuva
El. paštas samanta.klusyte@chgf.stud.vu.lt

Gauta 2024 m. kovo 4 d.; priimta 2024 m. kovo 18 d.

Santrauka. Šiame straipsnyje yra aprašomas Katalikų Bažnyčios administracinių teritorijų (toliau – KBAT) geografinio duomenų rinkinio pritaikomumas teritorijų valdymui. Duomenų rinkinys (46% Lietuvos parapijų) iš viešai pasiekiamų duomenų šaltinių buvo sukurtas 2022 m., tad yra naujas ir nepažintas dalykas KBAT administratoriams. Siekiant paskatinti atsakingus asmenis labiau įsitraukti į išsamaus KBAT ribų duomenų rinkinio kūrimą, straipsnyje pristatomi pavyzdžiai, kaip parapijų ribų duomenys galėtų būti panaudoti jas administruojant ir gerinant sielovadinį darbą. Tyrime buvo naudojami KBAT duomenys bei gyventojų ir būstų surašymo 2021 metų ir policijos registruojamų įvykių registro 2019 metų (toliau – PRĮR) duomenys. Atliktų erdvinių-statistinių analizių rezultatai parodė, kad iš pirmo žvilgsnio panašios parapijos tarpusavyje skiriasi ir reikalauja skirtingo administravimo ir valdymo metodų.

Reikšminiai žodžiai: parapijos, žemėlapiai, erdvinė analizė, ribos, administravimas.

1. Įvadas

Geografinės informacijos technologijos, įvairių temų erdviniai duomenys ir juos naudojančios elektroninės paslaugos Lietuvoje jau seniai nebėra naujiena. Nuo 2009 metų Lietuvoje veikia erdvinės informacijos infrastruktūra ir valstybės informacinė sistema Lietuvos erdvinės informacijos portalas (LEI portalas, www.geoportal.lt), kuriame viešai dalijamasi aktualiais valstybės erdvinių duomenų rinkiniais ir žemėlapiais, galima gauti įvairias elektronines paslaugas. Vis dėlto, dar yra daug valstybės gyvenimo sričių, kuriose nei erdvinių duomenų kokybė, nei jų panaudojimo administravimui efektyvumas nėra tokie, kokie galėtų būti – pradedant aplinkos kokybe ir baigiant gyventojų sveikatos, saugos, kitais socialiniais duomenimis.

Straipsnyje pristatoma atvejo studija, susijusi su administracinių teritorijų duomenų rinkiniu, kuris jau seniai galėjo būti vientisas ir tvarkingas, tačiau vis dar yra labai fragmentiškas, o jo tiesioginiai naudotojai skeptiškai vertina galimybes rinkinį sukurti, palaikyt ir realiai naudoti. Tai Lietuvos Katalikų bažnyčios administracinių teritorijų (toliau – KBAT) erdvinių duomenų rinkinys.

KBAT teoriškai dengia visą Lietuvos teritoriją. Visos gyvenvietės, taip pat neapgyvendintos teritorijos priklauso atitinkamoms parapijoms, dekanatams, vyskupijoms. Praktiškai, tik nedidelė jų dalis yra atsakingų įstaigų tinkamai pateiktos skaitmeniniais duomenimis ir žemėlapiais: Vilkaviškio vyskupijos parapijų ribų duomenys yra saugomi skaitmeniniame bažnyčių duomenų rinkinyje, kuris yra pasiekiamas *ArcGIS Online* platformoje, taip pat yra keletas parapijų, kurios ribų duomenis yra pateikusios *Google Maps* žemėlapiuose. Trys vyskupijos turi, ar yra pradėjusios rengti savo žemėlapius. Kartais parapijų žemėlapiai pateikiami knygose apie parapijų istoriją, bažnytinį paveldą ir pan. – galimybės praktiškai naudoti pradinius duomenis kelia abejonių. Dauguma parapijų identifikuojamos pagal tekstinius šaltinius – parapijos teritorijoje esančių gyvenviečių ar gatvių sąrašus, topografinius parapijų ribų aprašymus ir pan. Aišku, kad tokios informacijos neįmanoma panaudoti erdvinei analizei.

Pastebėjus, kad Lietuvoje nepakankamai dėmesio buvo skiriama KBAT teritorijų erdviniam pažinimui, Vilniaus universitete 2020 m. buvo pradėti tyrimai, skirti įvertinti KBAT Lietuvoje erdvinius ypatumus ir erdvinių

© 2024 Autoriai. Leidėjas Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Šis straipsnis yra atvirosios prieigos straipsnis, turintis Kūrybinių bendrijų (Creative Commons) licenciją (CC BY 4.0), kuri leidžia neribotą straipsnio ar jo dalių panaudą su privaloma sąlyga nurodyti autorių ir pirminį šaltinį.

duomenų kokybę. Ištirti ir aprašyti pasiekiami kartografiniai ir kiti informacijos šaltiniai, kurie leido įvertinti šių teritorijų raidą. Buvo įvertinta viešai pasiekiamų dabartinių KBAT ribų duomenų kokybė ir išsamumas, nurodyti dažniausiai pasikartojantys duomenų netikslumai, probleminiai arealai, parengta vieningo parapijų ribų rinkinio kūrimo metodika (Klusytė, 2022).

Pagrindiniai tyrimo klausimai, o taip pat šio straipsnio tikslai yra tiesiogiai susiję su Lietuvos parapijų ribų duomenų rinkinio praktiniu panaudojimu:

1. kokia yra Lietuvos parapijų su jau nustatytomis skaitmeninėmis ribomis įvairovė;
2. kokias administravimo ir kitas funkcijas gali palengvinti parapijų ribų skaitmeninių duomenų pasiekiamumas.

Į pirmąjį klausimą buvo atsakyta analizuojant parapijų ribas ir įvairius viešai pasiekiamus erdvinių duomenų rinkinius, kurie leido nustatyti pagrindinių demografinių ir socialinių rodiklių reikšmes Lietuvos parapijų teritorijose. Antrasis klausimas sudėtingesnis – parapijų administratoriai, kaip taisyklė, neturi skaitmeninių duomenų erdvinių naudojimo patirties ir mažai gali padėti. Todėl identifikuojant panaudos atvejus remtasi Kanonų teisės kodekse nurodytomis parapijų administratorių, pastoracinių ir ekonominių tarybų funkcijomis, loginiais metodais, ir tik pasitikrinimui naudoti nestruktūrizuoti pokalbiai su kun. Dr. G. Jankūnu.

2. KBAT teritoriniai tyrimai pasaulyje

Pagrindinis Romos Katalikų Bažnyčios teisės sąvadas – Kanonų teisės kodeksas (2012), parapiją apibrėžia kaip konkrečią, teritorinę, pastoviai įsteigtą tikinčiųjų bendruomenę. Šio tyrimo kontekste yra svarbiausi du žodžiai tai teritorinė bendruomenė. Parapijas sudaro tam tikrų teritorijų gyventojai, kuriems turi būti perduota tikėjimo žinia ir taip suburta tikinčiųjų bendruomenė. Kaip ir kiekvienam teritorijos administratoriui, taip pat ir parapijų administratoriams – klebonams yra svarbu pažinti gyventojus, kuriais jie turi rūpintis.

Atlikti demografinius tyrimus, ne valstybių administraciniuose vienetuose, o organizacijų administraciniuose vienetuose yra sudėtinga. Tai pastebėjo ir Hadaway (1981), kuris tyrė demografinę kaitą ir bažnyčių lankytojų kaitą. Tyrimui turėjo būti naudoti gyventojų statistiniai duomenys. Jau daugiau nei prieš 40 metų, buvo pastebėta problema, jog valstybių lygmeniu kaupiami statistiniai gyventojų surašymo duomenys retai sutampa su Bažnyčių institucijų teritorijomis ir buvo pastebėta, kad surinkti iš naujo duomenys yra per brangu. Todėl tyrimo aprėptis dėl šios priežasties buvo sumažinta. Atlikus tyrimą, buvo pastebėta, kad demografinė aplinka, ypač gyventojų kaita, turi didelę įtaką bažnyčios narių kaitai.

Tyrimų, kuriuose yra nagrinėjami gyventojų pažinimo KBAT vienetuose klausimai, nėra daug. Pasaulyje atlikti tyrimai ne visada yra atliekami su Romos Katalikų teritoriniais vienetais, pasitaiko ir tyrimų su kitų religinių konfesijų teritoriniais vienetais. Vienas iš pavyzdžių yra internetinio žemėlapio kūrimas Bukarešto arkivyskupijoje. Sufaru et al. (2018) sukurtas projektas, kurio tikslas sukurti Rumunijos ortodoksų bažnyčios erdvinį duomenų rinkinį ir pateikti pavyzdžių kaip jis gali būti panaudojamas demografinėms, ekonominėms ir geografinėms analizėms. Projekte buvo naudojami tiek erdviniai, tiek neerdviniai duomenys. Svarbus informacijos šaltinis buvo Rumunijos nacionalinio statistikos instituto archyvai, kuriuose pateikiama oficiali informacija apie gyventojų amžių, etninę priklausomybę, religiją, taip pat kitus svarbius socialinių sąlygų ir išsilavinimo rodiklius.

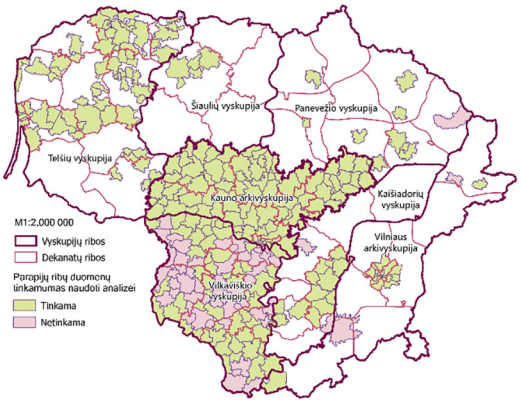
Be kuriamų internetinių žemėlapių skirtų bažnyčios organizacinių teritorijų pažinimui yra kuriamos ir internetinės erdvinės informacijos platformos. Bao et al. (2014) atliktas tyrimas pristato internetinę erdvinės informacijos platformą, kurioje buvo integruoti Kinijos krikščionybės tyrimams reikalingi duomenys, metodika ir mokslinių tyrimų nuorodos. Sukurta sistema leidžia lengvai pasiekti išsamią demografinę, ekonominę ir religinę informaciją apie Kiniją, taip pat kai kurias internetines erdvinių duomenų analizės priemones. Ji parodo, kaip įvairių formatų ir šaltinių erdviniai duomenys gali būti integruojami, vizualizuojami ir pateikiami internetinėje sistemoje, skirtoje religijos studijoms. Naudojantis šia platforma, aptariami kai kurie Kinijos religijų atvejų tyrimai, padedantys atlikti kiekybinę analizę. Tyrime pristatomos ir sukurtos sistemos funkcijos skirtos duomenų naudojimui ir analizei kaip: ataskaitų rengimas, religinės vietos analizė, statistinė analizė ir pan.

Susipažįstant su literatūra ir tyrimais atiliktais pasaulyje, galima pastebėti, kad dažniau yra tiriami Bažnyčių lankytojai, nei bažnytinių organizacinių vienetų gyventojai. Taip gali būti, todėl kad surinkti duomenis apie bažnyčios lankytojus yra paprasčiau nei apie teritorijos gyventojus, kitą vertus tai nėra blogai, nes gyventojai nebūtinai lanko bažnyčią ir yra tikintys. Vienas tokio tipo tyrimų pavyzdžių yra tyrimas atliktas Australijoje (Mollidor et al., 2013). Šiame darbe buvo naudojami 2011 m. Australijos gyventojų surašymo ir 2011 m. Nacionalinės bažnyčios gyvenimo tyrimo duomenys, siekiant palyginti bendrą gyventojų skaičių su bažnyčios lankytojais pagal įvairius demografinius rodiklius. Tyrime bažnyčia yra laikomos septynios krikščionių konfesijos Australijoje (anglikonai, baptistai, Kristaus Bažnyčia, katalikai, liuteronai, sekmininkai ir kiti protestantai). Pagrindinės tyrimo išvados rodo, kad vyresnių nei 60 metų bažnyčios lankytojų dalis yra žymiai didesnė nei tos amžiaus grupės dalis bendroje populiacijoje. Bažnyčios lankytojai

dažniau nei kiti gyventojai turi universitetinį išsilavinimą ir šiek tiek dažniau gimsta ne angliškai kalbančioje šalyje. Bažnyčios lankytojai dažniau yra vedę arba našliai, ir mažesnė tikimybė, kad niekada nebus susituokę arba išsiskyrę.

3. KBAT duomenų rinkinys

KBAT duomenų rinkinį sudaro Lietuvos Katalikų Bažnyčios arkivyskupijų, vyskupijų, dekanatų ir 46% parapijų teritorijų ribos. Rinkinyje saugomi duomenys apie duomenų šaltinį, duomenų aktualumą, tinkamumą naudoti analizei. Duomenų rinkinyje yra pateikiamos visos Kauno arkivyskupijos ir Vilkaviškio vyskupijos parapijų ribos. Mažiausiai viešai pasiekiamų parapijų ribų duomenų buvo rasta Panevėžio bei Šiaulių vyskupijose. Ne visos parapijų ribos yra tinkamos naudoti analizei. Parapijų ribos kinta įsteigus naujas parapijas. Jei nauja parapija yra steigiama, jos teritoriją sudaro aplinkinių parapijų gyvenvietės ir taip pakinta senesnės parapijos ribos. Jei nauja parapija buvo įsteigta, ir jos teritoriją sudaro senesnės parapijos teritorijos dalis, bet yra žinomos naujesnės parapijos ribos, tuomet senoji parapija yra tinkama naudoti analizei. Iš 318 parapijų 265 parapijos yra tinkamos naudoti analizei. Su KBAT duomenų rinkiniu galima susipažinti internetinėje žemėlapių serijoje (KBAT duomenų rinkinys, https://arcg.is/85D9m0).



1 paveikslas. KBAT ribų duomenų rinkinys (Klusytė, 2022)

4. Tyrimui naudoti duomenys ir metodai

Parapijų ribų duomenys gali būti analizuojami kartu su temine informacija ir taip padėti atsakyti į šiuos ir panašius klausimus: kas gyvena parapijoje ? kiek parapijoje yra… ? Siekiant atskleisti parapijų demografinių ir socialinių ypatumų įvairovę bei įvardinti parapijų funkcijas, kurias gali palengvinti parapijų ribų skaitmeninių duomenų pasiekiamumas buvo susipažinta su Kanonų teisės kodekse pateikiamomis parapijų administratorių funkcijomis. Funkcijas galima suskirstyti į tris dalis:

- Pažinimas – apima rūpinimąsi parapijiečiais, vargšais, sutuoktiniais, vaikais ir pan.
- Ugdymas – rūpinimasis suaugusiųjų, jaunimo ir vaikų katechetiniu ugdymu.
- Išteklių valdymas – parapijos biudžeto, metinių finansinių ataskaitų rengimas.

Šiame tyrime buvo naudojami KBAT duomenų rinkinio tinkamų analizei parapijų ir vyskupijų duomenys bei gyventojų ir būstų surašymo 2021 metų ir policijos registruojamų įvykių registro 2019 metų (toliau – PRĮR) duomenys. Šie duomenys padeda pažinti parapijos gyventojus bei suteikia pirminių įžvalgų apie gyventojų finansinę padėtį. Tyrimo metu buvo įvertintas visų analizuojamų parapijų įvykių prieš asmenį ir viešosios tvarkos pažeidimų santykinis skaičius, nedarbo lygis bei vienišų (našlių, nevedusių/netekėjusių, išsiskyrusių) parapijų gyventojų procentas parapijose.

Gyventojų ir būstų surašymo (1 km x 1 km statistinės gardelės) bei PRĮR (2,5 km^2 statistinės gardelės) duomenys yra susieti su geografinėmis koordinatėmis ir apibendrinti statistinėmis gardelėmis. Tyrimui atlikti yra reikalingi duomenys parapijų lygmeniu, tad statistinių gardelių informacija buvo agreguojama parapijų detalumu. Taip pat gyventojų ir būstų surašymo duomenys yra apskaičiuojami vadovaujantis konfidencialumo taisykle „Gyventojų skaičiaus rodikliui (POP), teikiamas absoliutus gyventojų skaičius esant 4 ir daugiau asmenų gardelėje (jei asmenų yra mažiau nei 4, teikiama reikšmė „3“). Visiems kitiems rodikliams galioja 10 asmenų taisyklė (t. y. jei asmenų tam tikro rodiklio gardelėje yra mažiau nei 10, pateikiama reikšmė „9“). Tyrime naudojamų rodiklių reikšmės lygios 9 buvo perskaičiuojamos į reikšmę 5, siekiant gauti reikšmes artimesnes tikrosioms reikšmėms.

Apskaičiuoti parapijų gyventojų, kenčiančių nuo smurto ir kitų veiksmų susijusių prieš asmenį, skaičiui, buvo naudojami naujausi viešai pasiekiami PRĮR 2019 metų įvykių prieš asmenį (ASM) duomenys, kuriuos sudaro ASM potipiai: smurtas, kūno sužalojimai, muštynės, plėšimai, nužudymai, šmeižimas, pavojus gyvybei. Tyrimą praturtino PRĮR 2019 metų duomenys apie viešosios tvarkos pažeidimus (VTP). VTP skaičius parapijose kaip ir ASM skaičius indikuoja parapijos saugumą. Tyrime buvo naudojami santykiniai ASM ir VTP įvykių skaičiai gardelėse, tenkantis 100 gyventojų (pagal bandomojo 2020 m. gyventojų ir būsto surašymo duomenis). Duomenys buvo agreguojami parapijų detalumu.

Įvertinti vienišų gyventojų skaičių parapijose buvo naudojami gyventojų ir būstų surašymo duomenys apie 15 metų ir vyresnių gyventojų santuokinę padėtį (išsituokę, našliai/našlės, vedę/ištekėjusios, nevedę/netekėjusios). Buvo apskaičiuojamas procentinis parapijų

gyventojų skaičius, kurių santuokinė padėtis yra išsituokę, našliai/našlės, nevedę/netekėjusios, nuo bendro 15 metų ir vyresnių parapijos gyventojų skaičiaus.

Nustatyti parapijų nedarbo lygiui buvo naudojami gyventojų ir būstų surašymo duomenys apie gyventojų aktyvumo statusą (dirbantis asmuo, bedarbis). Gyventojų nedarbo lygis buvo apskaičiuojamas vadovaujantis gyventojų užimtumo statistinio tyrimo metodika, kurioje nedarbo lygis yra apibrėžiamas kaip rodiklis, išreiškiamas bedarbių ir darbo jėgos santykiu padauginus iš 100 % (darbo jėga – užimti gyventojai ir bedarbiai.). Vadovaujantis gyventojų užimtumo statistinio tyrimo metodika, užimti asmenys tai asmenys, dirbantys bet kokį darbą, gaunantys už jį atlygį pinigais ar natūra arba turintys iš jo pajamų ar pelno. Užimtais gyventojais laikomi 15–89 metų gyventojai.

$$\text{Nedarbo lygis} = (B / DJ)\times 100\ \%, \qquad (1)$$

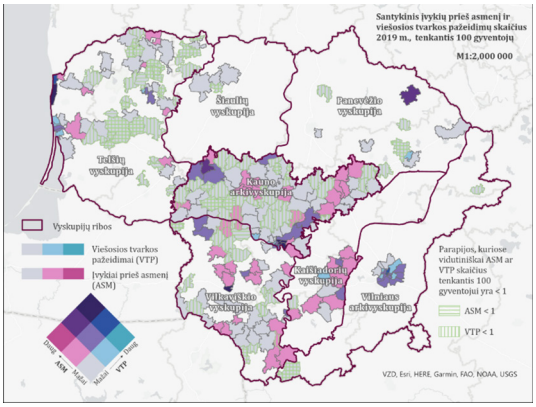
kur B – bedarbių skaičius, DJ – darbo jėga.

5. Rezultatai

Atlikus analizę santykinio įvykių prieš asmenį skaičiaus 2019 m. tenkančio 100 parapijos gyventojų vidurkis yra lygus 2,95, standartinis nuokrypis nuo vidurkio yra lygus 2,06, o mediana 2,45. Viešosios tvarkos pažeidimų santykinio skaičiaus vidurkis yra – 2,8, standartinis nuokrypis nuo vidurkio – 3,8, o mediana yra lygi 1,6.

Žemėlapyje parapijos yra vaizduojamos taikant dvimačių spalvų simbolius, kurie parodo kiekybinį ryšį tarp dviejų kintamųjų. ASM ir VTP reikšmės yra suskirstytos į tris intervalus pagal natūralių lūžių metodą. Pirmasis ASM intervalas apima reikšmes nuo 0 iki 3,12, antrasis – nuo 3,13 iki 6,57, trečiasis nuo 6,58 iki 15,67. VTP intervalas apibrėžiantis mažiausias reikšmes yra lygus 0–3,53, antrasis – 3,54–11,07 ir didžiausios reikšmės patenka į 11,08–25,68 intervalą. Parapija, kurioje yra didžiausias ASM ir didžiausias VTP skaičius šimtui gyventojų sutampa, tai Gerojo Ganytojo parapija (Kauno I dekanatas), kurioje ASM skaičius šimtui gyventojų siekia 15,67, o VTP–25,68. Be šios parapijos dar 7 iš 265 parapijos patenka į didžiausių reikšmių pagal natūralių lūžių metodą intervalus (ASM 6,58–15,67 ir VTP 11,08–25,68).

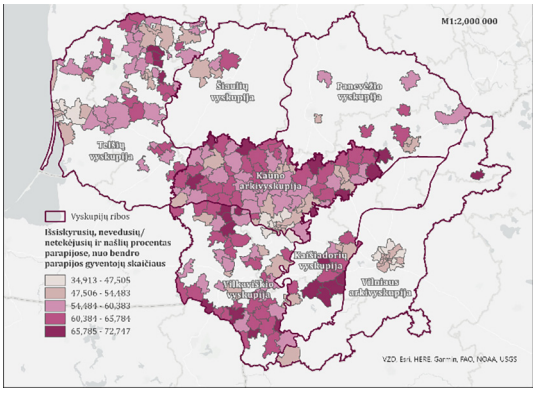
Didesnis VTP skaičius tenkantis 100 parapijos gyventojų nei ASM skaičius tenkantis 100 parapijos gyventojų yra fiksuojamas 70 iš 265 parapijų. Taip pat atlikus analizę išsiskyrė dvi parapijos, kuriose vidutiniškai 2019 metų duomenimis 100 parapijos gyventojų teko 0 viešosios tvarkos pažeidimų, tai Judrėnų Šv. Antano Paduviečio parapija (Gargždų dekanatas) ir Nerimdaičių Šv. apaštalo Baltramiejaus parapija (Telšių dekanatas). Parapijų, kuriose viešosios tvarkos pažeidimų skaičius yra mažesnis nei vienas, yra 79 iš 265. Atlikus analizę, išsiskyrė viena parapija, kurioje vidutiniškai 2019 metų duomenimis 100 parapijos gyventojų teko 0 įvykių susijusių su smurtu, tai Užunvėžių Švč. Mergelės Marijos parapija (Ukmergės dekanatas). Parapijų, kuriose įvykių prieš asmenį skaičius būtų mažesnis nei vienas yra 31 iš 265.



2 paveikslas. Santykinis įvykių prieš asmenį ir viešosios tvarkos pažeidimų skaičius 2019 m., tenkantis 100 gyventojų (Klusytė, 2022)

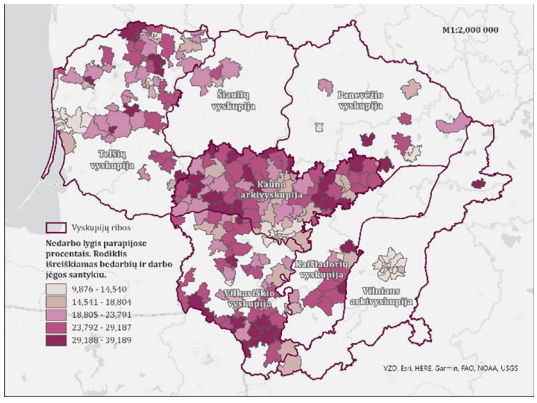
Parapijų vienišų gyventojų (išsiskyrusių, nevedusių/netekėjusių, našlių) vidurkis procentais nuo visų parapijos gyventojų yra lygus 57,8, standartinis nuokrypis nuo vidurkio yra lygus 6,9, o mediana 58,6. Didžiausių vienišų žmonių skaičiumi išsiskiria Pagirių Švč. Mergelės Marijos Apsilankymo parapija (Kėdainių dekanatas) 72,7 %, bei Mielagėnų Šv. Jono Krikštytojo parapija (Ignalinos dekanatas) 72,7 %.

Mažiausias vienišų žmonių skaičius yra Slengių Šv. Jono Pauliaus II parapijoje (Gargždų dekanatas) 34,9 %. Taip pat parapijos, kuriose yra sąlyginai nedaug vienišų žmonių (reikšmės patenka į pirmąjį natūralių lūžių intervalą iš penkių, 34,9–47,5) yra išsidėsčiusios didžiųjų miestų ir jų priemiesčių teritorijose.



3 paveikslas. Vienišų žmonių procentas parapijose, nuo bendro parapijos gyventojų skaičiaus (Klusytė, 2022)

Parapijų nedarbo lygio vidurkis yra lygus 22,3%, standartinis nuokrypis nuo vidurkio yra lygus 6,8%, o mediana 23%. Didžiausiu nedarbo lygis yra fiksuojamas Šlavantų Viešpaties Apreiškimo Švč. M. Marijai parapijoje (Lazdijų dekanatas) 39,2 %, o mažiausias Vilniaus (Kalvarijos) Šv. Kryžiaus Atradimo parapijoje (Kalvarijų dekanatas) 9,9 %. Parapijos, kuriose yra sąlyginai mažas nedarbo lygis (reikšmės patenka į pirmąjį natūralių lūžių intervalą iš penkių, 9,9–14,5) yra išsidėsčiusios didžiųjų miestų ir jų priemiesčių teritorijose. Verta paminėti, jog parapijų nedarbo lygis lyginant su 2020 m. šalies nedarbo lygio vidurkiu (7,1%) yra labai didelis, dėl riboto parapijų ribų duomenų skaičiaus ir didžiosios dalies turimų duomenų išsidėstymo kaimiškose teritorijose.



4 paveikslas. Nedarbo lygis parapijose procentais (Klusytė, 2022)

6. Išvados ir diskusija

1. Nagrinėjant temas susijusias su parapijų saugumu matyti, kad viešosios tvarkos pažeidimų daugiau fiksuojama didžiųjų miestų ir jų priemiesčių teritorijose, tuo tarpu įvykių susijusių su smurtu – kaimiškose teritorijose.
2. Didžiųjų miestų ir jų priemiesčių teritorijų parapijos išsiskiria iš kitų parapijų mažesnių vienišų žmonių procentų bei mažesniu nedarbo lygiu. Tačiau pažvelgus detaliau į likusias parapijas, kurias neatlikus detalesnės analizės būtų galima priskirti vienai „vienodų“ parapijų kategorijai išryškėja nenuginčijami skirtumai.

Šie keli pavyzdžiai tik iliustruoja, kad iš pirmo žvilgsnio panašios parapijos tarpusavyje skiriasi ir reikalauja skirtingo administravimo ir valdymo metodų. Erdviniai duomenys gali būti atspirties taškas, norint pamatyti parapijos visumą, sužinoti kas gyvena parapijoje, su kokiomis problemomis susiduria parapija. Tai galėtų padėti parapijoms tikslingai vykdyti savo funkcijas ir išlikti aktyvioms, skiriant dėmesį ten, kur jo labiausiai reikia.

Literatūra

Adresų registro geografiniai duomenys. https://www.geoportal.lt/metadata-catalog/catalog/search/resource/details.page?uuid=%7B90D0F369-2B71-408C-896A-16DC2473E3F0%7D

Bao, S., Wang, C., & Shui, M. (2014, June 25-27). Spatial study of religion with spatial religion explorer. In *Proceedings of the 22nd International Conference on Geoinformatics*. Kaohsiung, Taiwan. https://doi.org/10.1109/GEOINFORMATICS.2014.6950848.

„Genčių genealogija“ vykdytas projektas „Skaitmeninis bažnyčių žemėlapis“. https://gengen.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=feb35d29fa9f4582a71d728c77ef286e

Hadaway, C. K. (1981). The demographic environment and church membership change. *Journal for the Scientific Study of Religion*, *20*(1), 77–89. https://doi.org/10.2307/1385340

Kanonų teisės kodeksas. (2012). Katalikų pasaulio leidiniai.

Klusytė, S. (2022). *Lietuvos Katalikų Bažnyčios administracinių teritorijų geografinių duomenų rinkinio kūrimas ir analizė* [Bakalauro darbas, Vilniaus universitetas].

Lietuvos Respublikos 2021 metų visuotinio gyventojų ir būstų surašymo rezultatų geoerdviniai duomenys. https://open-data-ls-osp-sdg.hub.arcgis.com/

Mollidor, C., Powell, R., Pepper, M., & Hancock, N. (2013). *Comparing church and community: A demographic profile* (NCLS Research Occasional Paper – 19). Adelaide: Mirrabooka Press. https://library.ncls.org.au/handle/123456789/136

Policijos registruojamų įvykių registro (PRĮR) duomenys. https://www.geoportal.lt/metadata-catalog/catalog/search/resource/details.page?uuid=%7BAB09AB93-6E8D-4DDE-B69D-975F89BA4AF8%7D

Sufaru, A., Zavate, L., Calugaru, A., Doru, M., & Anghel, A. (2018, June18-23). Web portal of maps and applications of the archdiocese of Bucharest. In *Proceedings of the 7th International Conference on Cartography and GIS*. Sozopol, Bulgaria. https://iccgis2018.cartography-gis.com/7ICCGIS_Proceedings/7_ICCGIS_2018%20(28).pdf

Valstybės duomenų agentūra. 2021. *Gyventojų užimtumo statistinio tyrimo metodika*. https://osp.stat.gov.lt/documents/10180/130368/Gyventoj%C5%B3_uzimtumo_statistinio_tyrimo_metodika_2013.pdf

SPATIAL INFORMATION FOR MANAGEMENT – LITHUANIAN CATHOLIC CHURCH ADMINISTRATIVE BOUNDARIES CASE STUDY

S. KLUSYTĖ

Abstract. This article contains a description of the applicability of the geographic data set of administrative territories of the Catholic Church (hereinafter referred to as KBAT) for territorial management. The data set (46% of Lithuanian parishes) from publicly available data sources was created in 2022, then it is a new and unknown thing for KBAT administrators. In order to encourage the responsible persons to be more involved in the development of a comprehensive data set of KBAT boundaries, the article presents examples of how parish boundary data can be used in the administration and

improvement of pastoral work. The researches were carried out using KBAT data and data from the 2021 population and housing census and the 2019 register of events registered by the police (hereinafter referred to as the PRĮR). The results of the performed spatial statistic analyzes show that, at first glance, similar parishes are diverse and require administration and management methods.

Keywords: parishes, maps, spatial analysis, boundaries, administration.

VILNIUS TECH
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

27-oji Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis" teminė konferencija
Proceedings of the 27th Conference for Junior Researchers "Science – Future of Lithuania"

DARNI APLINKA / SUSTAINABLE ENVIRONMENT

2024 m. balandžio 25 d., Vilnius, Lietuva
25 April 2024, Vilnius, Lithuania

ISSN 2029-7157 / eISSN 2029-7149
eISBN 978-609-476-359-5
https://doi.org/10.3846/da.2024.013

Geodezija ir kadastras / Geodesy and Cadastre

https://vilniustech.lt/346238

DAUGIAMEČIŲ PIEVŲ STEBĖSENA, TAIKANT SINTETINĖS APERTŪROS RADARO (SAR) KOHERENCIJOS IR INTENSYVUMO BANGŲ KOMPOZICIJĄ

Gustė METRIKAITYTĖ-GUDELĖ*, Jūratė SUŽIEDELYTĖ-VISOCKIENĖ

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Aplinkos inžinerijos fakultetas,
Geodezijos ir kadastro katedra, Vilnius, Lietuva
**El. paštas guste.metrikaityte-gudele@vilniustech.lt*

Gauta 2024 m. kovo 4 d.; priimta 2024 m. kovo 18 d.

Santrauka. Straipsnyje pateiktas tyrimas, kuriam naudojami sintetinės apertūros radaro (SAR) palydovinių vaizdų duomenys. Taikant koherencijos ir intensyvumo bangų kompozicijas atikta daugiamečių pievų stebėsena. Penkerių metų periodo analizė, remiantis kasmetinėmis SAR vaizdų kompozicijomis, leido įvertinti šio metodo tinkamumą. Gautas rezultatas su išskirtinai aukštais tikslumo rodikliais – tikslumas siekia 95,8 %, daugiamečių pievų identifikavimo su kontroliniais duomenimis atitikimas – 97,1 %, o gauta svertinio tikslumo vidurkio F1 vertė – 96,5 %. Aukšti tikslumo rodikliai patvirtina, kad SAR palydoviniai vaizdai yra itin patikimi duomenys ir gali būti efektyviai naudojami nuosekliai (periodinei) daugiamečių pievų stebėsenai vykdyti.

Reikšminiai žodžiai: SAR, daugiametės pievos, koherencija, palydoviniai vaizdai.

1. Įvadas

Ilgą laiką stebint žemės dangos ir žemės naudojimo pokyčius pastebėta, kad pastaraisiais metais visoje Europoje mažėja daugiamečių pievų plotai. Šie pokyčiai dažnu atveju vyksta dėl antropogeninių veiksnių, tokių kaip miestų plėtra, gyvulininkystės ūkių mažėjimas, intensyvėjantis žemės ūkis, ar žemės naudojimo pokyčių (Elliott et al., 2024; Schils et al., 2022). Analizuojant statistinius duomenis, matyti, kad skirtingose Europos šalyse daugiamečių pievų plotų mažėjimas skiriasi: nuo 2015 iki 2018 metų didžiausi pokyčiai užfiksuoti Maltoje (–5,1 %), Lietuvoje (–2,5 %) ir Belgijoje (–2 %) (Eurostat, 2023b). Lietuvos nacionaliniuose šaltiniuose teigiama, kad nuo 2018 iki 2023 metų Lietuvoje daugiamečių pievų plotas sumažėjo 18,64 % (Nacionalinė mokėjimo agentūra prie Žemės ūkio ministerijos, 2023). Daugiametės pievos – tai daugiametėmis žolėmis užsėtas arba natūralus penkerius ar daugiau metų neartas žemės plotas, skirtas ūkiniams gyvūnams ganyti, žolei ar žolės produkcijai gauti. Tokiose pievose gali augti pavieniai medžiai arba krūmai, šie plotai gali būti naudojami ganykloms, silosui ir šienui šienauti arba atsinaujinančiai energijai gaminti (Eurostat, 2023a). Daugiametės pievos yra svarbios daugeliu aspektų, tokių kaip biologinės įvairovės išsaugojimas, dirvožemio sveikata ir organinės anglies kaupimas, požeminio ir antžeminio vandens reguliavimas ir kokybė, kultūra ir kraštovaizdis, žemės ūkis bei klimato kaitos mažinimas ir švelninimas. Daugiametės pievos dažnu atveju yra biologinės įvairovės židiniai, kuriuose auga daugybė augalų rūšių, gyvena daugybė vabzdžių, paukščių ir kitų laukinių gyvūnų, įskaitant ir įvairias retas bei nykstančias rūšis (Poux, 2020). Šie plotai taip pat atlieka svarbų vaidmenį išsaugojant ir gerinant dirvožemį, jo sveikatą. Daugiametėse pievose augantys augalai sudaro gilų ir tankų šaknų tinklą, kuris padeda išvengti dirvožemio erozijos, gerina dirvožemio struktūrą (European Commission, 2021), sulaiko vandenį, padeda reguliuoti vandens tekėjimą, taip mažindamas potvynių riziką (European Commission, 2009). Tokių pievų plotai prisideda ir prie klimato kaitos mažinimo bei jos švelninimo – šie plotai yra reikalingi organinei angliai sekvestruoti (Conant et al., 2001).

Laikantis Europos Sąjungos įsipareigojimų, daugiametės pievos turi būti saugomos. Lietuvoje daugiamečių pievų plotai per 2018–2023 metų periodą negalėjo sumažėti daugiau nei 5 %. Peržengus šio procento ribą,

© 2024 Autoriai. Leidėjas Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Šis straipsnis yra atvirosios prieigos straipsnis, turintis Kūrybinių bendrijų (Creative Commons) licenciją (CC BY 4.0), kuri leidžia neribotą straipsnio ar jo dalių panaudą su privaloma sąlyga nurodyti autorių ir pirminį šaltinį.

ūkininkai turėtų atkurti suartas daugiametes pievas. Daugiamečių pievų stebėsena įgauna daugialypę prasmę – reikia laikytis ES įsipareigojimų ir nustatyti plotus, kuriuose turėtų būti atkurtos daugiametės pievos, ir nuolat stebėti, kad tų plotų nemažėtų. Nuolatiniams stebėjimams atlikti dažnai naudojami palydoviniai vaizdai, kurie leidžia nuolatos ir nuosekliai stebėti žemės dangos ir žemės naudmenų pokyčius.

Palydoviniai vaizdai leidžia stebėti bei gauti informaciją apie įvairius objektus ir procesus nuotoliniu būdu. Pagal veikimo principą palydovinėse sistemose gali būti integruoti dviejų tipų jutikliai – pasyvieji ir aktyvieji. Pasyvieji jutikliai fiksuoja elektromagnetines bangas, atsispindinčias nuo objektų, kuriuos apšviečia šviesos šaltinis (saulė). Tai reiškia, kad debesuotomis dienomis, kai debesys užstoja žemės paviršių, ši palydovinė sistema yra netinkama stebėjimui vykdyti. Iš sistemų su pasyviaisiais jutikliais yra gaunami optiniai multispektriniai vaizdai. Aktyvieji jutikliai patys spinduliuoja elektromagnetines bangas ir priima jas atgal nuo atsispindėjusių objektų paviršiaus. Ši sistema veikia ir fiksuoja informaciją nepriklausomai nuo paros laiko ar oro sąlygų. Tokios sistemos principu veikia ir SAR vaizdus fiksuojantys palydovai.

Palydoviniai SAR vaizdai yra vertingas duomenų šaltinis, kuris tinka žemės dangai stebėti, jos pokyčiams analizuoti arba kaip tik pokyčių nebuvimui nustatyti, kas irgi yra labai aktualu tokių objektų kaip, pavyzdžiui, daugiametės pievos atveju. Žali ir neapdoroti SAR vaizdai, palyginti su optiniais multispektriniais vaizdais, yra sudėtingesni ir beveik nesuprantami žmogaus akiai, juose pilna triukšmo ir šviesų svyravimų, vaizdo objektai gali būti iškraipyti, o jų geografinė padėtis – netiksli, todėl norint analizuoti šiuos vaizdus ar juose išskirti tam tikrus objektus būtina juos apdoroti.

Tyrimo objektas – penkerius ar daugiau metų neariamas žemės plotas, kuris skirtas ūkiniams gyvūnams ganyti bei žolei ar žolės produkcijai gauti ir kurį galima atsėti nesuariant, kitaip tariant, tai yra daugiametės pievos. Šie plotai identifikuoti naudojant SAR tipo palydovinių vaizdų laiko eilučių informaciją, iš jų dviem etapais išskiriant koherencijos ir intensyvumo bangas:

– analizuojant daugiamečių pievų plotus 5 metų laikotarpiu;
– atliekant daugiamečių pievų stebėjimus kiekvienais metais.

Galutinių rezultatų patikimumas įvertintas pagal svertinį identifikavimo tikslumą F1.

2. Duomenys ir tyrimo teritorija

Tyrimui naudoti trijų tipų duomenys:

– SAR palydoviniai vaizdai iš „Sentinel-1“ palydovo;
multispektriniai palydoviniai vaizdai iš „Sentinel-2“ palydovo;
– kontrolei – vektoriniai duomenys apie daugiametes pievas.

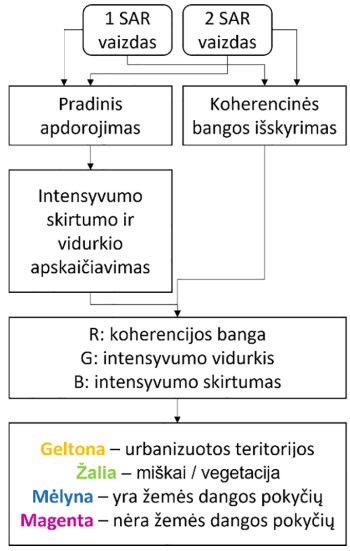
Tyrimui ir analizei atlikti naudoti 2019–2023 metų vegetacinio piko SAR vaizdai, t. y. kiekvienų metų liepos mėnesio vidurio vaizdai.

Gauto rezultato patikimumui ir tikslumui įvertinti naudotos 2019–2023 metų optinių multispektrinių palydovinių RGB (raudona, žalia, mėlyna) kompozicijos vaizdų mozaikos, kurių datos buvo artimos pasirinktų SAR vaizdų datoms. Tikslumui įvertinti naudoti VĮ Žemės ūkio duomenų centro vektoriniai duomenys apie daugiametes pievas iš duomenų rinkinio „Pasėlių laukų duomenų bazės nuasmeninti duomenys pagal pasėlių grupes“ (VĮ Žemės ūkio duomenų centras, 2023).

Tyrimui pasirinkta šiaurės Lietuvoje esanti teritorija, nes ten vystoma intensyvi ūkinė veikla. Šioje šalies dalyje dirvožemiai yra vieni derlingiausių, tad ūkininkai suinteresuoti kuo daugiau teritorijų paversti aktyvaus ūkininkavimo plotais ir todėl prarandami daugiamečių pievų plotai.

3. Metodika

Šiame straipsnyje pasirinkti SAR vaizdai iš pradžių, prieš juos analizuojant, buvo apdoroti: tikslinta, kalibruota padėties informacija, užpildyti plyšiai, pašalintas triukšmas bei atliktas geografinis orientavimas. Antrasis žingsnis – apskaičiuotos vaizdų porų – 2019 ir 2023, 2019 ir 2020, 2020 ir 2021, 2021 ir 2022, 2022 ir 2023 metų vaizdų – koherencijos ir intensyvumo bangos. Trečiasis – atlikti SAR vaizdo elektromagnetinių juostų matematiniai skaičiavimai, kurių metu gautos vaizdų intensyvumo vidurkio (angl. *intensity average*) ir intensyvumo skirtumo (angl. *intensity difference*) juostos. Ketvirtasis – koherencijos, intensyvumo vidurkio ir skirtumo juostos



1 paveikslas. SAR vaizdų apdorojimas

panaudotos RGB skalėje ir taip sukurtas kompozitas, kuriame žalia spalva parodyti miškai ir vegetaciniai plotai, geltona spalva – urbanizuotos teritorijos, mėlyna spalva – žemės dangos pokyčiai, magenta spalva – plotai, kuriuose pokyčiai per analizuojamą periodą neįvyko. SAR vaizdų apdorojimo schema pateikta 1 paveiksle.

Skaičiavimo modelio rezultatams įvertinti naudojamas svertinis tikslumo vidurkis F1 (1), kuris tinka visų tipų klasifikavimo algoritmams. F1 vertę sudaro tikslumo (P) (2) ir atitikimo (R) (3) vertės (IBM, 2023).

$$F1 = 2 \times \frac{(P \times R)}{(P + R)}, \quad (1)$$

kur P vertinamas pagal teisingai teigiamų (T_p) ir klaidingai teigiamų (F_p) verčių kiekius:

$$P = \frac{T_p}{(T_p + F_p)}, \quad (2)$$

kur R vertinamas pagal teisingai teigiamų (T_p) ir klaidingai neigiamų (F_n) verčių kiekius:

$$R = \frac{T_p}{(T_p + F_n)}. \quad (3)$$

$F1$ reikšmės interpretuojamos kaip bendro modelio veikimo matas nuo 0 iki 1, kur 1 yra geriausias modelio rezultatas. Tai yra subalansuotas modelis, kuris leidžia užfiksuoti teigiamus atvejus ir yra tikslus. Pagal bendras taisykles $F1$ rezultatas gali būti puikus, labai geras, geras ir prastas (žr. 1 lentelę) (Allwright, 2022).

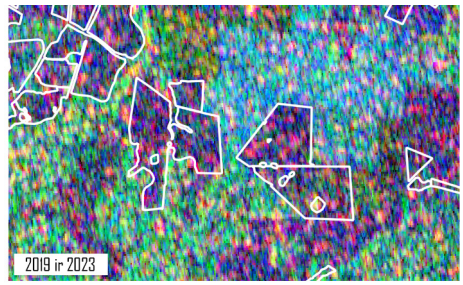
1 lentelė. $F1$ tikslumo rodiklio verčių charakteristikos

$F1$ vertės	Reikšmė
Daugiau už 0,9	Puikiai
0,8–0,9	Labai gerai
0,5–0,8	Gerai
Mažiau nei 0,5	Prastai

4. Rezultatai

Atsižvelgiant į tai, kad daugiametėmis pievomis laikomi plotai, kurie nekinta penkis ir daugiau metų, pirmajame tyrimo etape nuspręsta analizuoti du SAR vaizdus, kuriuos skiria 5 vasaros sezonai, tai yra 2019 ir 2023 metų vaizdus.

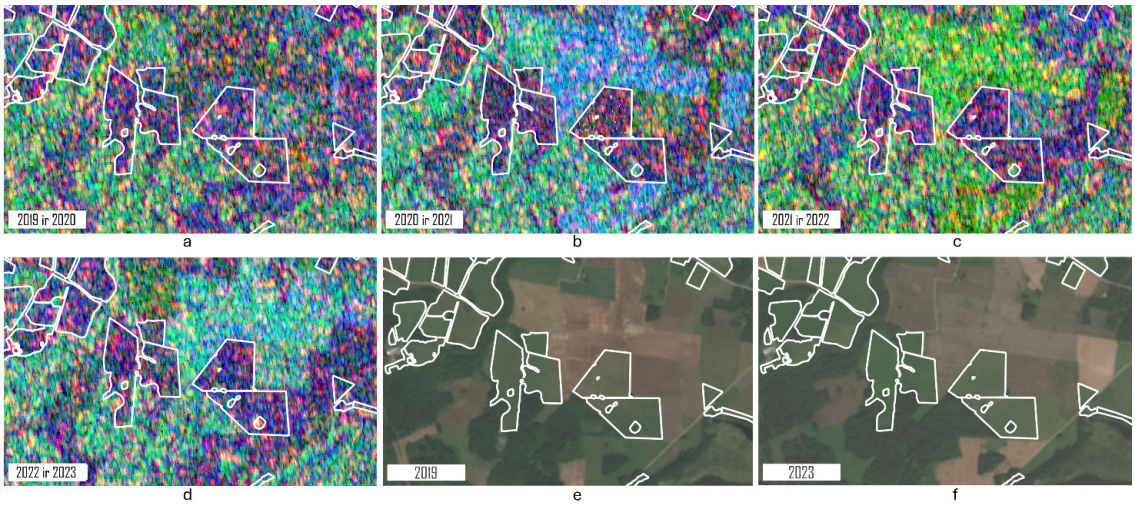
Analizuojant gautą rezultatą pastebėta, kad skaičiavimų modeliu gautas vaizdas yra sunkiai interpretuojamas, nes sudėtinga tiksliai nustatyti, ar plotai, identifikuoti kaip nekintantys, tikrai priklauso analizuojamam žemės dangos sluoksniui – daugiametėms pievoms. 2 paveiksle matyti, kad ne tik žinomi daugiamečių pievų plotai (plotai, apibrėžti balta linija) yra magenta spalvos (spalvos, žyminčios plotus be žemės dangos pokyčių), bet ir kiti pavieniai aplinkui esantys plotai. Analizuojant tik vieną dviejų laikotarpių vaizdą, sudėtinga tiksliai nustatyti daugiametes pievas, dažnu atveju galima identifikuoti klaidingai teigiamą (angl. *false positive*) rezultatą, t. y. plotai interpretuojami kaip daugiametės pievos, nors iš tiesų jomis nėra.



2 paveikslas. 2019 ir 2023 metų SAR vaizdų analizės pavyzdys. Žalių atspalvių plotai yra miškai ir vegetacijos plotai, geltonų atspalvių plotai – urbanizuotos teritorijos, mėlynų atspalvių plotai – teritorijos, kuriose per tiriamąjį laikotarpį įvyko pokytis, magenta atspalvių plotai – teritorijos, kuriose per tiriamąjį laikotarpį pokyčių nebuvo, balta linija – žinomi daugiamečių pievų plotai

Atsižvelgus į tai, kad analizuojant du vaizdus, kuriuos skyrė didelis laiko tarpas, gauti rezultatai buvo netikslūs, kitame tyrimo etape nuspręsta atlikti kasmetinę SAR vaizdų analizę. Analizei naudotos 2019 ir 2020, 2020 ir 2021, 2021 ir 2022 bei 2022 ir 2023 metų vaizdų kompozicijos. Gauti vaizdų rezultatai pateikti 3 paveiksle. 3 paveiksle galima matyti, kad tik kaip daugiametės pievos žinomi plotai skirtingų metų kompozicijose nekinta ir visuomet išlaiko magenta spalvos atspalvius, o kitų plotų spalva dėl įvairių vegetacinio periodo ar kitokių sutapimų keičiasi ir vienais metais jie identifikuojami kaip pokyčių plotai, kitais – kaip vegetaciniai plotai.

Rezultato patikimumui ir metodo veiksmingumui nustatyti buvo atliktas tikslumo įvertinimas. Tyrimo teritorijoje buvo atsitiktinai pasirinkti ir patikrinti 500 objektų iš duomenų rinkinio „Pasėlių laukų duomenų bazės nuasmeninti duomenys“. Atliktas įvertinimas parodė, kad iš visų tikrintų objektų 172 objektai dėl savo mažo ploto (<0,5 ha) arba sudėtingos geometrinės konfigūracijos buvo vertinimui netinkami. Naudoti „Sentinel-1“ palydovo vaizdai, kurių gardelės dydis yra 10 metrų, yra per mažos skiriamosios gebos, tad mažesnio ploto bei sudėtingos konfigūracijos objektų stebėsenai turėtų būti naudojami aukštesnės skiriamosios gebos vaizdai. Likusių objektų analizė atskleidė, kad 304 objektai buvo teisingai identifikuoti (teisingai teigiamas rezultatas (angl. *true positive*)) kaip daugiametės pievos, 13 objektų buvo klaidingai identifikuoti (klaidingai teigiamas rezultatas), o 9 objektai buvo klaidingai praleisti (klaidingai neigiamas rezultatas (angl. *false negative*)).



3 paveikslas. SAR vaizdų kasmetinės analizės pavyzdžiai. a – 2019 ir 2020 metų vaizdų analizė, b – 2020 ir 2021 metų vaizdų analizė, c – 2021 ir 2022 metų vaizdų analizė, d – 2022 ir 2023 metų vaizdų analizė, e ir f – situacijos RGB vaizdai.

Teisingai neigiamos (angl. *true negative*) reikšmės nebuvo nustatytos, kadangi tyrimas buvo orientuotas į žinomų daugiamečių pievų plotų analizę, o ne visapusišką automatinį jų identifikavimą.

Tikslumo vertinimas, remiantis tikslumo (angl. *precision*), atitikimo (angl. *recall*) ir F1 parametrų skaičiavimais, atskleidė aukštą modelio tikslumą: tikslumo vertė siekė 0,958, atitikmens – 0,971, o F1– 0,965. Tai reiškia, kad 95,8 % objektų, pažymėtų kaip daugiametės pievos, iš tikrųjų yra daugiametės pievos. Aukšta tikslumo vertė rodo mažą klaidingai teigiamų atvejų skaičių. Atitikmens rezultatas rodo, kad modelis teisingai identifikavo 97,1 % visų faktinių daugiamečių pievų atvejų. Aukštas atitikimas rodo, kad modelis efektyviai atpažįsta teigiamus atvejus. F1 vertė rodo, kad modelis pasiekė gerą balansą tarp tikslumo ir atitikimo, užtikrindamas, kad tiek klaidingai teigiamų, tiek klaidingai neigiamų atvejų skaičius būtų minimalus.

5. Išvados

Šiame tyrime buvo siekiama įvertinti SAR palydovinių vaizdų koherencijos ir intensyvumo bangų tinkamumą nuolatiniam daugiamečių pievų plotų stebėjimui vykdyti. SAR palydovinių vaizdų analizė atskleidė svarbias įžvalgas ir patvirtino taikytų metodų veiksmingumą. Pirmoje analizės dalyje, lyginant du SAR vaizdus, kuriuos skyrė penkerių metų intervalas (2019 ir 2023 m.), nustatyta, kad tokį rezultatą interpretuoti yra sudėtinga dėl galimo vegetacinio piko sutapimo ir yra reikalinga daugiametė informacija. Reaguojant į šią problemą, buvo nuspręsta atlikti kasmetinę SAR vaizdų analizę, naudojant dvejų iš eilės einančių metų SAR vaizdų kompozicijas. Šis metodas leido gerokai pagerinti daugiamečių pievų plotų identifikavimo tikslumą, nes tik žinomi daugiamečių pievų plotai per visus metus išlaikė pastovius magenta spalvos atspalvius, o kiti plotai dėl vegetacijos ciklo ar kitų veiksnių keitė spalvas. Tai patvirtino, kad kasmetinė analizė yra efektyvesnė daugiamečių pievų stebėsenai, nes suteikia patikimesnius rezultatus ir mažina klaidingai teigiamų atvejų skaičių.

Tyrimo tikslumo vertinimas, atliktas analizuojant atsitiktinai pasirinktus 500 objektų, žinomų kaip daugiametės pievos, parodė aukštą modelio tikslumą. Nors dalis objektų buvo netinkami įvertinimui dėl jų mažo ploto ar sudėtingos konfigūracijos, likusių objektų analizė atskleidė, kad 95,8 % teisingai identifikuotų objektų iš tikrųjų yra daugiametės pievos, o modelio identifikavimo ir kontrolinių duomenų atitikimas siekė 97,1 %, rodydamas efektyvų teigiamų atvejų atpažinimą. Svertinio tikslumo vidurkio F1 vertė (0,965) rodo gerą balansą tarp tikslumo bei atitikimo ir užtikrina mažą klaidingai teigiamų ir klaidingai neigiamų atvejų skaičių. Šie rezultatai patvirtina, kad SAR palydoviniai vaizdai yra tinkami daugiamečių pievų plotų stebėsenai, tačiau tam reikalinga vykdyti nuoseklų ir daugiametį stebėjimą.

Gautas rezultatas parodo SAR palydovinių duomenų tinkamumą daugiamečių pievų stebėsenai, tačiau šių vaizdų analizė atskleidžia, kad efektyviam automatizuotam vaizdų klasifikavimui atlikti reikalinga vykdyti papildomą apdorojimą, nes didelis pikselių reikšmių kintamumas gali sukelti informacijos interpretavimo iššūkių. Tolimesniuose tyrimuose numatyti gilintis į šiame straipsnyje taikyto metodo automatizavimą ir papildomą pikselių apdorojimą (angl. *post-processing*), nes pikselių reikšmių korekcija būtų naudinga ir efektyvi šio proceso dalis, siekiant užtikrinti tikslesnį daugiamečių pievų atpažinimą.

Atsižvelgiant į gautus aukštus tikslumo rezultatus, tolimesniuose tyrimuose numatyta gilintis į platesnį SAR vaizdų taikymą žemės dangos ir žemės naudmenų stebėjimui vykdyti.

Literatūra

Allwright, S. (2022). *How to interpret F1 score (simply explained)*. https://stephenallwright.com/interpret-f1-score/

Conant, R. T., Paustian, K., & Elliott, E. T. (2001). Grassland management and conversation into grassland: Effects on soil carbon. *Ecological Applications*, *11*(2), 343–355. https://doi.org/10.1890/1051-0761(2001)011[0343:GMACIG]2.0.CO;2

Elliott, J., Tindale, S., Outhwaite, S., Nicholson, F., Newell-Price, P., Sari, N. H., Hunter, E., Sánchez-Zamora, P., Jin, S., Gallardo-Cobos, R., Miškolci, S., & Frewer, L. J. (2024). European permanent grasslands: A systematic review of economic drivers of change, including a detailed analysis of the Czech Republic, Spain, Sweden, and UK. *Land*, *13*(1), Article 116. https://doi.org/10.3390/LAND13010116

European Commission. (2009). *Nature's role in climate change*. https://climate.ec.europa.eu/document/download/f3af59f0-0b0a-4a0e-ac29-f10cc9b2e4d0_en?filename=nature_and_climate_change_en.pdf

European Commission. (2021). *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European economic and social Committee and the Committee of the regions* (*EU Soil Strategy for 2030 Reaping the benefits of healthy soils for people, food, nature and climate)*. Brussels. https://faolex.fao.org/docs/pdf/eur218173.pdf

Eurostat. (2023a). *Glossary: Permanent grassland*. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Permanent_grassland

Eurostat. (2023b). *Permanent agricultural grassland in Europe*. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Permanent_agricultural_grassland_in_Europe#Permanent_agricultural_grassland_at_EU_level

IBM. (2023). *F1-Measure*. IBM Documentation. https://www.ibm.com/docs/en/cloud-paks/cp-data/3.5.0?topic=overview-f1-measure

Nacionalinė mokėjimo agentūra prie Žemės ūkio ministerijos. (2023, December 15). *Aktuali informacija dėl daugiamečių pievų atkūrimo (Atnaujinta)*. https://nma.lrv.lt/lt/naujienos/aktuali-informacija-del-daugiameciu-pievu-atkurimo/

Poux, X. (2020). *EU biodiversity strategy: The importance of permanent grasslands, in line with the farm to fork strategy*. IDDRI. https://www.iddri.org/en/publications-and-events/blog-post/eu-biodiversity-strategy-importance-permanent-grasslands-line

Schils, R. L. M., Bufe, C., Rhymer, C. M., Francksen, R. M., Klaus, V. H., Abdalla, M., Milazzo, F., Lellei-Kovács, E., Berge, H., Bertora, C., Chodkiewicz, A., Dămătîrcă, C., Feigenwinter, I., Fernández-Rebollo, P., Ghiasi, S., Hejduk, S., Hiron, M., Janicka, M., Pellaton, R., …, Price, J. P. N. (2022). Permanent grasslands in Europe: Land use change and intensification decrease their multifunctionality. *Agriculture, Ecosystems* & *Environment*, *330*, Article 107891. https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2022.107891

VĮ Žemės ūkio duomenų centras. (2023). *Pasėlių laukų duomenų bazės nuasmeninti duomenys pagal pasėlių grupes*. https://www.geoportal.lt/metadata-catalog/catalog/search/resource/details.page?uuid=%7B0CD15E35-1F8D-4DC1-A7BA-A8CDD5DD85F4%7D

MONITORINF OF PERMANENT GRASSLANDS USING SYNTETIC APERTURE RADAR (SAR) COHERENCE AND INTENSITY BANDS COMPOSITION

G. METRIKAITYTĖ-GUDELĖ,
J. SUŽIEDELYTĖ-VISOCKIENĖ

Abstract. This paper presents a study analysing the performance of Synthetic Aperture Radar (SAR) satellite images, specifically their coherence and intensity bands, for monitoring permanent grasslands. An analysis over a five-year period, based on annual SAR image compositions, allowed the validity of this method to be assessed. The exceptionally high accuracy rates – 95.8% precision, 97.1% recall and 96.5% F1 value – confirm that SAR satellite imagery is a highly reliable tool for consistent monitoring of permanent grasslands. The high accuracy rates confirm that SAR satellite images are highly reliable data for continuous monitoring of permanent grasslands.

Keywords: SAR, permanent garsslands, coherence, satellite images.

VILNIUS TECH
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

27-oji Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis" teminė konferencija
Proceedings of the 27th Conference for Junior Researchers "Science – Future of Lithuania"

DARNI APLINKA / SUSTAINABLE ENVIRONMENT

2024 m. balandžio 25 d., Vilnius, Lietuva
25 April 2024, Vilnius, Lithuania

ISSN 2029-7157 / eISSN 2029-7149
eISBN 978-609-476-359-5
https://doi.org/10.3846/da.2024.014

Kelių ir miestų inžinerija / Road and Urban Engineering *https://vilniustech.lt/346238*

ANALYSIS OF ASPHALT PAVEMENT CONSTRUCTION QUALITY PARAMETERS AUTOMATED REGISTRATION SYSTEMS

Ignas KAVECKAS*, Audrius VAITKUS

Department of Roads, Environmental Engineering Faculty,
Vilnius Gediminas Technical University, Vilnius, Lithuania
**E-mail: i.kaveckas@gmail.com; audrius.vaitkus@vilniustech.lt*

Received 04 March 2024; accepted 18 March 2024

Abstract. Nowadays all newly paved asphalt layers are assessed and controlled by conventional destructive methodology, which does not provide data on real-time for contractors and customers. The purpose is to evaluate the methodologies used for the automated registration of quality parameters of asphalt layer installation and the possibilities for their usage. An experimental study of asphalt pavement compaction was performed, and the data obtained show the limited reliability of automated methods. A survey of specialists showed that 3 out of 8 contractors use automated registration technologies in their daily construction work. The implementation of a bonus system or lower costs of these technologies would ensure a significantly higher involvement of contractors, and automated registration technologies would significantly improve the quality of road construction but are currently too expensive to use without additional incentives. The lack of competence of technical operators of mechanisms and an unpreprared legal basis framework are the main disadvantages.

Keywords: asphalt layer, asphalt pavement, asphalt paving, automated registration, quality parameters.

1. Introduction

In recent years in Lithuania discussions about new technologies to register automatically all the quality parameters of the asphalt pavement layer on site on real-time and in the whole road section, have started. This could lead to better quality of asphalt roads, faster and probably more accurate laboratory examinations of the installed asphalt layer.

Nowadays the quality of the installation of asphalt pavement layer is evaluated only by old methods, such as extraction of the cores from the road section and comparison with the specimens made in the laboratory. This method harms the pavement layer surface quality, comfort for drivers, and the examination is foreseen at one point.

An analysis of the literature of the experience of other countries in the application of automated methods to determine the properties of constructed asphalt layers carried out. The experimental study used to determine the properties of the constructed asphalt layers by standard and automated methods. Survey of specialists conducted in order to understand general opinions.

2. Literature review regarding asphalt layers construction quality control

In the compaction process, one of the key monitoring points is position, which is collected with a high-precision positioning terminal installed in each roller. In addition, rollers are equipped with infrared temperature sensors for collecting and uploading real-time compaction temperature data. In each roller hardware, design parameters are uploaded before compaction procedure in order to ensure required quality for compaction, layer thickness, etc. For quality control throughout the compaction process despite system self-control, management personnel are in touch with real-time data, and they can change roller settings remotely and on time (Yuan et al., 2022).

Volvo prepared a system called Pave Assist, which collects data about distance covered by paver, tonnage of paved asphalt, paved area, and CO_2 emissions of paver. Vögele, the Wirtgen Group Company, introduced WITOS Paving. It is a digital system that collects real-time data of the paving process, analyses it and represents it directly to the construction company office and on. This

© 2024 The Author(s). Published by Vilnius Gediminas Technical University. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

system collects data real-time and from on-board information and automated reports, which software prepares. All data could be stored and accessed remotely in the cloud, allowing the usage of past results in the future. Furthermore, the system represents geometric and statistical parameters of the asphalt layer installed, such as layer thickness, width, amount of material, density (Vögele, n.d. b) (Volvo, n.d.).

Nowadays, majority of rollers present the compaction process data for operator separately. One of the systems, that are being tested is the compaction guidance system, which combines the temperature and number of passes through specific spot to one map, which shows areas of different importance for compaction. The case study covered three different scenarios, without any guidance system or display, only with separate displays and with a guidance system display. The results of this case study show that the guidance system, which uses real-time temperature and location data, improves the quality of compaction by 115% in total (Makarov et al., 2021).

One of the new systems that is being tested is intelligent compaction (IC). IC captures location, time, and settings used for compaction. IC process output are: IC measurement values (ICMV), roller passes, asphalt surface temperatures and roller settings (Chang et al., 2014). ICMV indicate the stiffness of the asphalt layer and are dimensionless (Nieves, 2014). Several studies have been performed to evaluate the reliability of the results of the IC system compared to the results of the core density. The results showed that correlation is inconsistent due to limited spot tests and different nature of measured properties. Also, the ICMV results were compared to the Nuclear Density Gauge (NDG) results, and the correlation between them was very low (Chang et al., 2011). According to the study authors, it is recommended to require that at least 70% of the compacted areas be compacted with the IC methodology (Chang et al., 2014). Another way of using ICMV results for acceptance is selecting points for cores extraction from IC made map of compaction degree. On the map the weakest points of the whole road section could be determined, and cores extracted at these spots. This testing methodology could ensure that in quality control and acceptance phases evaluation covers entire road section (Xu et al., 2022).

TOPCON introduced compaction systems C-53 and C-63 that are installed in rollers to get number of passes, asphalt temperature, and layer stiffness data in real time and save them in storage. The GPS sensors, mounted in the rollers generate the number of passes colourful map for the optimisation of operators work. The temperature sensors, mounted in the rollers, help the operators to be sure that compaction process is proceeded at optimum asphalt temperature. The stiffness sensors help to ensure that stiffness values of the HMA layer meet the requirements after compaction (TOPCON, n.d. a., n.d. b.).

Benefit-cost analysis was performed in 2016 in USA, where IC were compared with conventional compaction and their influence on the service life with service costs was determined. So, the construction costs determined in this research were 37% lower with IC compared to conventional compaction for the thick asphalt overlay and 54% lower in the case of a new road construction with IC. These percentages converted to money would be more than 15 thousand dollars savings each year. In addition, the road constructed with IC showed the result of 26 service life years compared to 10 years of the road constructed with conventional compaction (Savan et al., 2016).

The Compaction Monitoring System (CMS) monitors asphalt layer temperature, location and movement of the roller, vibration of the roller, and evaluates the compaction effort from these data (Kassem et al., 2012). When the system collects the number of passes of the roller through the specific spot and the temperature of it, it can calculate the compaction effort. Currently, this system is like a data analysis system after construction because it can save all the data and it could be revised later. But in the future, authors indicate a chance of this system working in real time (Kassem et al., 2015).

The Wirtgen group company HAMM introduced new technologies called Smart Compact and Compaction quality, that works together with WITOS Paving. They evaluates asphalt temperature and stiffness and selects right parameters of drums and types for compaction process. The system records the number of passes and after optimising the roller route to avoid double passes, the result is a reduction of 30% of the passes, which reduces fuel and CO_2 emissions (HAMM, n.d. a; n.d. b).

The BOMAG manufacturer introduced a new technology called Asphalt Manager. With this system, operators are required to choose only the type and thickness of the layer. This system is equipped with several different sensors and could display to the operator the stiffness, amplitude, and temperature data. The system automatically adapts the amplitude, when the stiffness and asphalt temperature reach certain values to avoid crushing the aggregate. For measuring the compaction parameters, the Evib parameter is presented and measured in real time and displayed to the roller operator (BOMAG, n.d.).

Ground penetrating radar (GPR) technology device collected density results were compared with core density and has shown a significant correlation. GPR could be

used in several ways (mounted on the paver, steel wheel roller, cart, trail for the car, drone) and in several situations. Mounting on the paver is not efficient. Mounting on the roller could be the most convenient and efficient way, but roller vibrations must be eliminated. Mounting on the cart or on the trailer is possible only in situations where measurements are conducted after compaction, because it requires additional vehicles and human work. GPR mounted on drones are currently tested technology, and it has major disadvantage as it very depends on weather conditions (Wang et al., 2022).

For the compaction process, asphalt temperature data are very important and could lead to more efficient compaction. In the study performed in period 2007–2008 three different Infrared (IR) cameras and measurement methodologies were tested to determine the most efficient way of continuous temperature measurement. The first case study was conducted with a handheld IR camera. The second – with the IR camera mounted on the paver, which took images every 5 seconds. The third – with the IR line scanner mounted on the paver, which was mounted at the same location as the IR camera in the second study and images were taken every 3 seconds. The results of asphalt pavement surface temperature were more precise with the IR line scanner. Parallel with these studies, in-asphalt temperatures were also measured and compared with surface temperature measured with IR devices. The correlation between these temperatures was strong and most of R^2 values were above 0.9. These results open up the opportunity to use surface temperatures, measured with IR devices, as reliable indicators of the in-asphalt or core temperatures (ter Huerne et al., 2009).

Vögele presents a device, called Vogele RoadScan, which uses the IR line-scanner mounted on the paver. This device could measure temperature at 10 m width road section and scan temperature immediately behind the screed. Measurement results are displayed in 25×25 cm tiles, each of these tiles containing up to 16 measuring points (see Figure 1) (Vögele, n.d. a).

The Teede Tehnokeskus, has another device, called TGS Pavement. This equipment scans temperature and its uniformity of the asphalt pavement layer that has been paved immediately after the paver and represents these data on real-time in situ and in some background company facilities or even for the Customer. This measurement helps to react in real time with the compaction processes if some cooler spots are located, and also for the Customer it is sufficient data for quality assurance phase. This technology works consistently to provide continuous data flow. Also, this device could be used for bonus motivational systems (Teede Tehnokeskus, n.d.).



Figure 1. Temperature registration behind the paver with thermal camera

3. Automated registration of quality parameters of asphalt layer installation

To compare asphalt parameters registered in standard and automated manners, the experimental investigation needed to be performed. The Ammann ARX 90 Tandem roller was chosen, which could be connected to special remote program, called QPoint for automated asphalt layer parameters registration. This roller was used for wearing asphalt layer paving process in national significance highway road A5 Kaunas–Marijampolė–Suvalkai. The experiment was performed on 20 September 2023. The main focus of this experiment was to compare the data that the QPoint program shows in real time and records with the system for future analysis of the paving works with the data, which are received after the cores are extracted and analysed. In addition, Nuclear Density Gauge (NDG) and infrared thermometer were included in the experiment to get more widely available experimental data for comparison.

Before the tests, a special tablet was mounted in the roller operator cabin (see Figure 2) and the special module of sensors and devices mounted in the top of the roller.

At the first phase of the testing, IR thermometer registered temperature after each pass of the roller, NDG device registered compaction level, density and temperature of the layer and the Qpoint data were extracted from the system afterwards at this specific point. The same procedure was repeated at the second point. At the second phase of the testing, the map of the asphalt layer compaction was analysed and two spots were chosen for the cores extraction (one, that showed the best



Figure 2. Tablet of QPoint program in roller cabin

result of the compaction and one, that showed the worst result). In addition, several points were chosen only for the NDG analysis, to compare the data presented by the NDG and QPoint software.

When compared infrared thermometer output with QPoint system output, results showed that only in 3 measurements (from 9) temperature was the same with some deviation (±3 °C), which consists of only 33% of reliability. The rest of the measurements registered a bigger difference between different registry devices – from 8 to 19 ° C difference. Both of these points temperature registration data is presented in Figures 3 and Figure 4.

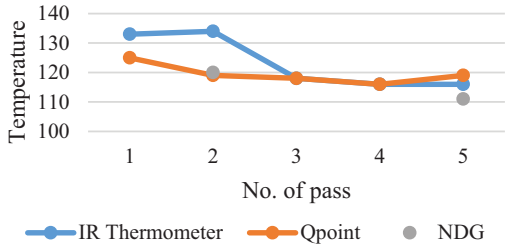


Figure 3. Temperature measurements at the first inspection point with different devices

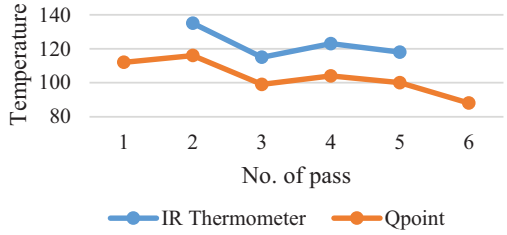


Figure 4. Temperature measurements at the second inspection point with different devices

Second, the compaction could be evaluated. But insofar as the QPoint system registers only dynamic modulus of the compacted layer and the NDG device gives compaction degree value, it is not efficient to compare this data directly. Only comparison could be made between 2 of passes at the first detection point. In both of these passes NDG registered slightly more than 99% compaction degree, but the QPoint system showed drastically different results, dynamic modulus at the fifth pass was almost twice as big as in the second pass. Another point worth noting is the comparison of the results of the NDG device at the same location at the moment of the paving and the next day after the compaction. The degree of compaction and the density results were slightly lower the next day and the content of the air voids was higher as there is an inverse dependency between density with compaction and the content of the air voids. This measurement means that the NDG device is more reliable with the colder layer.

The same misalignment with the dimensions of QPoint and NDG device results (and extracted cores) have been in a second phase of the experiment. The results show that in every possible way, there is no visible connection between all compaction and modulus values.

At the two points (No. 1 and No. 5) cores were chosen to be extracted to evaluate their data in comparison with the NDG device and QPoint. No. 1 from QPoint was chosen as it showed the highest modulus value and No. 5 as it was the lowest modulus value. The results of the NDG device showed a similar connection, but the extracted core results were drastically inverse, as in No. 1 it registered a lower value (97.40%) than in No. 5 (100.20%). The air void content was inverse and in case No. 1 in extracted core it was 9.2 times higher than NDG showed. But in the the No. 5 case – 0.7 times less than NDG showed. This comparison shows that evaluation of the content of air voids is not reliable with NDG at the moment, but it is worth to mention that only two measurements were performed, and it is not sufficient amount of data to perform comparison. The same comparisons were carried out with density parameters, and in case No. 1 it was less than registered with the NDG device. In case no. 5, it was equal to registered with the NDG device. So, one of the two measurements shows significantly reliable results between NDG and extracted core values, as the other was with 6% deviation of tolerance.

4. Contractors' motivation systems based on automated registration systems data

Bonus methodology systems are created in several countries in North Europe to provide quality in asphalt laying processes. The focus of these methodologies nowadays is concentrated on continuous temperature and paving process registration. Furthermore, certain quality parameters must meet at least minimum values compared to the total paved area, in order to receive the bonus. Contractors can get up to 5% of the whole contract fee.

The main indicators for the bonuses are the amount of stops of the paver (not more than 5 stops of more than 2 min length at the 1000 m distance), area of the cold spots (not more than 0.1% of the paved area; required only in Finland) and the area of the risk zones (zones in which the asphalt layer temperature is lower than the average temperature and that consists not more than 5% of the paved area). The main focus of the system is on temperature registration behind the paver (measured with thermal cameras on real-time), compaction of the asphalt layer (measured with GPR after the asphalt layer installation) and pavement roughness (measured 2–4 weeks after the installation of the asphalt). After tests

performed in Finland, the results of this bonus system usage showed that contractors try to put maximum effort in order to reach maximum bonus value and as a secondary result, the asphalt layer installation quality increases (Nevalainen & Pellinen, 2016). According to Estonian Transport Administration estimations, the bonus system in their country led to longer pavement life, saving natural resources, and minimising waste. All these results require only minor investments to set up such a bonus system, and the result of longer pavement life enables saving the public budget for other investments in the future. An average bonus of 3.5% of the cost of the contract works on a specific road result in 20–50% less expenses in the next 20 years for the repairing works of the same road section (Palmi & Truu, 2023).

In the performed survey of specialists (scientists, contractors and customers/builders), results showed drastical changes from the answers, when the bonus system is not introduced and when it is. They believe that it would help Contractors to save a lot of expenses with the bonus payments. The statement about benefits of the real-time data for Contractors to monitor the real situation, was one of the most important factors for the Contractors and less interesting for Customers and Scientists. This logic shows that when there are no additional motivational systems, the automated technologies are helping for Contractors to adapt on real-time with the data on the spot.

62.5% of respondents answered, that they, as Contractors, would definitely use automated technologies if the bonus system would be introduced in Lithuania. 44% of the respondents would encourage their companies to take some steps towards the usage of such technologies. Most of the respondents answered that the 1–2% bonus system value would be appropriate expression to motivate to use automated technologies. Survey showed, that only 3 from 8 Contractors use automated technologies in their daily construction works, although 100% of respondents answered, that they would use such technologies if they would be free of charge or in the case of implementation of additional motivational systems for Contractors.

5. Conclusions

1. According to the literature review, temperature monitoring and specified limits assurance during asphalt layer installation is one of the most important factors effecting durability of the pavement. Several studies are focused on recording temperatures behind the paver. In most cases, Infrared (IR) cameras and scanners are commonly employed and tested to obtain accurate real-time temperature data, which could be used for the quality acceptance phase.
2. Usually, the level of asphalt layer compaction is controlled by destructive testing, extracting cores and performing specimens density tests in the laboratory. Currently, technologies for automated compaction registration are under testing and optimisation.
3. The experiment results were subjected to a cautious comparison and analysis due to varied data dimensions and lack of data. Despite these challenges, the data exhibited limited reliability. Only a minority of points (up to 30%) demonstrated alignment between separate devices and measurements. Currently, these technologies lack the reliability to ensure pavement quality by measuring only one or two points throughout the road section.
4. Bonus methodology systems, implemented in several North European countries to improve the quality of asphalt installation, focus primarily on continuous temperature and paving process monitoring. Contractors can apply for bonuses by exceeding minimum quality parameters, earning up to 5% of the total contract price. The results from Finland indicate improved quality of asphalt installation. Minimal investments in the establishment of such systems contribute to the long service life of the pavement, reducing future public budget expenses for road repairs by 20–50% over 20 years.

Recommendations

In order to encourage the Contractors in Lithuania to use the automated registration technologies, the Customers are suggested to begin the legal basis framework adjustment in order to accept such technologies usage in road construction works. Also bonus systems are working efficiently in other North Europe countries in order to expand and motivate Contractors to begin the usage of automated registration technologies to understand its principles of operation, gain knowledge, experience for operators and get used to usage and to see its benefits. Later, bonus system could be adapted and expanded with the requirements for Contractors and the quality parameters, but the first step has to be only habituation to use such technologies in every asphalt paving operation.

Acknowledgements

Authors are thankful to the association „Lietuvos keliai“ for assistance to carry out the work, to the company „Erco technologies“ for providing the technologies for the experiment, to the company „Fegda“ for letting to perform an experiment in their construction site.

References

BOMAG. (n.d.). *Asphalt Manager: compacting better and faster with BOMAG technology.* https://www.bomag.com/ww-en/technologies/overview/asphalt-manager/

Chang, G., Xu, Q., Rutledge, J., & Garber, S. (2014). *A Study on intelligent compaction and in-place asphalt density.* https://www.fhwa.dot.gov/construction/ictssc/pubs/hif14017.pdf

Chang, G., Xu, Q., Rutledge, J., Horan, B., Michael, L., White, D., & Vennapusa, P. (2011). *Accelerated implementation of intelligent compaction technology for embankment subgrade soils, aggregate base, and asphalt pavement materials.* https://www.fhwa.dot.gov/pavement/ic/pubs/hif12002.pdf

HAMM. (n.d.). *Smart compaction – measure, document and analyse compaction processes Smart Compaction.* https://www.wirtgen-group.com/en-al/news/hamm/smart-compaction/

HAMM. (n.d.). *HCQ (HAMM Compaction Quality) – guaranteed, documented quality.* https://www.wirtgen-group.com/en-gb/products/hamm/technologies/hcq-hamm-compaction-quality/

Kassem, E., Liu, W., Scullion, T., Masad, E., & Chowdhury, A. (2015). Development of compaction monitoring system for asphalt pavements. *Construction and Building Materials, 96,* 334–345. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.07.041

Kassem, E., Scullion, T., Masad, E., & Chowdhury, A. (2012). Comprehensive evaluation of compaction of asphalt pavements and a practical approach for density predictions. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2268*(1), 98–107. https://doi.org/10.3141/2268-12

Makarov, D., Vahdatikhaki, F., Miller, S., Jamshidi, A., & Dorée, A. (2021). A framework for real-time compaction guidance system based on compaction priority mapping. *Automation in Construction, 129,* Article 103818. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103818

Nevalainen, N., & Pellinen, T. (2016). The use of a thermal camera for quality assurance of asphalt pavement construction. *International Journal of Pavement Engineering, 17*(7), 626–636. https://doi.org/10.1080/10298436.2015.1007240

Nieves, A. (2014). *Intelligent compaction. Techbrief. Case study.* https://www.fhwa.dot.gov/construction/ictssc/pubs/hif13053.pdf

Palmi, A., & Truu, M. (2023, October 2–6). Bonus system contract-smart motivator for improving paving quality and sustainability. In *Proceedings of the 27th World Road Congress.* Prague, Czech Republic.

Savan, C. M., Ng, K. W., & Ksaibati, K. (2016). Benefit-cost analysis and application of intelligent compaction for transportation. *Transportation Geotechnics, 9,* 57–68. https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2016.07.001

Teede Tehnokeskus. (n.d.). *Pavement thermal measurements (TGS).* https://teed.ee/services/testing-and-measurement/measurements/pavement-thermal-measurements-tgs/

ter Huerne, H. L., Miller, S. R., & Dorée, A. G. (2009, July 8–10). Monitoring hot mix asphalt temperature to improve homogeneity and pavement quality. In E. Santagata (Ed.), In *Proceedings of the sixth international conference on maintenance and rehabilitation of pavements and technological control* (pp. 556–565). Torino, Italy. https://ris.utwente.nl/ws/portalfiles/portal/5373065/2009_HHU_SM_mairepav06_paper_final.pdf

TOPCON. (n.d. a). *C-63 Compaction System. Pass-one. Check. Pass-two. Check. Compaction and tracking system.* https://mytopcon.topconpositioning.com/gb/paving-milling-and-compacting/concrete-paving/c-63-compaction-system

TOPCON. (n.d. b). *Intelligent compaction is the key.* https://www.topconpositioning.com/insights/intelligent-compaction-key

Vögele. (n.d. a). *Vögele roadscan temperature-measurement system.* https://www.wirtgen-group.com/binary/full/o16082v89_RoadScan_EN_2521018_oPW_0318.pdf

Vögele. (n.d. b). *WITOS paving Docu: Digital documentation of asphalt paving job sites.* https://www.wirtgen-group.com/binary/full/o16086v89_WITOSPaving_Docu_EN_2731249_mPW_0319.pdf

Volvo. (n.d.). *Pave assist. Unlock first-class paving results.* https://www.volvoce.com/europe/en/volvo-services/productivity-services/pave-assist/

Wang, S., Sui, X., Leng, Z., Jiang, J., & Lu, G. (2022). Asphalt pavement density measurement using non-destructive testing methods: current practices, challenges, and future vision. *Construction and building materials, 344,* Article 128154. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128154

Xu, G., Chang, G. K., Wang, D., Correia, A. G., & Nazarian, S. (2022). The pioneer of intelligent construction – An overview of the development of intelligent compaction. *Journal of Road Engineering, 2*(4), 348–356. https://doi.org/10.1016/j.jreng.2022.12.001

Yuan, T., Wang, Z., Hong, Q., Chen, J., Lei, J., & Meng, Y. (2021, November 19–21). Intelligent paving and rolling construction technology of asphalt pavement. In Proceedings of the International Conference on Advanced Technologies and Applications of Modern Industry (ATAMI 2021). *Journal of Physics: Conference Series, 2185*(1). https://doi.org/10.1088/1742-6596/2185/1/012047

ASFALTO DANGOS ĮRENGIMO KOKYBĖS PARAMETRŲ AUTOMATIZUOTŲ REGISTRAVIMO SISTEMŲ ANALIZĖ

I. KAVECKAS, A. VAITKUS

Santrauka. Šiais laikais visi naujai pakloti asfalto sluoksniai yra vertinami ir kontroliuojami įprastiniu ardančiuoju, duomenų nesuteikiančiu būdu, t. y. realiu laiku. Tankinimo ir temperatūros registravimo sistemos šiuo metu yra labiausiai pažengusios, bet vis dar testavimo stadijose. Šiaurės Europos šalys pristatė premijų sistemos metodiką, skatinančią rangovus naudotis automatizuotomis registravimo sistemomis bei didinti atliekamų darbų kokybę. Atliktas eksperimentinis pakloto asfalto sutankinimo tyrimas, kurio metu gauti duomenys, palyginti su ardančiųjų bandymų rezultatais, rodo ribotą automatizuotų metodų patikimumą. Specialistų apklausa parodė, kad 3 iš 8 rangovų kasdieniuose statybos darbuose naudoja automatizuoto registravimo technologijas. Specialistai teigia, kad ženkliai didesnį rangovų įsitraukimą laiduotų premijų sistemos įdiegimas arba mažesni minėtų technologijų kaštai. Respondentų nuomone, automatizuotos registracijos technologijos žymiai padidintų kelių tiesimo kokybę, tačiau šiuo metu jos yra per brangios naudoti be papildomo skatinimo.

Reikšminiai žodžiai: asfalto sluoksnis, asfalto danga, asfalto klojimas, automatizuotas registravimas, kokybiniai parametrai.

VILNIUS TECH
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

27-oji Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis" teminė konferencija
Proceedings of the 27th Conference for Junior Researchers "Science – Future of Lithuania"

DARNI APLINKA / SUSTAINABLE ENVIRONMENT

ISSN 2029-7157 / eISSN 2029-7149
2024 m. balandžio 25 d., Vilnius, Lietuva
25 April 2024, Vilnius, Lithuania
eISBN 978-609-476-359-5
https://doi.org/10.3846/da.2024.015

Kelių ir miestų inžinerija / Road and Urban Engineering *https://vilniustech.lt/346238*

TRANSPORTO ELEKTRONINIO BILIETO SISTEMŲ DIEGIMO IR PALAIKYMO PROCESŲ PATIRTIS, IŠŠŪKIAI IR PROBLEMOS

Andrius SAMUILOVAS*, Rasa UŠPALYTĖ-VITKŪNIENĖ

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Aplinkos inžinerijos fakultetas, Kelių katedra, Vilnius, Lietuva
**El. paštas andrius.samuilovas@stud.vilniustech.lt*

Gauta 2024 m. kovo 4 d.; priimta 2024 m. kovo 18 d.

Santrauka. 2024 metais transporto e. bilieto sprendiniai veikė 11 Lietuvos miestuose / savivaldybėse. Visus vienija tie patys tikslai – apmokėjimo už kelionę patogumas, lanksti kainodara, esamų keleivių išlaikymas ir naujų keleivių pritraukimas, duomenų apie keliones rinkimas, analizė bei sprendimai remiantis jais. Skiriasi patirtis, diegiamų sistemų funkcionalumo gylis, integracijos galimybės, sistemos palaikymo ir priežiūros organizavimas, sistemos savininko statusas (miestas, VT organizatorius, vežėjas). Visus analizuotus pavyzdžius vienija tai, jog diegiami naujausi sprendimai, orientuoti į keleivio poreikius, o ne į paslaugos organizatorių ir vežėją. Pagrindinis straipsnio tyrimo tikslas – įvertinti sistemų diegimo patirtį, funkcionalumą ir iššūkius. Tyrimas darytas vertinant patirtį Lietuvos savivaldybėse, kurios jau įsidiegė elektroninį bilietą.

Reikšminiai žodžiai: viešasis transportas, regioninė integracija, elektroninis bilietas, elektroninio bilieto sistemos, apmokėjimas už kelionę.

1. Įvadas

Augant gyventojų mobilumui, didėja spaudimas plėsti viešojo transporto sistemas, ypač didžiųjų miestų, iš pradžių jungiant žiedines savivaldybes, ir tokiu būdu kurti regionines integruotas sistemas (Burinskienė et al., 2011). Taip atsiranda papildomas bilietų sistemų funkcionalumas. Savivaldybėms planuojant intelektinių transporto sistemų diegimą, naudojant ES paramą ir investicijas, iš dalies apribojama sprendimų priėmimo laisvė – projektai privalo būti diegiami tik funkcinėse zonose, tokiu būdu papildomai skatinant regioninį tarpinstitucinį bendradarbiavimą (ES investicijos, 2023).

Viešojo transporto elektroninio bilieto sistemos sprendinių įdiegimas gali suteikti keletą privalumų tiek paslaugos organizatoriui, tiek keleiviams. Toliau pateikiama keletas viešojo transporto bilietų sistemos privalumų.

Patogumas: bilietų pardavimo sistema – tai patogus ir efektyvus būdas įsigyti bilietą ir naudotis viešojo transporto paslaugomis. Keleiviai gali lengviau ir paprasčiau įsigyti bilietus naudodamiesi įvairiais mokėjimo būdais, tokiais kaip grynieji pinigai, banko kortelė ar mokėjimas mobiliuoju telefonu. Daugelis tyrimų pabrėžė technologijų svarbą bilietų pardavimo sistemose. Tventės universitete (*University of Twente*) atliktas tyrimas parodė, kad mobiliosios bilietų pardavimo sistemos gali suteikti keleiviams patogesnį ir efektyvesnį būdą įsigyti bilietus ir jais naudotis (Witbreuk ir De Jong, 2001).

Sutrumpintas įsigijimo laikas: įdiegę elektroninio bilieto sistemą keleiviai gali greitai ir lengvai įsigyti bilietus, o tai sutrumpina laukimo laiką. Keli tyrimai pabrėžė bilietų pardavimo sistemų svarbą gerinant klientų patirtį. St. Galeno universitete atliktas tyrimas parodė, kad mobilioji bilietų pardavimo sistema Šveicarijos viešojo transporto sistemoje pagerino klientų pasitenkinimą ir sumažino laukimo laiką (Barabino et al., 2020).

Patobulintas mokėjimų rinkimas: elektroninio bilieto sistema gali pagerinti bilietų pajamų surinkimą ir sumažinti kelionės mokesčio vengimą, nes ji užtikrina skaidrų ir saugų mokėjimo procesą. Tai gali padidinti bilietų pardavimo pajamas. Pasaulio banko atliktas tyrimas parodė, kad elektroninės bilietų pardavimo sistemos įdiegimas autobusų sistemoje Tanzanijoje pagerino bilietų pajamų surinkimą trečdaliu ir sumažino veiklos sąnaudas (Arroyo-Arroyo et al., 2022).

© 2024 Autoriai. Leidėjas Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Šis straipsnis yra atvirosios prieigos straipsnis, turintis Kūrybinių bendrijų (Creative Commons) licenciją (CC BY 4.0), kuri leidžia neribotą straipsnio ar jo dalių panaudą su privaloma sąlyga nurodyti autorių ir pirminį šaltinį.

Duomenų analizė realiuoju laiku: elektroninio bilieto sistema (bilietų žymėjimas) gali pateikti duomenis apie keleivių kelionių srautus ir modelius realiuoju laiku, o tai gali padėti transporto įmonėms optimizuoti savo paslaugas, operatyviai reaguoti į srautų pokyčius ir pagerinti efektyvumą.

Integracija su kitomis transporto rūšimis: elektroninio bilieto sistemą galima integruoti su kitomis transporto rūšimis, pvz., autobusais, traukiniais ir keltais, todėl keleiviai gali įsigyti ir naudoti įvairių transporto rūšių bilietus.

Sumažėjusios veiklos sąnaudos: elektroninio bilieto sistema gali automatizuoti kelis procesus, pigesnė platinimo paslauga nei fizinėje platinimo vietoje eliminuoja logistikos sąnaudas – sumažina rankų darbo poreikį ir keleivių vežimo veiklos sąnaudas.

Tyrimo tikslas – įvertinti sistemų diegimo patirtį, funkcionalumą ir iššūkius.

2. Elektroninio bilieto sistemų diegimo Lietuvoje patirtis

Viešojo transporto bilietų skaitmenizavimas prasidėjo 2007 metais, kuomet Klaipėdoje, siekiant supaprastinti popierinių bilietų platinimą bei pagerinti keleivių kontrolę, buvo įdiegta pirmoji Lietuvoje elektroninio bilieto sistema. Šis sprendinys buvo paremtas paskyros ID (angl. *ID account based*) sprendiniu.

Naujos sistemos privalumai, palyginti su buvusiu popieriniu bilietu:

1) nereikia planuoti gamybos užsakymų, nelieka neparduotų bilietų likučių, bilietą galima pildyti 7/24/365 režimu internetu;
2) pametus ar sugadinus kortelę ir įrodžius, kad ta kortelė priklauso atitinkamam keleiviui, jam suteikiama galimybė užblokuoti senąją kortelę ir aktyvuoti naująją, išsaugant ankstesnės kortelės pinigų likutį;
3) ilgalaikių terminuotų bilietų įvedimas (popierinis bilietas fiziškai susidėvėtų);
4) galimybės diegti lanksčią integruotą tarifų sistemą;
5) kainodaros paprastumas;
6) bilietų įsigijimo ir žymėjimo greitis; tai prisideda ir prie tvarkaraščių patikimumo, mat mažinant bilietų pardavimo autobuse laiką didinamas viešojo transporto greitis.

2005–2010 metais buvo įgyvendinamas 3 didžiųjų Lietuvos miestų projektas „Elektroninio bilieto viešajame transporte ir keleivių informavimo sistemos sukūrimas“ (Lietuvos Respublikos Valstybės kontrolė, 2011). Tiek pirkimo, tiek diegimo procesas labai užsitęsė. Viešoje erdvėje projekto įgyvendinimo rezultatai vertinami nevienareikšmiškai, tačiau projekto metu įdiegti elektroninio bilieto sprendiniai Vilniuje, Kaune ir Klaipėdoje funkcionavo. Įdiegti sprendiniai buvo skirtingi: Kaune veikė informacijos įrašymo sprendimas, o Vilniuje ir Klaipėdoje – mišrus sprendimas, integruojantis tiek informacijos įrašymo, tiek paskyros ID sprendinį.

Vilniuje pirminis sprendinys buvo papildytas daline ID sistemos posisteme – „mTicket“ programėle, kuri nebuvo susieta su įranga veikiančia transporto priemonėse, o 2023 metais buvo pereita prie paskyros ID sprendinio. Kaune 2020 metais pereita prie paskyros ID su kaupiamuoju bilietu sistemos („Žiogas“), kartu atnaujinant

1 lentelė. Lietuvoje įdiegtos elektroninio bilieto sistemos

Miestas	Sprendimas	Užsakovas / diegėjas	Miestas	Priemiestis	Žymėjimas
Vilnius	ID	„Judu“ / „Ridango“	+		Tik terminuoto bilieto aktyvavimas ir vienkartinio popierinio QR žymėjimas
Kaunas	ID	„Kauno autobusai“	+	Pratęstuose miesto maršrutuose	Privalomas (veikia mėnesio kaupiamasis bilietas)
Klaipėda	ID	KKT / „Ridango“	+	+	Privalomas (veikia 1 dienos kaupiamasis bilietas)
Panevėžys	ID	PKT / „Ridango“	+	Planuojama	Privalomas
Šiauliai	Įrašymas / ID	„Busturas“ / R&G PLIUS	+	+	Privalomas
Alytus	ID	„Kautra“ / „Du trys“	+	Planuojama	Privalomas
Marijampolė	ID	„Du trys“	+	+	Privalomas
Druskininkai	ID	„Kautra“ / „Du trys“	+	+	Privalomas
Tauragės regionas	ID	„Žaliasis regionas“ / „Du trys“ + „Lexita“	+	+	Privalomas
Jonava	ID	„Jonavos autobusai“	+		QR kodo skenavimas
Kėdainiai	ID	„Kėdbusas“ / „Reception IT“	+		QR kodo skenavimas

įrangą transporto priemonėse, o Klaipėda nuo 2018 metų naudoja iki galo paskyra ID paremtą sprendinį ir naują bilietų nuskaitymo įrangą transporto priemonėse.

2024 m. sausį–vasarį autoriai atliko ekspertinę apklausą, kurios metu buvo apklausti 9 specialistai, turintys ne mažesnę nei 4–10 metų patirtį viešojo transporto organizavimo ir planavimo srityje. Pateikti klausimai, kurių pagalba įvertinti pagrindiniai įdiegtų sistemų veikimo principai, kainodara, sistemos veikimo arealas (miestas / priemiestis), dėmesys sistemos veikimo patikimumui, sistemos. Kartu analizuota vieša informacija tinklalapiuose apie elektroninio bilieto naudojimą, bilietų rūšis ir kitus klausimus.

Susipažinus su veikiančiais sprendiniais sudaryta savivaldybių patirtį apibendrinanti lentelė, kurioje lyginami įdiegti sprendiniai (žr. 1 lentelę).

Jonavos ir Kėdainių pavyzdžiai įtraukti į bendrą lentelę, tačiau juose veikia nišinis, tik mobilaus bilieto, sprendimas, kuomet šalia esamos tradicinės bilietų sistemos įdiegta minimalaus funkcionalumo telefono programėlė su virtualia keleivio paskyra, kur apmokėjimas už kelionę vyksta transporto priemonėje skenuojant statinį QR kodą, pinigai už bilietą (fiksuota suma už vienkartinę kelionę) nuskaitomi nuo paskyros pinigų likučio tik važiuojant miesto maršrutu. Šiame sprendime transporto priemonė neturi jokios įrangos (nei skirtos vairuotojui, nei bilietų žymėjimo įrangos, skirtos keleiviams), platinimo tinklas nėra pajungtas, kitų funkcijų nėra, todėl šis pavyzdys detaliau neanalizuojamas. Galima pripažinti, jog tai gali būti vertinama kaip pirminis žingsnis sukuriant alternatyvų būdą apmokėti už kelionę, siekiant skaitmenizuoti bent dalį kelionių duomenų.

Šiauliuose veikianti sistema išsiskiria tuo, jog veikia informacijos įrašymo sprendinys, kurį planuojama keisti į paskyros ID. Iš dalies paskyra paremtas sprendinys taip pat egzistuoja, tai yra „Busturo“ programėlė, tačiau abi sistemos nėra integruotas. Įmonės atstovų teigimu, jau yra parengti artimiausi planai atnaujinti sistemą, kad visa informacija būtų kaupiama paskyroje, kuri veiktų tiek su elektroninio bilieto kortele, tiek su programėle.

Susipažinus su esamomis sistemomis ir miestais, kuriuose jos veikia, akivaizdu, jog trūksta Kauno rajono, kuriame viešojo transporto paslaugas teikia UAB „Kautra“. Šis vežėjas kartu su UAB „Du trys“ turi patirties diegiant ir prižiūrint e. bilieto sistemas, be to, anot diegėjų, transporto priemonės jau turi dalį būtinos įrangos (bilietų pardavimo kasos). Pastaruoju metu rajono valdžios dėmesys viešojo transporto sistemai pavydėtinas – paslauga teikiama visiškai naujomis transporto priemonėmis, tačiau bilietų sistema, nepaisant potencialo, nėra atnaujinta. 2023 metų žinia apie dvikryptę maršrutų integraciją: Kauno rajono organizuojamų maršrutų autobusai įvažiuoja į Kauno miestą su savo bilietų sistema, dalis Kauno miesto UAB „Kauno autobusai“ maršrutų su mieste veikiančia sistema pratęsiami į Kauno rajono teritoriją, tai žymi galimos gilesnės integracijos pradžią, tikėtina, kad ateityje Kauno rajone veiks išplėsta „Žiogo“ elektroninio bilieto sistema.

Tauragės regiono sprendimas išsiskiria tuo, jog įdiegtos ir sujungtos 2 skirtingos sistemos: 1) įrangą transporto priemonėse, bilieto funkcionalumą diegė ir prižiūri UAB „Du trys“; 2) programinę sistemos dalį, pasiekiamą naršyklėje, telefono aplikaciją kūrė ir prižiūri UAB „Lexita“. Viena vertus, e. bilieto sistema diegiama geografiškai plačiame areale (4 savivaldybės), kuriame nemažą dalį užima ne vietinis, miesto, o priemiestinis tinklas, aptarnaujamas 3 vežėjų (UAB „Tauragės autobusai“, UAB „Jurbarko autobusai“, UAB „Šilalės autobusai“), kita vertus, pats diegiamas 2 skirtingų šalių sprendimas reikalauja papildomos dviejų skirtingų sistemų integracijos. Viešųjų pirkimų procedūros reikalauja prekių ir paslaugų pirkimo atskyrimo, tačiau tai potencialiai prailgina diegimo terminą bei gali lemti netinkamą sistemos veikimą ir jos nepatikimumą, nes tampa sudėtingiau identifikuoti sutrikimą, jo priežastį ir sutarties šalį, kuri už tai atsakinga.

Vilniaus miestas yra vienintelė vieta, kur net ir atnaujintas elektroninio bilieto nuskaitymo įrenginys (skaitytuvas) kol kas nėra iki galo išnaudojamas. Skirtingai nuo kitų pavyzdžių, Vilniuje atnaujinat sistemą nepavyko įtvirtinti taisyklės, jog visų elektroninių bilietų žymėjimas yra privalomas (kaip pažymėta anksčiau, laikmenos nuskaitymas trunka 0,2 s, t. y. tiek, kiek užtrunkama praeiti pro skaitytuvą). Planuojama, kad 2024 metais skaitytuvuose pradės veikti bekontaktis bankinių kortelių žymėjimas, o kol kas jie naudojami tik vienkartinių popierinių bilietų, perkamų pas vairuotoją, QR kodui pažymėti ir terminuotiems bilietams aktyvuoti. Skaitytuvus pavyktų įveiklinti pilna apimtimi ir tuo atveju, jei būtų supaprastintos bilietų rūšys ir pagal Kauno ar Klaipėdos pavyzdį būtų įdiegtas kaupiamojo bilieto principas, skatinantis žymėti vienkartinės kelionės bilietą, ilgainiui, susikaupus tam tikram kelionių skaičiui, leidžiant mokėti dienos / savaitės / mėnesio ar ilgesnio termino bilieto kainą.

Klaipėdos ir Panevėžio sistemos, jų veikimo principus (bilietų rūšys, platinimo tinklas), pagal diegimo ir priežiūros organizavimą yra identiškos. Kelionei apmokėti reikia turėti e. bilieto kortelę, kurią galima pildyti terminuotais (1/3/7/30/180 ir 365 dienų) bilietais arba pinigais (priglaudus kortelę komposteris nuskaitys vienkartinės kelionės bilieto kainą). Nuskaitytas vienkartinis elektroninis bilietas galioja iki maršruto pabaigos (Panevėžyje toks bilietas turi papildomą persėdimo funkciją). Neturint kortelės su aplikacija galima įsigyti vienkartinį bilietą (QR). Tokiu atveju skenuojamas telefono ekranas.

E. piniginės veikimas šių miestų sistemoje yra universaliausias apmokėjimo metodas: keleiviui tereikia atlikti pinigų papildymo veiksmą, o žymint e. bilieto kortelę transporto priemonėse esantis skaitytuvas automatiškai nuskaito pinigų sumą pagal tame maršrute galiojančius bilietų produktus, pvz., miesto maršrute nuskaitoma miesto vienkartinio bilieto kaina, o priemiesčio maršrute – kaina, priklausanti nuo važiuojamo atstumo, Klaipėdos atveju ta pati e. piniginė tinka ir kelionei keltu apmokėti. Keleiviui nebėra aktualu domėtis ir aiškintis apie skirtingų paslaugos rūšių kainas, aktualu tik pasirūpinti teigiamu e. piniginės lėšų likučiu. Taip pat egzistuoja vienkartinis popierinis e. bilietas (su QR kodu ant nugarėlės), kurį galima įsigyti Lietuvos spaudos kioske, „Narvesen" parduotuvėje arba iš vairuotojo autobuse.

Alytaus, Marijampolės ir Druskininkų sistemos turi bendrą vardiklį – vežėją (UAB „Kautra"), bet kiekvienos iš savivaldybių tas pats bazinis sprendimas turi savo variacijų; ryškiausias skirtumas nulemtas to, kad egzistuoja skirtingos – Alytaus miesto ir Alytaus rajono – savivaldybės: Alytuje, skirtingai nuo kitų miestų, elektroninis bilietas veikia tik miesto maršrutuose.

Nagrinėjami pavydžiai rodo, jog sprendimas, kuris veikia ne tik mieste, bet ir priemiestyje, įmanomas, kuomet už viešojo transporto paslaugos organizavimą yra atsakingas vienas konkretus viešojo transporto organizatorius (Klaipėda, Tauragė, potencialiai – Panevėžys) arba vežėjas (Šiauliai, Druskininkai), įdiegęs bilietų / apmokėjimo už kelionę sprendinį, kuris: 1) supaprastina keleivio kelionę; 2) surenka apie keliones duomenis, privalomus finansinėms ataskaitoms, kurių pagrindu savivaldybės apskaito savo dalį ir dalinasi finansinius įsipareigojimus mokėti transporto lengvatas, subsidiją ar kitaip finansuoti paslaugos teikimą. LR Susisiekimo ministerijos patvirtintos rekomendacijos taip pat ragina besiribojančias savivaldybes bendradarbiauti tarpusavyje, kuriant elektroninių keleivinio transporto bilietų sistemas, ir kartu diegti vieno bilieto sistemas. Kai viena iš besiribojančių savivaldybių jau turi įdiegtą elektroninių keleivinio transporto bilietų sistemą, kitoms su šia savivaldybe besiribojančioms savivaldybėms rekomenduojama jungtis prie šios sistemos.

Analizuojant miestų patirtį kuriant, diegiant ir prižiūrint elektroninio bilieto sistemą, pagrindinis klausimas buvo: kaip buvo vykdomas diegimas ir kaip organizuojama priežiūra – kas ir kokius veiksmus (įrangos keitimas / remontas / programavimas) atlieka. Stebint ir analizuojat kitų miestų / regionų patirtį, galima daryti išvadą, kad bilietų / apmokėjimo už kelionę sprendinys privalo veikti patikimai. Analogišką viešojo transporto paslaugos reikalavimą rodo absoliuti dauguma keleivių apklausų: besinaudojančiųjų šia paslauga skaičių lemia paslaugos patikimumas, greitis, saugumas. Įdiegus technologijas, kurios teikia keleiviui realius duomenis, trikdžiai, dėl kurių stotelės švieslentė ar telefono ekranas nerodo atvykstančios transporto priemonės, arba bilietų skaitytuvo gedimas, dėl kurio nepavyksta tinkamai apmokėti kelionės, kenkia paslaugos reputacijai bei turi neigiamų pasekmių.

Tinkamas elektroninio bilieto sistemos įrangos diegimas, tinkami kabeliai, laidai, jungtys, bei tinkamas testavimas yra privalomi žingsniai, siekiant, jog sistemos diegimui keliamas tikslas – įdiegti patogų, patikimą, modernų apmokėjimo sprendinį – būtų pasiektas. Nemažiau svarbu sistemos veikimo stebėsenos, priežiūros, reagavimo į problemas (prisijungimas per nuotolį, įrangos modulių keitimas) organizavimas, nes sistemos vartotojo (keleivio ir vairuotojo) patirtis yra ypač svarbi.

Vartotojo patirtis / komfortas yra vienas iš svarbiausių kriterijų vertinant elektroninio bilieto sistemą. Moksliniai tyrimai parodė, kad sistema turi būti paprasta naudoti, intuityvi ir patogi keleiviams bei pasiūlyti įvairias, skirtingus poreikius atitinkančias mokėjimo galimybes. Nuo sistemos naudojimo patogumo priklausys, kokią susisiekimo rūšį kelionei atlikti pasirinks gyventojas (Filipović et al., 2009; Kazi et al., 2018; Soegoto et al., 2020; Wang et al., 2020;).

7 iš 9 pavyzdžių Lietuvoje pasirinktas variantas, kuomet būtiniausią pirminę priežiūrą (1 lygio) atlieka pats užsakovas. Pirmas lygis – tai gedimų stebėsena bei operatyvus jų šalinimas per nuotolį ir / ar skubus įrangos elementų pakeitimas, užtikrinant, kad greitai šalinant trukdžius būtų minimizuota rizika prarasti duomenis (transporto priemonių važiavimo ir bilietų žymėjimo duomenys) ir pajamas (vienkartinių bilietų žymėjimas). Antras lygis – tai programinė sistemos veikimo priežiūra (duomenų pasiekiamumas naršyklėje, platinimo tinklo veikimas, įrenginių programinės įrangos veikimas, jos atnaujinimas ir pan.) ir tai jau yra diegėjo atsakomybė.

Skirtingai nuo kitų pavyzdžių, Vilniaus ir Tauragės atveju, vykdant tiek pirmo, tiek antro lygio priežiūrą, kliaunamasi sutartimi su diegėju. Nežinant sutarties detalių, priežiūros įkainių ir reakcijos greičio, sudėtinga vertinti tokį pasirinkimą. Tačiau mąstant apie priežiūros proceso suvaldymą apskritai ir įvertinant faktą, jog įranga veikia judančiose transporto priemonėse lauko sąlygomis, akivaizdu, kad dėl vibracijos, drėgmės, dulkių ir temperatūros bei elektros įtampos svyravimų įrenginių veikimas gali sutrikti. Tokiu atveju būtų efektyviau, jei užsakovas / savininkas turėtų savo parengtą personalą, pvz., IT infrastruktūros specialistą, kurio viena iš darbo užduočių būtų užtikrinti, jog darbo dienos pradžioje visos transporto priemonės turi veikiančią įrangą, o jei gedimas atsiranda reiso metu – operatyviai reaguoti. Finansine prasme tai nelemtų didesnių išlaidų (darbuotojas atlieka ir kitas užduotis) nei tos, kurios atsirastų

pasirašius aptarnavimo sutartį su trečia šalimi, be to, toks pasirengimas labai svarbus ir dėl paslaugos teikimo reputacijos.

Tie patys principai privalo galioti ir sistemos diegimo nulinėje fazėje, t. y. ruošiant transporto priemonių laidus ir instaliuojant įrangą. Kiekviena transporto priemonė ir atlikti darbai privalo būti audituojami individualiai, patikrinant visą įrangos veikimą ir funkcionalumą: 1) vairuotojo prisijungimas ir ryšys su serveriu; 2) apsikeitimas duomenimis; 3) GPS koordinačių nustatymas; 4) garsinių pranešimų transliavimas ir kt. Patikrinus visų transporto priemonių veikimą ir įvertinus rastus trūkumus, galima tinkamai planuoti testavimą ir galutinį sistemos paleidimą.

Vilniaus pavyzdys nuo kitų skiriasi ir tuo, kad keleivis ne visuomet privalo žymėti bilietą (kai kurių laikmenų bilietų galima nežymėti). Kitose 8 sistemose bilietų žymėjimas yra privalomas ir tokiu būdu kaupiami duomenys bei analizuojama kelionių dinamika, reisų užpildymas, finansinėms ataskaitoms kaupiama tam tikrų kategorijų keleivių kelionių statistika, pvz., statistika, reikalinga savivaldybėms, kad atsiskaitytų su vežėjais už mokinių pavėžėjimą. Kelionių duomenis galima kaupti ir pasitelkiant apklausas, lauko tyrimus ar skaičiuokles transporto priemonėse, tačiau bilietų žymėjimo duomenys yra operatyviausi, jie renkami kasdien ir suteikia papildomą vertę – parodo vidutinio keleivio paveikslą (ne tik pagal skirtingas bilietų rūšis – vienkartinius, terminuotus ir kt. bilietus, bet ir pagal socialines kategorijas (lengvatos dydis).

Pagal bilietų rūšis visus sprendinius vienija baziniai dalykai: 1) vienkartinis bilietas ir 2) terminuotas bilietas. Skiriasi tik terminuotų bilietų trukmė – nuo 1 dienos iki 365 dienų (išimtis – 1095 dienų bilietas Kauno mieste), beje, sistemos, įdiegtos „Kautros“, neturi transporto programėlės. Analogiška situacija yra ir su įvairių laikmenų panaudojimu: 1) popierinis bilietas perkamas pas vairuotoją; 2) e. bilieto kortelė (tiek speciali transporto kortelė, tiek integruota kartu su e. mokinio pažymėjimu); 3) išmanioji programėlė (išskyrus Alytų, Marijampolę ir Druskininkus).

Visose įdiegtose viešojo transporto sistemose kelionės yra mokamos (Miknevičius, 2024). Tauragės regionas su savo lengvatine kainodara išsiskiria iš kitų, tačiau bilietas vis tiek turi kad ir simbolinę kainą ir privaloma jį pažymėti. Visose kitose savivaldybėse, kuriose veikia elektroninio bilieto sistemos, keleiviai viliojami įvairiomis bilietų rūšimis ir jų kainomis, priklausančiomis nuo važiavimo dažnio, bei platinimo kanalų įvairove.

Apklausiant nepavyko surinkti visų miestų informacijos apie tai, kokią dalį keleivio vežimo sąnaudų sudaro e. bilieto sistemos priežiūra. Verta pažymėti, jog tais atvejais, kurie nurodyti, – bent didžiuosiuose miestuose – ta dalis yra 0,5–2 proc. metinio biudžeto.

Paskutinė dalis buvo apie bendrą įrangos funkcionalumą. Jau buvo pažymėta, kad apskritai elektroninio bilieto sistema remiasi ne tik bilietais ir apmokėjimo būdais. Privalomu jos atributu yra GPS koordinačių ir važiavimo stebėsena, kurios metu gauti duomenys būtini ne tik vidiniam naudojimui (tvarkaraščių vykdymo stebėsenai ir pan.), bet ir keleiviams realiu laiku informuoti bei kelionėms planuoti. Šią funkciją turi visos Lietuvoje diegtos sistemos (www.stops.lt/) suvedus miesto pavadinimą pasiekiami tvarkaraščiai, stotelių ir maršrutų žemėlapis bei važiavimo realiu laiku duomenys).

Pagal kitas galimas integruoti funkcijas situacija skirtinga: dalyje sistemų garsiniai pranešimai apie stoteles yra integruoti, o kitais atvejais jie veikia kaip autonominė sistema. Klaipėdos, Alytaus ir Druskininkų atveju, vairuotojui pasirinkus maršrutą ir reisą, ši informacija automatiškai perduodama ir rodoma išorinėse / vidinėse švieslentėse, o kitais atvejais ji vėlgi veikia kaip autonominė sistema. Tas pats galioja ir keleivių skaičiavimo įrangai: Alytuje, Marijampolėje ir Druskininkuose ji yra integruota, o Vilniuje ir Šiauliuose veikia atskirai.

Visi analizuoti pavyzdžiai atitinka pasaulines veikiančių elektroninio bilieto sprendinių tendencijas. Jei diegiama naujai, tai privalomas tik paskyros ID sprendinys. Prieš kelis dešimtmečius įdiegtos sistemos, grįstos informacijos įrašymo principu, taip pat keičiamos į paskyros ID sprendinius. Juolab jei miestuose siekiama diegti ir plėsti „Maas“ (angl. *mobility as a service*) principus, tokia visas judėjimo rūšis vienijanti platforma taip pat kuriama tik vartotojo paskyros pagrindu. Visose Lietuvoje veikiančiose sistemose pilna apimti arba atskiromis dalimis diegiami naujausi sprendimai, išnaudojant ne tik kortelių sprendinius, bet ir išmanius įrenginius (aplikacijas), banko kortelių mokėjimų infrastruktūrą.

3. Klaipėdos regiono integruoto viešojo transporto tinklo bilieto sistemos analizė

Nagrinėjamas Klaipėdos regiono pavyzdys – Klaipėdos miesto ir rajono bendro VT maršrutų tinklo integravimas. 2011 metais prasidėjo miesto maršrutų ir tvarkaraščių tinklo plėtra – pirmą kartą miesto maršrutai peržengė formaliąsias miesto ribos.

Buvo susitarta dėl principų organizuojant vieningą viešojo transporto sistemą:

- Įgaliotos įstaigos parinkimas;
- Vežėjų parinkimas viešojo konkurso būdu;
- Transporto bilietų kainodaros principai;
- Maršrutų planavimas;
- Kelionių duomenų monitoringas ir ataskaitos;
- E. bilieto sistemos priežiūra.

Labai svarbų vaidmenį vaidina e. bilietų sistema, t. y. bilietų žymėjimas. Kompensacijos už lengvatas skirstomos pagal geografinį atributą – stotelę (miestas / rajonas). Esant subsidijų poreikiui, šalių indėlis paskirstomas pagal objektyvų maršruto trasos ilgį (ridos proporciją) konkrečios savivaldybės teritorijoje.

Integracijos išdava: visose į bendrą sistemą įtrauktose transporto priemonėse yra sumontuota elektroninio bilieto įranga – visų jų judėjimą realiu laiku galima stebėti internetu, visose jose už važiavimą galima atsiskaityti elektroniniu bilietu (angl. *Ci-Co – check in, check out*), o nuo 2023 metų – ir banko kortele. Be regionuose tradicinio bilietų įsigijimo būdo perkant bilietą pas vairuotoją, atsiskaitymui elektroniniu bilietu priemiesčio maršrutuose Klaipėdos miesto ir rajono bei Kretingos ir Šilutės rajonų savivaldybės sukūrė zoninius terminuotų elektroninių bilietų tarifus (1 ir 30 dienų). Šis zoninių elektroninių terminuotų bilietų sudarymo ir galiojimo principas daugiau nei 13 metų naudojamas, siekiant tęsti priemiesčio maršrutų įtraukimą į bendrą viešojo transporto sistemą.

Papildomų bilietų naudą ir svarbą iliustruoja kelionių statistika, rodanti, jog lojalių, kasdien važiuojančių keleivių proporcija nuosekliai auga, taip pat populiarėja ir kiti būdai, keičiantys bilieto įsigijimą pas vairuotoją, tokiu būdu taupant laiką bei prisidedant prie važiavimo tvarkaraščio patikimumo (žr. 2 lentelę).

2 lentelė. Priemiestinės kelionės pagal bilietus (VšĮ „Klaipėdos keleivinis transportas“ duomenys)

	Kasos aparatas	Ci-Co	Terminuoti
2019	72 %	7 %	22 %
2020	70 %	12 %	19 %
2021	62 %	16 %	22 %
2022	46 %	18 %	36 %
2023	34 %	21 %	46 %
2024	24 %	22 %	54 %

4. Išvados

1. Lietuvoje įdiegtų elektroninio bilieto sistemų analizė rodo, jog sprendimas, kuris veikia ne tik mieste, bet ir priemiestyje įmanomas, kuomet už viešojo transporto paslaugos organizavimą yra atsakinga viena konkreti šalis. Efektyvesnį kelią – integravimąsi prisijungiant prie jau veikiančios sistemos – akcentuoja ir LR Seimo rekomendacijos.
2. Analizuojant elektroninio bilieto sistemas matoma, kad elektroninio bilieto sistema generuoja kelionių duomenis, privalomus finansinėms ataskaitoms, kurių pagrindu savivaldybės apskaito savo dalį ir prisiima finansinius įsipareigojimus mokėti transporto lengvatas, subsidiją ar kitaip finansuoti paslaugos teikimą. Tai ne tik palengvina keleivių keliones, bet ir pagerina surinkimą duomenų, kuriais remiantis priimami argumentuoti sprendimai dėl VT paslaugos plėtros ir optimizavimo.
3. Remiantis analize ir viešojo transporto keleivių apklausomis galima daryti išvadą, kad įdiegtas sprendinys privalo veikti patikimai. Įdiegus technologijas, kurios teikia keleiviui realius duomenis, trikdžiai, dėl kurių stotelės švieslentė ar telefono ekranas nerodo atvykstančios transporto priemonės, arba bilietų skaitytuvo gedimas, dėl kurio nepavyksta tinkamai apmokėti kelionės, kenkia paslaugos reputacijai bei turi neigiamų pasekmių.
4. Integracija suvienodina paslaugos teikimą, visose į bendrą sistemą įtrauktose transporto priemonėse yra sumontuota elektroninio bilieto įranga – visų jų judėjimą realiu laiku galima stebėti internetu, visose jose už važiavimą galima atsiskaityti įvairių rūšių elektroniniu bilietu. Unifikuoti bilietų įsigijimo ir naudojimo principai supaprastina apmokėjimą už keliones bei potencialiai gali pritraukti naujų naudotojų.
5. Diegiamos naujovės, naujų bilietų rūšių kūrimas, greitesnių apmokėjimo būdų plėtra yra orientuota į keleivį. Duomenų analizė sukuria vidutinio keleivio paveikslą ir tai leidžia kryptingai diegti sprendinius, kurie visų pirma stiprina lojalių keleivių dalį.
6. Lietuvoje veikiančiose sistemose pilna apimtimi arba atskiromis dalimis diegiami naujausi sprendimai, išnaudojant ne tik kortelių sprendinius, bet ir išmanius įrenginius (aplikacijas), banko kortelių mokėjimų infrastruktūrą.

Padėkos

Dėkoju kolegoms iš kitų miestų, įstaigų ir įmonių, kurie pasidalino patirtimi, atsakė į klausimus vertinant jų įdiegtus sprendinius. Taip pat savo kolegoms, su kuriais 2007 m. pradėjome elektroninio bilieto diegimą ir kasmet jį tobuliname.

Literatūra

Alytaus miesto savivaldybė. (2024). *Elektroninis bilietas*. https://alytus.lt/elektroninis-bilietas

Arroyo-Arroyo, F., Van Ryneveld, P. C., Finn, B., Greenwood, C., & Coetzee, G. K.. (2022). *Innovation in fare collection systems for public transport in African cities*. World Bank. https://doi.org/10.1596/37087

Barabino, B., Lai, C., & Olivo, A. (2020). Fare evasion in public transport systems: A review of the literature. *Public Transport*, *12*, 27–88. https://doi.org/10.1007/s12469-019-00225-w

Burinskienė, M., Ušpalytė-Vitkūnienė, R., & Tuminienė, F. (2011). Public transport integration into urban planning.

The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering, 6(2), 84–90. https://doi.org/10.3846/bjrbe.2011.11

Busturas. (n.d.). https://e.busturas.lt/

Druskininkų elektroninis bilietas. (n.d.). https://www.autobusubilietai.lt/druskininku-elektroninis-bilietas

ES investicijos. (2023). *Regionų plėtros planai*. https://www.es-investicijos.lt/igyvendinimas-1/regionu-pletros-planai

Filipović, S., Tica, S., Živanović, P., & Milovanović, B. (2009). Comparative analysis of the basic features of the expected and perceived quality of mass passenger public transport service in Belgrade. *Transport*, *24*(4), 265–273. https://doi.org/10.3846/1648-4142.2009.24.265-273

Jonavos rajono savivaldybės administracija. (2021). *Mobili programėlė*. https://www.jonava.lt/gyventojams/naujienos/29/mobili-programele:9778

Judu. (n.d.). *Bilietų rūšys ir kainos*. https://judu.lt/viesojo-transporto-keleiviams/bilietu-rusys-ir-kainos/

Kauno viešasis transportas. (n.d.). *Kauno kortelė*. https://www.kvt.lt/bilietai/kauno-kortele-2/

Kazi, S., Bagasrawala, M., Shaikh, F., & Sayyed, A. (2018, January 5). Smart e-ticketing system for public transport bus. In *Proceedings of the 2018 International Conference on Smart City and Emerging Technology (ICSCET)* (pp. 1–7). Mumbai, India. IEEE. https://doi.org/10.1109/ICSCET.2018.8537302

Kėdainių rajono savivaldybė. (2021). *UAB „Kėdbusas" pristato naują atsiskaitymo būdą už važiavimą autobusu Kėdainių mieste*! https://www.kedainiai.lt/naujienos/249/uab-kedbusas-pristato-nauja-atsiskaitymo-buda-uz-vaziavima-autobusu-kedainiu-mieste:9339

Klaipėdos keleivinis transportas. (n.d.). *Elektroninio bilieto sistema*. https://www.klaipedatransport.lt/lt/naujoji-el-bilieto-sistema-104

Lietuvos Respublikos Valstybės kontrolė. (2011). *Valstybinio audito ataskaita viešojo transporto elektroninio bilieto sistemos Lietuvoje* (2011, rugsėjo 30, Nr. VA-P-90-1-15). https://www.valstybeskontrole.lt/LT/Product/Download/2444

Lietuvos Respublikos susisiekimo ministerija. (2014). *Įsakymas dėl elektroninių keleivinio transporto bilietų sistemų diegimo koncepcijos patvirtinimo* (2014 m. vasario 24, Nr. 3-87-(E)). https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/71977d709ecb11e383c0832a9f635113?jfwid=2r1mexre

Marijampolės elekroninis bilietas. (n.d.). https://www.autobusubilietai.lt/marijampoles-elektroninis-bilietas

Maršrutų tvarkaraščiai. (n.d.). www.stops.lt

Miknevičius, L. (2024). *Nemokamas viešasis transportas – jau aštuoniolikoje savivaldybių: keliaujančiųjų padaugėjo, bet ekspertai kritikuoja*. Delfi. https://www.delfi.lt/verslas/transportas/nemokamas-viesasis-transportas-jau-astuoniolikoje-savivaldybiu-keliaujanciu-padaugejo-bet-ekspertai-kritikuoja-95894275

Panevėžio keleivinis transportas. (n.d.). https://pktransportas.lt/e-bilietas-panevezys/

Soegoto, E. S., Setiawan, R., & Jumansyah, R. (2020, January). Impact of e-ticketing application on bus transportation in Bandung. In *Procedings of the International Conference on Business, Economic, Social Science, and Humanities–Economics, Business and Management Track (ICOBEST-EBM 2019)* (pp. 25–28). Atlantis Press. https://doi.org/10.2991/aebmr.k.200108.008

Žaliasis regionas. (n.d.). *El. bilietas*. https://www.zaliasisregionas.lt/el-bilietas

Wang, C., Zhao, X., Fu, R., & Li, Z. (2020). Research on the comfort of vehicle passengers considering the vehicle motion state and passenger physiological characteristics: Improving the passenger comfort of autonomous vehicles. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *17*(18), Article 6821. https://doi.org/10.3390/ijerph17186821

Witbreuk, M., & De Jong, L. (2001). The use and efficiency of public transport: The effects of price and service measures. In *Procedings of the International Conference on Competition and Ownership in Land Passenger Transport*. Molde, Norway. The University of Sydney.

IMPLEMENTATION AND SUPPORT OF TRANSPORT E-TICKET SYSTEMS PROCESSES

A. SAMUILOVAS,
R. UŠPALYTĖ-VITKŪNIENĖ

Abstract. E ticket system has become a visit card of nowadays public transport service. Implementing a convenient, easily accessible, intuitive electronic public transport ticket solution can also determine the usage the public transport service.

Keywords: public transport, account ID based system, smart ticketing, e-ticket, payment.

VILNIUS TECH
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

27-oji Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis" teminė konferencija
Proceedings of the 27th Conference for Junior Researchers "Science – Future of Lithuania"

DARNI APLINKA / SUSTAINABLE ENVIRONMENT

2024 m. balandžio 25 d., Vilnius, Lietuva
25 April 2024, Vilnius, Lithuania

ISSN 2029-7157 / eISSN 2029-7149
eISBN 978-609-476-359-5
https://doi.org/10.3846/da.2024.016

Kelių ir miestų inžinerija / Road and Urban Engineering *https://vilniustech.lt/346238*

VEIKSNIŲ, LEMIANČIŲ PASIRINKIMĄ ATLIKTI KELIONES DVIRAČIAIS, IR EISMO ĮVYKIŲ, SUSIJUSIŲ SU KELIONĖMIS DVIRAČIAIS, ANALIZĖ

Miglė ZABIELAITĖ-SKIRMANTĖ*, Marija BURINSKIENĖ

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Aplinkos inžinerijos fakultetas, Kelių katedra, Vilnius, Lietuva
El. paštas migle.zabielaite-skirmante@stud.vilniustech.lt

Gauta 2024 m. kovo 4 d.; priimta 2024 m. kovo 18 d.

Santrauka. Dviratis yra matomas kaip darnios susisiekimo sistemos dalis, jis užtikrina aplinkos apsaugą, ekonominę gerovę bei socialinę gerovę. Tačiau tuo pat metu besinaudojantys dviračiu yra patys pažeidžiamiausi eismo dalyviai ir, nepaisant infrastruktūros kokybės gerinimo, eismo įvykių, susijusių su dviračių vairuotojais, skaičius nemažėja taip, kaip tikėtasi. Straipsnyje analizuojami naujausi moksliniai straipsniai, susiję su pagrindiniais veiksniais, lemiančiais pasirinkimą atlikti keliones dviračiais, – oro sąlygomis, reljefu, infrastruktūros kokybe, saugumu, socialiniais pokyčiais. Straipsnyje atlikta ir naujausių mokslinių tyrimų analizė, susijusi su eismo įvykiais, kurių metu sužeidžiami dviračių vairuotojai. Nustatomos dažniausiai pasitaikančių eismo įvykių rūšys bei jų sąsaja su susisiekimo infrastruktūros planavimu.

Reikšminiai žodžiai: sociodemografiniai veiksniai, natūrali aplinka, užstatyta aplinka, eismo įvykiai su dviratininkais, eismo saugumas, kasdieninės kelionės dviračiu.

1. Įvadas

Dviratis yra matomas kaip tvarios susisiekimo sistemos ir darnaus miesto dalis. Važiavimas dviračiu padeda sumažinti aplinkos taršą ir pagerinti oro kokybę (Rios & Silva, 2023), prisideda prie eismo spūsčių ir triukšmo lygio mažinimo miestuose (da Silveira Arruda et al., 2023), skatina žmonių fizinį aktyvumą ir gerina visuomenės sveikatą (Makarova et al., 2020). Tačiau dviračių vairuotojai taip pat yra vieni iš pažeidžiamiausių eismo dalyvių ir tūkstančiai jų kasmet žūsta gatvėse ir keliuose (Karn et al., 2022). Norint užtikrinti darnią susisiekimo sistemą neturėtų būti privaloma rinktis tarp naudos aplinkai ir dviračių vairuotojų žūčių. Inžinerinės eismo saugumo priemonės, skirtos automobilių greičiui mažinti ir saugiai susisiekimo infrastruktūrai įrengti, užtikrinančios dviračių vairuotojų pastebimumą sankryžose, vaidina svarbų vaidmenį miestuose užtikrinant dviratininkų saugumą ir skatinant naudojimąsi dviračiu.

Suprantat dviračio svarbą miestuose buvo pradėta vystyti ir plėsti dviračių infrastruktūrą – įrengti dviračių takai, dviračių juostos, bendro eismo gatvės (Transporto kompetencijų agentūra, 2022). Tačiau, nepaisant to, kad kiekvienais metais gerėjo dviračių susisiekimo infrastruktūra, tokio paties pokyčio dviratininkų srautuose nebuvo galima stebėti. Pavyzdžiui, Vilniuje nuo 2018 metų iki 2023 metų kasdieninių kelionių, atliekamų dviračiais, skaičius nukrito 0,2 %, nors buvo tikimasi, kad atsiradus infrastruktūrai padidės ir dviratininkų srautas mieste (Vilniaus miesto savivaldybė, 2018). Dviračių infrastruktūros buvimas daro didelę įtaką sprendimui važiuoti dviračiu. Tyrimai parodė, kad dviračių infrastruktūros, tokios kaip dviračių juostos ir dviračių takai, įrengimas padidina dviračių eismo intensyvumą (Jahanshahi et al., 2023; Plămădeală et al., 2023). Nepriklausomai nuo infrastruktūros buvimo, svarbu, ir kur ji yra įrengta. Dviračių vairuotojai dažniau renkasi maršrutus, kuriuose dviračių takai yra toliau nuo gatvių ar kuriais naudojantis išvengiama didelių reljefo altitudės pokyčių (de Jong et al., 2023). Sprendimą važiuoti dviračiu lemia ne tik infrastruktūros buvimas, bet ir tokie veiksniai kaip rasė, išsilavinimas ir dviratininko įgūdžiai (Fosgerau et al., 2023). Veiksnius, lemiančius pasirinkimą važiuoti dviračiu, galima suskirstyti į tris grupes – žmogaus sociodemografinius veiksnius, užstatytos aplinkos veiksnius ir natūralios aplinkos veiksnius (McCreery-Phillips & Heydari, 2023).

© 2024 Autoriai. Leidėjas Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Šis straipsnis yra atvirosios prieigos straipsnis, turintis Kūrybinių bendrijų (Creative Commons) licenciją (CC BY 4.0), kuri leidžia neribotą straipsnio ar jo dalių panaudą su privaloma sąlyga nurodyti autorių ir pirminį šaltinį.

Žmogaus apsisprendimą važiuoti dviračiu gali veikti jo amžius, lytis ar kelionės tikslas. Visi šie veiksniai priskiriami sociodemografiniams veiksniams ir jų negalima paveikti norint, kad būtų pasirinkta važiuoti dviračiu, o ne automobiliu. Atitinkamai ir natūrali aplinka mažai gali būti pakeista, kad būtų sudarytos palankesnės sąlygos kelionėms dviračiais ir daugiau žmonių rinktųsi jais naudotis. Tokių veiksnių kaip oro temperatūra, kritulių kiekis ar natūralaus gamtinio reljefo altitudės pokyčiai negalima paveikti inžinerinėmis priemonėmis. Tačiau siekiant, kad žmonės važiuotų dviračiais, galima pakeisti užstatytą aplinką – susisiekimo infrastruktūrą, miesto funkcines zonas, traukos vietas, apželdinimą. Todėl projektuojant dviračiams skirtą infrastruktūrą svarbu užtikrinti, kad ji būtų patraukli, saugi ir skatinanti naudotis dviračiu.

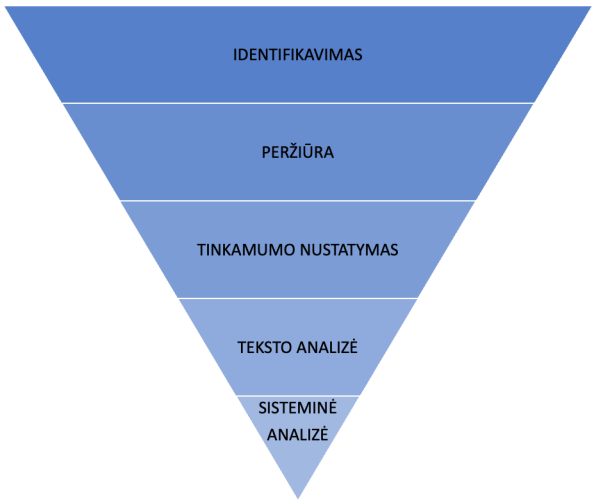
Dažnai manoma, kad eismo įvykiai yra susiję su neteisingai parinktomis eismo saugumo priemonėmis ar neteisingai suprojektuota susisiekimo infrastruktūra. Nustatyta, kad dviračių juostų atskyrimas nuo važiuojamosios dalies visiškai eliminuoja eismo įvykius, kurių metu automobiliai užvažiuoja ant dviratininkų (Plămădeală et al., 2023). Apsaugos zonų įrengimas tarp automobiliams skirtos gatvės važiuojamosios dalies ir dviračių juostų padidina dviratininkų saugumą (Márquez et al., 2021). Ir, atvirkščiai – tik dviračių juostų įrengimas ir jų atskyrimas horizontaliuoju ženklinimu nuo automobiliams skirtos gatvės važiuojamosios dalies nepadidina saugumo, o priešingai – didina eismo įvykių tikimybę (Meuleners et al., 2023). Ribojant automobilių važiavimo greitį gatvėse galima padidinti dviračių vairuotojų saugumo jausmą ir sumažinti sunkių sužalojimų skaičių (Lubbe et al., 2022). Tačiau netinkama inžinerinė infrastruktūra ir prastas eismo organizavimas nėra vienintelės priežastys, dėl kurių nutinka eismo įvykiai. Tiek automobilius, tiek ir dviračius valdo žmonės, kuriuos veikia tiek sociodemografiniai veiksniai, tiek užstatyta ir natūrali aplinka. Todėl norint užtikrinti pažeidžiamiausių eismo dalyvių saugumą ir skatinti juos važiuoti dviračiais svarbu žinoti dažniausiai pasitaikančių eismo įvykių rūšis ir nustatyti veiksnius, sąlygojančius šių įvykių priežastis.

Atsižvelgiant į tai straipsnyje atlikta sisteminė naujausių mokslinių šaltinių analizė, kurios tikslas nustatyti sociodemografinius, užstatytos aplinkos ir natūralios aplinkos veiksnius, lemiančius pasirinkimą važiuoti dviračiu, bei šių veiksnių įtaką eismo įvykiams.

2. Metodika

Tyrimo tikslas buvo atlikti sisteminę 2021–2024 metų mokslinės literatūros analizę, susijusią su sociodemografiniais, užstatytos aplinkos ir natūralios aplinkos veiksniais, lemiančiais pasirinkimą važiuoti dviračiu. Pirmoji grupė – sociodemografiniai veiksniai – tai amžius, lytis, pajamos, požiūris į dviratį kaip transporto priemonę ir kita. Jie kiekvieno žmogaus atveju yra individualūs ir jų negalima nuspėti ar pakeisti. Mat požiūris į dviratį kaip transporto priemonę ar šeimyninė padėtis ir sveikatos būklė pastoviai kinta. Antroji grupė – užstatyta aplinka – tai visa sukurta infrastruktūra ir tai, ką galima pakeisti ar patobulinti keičiant miestą (susisiekimo infrastruktūra, inžinerinės eismo saugumo priemonės, gatvės apželdinimas ir kita). Trečioji grupė – natūrali aplinka – oro sąlygos ir reljefas, tai, ko negalima pakeisti.

Tyrimo eiga grafiškai pateikta 1 pav. Tikslui pasiekti buvo ieškoma naujausių (2021–2024 metų) mokslinių straipsnių anglų kalba *Science Direct* duomenų bazėje. Straipsniams identifikuoti buvo naudoti raktiniai žodžiai: *decision* (liet. sprendimas), *bicycle* (liet. dviratis), *purpose* (liet. tikslas), *commuting* (liet. važinėti į darbą ir atgal). Naudojant raktinius žodžius iš viso buvo rasti 1268 moksliniai straipsniai. Peržiūra buvo atliekama vertinant straipsnių pavadinimus. Jei straipsnio pavadinime buvo nurodyti žodžiai *e-bike* (liet. elektrinis dviratis), *bike share* (liet. dalijimasis dviračiu), *bike parking* (liet. dviračių stovėjimo vietos), *infrastructure* (liet. infrastruktūra) ir t. t., straipsniai buvo atmesti ir neįtraukti į tolimesnius analizės etapus. Dėl pavadinimo netinkamumo atmesta 1150 straipsnių. Tinkamumo nustatymas buvo atliekamas perskaitant peržiūros metu atrinktų straipsnių santraukas. Buvo atrinkta 118 mokslinių straipsnių, kurių santraukos turėjo būti perskaitytos. Po santraukų įvertinimo pilno teksto analizei buvo atrinkti 35 moksliniai straipsniai. Analizuojant straipsnius nustatyta, kad 6 moksliniai straipsniai yra netinkami, nes analizavo priežastis, dėl kurių įvyksta eismo įvykiai ($n = 3$), tyrimo tikslas buvo srautų prognozavimo modelis ($n = 2$), dubliavosi ($n = 1$). Sisteminei mokslinės



1 paveikslas. Sisteminės mokslinės literatūros analizės eiga

literatūros analizei, skirtai veiksniams, lemiantiems žmonių pasirinkimą važiuoti dviračiais, nustatyti, buvo atrinkti 29 moksliniai straipsniai.

Siekiant nustatyti miestuose dažniausiai pasitaikančių eismo įvykių su dviratininkais rūšis ir sociodemografinius, užstatytos aplinkos ir natūralios aplinkos veiksnius, lemiančius šiuos eismo įvykius, buvo atlikta sisteminė 2021–2024 metų mokslinės literatūros analizė. Tyrimo eiga grafiškai pavaizduota 1 pav.

Science direct duomenų bazėje anglų kalba buvo atliekamas straipsnių identifikavimas naudojant raktinius žodžius *bicycle* (liet. dviratis), *transport (*liet. transporto priemonė), *accident* (liet. eismo įvykis), *crashes* (liet. susidūrimas). Identifikuoti 575 moksliniai straipsniai. Peržiūra buvo atliekama vertinant straipsnių pavadinimus. Jei straipsnio pavadinime buvo nurodyti žodžiai *bike share* (liet. dviračių dalijimasis), *injury* (liet. sužalojimas), *modeling bicycle crashes* (liet. dviratininkų sužalojimų modeliavimas), *fall rates* (liet. kritimo rodikliai) ir t. t., jie buvo atmesti ir neįtraukti į tolimesnius analizės etapus. Dėl pavadinimo netinkamumo atmesta 425 straipsniai. Tinkamumo nustatymas buvo atliekamas perskaitant peržiūros metu atrinktų straipsnių santraukas. Perskaitytos 150 mokslinių straipsnių santraukos. Teksto analizei buvo atrinktas 31 mokslinis straipsnis. Atlikus pilną mokslinių straipsnių analizę buvo atmesti 5 straipsniai, nes analizavo eismo įvykių metu patirtų sužeidimų tipus (n = 4) ir psichologines traumas po eismo įvykių (n = 1). Į sisteminę mokslinės literatūros analizę, susijusią su sociodemografiniais, užstatytos aplinkos ir natūralios aplinkos veiksniais, lemiančiais eismo įvykius su dviratininkais, atrinkti 26 moksliniai straipsniai.

3. Rezultatai

Atlikus atrinktų literatūros šaltinių sisteminę analizę buvo nustatyti kiekvienos veiksnių grupės faktoriai, darantys įtaką pasirinkimui atlikti kelionę dviračiu. Gauti rezultatai pateikti 1 lentelėje, kurioje aprašytas kiekvieno faktoriaus požymis bei nurodyti literatūros šaltiniai, kuriuose šie požymiai buvo identifikuoti.

Iš 1 lentelės duomenų matyti, kad daugiausiai pasirinkimą važiuoti dviračiu lemia sociodemografiniai veiksniai, nes jie turi daugiausiai faktorių – 8. Iš šios veiksnių grupės labiausiai pasirinkimą atlikti kelionę

1 lentelė. Veiksnių, lemiančių pasirinkimą atlikti kasdienines keliones dviračiais, faktoriai ir požymiai

Veiksnių grupė	Faktorius	Požymis	Šaltiniai
Sociodemografiniai veiksniai	Amžius	Žmogaus amžiui didėjant jis rečiau renkasi važiuoti dviračiu	Adsule and Kadali (2024); Duren et al. (2023); Rahman (2023); Shakeel and Rashidi (2023); Thaisi Garro Knebel et al. (2024)
	Lytis	Vyrai yra labiau linkę važiuoti dviračiu nei moterys	Baquero Larriva et al. (2024); Irawan (2022); Nematchoua et al. (2023); O'Reilly et al. (2024); Ospina et al. (2022); Taborda et al. (2023)
		Dažniausiai dviračiu važiuoja 30–39 metų amžiaus vyrai	Thaisi Garro Knebel et al. (2024)
	Išsilavinimas	Kuo žmogaus išsilavinimo lygis mažesnis, tuo rečiau jis renkasi važiuoti dviračiu	Baquero Larriva et al. (2024); Irawan et al. (2023); McCreery-Phillips and Heydari (2023); Younkin et al. (2023)
	Pajamos	Turintys darbą žmonės dažniau važiuoja dviračiu	McCreery-Phillips and Heydari (2023)
		Kuo žmogaus pajamų lygis mažesnis, tuo didesnė tikimybė, kad jis rinksis važiuoti dviračiu	Irawan et al. (2023); Pakdeewanich et al. (2023); Younkin et al. (2023)
		Didesnes pajamas uždirbantys gyventojai rečiau renkasi važiuoti dviračiu	O'Reilly et al. (2024); Shakeel and Rashidi (2023)
	Automobilis	Jei žmogus turi automobilį, sumažėja tikimybė, kad jis atliks kelionę dviračiu	de Magalhães and Rigatto (2023); Irawan (2022); McCreery-Phillips and Heydari (2023); Rahman (2023); Shakeel and Rashidi (2023)
		Alternatyvių transporto rūšių nebuvimas skatina važiuoti dviračiu	Adsule and Kadali (2024)
		Dviračio turėjimas didina tikimybę, kad žmogus važiuos dviračiu	Mohiuddin et al. (2022); Shakeel and Rashidi (2023); Thaisi Garro Knebel et al. (2024)
	Požiūris	Jei žmogus mėgsta važinėtis dviračiu, jam rūpi aplinkosauga, fizinė sveikata, jis rinksis atlikti keliones dviračiu	Irawan et al. (2023); O'Reilly et al. (2024); Shakeel and Rashidi (2023)

1 lentelės pabaiga

Veiksnių grupė	Faktorius	Požymis	Šaltiniai
		Tikimybė, kad žmogus važiuos dviračiu, padidėja tuomet, kai vykdomos įvairios skatinimo naudotis dviračiu programos, dviratininkams suteikiamas prioritetas eisme, formuojamas naujas visuomenės požiūris	Hudde (2023); O'Reilly et al. (2024)
	Kelionės tikslas – darbas	Tikimybė, kad žmogus važiuos dviračiu, didėja, jei kelionės metu reikia atlikti tik vieną sustojimą (namai–darbas)	Adsule and Kadali (2024)
		Žmogus nesirenka važiuoti į darbą dviračiu, jei jam reikia reprezentatyviai atrodyti arba kelionės trukmė yra ilgesnė, nei ją atliekant kita transporto rūšimi	Napper (2023)
	Šeimyninė padėtis	Santuoka ir vaikų turėjimas skatina naudotis automobiliu ir atsisakyti važiavimo dviračiu.	Rahman (2023)
Užstatyta aplinka	Infrastruktūra	Kuo didesnis dviračių infrastruktūros tankis, tuo didesnė tikimybė, kad kelionė bus atliekama dviračiu	McCreery-Phillips and Heydari (2023); O'Reilly et al. (2024); Ospina et al. (2022); Troped et al. (2023)
		Dviračių infrastruktūros buvimas skatina važiuoti dviračiu	Adsule and Kadali (2024); Irawan et al. (2023); Mohiuddin et al. (2022); Monga and Sadhukhan (2023); Shin et al. (2022)
		Kuo dviračio vairuotojo važiavimo įgūdžiai geresni, tuo mažesnių infrastruktūros saugumo sąlygų jam reikia	Pakdeewanich et al. (2023)
	Funkcinės zonos	Pramoninio užstatymo zonose mažiau kelionių, atliekamų dviračiais (tiek kaip išvykimo vietos, tiek kaip tikslo vietos)	McCreery-Phillips and Heydari (2023); Mohiuddin et al. (2022)
		Intensyviai užstatytose mišraus funkcinio zonavimo miesto zonose kelionių dviračiais atliekama daugiau nei mažo užstatymo intensyvumo miesto zonose	Bai et al. (2023); McCreery-Phillips and Heydari (2023); Nematchoua et al. (2023); O'Reilly et al. (2024); Rahman (2023); Younkin et al. (2023)
	Apželdinimas	Gausiau apželdintose gatvėse arba parkuose važiuoti dviračiu renkamasi dažniau nei šalia pagrindinių miesto gatvių	Bai et al. (2023); Baquero Larriva et al. (2024); Shin et al. (2022)
	Atstumas	Kuo didesnis atstumas iki kelionės tikslo, tuo mažesnė tikimybė, kad kelionė bus atliekama dviračiu (iki 6–8 km)	Adsule and Kadali (2024); de Magalhães and Rigatto (2023); Mohiuddin et al. (2022)
	Saugumas	Kuo didesnį saugumo jausmą suteikia infrastruktūra, tuo daugiau važiuojama dviračiu	Adsule and Kadali (2024); Baquero Larriva et al. (2024); Beck et al. (2024); Thaisi Garro Knebel et al. (2024)
Natūrali aplinka	Oro sąlygos	Žmonės nesirenka važiuoti dviračiu, kai yra aukšta oro temperatūra	Adsule and Kadali (2024); O'Reilly et al. (2024)
		Lyjant lietui žmonės nėra linkę važiuoti dviračiu	Adsule and Kadali (2024)
		Esant žemai oro temperatūrai žmonės nėra linkę važiuoti dviračiu	Hudde (2023); O'Reilly et al. (2024)
	Reljefas	Dėl didelių reljefo altitudės pokyčių žmonės nėra linkę važiuoti dviračiu	de Magalhães and Rigatto (2023); Napper (2023); O'Reilly et al. (2024)

dviračiu lemia lytis (n = 6), amžius (n = 5), išsilavinimas (n = 4) ir automobilio turėjimas (n = 5). Šios grupės faktorius yra sunkiausia prognozuoti ar paveikti, nes amžiaus, lyties ir išsilavinimo negalima pakeisti jokiomis fizinėmis priemonėmis ar skatinimu. Tai yra kiekvieno žmogaus asmeninės savybės, kurios kartu arba atskirai gali veikti sprendimą važiuoti dviračiu. Automobilis vis dar yra matomas kaip patogiausia transporto priemonė ir šio požiūrio negalima pakeisti, jei žmogus nesusiduria su sunkumais jį turėdamas. Automobilių stovėjimo vietų skaičius prie komercinių pastatų, mokslo, gydymo įstaigų ir gyvenamųjų rajonų namų vis dar yra pakankamas, kad žmogus rinktųsi keliones atlikinėti automobiliu, o ne viešuoju transportu ar dviračiu.

Užstatyta aplinka pasirinkimą važiuoti dviračiu sąlygoja tik iš dalies (vidutiniškai) – išskirti tik 5 faktoriai. Užstatytoje aplinkoje daugiausiai įtakos turi miesto funkcinis zonavimas (n = 6), infrastruktūros buvimas (n = 5) ir saugumo jausmas atliekant kelionę dviračiu (n = 4). Miestų planuotojai ar politikai gali taip keisti užstatytą aplinką, kad ji skatintų važiuoti dviračiu. Galima įvairinti miesto funkcinį zonavimą numatant teritorijose naujus traukos objektus ar paslaugų vietas. Galima kurti rišlesnį dviračių takų tinklą, identifikuoti problemines vietas ir jas taisyti. Be to, naudojantis eismo saugumo priemonėmis bei želdinimo sprendiniais galima didinti dviračių vairuotojų saugumą.

Mažiausiai pasirinkimą važiuoti dviračiu lemia natūrali aplinka: nustatyti tik 2 faktoriai – oro sąlygos ir reljefas. Nustatyta, kad oro sąlygos mažiau lemia pasirinkimą atlikti keliones dviračiu (n = 2) nei reljefas (n = 3). Natūralios aplinkos veiksnių, tokių kaip oro temperatūra ar krituliai, negalime pakeisti, prie jų galime tik prisitaikyti. Atitinkamai dviračių vairuotojai, važiuojantys dviračiu rudenį ar žiemą, naudoja neperšlampamus arba šiltesnius rūbus. Be to, kiekvienas žmogus skirtingai toleruoja oro temperatūrą ir kritulius, vienam tai gali būti lemianti sąlyga, kodėl jis nesirinks važiuoti dviračiu, kitam tai neturės jokios įtakos. Iš dalies būtų įmanoma pakeisti natūralias aplinkos sąlygas reljefo atžvilgiu. Įmanoma dviračių infrastruktūrą pritaikyti prie kalvoto reljefo ją vingiuojant arba įrengiant keltuvus, bėgelius ir pan.

Jei prie oro sąlygų dviračio vairuotojas gali prisitaikyti, tai reljefas kelia didesnių sunkumų. Dideli reljefo altitudės pokyčiai reikalauja fizinės ištvermės, todėl tai atbaido pradedančiuosius dviratininkus nuo važiavimo kalvotomis teritorijomis. Dėl šios priežasties įkalnėse būna įrengiami bėgeliai, kuriais naudojantis dviratininkai būna užvežami į kalno viršų.

Atlikus literatūros analizę buvo nustatyti sociodemografinių, užstatytos aplinkos ir natūralios aplinkos veiksnių grupių faktoriai, darantys įtaką eismo įvykiams su dviračių vairuotojais. Gauti rezultatai pateikti 2 lentelėje, kurioje aprašytas kiekvieno faktoriaus požymis bei nurodyti literatūros šaltiniai, kuriuose šie požymiai buvo užfiksuoti.

2 lentelė. Veiksnių, lemiančių eismo įvykius su dviratininkais, faktoriai ir požymiai

Veiksnių grupė	Faktorius	Požymis	Šaltiniai
Sociodemografiniai veiksniai	Amžius	Kuo didesnis dviratininko amžius, tuo sunkesnius sužalojimus jis patirs eismo įvykio metu	Algurén and Rizzi (2022); Ding and Sze (2022); Eriksson et al. (2022); Li et al. (2022); Qian and Shi (2023); Schleinitz and Petzoldt (2023); Utriainen et al. (2023); van der Zaag et al. (2022); Westerhuis et al. (2024)
	Lytis	Eismo įvykių metu vyrai sužalojami dažniau nei moterys	Eriksson et al. (2022); Liu et al. (2022); Schleinitz and Petzoldt (2023); Westerhuis et al. (2024)
		Važiuojant dviračiu moterys paslysta dažniau nei vyrai	Algurén and Rizzi (2022)
Užstatyta aplinka	Urbanizuota aplinka	Dėl didesnio motorinių transporto priemonių greičio užmiesčio keliuose ten įvykstančių eismo įvykių metu patiriami sunkesni sužalojimai	Liu et al. (2022); Zhang et al. (2023)
		Intensyvaus užstatymo miesto zonose, kur vyrauja siauros gatvės, eismo įvykių tikimybė yra didesnė, bet patiriami sužalojimai yra lengvesni	Bi et al. (2023); E. J. Shin (2023)
		Kuo didesnis sankryžų tankis, tuo didesnė eismo įvykio tikimybė	Ding and Sze (2022)
	Eismo sąlygos	Piko valandomis patiriami sužeidimai yra lengvesni, tačiau eismo įvykių tikimybė didesnė	Myhrmann and Mabit (2023); Schröter et al. (2023); Zhang et al. (2023)
		Dviratininkui važiuojant 12 km/h greičiu, užvažiavus ant pėsčiojo, rimtos traumos tikimybė sumažėja iki 50 %, palyginti su atvejais važiuojant didesniu nei 12 km/h greičiu	Paudel et al. (2022)
		Sunkiausius sužeidimus dviratininkai patiria, kai atsitrenkia į priekyje važiuojantį automobilį (jam staigiai stabdant) ir kai dviratininkas atsitrenkia į netikėtai atidarytas automobilio dureles	Qian and Shi (2023)
		Šviesoforų fazių atskyrimas, automobiliams darant dešinįjį posūkį ir leidžiant dviračiams pirmiau važiuoti tiesiai, turi reikšmingos įtakos eismo įvykių skaičiaus mažėjimui	Schröter et al. (2023)

2 lentelės pabaiga

Veiksnių grupė	Faktorius	Požymis	Šaltiniai
	Infrastruktūros planavimas	Dviračių juostų fizinis atskyrimas nuo važiuojamosios dalies užtikrina didesnį saugumą	Schröter et al. (2023)
		Kai planuojama dviračių infrastruktūra yra minimalių techninių parametrų, didėja tikimybė, kad dviratininkas neišlaikys pusiausvyros manevruodamas	Ding and Sze (2022); Schröter et al. (2023); Utriainen et al. (2023)
		Eismo įvykių tikimybė didėja, kai važiuojama dvipusiu dviračių taku	Pillonnet et al. (2023)
		Įvairios kliūtys šalia dviračių tako didina eismo įvykių tikimybę	Zhang et al. (2023)
Natūrali aplinka	Paros metas	Apšviestos dviračių infrastruktūros nebuvimas didina eismo įvykių tikimybę	Alnawmasi and Mannering (2023); Liu et al. (2022); Myhrmann and Mabit (2023); Sun et al. (2022)
	Oro sąlygos	Esant aukštai ar žemai oro temperatūrai eismo įvykių tikimybė didesnė, nei esant vidutinei oro temperatūrai	Myhrmann and Mabit (2023)
		Esant blogoms oro sąlygoms, dėl prasto matomumo padidėja eismo įvykių tikimybė	Díaz Fernández et al. (2022); Xu et al. (2023)
		Vasarą ir pavasarį padidėja eismo įvykių tikimybė, nes būna didesni dviratininkų srautai	Schleinitz and Petzoldt (2023)
		Esant didesniam vėjo greičiui dėl pusiausvyros neišlaikymo padidėja eismo įvykių tikimybė	Myhrmann and Mabit (2023)
		Esant apledėjusiems paviršiams dėl pusiausvyros neišlaikymo padidėja eismo įvykių tikimybė	Algurén and Rizzi (2022)

Atlikus literatūros, susijusios su veiksniais ir faktoriais, lemiančiais eismo įvykius, analizę nustatyta, kad sociodemografiniai ir natūralios aplinkos veiksniai turi tik po 2 faktorius, todėl yra vienodai reikšmingi eismo įvykiams. Užstatytos aplinkos faktorių yra daugiausiai – 3, todėl atitinkamai jie labiausiai sąlygoja eismo įvykių tikimybę.

Sociodemografinių veiksnių grupėje išsiskiria amžiaus (n = 9) ir lyties faktoriai (n = 4). Amžius labiausiai sąlygoja eismo įvykių tikimybę, nes tiek automobilių, tiek dviračių vairuotojų reakcijos laikas didėjant amžiui mažėja, o tai ir lemia eismo įvykius. Dažniausiai eismo įvykių su dviračiais metu sužeidžiami vyrai, nes jie dažniausiai ir yra dviračių vairuotojai. Kaip ir veiksnių, lemiančių asmeninį pasirinkimą važiuoti dviračiu atveju, nei lyties, nei amžiaus negalima pakeisti eismo įvykių metu.

Užstatytos aplinkos grupėje vienodą įtaką eismo įvykiams daro infrastruktūra (n = 3) ir eismo sąlygos (n = 3), o urbanizuota aplinka šiuo atveju turi mažiau įtakos (n = 2). Šios veiksnių grupės faktorius pertvarkant miestą pakeisti lengviausia. Galima įrengti saugesnę susisiekimo infrastruktūrą, padidinant matomumo zonas sankryžose ar atskiriant automobilių ir dviratininkų srautus. Galima pagerinti eismo sąlygas ribojant automobilių greitį ar dviračių bei paspirtukų važiavimo greitį šalia pėsčiųjų. Taip pat galima miesto teritorijas planuoti taip, kad būtų mažesnis sankryžų skaičius ar nebūtų tranzitinio eismo gyvenamosiose zonose.

Natūralios aplinkos grupėje buvo nustatyti du faktoriai – paros meto (n = 4) ir oro sąlygų (n = 2). Paros metas eismo įvykių tikimybę veikia labiau nei oro sąlygos, nes kiekvienos dienos vakarą yra nepakankamas apšviestumas gatvėse ar sankryžų zonose. Oro sąlygos prie matomumo ribojimo prisideda tik kritulių metu ir dažniausiai jų negalima pagerinti tokiomis inžinerinėmis priemonėmis kaip apšvietimas.

Atliekant atrinktų mokslinių straipsnių, susijusių su eismo įvykiais, analizę identifikuoti dažniausiai tyrimuose nagrinėti eismo įvykių tipai:

1. Užvažiavimas ant dviratininko, atliekant dešinįjį posūkį, kai dviratininkas važiuoja pagrindiniu keliu, sudaro nuo 1,6 % iki 58 % visų eismo įvykių su dviratininkais (Babaei & Metin Kunt, 2024; Díaz Fernández et al., 2022; Qian & Shi, 2023; Schleinitz & Petzoldt, 2023; Schröter et al., 2023).
2. Užvažiavimas ant dviratininko, važiuojant ta pačia kryptimi, sudaro nuo 10 % iki 47 % visų eismo įvykių su dviratininkais (Díaz Fernández et al., 2022; Qian & Shi, 2023; Schleinitz & Petzoldt, 2023).
3. Užvažiavimas ant dviratininko, atliekant dešinįjį posūkį, kai dviratininkas važiuoja šalutiniu keliu, sudaro nuo 17,8 % iki 27,6 % visų eismo įvykių su dviratininkais (Babaei & Metin Kunt, 2024; Qian & Shi, 2023; Schleinitz & Petzoldt, 2023; Schröter et al., 2023).

4. Užvažiavimas ant dviratininko, atliekant kairįjį posūkį, sudaro nuo 3,8 % iki 14,3 % visų eismo įvykių su dviratininkais (Babaei & Metin Kunt, 2024; Díaz Fernández et al., 2022; Qian & Shi, 2023).

4. Išvados ir rekomendacijos

1. Žmogaus pasirinkimą važiuoti dviračiu labiausiai veikia sociodemografinės charakteristikos – amžius, lytis, išsilavinimas ir automobilio turėjimas.
2. Didžiausią įtaką eismo įvykiams su dviratininkais daro užstatytos aplinkos veiksniai – infrastruktūra, eismo sąlygos ir urbanizuota aplinka.
3. Mokslinėje literatūroje dažniausiai analizuojamo eismo įvykio su dviračių vairuotojais rūšis – užvažiavimas ant dviračio vairuotojo automobiliui atliekant dešinįjį posūkį.
4. Rekomenduojama vykdant reklamines kampanijas skatinti dviračiu naudotis moteris ir vyresnio amžiaus žmones.
5. Rekomenduojama atnaujinti teisės aktus, reglamentuojančius automobilių stovėjimo vietų normas prie administracinių pastatų ir mažinti automobilių stovėjimo vietų skaičių.
6. Rekomenduojama, vykdant projektų ekspertizę, užtikrinti, kad projektuojama dviračių infrastruktūra nebūtų minimalių techninių parametrų.
7. Rekomenduojama naikinti transporto priemonių galimybes atlikti dešinįjį posūkį, kai pėsčiųjų perėja ar dviračių pervaža gali eiti / važiuoti pažeidžiamiausi eismo dalyviai.

Literatūra

Adsule, P., & Kadali, B. R. (2024). Analysis of contributing factors in decision to bicycle in developing countries context. *Transport Policy*, *147*, 50–58. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2023.12.015

Algurén, B., & Rizzi, M. (2022). In-depth understanding of single bicycle crashes in Sweden - Crash characteristics, injury types and health outcomes differentiated by gender and age-groups. *Journal of Transport and Health*, *24*, Article 101320. https://doi.org/10.1016/j.jth.2021.101320

Alnawmasi, N., & Mannering, F. (2023). An analysis of day and night bicyclist injury severities in vehicle/bicycle crashes: A comparison of unconstrained and partially constrained temporal modeling approaches. *Analytic Methods in Accident Research*, *40*, Article 100301. https://doi.org/10.1016/j.amar.2023.100301

Babaei, Z., & Metin Kunt, M. (2024). A correlated random parameters ordered probit approach to analyze the injury severity of bicycle-motor vehicle collisions at intersections. *Accident Analysis and Prevention*, *196*, Article 107447. https://doi.org/10.1016/j.aap.2023.107447

Bai, Y., Bai, Y., Wang, R., Yang, T., Song, X., & Bai, B. (2023). Exploring associations between the built environment and cycling behaviour around urban greenways from a human-scale perspective. *Land*, *12*(3), Article 619. https://doi.org/10.3390/land12030619

Baquero Larriva, M. T., Büttner, B., & Durán-Rodas, D. (2024). Active and healthy ageing: Factors associated with bicycle use and frequency among older adults- A case study in Munich. *Journal of Transport and Health*, *35*, Article 101772. https://doi.org/10.1016/j.jth.2024.101772

Beck, B., Pettit, C., Winters, M., Nelson, T., Vu, H. L., Nice, K., Seneviratne, S., & Saberi, M. (2024). Association between network characteristics and bicycle ridership across a large metropolitan region. *International Journal of Sustainable Transportation*, *18*(4), 344–355. https://doi.org/10.1080/15568318.2024.2308266

Bi, H., Li, A., Zhu, H., & Ye, Z. (2023). Bicycle safety outside the crosswalks: Investigating cyclists' risky street-crossing behavior and its relationship with built environment. *Journal of Transport Geography*, *108*, Article 103551. https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2023.103551

da Silveira Arruda, N., González Zapata, H. D., & Navia Hermida, A. M. (2023). Sustainable mobility through knowledge exchange and collaborative mapping of cycling infrastructure: SIGenBici in Medellín, Colombia. In P. Solís & M. Zeballos (Eds.), *Open mapping towards sustainable development goals* (pp. 221–229). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-05182-1_19

de Jong, T., Böcker, L., & Weber, C. (2023). Road infrastructures, spatial surroundings, and the demand and route choices for cycling: Evidence from a GPS-based mode detection study from Oslo, Norway. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, *50*(8), 2133–2150. https://doi.org/10.1177/23998083221141431

de Magalhães, D. J. A. V., & Rigatto, I. B. (2023). Individual perceptions of critical factors on route affecting the willingness of direct commuting trips by bicycle in a hilly city. *Transportation*. https://doi.org/10.1007/s11116-023-10414-z

Díaz Fernández, P., Lindman, M., Isaksson-Hellman, I., Jeppsson, H., & Kovaceva, J. (2022). Description of same-direction car-to-bicycle crash scenarios using real-world data from Sweden, Germany, and a global crash database. *Accident Analysis and Prevention*, *168*, Article 106587. https://doi.org/10.1016/j.aap.2022.106587

Ding, H., & Sze, N. N. (2022). Effects of road network characteristics on bicycle safety: A multivariate Poisson-lognormal model. *Multimodal Transportation*, *1*(2), Article 100020. https://doi.org/10.1016/j.multra.2022.100020

Duren, M., Corrigan, B., Ehsani, J., Kennedy, R. D., & Pollack Porter, K. (2023). Individual and environmental bicycling determinants during a pandemic. *Journal of Transport and Health*, *31*, Article 101632. https://doi.org/10.1016/j.jth.2023.101632

Eriksson, J., Niska, A., & Forsman, Å. (2022). Injured cyclists with focus on single-bicycle crashes and differences in injury severity in Sweden. *Accident Analysis and Prevention*, *165*, Article 106510. https://doi.org/10.1016/j.aap.2021.106510

Fosgerau, M., Łukawska, M. I., Paulsen, M. I., & Kjaer Rasmussen, T. I. (2023). Bikeability and the induced demand for cycling. *PNAS*, *120*(16), 1–7. https://doi.org/10.1073/pnas.2220515120

Hudde, A. (2023). It's the mobility culture, stupid! Winter conditions strongly reduce bicycle usage in German cities, but not in Dutch ones. *Journal of Transport Geography*, *106*, Article 103503. https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2022.103503

Irawan, M. Z. (2022). Perceived disadvantages or motorized vehicle use habit? Investigating obstacles in bicycle use among adolescents in Yogyakarta, Indonesia. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, *14*, Article 100595. https://doi.org/10.1016/j.trip.2022.100595

Irawan, M. Z., Andani, I. G. A., Hasanah, A., & Bastarianto, F. F. (2023). Do cycling facilities matter during the COVID-19 outbreak? A stated preference survey of willingness to adopt bicycles in an Indonesian context. *Asian Transport Studies*, *9*, Article 100100. https://doi.org/10.1016/j.eastsj.2023.100100

Younkin, S., Fremont, H., Bratburd, J., De Los Santos, D., & Patz, J. (2023). The influence of socioeconomic characteristics on active travel in US metropolitan areas and the contribution to health inequity. *Wellcome Open Research*, *8*, Article 266. https://doi.org/10.12688/wellcomeopenres.19147.1

Jahanshahi, D., Costello, S. B., Dirks, K. N., Chowdhury, S., & Wee, B. van. (2023). Understanding perceptions of cycling infrastructure provision and its role in cycling equity. *Transportation Research Record*, 2677(3), 820–835. https://doi.org/10.1177/03611981221117821

Karn, K. S., Joganich, T., Tyrrell, R. A., Panik, R. T., Lee, J. D., & Schwebel, D. C. (2022). Safety considerations for cyclists and pedestrians. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, *66*(1), 1428–1432. https://doi.org/10.1177/1071181322661015

Li, Y., Chen, Q., Ma, Q., Yu, H., Huang, Y., Zhu, L., Zhang, H., Li, C., & Lu, G. (2022). Injuries and risk factors associated with bicycle and electric bike use in China: A systematic review and meta-analysis. *Safety Science*, *152*, Article 105769. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2022.105769

Liu, S., Li, Y., & Fan, W. (David). (2022). Mixed logit model based diagnostic analysis of bicycle-vehicle crashes at daytime and nighttime. *International Journal of Transportation Science and Technology*, *11*(4), 738–751. https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2021.10.001

Lubbe, N., Wu, Y., & Jeppsson, H. (2022). Safe speeds: Fatality and injury risks of pedestrians, cyclists, motorcyclists, and car drivers impacting the front of another passenger car as a function of closing speed and age. *Traffic Safety Research*, *2*, Article 000006. https://doi.org/10.55329/vfma7555

Makarova, I., Mavrin, V., Magdin, K., Shubenkova, K., & Boyko, A. (2020). Evaluation of sustainability of the transport system of urbanized areas considering the development of bicycle transport. In K. Gopalakrishnan, O. Prentkovskis, I. Jackiva, & R. Junevičius (Eds.), *TRANSBALTICA XI: Transportation Science and Technology* (pp. 427–433). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-38666-5_45

Márquez, L., Cantillo, V., & Arellana, J. (2021). How do the characteristics of bike lanes influence safety perception and the intention to use cycling as a feeder mode to BRT? *Travel Behaviour and Society*, *24*, 205–217. https://doi.org/10.1016/j.tbs.2021.04.005

McCreery-Phillips, S., & Heydari, S. (2023). Neighbourhood characteristics and bicycle commuting in the Greater London area. *Transport Policy*, *142*, 152–161. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2023.08.007

Meuleners, L., Fraser, M., & Roberts, P. (2023). Improving cycling safety through infrastructure design: A bicycle simulator study. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, *18*, Article 100768. https://doi.org/10.1016/j.trip.2023.100768

Mohiuddin, H., Jamal, S., & Rahman Bhuiya, M. M. (2022). To bike or not to bike: Exploring cycling for commuting and non-commuting in Bangladesh. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, *14*, Article 100614. https://doi.org/10.1016/j.trip.2022.100614

Monga, M., & Sadhukhan, S. (2023). Quantifying perceived social benefit of bicycle-friendly infrastructure in Indian cities: Patna as a case study. *Journal of Cycling and Micromobility Research*, *1*, Article 100003. https://doi.org/10.1016/j.jcmr.2023.100003

Myhrmann, M. S., & Mabit, S. E. (2023). Assessing bicycle crash risks controlling for detailed exposure: A Copenhagen case study. *Accident Analysis and Prevention*, *192*, Article 107226. https://doi.org/10.1016/j.aap.2023.107226

Napper, R. (2023). Napper cycling typology: Identifying and understanding different bicycle trip purposes. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, *17*, Article 100740. https://doi.org/10.1016/j.trip.2022.100740

Nematchoua, M. K., Ricciardi, P., Buratti, C., Orosa, J. A., Asadi, S., Deuse, C., Saadi, I., & Reiter, S. (2023). A bike trips survey as an impetus for the transition to sustainable cities and societies. *Cities*, *141*, Article 104526. https://doi.org/10.1016/j.cities.2023.104526

O'Reilly, R. K., Kollmann, A., Cohen, J. J., & Reichl, J. (2024). Macro-factors driving bicycle adoption as a primary transport mode across Europe. *Travel Behaviour and Society*, *34*, Article 100669. https://doi.org/10.1016/j.tbs.2023.100669

Ospina, J. P., Duque, J. C., Botero-Fernández, V., & Montoya, A. (2022). The maximal covering bicycle network design problem. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *159*, 222–236. https://doi.org/10.1016/j.tra.2022.02.004

Pakdeewanich, C., Anantavrasilp, I., & Tiyarattanachai, R. (2023). Factors influencing the usage of bicycles on university campuses: A case study of universities in Thailand. *Case Studies on Transport Policy*, *14*, Article 101105. https://doi.org/10.1016/j.cstp.2023.101105

Paudel, M., Yap, F. F., Rosli, T. B. M., Tan, K. H., Xu, H., Vahdati, N., Butt, H., & Shiryayev, O. (2022). A computational study on the basis for a safe speed limit for bicycles on shared paths considering the severity of pedestrian head injuries in bicyclist-pedestrian collisions. *Accident Analysis and Prevention*, *176*, Article 106792. https://doi.org/10.1016/j.aap.2022.106792

Pillonnet, P. J., Clabaux, N., Fournier, J. Y., & Hernandez, F. (2023). Collision and fall rates by regular cyclists on bicycle facilities. *Transportation Research Procedia*, *72*, 3832–3836. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.11.504

Plămădeală, V., Goian, V., & Rusu, E. (2023). National and international experience regarding development of bicycle infrastructure. *Journal of Engineering Science*, *30*(1), 37–54. https://doi.org/10.52326/jes.utm.2023.30(1).03

Rahman, M. (2023). Commute mode switch and its relationship to life events, built-environment, and attitude change. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *120*, Article 103777. https://doi.org/10.1016/j.trd.2023.103777

Rios, C. M., & Silva, C. (2023). Bicycle mobility: Planners' attitudes under the influences of institutional functioning. *U.Porto Journal of Engineering*, *9*(3), 121–139. https://doi.org/10.24840/2183-6493_009-003_001962

Schleinitz, K., & Petzoldt, T. (2023). Development of German pedelec (and bicycle) crashes between 2013 and 2021. *Journal of Safety Research*, *87*, 187–201. https://doi.org/10.1016/j.jsr.2023.09.016

Schröter, B., Hantschel, S., Huber, S., & Gerike, R. (2023). Determinants of bicycle crashes at urban signalized intersections. *Journal of Safety Research*, *87*, 132–142. https://doi.org/10.1016/j.jsr.2023.09.011

Shakeel, K., & Rashidi, T. H. (2023). The impact of attitudes on bicycle-oriented and car-oriented attitudes for non-work travel: A hybrid choice model. *International Journal of Sustainable Transportation*, *17*(6), 696–710. https://doi.org/10.1080/15568318.2022.2088318

Shin, E. J. (2023). Decomposing neighborhood disparities in bicycle crashes: A Gelbach decomposition analysis. *Transport Policy*, *131*, 156–172. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2022.12.014

Shin, H., Cagnina, C., & Basiri, A. (2022). The impact of built environment on bike commuting: Utilising strava bike data and geographically weighted models. *AGILE: GIScience Series*, *3*, 1–9. https://doi.org/10.5194/agile-giss-3-15-2022

Sun, Z., Xing, Y., Gu, X., & Chen, Y. (2022). Influence factors on injury severity of bicycle-motor vehicle crashes: A two-stage comparative analysis of urban and suburban areas in Beijing. *Traffic Injury Prevention*, *23*(2), 118–124. https://doi.org/10.1080/15389588.2021.2024523

Taborda, S., Zuzarte, M., Magalhães, L., Carvalho, G., & Banza, M. (2023). Addressing the gender gap in cycling: Lisbon's journey for a more inclusive cycling ecosystem. *Transportation Research Procedia*, *72*, 2401–2408. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.11.735

Thaisi Garro Knebel, M., Turrell, G., de Souza Wanderley Júnior, R., Pignatti Teixeira, I., Silva de Oliveira, E., Akira Hino, A., Roque Andrade, D., & Antonio Florindo, A. (2024). A cohort study examining individual factors influencing cycling as a transportation mode in São Paulo, Brazil. *Preventive Medicine Reports*, *37*, Article 102535. https://doi.org/10.1016/j.pmedr.2023.102535

Transporto kompetencijų agentūra. (2022). *Įskaitinių eismo įvykių statistika Lietuvoje, 2018–2021 m.* https://tka.lt/wp-content/uploads/2023/03/2018-2021_EI-leidinys.pdf

Troped, P. J., Brenner, P. S., & Wilson, J. S. (2023). Associations between the built and social environment and bike share, physical activity, and overall cycling among adults from Boston neighborhoods. *Journal of Transport and Health*, *31*, Article 101629. https://doi.org/10.1016/j.jth.2023.101629

Utriainen, R., Pöllänen, M., O'Hern, S., & Sihvola, N. (2023). Single-bicycle crashes in Finland – Characteristics and safety recommendations. *Journal of Safety Research*, *87*, 96–106. https://doi.org/10.1016/j.jsr.2023.09.008

van der Zaag, P. D., Rozema, R., Poos, H. P. A. M., Kleinbergen, J. Y. J., van Minnen, B., Reininga, I. H. F., Doff, M. H. J., de Vries, G. T., El Moumni, M., Verbeek, R., Bens, B. W. J., & Spijkervet, F. K. L. (2022). Maxillofacial fractures in electric and conventional bicycle-related accidents. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, *80*(8), 1361–1370. https://doi.org/10.1016/j.joms.2022.03.020

Vilniaus miesto savivaldybė. (2018). *Vilniaus miesto savivaldybės darnaus judumo planas.* https://judumas.vilnius.lt/vdjp-informacija/

Westerhuis, F., Nuñez Velasco, P., Schepers, P., & de Waard, D. (2024). Do electric bicycles cause an increased injury risk compared to conventional bicycles? The potential impact of data visualisations and corresponding conclusions. *Accident Analysis and Prevention*, *195*, Article 107398. https://doi.org/10.1016/j.aap.2023.107398

Xu, Z., Zheng, N., Logan, D. B., & Vu, H. L. (2023). Assessing bicycle-vehicle conflicts at urban intersections utilizing a VR integrated simulation approach. *Accident Analysis and Prevention*, *191*, Article 107194. https://doi.org/10.1016/j.aap.2023.107194

Zhang, Y., Li, H., & Ren, G. (2023). Analyzing the injury severity in single-bicycle crashes: An application of the ordered forest with some practical guidance. *Accident Analysis and Prevention*, *189*, Article 107126. https://doi.org/10.1016/j.aap.2023.107126

Qian, Q., & Shi, J. (2023). Comparison of injury severity between E-bikes-related and other two-wheelers-related accidents: Based on an accident dataset. *Accident Analysis and Prevention*, *190*, Article 107189. https://doi.org/10.1016/j.aap.2023.107189

ANALYSIS OF THE FACTORS DETERMINING THE CHOICE TO MAKE BICYCLE TRIPS AND TRAFFIC ACCIDENTS RELATED TO BICYCLE TRIPS

M. ZABIELAITĖ-SKIRMANTĖ,
M. BURINSKIENĖ

Abstract. The bicycle is seen as part of a sustainable transportation system, it ensures environmental protection, economic well-being and social well-being. However, at the same time, cyclists are the most vulnerable road users and despite improving the quality of infrastructure, the number of traffic accidents involving cyclists is not decreasing as expected. The article analyzes the latest scientific articles related to the main factors determining the choice to travel by bicycle – weather conditions, terrain, infrastructure quality, safety, social changes. The article also analyzes the latest scientific research related to traffic accidents in which cyclists are injured. The most common types of traffic accidents and their connection with the planning of communication infrastructure are determined.

Keywords: sociodemographic factors, natural environment, built environment, traffic accidents with cyclists, traffic safety, daily trips by bicycle.

VILNIUS TECH
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

27-oji Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminė konferencija
Proceedings of the 27th Conference for Junior Researchers “Science – Future of Lithuania”

DARNI APLINKA / SUSTAINABLE ENVIRONMENT

2024 m. balandžio 25 d., Vilnius, Lietuva
25 April 2024, Vilnius, Lithuania

ISSN 2029-7157 / eISSN 2029-7149
eISBN 978-609-476-359-5
https://doi.org/10.3846/da.2024.017

Kelių ir miestų inžinerija / Road and Urban Engineering *https://vilniustech.lt/346238*

DVIRAČIŲ IR PĖSČIŲJŲ EISMO KONFLIKTINIŲ TAŠKŲ ANALIZĖ

Greta STABINSKAITĖ*, Rasa UŠPALYTĖ-VITKŪNIENĖ

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Aplinkos inžinerijos fakultetas,
Kelių katedra, Vilnius, Lietuva
**El. paštas greta.stabinskaite@stud.vilniustech.lt*

Gauta 2024 m. kovo 4 d.; priimta 2024 m. kovo 18 d.

Santrauka. Straipsnyje nagrinėjami dviračių ir pėsčiųjų eismo konfliktiniai taškai Vilniaus mieste, kurie yra vertinami eismo saugumo požiūriu, atliekami pažeidžiamų eismo dalyvių srautų ir elgsenos tyrimai. Aptariamos dažniausios konfliktinių situacijų priežastys, tokios kaip netinkama infrastruktūra, pavojų eismo dalyviams keliantys veiksmai. Konfliktinės situacijos vertintos remiantis olandų eismo konfliktų stebėjimo metodu. Nustatytos pagrindinės problemos, kurios lemia konfliktinių situacijų gausą bei sunkumą, identifikuotas inžinerinių eismo saugumo priemonių taikymo dviračių ir pėsčiųjų eismo konfliktiniuose taškuose poreikis.

Reikšminiai žodžiai: dviračių ir pėsčiųjų eismo infrastruktūra, eismo saugumas, DOCTOR metodika, eismo konfliktinės situacijos.

1. Įvadas

Urbanizuotose Lietuvos vietovėse siekiama, kad gyventojai rinktųsi važiavimą dviračiais, ėjimą pėsčiomis ar kitus automobilių transportui alternatyvius kelionės būdus. Šiam tikslui pasiekti Vilniuje plečiamas pėsčiųjų ir dviračių takų tinklas. Didėjant pažeidžiamų eismo dalyvių srautams, tikėtina, kad padaugės ir eismo įvykių pėsčiųjų ir dviračių eismo srautų susikirtimo vietose (toliau – konfliktiniuose taškuose), todėl Lietuvos strateginio ir bendrojo planavimo dokumentuose akcentuojama, jog svarbu užtikrinti saugią ir patogią infrastruktūrą pažeidžiamiems eismo dalyviams ir imtis inžinerinių eismo saugumo priemonių (Europos Komisija, 2011, 2016; Lietuvos Respublikos susisiekimo ministerija, 2015).

37 % visų 2019–2022 m. laikotarpiu užfiksuotų eismo įvykių tarp pėsčiųjų ir dviračių vairuotojų įvyko Vilniaus mieste. Dažniausia eismo įvykio rūšis – užvažiavimas ant pėsčiojo (73 % visų eismo įvykių), kurio metu sužalojimus dažniausiai patiria pėstysis (93 % visų eismo įvykių). Stebima pėsčiųjų ir dviračių vairuotojų eismo įvykių bei sužeidimų jų metu skaičiaus didėjimo tendencija, kurią galime sieti su didėjančiais pėsčiųjų ir dviračių vairuotojų srautais (Transporto kompetencijų agentūra, 2023).

Laureshyn ir Várhelyi (2020) pažymi, kad tikrasis eismo įvykių skaičius, jų priežastys ir pasekmės nėra žinomos, kadangi atsakingos institucijos yra ne visada informuojamos. Neturint detalesnės informacijos apie eismo įvykio eigą ir pasekmes sunku suprasti, kas lėmė eismo įvykį. Tyrimai, analizuojantys pėsčiųjų ir dviračių vairuotojų saugą, dažnu atveju remiasi ne eismo įvykiais, o konfliktinėmis situacijomis, kurių tikimybę padidina pėsčiųjų ir dviračių vairuotojų judėjimo greitis ir srautas. „Eismo konfliktas – tai situacija, kai du ar daugiau eismo dalyvių erdvėje ir laike priartėja vienas prie kito tiek, kad kyla susidūrimo pavojus, jeigu jų judėjimas nesikeičia“ (Kraay et al., 2013; Liang et al., 2021).

Analizuojant pėsčiųjų ir dviračių eismo infrastruktūros projektavimą Lietuvoje reglamentuojančius teisės aktus buvo pastebėta, kad nėra aišku, kas, pėstieji ar dviračių vairuotojai, dviračių tako kirtimo vietoje turi pirmumą. Dažnu atveju prioritetas suteikiamas dviračių vairuotojams, neatsižvelgiant į esamus ir prognozuojamus pėsčiųjų ir dviračių vairuotojų srautus.

Darbo tikslas – įvertinti esamą eismo saugumo situaciją konfliktiniuose taškuose ir išanalizuoti konfliktinių situacijų priežastis.

2. Metodika

Kraay et al. (2013) nurodo, jog nesant pakankamai duomenų apie įvykusius eismo įvykius nagrinėjamoje teritorijoje, konfliktiniai taškai nustatomi pagal eismo

© 2024 Autoriai. Leidėjas Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Šis straipsnis yra atvirosios prieigos straipsnis, turintis Kūrybinių bendrijų (Creative Commons) licenciją (CC BY 4.0), kuri leidžia neribotą straipsnio ar jo dalių panaudą su privaloma sąlyga nurodyti autorių ir pirminį šaltinį.

dalyvių srautus, t. y. kuo eismo dalyvių srautai yra didesni, tuo didesnė ir eismo įvykių tikimybė. Lietuvoje dar nėra galiojančios metodologijos, pagal kurią būtų galima nustatyti vietas, kurias laikytume konfliktiniais taškais, todėl konfliktiniai taškai pasirinkti remiantis bendrąją praktika, pasirinktos vietos, kuriose driekiasi pagrindinių-tarprajoninių dviračių takų trasos ir vyksta intensyvus pėsčiųjų eismas ir kuriose dėl to, kad pėstieji yra priversti kirsti dviračių taką, tikėtina didžiausia konfliktinių situacijų tikimybė:

– ties viešojo transporto stotelėmis, kur dviračių takas driekiasi už stotelės, o stotelės paklausa – daugiau nei 2000 keleivių per parą;
– ties šviesoforais reguliuojamomis sankryžomis, kurių prieigose pėstieji kerta dviračių taką;
– ties pėsčiųjų perėjomis ir dviračių pervažomis, kurių prieigose pėstieji kerta dviračių taką.

Atliekant tiriamųjų konfliktinių taškų apžiūrą įvertinama, ar esama infrastruktūra atitinka Lietuvos teisės aktų, reglamentuojančių pėsčiųjų ir dviračių eismo infrastruktūros projektavimą, reikalavimus, įvertinami pėsčiųjų ir dviračių eismo organizavimo sprendiniai, esamos inžinerinės eismo saugumo priemonės (ar jų trūkumas).

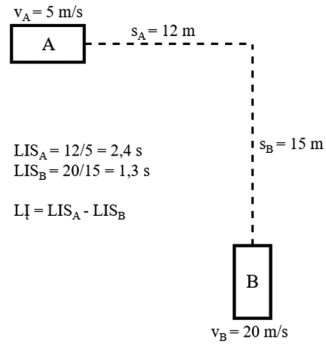
Duomenys, skirti analizuoti konfliktines situacijas, surenkami atliekant konfliktinių taškų stebėjimo ir eismo dalyvių elgsenos tyrimus. Stebėjimo tyrimai suteikia vertingų įžvalgų apie eismo srautus, pėsčiųjų ir dviračių vairuotojų elgesį, sąveiką ir galimas eismo saugos problemas. Eismo dalyvių elgsenos tyrimai atliekami siekiant išsiaiškinti susiformavusius judėjimo įpročius, ypač atsižvelgiant į elgesį, kuris gali kelti pavojų. Remiantis ankstesniais tyrimais (Liang et al., 2021; Van Der Horst et al., 2014) galima pastebėti, kad kelių eismo taisyklių nesilaikymas, neatidumas, pavojingas manevravimas, didelis judėjimo greitis yra dažniausiai pasitaikantys pavojingo elgesio pavyzdžiai.

Duomenims surinkti naudotasi Vilniaus miesto eismo valdymo centro vaizdo stebėjimo kamerų medžiaga bei asmenine vaizdo kamera ir montavimo įranga. Vaizdo kamera pastatyta taip, kad tiriamojoje vietoje apimtų visas pažeidžiamų eismo dalyvių judėjimo kryptis. Stebėjimai atlikti 2023 m. liepos 25, rugpjūčio 1, 21, 22 ir rugsėjo 4–8 bei 12 dienomis, piko valandomis (7:00–8:00 val. ir 16:00–17:00 val.), kadangi šiltuoju metų laiku pėsčiųjų ir dviračių vairuotojų srautai Vilniaus mieste yra didžiausi.

Tiriamose vietose pėsčiųjų ir dviračių vairuotojų srautai nustatyti stebint vaizdo įrašų medžiagą 15 min. intervale. Įvertinamos visos galimos judėjimo tiriamojoje vietoje kryptys, kurios pažymimos situacijos schemoje. Pėsčiųjų ir dviračių vairuotojų elgsena stebima ir konfliktinės situacijos fiksuojamos viso tyrimo metu.

Lietuvoje nėra vieningos metodologijos, kuri būtų naudojama konfliktinių eismo situacijų analizei, todėl atliekant tyrimą vadovaujamasi olandų eismo konfliktų stebėjimo metodu (angl. *Dutch Objective Conflict Technique for Operation and Research* (toliau – DOCTOR metodika)) (Kraay et al., 2013) ir juo remiantis atliktu konfliktinių situacijų dviračių takuose tyrimu (Van Der Horst et al., 2014).

Remiantis DOCTOR metodika (Kraay et al., 2013) konfliktinė situacija nustatoma, kai laisvos vietos manevravimui yra mažiau nei įprastai. Susidūrimo tikimybę parodantys veiksniai yra laikas iki susidūrimo (angl. *Time-To-Collision* (TTC)) (toliau – LIS), minimalus laikas iki susidūrimo (angl. *Minimum Time-To-Collision* (TTC_{min})) (toliau – LIS_{min}) ir laikas po įsibrovimo (angl. *post-encroachment time* (PET)) (toliau – LĮ). LIS – laikas, reikalingas dviem eismo dalyviams susidurti, jei jie toliau važiuoja / juda esamu greičiu ir ta pačia trajektorija nesiimdami jokių veiksmų, kad išvengtų susidūrimo. LIS egzistuoja, kol eismo dalyviai juda susidūrimo trajektorija iki galimo susidūrimo taško (1 pav.). LIS_{min} yra žemiausia pasiekta LIS reikšmė dviem eismo dalyviams judant susidūrimo trajektorija. LĮ yra laikas nuo momento, kai pirmasis eismo dalyvis palieka antrojo eismo dalyvio judėjimo trajektoriją, iki momento, kai antrasis eismo dalyvis pasiekia pirmojo eismo dalyvio judėjimo trajektoriją t. y. jie pralenkia vienas kitą (1 pav.). Kuo mažesnės LIS_{min} ir LĮ reikšmės, tuo didesnė susidūrimo rizika. Kraay et al. (2013) teigia, jog urbanizuotose teritorijose LIS_{min} < 1,5 s ir / arba LĮ < 1,0 s reikšmės indikuoja, kad konfliktinė situacija yra pavojinga.



1 paveikslas. LIS ir LĮ skaičiavimo schema (Kraay et al., 2013)

Mažos LIS_{min} ir LĮ reikšmės rodo didelę susidūrimo ir sunkių pasekmių tikimybę, tačiau vien šie objektyvūs veiksniai išsamiai nenusako galimo eismo konflikto sunkumo lygio. Išskirti konfliktinių situacijų tipo ir sunkumo vertinimo kriterijai, kuriais remiantis išanalizuotos tiriamosiose vietose užfiksuotos konfliktinės situacijos tarp pėsčiųjų ir dviračių vairuotojų. Konfliktinės situacijos skirstomos pagal pėsčiųjų ir dviračių vairuotojų judėjimo trajektorijas į 6 tipus, kurie detaliau apibūdinami

1 lentelėje. Remiantis DOCTOR metodika (Kraay et al., 2013) konfliktinės situacijos sunkumas vertinamas balais nuo 1 iki 5. Atsižvelgiama į LIS_{min} ir LĮ reikšmes, taip pat į eismo dalyvių veiksmus ir rimtų sužalojimų tikimybę (2 lentelė).

1 lentelė. Konfliktinių situacijų klasifikavimas pagal tipą (P – pėsčiasis, D – dviračio vairuotojas) (sudaryta autorių)

Konfliktinės situacijos tipas		Apibūdinimas
A(P-D)		Artėjimas iš galo / lenkimas judant ta pačia kryptimi. Pėsčiasis ėmėsi veiksmo, siekdamas išvengti susidūrimo.
A(D-P)		Artėjimas iš galo / lenkimas judant ta pačia kryptimi. Dviračio vairuotojas ėmėsi veiksmo, siekdamas išvengti susidūrimo.
B(P-D)		Judėjimas priešingomis kryptimis. Pėsčiasis ėmėsi veiksmo, siekdamas išvengti susidūrimo.
B(D-P)		Judėjimas priešingomis kryptimis. Dviračio vairuotojas ėmėsi veiksmo, siekdamas išvengti susidūrimo.
C(P-D)		Artėjimas iš šono. Pėsčiasis ėmėsi veiksmo, siekdamas išvengti susidūrimo.
C(D-P)		Artėjimas iš šono. Dviračio vairuotojas ėmėsi veiksmo, siekdamas išvengti susidūrimo.

2 lentelė. Konfliktinių situacijų klasifikavimas pagal sunkumą (P – pėsčiasis, D – dviračio vairuotojas) (sudaryta autorių remiantis DOCTOR metodika (J. H. Kraay et al., 2013))

Konfliktinės situacijos sunkumo balas	Apibūdinimas
1	LIS_{min} > 2,0 s. Nesunki konfliktinė situacija – atliktas prevencinis veiksmas siekiant išvengti susidūrimo, daug laiko ir erdvės manevravimui, itin maža susidūrimo tikimybė.
2	LIS_{min} 1,5–2,0 s. Nesunki konfliktinė situacija – atliktas valdomas veiksmas siekiant išvengti susidūrimo, daug laiko ir erdvės manevravimui, maža susidūrimo tikimybė.
3	LIS_{min} 1,0–1,5 s. Sunki konfliktinė situacija – atliktas staigus veiksmas siekiant išvengti susidūrimo, pakankamai laiko ir erdvės manevravimui, vidutinė susidūrimo tikimybė.
4	LIS_{min} 0,5–1,0 s. Sunki konfliktinė situacija – atliktas nekontroliuojamas veiksmas, susidūrimo buvo išvengta, mažai laiko ir erdvės manevravimui, didelė susidūrimo tikimybė.
5	LIS_{min} 0–0,5 s. Itin sunki konfliktinė situacija – atliktas nekontroliuojamas veiksmas, susidūrimo buvo išvengta, itin mažai laiko ir erdvės manevravimui arba įvykęs susidūrimas.

3. Pėsčiųjų ir dviračių eismo konfliktinių taškų Vilniaus mieste nustatymas

Norint Vilniaus mieste išskirti vietas, kuriose, tikėtina, yra didžiausia konfliktinių situacijų tikimybė, naudotasi 2019–2022 m. įvykusių eismo įvykių tarp pėsčiųjų ir dviračių vairuotojų duomenimis (Transporto kompetencijų agentūra, 2023) ir pagrindinių Vilniaus miesto pėsčiųjų ir dviračių takų tinklų žemėlapiais (Maps, n.d.). Identifikuota 21 vieta ir atlikti pirminiai stebėjimai siekiant užfiksuoti konfliktines situacijas. Konfliktinės situacijos užfiksuotos 13 vietų, kurios pateikiamos 3 lentelėje ir analizuojamos detaliau pagal aprašytą metodiką.

3 lentelė. Tiriamieji konfliktiniai taškai Vilniaus mieste (sudaryta autorių)

Tipas	Vieta
Ties viešojo transporto stotelėmis	Sietyno st., Pilaitės pr., link centro
	Europos aikštė, Konstitucijos pr., iš centro
	Žemynos st., Laisvės pr., link centro
	Minties st., Žirmūnų g., link centro (esamas horizontalusis ženklinimas 1.13.1 „zebras“ dviračių take)
Ties šviesoforu reguliuojamomis sankryžomis	Kalvarijų–Žalgirio g. sankryža
	Žirmūnų–Šilo–Minties g. sankryža
	Laisvės pr.–Pilaitės pr.–T. Narbuto g. sankryža
	Laisvės pr.–Justiniškių g. sankryža
	Kalvarijų–Žvejų–Upės g. sankryža (esamas horizontalusis ženklinimas 1.13.1 „zebras“ dviračių take)
Ties pėsčiųjų perėjomis ir dviračių pervažomis	J. Basanavičiaus g.
	Upės–A. Nasvyčio g. sankryža
	Tuskulėnų g. žiedas, Tuskulėnų g.
	Upės g., ties baltuoju tiltu (esamas horizontalusis ženklinimas 1.13.1 „zebras“ dviračių take)

4. Pėsčiųjų ir dviračių eismo konfliktinių taškų analizė

Atlikus tiriamųjų konfliktinių taškų apžiūrą ir įvertinus esamos infrastruktūros tinkamumą trūkumai užfiksuoti visų tipų konfliktiniuose taškuose, vieno tipo konfliktiniai taškai neišsiskyrė ženkliu trūkumų skaičiumi. Pagal trūkumų grupes neaiškus eismo pirmumas yra dažniausiai pasikartojantis trūkumas (31,3 %). Taip pat dažnai pasikartojantys trūkumai – netinkamas dviračių tako plotis ar danga (15,6 %), netinkamai įrengtos / neįrengtos neregių vedimo sistemos (15,6 %) bei neužtikrintos apsaugos zonos ir / arba matomumas (12,5 %). Rečiau pasikartojantys trūkumai yra netinkami arba trūkstami kelio ženklai (9,4 %) ir horizontalusis

ženklinimas (6,3 %). Likę trūkumai sudaro 9,4 % visų trūkumų.

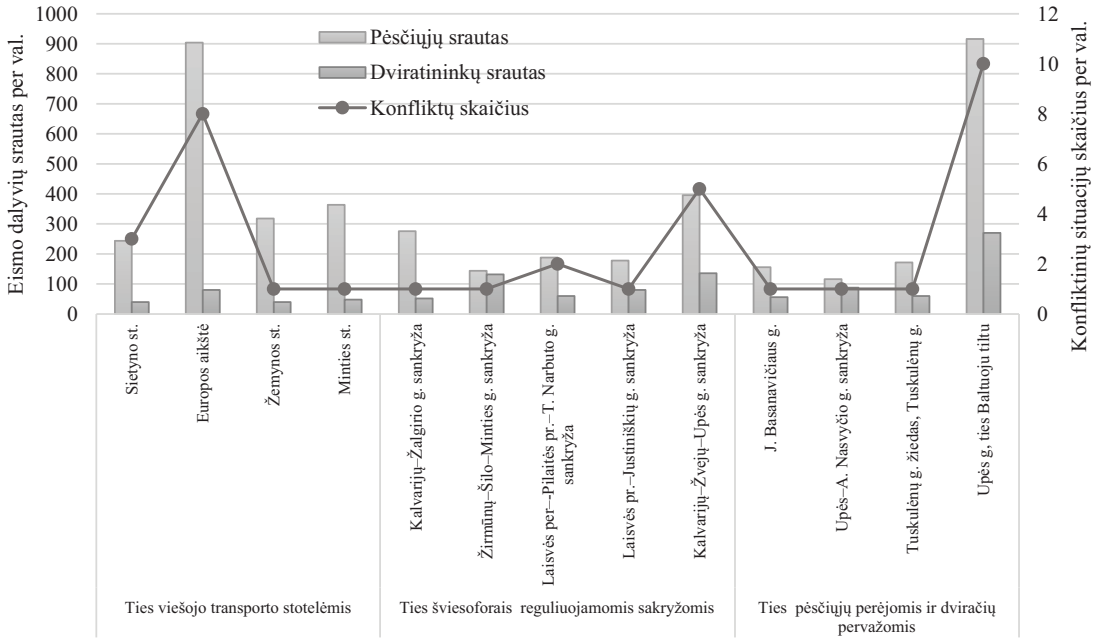
Atlikus pėsčiųjų ir dviračių vairuotojų elgsenos tyrimus pastebimas elgsenos panašumas konfliktiniuose taškuose ties viešojo transporto stotelėmis – chaotiškas pėsčiųjų judėjimas, pėstieji, laukiantys dviračių take ar einantys juo. Dviračių vairuotojams sunku nuspėti, kurioje vietoje pėstieji gali kirsti dviračių taką. Pastebima, kad dviračių vairuotojai ties stotelės zona važiuoja kiek atsargiau, stengiasi nesusidurti su staiga į dviračių taką išėjusiais pėsčiaisiais. Tiriamuosiuose konfliktiniuose taškuose ties šviesoforais reguliuojamomis sankryžomis taip pat pastebimas chaotiškas pėsčiųjų judėjimas. Konfliktiniuose taškuose ties pėsčiųjų perėjomis ir dviračių pervažomis pastebimos susiformavusios koncentruotos dviračių tako kirtimo vietos ta kryptimi, kuria pėsčiųjų srautai yra didžiausi. Dalyje vietų ribojamas dviračių vairuotojų regos laukas, tad gali būti laiku nepastebėti link dviračių tako artėjantys ir jį kirsti besiruošiantys pėstieji, didėja konfliktinių situacijų tikimybė.

Pasikartojanti problema – dviračių vairuotojai ilguose, tiesiuose dviračių takų ruožuose išvysto didelį greitį, tačiau nėra įspėjami, jog artėja prie vietos, kurioje didelė dalis pėsčiųjų kerta dviračių taką. Pėstieji kerta dviračių taką statmenai tada, kai jiems tai daryti yra patogu, t. y. nesant apsauginių tvorelių, želdinių ar kitų priemonių, juda trumpiausia trajektorija įstrižai dviračių tako. Horizontalus ženklinimas 1.13.1 „zebras“ dviračių take iš esmės nenukreipia pėsčiųjų kirsti dviračių tako būtent juo paženklintoje vietoje, tačiau nurodo, kad pėstieji turi pirmumą, suteikia aiškumo. Tiesa, tyrimų metu pastebėta, jos ne visi eismo dalyviai vadovaujasi minėtu ženklinimu, dažnu atveju pėstieji suteikia pirmumą dviratininkams, kadangi pėstiesiems sustoti yra lengviau. Dviračių vairuotojai linkę praleisti pėsčiuosius tik tuo atveju, kai pėsčiųjų srautas yra itin didelis (pvz., tiriamame taške Upės g. ties baltuoju tiltu).

Tyrimo metu iš viso buvo identifikuotos 36 konfliktinės situacijos. Daugiausia konfliktinių situacijų užfiksuota Europos aikštės st., Kalvarijų–Žvejų–Upės g. sankryžoje ir Upės g. ties baltuoju tiltu. Šiose vietose, palyginti su kitomis tiriamosiomis vietomis, konfliktinių situacijų skaičių lėmė dideli pėsčiųjų ir dviračių vairuotojų srautai (2 pav.).

Didžioji dalis konfliktinių situacijų – C(D-P) tipo, kai artėjama iš šono. Nagrinėjant konfliktinių situacijų tipus ir jų aplinkybes (duomenys pateikiami 4 lentelėje) pastebėta, jog 64 % atvejų dviračio vairuotojas ėmėsi veiksmo, siekdamas išvengti susidūrimo su pėsčiuoju. Analizuojant konfliktinių situacijų pobūdį pastebėta, jog dažniausi veiksmai, kurių imasi dviračių vairuotojai, siekdami išvengti susidūrimo, yra stabdymas ir lenkimas. Pėstiesiems yra kur kas lengviau sustoti, tad siekdami išvengti konflikto būtent tai jie ir yra linkę daryti.

Nustatyta, jog 70 % identifikuotų konfliktinių situacijų yra sunkios, t. y. įvertintos 3–5 sunkumo balais ir keliančios pavojų eismo dalyvių saugumui. Didžiajai daliai (44 %) konfliktinių situacijų skirtas 3 sunkumo balas (duomenys pateikiami 5 lentelėje). Sunkūs konfliktai įvyko dėl didelio dviračių vairuotojų važiavimo greičio, pėsčiųjų ir dviračių vairuotojų neatidumo.



2 paveikslas. Pėsčiųjų ir dviračių vairuotojų srautų ir konfliktinių situacijų tyrimo duomenys (sudaryta autorių)

4 lentelė. Konfliktinių situacijų pasiskirstymas pagal tipą (sudaryta autorių)

Tipas	Vieta	Konfliktinės situacijos tipas					
		A(P-D)	A(D-P)	B(P-D)	B(D-P)	C(P-D)	C(D-P)
Ties viešojo transporto stotelėmis	Sietyno st.					2	1
	Europos aikštė		2	2	1	2	1
	Žemynos st.						1
	Minties st.						1
Ties šviesoforais reguliuojamomis sankryžomis	Kalvarijų–Žalgirio g. sankryža						1
	Žirmūnų–Šilo–Minties g. sankryža						1
	Laisvės pr.–Pilaitės pr.–T. Narbuto g. sankryža					1	1
	Laisvės pr.–Justiniškių g. sankryža					1	
	Kalvarijų–Žvejų–Upės g. sankryža				2	2	1
Ties nereguliuojamomis pėsčiųjų perėjomis ir dviračių pervažomis	J. Basanavičiaus g.					1	
	Upės–A. Nasvyčio g. sankryža						1
	Tuskulėnų g. žiedas, Tuskulėnų g.						1
	Upės g., ties Baltuoju tiltu					2	8
	Viso:	-	2	2	3	11	18

5 lentelė. Konfliktinių situacijų pasiskirstymas pagal sunkumą (sudaryta autorių)

Tipas	Vieta	Konfliktinių situacijų sunkumas				
		1	2	3	4	5
Ties viešojo transporto stotelėmis	Sietyno st.			3		
	Europos aikštė		4	2	1	1
	Žemynos st.			1		
	Minties st.			1		
Ties šviesoforais reguliuojamomis sankryžomis	Kalvarijų–Žalgirio g. sankryža			1		
	Žirmūnų–Šilo–Minties g. sankryža			1		
	Laisvės pr.–Pilaitės pr.–T. Narbuto g. sankryža		1	1		
	Laisvės pr.–Justiniškių g. sankryža			1		
	Kalvarijų–Žvejų–Upės g. sankryža			1	2	2
Ties nereguliuojamomis pėsčiųjų perėjomis ir dviračių pervažomis	J. Basanavičiaus g.				1	
	Upės–A. Nasvyčio g. sankryža				1	
	Tuskulėnų g. žiedas, Tuskulėnų g.			1		
	Upės g., ties Baltuoju tiltu	5	1	3	1	
	Viso:	5	6	16	6	3

Mažesnė nei 1,5 s LIS_{min} reikšmė nustatyta 32 konfliktinių situacijų metu (88,8 %), o mažesnė nei 1,0 s LĮ reikšmė nustatyta 30 konfliktinių situacijų metu (83,3 %). Pastebėta, jog vertinant pėsčiųjų ir dviračių vairuotojų konfliktines situacijas vadovautis tik LIS_{min} ir LĮ reikšmėmis nėra tikslinga, kadangi šie eismo dalyviai, palyginti su motorinėmis transporto priemonėmis, dažnu atveju prasilenkia labai mažais atstumais, gali staigiai ir lengvai pakeisti savo judėjimo trajektoriją ir išvengti susidūrimo būdami arti susidūrimo taško.

Išvados

1. Remiantis atliktu pėsčiųjų ir dviračių eismo konfliktinių taškų stebėjimo tyrimu ir įvertinus tiriamuosius taškus eismo saugumo požiūriu nustatyta, jog infrastruktūra, skirta pėstiesiems ir dviračių vairuotojams, daro didelę įtaką šių eismo dalyvių elgsenai: ribotas matomumas, reikiamos judėjimo erdvės neužtikrinimas ir kt. trūkumai lemia chaotišką judėjimą, laukimą ne tam skirtose vietose ir kitus pavojų keliančius veiksmus, o dėl jų – ir konfliktines situacijas.

2. Išryškintos dvi pagrindinės problemos, kurios lemia konfliktinių situacijų tarp pėsčiųjų ir dviračių vairuotojų gausą – ties dviračių tako kirtimo vietomis tiek pėstiesiems, tiek dviračių vairuotojams nėra aišku, kam turi būti suteikta pirmenybė, o Lietuvos teisės aktuose nėra reglamentuotų sprendinių, kurie galėtų būti taikomi dviračių ir pėsčiųjų srautų susikirtimo vietose. Tyrimo rezultatai rodo, jog horizontalus ženklinimas 1.13.1 „zebras“ dviračių take be papildomų pėstiesiems nukreipti skirtų priemonių yra neveiksmingas, reikalinga aiški metodika, kokiais atvejais ir kokios priemonės turi būti taikomos konfliktiniuose taškuose.
3. Tyrimo metu nustatyta 13 konfliktinių taškų Vilniaus mieste ir identifikuotos 36 konfliktinės situacijos. Didžioji dalis jų – vienam iš eismo dalyvių artėjant iš šono. 64 % atvejų susidūrimo išvengta dėl dviračių vairuotojų veiksmų – stabdymo, lenkimo.
4. Nustatyta, jog pavojingiausi konfliktiniai taškai Vilniaus mieste yra ties Europos aikštės st., Kalvarijų–Žvejų–Upės g. sankryža ir Upės g. ties Baltuoju tiltu. Autorių atliktas tyrimas parodė, kad 70 % identifikuotų konfliktinių situacijų yra sunkios ir keliančios pavojų eismo dalyvių saugumui. Tai parodo inžinerinių eismo saugumo priemonių taikymo konfliktiniuose taškuose poreikį Vilniaus mieste siekiant pagerinti pėsčiųjų ir dviračių eismo saugumo situaciją.

Literatūra

Europos Komisija. (2011). *Baltoji knyga. Bendros Europos transporto erdvės kūrimo planas. Konkurencingos efektyviu išteklių naudojimu grindžiamos transporto sistemos kūrimas* (2011, kovo 28, Nr. 144). Briuselis. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/?uri=celex:52011DC0144

Europos Komisija. (2016). *Komisijos komunikatas Europos Parlamentui, Tarybai, Europos ekonomikos ir socialinių reikalų Komitetui ir regionų Komitetui. Europos bendro vartojimo ekonomikos darbotvarkė* (2016, birželio 2, Nr. 356). https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/?uri=CELEX%3A52016DC0356

Kraay, J. H., Horst, A. R. A., & Opee, S. (2013). *Manual conflict observation technique DOCTOR* (Dutch Objective Conflict Technique for Operation and Research). https://www.ictct.net/wp-content/uploads/SMoS_Library/LIB_Kraay_et_al_2013.pdf

Laureshyn, A., & Várhelyi, A. (2020). *The Swedish traffic conflict technique - Manual*. Lund University. https://www.ictct.net/wp-content/uploads/SMoS_Library/LIB_Laureshyn_Varhelyi_2020.pdf

Liang, X., Meng, X., & Zheng, L. (2021). Investigating conflict behaviours and characteristics in shared space for pedestrians, conventional bicycles and e-bikes. *Accident Analysis and Prevention*, *158*, Article 106167. https://doi.org/10.1016/j.aap.2021.106167

Lietuvos Respublikos susisiekimo ministerija. (2015). *Įsakymas dėl darnaus judumo mieste planų rengimo gairių patvirtinimo* (20015, kovo 13, Nr. 3-108 (1.5 E)). https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/a80a7c10c97a11e48a1edbba9d2aea36

Maps. (n.d.). *Dviračių trasos ir pėsčiųjų takai.* https://maps.vilnius.lt/transportas?zoom=1&x=581205.618491415&y=6064062.254991416&transportas=999!13!22!21!6!3!0!&allLayers=999!&basemap=base-dark&identify=#legend

Transporto kompetencijų agentūra. (2023). *Eismo įvykių, kuriuose nukentėjo eismo dalyviai statistika Lietuvoje, 2019–2022 m.* Vilnius. https://tka.lt/wp-content/uploads/2023/03/2019%E2%80%932022_EI-leidinys.pdf

Van Der Horst, A. R. A., De Goede, M., De Hair-Buijssen, S., & Methorst, R. (2014). Traffic conflicts on bicycle paths: A systematic observation of behaviour from video. *Accident Analysis and Prevention*, *62*, 358–368. https://doi.org/10.1016/j.aap.2013.04.005

ANALYSIS OF BICYCLE AND PEDESTRIAN TRAFFIC CONFLICT POINTS

G. STABINSKAITĖ,
R UŠPALYTĖ-VITKŪNIENĖ

Abstract. The article examines the conflict points of bicycle and pedestrian traffic in the city of Vilnius These conflict points are evaluated from the point of view of traffic safety, the flows of traffic participants and their behavior are analyzed. The most common causes of conflict situations are discussed, such as inadequate infrastructure and dangerous actions of road users. Conflict situations are analyzed based on the Dutch traffic conflict monitoring method (DOCTOR). The main problems that determine the severity of conflict situations and the need for the application of engineering traffic safety measures at bicycle and pedestrian traffic conflict points have been identified.

Keywords: pedestrians and cyclist infrastructure, road safety, DOCTOR method, traffic conflicts.

VILNIUS TECH
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

27-oji Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminė konferencija
Proceedings of the 27th Conference for Junior Researchers “Science – Future of Lithuania”

DARNI APLINKA / SUSTAINABLE ENVIRONMENT

2024 m. balandžio 25 d., Vilnius, Lietuva
25 April 2024, Vilnius, Lithuania

ISSN 2029-7157 / eISSN 2029-7149
eISBN 978-609-476-359-5
https://doi.org/10.3846/da.2024.018

Pastatų energetika / Energy for Buildings

https://vilniustech.lt/346238

ADMINISTRACINIO PASTATO MIKROKLIMATO SĄLYGŲ ĮTAKOS ENERGINIO MODELIAVIMO REZULTATAMS ANALIZĖ

Greta MICKŪNĖ*, Kęstutis ČIUPRINSKAS

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Aplinkos inžinerijos fakultetas,
Pastatų energetikos katedra, Vilnius, Lietuva
**El. paštas greta.mickune@stud.vilniustech.lt*

Gauta 2024 m. kovo 4 d.; priimta 2024 m. kovo 18 d.

Santrauka. Tyrimas atliekamas naudojant dinaminio energinio modeliavimo programą IDA ICE. Tyrimo objekto, administracinės paskirties pastato, modelis sukurtas remiantis realiais duomenimis. Pastato energijos sąnaudos normalizuojamos, modelis kalibruojamas. Atlikti oro matavimai parodė, kad pastate susiduriama su sausu patalpų oru – tai didžiausia nagrinėjamo pastato mikroklimato problema. Pirminė simuliacija parodė, kad modelio rezultatai koreliuoja su atliktais matavimais. Žemos santykinės drėgmės problemai spręsti modelyje vėdinimo įrenginių oro tiekimo būdas pakeičiamas iš pastovaus oro srauto į kintamojo oro srautą su drėgmės reguliavimu. Pakeitus įvesties duomenis metinės energijos poreikis sumažėjo 6 MWh, o nepatenkintų žmonių kiekis (PPD) sumažėjo 3 %.

Reikšminiai žodžiai: patalpų mikroklimatas, dinaminis energinis modeliavimas, IDA ICE, santykinė oro drėgmė.

1. Įvadas

Įvairiais tyrimais apskaičiuota, kad žmogus patalpose praleidžia vidutiniškai 80 % laiko, o tai reiškia, kad didžiausią dienos dalį jis yra veikiamas pastate suprojektuotų šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo sistemų. Pasaulio sveikatos organizacijos duomenimis, 2012 metais dėl prasto patalpų oro anksčiau laiko mirė apie 4,3 milijonai žmonių (World Health Organization, 2022).

Įvairios pastato inžinerinės sistemos, pavyzdžiui, vėdinimo įrenginiai, reguliuoja aplinkos oro temperatūrą ir cirkuliaciją pagal suprogramuotus parametrus ir taip sukuria iš pažiūros jaukią aplinką, tačiau senos statybos namuose, ypač daugiabučiuose, tokių sistemų nėra, todėl daugelis ne tik senos statybos, bet ir netinkamai suprojektuotų pastatų gyventojų kenčia nuo prastos oro kokybės ir „nesveiko pastato sindromo“ (angl. *sick building syndrome*).

Kadangi prastas pastatų mikroklimatas yra plačiai paplitusi problema, vienas iš tikslų, projektuojant bet kurios paskirties pastatą, – sumažinti neigiamą mikroklimato poveikį žmonių sveikatai ir darbingumui (Daukšys, 2021). Mikroklimato sąvoka vartojama tam tikram žmogų supančios aplinkos fizinių parametrų deriniui nusakyti. Vertinant pastato ar jo patalpų mikroklimatą nagrinėjamos keturios aplinkos parametrų grupės: šiluminė aplinka, oro kokybė, akustika ir apšvieta, tačiau dažnu atveju nagrinėjant ar optimizuojant mikroklimato padėtį susitelkiama ties atskirais komfortą lemiančiais parametrais, neatsižvelgiant į visumą. Tai gali turėti neigiamos įtakos pastato naudotojų komfortui, ypač kai projektuojami ar modernizuojami energetiškai efektyvūs pastatai.

Lietuvos teisės aktai, tokie kaip statybos techniniai reglamentai, labiau atsižvelgia į energijos naudojimo efektyvumo gerinimą ir energijos taupymą, tačiau mažai dėmesio skiria mikroklimato kokybei gerinti. Tuo tarpu tarptautinės gairės, pavyzdžiui, *The Chartered Institution of Building Services Engineers* (CIBSE, 2024), didelę dalį dėmesio skiria mikroklimatui nagrinėti ir gerinti, atskirai nagrinėjami įvairūs kriterijai, susiję su komfortu. Įvairios CIBSE gairės siekia užtikrinti, kad projektuojamuose pastatuose būtų sukurtas patogus ir sveikas mikroklimatas, nes jis yra tiesiogiai susijęs su energijos vartojimo ir žmonių darbo efektyvumu.

Daug išlaidų nereikalaujantis metodas mikroklimatui nagrinėti yra pastato energinis dinaminis modeliavimas. Dinaminio modeliavimo programos, pavyzdžiui, IDA

© 2024 Autoriai. Leidėjas Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Šis straipsnis yra atvirosios prieigos straipsnis, turintis Kūrybinių bendrijų (Creative Commons) licenciją (CC BY 4.0), kuri leidžia neribotą straipsnio ar jo dalių panaudą su privaloma sąlyga nurodyti autorių ir pirminį šaltinį.

ICE, nurodo laiką valandomis, kuomet nebūna užtikrintas šildymo ir vėsinimo poreikis bei nurodo šiluminiu komfortu nepatenkintų žmonių kiekį procentais. Pastarasis skaičius taip pat naudingas ir įvertinant perkaitimo riziką vasaros laikotarpiu ar net žiemą.

Kitų valstybių praktika rodo, kad energetinio modeliavimo įtraukimas į pastatų projektavimo procesą jau yra įprastas reiškinys. Jis padeda ne tik geriau suprasti pastato mikroklimatą, bet ir efektyviau valdyti energijos vartojimą. Ši sėkminga kitų šalių praktika galėtų paskatinti svarstyti teisės aktų atnaujinimą arba naujų gairių įvedimą Lietuvoje, siekiant pritaikyti šią praktiką šalies statybos sektoriui. Visapusišką požiūrį į mikroklimatą ir energijos vartojimą užtikrintų ne tik teisiniai reikalavimai, bet ir energinio dinaminio modelio įtraukimas į projektinius dokumentus.

Tyrimo tikslas – įvertinti administracinio pastato mikroklimato sąlygų įtaką energinio modeliavimo rezultatams.

2. Tyrimo objektas

Tyrimo objektas, pavaizduotas 1 paveiksle, – administracinės paskirties pastatas Vilniuje. Didžiąją dalį pastato sudaro biuro patalpos, biblioteka, pastate taip pat įrengta didelė renginių auditorija / salė. Pastatą sudaro 14 aukštų, įskaitant rūsį ir cokolinį aukštą. Pastato energinio naudingumo klasė – B. Pastatui šilumą tiekia AB „Vilniaus šilumos tinklai“. Šilumos šaltinis – rūsyje suprojektuotas šiluminis mazgas, naudojamas šildymui, vėdinimui ir karšto vandens ruošimui. Pastate įrengtas vienas bendras šilumos ir karšto vandens skaitiklis. Pagal turimus duomenis, pastatas nenaudoja jokių atsinaujinančių šaltinių.

Iš šiluminio mazgo, suprojektuoto rūsyje, vėdinimo sistemos įrenginiams, konvektoriniam ir radiatoriniam šildymui šilumnešis tiekiamas plieniniais izoliuotais vamzdžiais. Šildymo prietaisai: plieniniai apatinio pajungimo pastatomi konvektoriai, radiatoriai, rankšluosčių džiovintuvai. Biuro paskirties patalpoms vėsinimas tiekiamas vėsinimo kasetėmis iš šalčio mašinų. Pastate taip pat įrengti vėdinimo įrenginiai, kurie pagal technines dokumentacijas atlieka rekuperatoriaus funkcijas. Tiekiamas oras pašildomas arba atvėsinamas iki tam tikros temperatūros. Vėdinimo įrenginiai tiekia orą pastovaus oro srauto (CAV) sistema be santykinės drėgmės reguliavimo. Pastato atitvarų šiluminių charakteristikų duomenys pateikiami 1 lentelėje.



1 paveikslas. Tiriamas objektas – VILNIUS TECH centriniai rūmai (Blaževič, 2021)

1 lentelė. Atitvarų šilumos perdavimo koeficientai

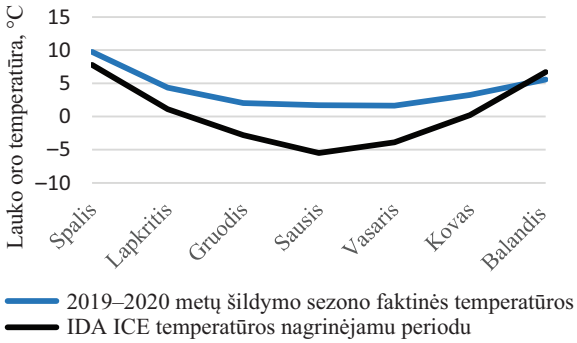
Atitvara	Šilumos perdavimo koeficientas U W/(m²K)
Grindys ant grunto	0,3
Sienos	0,3
Rūsio sienos	0,3
Stogas	0,22
Durys	1,2
Langai, g vertė – 0,8	0,83

3. Tyrimo metodika

Nagrinėjamo pastato dinaminis modelis sukurtas naudojantis IDA ICE programa. Pirmiausia sudaroma pastato modelio geometrija, remiantis „Revit“ modeliu ir dvimačiais architektūriniais planais. Sukūrus pastato geometriją, įvedami duomenys apie patalpų mikroklimato rodiklius, atitvarų savybes, sukuriami darbo grafikai ir nurodomi pritekių nuo žmonių, apšvietimo ir įrangos kiekiai. Taip pat sukuriama šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo sistemų schema bei suvedami sistemų parametrai, tokie kaip šilumogrąžos efektyvumas, vėsinimo įrenginių našumo koeficientas, savitosios ventiliatorių galios ir kiti. Šie pagrindiniai žingsniai leidžia įvertinti pirminius energijos poreikių rezultatus.

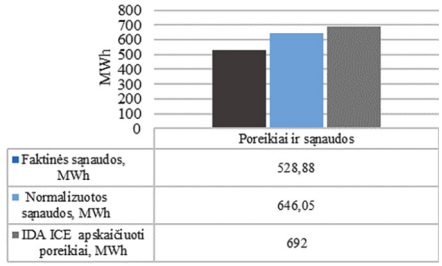
Pastato energijos poreikiams skaičiuoti dinaminio modeliavo programa IDA ICE naudoja ASHRAE klimatinius duomenis IWEC 2 (*International Weather for Energy Calculation*). Šiuos klimatinius duomenis sudaro dvylika tipiškų mėnesių iš skirtingų galimų metų – šie mėnesiai yra sujungiami tam, kad būtų sukurti standartiniai klimatiniai metai. Kitaip tariant, apskaičiuojant energijos poreikius modeliavimo programa jie iš esmės yra normalizuojami, kad atitiktų standartinius klimatinius metus, panašiai kaip nurodoma STR 2.01.02:2016 (Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija, 2024). Dėl šios priežasties – kad modelis būtų tinkamai kalibruotas – faktinės energijos sąnaudos normalizuojamos dienolaipsnius apskaičiuojant, pasitelkus IDA ICE klimatinius duomenis, o ne remiantis minėtu STR.

Tyrime analizuojamas laikotarpis – 2019–2021 metai, tačiau ankstesnio teiginio teisingumui įvertinti atliktas realių 2019–2020 metų šildymo sezono klimatinių duomenų palyginimas su IDA ICE klimatiniais duomenimis. Rezultatai pateikiami 2 paveiksle.



2 paveikslas. 2019–2020 metų šildymo sezono lauko oro temperatūrų palyginimas. IDA ICE ir faktinės temperatūros

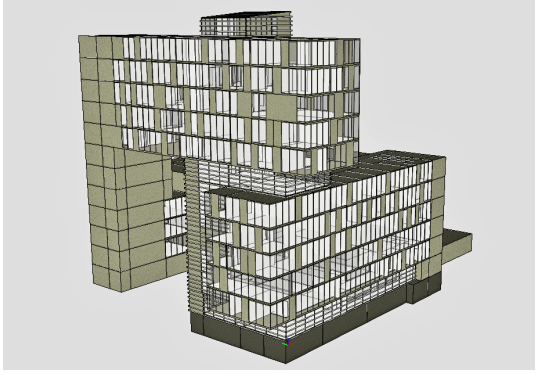
Gauti faktiniai duomenys normalizuojami ir apskaičiuojami pastato energijos poreikiai. Maksimalus galimas nesąryšis tarp apskaičiuotų šilumos nuostolių ir normalizuotų sąnaudų – 10 % (Martinaitis et al., 2012). Rezultatai pateikiami 3 paveiksle. Nesąryšis tarp normalizuotų sąnaudų ir IDA ICE apskaičiuotų poreikių – 7,11 %.



3 paveikslas. Tiriamojo pastato faktinės normalizuotos sąnaudos ir apskaičiuoti poreikiai, MWh

3.1. Įvesties duomenys

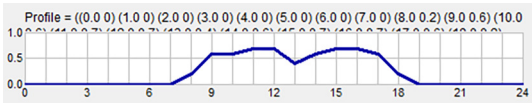
Pastato modelio (žr. 4 pav.) kūrimo metu informacija įvedama atsižvelgiant į techninę dokumentaciją bei pastato valdymo sistemos duomenis. Ten, kur duomenų pritrūko, buvo daromos prielaidos. Išmatuojama pastato infiltracija ir nustatomas oro kartotinumas patalpoje, kuris šiuo atveju lygus 0,19 – šis skaičius panaudotas modelyje.



4 paveikslas. Nagrinėjamo objekto dinaminio modelio 3D vaizdas IDA ICE aplinkoje

Tam, kad modeliavimo procesas būtų lengvesnis, patalpos skirstomos į zonų grupes, šiame modelyje jos suskirstytos pagal paskirtį: biuro patalpos, WC patalpos, koridoriai ir tambūrai, sandėliukai, techninės patalpos ir katilinės, virtuvėlės, serverinė, renginių salės, neeksploatuojamos patalpos, pavyzdžiui, vamzdynų ir ventiliacijos šachtos. Liftai taip pat priskiriami prie neeksploatuojamų patalpų.

Kiekvienai zonų grupei taikomi tokie patys arba panašūs įvesties duomenys. Pavyzdžiui, biurų paskirties patalpoms nustatyta 21–25 °C temperatūra, šilumos pritėkiai nuo įrangos – 13,5 W/m^2, pritėkiai nuo apšvietimo – 2 W/m^2, žmonių tankis – 0,15 žm./m^2, tiekiamo ir šalinamo oro kiekis – 0,8 l/s m^2.



5 paveikslas. Darbo grafikas, pritaikytas biuro patalpoms

Biuro patalpoms pritaikytas grafikas (tik darbo dienomis) pavaizduotas 5 paveiksle.

3.2. Energinis modeliavimas

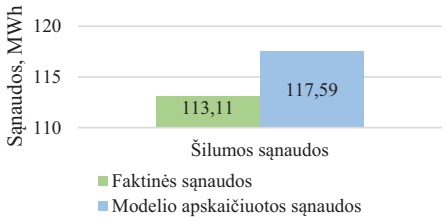
Pirmiausia modelis kalibruojamas – tai procesas, kuriuo siekiama tiksliai nustatyti arba derinti pastato energijos vartojimo modelį, atsižvelgiant į faktinius matavimus ir realaus pastato duomenis. Modelio rezultatai turėtų kuo tiksliau atspindėti pastato elgesį įvairiomis sąlygomis. Šio proceso esmė apima šiuos žingsnius:

1. Duomenų apie pastatą rinkimas.
2. Dinaminio modelio sudarymas remiantis gautais duomenimis apie pastatą.
3. Pradinių rezultatų analizė.
4. Modelio kalibravimas – remiantis faktinių duomenų ir modelio skirtumais, modelis yra derinamas arba kalibruojamas. Tai gali apimti įvairių parametrų pakeitimus ir gali būti kartojama kelis kartus, kol pasiekiamas optimalus rezultatas.

Atsižvelgiant į tai, kad pastato kompiuterinis modelis yra labai didelės apimties ir net vieno šildymo sezono suvartojimus generuoja ilgą laiką, jį reikia supaprastinti. Tai galima padaryti keliais būdais – mažinant laiko žingsnius arba mažinant modelio detalumą. Pavyzdžiui, panaikinant pasikartojančias zonas ir taikant zonų skaičiaus daugiklį (angl. *zone multiplier*). Šis parametras gali būti taikomas tuomet, kai zonos arba modeliuojamos patalpos turi panašius parametrus arba, pavyzdžiui, panašius energijos vartojimo ypatumus. Modelio paprastinimas gali turėti įtakos rezultatų tikslumui ir, nors pastarasis pasirinkimas (*zone multiplier* naudojimas) bus taikomas tolimesniame tyrime, prieš tai reikia įsitikinti,

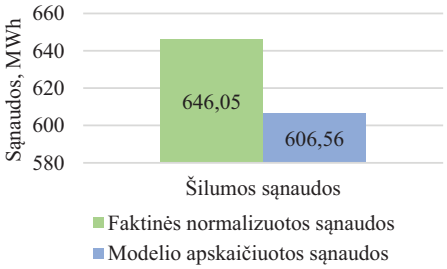
ar nesupaprastinto modelio rezultatai atitinka faktinius duomenis. Taip pat reikia patikrinti nesupaprastinto ir supaprastinto modelio įvesties duomenų įtaką rezultatams. Supaprastintas modelis turi kuo tiksliau atspindėti pilno modelio veikimą.

Dėl modelio sudėtingumo ir rezultato generavimo laiko pasirinkta rezultatus lyginti ir modelį kalibruoti remiantis vieno mėnesio duomenimis. Pasirinktas temperatūrų atžvilgiu gana ekstremalus mėnuo – 2019 metų gruodis. Gruodžio mėnesio faktinės normalizuotos sąnaudos lyginamos su to pačio mėnesio modelio apskaičiuotomis sąnaudomis. Pirminiai rezultatai pateikiami 6 paveiksle, jie parodo, kad modelis tinkamai sukalibruotas: šilumos sąnaudų skirtumas – 3,42 %.



6 paveikslas. 2019 metų gruodžio mėnesio faktinių ir modelio apskaičiuotų energijos sąnaudų palyginimas

Nesąryšis tarp energijos sąnaudų nesiekia 10 %, todėl galima teigti, kad modelis yra teisingai sukalibruotas, ir galima jį paprastinti – panaikinti tipines patalpas, pritaikyti *zone multiplier* funkciją. Pagreitinus simuliacijos laiką, atliekamas visų metų energijos sąnaudų palyginimas. Rezultatai pateikiami 7 paveiksle – nesąryšis yra 6,11 %, todėl galima teigti, kad supaprastintas modelis atspindi realaus pastato ir pilno modelio veikimą.

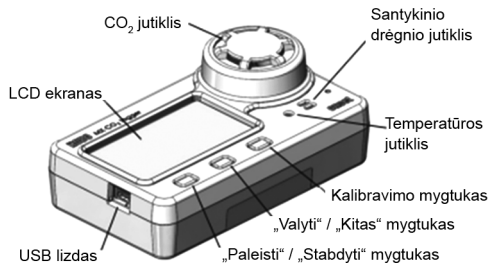


7 paveikslas. Faktinių ir modelio apskaičiuotų energijos sąnaudų palyginimas

4. Atlikti matavimai

Pastato infiltracijos duomenys nebuvo pateikti projektiniuose dokumentuose, todėl buvo atlikti oro infiltracijos dėl natūralaus ir mechaninio vėdinimo matavimai. Oro infiltracija yra ne tik energiniui modeliui būtinas įvesties rodiklis, bet ir tai, kas padeda nustatyti pastate vyraujančias mikroklimato problemas. Šiuo atveju buvo atlikti vienos iš Centrinių rūmų biuro patalpų anglies dvideginio, temperatūros ir drėgmės matavimai.

Matavimai atlikti su duomenų registratoriumi „HOBO Carbon Dioxide/Temp/RH Data Logger“ (8 paveikslas). Prietaiso ir matavimo duomenys pateikti 2 lentelėje. Matavimai buvo atliekami nuo 2023-10-18 16:08 val. iki 2023-10-30 14:48 val.



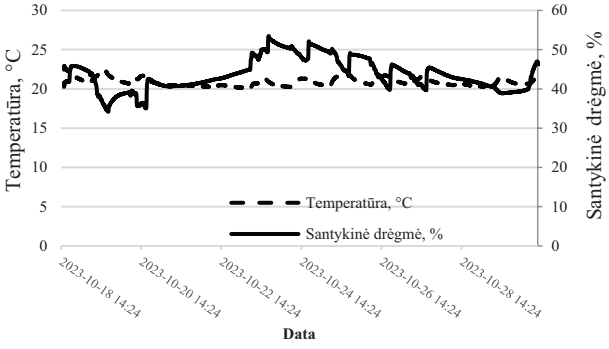
8 paveikslas. Matavimo metu naudotas prietaisas (OnsetComp, 2023)

Kadangi gautas didelis duomenų kiekis, temperatūros ir santykinės drėgmės santykis pateikiami grafiniu būdu 9 paveiksle.

2 lentelė. Naudoto matavimo prietaiso techninės charakteristikos

Nr.	Informacija apie prietaisą	Matuoti parametrai ir matavimo vienetai	Prietaiso paklaidos dydis
1.	„HOBO Carbon Dioxide/ Temp/RH Data Logger“	Anglies dvideginis CO_2, ppm Santykinė drėgmė, RH, % Patalpos temperatūra, ºC Data ir laikas, matuojama kas 5 min	±0.21 °C nuo 0° iki 50 °C

Iš 9 paveikslo galima pastebėti mažos santykinės drėgmės tendenciją – žema santykinė drėgmė arba, paprasčiau, sausas oras yra nagrinėjamame pastate jau žinoma problema. Žemiausia santykinė drėgmė per matavimo laikotarpį buvo 34 %.



9 paveikslas. Išmatuota VILNIUS TECH centrinių rūmų biuro patalpos temperatūra ir santykinė drėgmė

Iš išmatuotų duomenų apskaičiuotas ir oro kartotinumas patalpoje, kuris, kaip minėta anksčiau, yra 0,19. Šis rodiklis taip pat buvo reikalingas savitiesiems pastato šilumos nuostoliams tikslingai suskaičiuoti.

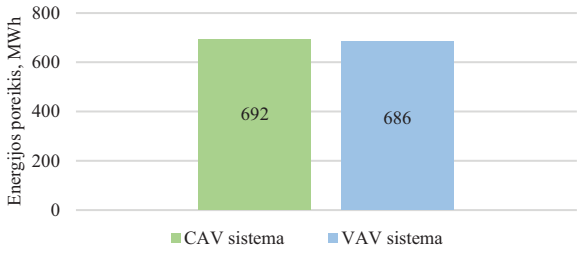
5. Rezultatų ir esamos padėties mikroklimato analizė

Kaip minėta ankstesniuose skyriuose, pastato vėdinimo sistemos tiekia orą pastoviu srautu (CAV). Naudojant tokias sistemas oro temperatūra gali būti reguliuojama, bet oro srautas lieka nepakitęs, nepriklausomai nuo to, kiek individualių zonų reikalauja oro. Be to, šią sistemą paprasčiau ir pigiau įdiegti, nes jai nereikia sudėtingų reguliuojamųjų įrenginių ir sistemų valdymo. Tačiau tokių sistemų naudojimas gali prisidėti prie didesnių energijos sąskaitų ir pabloginti pastato patalpų mikroklimatą. CAV naudojimas gali taip pat prisidėti ir prie žemo patalpų drėgmės lygio – ši problema ir pastebima nagrinėjamame pastate.

Pastate siūloma įdiegti kintamojo oro srauto (VAV) su drėgmės reguliavimu vėdinimo sistemą. Vėdinimo sistemos, kurios tiekia orą kintamojo oro srautu, leidžia ne tik efektyviau valdyti energijos naudojimą, bet ir užtikrinti geresnį mikroklimatą patalpose.

Toliau atliekama pastato energijos poreikių simuliacija (apskaičiavimas), kurioje biuro patalpų vėdinimo būdas pakeičiamas iš CAV į VAV su santykinės drėgmės reguliavimu. Pakeičiami ir įvesties duomenys – įvedamas optimalus drėgmės lygis nuo 55 % iki 65 %.

Rezultatai parodė, kad tiekiamo oro srautą biuro patalpose pakeitus iš CAV į VAV su drėgmės reguliavimu, metinis energijos poreikis sumažėjo 0,94 %, t. y. 6 MWh (10 paveikslas).



10 paveikslas. Metinių energijos poreikių palyginimas. CAV ir VAV sistemos

Pradiniai rezultatai parodė, kad netgi žiemos laikotarpiu, šildymo sezono metu, atsiranda 40 MWh vėsinimo poreikis, o tai reiškia, kad pastatas stipriai perkaista net šaltuoju metų laiku. Šis skaičius nepasikeitė atlikus vėdinimo sistemos pakeitimus.

Atlikti matavimai taip pat koreliuoja su modelio rezultatais: kaip minėta, matavimuose pastebimas per mažas kai kurių patalpų drėgmės lygis – tai yra jau žinoma vyraujanti nagrinėjamo pastato mikroklimato problema.

Modelis taip pat apskaičiuoja šiluminiu komfortu nepatenkintų žmonių skaičių procentais. Stebima, kad mikroklimatu nepatenkintų žmonių dalis pagal bazinį modelį – 21 %, o pakeitus įvesties duomenis šis skaičius nukrenta iki 18 %. Nepatenkintų žmonių skaičius arba PPD tiesiogiai priklauso nuo vidaus temperatūros – ten, kur vidaus temperatūra viršija 27 °C, nepatenkintų žmonių kiekis atitinkamai didesnis. Tai reiškia, kad vėdinimo įrenginiai, kurie orą tiekia kintamuoju oro srautu kartu su drėgmės reguliavimu, padeda efektyviau pasiekti ir pageidaujamas patalpų temperatūras.

6. Išvados

1. Darbui surinkti visi prieinami nagrinėjamo pastato duomenys, atlikti oro matavimai, kurie leidžia nustatyti vyraujančias mikroklimato problemas.
2. Iš atliktų matavimų nustatyta, kad pastatas susiduria su nepakankamu patalpų drėgmės lygiu, o pirminiai energinio modelio rezultatai koreliuoja su matavimais.
3. Nepakankamo drėgmės lygio problemai spręsti vėdinimo įrenginių sistema modelyje pakeičiama iš CAV į VAV su drėgmės reguliavimu.
4. Šio tyrimo tikslas – įvertinti administracinio pastato mikroklimato sąlygų įtaką energinio modeliavimo rezultatams. Atsižvelgus į nagrinėjamo pastato mikroklimato problemas, t. y. į nepakankamą drėgmės lygį, ir energiniame modelyje įdiegus mikroklimato gerinimo priemones, paaiškėjo, kad antrosios simuliacijos rezultatai skiriasi nuo bazinio modelio rezultatų.
5. Pakeitus vėdinimo sistemą iš CAV į VAV su drėgmės reguliavimu, modelio apskaičiuotas metinis energijos poreikis sumažėjo 6 MWh, o nepatenkintų žmonių kiekis sumažėjo 3 %.

Literatūra

Blaževič, E. (2021, liepos 2). *Skelbiamas „Vilnius Tech“ rektoriaus konkursas*. https://www.lrt.lt/naujienos/lietuvoje/2/1443878/skelbiamas-vilnius-tech-rektoriaus-konkursas

Daukšys, K. (2021). *Biurų paskirties pastatų fasadų analizė darnaus pastato* kontekste [Magistro baigiamasis darbas, Vilniaus Gedimino technikos universitetas]. Lietuvos akademinė elektroninė biblioteka. https://vb.vgtu.lt/object/elaba:97496344/

Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija. (2024). *Statybos techninis reglamentas STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“.* Vilnius.

Martinaitis, V., Rogoža, A. ir Šiupšinskas, G. (2012). *Energijos vartojimo pastatuose auditas*. Technika. https://doi.org/10.3846/1299-S

OnsetComp. (2023). *HOBO MX CO_2 Logger (MX1102A)* [Apparatus]. https://www.onsetcomp.com/resources/documentation/22504-mx1102a-manual

The Chartered Institution of Building Services Engineers. (2024). *CIBSE guides*. https://www.cibse.org/knowledge-research/knowledge-resources/engineering-guidance/cibse-guides

World Health Organization. (2023). *Household air pollution*. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health

ANALYSIS OF THE IMPACT OF INDOOR CLIMATE CONDITIONS ON OFFICE BUILDING ENERGY MODELING RESULTS

G. MICKŪNĖ, K. ČIUPRINSKAS

Abstract. The study is conducted using the dynamic energy modeling program IDA ICE. The model of the office building under investigation is created based on real data. The building's energy consumption is normalized, and the model is calibrated. Air measurements have shown that the building is experiencing dry indoor air – this is the biggest microclimate issue of the building under investigation. The primary simulation has shown that the model results correlate with the conducted measurements. To address the low relative humidity issue, the ventilation system's air supply mode is changed from constant air volume to variable air volume with humidity control. By changing the input data, the annual energy demand decreased by 6 MWh, and the percentage of dissatisfied people (PPD) also decreased by 3%.

Keywords: indoor climate, dynamic energy modeling, IDA ICE, relative humidity.

VILNIUS TECH
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

27-oji Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminė konferencija
Proceedings of the 27th Conference for Junior Researchers “Science – Future of Lithuania”

DARNI APLINKA / SUSTAINABLE ENVIRONMENT

2024 m. balandžio 25 d., Vilnius, Lietuva
25 April 2024, Vilnius, Lithuania

ISSN 2029-7157 / eISSN 2029-7149
eISBN 978-609-476-359-5
https://doi.org/10.3846/da.2024.019

Pastatų energetika / Energy for Buildings

https://vilniustech.lt/346238

MOKSLO PASKIRTIES PASTATO ŠILUMOS PRITĖKIŲ IR VĖSINIMO POREIKIŲ ANALIZĖ

Dovilė VAIŠNORAITĖ*, Rasa DŽIUGAITĖ-TUMĖNIENĖ

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Aplinkos inžinerijos fakultetas,
Pastatų energetikos katedra, Vilnius, Lietuva
**El. paštas dovile.vaisnoraite@stud.vilniustech.lt*

Gauta 2024 m. kovo 4 d.; priimta 2024 m. kovo 18 d.

Santrauka. Šildymui ir vėsinimui sunaudojama beveik 50 % visos galutinės ES energijos, iš kurių 80 % sunaudojama pastatuose reikalingam patalpų mikroklimatui užtikrinti. Šiame straipsnyje analizuojami mokslo paskirties pastato šilumos pritėkiai ir jų įtaka pastato vėsinimo poreikiui, siekiant integruoti į pastato fasadą saulės elementus. Tyrimas atliekamas naudojantis dinaminio energinio modeliavimo programa IDA ICE. Tiriamojo pastato energinis modelis sukurtas remiantis realaus mokslo paskirties pastato projektine dokumentacija bei faktiniais šilumos ir elektros apskaitos duomenimis. Modelio rezultatai lyginami su faktiniais duomenimis. Tyrimo metu nustatyta, jog nesąryšis tarp normalizuotų sąnaudų ir apskaičiuotų poreikių yra 4 %.

Reikšminiai žodžiai: pastato šilumos pritėkiai, pastato faktiniai duomenys, vėsinimo poreikis, vėsinimo galia, IDA ICE, pastato energinis modeliavimas, saulės spinduliuotės įtaka.

1. Įvadas

Šiuolaikiniuose tiek gyvenamuosiuose, tiek visuomeniniuose pastatuose šildymo, vėdinimo ir vėsinimo įranga yra būtina. Paprastai trečdalis visos metinės elektros energijos visame pasaulyje sunaudojama orui pastatuose kondicionuoti ir šaldyti (Li & Wang, 2016).

Tyrimo tikslas – išanalizuoti pastato šilumos pritėkius, siekiant integruoti į pastato fasadą saulės elementus, ir įvertinti, kokią įtaką šilumos pritėkiai turi pastato vėsinimo poreikiui.

2. Tiriamasis objektas

Tyrimo objektas – Vilniaus Gedimino technikos universiteto mokslo ir administracijos centras, esantis Saulėtekio al. 11, Vilniuje. Remiantis statybos sektoriaus vystymo agentūros (2011) duomenimis, tiriamojo pastato energinio naudingumo klasė – B. Pastato patalpų šildymo, tiekiamo oro pašildymo ir karšto vandens ruošimo šilumos šaltinis – šilumos mazgas, kuris įrengtas rūsyje.

Pastato atitvarų šilumos perdavimo koeficientai pateikti 1 lentelėje.

Projektinė pastato vidaus temperatūra nešildymo sezono metu – 24 °C, šildymo sezono metu – 21 °C.

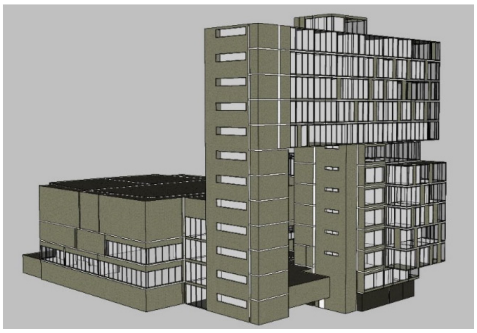
1 lentelė. Atitvarų šilumos perdavimo koeficientai

Išorės atitvaros pavadinimas	Šilumos perdavimo koeficientas, W/(m²K)
Grindys	0,300
Grindys ant grunto	0,300
Sienos	0,300
Sienos, besiribojančios su gruntu	0,300
Stogas	0,220
Durys	1,953
Langai	0,833

3. Tyrimo metodika

Pastato energinis dinaminis modelis sukurtas naudojantis IDA ICE programa (EQUA Simulation Technology Group, 2009). Tai yra dinaminio energinio modeliavimo programa, kuri leidžia analizuoti pastato energinį naudingumą ir optimizuoti alternatyvius sprendinius. Pastato modelio geometrija kuriama remiantis dvimačiais architektūriniais planais, pjūviais bei trimačiu pastato modeliu (1 pav.). IDA ICE programos aplinkoje yra nustatoma darbo patalpų oro apykaita, apskaičiuota pagal atliktus faktinius anglies dvideginio koncentracijos matavimus. Oro apykaitos nustatymas pateiktas 3.1 poskyryje.

© 2024 Autoriai. Leidėjas Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Šis straipsnis yra atvirosios prieigos straipsnis, turintis Kūrybinių bendrijų (Creative Commons) licenciją (CC BY 4.0), kuri leidžia neribotą straipsnio ar jo dalių panaudą su privaloma sąlyga nurodyti autorių ir pirminį šaltinį.



1 paveikslas. Pastato energinis modelis IDA ICE aplinkoje

Sukūrus pastato geometrinį modelį, IDA ICE programoje įvedami duomenys apie patalpų mikroklimato parametrus, atitvarų šilumines savybes, darbo grafikus.

Atlikus šiuos pagrindinius žingsnius, programoje pradedamas modeliavimas ir gaunami pirminiai pastato energijos poreikių rezultatai. Pagal gautus šildymo poreikių duomenis yra normalizuojami pastato faktiniai ir apskaičiuoti duomenys.

3.1. Oro kartotinumo patalpoje nustatymas

Oro kartotinumo patalpoje skaičiavimams atlikti buvo išmatuota anglies dvideginio koncentracija patalpoje, esančioje Saulėtekio al. 11.

Matavimai buvo atliekami 13 dienų, matavimo prietaisas buvo paliktas ant patalpoje esančios lentynos. Matavimų pradžia – 2023-10-18 16:00 valanda, pabaiga – 2023-10-30 15:00 valanda.

Oro kartotinumas patalpoje apskaičiuojamas pagal formulę:

$$n = \frac{\left(ln\left(c_p - c_e\right) - ln\left(c_g - c_e\right)\right) \times 3600}{t}, \quad (1)$$

čia c_p – pradinė išmatuota CO_2 koncentracija, ppm; c_g – galinė išmatuota CO_2 koncentracija, ppm; c_e – lauko CO_2 koncentracija, ppm; t – matavimo laikas, s.

Vidutinė anglies dvideginio koncentracija patalpoje darbo metu – 561,67 ppm, nedarbo metu – 405,23 ppm.

Oro kartotinumas patalpoje nustatomas pagal didžiausią anglies dvideginio koncentraciją darbo metu. Pradinė išmatuota CO_2 koncentracija – 788 ppm, galinė išmatuota CO_2 koncentracija – 483 ppm.

Išmatuota lauko oro CO_2 koncentracija – 306 ppm.

Apskaičiuotas oro kartotinumas patalpoje yra 0,19 h–1. Oro kartotinumo reikšmė yra įrašoma į energinio modeliavimo programą.

3.2. Pastato faktiniai, normalizuoti bei modeliavimo duomenys

Pastato energijos sąnaudų normalizavimas – energijos sąnaudų perskaičiavimas norminėmis sąlygomis, kai patalpų ir lauko oro temperatūros yra tokios, kaip nustatyta tai reglamentuojančiuose dokumentuose (Martinaitis et al., 2012). Pagal pastato šilumos faktinius duomenis yra normalizuojami apskaičiuoti duomenys. Norminiai duomenys yra perskaičiuojami pagal IDA ICE programoje pateiktus klimatinius duomenis.

Faktinės šildymo sezono pabaigos data – 2019-04-19, sezono pradžios data – 2019-10-01. Šildymo sezono trukmė – 212 dienų.

Vidaus faktinė temperatūra – 21 °C.

Šildymo dienolaipsnių skaičius pateiktas 2 lentelėje.

2 lentelė. Norminiai duomenys

Mėn.	Vid. mėnesio temperatūra, °C	Dienų sk.	Vidaus norminė temperatūra, °C	Dienolaipsniai, DL(n)	Šilumos sąnaudos, MWh
10	7,8	31	21	409,2	**36,62**
11	1,1	30	21	597,0	**92,16**
12	–2,8	31	21	737,8	**118,01**
1	–5,5	31	21	821,5	**121,87**
2	–3,9	28	21	697,2	**195,86**
3	0,2	31	21	644,8	**70,26**
4	6,7	30	21	429,0	**45,39**
	0,51	**212**		**4336,5**	**680,18**

Vidutinė šildymo periodo temperatūra – 0,51 °C.

Nesąryšis tarp pastato faktinių ir apskaičiuotų duomenų gali būti iki 10 % (Lietuvos Respublikos valstybės kontrolė, 2010).

3.3. Pastato energinis modeliavimas

Sukūrus pastato energinį modelį bei gavus nesąryšį tarp pastato faktinių ir apskaičiuotų duomenų (iki 10 %), nustatyti pastato vėsinimo poreikiai bei galios. Vėsinimo galiai nustatyti yra sudaromas šilumos pritėkių balansas (Pikelytė & Paulauskaitė, 2010).

Šilumos pritekėjimų balanso formulė:

$$\Phi_{šil.} = \Phi_{vid.} + \Phi_{rad.} + \Phi_{vėd.}, \quad (2)$$

čia $\Phi_{vid.}$ – į patalpą patekusi šiluma nuo dirbtinio apšvietimo, buitinių prietaisų ir žmonių metabolizmo išspinduliuotas šilumos srautas, kW; $\Phi_{rad.}$ – dėl saulės spinduliuotės į patalpą patekusi šiluma, kW; $\Phi_{vėd.}$ – į patalpą patekusi šiluma su tiekiamu lauko oru, kW.

Skaičiuojamosios tiekiamo į patalpas oro kiekio reikšmės priimtos pagal projektinę dokumentaciją ir atitinka STR 2.09.02:2005 „Šildymas, vėdinimas ir oro kondicionavimas“ reikalavimus.

Žmonių tankis administraciniame pastate priimtas pagal projektinę dokumentaciją ir atitinka STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo

projektavimas ir sertifikavimas“ reikalavimus (Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija, 2016). Darbuotojai pastate dirbs 5 darbo dienas per savaitę, nuo 7:00 val. iki 18:00 val. 3 lentelėje pateikiamos vidinių šilumos pritėkių vertės, kurios naudojamos modeliavimo metu.

3 lentelė. Vidinių šilumos pritėkių vertės

Patalpos paskirtis	Šilumos pritėkiai nuo žmonių	Šilumos pritėkiai nuo apšvietimo	Šilumos pritėkiai nuo el. prietaisų
[dimensija]	[žm./m^2]	[W/m^2]	[W/m^2]
Liftų holas, vestibiulis, fojė	0,25	2	5
Pasitarimų kambarys	0,5	2	5
Techninė patalpa, sandėlis, koridorius ir t. t.	0	2	0
Darbo kambarys	0,1667	2	13,5
Virtuvėlė	0,4	2	7,5
Salė, auditorija	1,1	2	7,5

Remiantis LST EN 16798-1:2019 pateiktais pastato vidaus aplinkos kokybės kategorijoms keliamais reikalavimais, nustatomi šildymo, vėdinimo, vėsinimo ir kitų elektros įrenginių veikimo grafikai.

4. Tyrimo rezultatai

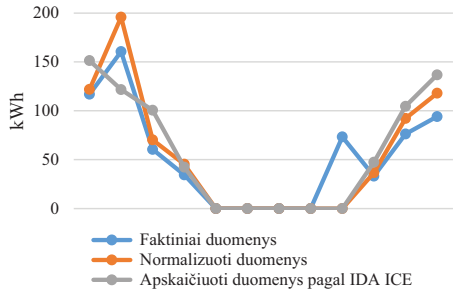
Šiame skyriuje analizuojamos 2019 metų faktinės, normalizuotos šilumos sąnaudos ir su IDA ICE programa sumodeliuoti patalpų šildymo, vėdinimo ir karšto vandens ruošimo poreikiai.

Pastato 2019 metų faktinių šilumos sąnaudų duomenys, gauti nuskaičius duomenis iš šilumos skaitiklių, pateikiami 4 lentelėje.

4 lentelė. Pastato faktiniai duomenys

Mėnuo	Q, MWh
10	33,18
11	76,27
12	94,11
1	116,91
2	160,62
3	60,50
4	34,46
S	576,05

Bendros pastato 2019 metų faktinės šilumos sąnaudos šildymo sezono metu – 576,05 MWh.



2 paveikslas. Faktinės, normalizuotos ir apskaičiuotos pastato šilumos sąnaudos 2019 metais

Iš 2 paveikslo matyti, kad didžiausios šilumos sąnaudos yra vasario mėn. Naudojant energinio modeliavimo programą IDA ICE, gauti pastato metiniai patalpų šildymo bei tiekiamo oro pašildymo poreikiai. Siekiant užtikrinti energinio modelio rezultatų patikimumą, modeliavimo duomenys lyginami su normalizuotais faktiniais šilumos sąnaudų duomenimis, kurie gauti panaudojus IDA ICE programoje pateiktus klimatinius duomenis. Rezultatai pateikiami 5 lentelėje.

5 lentelė. Faktiniai, normalizuoti ir modeliavimo duomenys

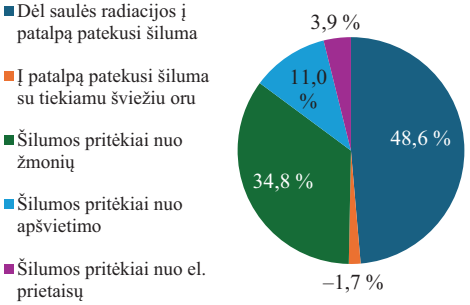
	Faktinės	Normalizuotos	Sumodeliuotos
Šilumos sąnaudos, MWh	576,05	680,18	704,67

Nesąryšis tarp sumodeliuotų šilumos poreikių ir faktinių šilumos sąnaudų – 4 %.

Kadangi nesąryšis tarp sumodeliuotų ir faktinių šilumos sąnaudų yra mažesnis nei 10 %, galima daryti prielaidą, jog modelis atitinka realius suvartojimus ir yra tinkamas vėsinimo galioms bei poreikiams analizuoti.

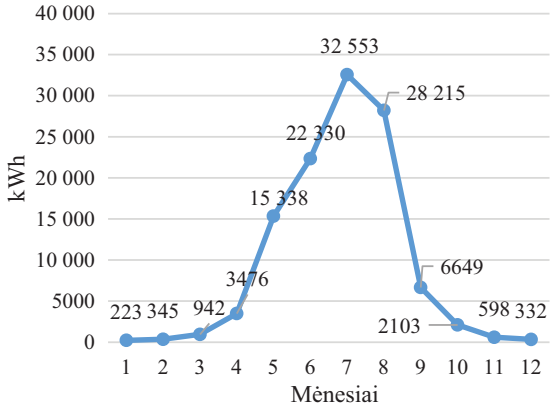
4.1. Vėsinimo galios ir poreikiai

Šiame skyriuje pateikiami modeliavimo metu gauti pastato šilumos pritėkiai, kuriuos lemia vidiniai ir išoriniai šilumos šaltiniai ir kurių procentalus pasiskirstymas pateiktas 3 paveiksle. Modeliavimas atliekamas ne šildymo sezono metu – nuo gegužės mėnesio pradžios iki rugsėjo mėnesio pabaigos.



3 paveikslas. Pastato šilumos pritėkiai

Dėl saulės spinduliuotės į patalpą patekusi šiluma yra 231 kW, su tiekiamu šviežiu oru į patalpą patekusi šiluma yra 8 kW. Šilumos pritėkiai nuo žmonių – 166 kW, šilumos pritėkiai nuo apšvietimo – 52 kW, šilumos pritėkiai nuo el. prietaisų – 18 kW. Bendra pastato vėsinimo galia – 459 kW.

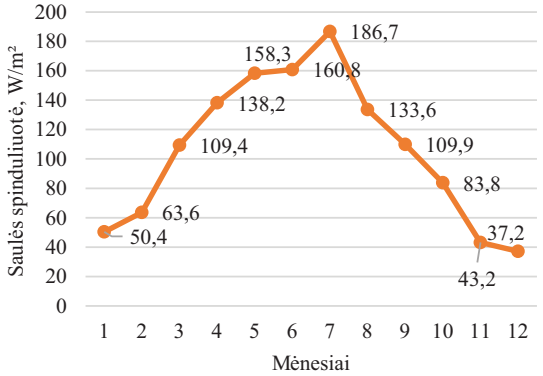


4 paveikslas. Metiniai pastato vėsinimo poreikiai

Iš 4 paveikslo matyti, kad didžiausias vėsinimo poreikis yra liepos mėn. – 32,55 MWh. Metinis vėsinimo poreikis – 113,10 MWh.

4.2. Saulės spinduliuotės įtaka pastato šilumos balansui ir saulės elementų sistemos integravimui

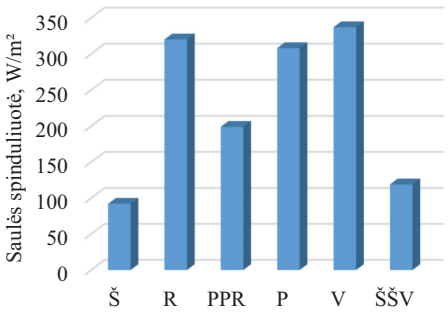
Pagal IDA ICE programoje įvestus Vilniaus miesto klimatinius duomenis analizuojama metinės saulės spinduliuotės įtaka pastato šilumos balansui.



5 paveikslas. Metinė saulės spinduliuotės įtaka pastato šilumos balansui, W/m^2

Iš 5 paveikslo matyti, jog didžiausia saulės spinduliuotė yra liepos mėn. Siekiant padidinti tiriamojo pastato energinį efektyvumą, siūloma pastate integruoti saulės elementų sistemą, kuri generuotų elektros energiją. Iš 5 paveikslo matyti, kad didžiausias saulės elementų efektyvumas bus liepos mėn.

Tyrimo metu analizuojamas saulės spinduliuotės dydis skirtingose fasado pusėse.



6 paveikslas. Saulės spinduliuotė pagal fasado orientaciją

Iš 6 paveikslo matyti, jog didžiausia saulės spinduliuotė tenka rytinei, pietinei ir vakarinei pastato fasado pusėms. Kaip rodo turimi duomenys, efektyviausia saulės elementus pastate integruoti į rytinę, pietinę bei vakarinę fasado puses.

5. Išvados

Siekiant integruoti į pastato fasadą saulės elementus normalizuotos faktinės pastato šilumos sąnaudos ir naudojant IDA ICE programą sumodeliuoti tiriamojo pastato šilumos ir vėsinimo poreikiai. Kaip rodo pastato faktiniai šilumos sąnaudų duomenys, nesąryšis tarp sumodeliuotų šilumos poreikių ir faktinių šilumos sąnaudų siekia 4 %, tad galima teigti, jog pastato energinis modelis yra tinkamas vėsinimo galioms ir poreikiams analizuoti.

Bendra pastato vėsinimo galia – 459 kW (85 W/m^2), didžiausias vėsinimo poreikis yra liepos mėnesį – 32,55 MWh (6,06 kWh/m^2).

Didžiausia saulės spinduliuotė yra liepos mėn. (186,7 W/m^2), daugiausiai saulės spinduliuotė veikia rytinę, pietinę bei vakarinę pastato fasado puses.

Literatūra

EQUA Simulation Technology Group. (2009). *IDA ICE 4: Getting started.* http://www.equaonline.com/iceuser/new_documentation.html

Europos standartizacijos komitetas. (2019). *Pastatų energinis naudingumas. Pastatų vėdinimas. 1 dalis. Pastatų energinio naudingumo projektavimo ir vertinimo vidaus aplinkos įvesties parametrai, susiję su patalpų oro kokybe, šilumine aplinka, apšvietimu ir akustika. M1-6 modulis* (LST EN 16798-1:2019).

Li, Y., & Wang, R. Z. (2016). *Photovoltaic-powered solar cooling systems*. Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100301-5.00010-2

Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija. (2016). *Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas* (STR 2.01.02:2016). https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/15767120a80711e68987e8320e9a5185/asr

Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija. (2005). *Šildymas, vėdinimas ir oro kondicionavimas* (STR 2.09.02:2005). https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.257930

Lietuvos Respublikos valstybės kontrolė. (2010). *Valstybinio audito ataskaita. Daugiabučių namų atnaujinimas (modernizavimas).* Vilnius.

Martinaitis, V., Rogoža, A. ir Šiupšinskas, G. (2012). *Energijos vartojimo pastatuose auditas.* Technika. https://doi.org/10.3846/1299-S

Pikelytė, V., & Paulauskaitė, S. (2010). The analysis of needs for heating and cooling energy in the administrative building with big glazing facades. *Mokslas – Lietuvos ateitis*, *2*(5), 75–80. https://doi.org/10.3846/mla.2010.095

Statybos sektoriaus vystymo agentūra. (2011). *Išrašas iš pastatų energinio naudingumo sertifikatų registro.* https://www.ssva.lt/registrai/pensreg/pensert_view.php?editid1=5793

ANALYSIS OF THE HEAT GAIN AND COOLING DEMAND OF A SCIENCE BUILDING AND NORMALISATION OF ACTUAL AND CALCULATED DATA

D. VAIŠNORAITĖ,
R. DŽIUGAITĖ-TUMĖNIENĖ

Abstract. Heating and cooling account for almost 50% of the EU's total final energy consumption, 80% of which is used to provide the indoor climate needed for the latter. This paper analyses the heat loads of a science building and their impact on the cooling demand of the building in order to integrate solar cells into the façade of the building. The study is carried out using the dynamic energy modelling software IDA ICE. The energy model of the investigated building is based on the design documentation of a real science building and on actual heat and electricity metering data. The model results are compared with the actual data. The study found a discrepancy of 4% between the normalised costs and the calculated demand.

Keywords: building internal heat gains, cooling demands, cooling loads, IDA ICE, building energy modelling, solar radiation.

VILNIUS TECH
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

27-oji Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis" teminė konferencija
Proceedings of the 27th Conference for Junior Researchers "Science – Future of Lithuania"

DARNI APLINKA / SUSTAINABLE ENVIRONMENT

2024 m. balandžio 25 d., Vilnius, Lietuva
25 April 2024, Vilnius, Lithuania

ISSN 2029-7157 / eISSN 2029-7149
eISBN 978-609-476-359-5
https://doi.org/10.3846/da.2024.020

Pastatų energetika / Energy for Buildings

https://vilniustech.lt/346238

COMPARISON OF THE ENERGY EFFICIENCY OF RESIDENTIAL BUILDINGS IN AZERBAIJAN AND LITHUANIA

Zhala IBRAHIMOVA*, Kęstutis VALANČIUS

Department Building Energetics, Faculty of Environmental Engineering,
Vilnius Gediminas Technical University, Vilnius, Lithuania
**E-mail: zhala.ibrahimova@stud.vilniustech.lt*

Received 04 March 2024; accepted 18 March 2024

Abstract. This study compares energy efficiency in residential buildings in Azerbaijan and Lithuania, regions with contrasting climates, to highlight how local conditions influence energy demands. Employing simulation data, we found significant differences: Azerbaijan's buildings require more energy for cooling, while Lithuania's need more for heating. The analysis indicates a 26.5% greater cooling demand in Azerbaijan and a 13.8% higher heating demand in Lithuania, underscoring the necessity of region-specific energy efficiency strategies. Additionally, the study explores the reduced energy consumption by fans and pumps, suggesting the potential for passive ventilation or the strategic deactivation of systems to conserve energy. These findings offer crucial insights for developing tailored, sustainable infrastructure in diverse climatic conditions.

Keywords: energy efficiency, residential buildings, Azerbaijan, Lithuania, thermal properties, cooling and heating, climatic differences**.**

1. Introduction

To combat climate change, it is crucial that the building industry is sustainable and has a portfolio of buildings that are more energy – and carbon-efficient. In 2020, buildings were responsible for 42% of the EU's total energy consumption and about 35% of energy-related greenhouse gas emissions (European Environment Agency, 2023). The aging infrastructure, with a substantial share of buildings over 50 years old and lacking in energy efficiency, presents a unique challenge across the continent, including in Lithuania and Azerbaijan. The EU has initiated ambitious policies aiming for a substantial reduction in energy consumption and greenhouse gas emissions from buildings. These policies provide a framework that countries like Lithuania and Azerbaijan can adapt to their specific conditions, addressing their unique challenges in improving residential building energy efficiency within their different climatic, historical, and socio-economic contexts. In addition, around 35% of the total stock of residential buildings is older than 50 years, and more than 75% are regarded as having poor energy efficiency (Economidou et al., 2011). The European Union (EU) has established two major declarations to guarantee significant energy savings and successive CO_2eq. emissions in buildings. These decrees are the Energy Efficiency Directive (EED) and the Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) (Dulian, 2024). As part of its regulations, the EPBD mandates that all newly constructed public buildings must be practically zero-energy by the year 2025 and that all newly constructed structures must meet the same standard by the end of the year 2030. There is an abundance of widely accessible and, in many instances, economically feasible technology solutions that can reduce the energy demand of a building to Nearly Zero-Energy Buildings (Nzeb) requirements (Ostermeyer et al., 2017). Even though EU has ambitious goals to cut carbon emissions, only about a third of the residential building stock is replaced every year (0.4%–1.2%), and less than 5% are meeting the requirements for nZEB (Tadeu et al., 2022). This indicates that energy-efficient systems are not being utilized at the pace required to reach the EU's targets for decreasing emissions of greenhouse gases. This is the case even though these systems are readily accessible and may be employed inexpensively. The "energy efficiency gap" refers to the difference between what the industry is doing

© 2024 The Author(s). Published by Vilnius Gediminas Technical University. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

and what it is capable of doing in terms of saving energy. It indicates that there are market hurdles that are not technological and are preventing the deployment of these alternatives on a worldwide scale (Bertoldi, 2022).

2. Best practices

Annunziata et al. (2013) conducted a study on the national regulations in Europe as well as the national adoptions of the EPBD recast. The researchers discovered that European nations have used a variety of ways in their national regulatory framework in order to include the EPBD recast. An examination of the national building codes of eight European nations revealed the use of a variety of metrics in the establishment of the standards for the energy efficiency of buildings in those countries.

Comparably, Graziano observed that various indications were used in the process of establishing national requirements for low-energy buildings in each of the nine European nations that she looked at (Salvalai et al., 2015). In an analysis of nZEB definitions in 10 countries that are members of the EU, there was found to be a significant amount of diversity in primary energy usage numbers. Primary energy usage thresholds for nZEB vary significantly, ranging from less than 50 kWh/m^2 per year in countries with stringent energy efficiency standards, to up to 120 kWh/m^2 per year in others where climatic conditions or energy policies result in less restrictive requirements. Such discrepancies highlight the nuanced approach each country takes towards achieving high energy performance in buildings, reflecting differences in climate, available technologies, and policy frameworks.

2.1. Overview of energy use in buildings

Understanding the distinct roles energy plays across various building types and environmental contexts is crucial for devising strategies to reduce energy consumption effectively within Azerbaijan's diverse architectural landscape. (Azərbaycan Respublikasının Mənzil İnşaatı Dövlət Agentliyi, 2016). Furthermore, understanding the proportion of energy consumed by different types of buildings relative to total building energy usage is crucial. Recognizing how these proportions might evolve over time is also essential for effective energy management and planning.

2.2. Criteria for energy efficiency in the Lithuanian and Azerbaijani building codes

In the national building codes that were analysed, the energy performance standards for single-family homes are distinct from those for multi-family residences in the national building codes of Lithuania and Azerbaijan, criteria for energy usage along with other indicators are jointly applied to assess residential building. For instance, the 2019 Lithuanian building code, outlined in "Lietuvos Statybos Techninis Reglamentas STR 2.01.09:2019 on Energy Performance of Buildings stipulates criteria for specific primary energy use and 'other' indicators such as the building envelope's U-value and the electrical power requirements (The1) (Neverovič, 2014). Conversely, the Azerbaijani building code, detailed in "Azərbaycan Respublikasının Quraşdırma Qaydaları AQ-2019 on Building Thermal Performance", focuses on 'other' indicators, including the U-values of building components, without imposing specific energy usage (Azerbaijan Standardization Institute, 2024).

In Azerbaijan and Lithuania, the building envelope U values for various components are as follows (Enerji resurslarından səmərəli istifadə və enerji effektivliyi haqqında, 2022); (Valančius et al., 2022). Table 1 demonstrates the U values used for these purposes.

Table 1. U values used in calculations

Building Component	U-value in Azerbaijan (W/m^{2}K)	U-value in Lithuania (A-class) (W/m^{2}K)
Walls	0.28	≤ 0.15
Roof	0.22	~ 0.10
Floors	0.34	~ 0.15
Windows	1.8	≤ 0.8
Doors	2.0	≤ 1.0

3. Methodology

This study targets traditional residential buildings in Lankaran, a region in northern Azerbaijan known for its unique homes. Without using central heating systems, the goal is to make these buildings more energy-efficient. The prevalent residential structure in Lankaran, commonly identified as the traditional residential building, is slated for a transformation into a high-performance, energy-efficient entity consequent to this investigation. Specifically, this study will be conducted without factoring in the central heating system. The primary aim is to mitigate severe environmental impact in northern Azerbaijan by curbing fuel consumption. The implementation of a range of techniques, encompassing both passive and active measures, will be employed.

In this study, the Esbo Swegon Light database to obtain climatic data for Lankaran, Azerbaijan, and Vilnius, Lithuania will be used. This methodology ensures precise analysis of local climate effects on building energy efficiency (EQUA Simulation AB, 2019).

Both Lankaran, which is located in Azerbaijan, and Vilnius, which is located in Lithuania, have been chosen as the data source. The data collected from Vilnius will serve the same function for Lithuania as the information received from Lankaran will contribute to the construction of the reference model for the residential structure in Azerbaijan. A prominent city in Azerbaijan, Lankaran has qualities that are typical of the southern portion of the country. These characteristics include several cultural, historical, and architectural traits that are unique to the city. On the other hand, Vilnius, which is the capital of Lithuania, plays a significant part in the political, historical, and cultural landscape of the nation.

3.1. Building size

The average area of a studio-style apartment in Azerbaijan is reported as 90 square meters, while its Lithuanian counterpart exhibits a same size of 90 square meters.

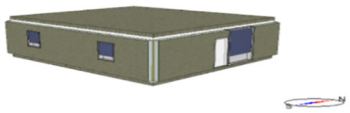


Figure 1. Representation of building

Figure 1 provides a graphical representation of a building with the dimensions mentioned.

3.2. Thermal properties

Residential structures in both Azerbaijan and Lithuania are subject to a mandatory minimum insulation requirement, in adherence to the respective national building codes established in each country (Valančius et al., 2022) (Azərbaycan Respublikasının Mənzil İnşaatı Dövlət Agentliyi, 2016).

The distinction in insulation requirements between Azerbaijan and Lithuania is influenced by climatic variations, with Lithuania's cooler temperatures necessitating more stringent insulation measures compared to the relatively milder climate in Azerbaijan (Hafez et al., 2023)

3.3. Glazing

In the context of mitigating thermal energy transfer, particularly minimizing heat loss in winter and heat gain in summer, the incorporation of high-quality glazing stands as a pivotal requisite (Encius & Baranauskas, 2018). In the context of enhancing energy efficiency within residential buildings, both Azerbaijan and Lithuania promote the use of advanced glazing technologies. Specifically, the adoption of low-emissivity (low-E) glass is encouraged to minimize heat transfer and improve insulation. However, it's important to note that achieving the highest energy efficiency standards in Lithuania, such as A++ classification, typically requires beyond double-pane windows. Triple-glazed windows with low-E coatings and filled with inert gas are often necessary to meet the stringent thermal performance criteria set for such top-tier energy-efficient buildings.

3.4. Weather data

The Esbo Swegon Light database will be referenced to acquire climatic data pertinent to the cities of Lankaran, Azerbaijan, and Vilnius, Lithuania. Figure 2 represents a typical climate data chart that includes various parameters measured over the course of a year, from January 1, 2024, to December 31, 2024, for Vilnius, Lithuania and Lankaran, Azerbaijan.

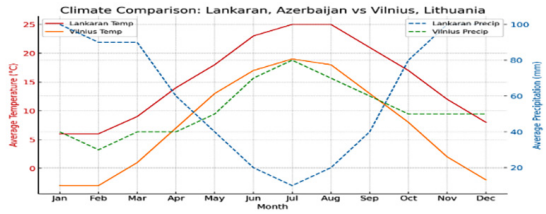


Figure 2. Comparison of weather data

3.5. Precipitation patterns

Lankaran, Azerbaijan: Experiences higher precipitation during the winter and lower precipitation in the summer. The wettest months are November through February, each with around 90–100 mm of rainfall (Maile et al., 2018).

Vilnius, Lithuania: shows a more evenly distributed precipitation throughout the year, with a slight increase in the summer months. The average monthly precipitation ranges between 30–80 mm (Sabunas & Kanapickas, 2017).

Overall, Lankaran has a warmer and wetter climate, especially in the winter, compared to Vilnius, which experiences colder winters with more evenly spread precipitation throughout the year.

4. Results

The data indicates that the facility is highly dependent on external electricity with significant consumption by equipment and lighting.

The simultaneous peak in equipment and lighting might suggest operational patterns, possibly during a shift change or a specific process that requires intense energy use.

Figure 3 and 4 includes a table that details the kWh consumption for each category, by month, and the total energy consumed for the year for building in Azerbaijan.

Month	Zone heating	Zone cooling	AHU heating	AHU cooling
1	1338.0	0.0	0.2	0.0
2	1239.0	0.0	0.2	0.0
3	845.7	0.0	0.0	4.1
4	335.2	0.2	0.0	55.8
5	76.7	43.5	0.0	387.2
6	0.0	272.4	0.0	705.4
7	-0.0	585.6	0.0	1228.0
8	-0.0	648.6	0.0	1330.0
9	-0.0	108.6	0.0	705.6
10	147.0	2.5	0.0	249.2
11	694.4	0.0	0.0	17.9
12	1100.0	0.0	0.0	0.1

Figure 3. Sensible and latent energy use in building in Azerbaijan in kWh

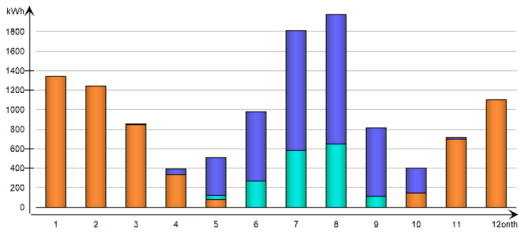


Figure 4. System energy for building in Azerbaijan

This detailed breakdown allows for an analysis of energy usage patterns and could be useful for identifying opportunities for energy efficiency improvements. The total energy consumption for Zone heating is given as 5775.9 kWh, Zone cooling as 1661.4 kWh, and AHU cooling as 4683.3 kWh over the year.

Month	Zone heating	Zone cooling	AHU heating	AHU cooling
1	1564.0	0.0	53.6	0.0
2	1254.0	0.0	34.6	0.0
3	880.8	0.0	7.2	0.0
4	307.0	1.2	0.1	11.3
5	25.3	96.3	0.0	110.2
6	-0.0	237.3	0.0	152.3
7	-0.0	385.5	0.0	362.7
8	0.0	338.0	0.0	260.1
9	39.8	32.1	0.0	37.6
10	349.5	0.1	0.0	0.0
11	937.3	0.0	4.7	0.0
12	1334.0	0.0	32.6	0.0

Figure 5. Sensible and latent energy use in building in Lithuania in kWh

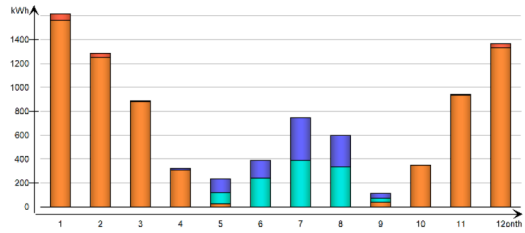


Figure 6. System energy for building in Lithuania

Figure 5 and 6 show the total annual energy consumed for each category, with Zone heating being the highest at 6691.7 kWh, followed by AHU cooling at 934.3 kWh, and Zone cooling at 1090.6 kWh. The total for AHU heating is relatively low at 132.8 kWh, reflecting its minor contribution to the overall energy profile.

Table 2 represents results of calculations for primary energy and CO_2 emission. Based on the kWh/m^2 figures provided for a 90 m^2 building:

Table 2. Results of assessment

Country	Heating Energy (kWh/m^2)	Primary Energy for Heating (kWh/m^2)	CO_2 Emissions for Heating (kgCO_2/m^2)
Azerbaijan	54.17	59.59	13.11
Lithuania	47.87	26.68	2.97

The process to calculate primary energy consumption and CO_2 emissions for heating in residential buildings in Azerbaijan and Lithuania takes the measured energy consumption in kWh/m^2 and adjusts it to include energy losses during production and distribution, as well as the environmental impact of these energy uses.

For Azerbaijan, with a natural gas conversion factor of 1.1 and a CO_2 emission factor of 0.22 kgCO_2/kWh, the primary energy use for heating is calculated to be 59.59 kWh/m^2, leading to CO_2 emissions of 13.11 kgCO_2/m^2.

In contrast, Lithuania, utilizing district heating with a conversion factor of 0.62 and a CO_2 emission factor of 0.10 kgCO_2/kWh, results in a primary energy use for heating of 29.68 kWh/m^2 and CO_2 emissions of 2.97 kgCO_2/m^2. This distinction highlights the reduced environmental impact of using district heating over electricity for heating needs in Lithuania.

4.1. Energy consumption (kWh and kWh/m^2)

Azerbaijan: The cooling energy demand per square meter is higher at 29.43 kWh/m^2 without ventilation, suggesting a climate with greater cooling needs or less efficient cooling systems. With ventilation, the demand is 22.50 kWh/m^2, indicating a considerable need for cooling. The energy used for fans and pumps, at 14.37 kWh/m^2 when ventilation systems are on, points to efficient system usage or reduced operation time.

Lithuania: The cooling energy requirement per square meter is significant at 47.17 kWh/m^2 without ventilation and increases to 70.50 kWh/m^2 with ventilation, indicating a substantial need for cooling which may be due to warmer summer temperatures or less efficient cooling systems. The energy used for fans and pumps shows an operational consumption of 14.64 kWh/m^2, which suggests more frequent use or less efficient systems compared to Azerbaijan.

Azerbaijan requires more cooling energy per square meter than Lithuania, with an average demand of 26 kWh/m^2 compared to Lithuania's 58.83 kWh/m^2 with ventilation systems operational. For heating, Lithuania has a higher demand at 56 kWh/m^2 compared to Azerbaijan's 65.82 kWh/m^2 with ventilation off. The fan and pump energy for both countries reflect usage only

when the ventilation systems are active, with Azerbaijan using 14.37 kWh/m² and Lithuania slightly higher at 14.64 kWh/m². The absence of fan and pump energy consumption when ventilation is off could indicate that these systems are not used or the buildings employ natural ventilation strategies. Energy comparison graph between Lithuania and Azerbaijan.

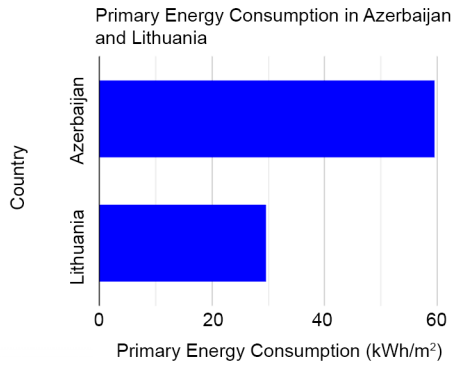


Figure 7. Primary energy comparison

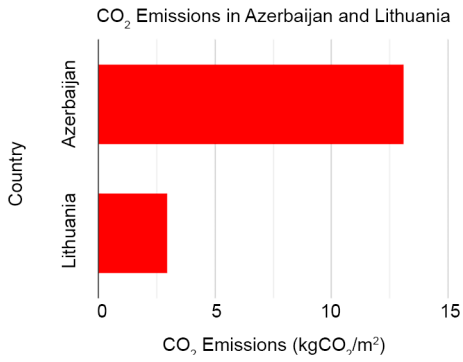


Figure 8. CO_2 emission comparison

Figure 7 and 8 illustrates a comparison of primary energy for Lithuania and Azerbaijan and CO_2 emission.

5. Conclusions

This study compared the energy efficiency of residential buildings in Azerbaijan and Lithuania. The analysis revealed significant differences in total energy consumption, highlighting areas for improvement and opportunities for sustainable practices:

1. Energy consumption: Azerbaijan's building consumed 7,524 kWh/year, with 4,875 kWh/year for heating and 2,649 kWh/year for cooling. In contrast, Lithuania's building consumed 5,057 kWh/year in total, with 3,210 kWh/year for heating and 1,847 kWh/year for cooling.
2. In Azerbaijan, converting the final heating energy consumption to primary energy using natural gas results in a primary energy consumption of 59.59 kWh/m². The corresponding CO_2 emissions are calculated to be 13.11 $kgCO_2/m^2$. Given the use of natural gas, this suggests a potential for energy savings and emission reduction opportunities, particularly if measures such as upgrading to more efficient heating systems or integrating renewable energy sources are undertaken.
3. Conversely, in Lithuania, utilizing district heating, the primary energy consumption for heating is significantly lower at 29.68 kWh/m² due to the more efficient nature of district heating systems. The CO_2 emissions are also lower at 2.97 $kgCO_2/m^2$, reflecting the lower carbon intensity of district heating, often supplemented by renewable energy sources. This showcases the environmental benefits of district heating compared to individual heating systems powered by electricity or natural gas.
4. Primary energy consumption: Lithuania's primary energy consumption for heating is actually lower than that of Azerbaijan when considering the more efficient district heating system. The initial higher value of 110.10 kWh/m² was due to the mistaken assumption that Lithuania's heating was electric-based.
5. CO_2 emissions: With the corrected calculation, Lithuania's CO_2 emissions for heating (2.97 $kgCO_2/m^2$) are notably lower than those of Azerbaijan (13.11 $kgCO_2/m^2$). This indicates that, contrary to previous calculations, Lithuania's heating system is not only more energy-efficient but also has a smaller environmental footprint in terms of CO_2 emissions.

These findings underscore the significance of selecting appropriate energy sources and the implementation of efficient heating systems to lower both the primary energy consumption and the CO_2 emissions. Although the current analysis concentrates on heating energy, the inclusion of cooling in future research stages will yield a more holistic view of the energy efficiency potential and the environmental impacts associated with residential buildings in Azerbaijan and Lithuania.

References

Annunziata, E., Frey, M., & Rizzi, F. (2013). *Towards nearly zero-energy buildings: The state-of-art of national regulations in Europe. Energy*, *57*, 125–133. https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.11.049

Azerbaijan Standardization Institute. (2024). www.azstand.gov.az

Azərbaycan Respublikasının Mənzil İnşaatı Dövlət Agentliyi. (2016). *Azərbaycan Respublikasında uyğun qiymətə mənzil təminatının inkişafına dair Strateji Yol Xəritəsi.* https://mida.gov.az/static/media/menzil_t%C9%99minat%C4%B1n%C4%B1n_inki%C5%9Faf%C4%B1na_dair_strateji_yol_x%C9%99rit%C9%99si.ffa8bf71393872c8d6b1.pdf

Bertoldi, P. (2022). Policies for energy conservation and sufficiency: Review of existing policies and recommendations for new and effective policies in OECD countries. *Energy and Buildings*, *264*, Article 112075.

Dulian, M. (2024). *Revision of the energy performance of Buildings directive: Fit for 55 pack-age.* European Parliamentary Research Service. https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2022/698901/EPRS_BRI(2022)698901_EN.pdf

Economidou, M., Atanasiu, B., Despret, C., Maio, J., Nolte, I., Rapf, O., Laustsen, J., Ruyssevelt, P., Strong, D., & Zinetti, S. (2011). *Europe's Buildings under the microscope. A country-by-country review of the energy performance of buildings.* M. Economidou (Ed.). Buildings Performance Institute Europe.

EQUA Simulation AB. (2019). *IDA Early Stage Building Optimization* . https://www.equaonline.com/esbouser/User_guide.pdf

Encius, R., & Baranauskas, T. (2018). *EPBD implementation in Lithuania. Status in december 2016.* https://epbd-ca.eu/wp-content/uploads/2019/04/CA-EPBD-IV-Lithuania-2018.pdf

Enerji resurslarından səmərəli istifadə və enerji effektivliyi haqqında. (2022). https://e-qanun.az/framework/48129

European Environment Agency. (2023). *Accelerating the energy efficiency renovation of residential buildings — a behavioural approach*. https://www.eea.europa.eu/publications/accelerating-the-energy-efficiency

Hafez, F. S., Sa'di, B., Safa-Gamal, M., Taufig-Yap, Y. H., Alrifaey, M., Seyedmahmoudian, M., Stojcevski, A., Horan, B., & Mekhilef, S. (2023). Energy efficiency in sustainable buildings: A systematic review with taxonomy, challenges, motivations, methodological aspects, recommendations, and pathways for future research. *Energy Strategy Reviews*, *45*, Article 101013.

Maile, T., Bazjanac, V., & Fischer, M. A. (2012). A method to compare simulated and measured data to assess building energy performance. *Building and environment*, *56*, 241–251. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.03.012

Neverovič, J. (2014). *Order regarding the approval of the energy efficiency action plan* (2014, may 30, No. 1-149). https://enmin.lrv.lt/uploads/enmin/documents/files/Energy%20Efficiency%20Action%20Plan%202014.docx

Ostermeyer, Y., Camasara, C., Naegeli, C., & Saraf, S. (2017). *Building market brief Switzerland* (1st ed.). CUES Foundation. https://eeg-plattform.ch/downloads/BMB_Switzerland_171123_BTA_DEF.pdf

Sabunas, A., & Kanapickas, A. (2017). Estimation of climate change impact on energy consumption in a residential building in Kaunas, Lithuania, using HEED Software. *Energy Procedia*, *128*, 92–99. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.020

Salvalai, G., Masera, G., & Sesana, M. M. (2015). Italian local codes for energy efficiency of buildings: Theoretical definition and experimental application to a residential case study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *42*, 1245–1259. https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.038

Tadeu, S., Rodrigues, C., Marques, P., & Freire, F. (2022). Eco-efficiency to support selection of energy conservation measures for buildings: A life-cycle approach. *Journal of Building Engineering*, *61*, Article 105142. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105142

The Lithuanian Standards Board. (2019). *Lietuvos statybos techninis reglamentas STR 2.01.09:2019 on Energy Performance of Buildings.*

Valančius, K., Grinevičiūtė, M., & Streckienė, G. (2022). Heating and cooling primary energy demand and CO_2 emissions: Lithuanian A+ buildings and/in different European locations. *Buildings*, *12*(5), Article 570. https://doi.org/10.3390/buildings12050570

AZERBAIDŽANO IR LIETUVOS GYVENAMŲJŲ PASTATŲ ENERGINIO EFEKTYVUMO PALYGINIMAS

Z. IBRAHIMOVA, K. VALANČIUS

Santrauka. Šiame tyrime lyginamas energijos vartojimo efektyvumas gyvenamuosiuose pastatuose Azerbaidžane ir Lietuvoje – skirtingo klimato regionuose – siekiant išsiaiškinti, kokią įtaką energijos poreikiams turi vietos sąlygos. Remdamiesi modeliavimo duomenimis, nustatėme reikšmingų skirtumų: Azerbaidžano pastatams reikia daugiau energijos vėsinimui, o Lietuvos – šildymui. Atlikus analizę paaiškėjo, kad Azerbaidžane reikia 26,5 % daugiau vėsinimo, o Lietuvoje – 13,8 % daugiau šildymo energijos, todėl būtina taikyti konkrečiam regionui pritaikytas energijos vartojimo efektyvumo strategijas. Be to, tyrime nagrinėjamas mažesnis ventiliatorių ir siurblių suvartojamos energijos kiekis, o tai rodo pasyvaus vėdinimo arba strateginio sistemų išjungimo galimybes siekiant taupyti energiją. Šios išvados suteikia svarbių įžvalgų kuriant įvairioms klimato sąlygoms pritaikytą, tvarią infrastruktūrą.

Reikšminiai žodžiai: energijos vartojimo efektyvumas, gyvenamieji pastatai, Azerbaidžanas, Lietuva, šiluminės savybės, vėsinimas ir šildymas, klimato skirtumai.

VILNIUS TECH
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

27-oji Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminė konferencija
Proceedings of the 27th Conference for Junior Researchers “Science – Future of Lithuania”

DARNI APLINKA / SUSTAINABLE ENVIRONMENT

2024 m. balandžio 25 d., Vilnius, Lietuva
25 April 2024, Vilnius, Lithuania

ISSN 2029-7157 / eISSN 2029-7149
eISBN 978-609-476-359-5
https://doi.org/10.3846/da.2024.021

Pastatų energetika / Energy for Buildings

https://vilniustech.lt/346238

VĖSOS GALIŲ PALYGINIMAS MODELIUOJANT PASTATĄ IDA ICE PROGRAMA SKIRTINGAIS BŪDAIS

Reda MAKSIMAVIČIŪTĖ*, Artur ROGOŽA

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Aplinkos inžinerijos fakultetas,
Pastatų energetikos katedra, Vilnius, Lietuva
El. paštas reda.maksimaviciute@stud.vilniustech.lt

Gauta 2024 m. kovo 4 d.; priimta 2024 m. kovo 18 d.

Santrauka. Straipsnio tikslas – išsiaiškinti, koks pastato modeliavimo IDA ICE programa būdas leidžia apskaičiuoti tiksliausius vėsinimo galių ir poreikių rezultatus ir kokie yra pagrindiniai skirtingų modelių aspektai. Straipsnyje pristatomas administracinės paskirties pastato, statomo Lvivo g. 59, Vilniuje, modeliavimas. Tyrimo metu sukurti 3 energiniai pastato modeliai. Modelis Nr. 1 – geometrinis pastato modelis su visomis patalpomis. Modelis Nr. 2 – modelis su išskirtiniais aukštais ir tipiniu aukštu su visomis patalpomis, kuriamas naudojant „multiplication“ (liet. padauginimo) funkciją. Modelis Nr. 3 – modelis su išskirtiniais aukštais ir tipiniu aukštu, kurį sudaro viena skaičiuojamoji zona. Atlikus pastato energinį modeliavimą, gautos vėsinimo sistemos galios ir šilumos pritėkiai. Modelių Nr. 1 ir Nr. 2 rezultatai yra panašūs, skirtumas tarp jų nesiekia 10 proc., o modelio Nr. 3 rezultatai yra didesni nei kitų. Šilumos pritėkiai dėl žmonių ir tiekiamo šviežio oro kiekiai sąlygoja gaunamus rezultatus, kurių skirtumai iš dalies atsiranda dėl nežymiai pasikeitusio tipinio aukšto išplanavimo. Svarbiausias modelių palyginimo aspektas yra pikinė vėsinimo sistemos galia, kuri parodo tikrąjį skirtumą tarp modelių ir yra itin svarbi vėsinimo sistemos įrangos dydžiui nustatyti. Modelių Nr. 1 ir Nr. 2 pikinė galia skiriasi 6 proc., o modelių Nr. 2 ir Nr. 3 – 25 proc. Tai parodo, kad tiksliausi yra modelių Nr. 1 ir Nr. 2 duomenys.

Reikšminiai žodžiai: IDA ICE, vėsos modeliavimas, pastato vėsos poreikiai, šilumos pritėkiai.

1. Įvadas

Didėjantis geresnio patalpų mikroklimato ir komforto poreikis, ypač biuruose ir komerciniuose pastatuose, didina oro vėsinimo poreikį. Šiuolaikinių pastatų vėsinimo galių ir poreikių skaičiavimai projektavimo metu yra ypatingai svarbūs, siekiant užtikrinti tinkamą patalpų mikroklimatą ir optimalų energijos naudojimą (Santamouris, 2016).

Pastatų dinaminio energinio modeliavimo programos tampa neatsiejama projektavimo dalimi, ypač didėjant skaidrių išorinių atitvarų, kurios padidina vėsinimo poreikius keletą kartų, kiekiui pastatų fasaduose (Motuzienė ir Juodis, 2010). Šios programos leidžia projektuotojams iš anksto prognozuoti pastato vėsos poreikius, optimizuoti vėsinimo sistemas bei tausoti energijos išteklius. Viena iš dažniausiai praktikoje taikomų dinaminio energinio modeliavimo programų yra „IDA Indoor Climate and Energy“ (IDA ICE), kuri leidžia detaliai modeliuoti pastato šilumos, vėsos ir elektros energijos poreikius (EQUA, n.d.).

Šiame straipsnyje pateikiama, kokią įtaką to paties pastato skirtingų modelių kūrimas IDA ICE programoje daro pastato vėsos poreikio rezultatams ir kokias pasekmes tai gali turėti projektavimo bei energetinio efektyvumo vertinimui. Tai yra itin svarbu siekiant efektyviai optimizuoti pastato energetinį naudingumą ir sumažinti energijos sąnaudas.

2. Modeliavimo priemonės IDA ICE taikymas

IDA ICE programa yra išskirtinis įrankis pastatams projektuoti, leidžiantis atlikti išsamią pastatų oro kokybės ir energijos suvartojimo modeliavimo analizę. Programa apima ne tik šiluminius modelius, bet ir CO_2 bei drėgmės skaičiavimus ir patalpų temperatūros gradientus (Kalamees, 2004). Iš esmės ši programinė įranga itin naudinga tuo, kad suteikia vertingos informacijos apie visus pastato projektavimo etapus. Ji leidžia atlikti dinaminį šiluminį modeliavimą, įvertinti natūralų ir dirbtinį apšvietimą, apskaičiuoti šilumines apkrovas ir

© 2024 Autoriai. Leidėjas Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Šis straipsnis yra atvirosios prieigos straipsnis, turintis Kūrybinių bendrijų (Creative Commons) licenciją (CC BY 4.0), kuri leidžia neribotą straipsnio ar jo dalių panaudą su privaloma sąlyga nurodyti autorių ir pirminį šaltinį.

modeliuoti sistemas pagal komponentus (Del Ama Gonzalo et al., 2023). Tai leidžia inžinieriams ir projektuotojams gauti išsamų vaizdą apie pastato energijos suvartojimą ir patalpų oro kokybę įvairiose projekto stadijose.

IDA ICE programa išsiskiria gausiomis ir pažangiomis funkcijomis, leidžiančiomis inžinieriams modeliuoti pastatus iki smulkiausių detalių, įskaitant pastato zonas ir sistemas. Ši programinė įranga apima ir galingą trimatį modeliavimo įrankį. IDA ICE taip pat integruoja įvairius meteorologinius, klimato ir vėjo duomenis, padedančius tiksliai modeliuoti aplinkos sąlygas pastatuose (Kalamees, 2004). Didelis IDA ICE pranašumas yra galimybė keisti parametrus ir stebėti, kokią įtaką pakeitimai daro modeliavimo metu gautiems rezultatams.

IDA ICE programoje kuriami ir aprašomi skirtingi pastato elementai, tokie kaip sienos, grindys, stogas, langai ir durys. Atlikus modeliavimą galima matyti, kaip šie elementai veikia pastato šilumos perdavimo ir vėdinimo procesus. Išsamus pastato konstrukcijų ir sistemų aprašymas užtikrina, kad skaičiavimai būtų atlikti atsižvelgiant į visus faktorius, galinčius paveikti pastato mikroklimatą ir energijos naudojimą. Tokia lauko aplinkos, konstrukcijų fizinių charakteristikų ir sistemų sąsaja suteikia galimybę tiksliai modeliuoti šilumos mainus tarp skirtingų patalpų ir vėdinimo procesus, gerokai pagerinant vėsos skaičiavimų tikslumą (Kalamees, 2004). Tai leidžia inžinieriams iš anksto prognozuoti pastato veikimo efektyvumą ir identifikuoti aspektus, kuriuos būtų galima patobulinti.

IDA ICE programa ne tik suteikia galimybę modeliuoti pastatus ir sistemas, bet ir leidžia stebėti, kaip skirtingi parametrai veikia visą pastatą, o ne tik atskiras patalpas. Tai yra labai svarbu siekiant sukurti integruotas ir efektyvias pastato sistemas, kurios užtikrintų optimalų komforto lygį bei minimalų energijos sunaudojimą. IDA ICE programa yra inžinerijos srities pastatų projektavimo priemonė, leidžianti kurti efektyvias, energiją taupančias ir komfortą užtikrinančias pastatų sistemas.

Vis dėlto kaip ir kitos programos IDA ICE turi ir trūkumų – kuo sudėtingesnis ir didesnis pastatas modeliuojamas, tuo daugiau laiko trunka pastato modeliavimas ir rezultatų gavimas. Be to, sudėtingų pastatų simuliacijoms atlikti reikia galingesnių kompiuterių.

3. Tyrimo tikslas ir objektas

Tyrimo tikslas – išsiaiškinti, koks pastato modeliavimo IDA ICE programa būdas leidžia gauti tiksliausius duomenis ir kokie yra pagrindiniai modelių skirtumai atliekant vėsinimo modeliavimą.

Tyrimo objektas – administracinės paskirties pastatas Šnipiškių seniūnijoje, Vilniuje, vienas iš naujai statomų Lvivo g. 59 komplekso pastatų. Tiriamasis pastatas yra 17 aukštų, atitinka A++ energetinei klasei keliamus reikalavimus. Pastato fasadai – stikliniai. Pastato aukštingumas siekia 70 m, o bendras pastato plotas – 15 433 m^2. Projektinis pastato sandarumas $n_{50} \leq 0{,}40\ h^{-1}$. Pastatui suprojektuota dvivamzdė vėsinimo sistema su lubiniais kasetiniais ventiliatoriniais konvektoriais. Vėsinimo sistemos šaltnešis – 10/15 °C vanduo.

Siekiant užtikrinti pastatų patalpose komfortinę oro temperatūrą šiltuoju metų laiku naudojamos pasyvios apsaugos nuo perkaitimo priemonės – natūralus skaidrių atitvarų šešėliavimas nuo pastato architektūrinių elementų. Projektavimo metu visiems pastato fasadams parinktas įstiklintos dalies saulės praleisties koeficientas (g) lygus 0,3.

Projektinės pastato atitvarų šilumos perdavimo koeficientų (U) vertės pateiktos 1 lentelėje, pagal kurią sukurtas pastato dinaminis energinis modelis.

1 lentelė. Pastato atitvarų U reikšmės

Atitvara	Projektinis šilumos perdavimo koeficientas U, $W(m^2K)$
Išorinė siena	≤0,140
Fasadinė sistema_EL01	≤0,660
Fasadinė sistema_EL02	≤0,710
Fasadinė sistema_EL03	≤0,900
Vitrininės durys (langai)	≤1,000
Stogas	≤0,110
Durys su lauku (sukamosios)	≤3,500
Išorinė perdanga	≤0,120

2 lentelė. Projektiniai patalpų mikroklimato parametrai

Patalpos tipas	Temperatūra žiemą, °C	Santykinė drėgmė, %	Temperatūra vasarą, °C	Santykinė drėgmė, %
Biurų patalpa	+21	≥ 40	+24	Nekontr.
Komercinės patalpos	+21	≥ 40	+24	Nekontr.
Pasitarimų kambariai	+21	≥ 40	+24	Nekontr.
Koridoriai	+20	Nekontr.	–	Nekontr.
Darbo patalpų virtuvėlė	+21	≥ 40	+24	Nekontr.
San. Mazgas	+20	Nekontr.	–	Nekontr.
Recepcija	+21	Nekontr.	+24	Nekontr.
Virtuvė	+21	Nekontr.	+24	Nekontr.
Pagalbinės patalpos	+18	Nekontr.	–	Nekontr.

Projekte numatyti patalpų mikroklimato parametrai atitinka higienos normose HN 42:2009 „Gyvenamųjų ir visuomeninių pastatų patalpų mikroklimatas“ (Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministerija, 2009) ir HN 69:2003 „Šiluminis komfortas ir pakankama šiluminė aplinka darbo patalpose. Parametrų norminės vertės ir matavimo reikalavimai“ (Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministerija, 2003) ir technologinėje projektavimo užduotyje nurodytus parametrus (2 lentelė). Patalpų vidaus aplinkos oro kokybės kategorija pagal LST EN 16798-1:2019 – IEQII – vidutinė (Lietuvos standartizacijos departamentas, 2019).

Projekte biuro patalpoms, esančioms nuo 3 iki 17 aukšto, numatyta mechaninė vėdinimo sistema su oro drėkinimu. Oras žiemos metu bus drėkinamas per garinius oro drėkintuvus, montuojamus kiekviename aukšte esančioje ventkameros patalpoje.

4. Modelių kūrimas IDA ICE programoje

Pastato energiniam modeliavimui naudojami Vilniaus miesto klimatiniai duomenys. Vilniaus miesto įvesties duomenys:

- Platuma – 54,63°;
- Ilguma – 25,28°;
- Vietovės aukštis virš jūros lygio – 156 m;
- Vasaros parametrai:
- Maksimali sauso termometro temperatūra – 28,9 °C;
- Maksimali drėgno termometro temperatūra – 19,5 °C;

Atliekant pastato energinį modeliavimą priimami visi projekte numatyti šiluminio komforto parametrai, pateikti 2 lentelėje.

Administraciniame pastate numatyta pastovaus oro srauto mechaninė vėdinimo sistema. Sistema su rotaciniu šilumogrąžos įrenginiu, kurio šilumos atgavimo koeficientas atitinka Lietuvos statybų techninio reglamento (STR) 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“ keliamus reikalavimus ir yra 80 proc. (Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija, 2016).

Kuriant modelį daromos prielaidos:

- Vėdinimo ir vėsinimo sistema veikia visų žmonių darbo metu. Darbo dienomis nuo 7 iki 21 val. Savaitgaliais ir švenčių dienomis nuo 9 val. ryto iki 1 val. nakties.

Žmonių veiklos darbo grafikas:

- biuro patalpos – darbo dienomis nuo 7 val. iki 18 val.;
- restorano patalpos – darbo dienomis nuo 11 val. iki 21 val., o savaitgaliais ir švenčių dienomis nuo 11 val. ryto iki 1 val. nakties;
- prekybos patalpos – darbo dienomis nuo 7 val. iki 21 val. vakaro, o savaitgaliais ir švenčių dienomis nuo 9 val. iki 18 val.

Šilumos pritėkiai nuo žmonių, elektros prietaisų ir apšvietimo prietaisų priimami pagal reikšmes, pateikiamas pastatų energetinio naudingumo standarte LST EN 16798-1:2019 (Lietuvos standartizacijos departamentas, 2019).

3 lentelė. Šilumos pritėkių suvestinė

Zona / šilumos pritėkiai	Žmonių, Nr./m^2	El. prietaisų, W/m^2	Apšvietimo, W/m^2
Darbo kambariai	0,1667	22,5	2
Komercinės patalpos	0,2	22,5	2
Recepcija	0,166	5	2
Susitikimų kambariai	0,5	5	2
Darbo virtuvėlės	0,4	7,5	2
Restoranas	1,1	5	2
Restorano virtuvė	0,1	135	2
Įėjimo holas	0,25	5	2

Remiantis visa anksčiau aprašyta projektine dokumentacija ir prielaidomis sudaryti 3 pastato modeliai:

Modelis Nr. 1 – pastatas su visomis patalpomis (1 paveikslas), modelio plotas – 16 720,2 m^2.

Modelis Nr. 2 – 1 ir 2 pastato aukštai su prekybos ir restorano paskirties patalpomis bei tipinis 3 aukštas (2 paveikslas). 3 aukštas yra skaičiuojamas su „multiplication“ (liet. padauginimo) funkcija, kurios metu IDA ICA programa pateikia viso 17 aukštų pastato rezultatus. Modelio plotas – 16 699,3 m^2.

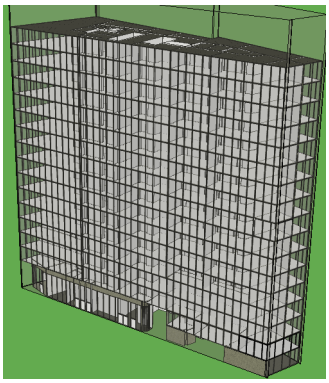
Modelis Nr. 3 – 1 ir 2 pastato aukštai su prekybos ir restorano paskirties patalpomis ir likę tipiniai aukštai, sumodeliuoti kaip viena zona (3 paveikslas). Modelio plotas – 18 813,9 m^2. Šildymo sezono metu aukšto zonoje palaikomas 21°C, o vasaros sezono metu – 24°C. Šilumos pritėkiai nuo žmonių, apšvietimo ir el. prietaisų apskaičiuojami pagal toliau pateiktą formulę (1):

$$q_{vid} = \frac{\sum q \times A}{\sum A}, \quad (1)$$

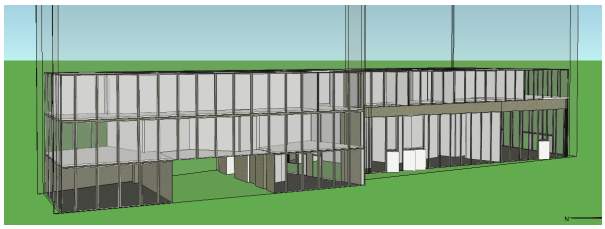
čia q_{vid} – vidutiniai vieno aukšto šilumos pritėkiai; q – patalpos šilumos pritėkiai nuo žmonių, el. prietaisų ar apšvietimo, °C; A – patalpos plotas.

Remiantis modeliu Nr. 1 apskaičiuoti šilumos pritėkiai nuo žmonių yra 0,157 no./m^2, nuo apšvietimo – 2 W/m^2, o nuo el. prietaisų – 12,41 W/m^2. Analogiškai apskaičiuojamas ir tiekiamo oro kiekis, kuris yra 1,4 l/s · m^2.

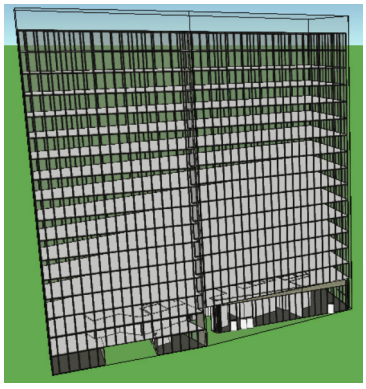
IDA ICE programa modeliuojamų modelių architektūriniai skirtumai pateikiami 1, 2 ir 3 paveiksluose. Modelyje Nr. 1 modeliuojamos visos patalpos, modelyje



1 paveikslas. Modelis Nr. 1 IDA ICE programoje



2 paveikslas. Modelis Nr. 2 IDA ICE programoje



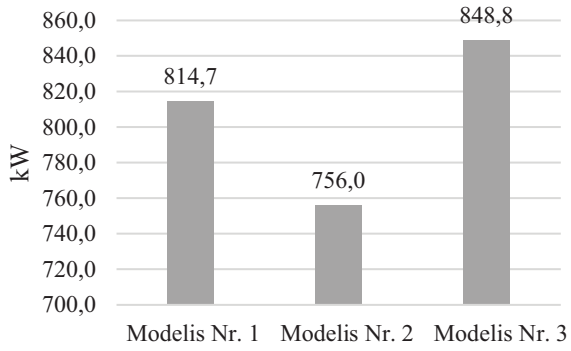
3 paveikslas. Modelis Nr. 3 IDA ICE programoje

Nr. 2 išskirtiniai aukštai ir tipinis 3 aukštas, o modelyje Nr. 3 išskirtiniai, 1 ir 2, aukštai bei tipinis aukštas, priimamas kaip viena zona.

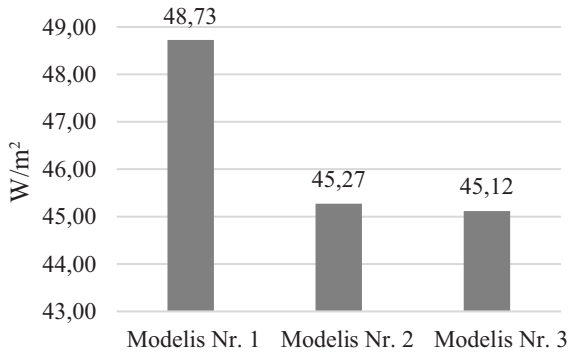
5. Rezultatai

Sumodeliavus pastatą IDA ICE programoje trimis skirtingais būdais gauti vėsinimo galių ir poreikių rezultatai. Modelių vėsinimo sistemų galia pateikiama 4 paveiksle. Modelio Nr. 1 vėsinimo galia lygi 814,7 kW, modelio Nr. 2 – 756,0 kW, o modelio Nr. 3 – 848,8 kW. Tarp modelio Nr. 1 ir Nr. 2 vėsinimo sistemos galių skirtumas yra 58,7 kW (7,2 proc.). Didžiausias vėsinimo sistemų galių skirtumas yra tarp modelio Nr. 2 ir Nr. 3, skirtumas lygus 92,8 kW arba 10,94 proc.

Toks skirtumas tarp vėsinimo sistemų galių galėjo atsirasti dėl skirtingo modelių bendro visų zonų ploto.



4 paveikslas. Vėsinimo sistemų galia



5 paveikslas. Vėsinimo sistemos galia, tenkanti ploto vienetui, W/m^2

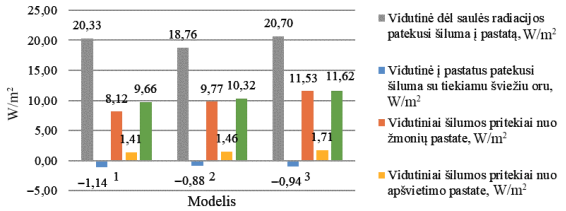
Vienam pastato ploto vienetui tenkanti vėsinimo sistemos galia skirtinguose modeliuose nežymiai skiriasi (5 paveikslas).

Iš 5 paveikslo matyti, kad didžiausia vėsinimo galia tenkanti vienam kvadratiniam metrui yra modelyje Nr. 1, o mažiausia – modelyje Nr. 3. Tarp šių modelių skirtumas yra 7,5 proc., o tarp modelių Nr. 2 ir Nr. 3 skirtumas nesiekia nė 1 proc.

Žvelgiant į vidutinius pastato šilumos pritėkius, tenkančius ploto vienetui (6 paveikslas), galima pastebėti keletą skirtumų. Vidutinė dėl saulės radiacijos į pastatą patekusi šiluma didžiausia modelyje Nr. 3 – 20,7 W/m^2, taip yra todėl, kad šiame modelyje nėra vidinių atitvarų. Mažiausia reikšmė yra modelyje Nr. 2 – 18,76 W/m^2, skirtumas tarp šių dviejų modelių yra 9,34 proc.

Vidutiniai šilumos pritėkiai nuo žmonių, apšvietimo ir el. prietaisų yra didžiausi modelyje Nr. 3. Šilumos pritėkiai nuo žmonių yra 29,56 proc. didesni nei modelyje Nr. 1 ir 15,27 proc. didesni nei modelyje Nr. 2. Pritėkiai nuo apšvietimo yra 17,63 proc. didesni nei modelyje Nr. 1 ir 14,7 proc. didesni nei modelyje Nr. 2. O šilumos pritėkiai nuo el. prietaisų yra 16,87 proc. didesni nei modelyje Nr. 1 ir 11,22 proc. didesni nei modelyje Nr. 2.

Tarp modelio Nr. 1 ir Nr. 2 šilumos pritėkių nuo žmonių skirtumas yra 16,86 proc., nuo apšvietimo – 3,43 proc., o nuo el. prietaisų – 6,36 proc. Tokie skirtumai

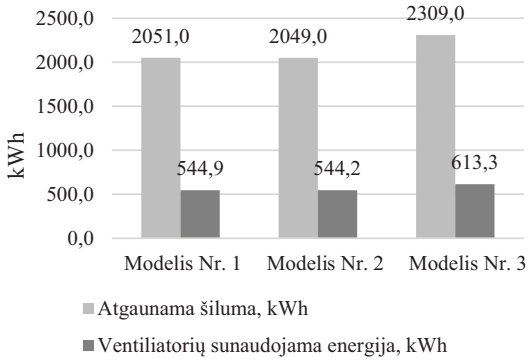


6 paveikslas. Šilumos pritėkių, tenkančių ploto vienetui, suvestinė, W/m^2

tarp modelių galėjo atsirasti dėl tipinio aukšto modeliuojamo ploto skirtumų. Modeliuose Nr. 1 ir Nr. 2 aukšto plotas yra 1038,03 m^2, o modelyje Nr. 3 – 1179,0 m^2. Skirtumas tarp tipinių aukštų ploto yra 140,97 m^2 arba 13,58 proc. Taip pat modelyje Nr. 1 nuo 5 aukšto nežymiai skiriasi ir patalpų išdėstymas, dalis susitikimų kambarių ir biuro patalpų padidėjo bei pamažėjo recepcijų plotai. Šie tipinių aukštų skirtumai ir lemia šilumos pritėkių nuo žmonių, apšvietimo ir el. prietaisų skirtumus tarp modelių.

Modelis Nr. 1 išsiskiria ir vidutine į pastatą patekusia šiluma su tiekiamu šviežiu oru, kuris yra – 1,14 W/m^2. Šis skaičius yra beveik 22,78 proc. didesnis nei modelyje Nr. 2 ir 17,22 proc. didesnis nei modelyje Nr. 3. Tokį skirtumą lemia anksčiau aprašyti plotų skirtumai, nes visuose modeliuose yra nustatyta vienoda tiekiamo oro temperatūra – 22°C bei patalpų temperatūros, aprašytos 2 lentelėje. Modelyje Nr. 3 aukšto temperatūra parinkta pagal aukšte vyraujančias patalpas – pasitarimų kambarius ir biuro patalpas, kurių temperatūra žiemą yra 21 °C, o vasarą 24°C.

Visi modeliai yra sumodeliuoti taip, kad patalpų oro temperatūra nebūtų mažinama per vėdinimo sistemą (angl. *AHU cooling*). Oro ruošimo įrenginių atgaunamas šilumos kiekis ir ventiliatorių sunaudojamos energijos kiekis pateikiami 7 paveiksle.

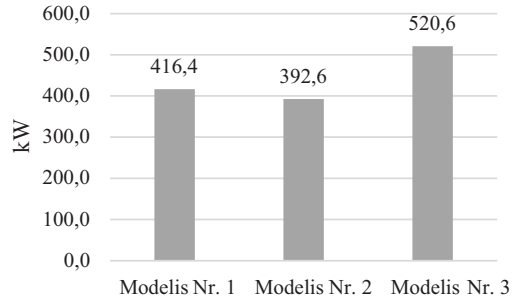


7 paveikslas. Atgaunamos šilumos ir ventiliatorių sunaudojamos energijos suvestinė

Iš 7 paveikslo matyti, kad modelių Nr. 1 ir Nr. 2 šilumokaičiuose atgaunamos šilumos ir ventiliatorių sunaudojamas energijos kiekis beveik sutampa, skiriasi labai nežymiai. Išsiskiria tik modelis Nr. 3, kuriame atgaunamos šilumos ir ventiliatorių sunaudojamos energijos kiekis yra 12,58 proc. didesnis nei kituose modeliuose. Siekiant suprasti, ar toks vėdinimo variantas yra geresnis reikėtų atlikti sistemos ekonominį ir energetinį vertinimą.

IDA ICE simuliacijų metu pateikiamas prognozinis nepatenkintų žmonių skaičius didžiausio šilumos pašalinimo metu, modelyje Nr. 1, vėsinamose patalpose, šio rodiklio vidurkis yra 5,7 proc., modelyje Nr. 2 – 6,77 proc., o modelyje Nr. 3 – 6,72 proc. Tai parodo, kad didesnė dalis žmonių bus patenkinti patalpų mikroklimatu, patalpos nebus perkaitinamos ir jose bus palaikomas tinkamas drėgmės lygis.

Vienas svarbiausių modeliavimo rezultatų yra pikinė vėsinimo galia, kuri svarbi parenkant vėsinimo sistemos įrangą, mat netinkamas parinkimas gali padidinti visos sistemos įrangos kainą ir sistemos energijos sąnaudas. IDA ICE modeliavimo rezultatų duomenys pateikti 8 paveiksle.



8 paveikslas. Pikinė vėsinimo sistemos galia

Pikinė vėsinimo sistemų galia yra didžiausia modelyje Nr. 3 ir mažiausia modelyje Nr. 2, skirtumas tarp jų yra 24,58 proc. Tarp modelio Nr. 1 ir Nr. 2 skirtumas yra tik 5,72 proc., o tarp modelio Nr. 1 ir Nr. 3 skirtumas – 20 proc. 20 proc. ir daugiau pikinės galios padidėjimas modelyje Nr. 3 atsiranda dėl modeliavimo tipo, kai aukštas modeliuojamas kaip 1 zona. Kad modelio Nr. 3 vėsinimo sistemos pikinė galia bus didžiausia, galima pastebėti ir anksčiau pateiktuose, 4 ir 6, paveiksluose, kuriuose pateikiama vėsinimo sistemų galia ir šilumos pritėkiai, tenkantys ploto vienetui. Šie skaičiai visuose grafikuose yra didesni nei modelyje Nr. 1 ar modelyje Nr. 2.

6. Išvados

1. IDA ICE programoje sumodeliavus pastatą trimis skirtingais būdais gauta pastato vėsinimo sistemos galia, kuri yra didžiausia modelyje Nr. 3, o mažiausia modelyje Nr. 2. Skirtumas tarp jų 10,94 proc. Pastato savitoji vėsinimo sistemos galia modeliuose Nr. 2 ir Nr. 3 nesiskiria. Didžiausias skai-

čius – 48,73 W/m^2 – gautas modelyje Nr. 1. Taip yra dėl skirtingų modelių aukštų plotų.

2. Šilumos pritėkiai, tenkantys ploto vienetui, dėl saulės radiacijos, žmonių, apšvietimo ir el. prietaisų pastate yra didžiausi modelyje Nr. 3. Bendra vidutinių pritėkių, tenkančių ploto vienetui, suma yra beveik 14 proc. didesnė nei modelyje Nr. 1 ir 11,6 proc. didesnė nei modelyje Nr. 2. Įtaką skirtumams daro vidinių atitvarų nebuvimas modelyje Nr. 3, taip pat tipinio aukšto modeliuojamo ploto skirtumas.
3. Siekiant gauti kuo panašesnius rezultatus modelyje Nr. 3 yra būtina šilumos pritėkius nuo žmonių, el. prietaisų ir apšvietimo bei tiekiamo oro kiekius perskaičiuoti pagal modeliuojamą aukšto plotą. To neatlikus modeliavimo rezultatai išsikraipo.
4. Galima daryti išvadą, kad projektuotojams ir inžinieriams siekiant gauti kuo tikslesnius pastato modeliavimo rezultatus IDA ICE programoje reikia modeliuoti visus pastato aukštus su visomis patalpomis arba modeliuoti išskirtinius aukštus, o tipiniams aukštams kopijuoti reikia naudoti „multiplication“ funkciją. Tipinių aukštų kopijavimas su „multiplication“ funkcija mažina modelio kūrimo laiką ir trumpina rezultatų skaičiavimo laiką. Naudojant šią funkciją gauti rezultatai yra panašūs, skirtumas tarp jų nesiekia 10 proc. Didžiausi skirtumai tarp modelių Nr. 1 ir Nr. 2 rezultatų yra šilumos pritėkiai nuo žmonių, kurie lygūs 16,86 proc. ir šilumos pritėkiai su tiekiamu šviežiu oru, kurie lygūs 22,78 proc. Skirtumus lemia architektūriniai sprendiniai, kai nuo 5 aukšto nežymiai pasikeičia patalpų išdėstymas, sumažėja recepcijų plotai ir padidėja susirinkimų kambarių ir biuro patalpų plotai.
5. Itin svarbus modelių palyginimo aspektas yra modeliavimo metu gautos pikinės vėsinimo galios, kurios modelyje Nr. 3 yra 20 proc. ir daugiau didesnės nei kituose modeliuose. Šis skirtumas daro įtaką vėsinimo sistemos įrangos dydžio nustatymui ir patalpoms vėsinti reikalingos energijos sąnaudoms. Dėl šios priežasties modelis Nr. 3 nėra pats tinkamiausias vėsinimo įrenginių dydžiui nustatyti.

Padėka

Nuoširdžiai dėkoju dr. Rasai Džiugaitei-Tumėnienei už pagalbą ruošiant straipsnį ir kuriant modelius.

Literatūra

Del Ama Gonzalo, F., Moreno, B., & Burgos, M. J. M. (2023). Assessment of building energy simulation tools to predict heating and cooling energy consumption at early design stages. *Sustainability*, 15(3), Article 1920. https://doi.org/10.3390/su15031920

EQUA. (n.d.). *IDA ICE.* https://www.equa.se/en/ida-ice

Kalamees, T. (2004). IDA ICE: *The simulation tool for making the whole building energy – and HAM analysis.* (Annex 41 MOIST-ENG. Working meeting). Zürich Switzerland. www.academia.edu. https://www.academia.edu/en/12492239/IDA_ICE_the_simulation_tool_for_making_the_whole_building_energy_and_HAM_analysis

Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministerija. (2009). *Įsakymas dėl Lietuvos higienos normos HN 42:2009 „Gyvenamųjų patalpų ir visuomeninių patalpų mikroklimatas“ patvirtinimo* (2009, gruodžio 29, Nr. V-1081). https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.362676

Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministerija. (2003). *Įsakymas dėl higienos normos HN 69:2003 „Šiluminis komfortas ir pakankama šiluminė aplinka darbo patalpose. Parametrų norminės vertės ir matavimo reikalavimai“ patvirtinimo* (2003, gruodžio 24, Nr. V-770). https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.230880

Lietuvos standartizacijos departamentas. (2019). *Pastatų energinis naudingumas. Pastatų vėdinimas. 1 dalis. Pastatų energinio naudingumo projektavimo ir vertinimo vidaus aplinkos įvesties parametrai, susiję su patalpų oro kokybe, šilumine aplinka, apšvietimu ir akustika. M1-6 modulis.* (LST EN 16798-1:2019)

Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija. (2016). *Įsakymas dėl statybos techninio reglamento STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“ patvirtinimo* (2016, lapkričio 11, Nr. D1-754). https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/15767120a80711e68987e8320e9a5185

Motuzienė, V., & Juodis, E. (2010). Simulation based complex energy assessment of office building fenestration. *Journal of Civil Engineering and Management, 16*(3), 345–351. https://doi.org/10.3846/jcem.2010.39

Santamouris, M. (2016). Cooling the buildings – past, present and future. *Energy and Buildings, 128*, 617–638. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.07.034

COMPARISON OF BUILDING COOLING CAPACITIES MODELLED IN DIFFERENT WAYS USING IDA ICE PROGRAM

R. MAKSIMAVIČIŪTĖ, A. ROGOŽA

Abstract. The aim of this paper is to investigate how the IDA ICE building simulation produces the most accurate results for cooling capacities and sub-needs, and what are the main differences between the models. The paper is based on an office building at 59 Lvivo Street, Vilnius, for which 3 models have been developed. Model 1 is a building with all the rooms, model 2 is modelled with exclusive floors and a typical office floor which is replicated using the multiplication function, model 3 is modelled with exclusive floors and the typical floor

is created as a single area. The building simulation results in the power and heat gains per unit area of the building cooling system, which are highest in model 3. The results of models 1 and 2 are similar, with differences often less than 10%, and the difference in heat gains due to occupants or fresh air supply are due to the non-significant change in the layout of the typical floor. The most important aspect of the model comparison is the peak cooling capacity, which shows the real difference between the models and is crucial for the selection of ventilation system equipment. The difference in peak power between Models 1 and 2 is 6%, while between Models 3 and 2 it is 25%. This shows that the most accurate data is obtained for Models 1 and 2.

Keywords: IDA ICE, cooling modelling, building cooling demand, heat gains.

VILNIUS TECH
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

27-oji Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis" teminė konferencija
Proceedings of the 27th Conference for Junior Researchers "Science – Future of Lithuania"

DARNI APLINKA / SUSTAINABLE ENVIRONMENT

2024 m. balandžio 25 d., Vilnius, Lietuva
25 April 2024, Vilnius, Lithuania

ISSN 2029-7157 / eISSN 2029-7149
eISBN 978-609-476-359-5
https://doi.org/10.3846/da.2024.022

Pastatų energetika / Energy for Buildings

https://vilniustech.lt/346238

ADMINISTRACINIO PASTATO VĖDINIMO SISTEMOS VEIKIMO EFEKTYVUMO VERTINIMAS

Gustas VIGANAUSKAS*, Violeta MOTUZIENĖ

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Aplinkos inžinerijos fakultetas,
Pastatų energetikos katedra, Vilnius, Lietuva
**El. paštas gustas.viganauskas@stud.vilniustech.lt*

Gauta 2024 m. kovo 4 d.; priimta 2024 m. kovo 18 d.

Santrauka. Europai susiduriant su energetine krize, kylant energijos kainoms, vartotojai ieško būdų kaip efektyviau panaudoti energiją ir sumažinti jos sąnaudas. Vienas iš pagrindinių Europos Sąjungos žaliojo kurso tikslų yra siekti statyti ir projektuoti aukštos energinės klasės pastatus su efektyviai veikiančiomis šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo (ŠVOK) bei pastato valdymo sistemomis. Šiuo metu pastatuose didžiausią energijos dalį suvartoja ŠVOK sistemos ir dažnais atvejais jos suvartoja daugiau energijos nei planuota projektavimo / modeliavimo etape. Tokie atvejai galimi tuomet, kai projektuojant sistemas yra priimtos netinkamos prielaidos, sistemų valdymas nėra tinkamai sureguliuojamas ir apribojamas vartotojams. Straipsnyje analizuojamas realus administracinis pastatas ir remiantis ilgalaikiais stebėjimo rezultatais vertinamas jo vėdinimo sistemų efektyvumas. Išanalizavus patalpų CO_2 užterštumo reikšmes stebėjimo laikotarpiu buvo pasiūlytos kelios valdymo priemonės, kurios padėtų sutaupyti energijos.

Reikšminiai žodžiai: administracinis pastatas, mikroklimatas, patalpų komforto sąlygos, vėdinimo sistemos veikimas.

1. Įvadas

Pastatų eksploatacija sudaro net 30 % visos pasaulyje suvartojamos energijos ir yra atsakinga už 26 % visų šiltnamio efektą sukeliančių teršalų (8 % yra tiesioginis kiekis pastatuose išmetamų teršalų, o 18 % – netiesioginis išmetimas gaminant elektrą ir šilumą pastatams) (Delamstro ir Chen, 2023). Teigiama, kad Europoje pastatai atsakingi už 40 % galutinio energijos suvartojimo ir paskleidžia į aplinką 36 % šiltnamio efektą sukeliančių dujų (European Union, 2023).

Didelę dalį negyvenamųjų pastatų energijos suvartoja eksploatuojami administracinio tipo pastatai. Administracinio tipo pastatai įvairiose šalyse suvartoja šią dalį galutinės energijos: JAV – 19 %, Australijoje – 25 %, JK – 22 %. Šios sąnaudos administracinio tipo pastatuose apima energiją, reikalingą šildymo, vėdinimo, oro kondicionavimo (ŠVOK) sistemoms eksploatuoti, apšvietimui, elektros prietaisams, karštam vandeniui ruošti, maistui gaminti (Allouhi et al., 2015). Trys pagrindinės energiją naudojančios sistemos (ŠVOK, apšvietimas ir elektros prietaisai) kartu sudaro apie 85 % visų biuro pastatų energijos sąnaudų (Pérez-Lombard et al., 2008).

ŠVOK sistemos teikia pastatuose daugiausiai energijos (apie 50 % administracinio pastato energijos sąnaudų) sunaudojančias paslaugas , kurioms išsivysčiusiose šalyse sunaudojama 10–20 % visos galutinės energijos (Pérez-Lombard et al., 2008). ŠVOK sistemų energijos naudojimo efektyvumo rodiklių apibrėžimas, matavimas ir tobulinimas yra esminiai sėkmingos, į energijos vartojimo administraciniuose pastatuose efektyvumą nukreiptos, energetikos politikos elementai (Pérez-Lombard et al., 2012).

Dauguma žmonių iki 90 % savo laiko praleidžia patalpose. Tam didelę įtaką daro jų geografinė padėtis, darbo reikalavimai, metų laikas ir amžius (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2001). Patalpų aplinkos kokybė turi didelę įtaką darbuotojų komfortui ir produktyvumui biuruose, todėl patalpų aplinkos ir jos kokybės gerinimas gali žymiai padidinti darbuotojų produktyvumą ir organizacijos pelną (Fisk et al., 2012). Fizinę patalpų aplinką sudaro įvairūs veiksniai, iš kurių pagrindiniai yra šiluminis komfortas ir patalpų oro kokybė (Kaushik et al., 2020).

Patalpų oro kokybei užtikrinti pastatuose reikalingos vėdinimo sistemos. Vėdinimas – tai patalpų oro keitimas

© 2024 Autoriai. Leidėjas Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Šis straipsnis yra atvirosios prieigos straipsnis, turintis Kūrybinių bendrijų (Creative Commons) licenciją (CC BY 4.0), kuri leidžia neribotą straipsnio ar jo dalių panaudą su privaloma sąlyga nurodyti autorių ir pirminį šaltinį.

švariu lauko oru, siekiant užtikrinti sveiką ir švarią patalpų erdvę, t. y. užteršto patalpų oro praskiedimą (Persily, 2016). Patalpų oro kokybei užtikrinti vėdinant įprasta stebėti CO_2 koncentraciją patalpose ir tai panaudoti kaip rodiklį vėdinimo intensyvumui ir oro srautui patalpoje kontroliuoti (Persily ir de Jonge, 2017). Patalpų CO_2 koncentracija rodo oro kokybės priimtinumą ir šviežio oro pakankamumą pastatų patalpose. Tipiška vidutinė CO_2 koncentracija biuruose svyruoja nuo 800 iki 1000 ppm (Azuma et al., 2018). Ši CO_2 koncentracija atitinka IDA2 oro kokybės kategoriją (Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija, 2005).

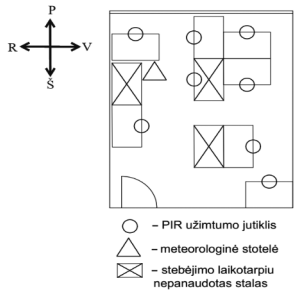
Straipsnio tikslas – atlikus administracinio biuro tipo pastato patalpų mikroklimato stebėseną, įvertinti mikroklimato parametrus patalpose ir vėdinimo sistemos energijos taupymo potencialą.

2. Tyrimo objektas ir metodika

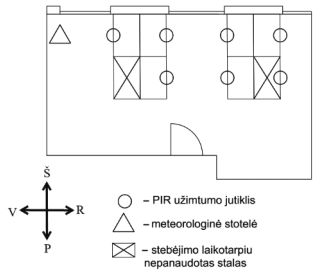
Darbe yra atliekama ilgalaikė administracinio pastato dviejų biuro patalpų stebėsena, kuria remiantis yra identifikuojama, kaip palaikomos mikroklimato sąlygos patalpose, bei koks yra faktinis patalpos užimtumas. Atlikus matavimo duomenų apdorojimą ir jų susisteminimą gauti rezultatai palyginami su Lietuvos higienos normose HN 69:2003 „Šiluminis komfortas ir pakankama šiluminė aplinka darbo patalpose (Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministerija, 2003). Parametrų norminės vertės ir matavimo reikalavimai“ ir statybiniame reglamente STR 2.09.02:2005 „Šildymas, vėdinimas ir oro kondicionavimas“ nurodytomis norminėmis reikšmėmis. Atsižvelgiant į palyginimo metu aptiktas mikroklimato spragas, kai patalpų mikroklimato parametrai neatitinka Lietuvos higienos normų reikšmių, siūlomi galimi variantai, kaip reiktų patobulinti esamos vėdinimo sistemos veikimą arba į ką reiktų atkreipti dėmesį norint turėti efektyvesnę vėdinimo sistemą ir sutaupyti energijos.

Vėdinimo sistemos efektyvumo ir energijos sutaupymo galimybėms modernizavus esamą sistemą ar ją pakeitus nauja nustatyti naudojamas „Siemens“ gamintojų sukurtas sistemų energinio naudingumo klasifikatoriaus įrankis „EPC-Tool“, ši programa sistemoms klasifikuoti remiasi EN ISO 52120 standartu (EPC-Tool, & Siemens, n.d.)

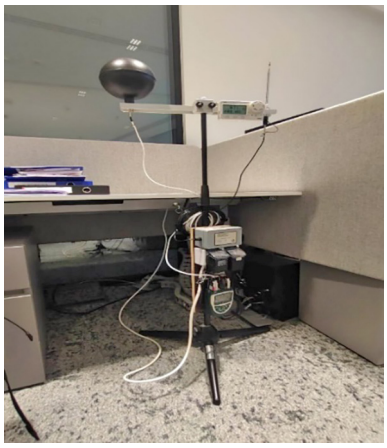
Stebėjimai atliekami A energinės klasės administracinio tipo pastate. Stebėjimams pasirenkamos dvi biuro paskirties patalpos, toliau žymimos kaip biuras Nr. 1 ir biuras Nr. 2. Biuras Nr. 1 yra 45,95 m^2 ploto, o jo tūris – 125,67 m^3. Šioje patalpoje yra 10 darbo vietų, tačiau naudojamos tik 7, t. y. darbo vietų daugiau negu darbuotojų. Patalpa turi tik vieną išorinę sieną, kuri orientuota į pietus. Biuras Nr. 2 yra 56,52 m^2 ploto ir 143,78 m^3



1 paveikslas. Įrangos išdėstymo biure Nr. 1 planas



2 paveikslas. Įrangos išdėstymo biure Nr. 2 planas



3 paveikslas. Meteorologinė stotelė biure Nr. 1

tūrio. Patalpoje yra 8 darbo vietos, tačiau naudojamos tik 6. Patalpa turi tik vieną išorinę sieną, kuri orientuota į šiaurę. Patalpose sumontuoti nevarstomi langai. Darbuotojai darbo vietose pastoviai nebūna: kiekvienas darbuotojas gali dirbti pagal jam tinkantį grafiką, darbo metu vyksta susitikimai, kuriems įrengtos atskiros patalpos.

Patalpų stebėsena buvo vykdoma 128 dienas – nuo 2022-11-24 iki 2023-03-31. Stebėsenos tikslas – nustatyti pagrindinius mikroklimato parametrus ir patalpose vyraujančią oro kokybę. Tyrimo metu matuojama temperatūra (°C), CO_2 koncentracija (ppm), santykinė drėgmė (%). Duomenys buvo kaupiami 5 minučių intervalu, tačiau atlikus duomenų apdorojimą buvo nustatyti valandiniai vidurkiai, kurie pateikiami grafiškai.

Darbuotojų užimtumo grafikui nustatyti darbo vietose sumontuojami PIR (pasyvus infraraudonųjų spindulių

jutiklis) jutikliai, kurie fiksuoja darbuotojo buvimą darbo vietoje. Duomenų analizė atliekama 1 valandos intervalu. Naudotos matavimo įrangos specifikacijos pateikiamos 1 lentelėje.

Įrangos išdėstymo planas pateikiamas 1 ir 2 paveiksluose. Identiškos meteorologinės stotelės (3 paveikslas) patalpose statomos taip, kad duomenis kauptų 1,2 m darbo zonos aukštyje, darbuotojams neutralioje vietoje. Atsižvelgiant į darbuotojų nepastovumą, PIR jutikliai įrengiami po visais darbo stalais.

Rezultatams gauti atliekami keli kiekybinių duomenų apdorojimo metodai: duomenų valymas, duomenų formatavimas ir duomenų vizualizavimas. Gauti rezultatai pateikiami grafiškai.

1 lentelė. Patalpų stebėjimo įrangos suvestinė

Prietaisas	Matuojamas parametras	Charakteristikos
TABLEAIR jutiklis	Darbo vietos užimtumas	PIR jutiklis Judesio jutiklis Duomenų perdavimas 4.0LE; WIFI 2,4 GHz
Meteorologinė stotelė – HOBO MX1102A	Oro temperatūros, santykinės drėgmės ir CO_2 koncentracijos fiksavimas ir kaupimas	Oro temperatūra: – Paklaida ± 0,21 °C; – Matavimo diapazonas nuo 0 °C iki +50 °C; Santykinė drėgmė: – Matavimo diapazonas nuo 1 iki +90 %; – Paklaida ±2 %; CO_2 koncentracija: – Matavimo diapazonas nuo 0 iki 5000 ppm; – Paklaida ± 50 ppm.

3. Rezultatai

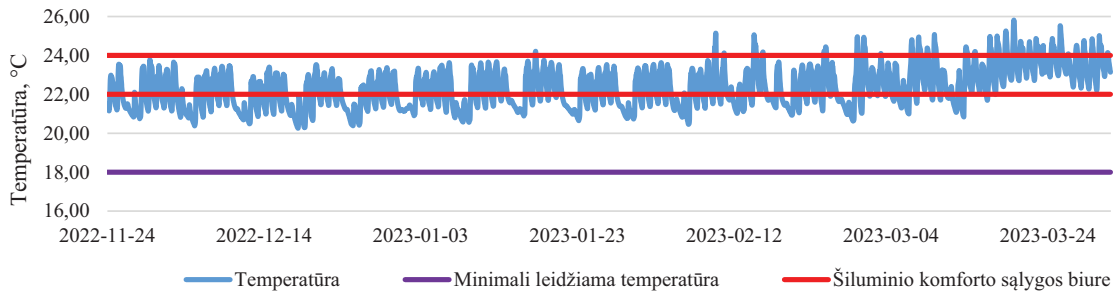
Apdorojant stebėjimo duomenis buvo pastebėta neatitikimų ar duomenų spragų, todėl dalis duomenų nėra patikimi ir šiam tyrimui nėra naudojami. Patikimi duomenys susisteminti ir pateikti grafiškai.

4 ir 5 paveiksluose pateikiami patalpų oro temperatūrų grafikai stebėjimo laikotarpiu. Nustatyta, kad darbo metu patalpose vyrauja 22–24 °C temperatūra, o naktimis ir savaitgaliais – 20–22 °C. Biure Nr. 1 iki kovo mėnesio temperatūros svyruoja stabiliai, tačiau nuo kovo 6 dienos darbo metu patalpoje temperatūra pradeda svyruoti nuo 24 °C iki 26 °C ir viršija komfortinių sąlygų ribą (4 pav.).

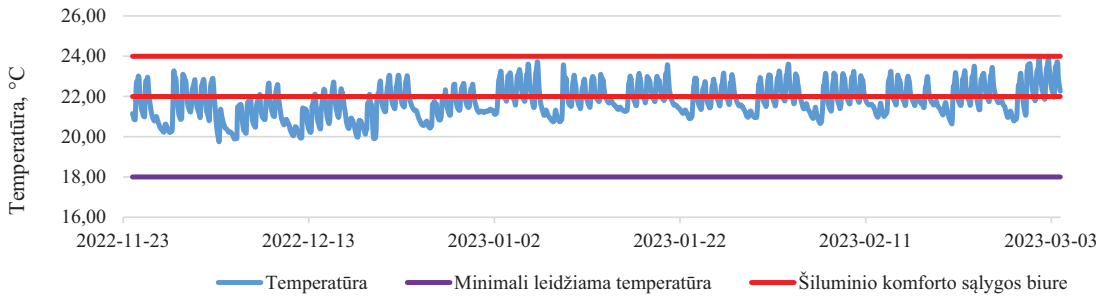
Tam įtakos galėjo turėti lauko oro temperatūrų svyravimas, kai dienos buvo šiltos, o naktys šaltos, arba įvyko valdymo sistemos klaida. Biure Nr. 2 stebėjimo laikotarpiu pastebima, kad pirmomis gruodžio savaitėmis kelias dienas patalpoje buvusi temperatūra buvo mažesnė nei šiluminio komforto minimali riba. Be to, gruodžio mėnesio temperatūros buvo žemesnės nei likusiu tyrimo laikotarpiu. Patalpos yra peršildomos, nes didžiąją laiko dalį temperatūra svyruoja tarp 23–24 °C. Beje, nei darbo dienomis, nei savaitgaliais netaikomas temperatūros pažeminimas.

Stebėto laikotarpio CO_2 kitimo grafikai pateikiami 6 ir 7 paveiksluose. Grafikuose pateikiamos atskirų savaičių CO_2 kitimo linijos bei visų savaičių vidurkio linija. Grafikuose žaliai pažymėta linija rodo oro kokybės lygį IDA 1. Toks oro kokybės lygis yra laikomas aukštu ir jo ribinė CO_2 koncentracijos vertė yra 800 ppm.

Visu stebėjimo laikotarpiu oro kokybė yra aukštos kategorijos ir niekada neviršijama aukštos oro kokybės



4 paveikslas. Biuro Nr. 1 temperatūrų grafikas nuo 2022-11-24 iki 2023-03-31



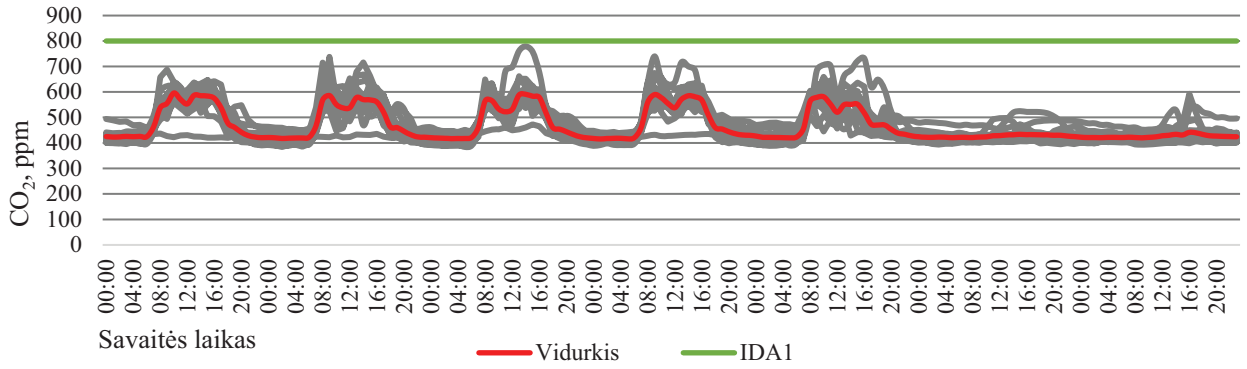
5 paveikslas. Biuro Nr. 2 temperatūrų grafikas nuo 2022-11-24 iki 2023-03-03

ribinė vertė. Tai, kad vidutinė CO_2 koncentracija yra mažesnė nei 800 ppm. rodo, kad net norint palaikyti aukštą komforto lygį nebūtina tiek vėdinti ir vėdinimo oro kiekiai gali būti mažinami siekiant taupyti elektros energiją visus metus ir šilumos energiją žiemos metu (kai orą dar reikia ir pašildyti).

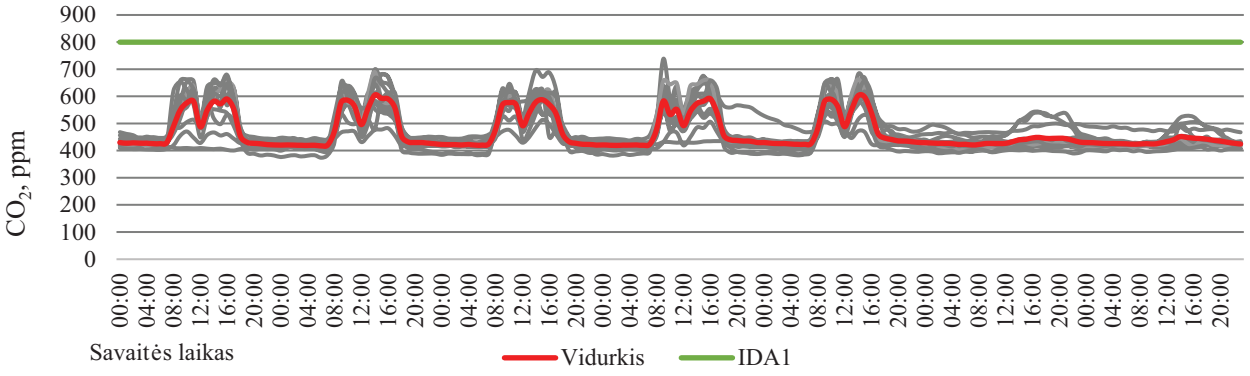
Iš grafikų (6 ir 7 pav.) matyti, kad didžiausia CO_2 koncentracija patalpose būna nuo 8:00 val. iki 11:00 val. ir nuo 13:00 val. iki 16:00 val., t. y. darbo valandomis, o esant pietų pertraukai patalpose CO_2 koncentracija sumažėja. Vidutinė CO_2 koncentracijos vertė darbo valandomis svyruoja nuo 550 iki 600 ppm, o pietų pertraukos metu sumažėja iki 500–550 ppm. Ne darbo metu biuruose CO_2 koncentracija yra apie 400 ppm.

Iš 6 pav. esančio grafiko matyti, kad per visą stebėjimo laikotarpį biure Nr. 1 maksimali vidutinė valandinė CO_2 koncentracija darbo metu buvo 790 ppm. Iš 7 pav. esančio grafiko matyti, kad per visą stebėjimo laikotarpį biure Nr. 2 maksimali vidutinė valandinė CO_2 koncentracija darbo metu buvo 739 ppm.

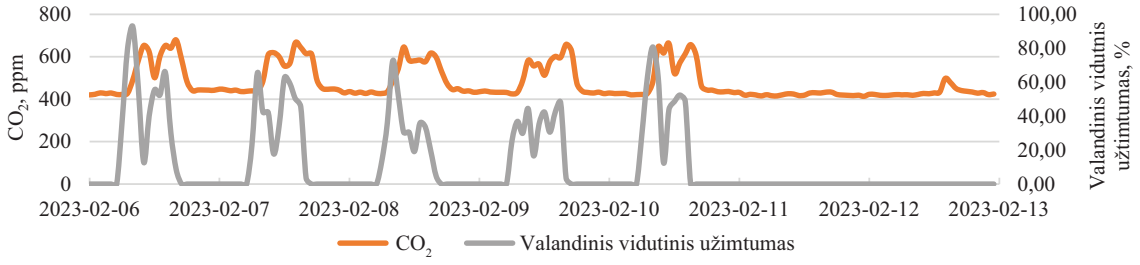
Dėl techninių kliūčių iš gautų užimtumo duomenų patikimi tik biuro Nr. 2 2023 metų vasario mėnesio duomenys. Trijų savaičių CO_2 koncentracijos priklausomybės nuo patalpos užimtumo grafikai pateikiami 8, 9, 10 paveiksluose. Biuro Nr. 2 100 proc. užimtumas būtų tada, kai visi (6) patalpos darbuotojai savo darbo vietoje išbūtų visą valandą. Didžiausias užimtumas patalpoje buvo 2023 metų vasario 6–12 dienomis. Vasario 16 dieną (nedarbo diena) matyti, kad užimtumas visą parą buvo 0 %, tačiau ir kitais ketvirtadieniais, palyginti su kitomis darbo dienomis, pastebimas užimtumo sumažėjimas. Grafikuose ryškiai matoma CO_2 koncentracijos



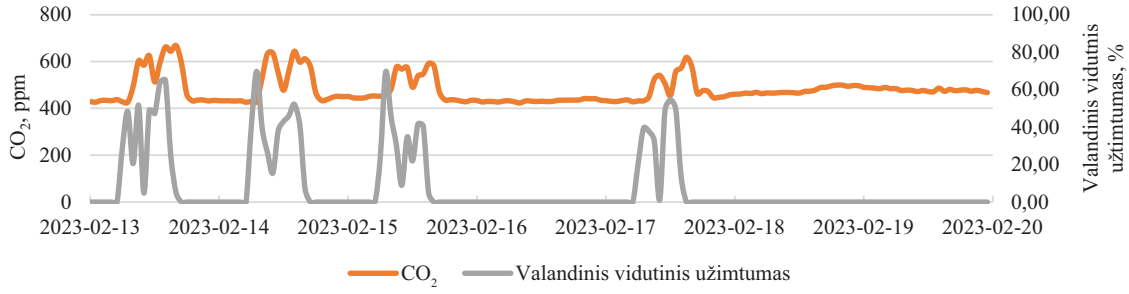
6 paveikslas. Biuro Nr. 1 CO_2 kitimo grafikas tiriamuoju laikotarpiu nuo 2022-11-28 iki 2023-03-27



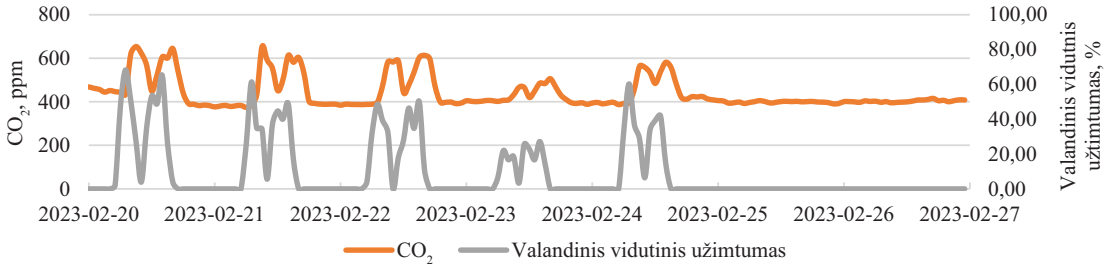
7 paveikslas. Biuro Nr. 2 CO_2 kitimo grafikas tiriamuoju laikotarpiu nuo 2022-11-28 iki 2023-02-26



8 paveikslas. Biuro Nr. 2 CO_2 koncentracijos priklausomybė nuo patalpos užimtumo nuo 2023-02-06 iki 2023-02-13



9 paveikslas. Biuro Nr. 2 CO_2 koncentracijos priklausomybė nuo patalpos užimtumo nuo 2023-02-13 iki 2023-02-20



10 paveikslas. Biuro Nr. 2 CO_2 koncentracijos priklausomybė nuo patalpos užimtumo nuo 2023-02-20 iki 2023-02-27



11 paveikslas. Esamos ir naujos vėdinimo sistemos palyginimas „EPC-Tool“ programoje

priklausomybė nuo užimtumo: esant intensyvesniam užimtumui per valandą CO_2 patalpoje pakyla, o užimtumui sumažėjus, atvirkščiai, – nusileidžia. Taip pat iš grafikų matome, kad patalpoje esant 50 % valandiniam užimtumui CO_2 koncentracija padidėja virš 600 ppm.

Siekiant sumažinti energijos vartojimą pastate siūloma peržiūrėti esamos ŠVOK sistemos valdymo režimus, optimizuoti darbo grafikus. Rekomenduojama atkreipti dėmesį į patalpų temperatūros palaikymo grafikus, kad nedarbo metu būtų palaikoma ne didesnė nei 18 °C, o darbo metu ne didesnė nei 22 °C temperatūra (pastaba: apytikriai yra vertinama, kad vienu laipsniu sumažinus patalpos temperatūrą galima sutaupyti 5 proc. energijos, reikalingos patalpai šildyti).

Įvertinus pastate esančią vėdinimo sistemą su „Siemens“ gamintojų sukurta sistemų energinio naudingumo klasifikatoriaus programa „EPC-Tool“, gaunama, kad sistema atitinka C-B energinę klasę (11 pav.).

Pakeitus sistemos valdymą iš pastovaus oro srauto į daugiapakopį, pastarasis valdymas galėtų keisti vėdinimo sistemos tiekiamo oro kiekį priklausomai nuo poreikio (patalpų užimtumo), būtų pasiekta A sistemos klasė ir tai leistų per metus sutaupyti iki 26 % elektros energijos.

4. Išvados

1. Pastato patalpų stebėjimo duomenys rodo, kad patalpų oro temperatūra ir patalpų oro kokybė atitinka Lietuvos higienos normose ir statybiniuose reglamentuose nurodytas reikšmes. Patalpų oro kokybė per stebėjimo laikotarpį buvo aukščiausio kokybės lygio (IDA1).
2. Siekiant sumažinti energijos sąnaudas reiktų atkreipti dėmesį į šildymo sistemos valdymą, išnaudoti temperatūrinį pažeminimą nakties metu ir savaitgaliais arba paieškoti optimalaus šildymo sistemos veikimo grafiko, nesukuriant temperatūrinio diskomforto.
3. Analizuojamame administraciniame pastate patalpos yra pervėdinamos, vėdinimo sistema tiekia per didelį šviežio oro kiekį į patalpas.
4. Naudojamos pastovaus oro srauto vėdinimo sistemos be papildomų oro srauto reguliavimo priemonių negali prisitaikyti prie dinamiško patalpų naudojimo grafiko. Įvedus vėdinimo sistemos kontrolę pagal užimtumą ar CO_2 koncentraciją būtų galima sumažinti elektros energijos sąnaudas iki 26 %.

Literatūra

Allouhi, A., El Fouih, Y., Kousksou, T., Jamil, A., Zeraouli, Y., & Mourad, Y. (2015). Energy consumption and efficiency in buildings: Current status and future trends. *Journal of Cleaner Production*, *109*, 118–130. https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2015.05.139

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2001). *ASHRAE handbook: Fundamentals.* ASHRAE.

Azuma, K., Kagi, N., Yanagi, U., & Osawa, H. (2018). Effects of low-level inhalation exposure to carbon dioxide in indoor environments: A short review on human health and psychomotor performance. *Environment International*, 121, 51–56. https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.08.059

Delamstro, C., & Chen, O. (2023). *Buildings*. International Energy Agency. https://www.iea.org/energy-system/buildings

European Union. (2023). *Infographics – Fit for 55: Making buildings in the EU greener.* https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/fit-for-55-making-buildings-in-the-eu-greener/

EPC-Tool, & Siemens. (n.d.). *Energy performance classification tool.* https://epc.bt.siemens.com/epc/

Fisk, W. J., Black, D., & Brunner, G. (2012). Changing ventilation rates in U.S. offices: Implications for health, work performance, energy, and associated economics. *Building and Environment*, *47*(1), 368–372. https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2011.07.001

Kaushik, A., Arif, M., Tumula, P., & Ebohon, O. J. (2020). Effect of thermal comfort on occupant productivity in office buildings: Response surface analysis. *Building and Environment*, *180*, Article 107021. https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2020.107021

Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija. (2005). *Dėl statybos tchninio reglamento STR 2.09.02:2005 "Šildymas, vėdinimas ir oro kondicionavimas" patvirtinimo* (2005, birželio 9, Nr. D1-289). https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.257930/asr

Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministerija. (2003). *Dėl Lietuvos higienos normos HN 69:2003 "Šiluminis komfortas ir pakankama šiluminė aplinka darbo patalpose. Parametrų norminės vertės ir matavimo reikalavimai" patvirtinimo* (2003, gruodžio 24, Nr. V-770). https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.230880

Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., Maestre, I. R., & Coronel, J. F. (2012). Constructing HVAC energy efficiency indicators. *Energy and Buildings*, *47*, 619–629. https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2011.12.039

Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., & Pout, C. (2008). A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings*, *40*(3), 394–398. https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2007.03.007

Persily, A., & de Jonge, L. (2017). Carbon dioxide generation rates for building occupants. *Indoor Air*, 27(5), 868–879. https://doi.org/10.1111/ina.12383

Persily, A. K. (2016). Field measurement of ventilation rates. *Indoor Air*, *26*(1), 97–111. https://doi.org/10.1111/ina.12193

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF THE VENTILATION SYSTEM IN AN ADMINISTRATIVE BUILDING

G. VIGANAUSKAS, V. MOTUZIENĖ

Abstract. Facing the energy crisis in Europe and the rise in energy prices, consumers are seeking ways to more efficiently use energy and reduce its costs. In the European Union's green agenda, one of the main goals is to aim at constructing and designing high-energy class buildings with efficiently operating heating, ventilation, and air conditioning (HVAC) and building management systems. Currently, HVAC systems consume the largest portion of energy in buildings, and in many cases, they consume more energy than planned during the design/modeling stage. Such cases occur when incorrect assumptions are made during system design, system management is unregulated, and users are not restricted in system management. The article analyzes a real administrative building and evaluates the efficiency of its ventilation systems based on long-term monitoring results. After analyzing the levels of CO_2 pollution in the premises during the monitoring period, several management measures were proposed to help save energy.

Keywords: administrative building, microclimate, indoor comfort conditions, operation of ventilation systems.