

**Studentų konferencijos
STATYBA IR LOGISTIKA `25:
MOKSLAS IR PRAKTIKA
medžiaga
straipsnių rinkinys**

2026, Vilnius

The bottom right portion of the cover features a large, abstract graphic composed of several thick, white, rounded rectangular bars. These bars are arranged in a way that suggests a stylized sunburst or a cluster of architectural elements, radiating from the bottom right corner towards the center of the page. The background is a gradient of blue, transitioning from a lighter shade at the top to a darker shade at the bottom.



**Studentų konferencijos
STATYBA IR LOGISTIKA `25:
MOKSLAS IR PRAKTIKA
medžiaga**

straipsnių rinkinys

**Proceedings of the Student Conference
CONSTRUCTION AND LOGISTICS '25:
SCIENCE AND PRACTICE**

Collection of Articles

2026, Vilnius

Recenzentas

doc. dr. Andrius Gulbinas, Vilniaus kolegijos Statybos fakultetas

Redaktorė

Rima Marcinkevičienė, Vilniaus kolegijos Statybos fakultetas

Sudarytojas

doc. dr. Andrius Gulbinas

Maketavo

LJ „Kriventa“

Leidinyi apsvarstytas ir rekomenduotas leidybai Vilniaus kolegijos Statybos fakulteto Statybos inžinerijos katedros posėdyje 2026 m. vasario 25 d. (protokolo Nr. ST K-8).

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

ISBN 978-609-462-281-6 (pdf)

© Vilniaus kolegija, 2026

© LJ „Kriventa“, 2026

Gerbiamieji skaitytojai,

Pristatome Jums Vilniaus kolegijos Statybos fakulteto jaunųjų mokslininkų straipsnių rinkinį, kurį drąsiai galima pavadinti tikra inovacijų ir tvarumo jungtimi.

Šiame leidinyje publikuojami studentų atliktų tyrimų rezultatai, kurie buvo aptarti studentų konferencijoje „Statyba ir logistika 25: mokslas ir praktika“ ir sugulė į straipsnius. Studentų konferencijos tikslas – tapti platforma, kurioje susitinka statybos inžinerijos ir transporto logistikos sričių aktualijos, inovacijos bei ateities plėtros kryptys. Studentų darbai ne tik atspindi jų teorinį pasirengimą, bet ir demonstruoja gebėjimą spręsti realius pramonės iššūkius, integruojant šiuolaikines technologijas bei tvarumo principus. Svarbu ir tai, kad šis leidinys yra bendro akademinio darbo vaisius: daugeliui studentų atliekant tyrimus ir rengiant straipsnius profesionaliai vadovavo patyrę dėstytojai. Ši darna tarp studentų ambicijų ir dėstytojų ekspertinės patirties leido pasiekti pačių geriausių rezultatų.

Leidinyje rasite trylika straipsnių, kuriuos pagal nagrinėjamas temas galima suskirstyti į kelis esminius blokus: tvari statyba ir žiedinė ekonomika, energinis efektyvumas ir medžiagotyra, išmaniosios technologijos inžinerijoje bei transporto logistikos procesų optimizavimas. Pažymėtina, kad du leidinio straipsniai yra parengti anglų kalba, o tai rodo jaunųjų tyrėjų siekį integruotis į tarptautinę mokslo erdvę ir dalytis rezultatais su platesne auditorija.

Darbuose apie tvarią statybą ir žiedinę ekonomiką dominuoja atliekų tvarkymo ir antrinio jų panaudojimo klausimai. Anglų kalba parengtame tyrime apie statybos ir griovimo atliekas Lietuvoje akcentuojama, kad nors kiekybiniai perdirbimo rodikliai džiugina, vis dar susiduriama su „nuvertinamojo perdirbimo“ problema. Kitas anglų kalba publikuojamas straipsnis analizuoja atliekų panaudojimą betono gamyboje, siekiant sumažinti cemento pramonės sukeltą CO₂ emisiją. Šią temą papildė praktinė statybietės saugos analizė, kurioje vertinami darbuotojų asmeninių apsaugos priemonių naudojimo įpročiai.

Didelį dėmesį jaunieji tyrėjai skyrė pastatų energinio naudingumo didinimui. Net keliuose darbuose taikomas daugiakriteris COPRAS metodas. Studentai vertino tiek tradicines, tiek tvarias termoizoliacines medžiagas (nuo mineralinės vatos iki kanapių pluošto ar avies vilnos), ieškodami racionaliausių sprendimų A++ klasės namams. Taip pat pateikiama daugiabučio namo renovacijos analizė, atskleidžianti skirtumus tarp teorinių skaičiavimų ir faktinių šilumos energijos sąnaudų, kas yra itin aktualu pastatų administratoriams ir projektuotojams.

Moderniosios inžinerijos kryptis atsispindi tyrimuose apie išmaniųjų namų sistemas (KNX, Loxone ir kt.) bei geodezinių matavimų inovacijas. Lyginamoji dronų skenerių, 3D skenerių ir LiDAR technologijų analizė padeda pagrįsti tiksliausių įrankių parinkimą sudėtingoms inžinerinėms užduotims. Greta technologijų nagrinėjami ir valdymo iššūkiai: vienas iš straipsnių skirtas statybos projektų terminų nesilaikymo priežastims ir jų sprendimo būdams, pabrėžiant integruoto projektų valdymo svarbą. Inžinerinių studijų kokybę apžvelgia gamybinės praktikos vertinimo analizė, rodanti glaudų ryšį tarp studijų ir realaus verslo poreikių.

Logistikos sektoriaus ateitis siejama su dirbtinio intelekto (DI) integracija. Studentų atliktas maršrutų planavimo modeliavimas patvirtino DI pranašumą optimizuojant sąnaudas. Greta technologinės pažangos nagrinėjami ir infrastruktūros iššūkiai – elektromobilių įkrovimo tinklo plėtros netolygumas Lietuvoje bei jo įtaka tvariam mobilumui. Teisinį sektoriaus pagrindą analizuoja multimodalinių vežimų reguliavimo vertinimas, kuriame lyginama Lietuvos ir kitų ES šalių (Vokietijos, Lenkijos, Čekijos) patirtis, ieškant teisinio harmonizavimo krypčių.

Galime pagrįstai didžiulis mūsų jaunaisiais tyrėjais. Šiųmečių tyrimų temų įvairovė rodo platų jaunųjų specialistų akiratį ir gebėjimą neatsilikti nuo globalių tendencijų. Studentų noras gilintis į sudėtingas problemas, ieškoti tvarių sprendimų ir kritiškai vertinti esamą situaciją teikia didelių vilčių, jog būsimoji inžinierių ir logistikos specialistų karta formuos pažangią bei atsakingą Lietuvos pramonės ateitį.

Nuoširdžiai dėkojame visiems autoriams už jų entuziazmą ir norą tobulėti! Ačiū studentų darbų vadovams, sudominusiems studentus tiriamąja veikla, suteikusiems pagalbą bei davusiems vertingų patarimų. Dėkojame visiems, prisidėjusiems rengiant šį straipsnių rinkinį.

Tikime, kad šiame leidinyje publikuoti darbai taps naudingu šaltiniu daugeliui akademinės bendruomenės narių. Kviečiame skaitytojus ne tik susipažinti su jaunųjų mokslininkų straipsniais bei juose pateiktais tyrimų rezultatais, bet ir toliau diskutuoti apie inovacijų įgyvendinimo galimybes kasdienėje inžinerinėje praktikoje!

TURINYS

KONFERENCIJOS PROGRAMA	6
ASMENINIŲ APSAUGOS PRIEMONIŲ NAUDOJIMO ĮPROČIŲ IR JŲ ĮTAKOS DARBUOTOJŲ SAUGAI STATYBOS SEKTORIUJE ANALIZĖ	8
Miroslav Drozd, Anna Glinskienė	
ELEKTROMOBILIŲ INFRASTRUKTŪROS PLĖTROS IŠŠŪKIAI IR PERSPEKTYVOS LIETUVOJE	15
Ksenija Koniuševa, Emilis Skripkiūnas	
IŠMANIŲJŲ NAMŲ SISTEMŲ ANALIZĖ.....	21
Titas Mikėnas	
TVARIŲ IR TRADICINIŲ TERMOIZOLIACINIŲ MEDŽIAGŲ PASIRINKIMO ANALIZĖ BEI VERTINIMAS NAUJAI STATOMO PASTATO ENERGINIAM NAUDINGUMUI UŽTIKRINTI.....	27
Ugnė Medzikauskaitė	
A++ ENERGINIO NAUDINGUMO KLASĖS VIENBUČIO GYVENAMOJO NAMO ATITVARŲ TERMOIZOLIACINIŲ MEDŽIAGŲ DAUGIAKRITERINĖ ANALIZĖ COPRAS METODU	36
Andžej Andrius Vincelovič	
DRONŲ SKENERIŲ IR ANTŽEMINIŲ SKENAVIMO TECHNOLOGIJŲ DUOMENŲ TIKSLUMO LYGINAMOJI ANALIZĖ.....	43
Ignas Fiodorovas, Natalija Augūnienė	
RENOVACIJOS POVEIKIS DAUGIABUČIŲ PASTATŲ ENERGINIAM EFEKTYVUMUI: LYGINAMOJI ANALIZĖ.....	48
Gabija Kučinskaitė	
INŽINERINIŲ PASTATŲ SISTEMŲ STUDIJŲ PROGRAMOS STUDENTŲ GAMYBINĖS TECHNOLOGINĖS PRAKTIKOS KOKYBĖS VERTINIMAS.....	54
Ona Mekšriūnaitė, Virginija Urbonienė	
STATYBOS PROJEKTŲ TERMINŲ NESILAIKYMAS IR GALIMŲ SPRENDIMŲ BŪDŲ LYGINAMOJI ANALIZĖ	60
Mantas Konstantinavičius	
MULTIMODALINIŲ VEŽIMŲ REGULIAVIMO VERTINIMAS.....	66
Aurelijus Vaškys, Ivan Česov	
CONSTRUCTION & DEMOLITION WASTE GENERATION AND MANAGEMENT IN LITHUANIA	73
Kristupas Bitinas, Dovas Šekštelis, Inga Piščikienė	
USE OF WASTE MATERIALS IN CONCRETE PRODUCTION FOR SUSTAINABLE CONSTRUCTION	79
Liepa Kekytė, Austėja Bernotaitė, Inga Piščikienė	

**STUDENTŲ KONFERENCIJOS
„STATYBA IR LOGISTIKA'25: MOKSLAS IR PRAKTIKA“**

P R O G R A M A

**2025 m. gruodžio 3 d.
Vilniaus kolegijos Statybos fakultetas,
Antakalnio g. 54, Vilnius
162 aud.**

Konferencijos moderatoriai: Danielius Jančiauskas ir Artūras Leonaitis

9:00	Konferencijos pradžia
9:10–9:20	„Asmeninių apsaugos priemonių naudojimo įpročių ir jų įtakos darbuotojų saugai statybos sektoriuje analizė“ Miroslav Drozd, vadovė Anna Glinskienė
9:20–9:30	„Elektromobilių infrastruktūros plėtros iššūkiai ir perspektyvos Lietuvoje“ Ksenija Koniuševa, Emilis Skripkiūnas, vadovė Indrė Sprogytė Bredelienė
9:30–9:40	„Išmaniųjų namų sistemų analizė“ Titas Mikėnas, vadovas dr. Andrius Gulbinas
9:40–9:50	„Tvarių termoizoliacinių ir tradicinių medžiagų pasirinkimo analizė ir vertinimas naujai statomo pastato energinio efektyvumo užtikrinimui“ Ugnė Medzikauskaitė, vadovė Anna Glinskienė
9:50–10:00	„Atitvarinių konstrukcijų termoizoliacinių medžiagų daugiakriterinė COPRAS analizė A++ klasės vienbučiam gyvenamajam namui“ Andrius Vincelovič, vadovas dr. Andrius Gulbinas
10:00–10:10	„Dronų ir skenerių technologijos“ Ignas Fiodorovas, vadovė Natalija Augūnienė
10:10–10:20	„Renovacijos poveikis daugiabučių pastatų energiniam efektyvumui ir CO₂ emisijoms Lietuvoje: lyginamoji analizė“ Gabija Kučinskaitė, vadovas dr. Andrius Gulbinas

**STUDENTŲ KONFERENCIJOS
„STATYBA IR LOGISTIKA'25: MOKSLAS IR PRAKTIKA“**

P R O G R A M A

**2025 m. gruodžio 3 d.
Vilniaus kolegijos Statybos fakultetas,
Antakalnio g. 54, Vilnius
162 aud.**

Konferencijos moderatoriai: Danielius Jančiauskas ir Artūras Leonaitis

(tęsinys)

10:20-10:30	„Dirbtinio intelekto taikymas maršrutų planavime“ Anastasija Kobanova, Kamila Maria Dakševič, vadovė Indrė Sprogytė Bredelienė
10:30-10:40	„Gamybinės technologinės praktikos anketinės apklausos rezultatų analizė“ Ona Mekšriūnaitė, vadovė Virginija Urbonienė
10:50-11:00	„Use of Waste in Concrete Production“ Austėja Bernotaitė, Liepa Kekytė, vadovė Inga Piščikienė
11:00-11:10	„Biologinių ir mineralinių izoliacinių medžiagų daugiakriterinė analizė“ Danielius Jančiauskas, vadovas dr. Andrius Gulbinas
11:10-11:20	„Multimodalinių pervežimų reguliavimo vertinimas“ Ivan Česov, vadovas Aurelijus Vaškys
11:20-11:30	„BIM naudojimas sąmatų sudarymui: atvejo analizė“ Šarūnas Rupeika, vadovė Anna Glinskienė
11:30-11:40	„Statybos projektų terminų nesilaikymas ir galimų sprendimų būdų lyginamoji analizė“ Mantas Konstantinavičius, vadovas dr. Andrius Gulbinas
11:40	Konferencijos apibendrinimas

ASMENINIŲ APSAUGOS PRIEMONIŲ NAUDOJIMO ĮPROČIŲ IR JŲ ĮTAKOS DARBUOTOJŲ SAUGAI STATYBOS SEKTORIUJE ANALIZĖ

MIROSLAV DROZD¹, ANNA GLINSKIENĖ¹

¹Vilniaus kolegija, Statybos fakultetas, Statybos inžinerijos katedra, Antakalnio g. 54, Vilnius

Anotacija. Tyrimo tikslas – įvertinti statybos sektoriaus darbuotojų asmeninių apsaugos priemonių (AAP) naudojimo įpročius ir nustatyti organizacinius bei individualius veiksnius, turinčius įtakos incidentų prevencijai. Taikyta anoniminė apklausa (n = 101), naudojant 5 balų Likerto skalę. Klausimyne vertintos respondentų pareigos ir darbo stažas, tipinės darbo sąlygos (darbas aukštyje, triukšmas, dulkės ir cheminės medžiagos, judanti technika) bei AAP infrastruktūra (mokymai, procedūros, priemonių pasiekiamumas, tinkamumas ir ergonomika (angl. *fit and comfort*). Taip pat analizuotas faktinis AAP dėvėjimo dažnis, patiriami barjerai bei saugos klimato vertinimas. Taip pat fiksuota pastarųjų 12 mėnesių incidentų patirtis ir subjektyvus AAP vaidmens vertinimas. Duomenys analizuoti taikant aprašomąją statistiką. Skaičiuotos procentinės dalys ir lygintos atsakymų grupės (teigiami įvertinimai „sutinku“: 4–5 balai; neigiami ar neutralūs „nesutinku / neutralu“: 1–3 balai). Ryšiams nustatyti naudoti procentinių punktų skirtumai ir šansų santykiai (angl. *Odds Ratio*, OR). Tyrimu siekiama identifikuoti prioritetines saugos tobulinimo sritis statybvietėse. Tyrimas orientuotas į praktinių sprendimų (AAP valdymo, mokymų ir elgsio intervencijų) planavimą.

Reikšminiai žodžiai: AAP, statybos, darbuotojų sauga, saugos kultūra, komfortas, fit.

Įvadas

Asmeninės apsaugos priemonės (AAP) statybos sektoriuje dažnai yra paskutinė apsaugos grandis, taikoma tuomet, kai pavojaus neįmanoma visiškai pašalinti organizacinėmis ar inžinerinėmis priemonėmis. ES teisėje darbuotojų AAP naudojimą ir darbdavio pareigas reglamentuoja Tarybos direktyva 89/656/EEB, o AAP pateikimą rinkai – Reglamentas (ES) 2016/425. Lietuvoje šias darbdavio pareigas detalizuoja Lietuvos Respublikos darbuotojų saugos ir sveikatos įstatymas bei Darbuotojų aprūpinimo asmeninėmis apsaugos priemonėmis nuostatai. Literatūra rodo, kad AAP naudojimo efektyvumą dažniausiai mažina komforto ir tinkamo prigludimo (angl. *fit*) problemos, laiko spaudimas bei saugos klimatas ir lyderystės stoka (Sehsah et al., 2020; Schwatka et al., 2016). Atsižvelgiant į tai, šiame tyrime analizuojama, kaip AAP infrastruktūra, darbuotojų požiūris ir faktinis priemonių dėvėjimas siejasi su incidentais per pastaruosius 12 mėn.

1. Literatūros apžvalga

Literatūroje asmeninės apsaugos priemonės (AAP) įvardijamos kaip būtina „paskutinė“ apsaugos grandis, taikoma tuomet, kai kolektyvinės apsaugos priemonių nepakanka rizikai pašalinti. AAP naudojimo nuoseklumą lemia ne tik darbuotojo žinios, bet ir organizaciniai veiksniai: priemonių prieinamumas, tinkamas

pritaikymas (angl. *fit*), reguliarūs mokymai ir nuolatinė priežiūra. Teisiniame lygmenyje darbdavio pareigos ir AAP atitiktis grindžiamos Lietuvos Respublikos darbuotojų saugos ir sveikatos įstatymu bei Reglamentu (ES) 2016/425 dėl asmeninių apsaugos priemonių.

Saugos kultūros ir saugos klimato tyrimai patvirtina, kad vien taisyklių nepakanka – esminę įtaką turi vadovų įsipareigojimas, efektyvi komunikacija, kokybiški mokymai ir nuosekli kontrolė. Statybos sektoriuje saugos klimato vertinimas ir jo sąsajos su darbuotojų elgsena apibendrintos sisteminėse apžvalgose (Schwatka ir kt., 2016; Han ir kt., 2021).

Ergonomika ir tinkamas pritaikymas (angl. *fit*) literatūroje įvardijami kaip vieni pagrindinių barjerų, trukdančių naudoti AAP. Jei priemonės varžo judesius, sukelia perkaitimą ar yra netinkamo dydžio, darbuotojai linkę jas nusiimti, dėvėti neteisingai arba rinktis ne tokias saugias alternatyvas, o tai mažina apsaugos efektyvumą. Empiriniai tyrimai rodo, kad komfortas, tinkamas pritaikymas ir priemonių suderinamumas (pvz., akiniai-respiratorius-šalmas) yra dažniausios nenuoseklaus AAP naudojimo priežastys (Sehsah et al., 2020; Schwatka et al., 2016).

Statybos sektorius išlieka viena rizikingiausių ekonominės veiklos rūšių, todėl AAP – šalmai, akių, klausos, kvėpavimo takų apsauga ir kt.) – yra kritinė „paskutinė“ apsaugos grandis, kai kolektyvinių ar inžinerinių priemonių nepakanka rizikai suvaldyti. Naujausi tyrimai rodo, kad

AAP nenaudojimas ar netinkamas jų dėvėjimas dažniausiai yra susijęs ne su pavieniu veiksmu, o su jų deriniu: diskomfortu (perkaitimu), laiko spaudimu, nepakankama kontrole, žinių spragomis ir ribotu priemonių pasirinkimu. Pvz., atliekant konstrukcijų montavimo darbus, AAP nenaudojimo priežastys dažnai sietinos su ergonominiais ir organizaciniais veiksniais (Al-Bayati ir kt., 2023; EU-OSHA, 2023).

Saugos klimatas ir vadovų lyderystė išlieka vieni svarbiausių paaiškinamųjų kintamųjų: kai vadovai rodo pavyzdį, taisyklės taikomos nuosekliai ir darbuotojai gauna grįžtamąjį ryšį – didėja saugos reikalavimų laikymasis ir mažėja sužalojimų rizika. Mokslinių apžvalgų duomenimis, statybose saugos klimatas yra daugiamatis (apimantis vadovų įsipareigojimą, komunikaciją, mokymus, kontrolę bei kolegų normas), o jo rodikliai nuosekliai siejasi su saugos elgsena (Han ir kt., 2021; Schwatka ir kt., 2016).

Ypatingas dėmesys skiriamas AAP pritaikymui (angl. *fit*): priemonės turi būti tinkamo dydžio, tarpusavyje suderinamos ir ergonomiškos, nes priešingu atveju jos tampa papildomu barjeru darbei atlikti. Reikalavimas užtikrinti tinkamą AAP pritaikymą vis dažniau akcentuojamas ir teisiniame lygmenyje: Europos Komisijos gairėse dėl Reglamento (ES) 2016/425 pabrėžiama tinkamumo ir atitikties svarba (EU-OSHA, 2023), o OSHA 2024 m. aiškiai įtvirtino nuostatą, kad statybose AAP turi būti tinkamai parinktos ir pritaikytos kiekvienam darbuotojui (OSHA, 2024).

Kitas aktualus aspektas – karštis ir terminis diskomfortas. Statybos darbai vasarą arba uždaroje patalpoje padidina šiluminę apkrovą, kuri skatina nuovargį, mažina AAP dėvėjimo nuoseklumą ir gali tapti priežastimi jų visai nenaudoti. Apžvalgų duomenys rodo, kad efektyvios priemonės apima darbo ir poilsio režimą, tinkamą hidrataciją, ventiliaciją bei darbuotojų mokymus apie karščio keliamą riziką (Torbat Esfahani ir kt., 2024).

Lietuvos kontekste nelaimingi atsitikimai darbe statybos sektoriuje išlieka reikšminga problema, o Valstybinės darbo inspekcijos (VDI) periodinės ataskaitos kaip dažniausias priežastis akcentuoja netinkamą darbų organizavimą, vidinės kontrolės trūkumą ir saugos taisyklių nesilaikymą (VDI, 2025). Atsižvelgiant į tai, šiame tyrime didžiausias dėmesys telkiamas į AAP infrastruktūros (prieinamumo, tinkamo pritaikymo (*fit*), mokymų), saugos kultūros,

faktinio priemonių dėvėjimo ir barjerų sąsajas su incidentų patirtimi atliekant statybų darbus.

2. Tyrimo objektas

Tyrimo objektas – statybos sektoriaus darbuotojų asmeninių apsaugos priemonių (AAP) naudojimo įpročiai ir jų sąsajos su darbuotojų sauga, įskaitant AAP infrastruktūrą (aprūpinimą, tinkamą pritaikymą (angl. *fit*), pasiekiamumą), saugos klimatą, darbuotojų patiriamus barjerus ir incidentų patirtį per pastaruosius 12 mėnesių.

3. Tyrimo metodika

Atliktas anoniminis skerspjūvio (vienkartinis) tyrimas, taikant anketinę apklausą statybos sektoriaus darbuotojams. Tyrime dalyvavo vienos įmonės (vykdančios pastatų statybos ir įrengimo darbus) darbuotojai. Tai atspindi ir nurodytos tipinės ekspozicijos: darbas šalia judančios technikos ir kėlimo įrangos, užduotys dulketoje aplinkoje ar naudojant chemines medžiagas (pjovimas, šlifavimas), triukšmas bei darbas aukštyje. Dalyvavimas tyrime buvo savanoriškas, asmens identifikavimo duomenys nebuvo renkami, užtikrintas atsakymų konfidencialumas.

Klausimyną sudarė 10 teminių blokų: (1) pareigos/kvalifikacija; (2) darbo stažas; (3) AAP instruktavimai ir mokymai; (4) taisyklių/procedūrų aiškumas; (5) darbo sąlygų ekspozicija; (6) faktinis AAP dėvėjimo dažnis pagal priemones; (7) AAP naudojimo barjerai; (8) saugos klimatas ir AAP valdymas; (9) incidentų patirtis per pastaruosius 12 mėn. ir AAP vaidmuo; (10) pasitikėjimas gebėjimu tinkamai pasirinkti ir naudoti AAP.

Imtis – $n = 101$ respondentų. Incidentų analizei naudotas dichotominis kintamasis (0 – nebuvo incidento; 1 – buvo incidentas), neįtraukiant atsakymų „nežinau/nenoriu atsakyti“ ($n = 17$), todėl barjerų ir incidentų ryšiams vertinti naudota $n = 84$.

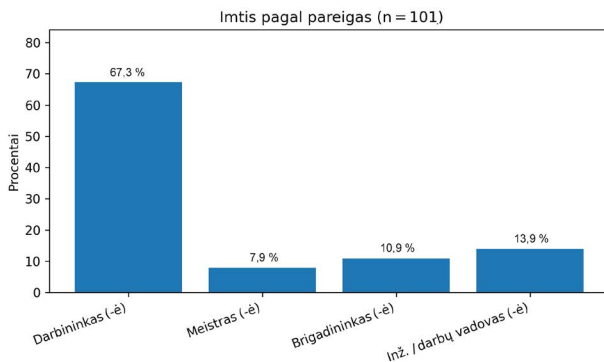
AAP naudojimo barjerai ir saugos klimato teiginiai vertinti 5 balų Likerto skalėje (1 – „visiškai nesutinku“, 5 – „visiškai sutinku“). Siekiant įvertinti ryšius su incidentais, atsakymai į klausimus apie barjerus sugrupuoti į dvi kategorijas: „sutinku“ (4–5) ir „nesutinku/neutralu“ (1–3). Neutralūs atsakymai įtraukti į referencinę grupę, nes jie nepatvirtina aiškaus barjero patyrimo ir gali atspindėti situacinę, nenuoseklią patirtį.

Duomenys analizuoti taikant aprašomąją statistiką (dažniai, procentai) ir apskaičiuojant

procentinių punktų skirtumus ($\Delta p. p.$). Ryšių kryptčiai ir stiprumui įvertinti apskaičiuoti šansų santykiai (angl. *Odds Ratio*, OR) su 95 % pasikliautiniais intervalais. Rezultatai interpretuojami atsargiai dėl saviregistracijos (galimas atminties šališkumas), patogiosios atrankos ir ribotos statistinės galios.

4. Rezultatai

Respondentų pasiskirstymas pagal pareigas pateikiamas 1 pav. Didžiausią dalį sudarė darbininkai (67,3 %), likusią – brigadininkai (10,9 %), meistrai (7,9 %) bei inžinieriai ir darbų vadovai (13,9 %). Pagal darbo stažą respondentai pasiskirstė taip: 37,6 % dirba 10 metų ir ilgiau, 33,7 % – nuo 4 iki 9 metų, 11,9 % – 1–3 metus, o 16,8 % – iki 1 metų. Darbo sąlygų analizė parodė, kad darbuotojai dažniausiai susiduria su šiais rizikos veiksniais: darbu šalia judančios technikos ar kėlimo įrangos (dažnai arba visada – 78,2 %), dulkėta ar chemine aplinka (dažnai arba visada – 65,3 %) bei triukšmu, viršijančiu 85 dB (dažnai arba visada – 55,4 %). Darbas 2 metru ir didesniame aukštyje pasitaiko rečiau (dažnai arba visada – 20,8 %), todėl aukštalipių AAP rodikliai interpretuoti atsižvelgiant į specifinį šių užduočių pobūdį.



1 pav. Respondentų pasiskirstymas pagal pareigas (n=101).

Šaltinis: sudaryta autorių pagal apklausos duomenis.

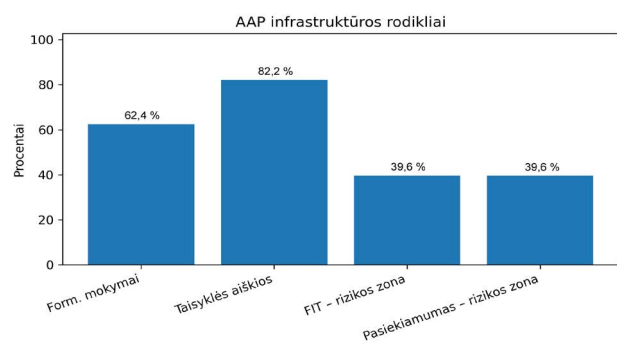
AAP infrastruktūros rodikliai (mokymai, taisyklių aiškumas, tinkamas pritaikymas (angl. *fit*) ir pasiekiamumas) pateikti 2 pav. Tyrimo duomenimis, 62,4 % nurodė gavę formalius AAP mokymus, o 82,2 % teigė, kad taisyklės yra aiškios. Vertinant tinkamo pritaikymo (angl. *fit*) ir pasiekiamumo aspektus, svarbu išskirti atsakymų grupes: su teiginiu „netinkami dydžiai arba prasta kokybė“ sutiko 17,8 % respondentų (4–5), 21,8 % pasirinko neutralų variantą (3), o 60,4 % nesutiko

(1–2). Su pasiekiamumo problemą nurodančiu teiginiu („AAP ne visada pasiekama laiku ar vietoje“) 19,8 % sutiko (4–5), tiek pat (19,8 %) buvo neutralūs (3), o 60,4 % – nesutiko (1–2).

Mokslinėje interpretacijoje neutralus atsakymas nelaikomas vienareikšmiškai neigiamu vertinimu, tačiau jis gali rodyti situacinį neapibrėžtumą (pavyzdžiui, problema iškyla tik atliekant specifines užduotis) arba darbuotojų abejingumą, todėl praktikoje tikslinga stebėti ir šią grupę. Bendras akcentas – didelė dalis darbuotojų įvardija tinkamo pritaikymo ir pasiekiamumo klausimus kaip aktualius, o tai tiesiogiai siejasi su komforto barjeru ir AAP dėvėjimo nuoseklumu.

Vertinant instruktavimo rezultatus, matyti, kad mokymų stoka nėra pagrindinė problema (tik 3,0 % nurodė negavę mokymų), tačiau tinkamas pritaikymas (angl. *fit*) ir pasiekiamumas išlieka prioritetinės tobulinimo sritys. Praktiniu požiūriu tai reiškia: jei priemonė netinka arba jos nėra „čia ir dabar“, net ir esant aiškioms procedūroms bei laiko spaudimui, atsiranda didelė saugos reikalavimų nesilaikymo rizika.

Saugos klimato rodikliai tyrime taip pat vertinami palankiai: 79,2 % respondentų sutinka, kad sauga įmonėje yra aiški vertybė (4–5), 78,2 % teigia, kad vadovai rodo tinkamą pavyzdį, ir 78,2 % – kad taisyklės taikomos nuosekliai (įskaitant rangovus). Vis dėlto skatinimo priemonės naudojamos rečiau – tik 34,7 % sutinka, kad taikomas skatinimas už taisyklingą AAP naudojimą. Tai rodo potencialą stiprinti pozityvų grįžtamąjį ryšį, ypač orientuojantis į tas priemones (AAP), kurios dėvimos rečiausiai (klausos apsauga, respiratoriai).



2 pav. AAP infrastruktūros rodikliai: mokymai, taisyklių aiškumas, fit ir pasiekiamumas.

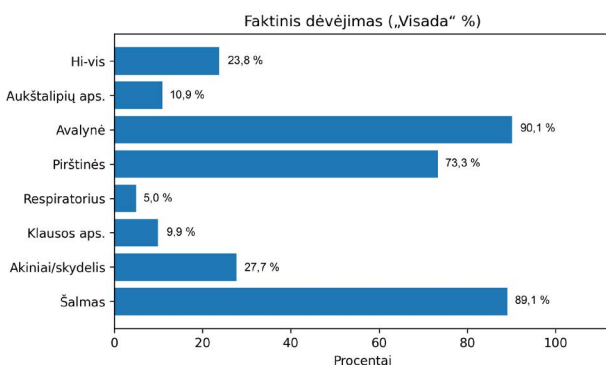
Šaltinis: sudaryta autorių pagal apklausos duomenis.

Faktinis AAP dėvėjimo dažnis pagal atskiras priemones apibendrintas 3 pav. Kategorijoje

„visada“ kategorijoje aukščiausi rodikliai užfiksuoti dėvint šalimą (89,1 %), apsauginę avalynę (90,1 %) ir pirštines (73,3 %). Silpniausios grandys – klausos apsaugos priemonės („visada“ dėvi tik 9,9 %) ir respiratoriai bei kaukės (5,0 %). Apsauginiai akiniai nuolat („visada“) dėvimi 27,7 % atvejų, todėl akių apsauga išlieka reikšminga tobulinimo sritis.

Vertinant ne tik kategoriją „visada“, bet ir jungtinį rodiklį „dažnai arba visada“, išryškėja dar didesni skirtumai tarp priemonių grupių: akių ir veido apsaugos priemonės dėvimos 54,4 % atvejų; didesnio matomumo (angl. *hi-vis*) apranga – 30,7 %; klausos apsauga – 22,8 %; respiratoriai – 12,9 %. Šie duomenys sutampa su respondentų nurodytais barjeriais (komforto trūkumu, priemonių suderinamumu ir pasiekiamumu). Aukštalipių apsaugos priemonių rodikliai (dažnai arba visada – 18,8 %) interpretuoti atsižvelgiant į darbo užduočių specifiką, nes ne visi darbuotojai reguliariai dirba aukštyje.

Incidentų ir barjerų sąsajoms įvertinti analizuoti $n = 84$ respondentų atsakymai (neįtraukiant pasirinkusių atsakymą „nežinau/nenoriu atsakyti“). Bendra incidentų dalis per 12 mėn. sudarė 32,1 %. 4 pav. pateikiama incidentų dalis tarp darbuotojų, kurie „sutinka“ (4–5), kad TOP-3 barjerai jiems yra aktualūs. Pastebėta, kad procentiniai skirtumai tarp grupių yra minimalūs, todėl vien remiantis procentinėmis dalimis vienareikšmiškų išvadų apie priežastinį ryšį daryti negalima. Papildomai apskaičiuoti šansų santykiai (OR) parodė, kad nustatyti ryšiai statistiškai nereikšmingi (95 % PI kerta 1; $p > 0,05$): karštis ir terminis diskomfortas $OR = 1,07$; skubėjimas $OR = 0,95$; netinkamas priemonių pritaikymas (angl. *fit*) $OR = 0,93$. Išvada: šioje tiriamojoje imtyje barjerai patys savaime incidentų neprognozuoja, tačiau jie svarbūs kaip praktinės prevencijos kryptys (tinkamas pritaikymas, pasiekiamumas, komfortas).

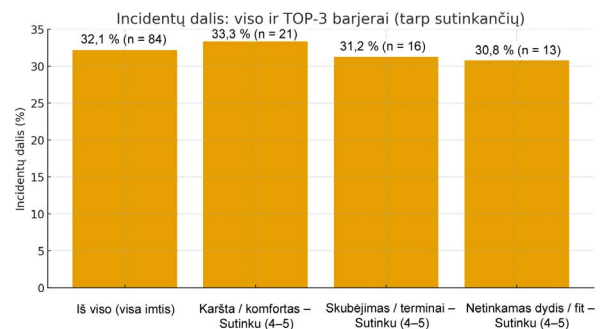


3 pav. Faktinis AAP dėvėjimas: dalis, kuri nurodė „visada“ ($n=101$).

Šaltinis: sudaryta autorių pagal apklausos duomenis.

Analizuojant incidentų patirtį nustatyta, kad 56,4 % respondentų per 12 mėn. su incidentais nesusidūrė, 18,8 % apklaustųjų nurodė, kad AAP padėjo išvengti arba sumažinti sužalojimą, o 7,9 % teigė, kad incidento metu AAP nebuvo naudojamos arba jos nepadėjo. Analizuojant $n = 84$, bent vieną incidentą patyrė 32,1 % respondentų. Lyginant TOP-3 barjerus (karštį ir terminį diskomfortą, skubėjimą ir terminus bei netinkamą priemonių pritaikymą (*fit*)) su incidentų dažnumu, nustatyta, kad pritariančiųjų „sutinku“ (4–5) ir referencinės grupės rodikliai yra labai panašūs, todėl šiame tyrime nėra pakankamo pagrindo teigti, kad išvardyti barjerai didina incidentų riziką.

Rezultatai labiau rodo, kad barjerų šalinimas yra svarbus siekiant AAP dėvėjimo nuoseklumo, tačiau incidentų prevencijai būtinos ir kitos priemonės (darbų organizavimas, priežiūra, rizikų vertinimas). Tai įrodo, kad techniniai AAP sprendimai turi būti derinami su organizacinėmis saugos valdymo priemonėmis.



4 pav. Incidentų dalis: visa grupė ir TOP-3 barjerai (tarp „sutinkančių“, $n=84$).

Šaltinis: sudaryta autorių pagal apklausos duomenis.

Išvados

- Gauti rezultatai patvirtina užsienio tyimuose aprašomas tendencijas: bazinės AAP paprastai naudojamos nuosekliai, tačiau klausos ir kvėpavimo takų apsaugos dažnai nepaisoma dėl diskomforto ir praktinių kliūčių (Sehsah et al., 2020). Šiame tyrime taip pat išryškėjo infrastruktūrinės spragos – apie 40 % respondentų patenka į „rizikos zoną“ dėl tinkamumo ir ergonomikos (angl. *fit and comfort*) bei pasiekiamumo problemų. Tai svarbu, nes net ir esant aiškioms taisyklėms, AAP nenaudojimas dažniausiai prasideda nuo situacijų, kai priemonė yra nepatogi arba nepasiekiamą darbo vietoje.
- Saugos kultūros rodikliai (vadovų pavyzdys, nuoseklus taisyklių taikymas) vertinami

- palankiai – tai dera su mokslinėje literatūroje akcentuojama lyderystės įtaka saugiai darbuotojų elgsenai (Schwatka et al., 2016). Ryšiai tarp barjerų ir incidentų šiame tyrime silpni – tikėtina dėl ribotos imties, incidentų daugiafaktoriškumo ir ekspozicijos skirtumų. Atsižvelgiant į tai, tyrimo rekomendacijos formuluojamos kaip praktinis veiksmų planas, kurio tikslas – mažinti barjerus ir stiprinti nuoseklų AAP dėvėjimą.
3. Barjerų ir incidentų interpretacija. TOP-3 barjerai – karštis ir terminis diskomfortas, skubėjimas bei terminų spaudimas, netinkamas priemonių pritaikymas (angl. *fit*) – šiame tyrime neparodė statistiškai reikšmingų sąsajų su incidentų patirtimi: procentiniai skirtumai tarp grupių buvo minimalūs, o šansų santykio (OR) reikšmės statistiškai nereikšmingos (95 % PI kerta 1). Tai tikėtina susiję su ribota imtimi, incidentų daugiafaktoriškumu ir skirtinga ekspozicija pagal atliekamas užduotis. Vis dėlto šie barjerai išlieka svarbūs praktiniu požiūriu, nes gali lemti AAP nenaudojimą konkrečiose situacijose.
 4. Saugos kultūra ir lyderystė. Dauguma respondentų sutinka, kad sauga įmonėje yra vertybė, vadovai rodo tinkamą pavyzdį, o taisyklės taikomos nuosekliai. Vis dėlto skatinimo priemonės ir kasdienis grįžtamasis ryšys vertinami nevienodai. Tai rodo potencialą stiprinti vadovų „matomą lyderystę“ (priminti, tikrinti, pagirti už teisingą elgesį).
 5. Faktinis dėvėjimas pagal priemones. Bazinės AAP naudojamos nuosekliausiai: šalmas ir apsauginė avalynė dažniausiai dėvimi „visada“, pirštinių mėvėjimo rodikliai taip pat aukšti. Silpniausiai naudojamos priemonės – klausos apsauga („visada“ 9,9 %) bei respiratoriai ar kaukės (5,0 %). Tai galima aiškinti keliais praktiniais veiksniais, minimais ir literatūroje: 1) fizinis diskomfortas (karštis, spaudimas, prakaitavimas), 2) komunikacijos trukdžiai (ypač naudojant klausos apsaugą), 3) suderinamumo problemos (pvz., dėl respiratoriaus rasojančios akiniai, ribotas matomumas), 4) subjektyvus situacijos vertinimas, kai dėl trumpos užduoties trukmės nusprendžiama apsaugos nenaudoti. Šių priemonių naudojimą dažnai pagerina ne papildomos instrukcijos, o patogesni modeliai, individualus pritaikymas (*fit testing*), aiškus „privalomo dėvėjimo“ standartas ir lengvai pasiekiamos atsargos objekte.
 6. AAP infrastruktūros stiprybės ir spragos. Dauguma respondentų nurodo, kad mokymai ir taisyklės yra užtikrinami (apie 62 % – formalūs mokymai; ~82 % – aiškios procedūros). Tačiau dalis darbuotojų identifikuoja praktines spragas: 17,8 % aiškiai nurodo priemonės tinkamumo ar dydžio problemą, o 19,8 % – pasiekiamumo laiku ir vietoje problemą. Penktadalis respondentų pasirinko neutralų atsakymą, kas gali reikšti, jog problema pasireiškia tik atliekant tam tikras užduotis ar tik tam tikromis sąlygomis. Tai patvirtina, kad vien oficialių procedūrų nepakanka – reikia užtikrinti patogų pritaikymą ir priemonių prieinamumą „čia ir dabar“.
 7. Imtis ir kontekstas. Tyrime dalyvavo $n = 101$ statybų sektoriaus darbuotojas; didžioji dalis – darbininkai, o daugiau nei 70 % respondentų turi 4 metų ir didesnę stažą. Tai leidžia patikimai įvertinti realius darbo vietos įpročius ir dažniausiai pasitaikančias rizikas objekte (triukšmą, dulkes, chemines medžiagas, judančią techniką, darbą aukštyje).
 8. Praktinė bendra išvada. Didžiausią teigiamą poveikį saugai statybvietėje turėtų ne papildomų taisyklių kūrimas, o trys konkretūs sprendimai: a) individualus priemonių pritaikymas (*fit testing*) ir alternatyvos (skirtingų dydžių ir tarpusavyje suderinamų AAP komplektų parinkimas), b) pasiekiamumas vietoje (AAP stotelių įrengimas ir operatyvi atsargų kontrolė), c) darbo tempo valdymas ir trumpi instruktažai prieš rizikingas užduotis. Šios priemonės tiesiogiai mažina komforto ir skubėjimo barjerus, kurie pagal apklausą dažniausiai sietini su AAP nenaudojimo atvejais.

Literatūra

Al-Bayati, A. J., Renner, A. T., Listello, M. P., & Mohamed, M. (2023). PPE non-compliance among construction workers: An assessment of contributing factors utilizing fuzzy theory. *Journal of Safety Research*, 85, 242–253. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2023.02.008>

European Agency for Safety and Health at Work. (2023, November 28). Guide to application of Regulation (EU) 2016/425 on personal protective equipment. <https://osha.europa.eu/en/legislation/>

guidelines/guide-application-regulation-eu-2016425-personal-protective-equipment

Han, S., Saba, F., Lee, S., Mohamed, Y., & Peña-Mora, F. (2021). Measuring safety climate in the construction industry: A systematic literature review. *Sustainability*, 13(19), 10603. <https://doi.org/10.3390/su131910603>

Lietuvos Respublikos darbuotojų saugos ir sveikatos įstatymas (IX-1672).

Occupational Safety and Health Administration. (2024, December 11). Personal protective equipment in construction; proper fit. Federal Register. <https://www.federalregister.gov/documents/2024/12/11/2024-28861/personal-protective-equipment-in-construction-proper-fit>

Regulation (EU) 2016/425 of the European Parliament and of the Council of 9 March 2016 on personal protective equipment.

Schwatka, N. V., Hecker, S., & Goldenhar, L. M. (2016). Defining and measuring safety climate:

A review of the construction industry literature. *Annals of Occupational Hygiene*, 60(5), 537-550. <https://doi.org/10.1093/annhyg/mew020>

Sehsah, R., El-Gilany, A. H., & Ibrahim, A. M. (2020). Personal protective equipment (PPE) use and its relation to safety measures at construction sites. *International Journal of Occupational and Environmental Health*, 26(2), 291-298. <https://doi.org/10.1080/10803548.2018.1454632>

Torbat Esfahani, M., Awolusi, I., & Hatipkarasulu, Y. H. (2024). Heat stress prevention measures for construction workers: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 21(12), 1681. <https://doi.org/10.3390/ijerph21121681>

Valstybinė darbo inspekcija. (2025). Informacija apie nelaimingus atsitikimus darbe, įvykusius per 2025 metų I-III ketvirčius (2025-10-01d duomenimis). https://vdi.lrv.lt/public/canonical/1760077802/2558/NA_Ataskaita_2025_3K.pdf

ANALYSIS OF PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT USE HABITS AND THEIR IMPACT ON WORKER SAFETY IN THE CONSTRUCTION SECTOR

MIROSLAV DROZD¹, ANNA GLINSKIENĖ¹

¹*Vilniaus Kolegija | Higher Education Institution, Faculty of Civil Engineering, Department of Civil Engineering, Antakalnio g. 54, Vilnius*

Summary: The study assesses personal protective equipment (PPE) use habits among construction workers and explores which organisational and individual factors may be related to incident prevention. An anonymous cross sectional questionnaire survey was conducted (n = 101) using a 5 point Likert scale. The instrument covered respondents' job roles and work experience; typical exposure conditions (work at height, noise, dust/chemical tasks, and moving vehicles or lifting equipment); and key elements of PPE infrastructure, including training and briefings, clarity of procedures, on site availability, and fit/size. Actual wearing frequency was assessed for major PPE types (e.g., helmet, safety footwear, gloves, eye/face protection, hearing protection, and respiratory protection). In addition, perceived barriers (comfort, mobility, communication, time pressure, and access to alternatives) and safety climate perceptions (leadership example, consistency of rules and feedback) were measured. Incident experience over the previous 12 months and the perceived role of PPE were also recorded. Data were analysed descriptively by calculating percentage distributions and comparing response groups ("agree" 4-5 versus "disagree/neutral" 1-3); where appropriate, percentage point differences and odds ratios were used to explore associations. The study aims to identify priority areas for practical on site improvements and to inform PPE management, targeted training and behaviour based interventions in construction.

Key words: PPE, construction, occupational safety, safety climate, comfort, fit.

ELEKTROMOBILIŲ INFRASTRUKTŪROS PLĖTROS IŠŠŪKIAI IR PERSPEKTYVOS LIETUVOJE

KSENIJA KONIUŠEVA¹, EMILIS SKRIPKIŪNAS¹

¹Vilniaus kolegija, Statybos fakultetas, Verslo ir viešosios vadybos katedra,
Antakalnio g. 54, Vilnius

Anotacija. Straipsnyje nagrinėjami elektromobilių (EV) infrastruktūros plėtros iššūkiai ir galimos tvarios kryptys Lietuvoje, atsižvelgiant į sparčiai augantį elektromobilių skaičių ir viešojo įkrovimo tinklo plėtros tempus. Pastaraisiais metais Lietuva išgyvena intensyvų elektromobilumo pokytį: nuo 2020 m. elektromobilių skaičius išaugo daugiau nei dešimt kartų, tačiau įkrovimo tinklas plečiasi lėčiau ir yra geografiškai netolygus. Tyrimo metu taikyta statistinė duomenų analizė bei mokslinės literatūros apžvalga. Straipsnyje pateikiamas kartografinis vertinimas ir ES šalių palyginimas, siekiant nustatyti, ar dabartinė infrastruktūra atitinka rinkos poreikius. Tyrimo rezultatai atskleidžia, kad lėtojo (AC) įkrovimo infrastruktūra auga sparčiai, tačiau greitojo (DC) įkrovimo tinklas vystosi lėčiau, todėl nesudaromos pakankamos sąlygos tolimojo susisiekimo maršrutams. Regioninis netolygumas, didėjantys elektros tinklo apkrovos iššūkiai ir nepakankamos investicijos rodo, kad infrastruktūros plėtra turi būti spartinama ir vykdoma strategiškai.

Reikšminiai žodžiai: elektromobilių infrastruktūra, įkrovimo stotys, greitojo įkrovimo tinklas, tvarus mobilumas, energetinės apkrovos, regioninė plėtra.

Įvadas

Europos Sąjungos tikslai mažinti transporto sektoriaus poveikį aplinkai paskatino intensyvų perėjimą prie elektromobilių naudojimo. Elektromobiliai išpopuliarėjo dėl mažesnės eksploataavimo sąnaudų, technologinės pažangos, griežtėjančių taršos standartų ir didėjančio visuomenės sąmoningumo aplinkosaugos srityje. Tačiau jų plėtra neatsiejama nuo tinkamai išvystytos įkrovimo infrastruktūros, kuri yra būtina tiek kasdieniam naudojimui mieste, tiek ilgesnėms kelionėms. Lietuvoje elektromobilių skaičiaus augimas ypač spartus: 2020 m. buvo registruota vos kiek daugiau nei tūkstantis elektromobilių, o 2024 m. jų skaičius jau viršijo penkiolika tūkstančių. Toks šuolis kelia klausimą, ar viešoji infrastruktūra gali patikimai aptarnauti augantį transporto priemonių skaičių. Pagrindinė problema – nors įkrovimo tinklo plėtra vyksta sparčiau nei ankstesniais metais, ji vis tiek atsilieka nuo elektromobilių skaičiaus augimo tempo, ypač šalies regionuose.

Šio straipsnio tikslas – įvertinti, ar dabartinė elektromobilių įkrovimo infrastruktūra Lietuvoje atitinka didėjantį poreikį, identifikuoti pagrindinius infrastruktūros plėtros iššūkius ir pateikti rekomendacijas tvariai bei subalansuotai tinklo raidai. Straipsnyje analizuojama viešoji ir pusiau vieša įkrovimo infrastruktūra, vertinamas skirtingų tipų įkrovimo prieigų augimas, geografinis pasiskirstymas ir Lietuvos pozicija Europos Sąjungos kontekste.

1. Literatūros apžvalga

Elektromobilių (EV) infrastruktūros plėtra šiuolaikinėje mokslinėje literatūroje analizuojama kaip kompleksinė ir esminė transporto sektoriaus transformacijos dalis, tiesiogiai susijusi su energetikos, aplinkosaugos ir judumo politikos kryptimis. Tyrėjai sutaria, kad įkrovimo infrastruktūros išvystymas yra vienas pagrindinių veiksnių, lemiančių elektromobilių rinkos plėtrą, vartotojų pasitikėjimą ir technologijos praktinį pritaikomumą. Tarptautinė energetikos agentūra (IEA) pažymi, kad „viešojo įkrovimo poreikis iki 2035 m. gali išaugti net šešis kartus“ (IEA, 2024), todėl tinklo plėtros planavimas turi būti vertinamas kaip ilgalaikė strateginė investicija.

Moksliniai tyrimai pabrėžia, kad infrastruktūros vaidmuo yra tiesiogiai susijęs su vartotojų elgsena ir jų mobilumo poreikiais. S. Hardmanas ir kt. teigia, kad „vartotojų pasirengimas pereiti prie elektromobilių labai priklauso nuo įkrovimo galimybių prieinamumo“ (Hardman et al., 2021). Vartotojų patirtį formuoja ne tik įkrovimo prieigų skaičius, bet ir jų lokacija, pasiekiamumas, įkrovimo sparta bei patikimumas. Y. Chenas ir kt. pažymi, kad „nepakankama įkrovimo infrastruktūra ir ilgas įkrovimo laikas tapo pagrindinėmis problemomis“ (Chen et al., 2024), todėl įkrovimo tinklo kokybė tampa lygiavertė elektromobilių technologiniams parametrams.

Infrastruktūros erdvinio išdėstymo svarbą pabrėžia X. He, teigdamas, kad „viešojo įkrovimo

stotelių erdvinis planavimas turi atitikti realius kelionių paklausos modelius" (He, 2022). Tai reiškia, kad efektyvi infrastruktūra turi būti plėtojama atsižvelgiant ne tik į miesto centrų poreikius, bet ir į tarp miestinių srautų intensyvumą, regionų mobilumo specifiką ir logistikos koridorių struktūrą. M. Thorhauge pažymi, kad „baimė dėl nuvažiuojamo atstumo ilgesnių kelionių metu lemia maršruto ir įkrovimo pasirinkimus" (Thorhauge, 2024), todėl DC greitojo įkrovimo infrastruktūra tampa kertiniu veiksniu šalims, siekiančioms užtikrinti patogų tolimojo susisiekimo mobilumą.

Vartotojų patirtys ir psichologiniai veiksniai taip pat lemia elektromobilių paklausą. G. Capeletti ir kt. nustatė, kad „nerimo lygis dažniausiai didėja mažėjant baterijos įkrovos lygiui" (Capeletti et al., 2024). Tai patvirtina, kad įkrovimo infrastruktūros patikimumas, aiški infrastruktūros struktūra ir technologinis skaidrumas daro tiesioginę įtaką vartotojų pasitikėjimui elektromobiliais.

Europos Sąjungos tyrimuose vis labiau akcentuojamas ne tik įkrovimo prieigų skaičius, bet ir tinklo kokybė bei integracijos su energetikos sistema svarba. Kaip teigiama IEA ataskaitoje: „įkrovimo tinklai turi pereiti nuo paprasto spragų užpildymo prie talpos ir lokacijos optimizavimo" (IEA, 2024). Ši tendencija ypatingai ryški valstybėse, siekiančiose užtikrinti transporto ir elektros energijos sistemų tvarumą. Vis daugiau mokslinių tyrimų analizuoja, kaip įkrovimo stotelių galia ir jų talpa veikia vietinius elektros tinklus, akcentuojant integracijos su atsinaujinančiais energijos ištekliais būtinybę. N. Mansouris ir kt. nurodo, kad „įkrovimo infrastruktūra turi būti integruota su išmaniaisiais tinklais ir vietine atsinaujinančia energija" (Mansouri et al., 2025).

Baltijos regiono kontekste mokslinėje literatūroje vis dažniau akcentuojamos elektromobilumo plėtros disproporcijos. T. Šarapovas ir kt. pažymi, kad Lietuvoje „vis dar išlieka iššūkių dėl įkrovimo infrastruktūros prieinamumo ir padengimo, ypač kaimiškose vietovėse" (Šarapovas et al., 2023). Tai sutampa su oficialiais duomenimis, rodančiais regioninę nelygybę ir fragmentišką tinklo plėtrą.

Vartotojų nuostatos Lietuvoje taip pat stipriai susijusios su infrastruktūros išvystymu. Naujausi tyrimai rodo, kad „įkrovimo infrastruktūra yra vienas svarbiausių veiksnių lietuviams sprendžiant, ar pirkti elektromobilį" (Baltrušaitienė et al., 2024). Tai ypač aktualu atsižvelgiant į Lietuvos elektromobilių parko augimo tempą, kuris viršija viešosios infrastruktūros plėtros greitį.

Apibendrinant galima teigti, kad Lietuvos elektromobilių infrastruktūros plėtra atspindi bendras Europos tendencijas, tačiau išlieka keli kritiniai aspektai: regioninis netolygumas, nepakankamas greitojo įkrovimo stotelių skaičius ir būtinybė integruoti įkrovimo tinklą su energetikos sistemos pajėgumais. Mokslinė literatūra aiškiai pabrėžia, kad infrastruktūros plėtra turi būti ne tik kiekybinė, bet ir kokybinė, orientuota į galios, pasiekiamumo, geografinio balanso ir technologinės integracijos optimizavimą. Šios įžvalgos sudaro pagrindą tolesniems tyrimams ir politiniams sprendimams, nukreiptiems į tvarų elektromobilumo vystymąsi Lietuvoje.

Mokslinėje literatūroje vis dažniau akcentuojama, kad elektromobilių infrastruktūros plėtra turi būti vertinama kaip daugialypis reiškinys, apimantis technologinius, socialinius, infrastruktūrinius ir energetinius aspektus. Naujausi tyrimai rodo, kad EV infrastruktūra yra ne tik techninė sistema, bet ir socialinė-techninė ekosistema, kuriai būdinga vartotojų elgsenos, energetikos sektoriaus ir transporto politikos tarpusavio priklausomybė.

Vienas dažniausiai literatūroje minimų iššūkių yra infrastruktūros patikimumas. Pasak Wu ir kt., „patikimumo problemos yra vienas svarbiausių barjerų, ribojančių EV infrastruktūros efektyvumą" (Wu et al., 2023). Tai ypač aktualu valstybėse, kuriose stotelių tinklas dar tik kuriamas ir nėra pakankamai standartizuotas.

Kita literatūroje intensyviai nagrinėjama sritis – infrastruktūros standartizavimas ir sąveika. S. Alvesas ir kt. teigia, kad „EV infrastruktūra gali funkcionuoti efektyviai tik tada, kai užtikrinama tarpusavio sąveika ir vieningi techniniai standartai" (Alves et al., 2021). Ši problema aktuali ir Lietuvai, kur rinkoje veikia keli skirtingi operatoriai ir jų sistemos ne visuomet suderinamos.

Pastarųjų metų tyrimai vis daugiau dėmesio skiria įkrovimo elgsenos prognozavimui. R. Nairas ir F. Filippis (2022) pabrėžia, kad „vartotojų įkrovimo elgsena yra dinamiška ir priklauso nuo baterijos būklės, maršruto, galios ir tinklo prieinamumo". Tai pagrindžia poreikį planuoti infrastruktūrą remiantis realiais mobilumo duomenimis.

Svarbus literatūros aspektas – energetinės apkrovos valdymas. A. Singhas ir R. Kumaras (2023) pažymi, kad „EV įkrovimo apkrovos gali sukelti reikšmingas įtampos svyravimo problemas vietiniuose tinkluose, jei nėra taikomi išmanieji sprendimai". Todėl plečiant nuolatinės srovės (DC) tinklą būtina diegti išmanųjį galios balansavimą bei energijos kaupimo sistemas.

Atskira tyrimų kryptis nagrinėja EV infrastruktūros ekonominį tvarumą. J. Lopesas ir M. Hoffmannas (2020) teigia, kad „infrastruktūros plėtra tampa ekonomiškai efektyvi tik tada, kai pasiekiamas kritinis elektromobilių skaičiaus lygis“, todėl valstybės parama išlieka būtina ankstyvuojų plėtros etapu.

Socialinė-ekonominė infrastruktūros reikšmė taip pat plačiai analizuojama. S. Hallas ir kt. (2021) pabrėžia, kad „netolygi įkrovimo infrastruktūros plėtra gali didinti socialinę nelygybę ir riboti kaimo regionų mobilumą“. Tai ypač aktualu Baltijos šalims.

AC ir DC elektromobilumo srityje nurodo du skirtingus elektros srovės tipus ir įkrovimo būdus. AC (kintamoji srovė) yra elektra tiekama iš įprasto tinklo, kurią įkraunamas elektromobilis turi paversti į DC, nes baterija energiją gali kaupti tik nuolatinės srovės pavidalu. Šis keitimas vyksta automobilyje, todėl AC įkrovimas yra lėtesnis ir dažniausiai naudojamas kasdieniam krovimui namuose ar darbe. DC įkrovimo atveju srovė į nuolatinę paverčiama pačioje stotelėje, todėl ji tiekama tiesiogiai į bateriją, apeinant vidinį automobilio įkroviklį. Tai leidžia pasiekti kur kas didesnę galią ir krauti bateriją daug sparčiau. Dėl šios priežasties DC technologija naudojama greitojo įkrovimo stotelėse kelionių metu, o AC – kasdieniam, ramesniam elektromobilio naudojimui.

2. Tyrimo metodika

Tyrimas atliktas taikant mišrų metodinį požiūrį, kurį sudaro trys pagrindiniai analitiniai metodai. Pirmiausia taikyta statistinė duomenų analizė, skirta elektromobilių skaičiaus augimo tendencijoms ir įkrovimo infrastruktūros pokyčiams įvertinti. Statistiniai duomenys buvo renkami iš patikimų ir oficialių šaltinių – „Regitra“ pateiktų elektromobilių registracijos duomenų, Europos alternatyviųjų degalų stebėjimo centro (EAFO) informacijos apie viešąsias AC ir DC įkrovimo prieigas, Lietuvos automobilių kelių direkcijos (LAKD) ir Aplinkos projektų valdymo agentūros (APVA) duomenų bazių. Surinkti duomenys leido nustatyti tiek bendrą infrastruktūros augimo tempą, tiek skirtingų įkrovimo tipų pokyčių proporcijas.

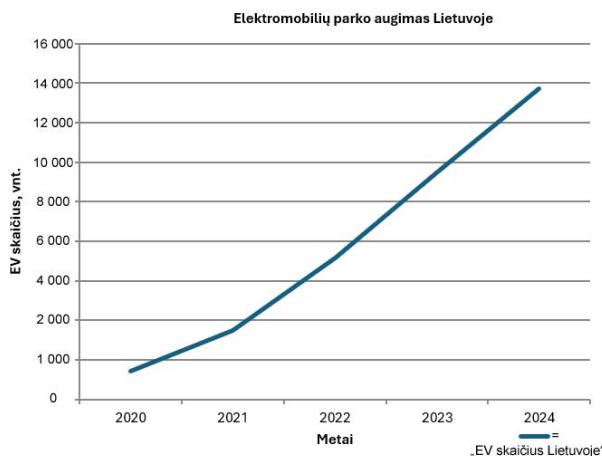
Antruoju žingsniu atlikta empirinė žemėlapių analizė, naudojant *ev.lakd.lt* interaktyviosios platformos duomenis. Buvo analizuojama, kaip įkrovimo prieigos pasiskirsčiusios Lietuvos teritorijoje, kurios vietovės yra geriausiai aprūpintos, okurmatomastinklofragmentiškumas. Regioninio pasiskirstymo vertinimas leido identifikuoti sritis, kuriose infrastruktūros trūksta

labiausiai, bei nustatyti geografinius neatitikimus tarp didmiesčių ir periferinių vietovių.

Trečiasis tyrimo metodas – lyginamoji analizė, kuria siekta nustatyti Lietuvos poziciją Europos Sąjungos kontekste. Duomenys buvo lyginami su Estijos, Vokietijos rodikliais bei ES vidurkiu. Vertintas įkrovimo prieigų skaičius 100 tūkst. gyventojų, DC stotelių dalis bendroje struktūroje ir infrastruktūros plėtros tempas. Lyginamoji analizė leido suprasti, kaip Lietuva išsiskiria iš kitų ES šalių bei kurie plėtros aspektai šiuo metu yra silpniausi.

3. Tyrimo rezultatai

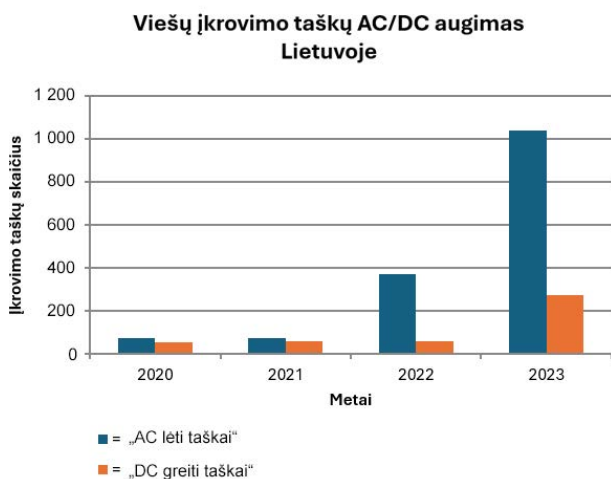
Statistinė duomenų analizė parodė, kad elektromobilių skaičiaus augimas Lietuvoje 2020–2024 m. pasižymėjo itin sparčia dinamika – nuo 1 434 elektromobilių 2020 m. iki 15 700 2024 m. Šis daugiau nei vienuolika kartų padidėjęs skaičius rodo, kad elektromobiliai tapo reikšminga transporto dalimi, o jų populiarumas per pastaruosius metus augo eksponentiškai.



1 pav. Elektromobilių augimas Lietuvoje 2020–2024 m.

Šaltinis: sudarytas autorių.

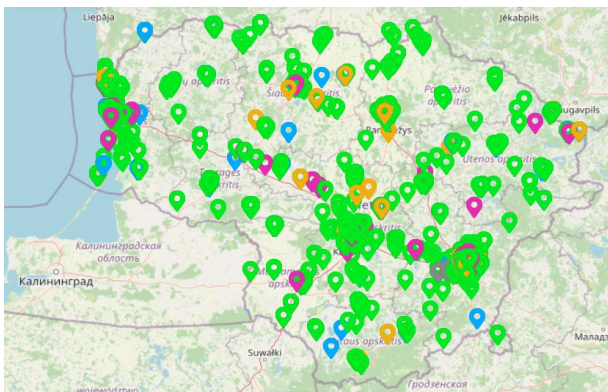
Pirmasis paveikslas rodo ryškų augimo pagreitį nuo 2022 m., kai pradėtos taikyti didesnės subsidijos, o rinkoje atsirado daugiau prieinamų elektromobilių modelių. AC ir DC įkrovimo prieigų dinamika atskleidė, kad AC infrastruktūra plėtėsi sparčiau nei DC. AC prieigų skaičius nuo 70 (2020 m.) iki 1 039 (2023 m.) išaugo daugiau nei dešimt kartų, o DC infrastruktūra augo apie penkis kartus – nuo 53 iki 274 prieigų. Tai rodo, kad lėtojo įkrovimo tinklas plėtojamas intensyviai, tačiau greitojo įkrovimo tinklas vis dar yra pradinėje plėtros stadijoje ir išlieka nepakankamas sklandžiam tolimesnio susisiekimo mobilumui užtikrinti.



2 pav. AC/DC įkrovimo taškų dinamika Lietuvoje
Šaltinis: <https://www.evleidai.lt/viesos-elektromobiliu-ikrovimo-stoteles-lietuvoje>

DC infrastruktūros augimas ypač svarbus, nes didelio galingumo stotelės leidžia elektromobilius įkrauti greitai, o jų trūkumas riboja tolimesnes keliones ir mažina elektromobilių patogumą.

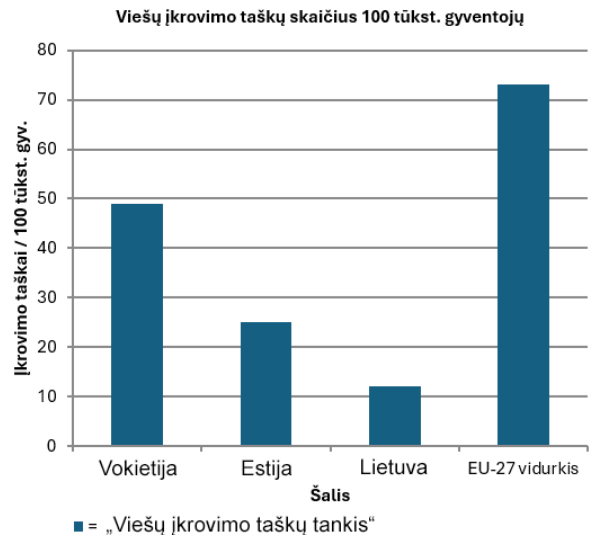
Empirinė žemėlapiu analizė parodė aiškų infrastruktūros pasiskirstymo disbalansą. Vilnius, Kaunas ir Klaipėda turi tankiausią įkrovimo tinklą, o regionai – Šiaurės ir Rytų Lietuva – išlieka prasčiausiai aprūpinti. Magistralėse A1, A2 ir A5 infrastruktūra tanki, tačiau rajono centruose ji fragmentiška.



3 pav. Regioninis paskirstymas
Šaltinis: sudarytas autorių.

Tai patvirtina regioninę nelygybę ir būtinybę kurti subalansuotą plėtros strategiją.

Lyginamoji analizė su ES šalimis parodė, kad Lietuva pagal viešųjų įkrovimo prieigų skaičių, tenkantį 100 tūkst. gyventojų (12) gerokai atsilieka nuo kitų tirtų subjektų. Lietuvos rodiklis yra mažesnis ne tik už Europos Sąjungos vidurkį (73), bet ir nusileidžia Vokietijai (49) bei kaimyninei Estijai (25). Šie duomenys rodo didelį infrastruktūros atotrūkį, kurį būtina mažinti norint pasiekti ES klimato politikos tikslus.



4 pav. Lietuva ES kontekste
Šaltinis: sudarytas autorių.

Tyrimo rezultatai atskleidė, kad Lietuva turi gerą infrastruktūros plėtros potencialą, tačiau reikia daugiau strateginių investicijų, plėtros regionuose ir didesnio dėmesio DC tinklui.

Išvados

1. Elektromobilių skaičiaus augimas Lietuvoje viršija viešosios įkrovimo infrastruktūros plėtros tempus, todėl didėja apkrova esamoms įkrovimo stotelėms, ypač didžiuosiuose miestuose ir pagrindiniuose transporto koridoriuose.
2. Viešajame įkrovimo tinkle dominuoja AC įkrovimo stotelės, kurios dėl mažesnės galios (iki 22 kW) yra tinkamos kasdieniam naudojimui, tačiau neužtikrina efektyvaus tolimojo susisiekimo, nes DC greitojo įkrovimo stelių skaičius ir jų išdėstymas pagrindiniuose keliuose yra nepakankamas.
3. Regionuose įkrovimo infrastruktūra išsidėsčiusi netolygiai: didžioji prieigų dalis koncentruojasi didmiesčiuose, o mažesnėse savivaldybėse ir kaimiškose vietovėse susidaro „baltosios zonos“, kuriose elektromobilių naudojimas tampa ne toks patrauklus.
4. Nuosekliai augantis elektromobilių skaičius ir didėjantis energijos poreikis sukelia papildomą apkrovą elektros skirstomiesiems tinklams, ypač DC greitojo įkrovimo vietose, todėl būtina stiprinti tinklų pralaidumą ir diegti išmaniuosius apkrovos valdymo sprendimus.
5. Įkrovimo infrastruktūros plėtra turi būti grindžiama realiais mobilumo ir eismo srautų duomenimis, prioritetą teikiant pagrindiniams

transporto koridoriams, regionų centrams ir tranzitinėms zonoms, o ne vien stotelių skaičiaus didinimui.

6. Siekiant tvarios elektromobilių infrastruktūros plėtros Lietuvoje, būtina kryptingai didinti DC greitojo įkrovimo stotelių skaičių, užtikrinti jų tolygų išdėstymą regionuose ir suderinti infrastruktūros plėtrą su elektros tinklų modernizavimu.

Literatūra

ACEA. (2023). *European Electric Vehicle Charging Infrastructure Report*. Prieiga per internetą: <https://www.acea.auto>.

Alves, D., Dias, L. and Silva, C. (2021). Interoperability challenges of EV charging infrastructure in Europe. *Energy Policy*, 149. doi: 10.1016/j.enpol.2020.112013.

Aplinkos projektų valdymo agentūra (APVA). (2024). Viešai prieinamų įkrovimo priėgų statistika. Prieiga per internetą: <https://www.apva.lt>.

Baltrušaitienė, A., Jankauskas, R. and Šliogeris, D. (2024). Lithuanian consumer attitudes towards EV adoption and charging infrastructure. *ISM Management Research Series*. Prieiga per internetą: <https://www.ism.lt>.

Capeletti, M., Sørensen, L. and Howarth, J. (2024). Driver stress patterns during EV fast charging: An empirical study. *Journal of Transport Behaviour*, 12(1), 44–59. doi: 10.24545/jtb.2024.12.1.44.

Chen, Y., Li, S. and Wang, X. (2024). Charging infrastructure barriers to EV expansion. *Sustainable Transport Review*, 18(2), 115–130. doi: 10.1016/str.2023.18.2.115.

EAFO. (2023). European Alternative Fuels Observatory – Lithuania Country Data. Prieiga per internetą: <https://www.eafo.eu>.

Hall, D., Lutsey, N. and Nicholas, M. (2021). Equity impacts of EV charging infrastructure distribution. *International Council on Clean Transportation (ICCT)*. Prieiga per internetą: <https://theicct.org>.

Hardman, S., Jenn, A., Tal, G., Axsen, J., Beard, G., Daina, N. et al. (2021). A review of consumer preferences of and interactions with electric vehicle charging infrastructure. *Energy Reports*, 7, 1203–1219. doi: 10.1016/j.egy.2021.01.038.

He, X. (2022). Spatial planning strategies for efficient public EV charging networks. *Transportation Research Part D*, 103, 103–117. doi: 10.1016/j.trd.2021.103236.

International Energy Agency (IEA). (2023). *Global EV Outlook 2023*. Prieiga per internetą: <https://www.iea.org>.

International Energy Agency (IEA). (2024). *Global EV Outlook 2024*. Prieiga per internetą: <https://www.iea.org>.

LAKD – Lietuvos automobilių kelių direkcija. (2024). Viešai prieinamų įkrovimo priėgų informacinė sistema. Prieiga per internetą: <https://ev.lakd.lt>.

Lietuvos energetikos agentūra. (2023). Nacionalinės energetikos strategijos ataskaita. Prieiga per internetą: <https://www.ena.lt>.

Lopes, M. and Hoffmann, C. (2020). Economic viability thresholds for EV charging networks. *Energy Economics*, 89. doi: 10.1016/j.eneco.2020.104801.

Mansouri, R., Feldmann, J. and Olsson, L. (2025). Integration of EV charging with smart grids and local renewable energy. *Journal of Energy Systems Innovation*, 8(2), 55–72. doi: 10.1186/jesi.2025.821.

Mullan, J., Harries, D., Bräunl, T. and Whitely, S. (2021). The technical, economic and commercial viability of the vehicle-to-grid concept. *Energy Policy*, 39(10), 4739–4748. doi: 10.1016/j.enpol.2011.06.013.

Nair, A. and Filippi, M. (2022). Predicting EV user charging behaviour using mobility data analytics. *Transportation Energy Journal*, 27(4), 299–315. doi: 10.1080/tej.2022.27.4.299.

Nicholas, M. and Hall, D. (2020). Lessons learned on early electric vehicle fast-charging deployments. *ICCT White Paper*. Prieiga per internetą: <https://theicct.org>.

Regitra. (2024). Elektrinių transporto priemonių registracijos statistika. Prieiga per internetą: <https://www.regitra.lt>.

Singh, P. and Kumar, D. (2023). EV fast charging and local grid voltage stability challenges. *Electric Power Systems Review*, 41(3), 201–214. doi: 10.1016/epsr.2023.41.3.201.

Susisiekimo ministerija. (2023). Elektromobilių infrastruktūros plėtros gairės 2030. Prieiga per internetą: <https://sumin.lrv.lt>.

Szarka, J., Varga, K. and Molnár, L. (2022). Governance frameworks for national EV charging strategies. *Journal of Clean Mobility Policy*, 5(2), 89–104. doi: 10.1578/jcmp.2022.5.2.89.

Šarapovas, G., Jucys, M. and Rimkus, V. (2023). Challenges of sustainable electromobility development in the Baltic states. *Baltic Transport Journal*, 12(1), 44–57. Prieiga per internetą: <https://btj.lt>.

Transport & Environment (T&E). (2023). Charging forward: EU EV infrastructure readiness report. Prieiga per internetą: <https://www.transportenvironment.org>.

Thorhauge, M. (2024). Range anxiety and charging choices during long-distance EV travel. *Transport Psychology Letters*, 9(1), 15–30. doi: 10.6223/tpl.2024.9.1.15.

Wu, L., Zhang, K. and Fowler, M. (2023). Reliability concerns in public EV charging networks. *Energy Systems Review*, 16(4), 228–245. doi: 10.1016/esr.2023.16.4.228.

CHALLENGES AND PROSPECTS OF ELECTRIC VEHICLE INFRASTRUCTURE DEVELOPMENT IN LITHUANIA

KSENIJA KONIUŠEVA¹, EMILIS SKRIPKIŪNAS¹

¹Vilniaus Kolegija | Higher Education Institution, Faculty of Civil Engineering, Department of Business and Public Management, Antakalnio g. 54, Vilnius

Summary: This article examines the development of electric vehicle (EV) charging infrastructure in Lithuania in the context of rapidly growing EV adoption. Although the number of EVs has increased more than tenfold since 2020, charging infrastructure expansion has been slower and geographically uneven. Statistical data analysis, geospatial mapping and EU-level comparison were used to evaluate the adequacy of the current charging network. The results show that AC charging stations have expanded significantly, while the growth of high-power DC infrastructure remains insufficient. Moreover, regional disparities persist, with major cities having dense networks and rural areas remaining underserved. The study concludes that Lithuania must accelerate strategic charging infrastructure development, prioritise DC charging capacity and reduce regional inequalities to ensure sustainable EV integration.

Key words: electric vehicles, charging infrastructure, sustainable mobility, regional disparity, energy transition.

IŠMANIŪJŲ NAMŲ SISTEMŲ ANALIZĖ

TITAS MIKĖNAS¹

¹Vilniaus kolegija, Statybos fakultetas, Statybos inžinerijos katedra,
Antakalnio g. 54, Vilnius

Anotacija. Straipsnyje analizuojamos išmaniųjų namų valdymo sistemos ir jų taikymas gyvenamųjų pastatų automatizavimo srityje. Tyrimo tikslas – taikant daugiakriterį COPRAS metodą, įvertinti skirtingų išmaniųjų namų sistemų tinkamumą. Tyrime analizuojamos penkios sistemos: „KNX“, „SIMO.io“, „Shelly“, „Tuya“ ir „Loxone“. Vertinimas atliekamas pagal saugumo, patikimumo, efektyvumo, energijos sąnaudų, vartotojų pasitikėjimo ir funkcinių galimybių kriterijus. Kriterijų svoriai nustatyti ekspertinio vertinimo būdu, o sistemos palygintos taikant COPRAS skaičiavimo metodiką. Tyrimo rezultatai parodė, kad aukščiausią naudingumo laipsnį pasiekė „KNX“ sistema.

Reikšminiai žodžiai: išmanieji namai, IoT, COPRAS metodas, pastatų automatizavimas, išmaniųjų sistemų vertinimas.

Įvadas

Tyrimo aktualumas. Išmaniosios gyvenamųjų namų sistemos pastaraisiais metais tapo plačiai taikomu sprendimu, leidžiančiu automatizuoti pastato inžinerinių sistemų – apšvietimo, šildymo, vėdinimo ir apsaugos – valdymą, pasitelkiant daiktų interneto (angl. *Internet of Things*, IoT) ir dirbtinio intelekto sprendimus (Zia et al., 2025, p. 3; Magara & Zhou, 2024, p. 10). Mokslinėje literatūroje šios sistemos dažniausiai analizuojamos fragmentiškai: daugiausia dėmesio skiriama atskiroms technologijoms, pavyzdžiui, energijos vartojimo optimizavimui, duomenų apdorojimui ar automatizavimo algoritmams, tačiau sprendimai retai vertinami kompleksiskai realiame gyvenamojo būsto kontekste (Hatzivasilis et al., 2024, p. 638). Praktikoje gyvenamųjų namų naudotojai ir projektuotojai susiduria su problema, kad rinkoje siūlomos išmaniųjų namų valdymo sistemos reikšmingai skiriasi ne tik technologiniu pagrindu, bet ir saugumo lygiu, patikimumu, energijos vartojimo efektyvumu bei vartotojų pasitikėjimu. Esamuose tyrimuose šie aspektai dažnai nagrinėjami atskirai – technologiniu, teisiniu ar socialiniu požiūriu, todėl praktinis sprendimų priėmimas neretai grindžiamas subjektyvia patirtimi arba gamintojų pateikiama informacija, o ne objektyviu kriterijų palyginimu (Ahmed et al., 2024, p. 4–6).

Mokslinė problema. Mokslinėje literatūroje išlieka nepakankamai ištirta sritis – trūksta daugiakriterių tyrimų, kurie leistų objektyviai palyginti skirtingas išmaniųjų namų valdymo sistemas pagal aiškiai apibrėžtus saugumo,

patikimumo, funkcinių galimybių, energinio efektyvumo ir vartotojų pasitikėjimo kriterijus gyvenamųjų namų kontekste, taikant COPRAS metodą.

Tyrimo tikslas – nustatyti išmaniųjų namų valdymo sistemų prioritetiškumą ir naudingumo laipsnį, atliekant daugiakriterinį vertinimą pagal saugumo, patikimumo, funkcinių galimybių, energinio efektyvumo ir vartotojų pasitikėjimo kriterijus. Tyrimo objektas – išmaniųjų gyvenamųjų namų valdymo sistemos.

Tyrimo metu analizuojama mokslinė literatūra, susijusi su išmaniųjų namų sistemomis ir jų vertinimo metodais, taip pat pagrindžiamas COPRAS metodas tinkamumas nagrinėjamų sistemų vertinimui. Remiantis pasirinktais kriterijais, atliekama išmaniųjų namų valdymo sistemų daugiakriterinė analizė, siekiant nustatyti racionaliausią alternatyvą.

1. Literatūros apžvalga

Mokslinėje literatūroje išmaniosios namų sistemos apibrėžiamos kaip integruotos, daiktų interneto (angl. *Internet of Things*, IoT) pagrindu veikiančios technologijos, automatizuojančios buitines funkcijas (pvz., apšvietimą, šildymą, energijos valdymą), siekiant didesnio energinio efektyvumo ir komforto (Magara & Zhou, 2024; Zia et al., 2025). Tyrimai rodo, kad dirbtinis intelektas ir mašininis mokymasis leidžia sistemoms prisitaikyti prie vartotojų įpročių, tačiau kartu didina priklausomybę nuo duomenų rinkimo ir kelia patikimumo bei privatumo rizikas (Ahmed et al., 2024; Hariharan & Plötz, 2023). Vis dėlto daugelyje mokslinių darbų vyrauja technocentriškas požiūris:

analizuojami algoritmai ir architektūros, tačiau menkai vertinama, kaip šie sprendimai veikia realiomis naudojimo sąlygomis ir kokią įtaką sistemos patikimumui daro vartotojo elgsena (Hatzivasilis et al., 2024).

Saugumas literatūroje traktuojamas kaip vienas kritinių išmaniųjų namų vertinimo kriterijų: riziką didina protokolų nesuderinamumas, silpna autentifikacija ir ribotas šifravimas (Hatzivasilis et al., 2024; Magara & Zhou, 2024). Privatumo tyrimai pabrėžia, kad vartotojai dažnai tiksliai nesupranta, kokie duomenys yra renkami ir kaip jie naudojami, todėl mažėja pasitikėjimas siūlomais sprendimais (Ahmed et al., 2024). Nors pristatomi pažangūs sprendimai, pavyzdžiui, paaiškinamasis dirbtinis intelektas (angl. *Explainable AI*, XAI) ar decentralizuotas duomenų saugojimas, jų taikymas buitinių sistemų kontekste išlieka fragmentiškas, o literatūroje retai vertinami kompromisai tarp saugumo, našumo ir energijos sąnaudų (Magara & Zhou, 2024; Zia et al., 2025).

Teisinis reguliavimas nustato bazinius kibernetinio saugumo ir duomenų apsaugos reikalavimus, tačiau empiriniuose tyrimuose išryškintas atotrūkis tarp normų ir realaus jų įgyvendinimo (Ahmed et al., 2024; Cybersecurity Act, 2019). Socialiniai tyrimai rodo, kad vartotojų elgsena (pvz., silpni slaptažodžiai, atnaujinimų ignoravimas) tiesiogiai mažina sistemų saugumą, net jei technologija yra pažangi (Al Kabir, 2023; Löbner et al., 2024). Vis dėlto šiuose darbuose elgsena dažnai nagrinėjama izoliuotai, neintegruojant jos su technologiniais ir teisiniais veiksniais į vientisą vertinimo modelį (Ahmed et al., 2024).

Apibendrinant galima teigti, kad mokslinėje literatūroje pateikiama vertingų įžvalgų apie technologinius, saugumo, teisinius ir socialinius išmaniųjų namų sistemų aspektus. Atsižvelgiant į identifikuotas problemas, šiame tyrime kriterijų sistema formuojama remiantis patikimumo realiomis naudojimo sąlygomis svarba (Hatzivasilis et al., 2024), privatumo ir pasitikėjimo rizikomis (Ahmed et al., 2024), techninio saugumo spragomis (Magara & Zhou, 2024) bei vartotojų elgsenos įtaka saugumui (Al Kabir, 2023; Löbner et al., 2024). Vis dėlto vis dar vyrauja fragmentiškas vertinimas: kriterijai dažniausiai analizuojami izoliuotai, trūksta tyrimų, kuriuose konkrečios sistemos būtų lyginamos tarpusavyje pagal vieną rodiklių sistemą, įvertinant kompromisus tarp saugumo, našumo ir energijos sąnaudų (Ahmed et al., 2024;

Hatzivasilis et al., 2024; Magara & Zhou, 2024). Siekiant užpildyti šią spragą, darbe taikomas COPRAS metodas, leidžiantis kompleksiskai įvertinti alternatyvas pagal kelis tarpusavyje konkuruojančius kriterijus ir nustatyti sistemų prioritetiškumą.

2. Tyrimo metodika

Tyrimo taikytas COPRAS (angl. *Complex Proportional Assessment*) daugiakriterio vertinimo metodas (Zavadskas et al., 2008), skirtas palyginti alternatyvas pagal tarpusavyje konkuruojančius kriterijus ir nustatyti jų prioritetiškumą. Metodas pasirinktas dėl nuoseklios skaičiavimo eigos ir aiškios rezultatų interpretacijos, todėl jis yra tinkamas inžineriniams sprendimams lyginti, kai vertinami tiek naudos, tiek sąnaudų (minimalizavimo) tipo kriterijai.

Vertinimo tikslas – palyginti išmaniųjų namų valdymo sistemų alternatyvas ir nustatyti racionaliausią sprendimą Lietuvos gyvenamųjų namų automatizavimo kontekste. Analizei atrinktos penkios sistemos: „KNX“, „SIMO.io“, „Shelly“, „Tuya“ ir „Loxone“. Sistemos pasirinktos atsižvelgiant į jų skirtingus technologinius principus, paplitimą Lietuvos gyvenamųjų namų segmente bei praktinį taikymą vietinėje rinkoje, siekiant palyginti tiek profesionalius, tiek į galutinius vartotojus orientuotus sprendimus. Kriterijų reikšmingumas nustatytas ekspertinio vertinimo būdu. Ekspertinį vertinimą atliko trys išmaniųjų inžinerinių sistemų specialistai, turintys praktinės patirties projektuojant, diegiant ir vertinant gyvenamųjų namų išmaniųjų inžinerinių sistemų sprendimus. Ekspertai kriterijų svarbą ir sistemų atitiktį vertino dešimtbalėje skalėje. Vertinimo kriterijų sistema apėmė saugumą, patikimumą, efektyvumą, energijos sąnaudas, vartotojų pasitikėjimą ir funkcines galimybes. Galutiniai kriterijų svoriai apskaičiuoti normalizuojant duomenis taip, kad svorių suma būtų lygi 1. Ekspertų vertinimų statistinė suderinamumo patikra šiame tyrime nebuvo atlikta, todėl tai laikoma metodologiniu ribotumu. Siekiant sumažinti šio ribotumo įtaką, ekspertai vertinimus teikė savarankiškai, o galutinis rezultatas pagrįstas agreguotais įverčiais. Taikant nustatytus svorius, COPRAS metodu sudarytas sistemų reitingas, leidžiantis palyginti alternatyvas ir nustatyti labiausiai subalansuotą išmaniojo namo valdymo sprendimą.

1 etapas. Pradinių duomenų normalizavimas

Kad skirtingų kriterijų reikšmės būtų palyginamos, pradiniai duomenys yra normalizuojami. Kiekvienos alternatyvos i -ojo kriterijaus j reikšmė normalizuojama dalijant ją iš visų alternatyvų to paties kriterijaus reikšmių sumos:

$$\hat{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (1)$$

Čia:

x_{ij} - i -osios alternatyvos j -ojo kriterijaus pradinė reikšmė;

m - alternatyvų skaičius;

\hat{x}_{ij} - normalizuota kriterijaus reikšmė.

2 etapas. Normalizuotų reikšmių svėrimas

Atsižvelgiant į kriterijų svarbą, normalizuotos reikšmės dauginamos iš atitinkamų kriterijų svorių:

$$\tilde{x}_{ij} = \hat{x}_{ij} \cdot w_j \quad (2)$$

Čia:

w_j - j -ojo kriterijaus svoris;

\tilde{x}_{ij} - svorinė normalizuota kriterijaus reikšmė.

3 etapas. Maksimizuojančių kriterijų sumos skaičiavimas (S^+)

Apskaičiuojama kiekvienos alternatyvos maksimizuojamų kriterijų svorinių reikšmių suma:

$$S_i^+ = \sum_{j=1}^n \tilde{x}_{ij}^+ \quad (3)$$

Čia:

S_i^+ - i -osios alternatyvos maksimizuojamų kriterijų suma;

n - kriterijų skaičius;

\tilde{x}_{ij}^+ - maksimizuojamų kriterijų svorinės reikšmės.

4 etapas. Minimizuojančių kriterijų sumos skaičiavimas (S^-)

Apskaičiuojama kiekvienos alternatyvos minimizuojamų kriterijų svorinių reikšmių suma:

$$S_i^- = \sum_{j=1}^n \tilde{x}_{ij}^- \quad (4)$$

Čia:

S_i^- - i -osios alternatyvos minimizuojamų kriterijų suma;

\tilde{x}_{ij}^- - minimizuojamų kriterijų svorinės reikšmės.

5 etapas. Alternatyvų santykinio reikšmingumo nustatymas (Q_i)

Kiekvienos alternatyvos santykinis reikšmingumas apskaičiuojamas pagal formulę:

$$Q_i = S_i^+ + \frac{S_{\min} \cdot \sum_{i=1}^m S_i^-}{S_i^- \cdot \sum_{i=1}^m \frac{S_{\min}}{S_i^-}} \quad (5)$$

Čia:

Q_i - i -osios alternatyvos santykinis reikšmingumas;

S_{\min} - mažiausia minimizuojančių kriterijų suma tarp visų alternatyvų;

m - alternatyvų skaičius.

6 etapas. Naudingumo laipsnio nustatymas (U_i)

Alternatyvų naudingumo laipsnis apskaičiuojamas procentais, lyginant su didžiausia santykinio reikšmingumo reikšme:

$$U_i = \frac{Q_i}{Q_{\max}} \cdot 100\% \quad (6)$$

Čia:

U_i - i -osios alternatyvos naudingumo laipsnis;

Q_{\max} - didžiausia santykinio reikšmingumo reikšmė.

7 etapas. Alternatyvų reitingavimas

Alternatyvų reitingavimas atliekamas remiantis apskaičiuotais naudingumo laipsniais U_i , alternatyvas išrikiuojant mažėjančia tvarka. Alternatyva, turinti didžiausią naudingumo laipsnį, laikoma optimalia pagal pasirinktus vertinimo kriterijus.

3. Tyrimo rezultatai

1 lentelė. Kriterijų svoriai

Šaltinis: sudarytas autoriaus.

Kriterijai	Svoriai
Saugumas	0,2
Patikimumas	0,2
Efektyvumas	0,15
Energijos sąnaudos	0,15
Vartotojų pasitikėjimas	0,2
Galimybės	0,1
Iš viso	1

Kaip parodyta 1 lentelėje didžiausi svoriai (0,20) suteikti saugumo, patikimumo ir vartotojų pasitikėjimo kriterijams, nes šie aspektai laikomi kritiniais renkantis išmaniųjų namų valdymo sistemą gyvenamajame būste: jie tiesiogiai susiję su sistemos stabilumu, duomenų apsauga ir naudotojo pasitikėjimu sprendimu ilgalaikėje eksploatacijoje. Efektyvumo ir energijos sąnaudų kriterijams priskirti vidutiniai svoriai (po 0,15), kadangi jie reikšmingai veikia sistemos ekonominį naudingumą ir eksploatacijos tvarumą, tačiau paprastai nėra svarbesni už saugumo bei patikimumo aspektus. Mažiausias svoris (0,10) suteiktas funkcinių galimybių kriterijui: nors papildomos funkcijos didina patogumą, tačiau jų reikšmė laikoma antrine, palyginti su sistemos sauga, patikimumu ir naudotojų pasitikėjimu. Kriterijų svoriai buvo normalizuoti taip, kad jų suma būtų lygi 1, užtikrinant vienodą visų vertinamų sistemų palyginamumo pagrindą COPRAS metodo skaičiavimuose.

Pradinių duomenų normalizavimo procedūra atliekama siekiant suvienodinti skirtingų kriterijų matavimo skales, taikant anksčiau aprašytą metodiką. Ekspertinio vertinimo metu gauti pradiniai duomenys (balais) pateikiami 2 lentelėje.

2 lentelė. Ekspertinio vertinimo metu gauti pradiniai duomenys

Šaltinis: sudarytas autoriaus.

Sistema / Kriterijai	E1	E2	E3	E4	E5	E6
KNX	9,7	10,0	9,3	8,7	10,0	10,0
SIMO.io	7,7	7,7	8,0	7,3	7,0	7,7
Shelly	7,0	5,7	7,0	6,0	7,3	6,0
TUYA	4,7	4,3	6,3	7,0	5,7	6,3
Loxone	8,7	8,3	9,0	8,0	9,3	9,7

Tyrimo metu penkios išmaniųjų gyvenamųjų namų sistemos („KNX“, „SIMO.io“, „Shelly“, „Tuya“ ir „Loxone“) buvo įvertintos pagal šešis kriterijus: saugumą, patikimumą, efektyvumą, energijos sąnaudas, vartotojų pasitikėjimą ir funkcines galimybes. Pradiniai duomenys gauti ekspertinio vertinimo būdu ir toliau apdoroti taikant COPRAS daugiakriterinį metodą.

Paskutiniame tyrimo etape, atlikus visus COPRAS metodikos skaičiavimus, nustatytas alternatyvų prioritetiškumas. Sistemos suklasifikuotos mažėjančia naudingumo laipsnio tvarka. Galutinis išmaniųjų namų sistemų reitingas pateikiamas 3 lentelėje.

Kiekvienos sistemos naudingumo laipsnis (U_i) apskaičiuotas lyginant jos santykinę reikšmingumą su geriausiai įvertinta alternatyva.

3 lentelė. Išmaniųjų namų sistemų reitingas

Šaltinis: sudarytas autoriaus.

Sistemos	Naudingumo laipsnis (U_i)	Prioritetas
KNX	100 %	1
Loxone	96 %	2
Shelly	92 %	3
SIMO.io	90 %	4
TUYA	76 %	5

4. Diskusija

Tyrimo rezultatai parodė, kad didžiausią naudingumo laipsnį pasiekė „KNX“ sistema ($U_i = 100\%$), antroje vietoje liko „Loxone“ ($U_i = 96\%$), trečioje – „Shelly“ ($U_i = 92\%$), ketvirtoje – „SIMO.io“ ($U_i = 90\%$), o mažiausią įvertinimą gavo „TUYA“ ($U_i = 76\%$). Tokia reitingo struktūra rodo aiškią lyderystę, tačiau taip pat atskleidžia, kad vidurinėje grupėje skirtumai yra nedideli, todėl alternatyvų pozicijos gali kisti priklausomai nuo kriterijų reikšmingumo pokyčių. „KNX“ dominavimą daugiausia lėmė kriterijų svorių sistema, kurioje didžiausia reikšmė suteikta saugumui, patikimumui ir vartotojų pasitikėjimui (po 0,20). Šių kriterijų bendra dalis sudaro 60 % viso vertinimo, todėl sprendiniai, nuosekliai gerai įvertinti šiose srityse, įgyja reikšmingą pranašumą. Toks prioritetų paskirstymas yra pagrįstas inžineriniu požiūriu: gyvenamųjų namų automatizavimo kontekste kritinės sistemos klaidos gali turėti didesnių neigiamų pasekmių nei funkcionalumo ar patogumo trūkumai. „Loxone“ ir „Shelly“ sistemos taip pat pasižymėjo aukštais bendrais įverčiais, tačiau aukšto svorio kriterijuose buvo vertinamos kiek konservatyviau. „TUYA“ pozicija rodo, kad esant dabartiniams prioritetams ši sistema laikoma mažiausiai subalansuota. Gauti rezultatai dera su mokslinėje literatūroje išryškėjusia kryptimi, kad išmaniųjų namų sistemų vertinime vis didesnę reikšmę įgyja kibernetinis saugumas, duomenų apsauga ir pasitikėjimas technologijomis (Magara & Zhou, 2024; Zia et al., 2025). Tyrimai pabrėžia, kad IoT aplinkoje saugumas ir patikimumas sudaro pagrindą visoms kitoms funkcijoms, o standartizuotos ir stabilesnės architektūros dažnai vertinamos palankiau nei fragmentuotos ar silpnai kontroliuojamos platformos (Hatzivasilis

et al., 2024). Vis dėlto rezultatai turi būti vertinami atsižvelgiant į tyrimo metodo ribotumus. Kriterijų svoriai nustatyti ekspertiniu būdu, todėl galimas subjektyvumo poveikis galutiniam reitingui. Keičiantis prioritetams, pavyzdžiui, didesnę svorį suteikiant funkcionalumui ar ekonominiams aspektams, alternatyvų išsidėstymas galėtų kisti. Be to, vertinimas grindžiamas ekspertiniais balais, o ne ilgalaikiais eksploataciniais duomenimis, todėl gauti rezultatai labiau tinka kaip sprendimų priėmimo pagalbinė priemonė ankstyvajame sistemų parinkimo etape. Nepaisant šių tyrimo ribojimų, COPRAS metodas pasitvirtino kaip tinkamas įrankis struktūruotai ir skaidriai palyginti išmaniųjų namų valdymo sistemas. Ateities tyrimuose tikslinga įtraukti kiekybinius eksploatacinius rodiklius, gyvavimo ciklo sąnaudų analizę ir kibernetinio saugumo statistiką, siekiant padidinti vertinimo patikimumą ir sumažinti ekspertinio vertinimo įtaką.

Išvados

Išnagrinėjus mokslinę literatūrą apie išmaniųjų namų sistemas ir jų vertinimą, nustatyta, kad išmaniosios sistemos vertinamos pagal skirtingus kriterijus, tokius kaip saugumas, patikimumas, energijos sąnaudos, efektyvumas, vartotojų pasitikėjimas ir galimybės.

Pagrindus COPRAS daugiakriterinio metodo taikymą išmaniųjų namų sistemų vertinimui, nustatyta, kad šis metodas yra tinkamas objektyviam ir struktūruotam skirtingų sistemų palyginimui.

Atlikus išmaniųjų namų sistemų palyginamąją analizę, nustatyta, kad pirmąją vietą užėmė „KNX“ išmanioji sistema, kurios naudingumo laipsnis siekia 100 %.

Literatūra

Al Kabir, M. A., Elmedany, W., & Sharif, M. S. (2023). *Securing IoT devices against emerging security threats: Challenges and mitigation techniques*. ResearchGate. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.14814.20803>

Ahmed, A. (2024). *Smart home privacy: A scoping review*. SciTePress. <https://doi.org/10.5220/0012255900003645>

European Union. (2019). *Regulation (EU) 2019/881 of the European Parliament and of the Council on ENISA (the European Union Agency for Cybersecurity) and on information and communications technology cybersecurity certification (Cybersecurity Act)*. EUR-Lex. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32019R0881>

Hiremath, S. K., & Plötz, T. (2023). The lifespan of human activity recognition systems for smart homes. *Sensors*, 23(18), 7729. <https://doi.org/10.3390/s23187729>

KNX Association. (2016). *KNX Secure: Position paper*. https://www.knx.org/wcm/groups/public/documents/knx_publication/knx_secure_position_paper.pdf

Lietuvos Respublika. (2014). *Lietuvos Respublikos kibernetinio saugumo įstatymas (IX-2325)*. Teisės aktų registras. <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/f6958c2085dd11e495dc9901227533ee>

Loxone Electronics GmbH. (n. d.). *Loxone Smart Home*. <https://www.loxone.com/>

Löbner, S., Tronnier, F., Miller, L., & Lindemann, J. (2024). An in-depth analysis of security and privacy concerns in smart home IoT devices through expert user interviews. University of Hamburg. https://svs.informatik.uni-hamburg.de/publications/2024/WISE2024_LoebnerTronnierMillerLindemann_SnP_Concerns_in_IoT.pdf

Magara, T., & Zhou, Y. (2024). Internet of Things (IoT) of smart homes: Privacy and security. *Journal of Electrical and Computer Engineering*, 2024, Article 7716956. <https://doi.org/10.1155/2024/7716956>

Shelly. (n. d.). *Shelly knowledge base*. <https://kb.shelly.cloud/>

SIMO.io. (n. d.). *SIMO.io documentation*. <https://simo.io/wiki/>

Tuya Smart. (2021). *Tuya Smart white paper: Information security and privacy*. <https://images.tuyacn.com/smart/docs/TuyaSmart-WhitePaper-Intl.pdf>

Vardakis, G., Hatzivasilis, G., Koutsaki, E., & Papadakis, N. (2024). Review of smart-home security using the Internet of Things. *Electronics*, 13(16), 3343. <https://doi.org/10.3390/electronics13163343>

Yuan, B., Wan, J., Wu, Y. H., & Zhang, Y. (2023). On the security of smart home systems: A survey. *Journal of Computer Science and Technology*, 38(2), 228–247. <https://doi.org/10.1007/s11390-023-2488-3>

Zavadskas, E. K., Kaklauskas, A., Turskis, Z., & Tamošaitienė, J. (2008). Selection of the effective dwelling house walls by applying attributes values determined at intervals. *Journal of Civil Engineering and Management*, 14(2), 85–93. <https://doi.org/10.3846/1392-3730.2008.14.3>

Zia, F., Siddiqua, M., Ouameur, M. A., Bagaa, M., & Al-Turjman, F. (2025). *Securing the future: A survey on smart home security in IoT-integrated smart cities*. ResearchGate. <https://www.researchgate.net/publication/390175068>

ANALYSIS OF SMART HOME SYSTEMS

TITAS MIKĖNAS¹

¹*Vilniaus Kolegija | Higher Education Institution, Faculty of Civil Engineering,
Department of Civil Engineering, Antakalnio g. 54, Vilnius*

Summary: This article analyses the application and evaluation of smart home systems used in modern residential buildings. Rapid development of Internet of Things (IoT) technologies has significantly increased the possibilities of integrating automation solutions into everyday household management. Smart home systems allow users to control lighting, heating, security, and other engineering systems remotely, improving both energy efficiency and living comfort. However, the wide range of available solutions makes it difficult to determine which system is the most suitable for practical implementation. The aim of this research is to analyse and compare several smart home management systems using a multi-criteria evaluation method. The study focuses on five commonly used smart home platforms: KNX, SIMO.io, Shelly, Tuya and Loxone. In order to objectively assess these systems, several evaluation criteria were selected, including security, reliability, efficiency, energy consumption, user trust and functional capabilities. The research methodology is based on the COPRAS (Complex Proportional Assessment) method, which is widely used for multi-criteria decision making. Expert evaluation was applied to determine the relative importance of each criterion. After calculating the normalized decision matrix and applying the COPRAS method, the alternatives were ranked according to their utility degree. The results of the analysis indicate that the KNX system achieved the highest utility value and demonstrated the best balance between security, reliability and functional capabilities. The research results may help engineers, designers and users make more informed decisions when selecting smart home systems and demonstrate the practical application of multi-criteria evaluation methods in engineering decision making.

Key words: smart home systems, IoT technologies, building automation, COPRAS method, multi-criteria analysis.

TVARIŲ IR TRADICINIŲ TERMOIZOLIACINIŲ MEDŽIAGŲ PASIRINKIMO ANALIZĖ BEI VERTINIMAS NAUJAI STATOMO PASTATO ENERGINIAM NAUDINGUMUI UŽTIKRINTI

UGNĖ MEDZIKAUSKAITĖ¹

¹Vilniaus kolegija, Statybos fakultetas, Statybos inžinerijos katedra, Antakalnio g. 54, Vilnius

Anotacija. Straipsnyje atliekamas keturių tvarių ir dviejų tradicinių termoizoliacinių medžiagų – celiuliozės vatos, kanapių pluošto, avies vilnos, medžio plaušo, akmens vatos ir neoporo (EPS) – vertinimas, pasitelkiant COPRAS (Complex Proportional Assessment) daugiakriterinę analizę. Pirmiausia apžvelgiamos šių medžiagų savybės: šilumos laidumas, atsparumas ugniai, garų laidumas, gamybos energijos sąnaudos, anglies dioksido pėdsakas, tarnavimo trukmė, perdirbamumas, poveikis aplinkai, kaina ir estetinė išvaizda. COPRAS metodas leidžia įvertinti alternatyvas pagal kelis skirtingo svarumo kriterijus ir nustatyti optimalų sprendimą. Analizės metu kiekvienai medžiagai priskiriamas santykinis naudingumo laipsnis, padedantis nustatyti prioritetinį pasirinkimą. Tyrimo rezultatai atskleidžia, kuri medžiaga efektyviausiai prisideda prie naujai statomo pastato energinio efektyvumo užtikrinimo ir kartu atitinka šiuolaikinius tvarumo ir funkcionalumo reikalavimus. Gauti rezultatai sudaro aiškų metodinį pagrindą renkantis tvarius ir energiška efektyvius termoizoliacinius sprendimus naujai statomiems pastatams.

Reikšminiai žodžiai: tvarios ir tradicinės termoizoliacinės medžiagos, energinis efektyvumas, daugiakriterinė analizė, Copras metodas, medžiagų vertinimas.

Įvadas

Straipsnyje nagrinėjamas tvarių ir tradicinių termoizoliacinių medžiagų – celiuliozės vatos, kanapių pluošto, avies vilnos, medžio plaušo, akmens vatos, neoporo (EPS) – vertinimas, pasitelkiant daugiakriterinės analizės COPRAS metodą. Pastatų energinis efektyvumas yra vienas svarbiausių tvarios plėtros ir klimato kaitos švelninimo aspektų tiek Lietuvoje, tiek visoje Europos Sąjungoje. Vadovaujantis Europos žaliojo kurso (angl. *European Green Deal*) nuostatomis, iki 2050 m. siekiama užtikrinti poveikio klimatui neutralumą, o energijos vartojimo mažinimas pastatuose yra vienas pagrindinių šio tikslo įgyvendinimo būdų. Tai skatina diegti pažangias energiją taupančias technologijas, didinti atsinaujinančių energijos šaltinių dalį ir taikyti griežtesnius energinio naudingumo standartus naujiems pastatams. Lietuvoje pastatų energinio naudingumo reikalavimai reglamentuojami Statybos techniniame reglamente STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“, kuriame nustatyta, kad nuo 2021 m. visi naujai statomi pastatai privalo atitikti A++ energinio naudingumo klasę.

Tyrimo objektas – tvarios ir tradicinės termoizoliacinės medžiagos.

Tyrimo tikslas – įvertinti tvarių termoizoliacinių medžiagų potencialą užtikrinti pastatų energinį naudingumą, lyginant jas su šiuo metu projektuose

plačiai taikomomis tradicinėmis termoizoliacinėmis medžiagomis, tokiomis kaip akmens vata ir putplastis, atsižvelgiant į aplinkosauginius ir ekonominius kriterijus. Vertinimas atliekamas taikant COPRAS metodą.

Tyrimo metu apžvelgiami A++ energinio naudingumo klasės reikalavimai pagal STR 2.01.02:2016 ir analizuojama jų reikšmė pastatų energiniam efektyvumui. Taip pat nagrinėjamos tvarių ir tradicinių termoizoliacinių medžiagų techninės, ekonominės ir aplinkosauginės savybės. Remiantis pasirinktų kriterijų sistema, atliekama šių medžiagų daugiakriterinė analizė, leidžianti įvertinti jų efektyvumą ir nustatyti racionaliausią sprendinį A++ energinio naudingumo klasės pastatams.

Tyrime taikomi šie metodai: mokslinės literatūros analizė, skirta tvarių ir tradicinių termoizoliacinių medžiagų savybių bei taikymo galimybių nagrinėjimui; ekspertų apklausa, naudojama vertinimo kriterijų reikšmingumui nustatyti; bei daugiakriterinės analizės metodas COPRAS, taikomas alternatyvų palyginimui ir optimalaus sprendinio parinkimui.

1. Tvarių termoizoliacinių medžiagų analizė

Nuo 2021 m. Lietuvoje įsigaliojęs reikalavimas įpareigoja užtikrinti, kad naujai statomi pastatai atitiktų A++ energinio naudingumo klasę. Energinio naudingumo reikalavimus visų

paskirčių pastatams Lietuvoje reglamentuoja Statybos įstatymas, o jų vertinimo tvarką nustato Statybos techninis reglamentas STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“.

Remiantis reglamentu, A++ klasės pastatai – tai beveik energijos nevarojantys objektai (labai aukšto energinio naudingumo pastatai, kuriuose energijos sąnaudos yra minimalios arba beveik lygios nuliui). Vienas pagrindinių reikalavimų tokiam pastatui – tinkama sienų, grindų ir stogo izoliacija, užtikrinanti mažus šilumos nuostolius per namo išorę. Tai gali būti pasiekama naudojant aukštos kokybės termoizoliacines medžiagas (STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“).

Tvari termoizoliacinė medžiaga – tai izoliacijai skirta priemonė, kuri ne tik efektyviai sulaiko šilumą, bet ir daro minimalų poveikį aplinkai. Tokios medžiagos gaminamos iš atsinaujinančiųjų išteklių arba perdirbtų žaliavų, joms būdingas mažos energijos sąnaudos gamybos metu ir nedidelis išskiriamo CO₂ kiekis. Be to, tvari termoizoliacija paprastai yra ilgaamžė, perdirbama ir neturi kenksmingų cheminių priedų, todėl yra saugesnė tiek žmogui, tiek aplinkai (Termex, 2024). Pastaruoju metu statybų sektoriuje vis labiau vertinamos ekologiškos termoizoliacinės medžiagos, tokios kaip celiuliozė, augaliniai pluoštai ar avių vilna. Šių medžiagų populiarumą lemia jų tvarumas ir minimalus poveikis aplinkai. Kadangi šios medžiagos gaminamos iš atsinaujinančiųjų išteklių, jų anglies pėdsakas yra gerokai mažesnis nei sintetinių alternatyvų. Be to, tokia termoizoliacija pasižymi puikiomis šiluminėmis savybėmis, kurios didina pastatų energinį naudingumą ir padeda sumažinti šildymo bei vėsinimo sąnaudas. (Hult, et al., 2022).

Kanapių pluoštas

Kanapių pluoštas – tai natūrali ir ekologiška termoizoliacinė medžiaga, kuri pastaraisiais metais vis dažniau taikoma statybų sektoriuje pastatų energiniam naudingumui didinti. Ši žaliava auga sparčiai, jai kultivuoti nereikia didelio kiekio pesticidų ar trąšų, todėl kanapių pluoštas laikomas viena iš tvariausių ir aplinkai draugiškiausių statybinių medžiagų. Kanapių pluoštas pasižymi puikiomis šiluminėmis savybėmis ir gali būti naudojamas tiek kaip pagrindinė termoizoliacija, tiek kaip papildomas konstrukcinių elementų komponentas. Dėl savo tvarumo ir ilgaamžiškumo ši medžiaga vis dažniau įtraukiama į inovatyvias gamybos technologijas,

ypač orientuojantis į vietinių natūralių pluoštų panaudojimą (Filazi et al., 2025).

Natūralus kanapių pluoštas pasižymi išskirtinėmis termoizoliacinėmis savybėmis: jo struktūra leidžia gerai cirkuliuoti orui ir gerokai sumažina šilumos nuostolius. Be to, ši medžiaga aktyviai prisideda prie patalpos vidaus klimato reguliavimo, nes geba absorbuoti ir išskirti drėgmę, taip palaikydama optimalų jos lygį patalpose. Kanapėms auginti nereikia daug vandens ar chemikalų (pavyzdžiui, pesticidų), todėl tai yra ekologiškas sprendimas. Kanapių pluošto šilumos laidumo koeficientas paprastai svyruoja nuo 0,055 iki 0,065 W/(m·K).

Kanapių pluoštas gali būti montuojamas tiek vidinėse, tiek išorinėse konstrukcijose; jis tiekiamas plokštėmis, ritinėliais ar granuliu forma, todėl tinka sienoms, stogams bei kitoms pastato dalims izoliuoti. Medžiagos degumo klasė dažniausiai atitinka E klasės reikalavimus. Kadangi šis sprendimas dar nėra toks plačiai paplitęs kaip tradicinės termoizoliacinės medžiagos, jo kaina gali būti šiek tiek didesnė (Fiedler et al., 2025).

Medžio plaušas

Medžio plaušo termoizoliacija tampa vis populiarenesnė dėl puikių šilumos ir garso izoliacijos savybių bei tvarumo. Medžio plaušas naudojamas ne tik pastatams šiltinti, bet ir kaip kompozitinė statybinė medžiaga. Dėl savo struktūros ši medžiaga tinkamai užtikrina efektyvią izoliaciją, todėl dažnai taikoma medinių konstrukcijų pastatuose. Standartinis šilumos laidumo koeficiento („λ“) vertės rodiklis yra maždaug 0,038 W/(m·K) (Ziemele et al., 2025).

Dideli medžio plaušo privalumai – tvirtumas ir ilgaamžiškumas. Be to, ši medžiaga pasižymi geru difuziniu laidumu, todėl leidžia garams judėti; dėl šios savybės sudrėkusi izoliacija išdžiūsta ir atgauna pradinės charakteristikas. Kadangi medžio plaušas yra natūralus, dirbant su medžio plaušo termoizoliacija dažnai nereikia specialių asmens apsaugos priemonių. Medžio plaušas yra visiškai biologiškai skaidus, todėl pasibaigus eksploatacijai gali būti perdirbamas arba natūraliai suirti aplinkoje nedarydamas žalos ekosistemoms. Dėl šių savybių ši medžiaga padeda mažinti aplinkos taršą, taupo energiją ir atitinka tvarios statybos principus. (Ziemele et al., 2025).

Avių vilna

Avių vilna – tai natūrali termoizoliacinė medžiaga, vis dažniau pasirenkama dėl savo

tvarumo, ekologiškumo ir efektyvių šiluminių savybių. Ji naudojama gyvenamųjų, komercinių bei pramoninių pastatų termoizoliacijai, akustiniam komfortui užtikrinti ir drėgmės lygiui patalpose reguliuoti. Dėl savo struktūros avių vilna efektyviai sulaiko šilumą: jos pluoštuose esantys gausūs oro tarpai veikia kaip natūralūs izoliatoriai. Tai padeda palaikyti pastovią pastatų vidaus temperatūrą bei sumažinti energijos poreikį šildymui ir vėsinimui. Moksliniais tyrimais nustatyta, kad avių vilnos pagrindu pagamintų medžiagų šilumos laidumo koeficientas paprastai svyruoja nuo 0,032 iki 0,043 W/m·K (Rossi et al., 2023). Ši medžiaga puikiai tinka tiek šaltam, tiek šiltam klimatui: žiemą ji sulaiko šilumą, o vasarą padeda vėsinti patalpas. Be to, avių vilna sugeria drėgmę ir ją palaipsniui išskiria, todėl užtikrina komfortišką patalpų mikroklimatą bei mažina pelėsių ir bakterijų atsiradimo riziką. Avių vilna yra natūrali, biologiškai skaidi ir perdurbama medžiaga. Jos gamybai nereikia gausių cheminių junginių, o pati medžiaga yra draugiška aplinkai. Dėl šių savybių ji tampa patrauklia alternatyva tradicinėms termoizoliacinėms medžiagoms, tokioms kaip stiklo vata ar putų polistirenas. Be to, literatūros apžvalgose minima, kad vilnos šilumos laidumo koeficientas, siekiantis apie 0,04 W/m·K, yra labai artimas įprastoms termoizoliacinėms medžiagoms (Zhang et al., 2022).

Celiuliozinė vata

Celiuliozės vatos, gaminamos iš perdirbtų popieriaus atliekų, technologija buvo sukurta ir patentuota Anglijoje 1893 metais. Pirmasis šios vatos gamybos cechas buvo pastatytas Vokietijoje 1928 metais. Nuo 1947 metų celiuliozės vata pradėta gaminti JAV, o nuo 1970-ųjų – kitose Europos šalyse (išskyrus buvusią Sovietų Sąjungą). Skirtingose šalyse ši medžiaga žinoma įvairiais pavadinimais, pavyzdžiui, *Ecowool*, *Ekovilla*, *Thermex*, *Isofloc* ar *Thermofloc*. Lietuvoje ši medžiaga dažniausiai vadinama ekovata, o jos gamyba šalyje prasidėjo 1993 metais. (Gailius ir Vėjelis, 2010).

Priklausomai nuo numatytos paskirties, ekovatos tankis svyruoja nuo 25 iki 65 kg/m³. Vatos struktūroje esantis oras sudaro iki 85 % medžiagos tūrio, todėl ji efektyviai sulaiko šilumą. Deklaruojamas šilumos laidumo koeficientas yra 0,036–0,046 W/(m·K). Tai rodo, kad celiuliozės pagrindu pagamintos medžiagos, panašiai kaip medvilnė, pasižymi mažu šilumos laidumu ir geromis termoizoliacinėmis savybėmis.

2. Tradicinių termoizoliacinių medžiagų analizė

Termoizoliacinės medžiagos yra vienas svarbiausių statybos elementų, lemiančių pastato energinį naudingumą, mikroklimatą ir eksploataavimo išlaidas. Jos naudojamos siekiant sumažinti šilumos nuostolius per atitvaras, užtikrinti komfortišką vidaus aplinką ir sumažinti energijos poreikį šildymui bei vėsinimui. Taip termoizoliacinės medžiagos tiesiogiai prisideda prie darnaus vystymosi, nes mažina šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisiją, susijusią su energijos vartojimu pastatuose (Sadineni, et al., 2022). Prie tradicinių termoizoliacinių medžiagų priskiriama mineralinė vata (akmens ir stiklo), polistireninis putplastis (EPS – atvirosios ir XPS – uždarnosios porų struktūros polistirenas). Šios medžiagos skiriasi kilme ir fizikinėmis savybėmis, tačiau visas jas vienija bendras tikslas – mažinti šilumos perdavimo intensyvumą. Tarp tradicinių medžiagų plačiausiai naudojama akmens vata, gaminama aukštoje temperatūroje lydant bazalto, dolomito ar kitų uolienu mišinį. Ši medžiaga išsiskiria puikiu atsparumu ugniai, gera garso izoliacija ir stabilumu per visą eksploataavimo laikotarpį. Kita itin paplitusi grupė – polistireniniai putplasčiai (EPS ir XPS). Jie gaminami iš naftos produktų, pasižymi mažu tankiu ir gera šilumos izoliacija. XPS struktūra yra uždaresnė, todėl ši medžiaga yra atsparesnė drėgmei ir mechaniškai tvirtesnė, o EPS – lengvesnis ir pigesnis (Ali, 2024).

Akmens vata

Akmens vata (dar vadinama bazaltine vata) – tai plačiai naudojama neorganinė termoizoliacinė medžiaga, gaminama lydant natūralius mineralus (bazaltą, dolomitą ar diabazą). Gautas lydiny pavertamas pluoštu ir sutvirtinamas specialiais rišikliais. Ši medžiaga priklauso mineralinių vatų grupei ir yra viena pagrindinių tradicinių termoizoliacijos priemonių statyboje. Dėl pluoštinės struktūros ir oro tarpų akmens vata pasižymi itin geromis šiluminėmis ir akustinėmis savybėmis (Eurima, 2023).

Vienas svarbiausių akmens vatos privalumų – didelė šiluminė varža. Medžiagos šilumos laidumo koeficientas (λ) paprastai svyruoja nuo 0,035 iki 0,045 W/m·K, priklausomai nuo gaminio tankio ir struktūros. Tai leidžia efektyviai mažinti šilumos nuostolius ir pasiekti aukštą pastatų energinio naudingumo klasę. Akmens vata plačiai taikoma išorinių sienų, stogų, perdangų bei pertvarų

izoliacijai. Be to, ji pasižymi aukštu atsparumu ugniai (priklauso A1 degumo klasei), todėl nedega ir netirpsta net esant labai aukštai temperatūrai (Flury ir Frischknecht, 2012).

Vis dėlto akmens vatos perdirbimo išlieka sudėtingas. Nors teoriškai šią medžiagą perdirbti įmanoma, praktiškai tai atliekama ribotai: surinkimo, rūšiavimo ir grąžinimo į gamybos procesą kaštai dažnai yra didesni nei naujos žaliavos gamybos išlaidos.

EPS/XPS putplastis

Polistireninis putplastis – viena populiariausių tradicinių termoizoliacinių medžiagų, statybų sektoriuje vertinama dėl gero šiluminio efektyvumo, mažo svorio ir santykinai nedidelės kainos. Pagrindinės jo rūšys yra išplėstinis polistirenas (EPS) ir ekstruzinis polistirenas (XPS). Abi šios medžiagos gaminamos iš tų pačių polistireno granulių, tačiau skiriasi jų gamybos technologija: EPS gaminamas termiškai pučiant granules garais, o XPS – ekstruzijos būdu, suformuojant visiškai uždarą porų struktūrą (Seyis et al., 2024).

Pagrindinis EPS ir XPS putplasčių privalumas yra didelė šiluminė varža. Šių medžiagų šilumos laidumo koeficientas (λ) svyruoja nuo 0,030 iki 0,045 W/m·K, priklausomai nuo tankio ir struktūros. Tai leidžia pasiekti aukštą energinio naudingumo klasę net ir naudojant santykinai ploną izoliacijos sluoksnį. Dėl uždaros porų struktūros XPS pasižymi ypač geru atsparumu drėgmei ir dažniausiai naudojamas konstrukcijose, kur reikalinga hidroizoliacinė apsauga – pamatų, cokolio ar atvirų stogo dalių termoizoliacijai (Ali, 2024).

Nepaisant šiluminio efektyvumo, EPS ir XPS turi ir nemažai aplinkosauginių trūkumų, susijusių su energijos sąnaudomis gamybai, CO₂ pėdsaku bei ribotu perdirbamumu. Kadangi šios medžiagos gaminamos iš naftos kilmės žaliavų (polistireno), jų gamybos procesas yra priklausomas nuo iškastinio kuro. Tai didina pirminės energijos suvartojimą ir CO₂ emisiją (Füchsl et al., 2022).



1 pav. Kanapių pluoštas

2 pav. Medžio plaušas

Šaltinis: sudarytas autoriaus.



3 pav. Avies vilna

4 pav. Celiuliozinė vata

Šaltinis: sudarytas autoriaus.



5 pav. Akmens vata

6 pav. EPS/XPS putplastis

Šaltinis: sudarytas autoriaus.

Tyrimė taikytas COPRAS (angl. *Complex Proportional Assessment*) daugiakriterio vertinimo metodas (Zavadskas et al., 2008), skirtas palyginti alternatyvas pagal tarpusavyje konkuruojančius kriterijus ir nustatyti jų prioritetiškumą. Metodas pasirinktas dėl nuoseklos skaičiavimo eigos ir aiškios rezultatų interpretacijos, todėl jis yra tinkamas inžineriniams sprendimams lyginti, kai vertinami tiek naudos, tiek sąnaudų (minimalizavimo) tipo kriterijai.

Vertinimo tikslas – palyginti išmaniųjų namų valdymo sistemų alternatyvas ir nustatyti racionaliausią sprendimą Lietuvos gyvenamųjų namų automatizavimo kontekste. Analizei atrinktos penkios sistemos: „KNX“, „SIMO.io“, „Shelly“, „Tuya“ ir „Loxone“. Sistemos pasirinktos atsižvelgiant į jų skirtingus technologinius principus, paplitimą Lietuvos gyvenamųjų namų segmente bei praktinį taikymą vietinėje rinkoje, siekiant palyginti tiek profesionalius, tiek į galutinius vartotojus orientuotus sprendimus. Kriterijų reikšmingumas nustatytas ekspertinio vertinimo būdu. Ekspertinį vertinimą atliko trys išmaniųjų inžinerinių sistemų specialistai, turintys praktinės patirties projektuojant, diegiant ir vertinant gyvenamųjų namų išmaniųjų inžinerinių sistemų sprendimus. Ekspertai kriterijų svarbą ir sistemų atitiktį vertino dešimtbalėje skalėje. Vertinimo kriterijų sistema apėmė saugumą, patikimumą, efektyvumą, energijos sąnaudas, vartotojų pasitikėjimą ir funkcines galimybes. Galutiniai kriterijų svoriai apskaičiuoti normalizuojant duomenis taip, kad svorių suma būtų lygi 1. Ekspertų vertinimų statistinė

suderinamumo patikra šiame tyrime nebuvo atlikta, todėl tai laikoma metodologiniu ribotumu. Siekiant sumažinti šio ribotumo įtaką, ekspertai vertinimus teikė savarankiškai, o galutinis rezultatas pagrįstas agreguotais įverčiais. Taikant nustatytus svorius, COPRAS metodu sudarytas sistemų reitingas, leidžiantis palyginti alternatyvas ir nustatyti labiausiai subalansuotą išmaniojo namo valdymo sprendimą.

1 etapas. Pradinių duomenų normalizavimas

Kad skirtingų kriterijų reikšmės būtų palyginamos, pradiniai duomenys yra normalizuojami. Kiekvienos alternatyvos i -ojo kriterijaus j reikšmė normalizuojama dalijant ją iš visų alternatyvų to paties kriterijaus reikšmių sumos:

$$\hat{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (1)$$

Čia:

x_{ij} – i -osios alternatyvos j -ojo kriterijaus pradinė reikšmė;

m – alternatyvų skaičius;

\hat{x}_{ij} – normalizuota kriterijaus reikšmė.

2 etapas. Normalizuotų reikšmių svėrimas

Atsižvelgiant į kriterijų svarbą, normalizuotos reikšmės dauginamos iš atitinkamų kriterijų svorių:

$$\tilde{x}_{ij} = \hat{x}_{ij} \cdot w_j \quad (2)$$

Čia:

w_j – j -ojo kriterijaus svoris;

\tilde{x}_{ij} – svorinė normalizuota kriterijaus reikšmė.

3 etapas. Maksimizuojančių kriterijų sumos skaičiavimas (S^+)

Apskaičiuojama kiekvienos alternatyvos maksimizuojamų kriterijų svorinių reikšmių suma:

$$S_i^+ = \sum_{j=1}^n \tilde{x}_{ij}^+ \quad (3)$$

Čia:

S_i^+ – i -osios alternatyvos maksimizuojamų kriterijų suma;

n – kriterijų skaičius;

\tilde{x}_{ij}^+ – maksimizuojamų kriterijų svorinės reikšmės.

4 etapas. Minimizuojančių kriterijų sumos skaičiavimas (S^-)

Apskaičiuojama kiekvienos alternatyvos minimizuojamų kriterijų svorinių reikšmių suma:

$$S_i^- = \sum_{j=1}^n \tilde{x}_{ij}^- \quad (4)$$

Čia:

S_i^- – i -osios alternatyvos minimizuojamų kriterijų suma;

\tilde{x}_{ij}^- – minimizuojamų kriterijų svorinės reikšmės.

5 etapas. Alternatyvų santykinio reikšmingumo nustatymas (Q_i)

Kiekvienos alternatyvos santykinis reikšmingumas apskaičiuojamas pagal formulę:

$$Q_i = S_i^+ + \frac{S_{\min} \cdot \sum_{i=1}^m S_i^-}{S_i^- \cdot \sum_{i=1}^m \frac{S_{\min}}{S_i^-}} \quad (5)$$

Čia:

Q_i – i -osios alternatyvos santykinis reikšmingumas;

S_{\min} – mažiausia minimizuojančių kriterijų suma tarp visų alternatyvų;

m – alternatyvų skaičius.

6 etapas. Naudingumo laipsnio nustatymas (U_i)

Alternatyvų naudingumo laipsnis apskaičiuojamas procentais, lyginant su didžiausia santykinio reikšmingumo reikšme:

$$U_i = \frac{Q_i}{Q_{\max}} \cdot 100\% \quad (6)$$

Čia:

U_i – i -osios alternatyvos naudingumo laipsnis;

Q_{\max} – didžiausia santykinio reikšmingumo reikšmė.

7 etapas. Alternatyvų reitingavimas

Alternatyvų reitingavimas atliekamas remiantis apskaičiuotais naudingumo laipsniais U_i , alternatyvas išrikiuojant mažėjančia tvarka. Alternatyva, turinti didžiausią naudingumo laipsnį, laikoma optimalia pagal pasirinktus vertinimo kriterijus.

3. Daugiakriterinis termoizoliacinių medžiagų palyginimas

Tyrimo kriterijų reikšmingumą vertino du ekspertai: pirmasis turi 24 metų patirtį statybos sektoriuje, antrasis – 12 metų patirtį, tiesiogiai susijusią su pastatų sienų šiltinimo darbais ir termoizoliacinėmis medžiagomis. Didžiausia kriterijaus reikšmė vertinama 9, o mažiausia – 1. Kitiems vertinimo kriterijams parinktos tarpinės reikšmės. Pagal įvertinimą nustatyta reikšmė + ar – (1 lentelė).

1 lentelė. Reikšmingumas
Šaltinis: sudarytas autoriaus.

Nr.	Kriterijai	Reikšmė
1	Šilumos laidumo koeficientas	9
2	CO ₂ pėdsakas	8
3	Gamybos energijos sąnaudos	7
4	Tarnavimo trukmė	6
5	Perdirbamumas	5
6	Kaina 1 m ²	4
7	Aplinkosauginis poveikis	3
8	Degumo klasė	2
9	Drėgmės reguliavimo savybės	1

Tyrimė buvo lyginamos šešios skirtingos termoizoliacinės medžiagos pagal šiuos kriterijus: šilumos laidumo koeficientą, CO₂ pėdsaką, pirminės energijos sąnaudas gamybai, tarnavimo trukmę, perdirbamumą, degumo klasę, kainą, poveikį aplinkai, estetinę išvaizdą ir drėgmės reguliavimo savybes. Į pradinių duomenų lentelę (2 lentelė) surašomi pradiniai duomenys. Kaina buvo parinkta remiantis pardavėjų ar gamintojų internetiniuose puslapiuose pateiktais kainynais, o estetinė išvaizda įvertinta remiantis ekspertų apklausos rezultatais.

2 lentelė. Pradinių duomenų lentelė
Šaltinis: sudaryta autoriaus.

Nagrinėjami kriterijai	*	Reikšmingumas	Matavimo vienetai	Termoizoliacinių medžiagų tipai					
				Tvarios				Tradicinės	
				Ekovata, kai tankis 30-35 kg/m ³	Kanapių ir džiuo pluošto vata	Isolena avių vilna	Medžio plaušo plokštė	Akmens vata, 100 mm	Neoporas EPS 80N, 100 mm
Šilumos laidumo koeficientas	-	0,2	W/(m·K)	0,036 W/(m·K)	0,039 W/(m·K)	0,035 W/(m·K)	0,038 W/(m·K)	0,037 W/(m·K)	0,038 W/(m·K)
Degumo klasė	+	0,05	balai	90	70	80	70	100	70
Kaina 1 m ²	-	0,1	Eur	28,35 €	25,40 €	72,10 €	26,50 €	4,35 €	5,98 €
Drėgmės reguliavimo savybės	+	0,05	balai	100	100	90	90	70	50
Gamybos energijos sąnaudos	+	0,1	MJ/m ³	30-50 MJ/m ³	45-60 MJ/m ³	30-45 MJ/m ³	40-72,1 MJ/m ²	150-250 MJ/m ³	90-120 MJ/m ³
CO ₂ pėdsakas	+	0,2	kg CO ₂ /kg	0,3 kg CO ₂ /kg	0,2 kg CO ₂ /kg	0,5 kg CO ₂ /kg	0,2 kg CO ₂ /kg	1,0-1,5 kg CO ₂ /kg	2,5-3,5 kg CO ₂ /kg
Tarnavimo trukmė	+	0,1	metai	50-80 metų	50-75 metų	50-100 metų	50-80 metų	100+ metų	50-100 metų
Perdirbamumas	-	0,1	balai	100	100	100	90	70	50
Aplinkosauginis poveikis	-	0,1	-	mažas	labai mažas	mažas	mažas	vidutinis	didelis

Ekspertų vertinimo rezultatai pagal atskiras kategorijas pasiskirstė taip:

Degumo klasė: Geriausiai įvertinta akmens vata (100 balų) dėl savo nedegumo savybių. Po jos seka ekovata (tankis 30-35 kg/m³) – 90 balų, bei „Isolena“ avių vilna – 80 balų. Kanapių ir džiuo

pluošto vata, medžio plaušo plokštė bei neoporas įvertinti po 70 balų.

Drėgmės reguliavimo savybės: Aukščiausiu balu (100 balų) įvertinta ekovata ir kanapių bei džiuo pluošto vata. Avių vilna ir medžio plaušo plokštė gavo po 90 balų. Akmens vata įvertinta

70 balų, o mažiausias balas skirtas neoporui (50 balų) dėl jo mažo garų pralaidumo.

Perdirbamumas: Maksimalus balas (100 balų) skirtas ekovatai, kanapių ir džiuo pluošto vatai bei avių vilnai. Medžio plaušo plokštė įvertinta 90 balų, akmens vata – 70 balų, o neoporas dėl sudėtingo perdirbimo proceso gavo 50 balų.

Aplinkosauginis poveikis: Palankiausia poveikį aplinkai turi kanapių ir džiuo pluošto vata (100 balų). Ekovata, avių vilna ir medžio plaušo plokštė įvertintos po 90 balų. Ne taip palankiai įvertinta akmens vata (70 balų), o žemiausias balas skirtas neoporui (50 balų) dėl gamyboje naudojamų naftos žaliavų.

Ekovatos maksimizuojančių normalizuotų įvertintų rodiklių suma 0,073, apskaičiuojama

pagal 3 formulę (3 lentelė). Kanapių ir džiuo pluošto vata Thermo Hemp Combi Jute maksimizuojančių normalizuotų įvertintų rodiklių suma yra 0,068. „Isolena“ avių vilna – SD 0,099. Medžio plaušo plokštė STEICO flex – 0,0068. Akmens vata, 100 mm yra 0,128, o Neoporo EPS 80N, 100 mm yra 0,159.

Ekovatos minimizuojančių normalizuotų įvertintų rodiklių suma yra $0,020+0,008+0,009=0,037$, apskaičiuojama pagal 4 formulę. Kanapių ir džiuo pluošto vata Thermo Hemp Combi Jute minimizuojančių normalizuotų įvertintų rodiklių suma yra 0,038. „Isolena“ avių vilna SD PRE20 – 0,037. Medžio plaušo plokštė STEICO flex – 0,035. Akmens vata, 100 mm – 0,029, o Neoporo EPS 80N, 100 mm yra 0,023.

3 lentelė. Daugiakriterinė termoizoliacinių medžiagų analizė
Šaltinis: sudaryta autoriaus.

Nagrinėjami kriterijai	*	Reikšmin-gumas	Mata-vimo vienetai	Termoizoliacinių medžiagų tipai					
				Tvarios				Tradicinės	
				Ekovata, kai tankis 30–35 kg/m ³	Kanapių ir džiuo pluošto vata Thermo Hemp Combi Jute	Isolena avių vilna SD PRE20	Medžio plaušo plokštė STEICO flex	Akmens vata, 100 mm	Neoporas EPS 80N, 100 mm
Šilumos laidumo koeficientas	-	0,2	W/(m•K)	0,032	0,035	0,031	0,034	0,033	0,034
Degumo klasė	+	0,05	-	0,009	0,007	0,008	0,007	0,01	0,007
Kaina 1m ²	-	0,1	Eur	0,02	0,02	0,04	0,02	0	0
Drėgmės reguliavimo savybės	+	0,05	-	0,01	0,01	0,009	0,009	0,007	0,005
Gamybos energijos sąnaudos	+	0,1	MJ/m ³	0,008	0,01	0,007	0,011	0,041	0,021
CO ₂ pėdsakas	+	0,2	kg CO ₂ /kg	0,011	0,007	0,018	0,007	0,047	0,109
Tarnavimo trukmė	+	0,1	metai	0,015	0,014	0,017	0,014	0,023	0,017
Perdirbamumas	-	0,1	-	0,02	0,02	0,02	0,018	0,014	0,01
Aplinkisauginis poveikis	-	0,1	-	0,009	0,01	0,009	0,009	0,007	0,005
Maksimizuojančių normalizuotų įvertintų rodiklių suma				0,053	0,048	0,059	0,048	0,128	0,159
Minimizuojančių normalizuotų įvertintų rodiklių suma				0,081	0,085	0,100	0,081	0,054	0,049
Reikšmingumas				0,167	0,118	0,119	0,121	0,233	0,273
Prioritetiškumas				3	6	5	4	2	1

Išvados

1. Atlikta išsami tvarių ir tradicinių termoizoliacinių medžiagų savybių analizė. Nustatyti reikšmingiausi kriterijai, padedantys objektyviai parinkti optimalią termoizoliacinę medžiagą.
2. Optimaliai termoizoliacinei medžiagai nustatyti pagrįstai parinktas daugiakriterinio vertinimo COPRAS metodas, nes jis skirtas palyginti įvairius variantus pagal sudarytą kriterijų sistemą, kurioje kiekvienas kriterijus turi tiesioginę įtaką galutiniam rezultatui. Šis metodas leidžia įvertinti tiek kokybinius, tiek kiekybinius duomenis.
3. COPRAS metodas identifikuotas kaip patikima priemonė projektiniams sprendimams priimti, jis gali būti sėkmingai taikomas kaip objektyvus instrumentas pasirinkti termoizoliacijos medžiagą pagal įvairius kriterijus.
4. Nustatyta, kad nors pagal COPRAS metodo skaičiavimo rezultatus matyti, jog tradicinės termoizoliacinės medžiagos (akmens vata, 100 mm ir neoporas EPS 80N, 100 mm) pirmąją, tačiau tvarių termoizoliacinių medžiagų integravimas į pastato konstrukcijas leidžia reikšmingai sumažinti viso gyvavimo ciklo CO₂ emisiją ir prisideda prie aplinkosauginių tikslų įgyvendinimo. Strategiška vertingas sprendimas – hibridinių sistemų kūrimas, derinant tradicines ir tvarias medžiagas. Tai ne tik didina energinį naudingumą, bet ir užtikrina sveikesnę patalpų mikroklimatą bei ilgaamžiškesnę pastato eksploataciją. Todėl tvarių medžiagų taikymas realiuose statybos projektuose yra vertinga ir perspektyvi ateities kryptis.

Literatūra

STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“.

Filazi, A., Akat, R., Pul, M., Tortuk, S., & Özdin, A. (2025). Physical structural mechanical

and thermal insulation properties of hemp fiber-substituted geopolymer composites.

Fiedler, T., & Pedersen, J. (2025). Evaluating the thermal conductivity of hemp-based insulation. *Materials*, 18(8), 1723.

Hult, M., & Karlsmo, S. (2022). Life cycle environmental and cost analysis of a building insulated with hemp fibre compared to alternative conventional insulations.

Ziemele, I., et al. (2025). Image-based microstructural simulation of thermal conductivity for highly porous wood fibre insulation boards. *Wood Science and Technology*, 57, 5-31.

Rossi, F., Bianchi, M., & Rizzo, P. (2023). The application of sheep wool in the building industry: Thermal properties and environmental benefits. *MDPI Processes*, 12(5), 963.

Zhang, Y., Wang, Y., & Li, J. (2022). Analysis of sheep wool-based composites for building insulation. *MDPI Polymers*, 14(10), 2109.

Ali, A. A. M. M. (2024). Applying the Life Cycle Assessment Approach to a Case Study with the Environmental Impacts Assessment of the Insulation Materials. *Journal of Architectural Engineering Technology*, 43(1), 319–332.

Sadineni, S. B., Madala, S., & Boehm, R. F. (2024). Energy and environmental performance of insulation materials for buildings. *Energy and Buildings*, 305, 113648.

Füchsl, S., Rheude, F., & Röder, H. (2022). Life cycle assessment (LCA) of thermal insulation materials: A critical review. *Cleaner Materials*, 5, 100119.

Seyis, S., Su, B., & Kantarci, F. (2024). Comparative life-cycle assessment of insulation materials for buildings: Expanded polystyrene (EPS), extruded polystyrene (XPS), rock wool, glass wool. *Journal of Architectural Engineering Technology*, 43(1).

Flury, K., & Frischknecht, R. (2012). Life Cycle Assessment of Rock Wool Insulation. ESU-services Ltd.

Eurima. (2023). Mineral wool insulation and the road to a climate neutral Europe: A decarbonisation roadmap.

ANALYSIS AND EVALUATION OF THE SELECTION OF SUSTAINABLE THERMAL INSULATION AND TRADITIONAL MATERIALS TO ENSURE ENERGY EFFICIENCY OF A NEWLY CONSTRUCTED BUILDING

UGNĖ MEDZIKAUSKAITĖ¹

*¹Vilniaus Kolegija | Higher Education Institution, Faculty of Civil Engineering,
Department of Civil Engineering, Antakalnio g. 54, Vilnius*

Summary: The article evaluates four sustainable and two traditional thermal insulation materials – cellulose wool, hemp fiber, sheep wool, wood fiber, rock wool and neoprene (EPS) – using the COPRAS (Complex Proportional Assessment) multi-criteria analysis. First, the properties of these materials, such as thermal conductivity, fire resistance, vapor permeability, production energy consumption, carbon footprint, service life, recyclability, environmental impact, price and aesthetic appearance, are reviewed. The COPRAS method allows you to evaluate alternatives according to several criteria of different weight and determine the most optimal solution. During the analysis, each material is assigned a relative degree of utility, which allows you to determine the priority choice. The results of the study allow you to determine which of the materials most effectively contributes to ensuring the energy efficiency of a newly constructed building while meeting modern sustainability and functionality requirements. The results obtained form a clear methodological basis for choosing sustainable and energy-efficient thermal insulation solutions for newly constructed buildings.

Key words: Sustainable and traditional thermal insulation materials, energy efficiency, multi-criteria analysis, Copras method.

A++ ENERGINIO NAUDINGUMO KLASĖS VIENBUČIO GYVENAMOJO NAMO ATITVARŲ TERMOIZOLIACINIŲ MEDŽIAGŲ DAUGIAKRITERINĖ ANALIZĖ COPRAS METODU

ANDŽEJ ANDRIUS VINCELOVIČ¹

¹*Vilniaus kolegija, Statybos fakultetas, Statybos inžinerijos katedra, Antakalnio g. 54, Vilnius*

Anotacija. Darbe, taikant daugiakriterinio vertinimo metodą COPRAS, analizuojamas termoizoliacinių medžiagų parinkimas A++ energinio naudingumo klasės vienbučiam gyvenamajam namui. Tyrime palygintos keturios Lietuvoje populiariausios termoizoliacinės medžiagos: mineralinė vata, EPS, XPS ir PIR. Vertinimas atliktas pagal 14 techninių, eksploatacinių bei ekonominių kriterijų, kurių reikšmingumas nustatytas ekspertinio vertinimo metodu. Atlikti skaičiavimai parodė, kad racionaliausia alternatyva nagrinėjamu atveju yra mineralinė vata.

Reikšminiai žodžiai: termoizoliacija, COPRAS metodas, A++ energinio naudingumo klasė, daugiakriterinė analizė.

Įvadas

Pastaraisiais dešimtmečiais pastatų energinis efektyvumas tapo vienu prioritetinių šiuolaikinės statybos uždavinių, ypač individualių gyvenamųjų namų sektoriuje. Didėjant energijos išteklių kainoms ir griežtėjant Europos Sąjungos reikalavimams pastatų energiniam naudingumui, vis didesnis dėmesys skiriamas šilumos nuostolių mažinimui per pastato išorines atitvaras (European Parliament & Council, 2010). Tyrimai rodo, kad išorinės atitvaros daro lemiamą įtaką pastato šilumos balansui, todėl jų šiluminės izoliacijos sprendiniai yra vienas svarbiausių veiksnių, lemiančių bendrą pastato energinį efektyvumą (Papadopoulou, 2020).

Statybos praktikoje individualių gyvenamųjų namų šiltinimui naudojamos įvairios termoizoliacinės medžiagos, pasižyminčios skirtingomis fizikinėmis, eksploatacinėmis ir ekonominėmis savybėmis. Mokslinėje literatūroje šios medžiagos dažniausiai vertinamos pagal atskirus rodiklius, tokius kaip šilumos laidumas, atsparumas drėgmei, degumo klasė ar kaina (Hasanzadeh et al., 2024; Molleti & Van Reenen, 2022). Tačiau skirtingų autorių pateikiamos išvados neretai skiriasi, nes pasirenkami nevienodi vertinimo kriterijai arba analizuojami tik pavieniai medžiagų aspektai. Dėl šios priežasties sprendimų priėmimo procese kyla poreikis taikyti kompleksinius vertinimo metodus, leidžiančius vienu metu įvertinti kelis prieštarigus kriterijus.

Vienas iš tokių metodų yra COPRAS (Complex Proportional Assessment), plačiai taikomas inžineriniuose ir statybos tyrimuose, kai siekiama palyginti alternatyvius sprendinius pagal techninių, ekonominių ir eksploatacinių rodiklių visumą (Zavadskas et al., 2016). Taikant

šį metodą galima nustatyti alternatyvų santykinį reikšmingumą ir pagrįsti racionalų termoizoliacinės medžiagos parinkimą, atsižvelgiant į konkrečius pastato energinio naudingumo ir eksploatacijos reikalavimus.

Šio tyrimo objektas – Lietuvoje populiariausios termoizoliacinės medžiagos: mineralinė vata, polistireninis putplastis (EPS), ekstruzinis polistireninis putplastis (XPS) ir poliizocianurato plokštės (PIR).

Darbotikslas – atlikti termoizoliacinių medžiagų daugiakriterinį vertinimą taikant COPRAS metodą ir, remiantis sudaryta kriterijų sistema, nustatyti tinkamiausią alternatyvą praktiniam naudojimui A++ klasės pastatuose.

1. Literatūros apžvalga

Termoizoliacinių medžiagų parinkimas šiandien yra itin aktualus dėl kylančių energijos išteklių kainų, griežtėjančių statybos reglamentų ir siekio mažinti pastatų poveikį aplinkai. Tinkamai parinkta izoliacija leidžia reikšmingai sumažinti šilumos nuostolius, optimizuoti šildymo išlaidas ir užtikrinti aukštą gyvenimo komfortą. ES energinio naudingumo reikalavimai, ypač A+ ir A++ klasės standartai, numato labai griežtas pastatų šiluminės varžos ir sandarumo normas, todėl termoizoliacinės medžiagos efektyvumas tampa esminiu veiksniu projektuojant vienbutį namą.

Mokslinių šaltinių analizė rodo, kad kiekviena termoizoliacinė medžiaga pasižymi savitomis savybėmis, todėl jų parinkimas priklauso nuo nustatytų prioritetų. Pavyzdžiui, PIR pasižymi geriausiu šiluminiu efektyvumu (mažiausias λ), tačiau reikalauja didesnių investicijų ir yra

degesnės. Renewable & Sustainable Energy Reviews (2020) pažymi, kad „materials with lower thermal conductivity (λ) are more cost-effective in heating-dominated regions“, išskirdami PIR kaip pažangiausias medžiagas pagal efektyvumą. IBPSA ESIM (2018) tyrimai rodo, kad PIR turi mažiausią pradinę λ (0,022–0,026 W/(m·K)), tačiau dėl dujų difuzijos laikui bėgant ši reikšmė didėja. Mineralinė vata išsiskiria nedegumu. Renewable & Sustainable Energy Reviews (2020) nurodo, kad „mineral wool and cellulose materials belong to class A1–A2, while polymeric foams such as EPS, XPS and PIR are rated E–F unless flame-retarded“. Tai reiškia, kad mineralinė vata pasižymi aukščiausiu atsparumu ugniai, tačiau turi tik vidutinį šiluminį laidumą bei yra jautri drėgmei. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry (2020) nurodo, kad drėgmė gali padidinti mineralinės vatos λ iki 0,041 W/(m·K). EPS ir XPS yra ekonomiškiausios alternatyvos. Building and Environment (2023) pateikia kainų intervalus: EPS – 6–12 €/m², mineralinė vata – 10–20 €/m², PIR – 18–30 €/m².

Apibendrinant galima teigti, kad moksliniai šaltiniai patvirtina, jog vienos idealios izoliacinės medžiagos nėra – racionaliausias sprendimas pasiekiamas kompleksiskai derinant techninį efektyvumą, ilgaamžiškumą, saugumą ir ekonomiškumą pagal konkretaus pastato poreikius.

Remiantis kitų mokslinių tyrimų analize, nustatytos šios medžiagų savybės: mineralinė vata pasižymi ~0,034–0,037 W/(m·K) šiluminiu laidumu, yra visiškai nedegi (A1–A2 klasės), gerai praleidžia garus ir užtikrina puikią garso izoliaciją, tačiau dėl higroskopiškumo (drėgmės įgėrio) gali prarasti dalį termoizoliacinių savybių. Polistirenas (EPS) pasižymi ~0,035 W/(m·K) šilumos laidumu, mažai įgeria vandenį ir yra ekonomišką bei lengvai montuojamas, tačiau yra degus (E–F klasė), beveik nepraleidžia garų ir nėra toks ilgaamžis kaip PIR ar XPS. Ekstruzinis polistirenas (XPS) pasižymi ~0,032 W/(m·K) šilumos laidumu, labai mažu vandens įgėriu ir dideliu mechaniniu atsparumu, todėl idealiai tinka pamatams šiltinti, tačiau yra degus ir nepraleidžia garų. Poliizocianurato plokštės (PIR) pasižymi itin mažu drėgmės įgėriu, ilgaamžiškumu ir gera gaisrine klase (B–s1, d0), bet yra brangiausia iš nagrinėtų medžiagų.

Nors literatūroje PIR dažnai nurodomas kaip optimalus sprendimas šiuolaikinei statybai, siekiant objektyviai pagrįsti šią prielaidą, būtinas metodinis įvertinimas, šiuo atveju – taikant COPRAS metodą.

2. Tyrimo metodika

COPRAS (angl. *Complex Proportional Assessment*) – tai daugiakriterinis sprendimų priėmimo metodas, skirtas alternatyvoms vertinti pagal kelis prieštarigus kriterijus, įvertinant tiek maksimizuojamas, tiek minimizuojamas jų reikšmes. Šis metodas leidžia nustatyti kiekvienos alternatyvos santykinį reikšmingumą ir prioritetiškumą, atsižvelgiant į kriterijų svarbą ir jų įtaką galutiniam rezultatui. Šiame darbe COPRAS metodas taikomas termoizoliacinėms medžiagoms vertinti, siekiant parinkti optimalų sprendinį A++ energinio naudingumo klasės vienbučiam gyvenamajam namui.

Pirmiausia sudaroma vertinimo kriterijų sistema, apimanti svarbiausias termoizoliacinių medžiagų savybes, aktualias A++ klasės pastatui. Ją sudaro kokybiniai ir kiekybiniai rodikliai, pateikiami 1 lentelėje. Siekiant nustatyti kiekvieno kriterijaus reikšmingumą, atliekama ekspertų apklausa (žr. 1 lentelę). Anketas pildo 5–10 ekspertų – specialistų, turinčių ilgametę patirtį dirbant su termoizoliacinėmis medžiagomis. Kiekvienam kriterijui suteikiamas įvertinimas nuo 1 iki 100 balų (aukštesnis balas reiškia didesnę svarbą). Surinkti duomenys sisteminami ir pateikiami 2 lentelėje.

1 lentelė. Kriterijų vertinimas

Šaltinis: sudaryta autoriaus.

Nr.		Kriterijus	Įvertinimas
1	Kokybiniai kriterijai	Atsparumas drėgmei ir aplinkos poveikiui	
2		Garsinė izoliacija	
3		Ekologiškumas ir tvarumas	
4		Montavimo paprastumas	
5		Garų pralaidumas	
6		Konstruktinis suderinamumas	
7		Eksploatacinis patikimumas	
8	Kiekybiniai kriterijai	Šiluminis laidumas (λ)	
9		Tankis	
10		Vandens įgėris	
11		Kaina	
12		Reikalingas izoliacijos storis	
13		Degumo klasė	
14		Ilgamžiškumo rodikliai	

2 lentelė. Kriterijų rezultatai

Šaltinis: sudaryta autoriaus.

Nr.	Kriterijus	E_1	E_2	...	E_n	S_i	Vieta	ΔS_i	ΔS_i^2	Svarba
1	Atsparumas drėgmei ir aplinkos poveikiui									
2	Garsinė izoliacija									
...	...									
13	Degumo klasė									
14	Ilgamžiškumo rodikliai									

Skaičiuojama pagal tokią metodiką:

1 etapas.

$$S_i = \sum_{j=1}^n b_{ij}, j = 1, n \quad (1)$$

Čia:

b_{ij} – i kriterijaus j eksperto įvertinimas balais;
 S_i – i kriterijaus visų j ekspertų vertinimų balų

suma;

ΔS_i – nuokrypis nuo rangų sumos vidurkio.

Rangų sumos vidurkis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$S^* = \frac{\sum_{i=1}^m S_i}{m}, i = 1, m \quad (2)$$

Čia:

S_i – kriterijų i įverčių suma;
 m – kriterijų skaičius.

Tuomet nuokrypis nuo rangų sumos vidurkio apskaičiuojamas pagal formulę:

$$\Delta S_i = S_i - S^* \quad (3)$$

Kriterijaus svarba nustatoma pagal formulę:

$$q_i = \frac{S_i}{\sum_{i=1}^m S_i} \quad (4)$$

2 etapas

Skaičiuojama pagal šias formules:

$$d_{ij} = \frac{x_{ij} \cdot q_i}{\sum_{j=1}^n x_{ij}}, i = 1, m, j = 1, n \quad (5)$$

Čia:

x_{ij} – j sprendimo varianto i kriterijaus reikšmė;
 m – kriterijų skaičius (konkrečiu atveju $m = 14$);
 n – lyginamųjų variantų skaičius;
 q_i – i kriterijaus svarba.

3 etapas

Kiekvieno kriterijaus x_i gautų bedimensių reikšmių d_{ij} suma visada lygi šio kriterijaus svarbai q_i :

$$q_i = \sum_{j=1}^n d_{ij}, i = 1, m, j = 1, n \quad (6)$$

4 etapas

Apskaičiuojamos j variantų apibūdinančių minimizuojančių S_{-j} ir maksimizuojančių S_{+j} įvertintų normalizuotų rodiklių sumos. Jos apskaičiuojamos pagal formules:

$$S_{+j} = \sum_{i=1}^m d_{+ij} \quad (7)$$

$$S_{-j} = \sum_{i=1}^m d_{-ij}, i = 1, m, j = 1, n \quad (8)$$

5 etapas

Lyginamųjų variantų santykinis reikšmingumas nustatomas remiantis juos apibūdinančiomis teigiamomis S_{+j} ir neigiamomis S_{-j} savybėmis. Kiekvienos termoizoliacinės medžiagos santykinis reikšmingumas Q_j nustatomas pagal formulę:

$$Q_j = S_{+j} + \frac{S_{-\min} \cdot \sum_{j=1}^n S_{-j}}{\sum_{j=1}^n \frac{S_{-\min}}{S_{-j}}}, j = 1, n \quad (9)$$

6 etapas

Nustatomas termoizoliacinės medžiagos prioritetiškumas. Kuo Q_j didesnis, tuo labiau termoizoliacinė medžiaga atitinka poreikius (4 lentelė).

3. Tyrimo rezultatai

4 lentelė. Pradiniai termoizoliacinių medžiagų daugiakriterinės analizės duomenys

Šaltinis: sudaryta autoriaus.

Nr.	Kriterijus	E1	E2	E3	E4	E5	ΔS	
1	Kokybiniai kriterijai	Atsparumas drėgmei ir aplinkos poveikiui	85	90	88	87	89	87.8
2		Garsinė izoliacija	78	80	75	82	79	78.8
3		Ekologiškumas ir tvarumas	88	92	90	89	91	90
4		Montavimo paprastumas	82	85	80	83	84	82.8
5		Garų pralaidumas	75	78	80	77	76	77.2
6		Konstruktinis suderinamumas	83	85	82	84	86	84
7		Eksploatacinis patikimumas	90	92	91	89	93	91
8	Kiekybiniai kriterijai	Šiluminis laidumas (λ)	95	93	94	92	96	94
9		Tankis	78	80	77	79	81	79
10		Vandens įgėris	88	90	87	89	91	89
11		Kaina	70	75	72	73	74	72.8
12		Reikalingas izoliacijos storis	85	88	86	87	89	87
13		Degumo klasė	92	94	93	91	95	93
14		Ilgamžiškumo rodikliai	90	93	91	92	94	92

Sudaroma 4 lentelė, skaičiuojama kriterijų svarba.

4 lentelė. Kriterijų rezultatai

Šaltinis: sudaryta autoriaus.

Nr.	Kriterijus	S_i	Vieta	ΔS_i	ΔS_i^2	Svarba	
1	Kokybiniai kriterijai	Atsparumas drėgmei ir aplinkos poveikiui	439	7	351.2	123341.44	0.0733
2		Garsinė izoliacija	394	12	315.2	99351.04	0.0658
3		Ekologiškumas ir tvarumas	450	5	360	12600	0.0751
4		Montavimo paprastumas	414	10	331.2	109693.44	0.0691
5		Garų pralaidumas	386	13	308.8	95357.44	0.0644
6		Konstruktinis suderinamumas	420	9	336	112896	0.0701
7		Eksploatacinis patikimumas	455	4	364	132496	0.0759
8	Kiekybiniai kriterijai	Šiluminis laidumas (λ)	470	1	376	141376	0.0784
9		Tankis	395	11	316	99856	0.0659
10		Vandens įgėris	445	6	356	126736	0.0743
11		Kaina	364	14	291.2	84797.44	0.0607
12		Reikalingas izoliacijos storis	435	8	348	121104	0.0726
13		Degumo klasė	465	2	372	138384	0.0776
14		Ilgamžiškumo rodikliai	460	3	368	135424	0.0768

$$\sum S_i = 5992$$

5 lentelė. Termoizoliacinių medžiagų pasiūlymų vertinimas
Šaltinis: sudaryta autoriaus.

Nagrinėjami kriterijai	Kriterijų matavimo vienetas	*	Kriterijų svarba	Kriterijų įvertintų kriterijų skaitinės reikšmės			
				MV	EPS	XPS	PIR
Atsparumas drėgmei ir aplinkos poveikiui	balai	+	0.0733	70	80	95	90
Garsinė izoliacija	balai	+	0.0658	95	60	55	65
Ekologiškumas ir tvarumas	balai	+	0.0751	85	65	60	70
Montavimo paprastumas	balai	+	0.0691	80	90	85	75
Garų pralaidumas	balai	+	0.0644	95	20	20	15
Konstruktinis suderinamumas	balai	+	0.0701	85	90	85	80
Ekspluatacinis patikimumas	balai	+	0.0759	90	80	95	90
Šiluminis laidumas (λ)	balai	-	0.0784	45	40	55	95
Tankis	balai	+	0.0659	80	55	65	60
Vandens įgėris	balai	-	0.0743	60	55	95	85
Kaina	eur	-	0.0607	85	90	55	45
Reikalingas izoliacijos storis	balai	-	0.0726	55	50	75	90
Degumo klasė	balai	+	0.0776	100	20	20	70
Ilgaamžiškumo rodikliai	balai	+	0.0768	90	75	95	90

MV – mineralinė vata, EPS – polistirenas, XPS – ekstruzinis polistirenas, PIR – poliizocianurato plokštės.

6 lentelė. Termoizoliacinių medžiagų daugiakriterinės analizės rezultatai
Šaltinis: sudaryta autoriaus.

Nagrinėjami kriterijai	Kriterijų matavimo vienetas	*	Kriterijų svarba	Kriterijų įvertintų kriterijų skaitinės reikšmės			
				MV	EPS	XPS	PIR
Atsparumas drėgmei ir aplinkos poveikiui	balai	+	0.0733	0,0133	0,0152	0,0181	0,0171
Garsinė izoliacija	balai	+	0.0658	0,0208	0,0131	0,0120	0,0142
Ekologiškumas ir tvarumas	balai	+	0.0751	0,0189	0,0144	0,0133	0,0155
Montavimo paprastumas	balai	+	0.0691	0,0163	0,0183	0,0173	0,0153
Garų pralaidumas	balai	+	0.0644	0,0318	0,0067	0,0067	0,0050
Konstruktinis suderinamumas	balai	+	0.0701	0,0175	0,0186	0,0175	0,0165
Ekspluatacinis patikimumas	balai	+	0.0759	0,0185	0,0164	0,0195	0,0185
Šiluminis laidumas (λ)	balai	-	0.0784	0,0129	0,0115	0,0158	0,0273
Tankis	balai	+	0.0659	0,0186	0,0128	0,0151	0,0139
Vandens įgėris	balai	-	0.0743	0,0139	0,0087	0,0165	0,0148
Kaina	eur	-	0.0607	0,0149	0,0158	0,0097	0,0079
Reikalingas izoliacijos storis	balai	-	0.0726	0,0109	0,0099	0,0149	0,0179
Degumo klasė	balai	+	0.0776	0,0388	0,0078	0,0078	0,0272
Ilgaamžiškumo rodikliai	balai	+	0.0768	0,0187	0,0156	0,0198	0,0187
Maksimizuojančių normalizuotų įvertintų rodiklių suma	0,2132	0,1379	0,1461	0,1629			
Minimizuojančių normalizuotų įvertintų rodiklių suma	0,0526	0,0459	0,0569	0,0679			
Termoizoliacinių medžiagų alternatyvos reikšmingumas	0,2709	0,2046	0,1998	0,2079			
Termoizoliacinių medžiagų alternatyvos prioritetiškumas	1	3	4	2			

MV – mineralinė vata, EPS – polistirenas, XPS – ekstruzinis polistirenas, PIR – poliizocianurato plokštės.

Išvados

1. Atlikus termoizoliacinių medžiagų daugiakriterinę analizę taikant COPRAS metodą nustatyta, kad tirtu atveju racionaliausia alternatyva yra mineralinė vata.
2. Nors mokslinėje literatūroje dažnai akcentuojami PIR ir PUR pranašumai dėl mažo šilumos laidumo ir galimybės pasiekti aukštą energinį efektyvumą naudojant plonesnį izoliacijos sluoksnį, tyrimo rezultatai parodė, kad izoliacinės medžiagos parinkimas neturėtų būti grindžiamas vien tik šiluminiais rodikliais.
3. Aukštas mineralinės vatos įvertinimas tiesiogiai susijęs su jos gera priešgaisrine klase, dideliu garų laidumu ir ilgaamžiškumu, kurie šioje analizėje turėjo reikšmingą svorį. Literatūros šaltiniai patvirtina, kad šios savybės yra ypač svarbios individualių gyvenamųjų namų atitvaroms, siekiant užtikrinti saugią ir patikimą pastato eksploataciją.
4. PIR izoliacinės medžiagos pasižymi puikiomis šiluminėmis savybėmis, tačiau jų priešgaisrinės charakteristikos ir garų laidumas yra riboti. Dėl to šios medžiagos tinkamesnės tais atvejais, kai pagrindinis tikslas yra sumažinti konstrukcijos storį arba pasiekti maksimalų energinį efektyvumą ribotoje erdvėje.
5. Tyrimo rezultatai taip pat parodė, kad galutiniai sprendimai priklauso nuo pasirinktų kriterijų reikšmingumo paskirstymo. Esant didesniai ekonominių ar šiluminių kriterijų svoriui, analizės rezultatai galėtų kisti. Tai patvirtina, kad termoizoliacinių medžiagų parinkimas turi būti grindžiamas konkrečiau pastato sąlygomis ir projektavimo tikslais.

Literatūra

Berardi, U. (2019). Aging characteristics of polyurethane foam insulation materials. *In Advances in building energy research* (pp. 145–162). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-6553-7_12

Ducoulombier, L., & Lafhaj, Z. (2016). Comparative study of hygrothermal properties of five thermal insulation materials. *Energy and Buildings*, 133, 321–329. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.10.012>

European Commission. (2024). *European energy efficiency guide 2024*. BUILD UP Initiative. <https://build-up.ec.europa.eu/en/resources-and-tools/publications/european-energy-efficiency-guide-2024>

European Committee for Standardization. (2018). *EN 13501-1: Fire classification of construction products and building elements – Part 1: Classification using test data from reaction to fire tests*.

European Parliament & Council. (2010). *Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings (recast)*. <http://data.europa.eu/eli/dir/2010/31/oj>

Hasanzadeh, S., Kim, M. K., & Choi, J. H. (2024). Comparison of thermal conductivity and long-term change of building insulation materials. *Energies*, 17(23), Article 6105. <https://doi.org/10.3390/en17236105>

Kučera, L., Mužíková, B., & Vala, J. (2020). Effect of built-in mineral wool insulation's durability on thermal performance. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 142(1), 67–78. <https://doi.org/10.1007/s10973-019-08384-5>

Molleti, S., & Van Reenen, A. (2022). Effect of temperature on long-term thermal conductivity of closed-cell insulation materials. *Buildings*, 12(4), Article 425. <https://doi.org/10.3390/buildings12040425>

Otten, J., & Pfundstein, M. (2022). Hygrothermal properties and performance of bio-based insulation materials. *Buildings*, 12(9), Article 2021. <https://doi.org/10.3390/buildings12092021>

Papadopoulou, A. M. (2020). Comparative analysis of building insulation material properties and performance. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 126, Article 109329. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109329>

Tadeu, A., Simões, N., & Figueiredo, A. (2023). A quantitative comparison on the use of thermal insulation materials in building envelopes. *Building and Environment*, 241, Article 110437. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110437>

Zhu, L., & Künzle, H. M. (2024). Size effect of typical hygrothermal properties test values of building insulation materials. *Energy and Buildings*, 301, Article 113622. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113622>

MULTI-CRITERIA COPRAS ANALYSIS OF THERMAL INSULATION MATERIALS FOR BUILDING ENVELOPES IN AN A++ ENERGY CLASS SINGLE-FAMILY HOUSE

ANDŽEJ ANDRIUS VINCELOVIČ¹

*¹Vilniaus Kolegija | Higher Education Institution, Faculty of Civil Engineering,
Department of Civil Engineering, Antakalnio g. 54, Vilnius*

Summary: This paper presents a multi-criteria analysis of thermal insulation materials for building envelope structures of an A++ energy performance class single-family house using the COPRAS method. Four commonly used insulation materials—mineral wool, expanded polystyrene (EPS), extruded polystyrene (XPS), and polyisocyanurate (PIR) boards—were evaluated based on fourteen technical, economic, and exploitation-related criteria. The criteria weights were determined through expert evaluation. The results indicate that mineral wool achieved the highest relative significance, demonstrating that the selection of thermal insulation materials should not rely solely on thermal performance indicators. Fire safety, vapour permeability, durability, and exploitation properties play a significant role in achieving a balanced insulation solution. The study confirms that COPRAS is an effective method for supporting rational decision-making in energy-efficient residential building design.

Key words: thermal insulation, COPRAS method, A++ energy performance class, multi-criteria analysis.

DRONŲ SKENERIŲ IR ANTŽEMINIŲ SKENAVIMO TECHNOLOGIJŲ DUOMENŲ TIKSLUMO LYGINAMOJI ANALIZĖ

IGNAS FIODOROVAS¹, NATALIJA AUGŪNIENĖ¹

¹Vilniaus kolegija, Statybos fakultetas, Statybos inžinerijos katedra, Antakalnio g. 54, Vilnius

Anotacija. Šiame darbe atlikta inžineriniuose matavimuose taikomų dronų, 3D skenerių ir LiDAR technologijų analizė bei palyginimas. Tyrimo metu nustatyta, kad matavimo duomenų tikslumas ir kokybė tiesiogiai priklauso nuo pasirinktos technologijos, aplinkos sąlygų bei taikomų duomenų apdorojimo metodų. Nustatyta, kad LiDAR technologija pasižymi didžiausiu matavimo tikslumu ir stabilumu sudėtingomis aplinkos sąlygomis, tačiau reikalauja didesnių finansinių išteklių. Dronų fotogrametrija yra efektyvi matuojant dideles teritorijas ir leidžia greitai surinkti duomenis, tačiau jos tikslumui didelę įtaką daro apšvietimas bei oro sąlygos. 3D skeneriai užtikrina itin didelį geometrinį tikslumą matuojant lokalius objektus, tačiau jų taikymas didesnio masto objektams yra ribotas. Atlikta analizė parodė, kad optimalios technologijos pasirinkimą lemia objekto dydis, reikalaujamas tikslumas ir ekonominiai veiksniai. Tyrimo rezultatai leidžia pagrįstai pasirinkti tinkamiausią matavimo technologiją skirtingiems inžineriniams uždaviniams ir atskleidžia pagrindinius veiksnius, darančius įtaką matavimų patikimumui.

Reikšminiai žodžiai: dronai, 3D skeneriai, LiDAR, matavimai, duomenų tikslumas, fotogrametrija.

Įvadas

Pastaraisiais metais statybų ir inžinerijos sektoriuje sparčiai diegiamos pažangios technologijos, keičiančios tradicinius matavimo ir duomenų surinkimo metodus. Vienos populiariausių inovacijų – dronai su fotogrametrijos sistemomis, LiDAR technologija bei antžeminiai 3D skeneriai. Šių technologijų taikymas tampa itin aktualus dėl augančio poreikio greitai, saugiai ir tiksliai gauti erdvinis duomenis, reikalingus projektavimui, statybos darbams bei infrastruktūros priežiūrai (GPSpartneris, n. d.; Apstatyba.lt, n. d.).

Tradiciniai geodeziniai matavimo metodai, pavyzdžiui, tacheometrinė nuotrauka, dažnai reikalauja daug laiko, žmogiškųjų išteklių, o jų taikymas sudėtingose ar pavojingose vietovėse yra ribotas. Dronai su fotogrametrijos sistemomis leidžia per trumpą laiką nuskenuoti didelius plotus, o LiDAR technologija užtikrina galimybę gauti tikslius duomenis net esant sudėtingoms sąlygoms, pavyzdžiui, tankiai apaugusiose teritorijose ar esant prastam apšvietimui (Statybų apžvalga, n. d.). Be to, šios technologijos mažina riziką specialistams, nes matavimai atliekami nuotoliniu būdu, o gauti duomenys lengvai integruojami į statinio informacinio modeliavimo (BIM) sistemas, taip didinant projektų valdymo efektyvumą.

Dronų naudojimas statybose neapsiriboja vien matavimais: jie padeda stebėti statybų eigą, apskaičiuoti tūrius, rengti ortofotografinius žemėlapius ir 3D modelius. Tai leidžia taupyti laiką, mažinti klaidų tikimybę ir optimizuoti išlaidas (Alytusplius, 2025). Vis dėlto išlieka pagrindinė problema – duomenų tikslumo ir kokybės

užtikrinimas. Matavimo rezultatai tiesiogiai priklauso nuo pasirinktos technologijos, aplinkos sąlygų ir taikymo metodų, todėl būtina pasirinkti tinkamą technologiją pagal konkretaus projekto specifiką (GPS partneris, n. d.; Apstatyba.lt, n. d.).

Šio tyrimo tikslas – įvertinti dronų ir 3D skenerių taikymo galimybes inžineriniuose matavimuose, analizuojant jų naudojamus matavimo metodus ir nustatant duomenų tikslumo skirtumus.

Siekiant šio tikslo, analizuojami dronų, antžeminių 3D skenerių bei LiDAR matavimo metodai, nustatomi pagrindiniai veiksniai, lemiantys duomenų paklaidas, ir lyginami šių technologijų privalumai, trūkumai bei taikymo ribos.

1. Matavimo metodai: dronai, 3D skeneriai ir LiDAR

Inžineriniuose matavimuose dronai naudojami duomenims apie teritorijas ir objektus rinkti iš oro. Skridamas virš tiriamo objekto dronas sistemingai jį fotografuoja, o iš gauto nuotraukų masyvo vėliau formuojamas taškų debesis. Duomenims rinkti dažniausiai taikomas fotogrametrijos metodas, todėl praktikoje įsitvirtino terminas *dronų fotogrametrija*.

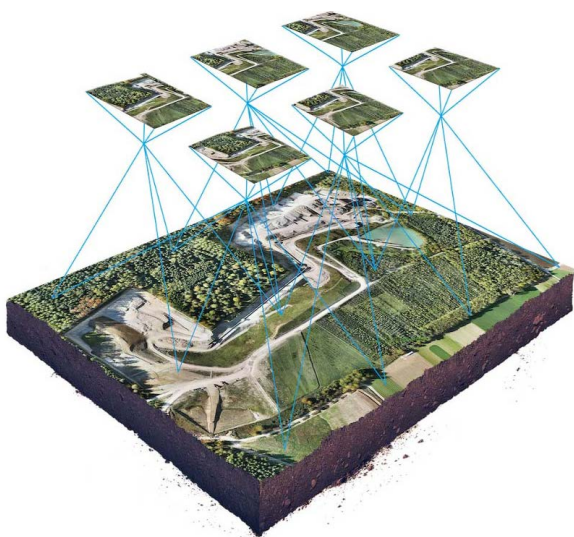
Skrydžiai gali būti vykdomi dviem būdais: naudojant specializuotas skrydžių planavimo programas, kai maršrutas, aukštis ir nuotraukų persidengimas nustatomi automatiškai, arba valdant droną rankiniu būdu, kai operatorius fotografuoja laisvo skrydžio metu. Automatiniai skrydžiai užtikrina vienodą duomenų kokybę ir didesnę tikslumą, o rankinis valdymas dažniau taikomas sudėtingiems ar specifiniams objektams

fiksuoti. Automatiniai skrydžiai užtikrina vienodą duomenų kokybę bei didesnį tikslumą, o rankinis valdymas dažniau taikomas sudėtingiems ar specifiniams objektams fiksuoti.

Dronuose naudojama fotogrametrijos technologija grindžiama daugelio persidengiančių tos pačios teritorijos ar objekto nuotraukų apdorojimu. Žemėlapių ar 3D modelio kūrimas fotogrametrijos būdu nėra tik atskirų aerofotografijų sujungimas – specialūs algoritmai analizuoja nuotraukų persidengimus, atpažįsta bendrus taškus ir pagal jų padėtį erdvėje atkuria objekto geometriją. Taip sukuriama ortofotografiniai žemėlapiai, skaitmeniniai paviršiaus modeliai ir trimačiai objektų modeliai.

Dronai plačiai naudojami fotogrametrijoje, nes leidžia sparčiai surinkti didelį kiekį aukštos raiškos vaizdų ir sukurti tikslius 3D modelius. Dažniausiai juose montuojamos aukštos raiškos kameros bei GPS imtuvai, o naudojant žemės kontrolinius taškus (angl. *Ground Control Points*, GCP) galima pasiekti net centimetrinį tikslumą. Pagrindiniai šio metodo privalumai – darbo našumas, galimybė atlikti matavimus sunkiai pasiekiamose ar pavojingose vietovėse bei didelė surenkamų duomenų imtis.

Persidengiančių nuotraukų technologija leidžia nustatyti vaizduose užfiksuotų detalių gylį ir apskaičiuoti taškų aukščius. Šis principas analogiškas žmogaus regėjimui: žmogaus akys fiksuoja du šiek tiek skirtingus to paties objekto vaizdus, o smegenys juos sujungia į vieną trimatį vaizdą (1 pav.). Tačiau dronų fotogrametrijos tikslumas priklauso nuo daugelio veiksnių: oro sąlygų, apšvietimo, kameros kalibravimo, skrydžio parametrų ir pasirinktų fotogrametrinių algoritmų.



1 pav. Drono fotogrametrijos metodas
Šaltinis: sudaryta pagal E. Loosli (2023).

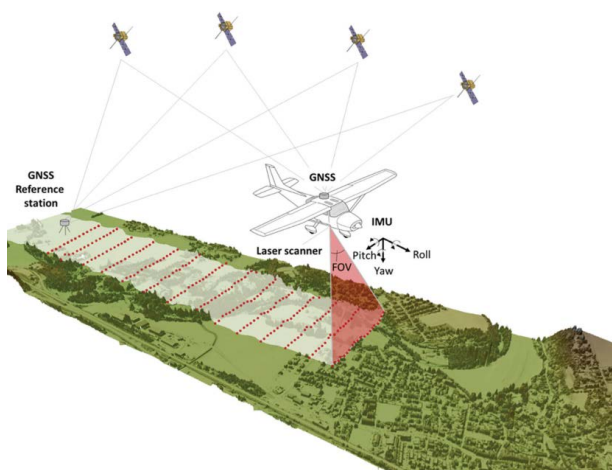
Antžeminis lazerinis skenavimas ir LiDAR technologijos grindžiamos tuo pačiu fiziniu principu – lazerio impulsų atspindžio matavimu, tačiau jų praktinis taikymas inžineriniuose matavimuose iš esmės skiriasi. Antžeminis lazerinis skenavimas orientuotas į lokalių objektų didelio detalumo geometrijos fiksavimą, o LiDAR technologija – į didelio masto teritorijų erdvinį modeliavimą.

Pagrindinis antžeminio lazerinio skenavimo pranašumas – itin didelis geometrinis tikslumas, leidžiantis tiksliai nustatyti konstrukcijų deformacijas, nuokrypius ar neatitikimus projektiniams sprendiniams. Tai ypač aktualu pastatų rekonstrukcijos ar sudėtingų statinių statybos etapuose, kai būtina įvertinti esamos būklės tikslumą prieš atliekant tolesnius darbus. Vis dėlto šio metodo taikymą riboja tiesioginio matavimo principas: objektai, esantys už skenerio matymo zonos ribų, lieka neužfiksuoti („aklosios zonos“), todėl būtina kruopščiai suplanuoti matavimo stočių išdėstymą.

1 paveiksle pavaizduotas antžeminio lazerinio skenavimo veikimo principas iliustruoja šį apribojimą: lazerio impulsai fiksuoja tik tuos paviršius, kurie yra tiesioginio matavimo zonoje. Tai paaiškina, kodėl matuojant sudėtingos geometrijos objektus būtina sujungti duomenis iš kelių skenavimo stočių, o tai didina darbų apimtį ir duomenų apdorojimo sudėtingumą.

LiDAR technologija, priešingai, išsiskiria gebėjimu efektyviai rinkti duomenis dideliuose plotuose ir esant sudėtingam reljefui. Dėl lazerio impulsų savybės prasiskverbti pro augmeniją ši technologija leidžia tiksliai nustatyti žemės paviršių net tankiai apaugusiose teritorijose, kur fotogrametrijos metodai dažnai neefektyvūs. Šis aspektas iliustruojamas 2 paveiksle, kuriame pavaizduotas LiDAR veikimo metodas ir impulsų sklaidimas per augalinę dangą.

Lyginant LiDAR ir antžeminį lazerinį skenavimą matyti, kad šie metodai nekonkuruoja tiesiogiai, o papildo vienas kitą. Antžeminis lazerinis skenavimas užtikrina didžiausią detalumą ir tikslumą matuojant konkrečius objektus, tačiau jis nėra efektyvus analizuojant dideles teritorijas. Savo ruožtu LiDAR leidžia greitai surinkti erdvinis duomenis dideliuose plotuose ir sudėtingomis aplinkos sąlygomis, tačiau jos taškų tankis bei detalumas paprastai yra mažesni nei antžeminio skenavimo, o įrangos ir duomenų apdorojimo sąnaudos – didesnės.



2 pav. LiDAR veikimo metodas

Šaltinis: parengta pagal G. Mandlbürger (2025).

Be to, LiDAR matavimai gali būti atliekami nepriklausomai nuo natūralaus apšvietimo, todėl ši technologija yra tinkama dirbant ir nepalankiomis apšvietimo sąlygomis (Geo-Plus, n. d.).

2. Duomenų rinkimo tikslumą lemiantys veiksniai

Analizuojant dronų fotogrametriją, antžeminį lazerinį skenavimą ir LiDAR technologijas nustatyta, kad duomenų tikslumą lemia ne tik pasirinkta technologija, bet ir jos pritaikymo tinkamumas konkrečioms sąlygoms. Dronų fotogrametrija pasižymi dideliu vizualiniu informatyvumu, tačiau yra jautriausia apšvietimo, oro sąlygų ir matomumo apribojimams. Dėl šios

priežasties ją taikant sudėtingose ar miškingose vietovėse dažnai atsiranda reikšmingų tikslumo paklaidų.

Antžeminis lazerinis skenavimas šiuos apribojimus sušvelnina, tačiau išryškėja kitas aspektas – ribota aprėptis ir priklausomybė nuo matymo kampų. Dėl šios priežasties, nors minėtas metodas yra itin tikslus, jis nėra optimalus tiriant didelio masto teritorijas.

LiDAR technologija šiame kontekste užima tarpinę poziciją: ji yra ne tokia priklausoma nuo apšvietimo ir augmenijos, tačiau jautresnė meteorologinėms sąlygoms ir pasižymi didesnėmis sąnaudomis. Todėl praktikoje technologijos pasirenkamos ne pagal jų „pažangumą“, o atsižvelgiant į konkretaus inžinerinio uždavinio reikalavimus. Šie aspektai apibendrinami toliau pateikiamame technologijų palyginime (1 lentelė).

Apibendrinant galima teigti, kad nė viena technologija nėra universali. Dronų fotogrametrija leidžia gauti detalius ir vizualiai informatyvius duomenis, tačiau yra jautri aplinkos veiksniams: apšvietimui, oro sąlygoms bei matomumo apribojimams. Antžeminiai skeneriai pasižymi itin dideliu geometrinu tikslumu, tačiau jų taikymas priklauso nuo matymo kampų ir reikalauja kruopštaus matavimo stočių planavimo. LiDAR technologija išsiskiria gebėjimu tiksliai fiksuoti reljefą sudėtingose ir miškingose teritorijose, tačiau jos taikymą riboja didelės įrangos ir duomenų apdorojimo sąnaudos. Toliau pateikiamas dronų, skenerių ir LiDAR technologijų palyginimas (1 lentelė).

1 lentelė. Dronų, skenerių ir LiDAR technologijų palyginimas

Šaltinis: sudaryta autorių.

Rodikliai	Dronų fotogrametrija	Antžeminis skenavimas	LiDAR
Tikslumas	Horizontalus ~2-5 cm, Vertikalus ~3-8 cm	1-3 mm	Nuo 1-5 cm iki 3-10 mm
GPS/GNSS naudojimas	GPS naudojimas labai pagerina tikslumą; be jų – tikslumas sumažėja	GPS nebūtinai, bet gali būti naudojamas orientacijai	GPS labai svarbus tikslumui
Matavimo laikas	Greitas, gali apskristi didelę teritoriją per kelias valandas	Lėtas, ypač dideliems objektams	Greitas, gali nusukti ar nuskenuoti didelius plotus per kelias valandas
Pagrindiniai privalumai	Greita duomenų rinkimo sparta; tinka plačiai teritorijai; priinama įrangos kaina	Labai tikslus, detalus modelis; gerai naudoti sudėtingiems objektams	Tikslus net sudėtingoje aplinkoje; gali „prasiskverbti“ per augmeniją; greitas tankus taškų debesis
Pagrindiniai trūkumai	Tikslumas priklauso nuo GPS; jautri apšvietimui ir šešėliams; silpna detalizacija lyginant su LiDAR	Lėtas matavimas; apribotas pasiekiamumas; brangus įrenginių komplektas	Monochrominis duomenų formatas; jautrus paviršiaus savybėms; priklauso nuo GPS/GNSS ir IMU kokybės, brangus įrenginių komplektas

Išvados

1. Nustatyta, kad dronų fotogrametrijos, antžeminio lazerinio skenavimo ir LiDAR technologijų matavimo tikslumas reikšmingai priklauso nuo aplinkos sąlygų, matavimo metodikos ir georeferencijos kokybės, todėl nė viena iš technologijų negali būti laikoma universalia.
2. Dronų fotogrametrija yra efektyvi tiriant didelio masto teritorijas ir renkant vizualinę informaciją, tačiau jos tikslumas mažėja esant nepalankioms apšvietimo sąlygoms arba nepakankamam kontrolinių taškų skaičiui.
3. Antžeminis lazerinis skenavimas užtikrina didžiausią geometrinį tikslumą, todėl yra tinkamiausias sudėtingų objektų bei konstrukcijų matavimams, tačiau šis metodas reikalauja kruopštaus stočių planavimo ir nėra našus analizuojant didelius plotus.
4. LiDAR technologija leidžia patikimai rinkti reljefo duomenis sudėtingomis sąlygomis (pvz., tankioje augmenijoje), tačiau jos taikymą riboja didelės įrangos bei duomenų apdorojimo sąnaudos ir griežti reikalavimai GNSS/IMU sistemų tikslumui.
5. Nustatyta, kad integruotas dronų fotogrametrijos, antžeminio lazerinio skenavimo ir LiDAR metodų taikymas leidžia pasiekti didesnę bendrą matavimų tikslumą bei duomenų patikimumą, palyginti su pavieniu šių technologijų naudojimu.

Literatūra

Aeroviews. (b. m.). *LiDAR vs Photogrammetry: Accuracy, cost and use cases*. Žiūrėta per <https://aeroviews.co/blog/lidar-vs-photogrammetry/>

Airborne LiDAR: A Tutorial for 2025 – Part I: LiDAR basics. (2024, gruodžio 30). Žiūrėta per <https://lidarmag.com/2024/12/30/airborne-lidar-a-tutorial-for-2025/>

Alytusplius. (2025, spalio 28). *Ar Lietuva pasiruošusi dronų logistikai: pirmieji bandymai ir realijos*. Žiūrėta per <https://alytusplius.lt/blog/2025/10/28/ar-lietuva-pasiruosusi-dronu-logistikai-pirmieji-bandymai-ir-realijos/>

Apstatyba.lt. (b. m.). *Dronai – LiDAR ar fotogrametrija?* Žiūrėta per <https://apstatyba.lt/specialistu-patarimai/dronai-lidar-ar-fotogrametrija>

Astashina, O. (2020). *Сравнение метода фотограмметрии и сканирования LiDAR в беспилотных технологиях*. Žiūrėta per <https://dji-blog.ru/naznachenie/geodesia/sravnienie-metoda-fotogrammetrii-i-skanirovanija-lidar-v-bespilotnyh-tehnologijah.html>

Crosby, C. (b. m.). *Terrestrial laser scanning principles*. UNAVCO / SDSC. Žiūrėta per https://cloud.sdsc.edu/v1/AUTH_opentopography/www/shortcourses/VISES_JPN13/TLSPrinciples_Crosby.pdf

Emlid. (b. m.). *Photogrammetry vs. LiDAR accuracy in RTK drone mapping*. Žiūrėta per <https://blog.emlid.com/photogrammetry-vs-lidar-accuracy-in-rtk-drone-mapping/>

Geo-Plus. (b. m.). *LiDAR or Photogrammetry? Everything you need to know*. Žiūrėta per <https://geo-plus.com/ru/lidar-or-photogrammetry-everything-you-need-to-know/>

GIM International. (b. m.). *Terrestrial laser scanning – how it works and what it does*. Žiūrėta per <https://www.gim-international.com/content/article/terrestrial-laser-scanning-2>

GPS partneris. (b. m.). *Dronai: LiDAR ar fotogrametrija? Viskas, ką reikėtų žinoti*. Žiūrėta per <https://gpspartneris.lt/dronai-lidar-ar-fotogrametrija-viskas-ka-reiktu-zinoti/>

Statybų apžvalga. (b. m.). *Statybiniai dronai: kaip jie keičia matavimų ir kontrolės procesą?* Žiūrėta per <https://statybuapzvalga.lt/%f0%9f%9a%81-statybiniai-dronai-kaip-jie-keicia-matavimu-ir-kontroles-procesa/>.

DRONE AND SCANNING TECHNOLOGIES

IGNAS FIODOROVAS¹, NATALIJA AUGŪNIENĖ¹

*¹Vilniaus Kolegija | Higher Education Institution, Faculty of Civil Engineering,
Department of Civil Engineering, Antakalnio g. 54, Vilnius*

Summary: This paper analyzes the application of drones, 3D scanners, and LiDAR technologies in engineering measurements. The relevance of the study is determined by the growing need to obtain spatial data quickly and accurately for design, construction activities, and infrastructure maintenance. The main problem is ensuring data accuracy and quality, as measurement results may vary depending on the technology used, environmental conditions, and applied methods. The article examines the possibilities of applying drones, 3D scanners, and LiDAR, evaluating their measurement methods and data accuracy. The study discusses the advantages and disadvantages of these technologies, analyzes the factors affecting accuracy, and presents a comparison among them. The obtained results help to understand in which cases drones, 3D scanners, and LiDAR systems are the most effective, as well as the challenges that arise in ensuring measurement accuracy and reliability.

Key words: drones, 3D scanners, LiDAR, measurements, data accuracy, photogrammetry.

RENOVACIJOS POVEIKIS DAUGIABUČIŲ PASTATŲ ENERGINIAM EFEKTYVUMUI: LYGINAMOJI ANALIZĖ

GABIJA KUČINSKAITĖ¹

¹Vilniaus kolegija, Statybos fakultetas, Statybos inžinerijos katedra,
Antakalnio g. 54, Vilnius

Anotacija. Straipsnyje analizuojamas konkretaus Vilniuje esančio daugiabučio namo renovacijos poveikis energiniam efektyvumui, t. y. lyginamos energijos sąnaudos prieš renovaciją ir po jos. Taip pat vertinamas skirtumas tarp teorinių ir faktinių energijos sąnaudų. Tyrimo tikslas – įvertinti renovacijos poveikį energijos suvartojimui konkrečiame daugiabutyje. Tyrimas atliktas taikant lyginamosios analizės metodą. Rezultatai atskleidė reikšmingą šilumos energijos sąnaudų sumažėjimą po pastato atnaujinimo, tačiau kartu pastebėtas neatitikimas tarp teorinių ir faktinių rodiklių. Faktiškai pasiekiamas energijos sutaupymas neatitinka energinio naudingumo sertifikate numatytų teorinių sąnaudų, kurios remiantis apskaičiavimais turėtų siekti 82,12 kWh/m²/metus. Tikrosios sąnaudos po vienu metų siekė 50,22 kWh/m²/metus (38,85 % skirtumas), o po dvejų – 64,64 kWh/m²/metus (21,29 % skirtumas). Tokį nuokrypį gali lemti gyventojų elgsena, mikroaplinkos sąlygos bei projektavimo ir realaus įgyvendinimo neatitikimai.

Reikšminiai žodžiai: renovacija, daugiabučiai, modernizacija, energinis efektyvumas, energijos sąnaudos.

Įvadas

Didžioji dalis Lietuvos daugiabučių buvo pastatyti tuo metu, kai galiojo visiškai kitokie statybos reikalavimai nei šiandien. Šių pastatų konstrukcijos buvo projektuojamos pagal tuometinius minimalius reikalavimus, todėl jų išorinių atitvarų šiluminės varžos charakteristikos yra prastos ir neatitinka šiuolaikinių normatyvų.

Dėl šių priežasčių daugumos senų daugiabučių energinis efektyvumas yra žemas. Tokie pastatai šildymo sezonu sunaudoja kelis kartus daugiau energijos nei A ar A++ klasės pastatai. Didelės energijos sąnaudos lemia dideles šildymo išlaidas gyventojams. Kadangi didelė dalis šios energijos gaunama iš neatsinaujinančių šaltinių, nerenovuoti daugiabučiai didina šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisiją bei miestų oro taršą.

Tyrimo problema – teorinių ir faktinių energijos sąnaudų skirtumas konkrečiame daugiabutyje prieš renovaciją ir po jos. Tokie skirtumai rodo galimą neatitikimą tarp projektinių sprendinių ir realių eksploatacinių rezultatų, todėl jų analizė yra svarbi vertinant renovacijos efektyvumą.

Tyrimo objektas – daugiabučių namų renovacija.

Tyrimo tikslas – taikant lyginamosios analizės metodą įvertinti renovacijos poveikį konkretaus daugiabučio energijos suvartojimui.

Tyrimo metu analizuojami daugiabučių namų renovaciją lemiantys veiksniai, identifikuojant pagrindinius barjerus ir ją skatinančius aspektus. Taip pat apžvelgiama bendra renovacijos situacija Lietuvoje, įvertinant energinio naudingumo klasių pasiskirstymą ir CO₂ emisijų mažinimo potencialą. Empirinėje tyrimo dalyje atliekamas energijos suvartojimo rodiklių palyginimas prieš renovaciją ir po jos, siekiant nustatyti pasiektą pokytį ir įvertinti renovacijos efektyvumą.

1. Literatūros apžvalga

Literatūroje nurodoma, kad dauguma Lietuvos daugiabučių statyti 1961–1992 metais (tuo metu galioję statybos reikalavimai neatitinka dabartinių standartų). Taip pat pažymima, kad to laikotarpio daugiabučiai pasižymi didelėmis šilumos energijos sąnaudomis, siekiančiomis 160–180 kWh/m² per metus, todėl ši pastatų grupė dažniausiai tampa renovacijos objektu (Lietuvos Respublikos Vyriausybė, Daugiabučių namų atnaujinimo (modernizavimo) programa, 2004).

1 lentelė. Daugiabučių namai pagal statybos metus

Šaltinis: Lietuvos Respublikos Vyriausybė. Dėl Daugiabučių namų atnaujinimo (modernizavimo) programos patvirtinimo. Prieiga per internetą: 1213 Dėl Daugiabučių namų atnaujinimo (modernizavimo) programos patvirtinimo

Statybos metai	Namų skaičius	Namų skaičius	Bendrasis plotas kv. metrais	Bendrasis plotas procentais
	vienetais	procentais		
Iki 1940 m.	10 362	28,0	3 790 024	7,4
1941–1960 m.	3 740	10,0	2 259 107	4,4
1961–1992 m.	21 090	56,5	39 244 450	76,4
1993 m. ir vėliau	2 075	5,5	4 092 634	11,8
Iš viso	37 267	100	51 386 305	100

2 lentelė. Daugiabučių namų sienų medžiagos Šaltinis: Teisės aktų registras. Dėl daugiabučių namų atnaujinimo (modernizavimo) programos patvirtinimo. Prieiga per internetą: 1213 Dėl Daugiabučių namų atnaujinimo (modernizavimo) programos patvirtinimo

Sienų medžiagos	Namų skaičius	
	Vienetais	Procentais
Plytų ir blokų mūro	24 331	65
Gelžbetonio plokščių	5 502	15
Monolitinio betono	312	1
Rąstų ir kitokių konstrukcijų	7 121	19

Iš 1 ir 2 lentelių duomenų matyti, kad apie 60 % visų šalies daugiabučių buvo pastatyti per pastaruosius 60 metų, kai pagrindinės daugiabučių namų sienų medžiagos buvo plytų ir blokų mūras.

2. Renovacijos barjerai ir ją skatinantys veiksniai

Renovacijos procesas yra ilgas ir sudėtingas, o jo įgyvendinimą dažnai stabdo įvairūs barjerai. Remiantis M. Baseer, C. Ghiaus ir I. A. Kachalla (2024) straipsniu, renovacijos kliūtis galima suskirstyti į keturias grupes: socialinę, finansinę, techninę ir institucinę.

Socialinę grupę sudaro gyventojų motyvacijos stoka dėl informacijos apie energinį efektyvumą trūkumo, pasipriešinimas pokyčiams (dažniausiai pasitaikantis tarp vyresnio amžiaus žmonių) bei pasitikėjimo stoka – gyventojai dažnai abejoja renovacijos nauda ir nepasitiki rangovų įsipareigojimais.

Finansinę grupę sudaro pernelyg didelės investicinės sąnaudos.

Techninę grupę sudaro kvalifikuotų statybos specialistų trūkumas bei sudėtingas tinkamiausių renovacijos priemonių parinkimas dėl skirtingų esamų pastatų charakteristikų.

Institucinę grupę sudaro energinio audito duomenų bazių, skirtų energinio naudingumo didinimo iniciatyvoms, trūkumas (2024).

Be barjerų, egzistuoja ir veiksniai, galintys paskatinti rinktis pastatų atnaujinimą. Remiantis Lietuvos ilgalaike pastatų renovacijos strategija (2021), pagrindinės priežastys, kodėl gyventojai renkasi renovaciją, yra šios: „šildymo sąnaudų sumažėjimas, estetiškos išvaizdos pagerėjimas, komforto lygio ir turto vertės padidėjimas. Ypatingas dėmesys turėtų būti skirtas kritinės būklės daugiabučių pastatų (pavyzdžiui, kai kiauras stogas, krenta sienų apdaila ar plytos, yra susilpnėjusios konstrukcijos balkonų ar stogelių)

modernizavimui, taip siekiant ne tik išvengti nelaimingų atsitikimų, bet ir prailginti pastatų gyvavimo ciklą.“

3. Pastato energijos vartojimo neatitikimas

Teorinės energijos sąnaudos pagal STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“ apibrėžiamos kaip pastato (jo dalies) skaičiuojamosios energijos sąnaudos – tai pagal Reglamento reikalavimus apskaičiuoti energijos kiekiai, atitinkantys standartinės pastato naudojimo sąlygas. Vadinasi, tai yra idealizuoti rodikliai, kurie, kaip rodo tyrimai, dažnai neatitinka faktinių energijos sąnaudų. Šis skirtumas tarp teorinių ir faktinių verčių literatūroje įvardijamas kaip BEPG (angl. *building energy performance gap*) – pastato energinio naudingumo atotrūkis.

Analizuodami teorinių ir faktinių sąnaudų neatitikimą, Putte, Steeman ir Janssens (2025) pabrėžia, kad energijos poreikis patalpų šildymui dažnai įvertinamas nepakankamai. Jų tyrimo duomenimis, net 68 % visų tirtų butų atvejų faktinis energijos suvartojimas yra bent du kartus didesnis nei teorinė projekcinė vertė. Autoriai tai aiškina reglamentuotame vertinimo metode daromomis prielaidomis dėl didelių vidinių šilumos prieaugių ir žemos vidutinės vidaus temperatūros. Taip pat nurodoma, kad tam įtakos gali turėti išoriniai veiksniai (pavyzdžiui, laisvi gretimi butai arba kaimynai, palaikantys itin aukštą temperatūrą), tačiau dar svarbesnį vaidmenį atlieka gyventojų elgsena: pasirinkta patalpų temperatūra, šildymo trukmė bei patalpų vėdinimo įpročiai. Galiausiai fiksuojamas reikšmingas atotrūkis tarp realios vidinės temperatūros ir tos vertės, kuri naudojama šilumos nuostoliams skaičiuoti (Putte, Steeman ir Janssens, 2025).

Nenusipėjimą gyventojų elgseną analizuoja ir Shi su bendraautorais (2019). Jų tyrime teigiama, kad gyventojų elgseną gali veikti tiek aplinkos sąlygos, tiek psichologiniai motyvai ar socialiniai veiksniai. Tačiau, autorių nuomone, tai nėra vienintelė priežastis, lemianti sąnaudų skirtumus. Kitas svarbus veiksnys – mikroaplinka. Akcentuojama, kad realybėje pastatai funkcionuoja specifinėmis mikroklimato sąlygomis, kurios neretai skiriasi nuo standartinių klimato duomenų.

Pavyzdžiui, pastatas miesto centre, apsuptas įvairių formų ir aukščių statinių, patiria kitokį aplinkos poveikį (saulės spinduliuotę, vėjo greitį, oro temperatūrą) nei rodikliai, matuojami

artimiausioje meteorologijos stotyje, dažnai nutolusioje per kelis ar net keliolika kilometrų. Kadangi kiekvienas pastatas yra unikaliuoje mikroaplinkoje, sunku vienareikšmiškai įvertinti skirtumą tarp standartinių stoties duomenų ir konkrečios vietovės sąlygų. Vis dėlto šis nuokrypis yra realus ir tiesiogiai prisideda prie BEPG (energinio naudingumo atotrūkio) atsiradimo. Dar viena šiame tyrime minima atotrūkio priežastis – projektavimo ir realaus įgyvendinimo neatitiktis. Tai reiškia, kad tam tikros pastato dalys nebuvo įrengtos pagal numatytus projektinius sprendimus. Tokius nuokrypius gali lemti įvairios priežastys: netinkamas projektavimas, neišvengiami statybos neaiškumai, o kartais ir aplaidumas. Vis dėlto autoriai pabrėžia, kad tokios situacijos paprastai yra riboto masto – itin retai didžioji pastato dalis pastatoma iš esmės nesilaikant projekto (Shi ir kt., 2019).

4. Daugiabučių namų renovacijos efektyvumas

Moksliniai tyrimai rodo, kad daugiabučių renovacija yra viena efektyviausių priemonių energijos poreikiui mažinti ir energiniam efektyvumui didinti.

A. Prozuments, A. Borodinecs, S. Zaharovs, K. Banionis, E. Monstvilas ir R. Norvaišienė (2023) atliktas tyrimas atskleidė, kad 13-oje pasirinktų Latvijos daugiabučių po renovacijos vidutinės energijos sąnaudos patalpų šildymui sumažėjo nuo 151,34 kWh/m² iki 74,78 kWh/m². Taigi šiluminės energijos sąnaudos šildymui sumažėjo net 50,59 %.

Panašūs rezultatai gauti ir Lietuvoje atliktame tyrime (Chandrasekaran ir kt., 2021). Nustatyta, kad renovuoti daugiabučiai, lyginant su nerenovuotais, sutaupo apie 20 % metinės šildymo energijos. Be to, sumažėjo energijos suvartojimas karštam vandeniui ruošti, o viename iš renovuotų daugiabučių, kuriame papildomai įdiegtos atsinaujinančios energijos priemonės, sutaupymai siekė atitinkamai 32 % ir 72 % (Chandrasekaran, Dvarioniene, Vitkute, & Gecevicus, 2021).

Apibendrinant galima teigti, kad mokslinė literatūra patvirtina reikšmingą daugiabučių renovacijos poveikį energijos sąnaudų mažinimui. Tačiau daugumoje tyrimų pateikiami tik trumpalaikiai rezultatai (paprastai vieneri metai prieš renovaciją ir po jos), todėl sudėtinga įvertinti, ar pasiektas energinis sutaupymas išlieka stabilus ilgalaikėje perspektyvoje. Be to,

dažniausiai lyginami tik faktiniai duomenys, o teorinės reikšmės lieka neanalizuotos.

Atsižvelgiant į tai, šiame tyrime pasirinkta analizuoti konkretaus daugiabučio šilumos energijos sąnaudas 1–2 metus prieš renovaciją ir po jos. Toks požiūris leidžia ne tik palyginti teorinius ir faktinius rodiklius, bet ir objektyviau įvertinti realų renovacijos poveikį pastato energiniam efektyvumui.

5. Metodologija

Tyrimui atlikti taikytas lyginamosios analizės metodas, siekiant nustatyti renovacijos poveikį pastato energijos suvartojimui.

Tyrimo pagrindu pasirinkta naujausia Aplinkos projektų valdymo agentūros (APVA) 2024 m. ataskaita, kurioje pateikta atnaujintų daugiabučių namų energinio audito ir įgyvendintų priemonių ekspertizė. Atliekant šią ekspertizę buvo analizuojami 10 Lietuvos daugiabučių, modernizuotų pagal daugiabučių namų atnaujinimo (modernizavimo) programą.

Detalesnei analizei pasirinktas vienas iš dešimties objektų – tipinis literatūros analizės skyriuje minėto laikotarpio mūrinis daugiabutis, esantis Vilniuje, Peteliškių gatvėje.

Vilniuje esantis pastatas pasirinktas dėl kelių priežasčių. Remiantis daugiabučių namų renovacijos žemėlapiu duomenimis, būtent sostinėje yra didžiausias renovacijos potencialą turinčių pastatų skaičius – 5 159. Nors šiuo metu čia atnaujinta tik 7 % daugiabučių, Vilnius kartu yra ir daugiausiai renovacijos projektų įgyvendinęs miestas (361 pastatas).

3 lentelė. Tyrimo objekto techniniai duomenys
Šaltinis: sudaryta autorės, remiantis APVA
2024 m. ataskaita apie atnaujintus (modernizuotus)
daugiabučių namus.

Parametras	Duomenys
Adresas	Peteliškių g. 6, Vilnius
Statybos metai	1978 m.
Butų skaičius	22
Bendrasis plotas	1527,05 m ²
Aukštų skaičius	5
Pastato tipas (konstrukcija)	Plytų mūras, šiltintas 150 mm mineraline vata ir 30 mm priešvėjinė vata, vėdinamas fasadas
Energinio naudingumo klasė (iki renovacijos)	D

Analizei pasirinkti šie pagrindiniai pastato energinio naudingumo rodikliai:

1. Energinio naudingumo klasė (prieš renovaciją ir po jos).
2. Teorinės energijos sąnaudos patalpų šildymui, kWh/m² per metus (prieš renovaciją ir po jos).
3. Faktinės energijos sąnaudos patalpų šildymui dveji metai iki renovacijos (kWh/m² per metus).
4. Faktinės energijos sąnaudos patalpų šildymui vieneri metai iki renovacijos (kWh/m² per metus).
5. Faktinės energijos sąnaudos patalpų šildymui pirmaisiais metais po renovacijos (kWh/m² per metus), perskaičiuotos norminiams metams.
6. Faktinės energijos sąnaudos patalpų šildymui antraisiais metais po renovacijos (kWh/m² per metus), perskaičiuotos norminiams metams.

6. Rezultatai

Atlikta šio konkretaus daugiabučio lyginamoji analizė patvirtina, kad renovacija iš esmės prisidėjo prie pastato energinio naudingumo didinimo: energinio naudingumo klasė pakilo iš D į B. Lyginant dvejų metų iki renovacijos ir dvejų metų po jos duomenis, faktinės šildymo sąnaudos sumažėjo nuo 108,05 iki 50,22 kWh/m² per metus (sutaupyta 53,5 %). Lyginant vienerių metų prieš renovaciją ir po jos rodiklius, sąnaudos krito nuo 119,65 iki 64,67 kWh/m² per metus (46 %).

4 lentelė. Tyrimo objekto energinio naudingumo rodikliai iki modernizavimo ir po jo
Šaltinis: sudaryta autorės, remiantis APVA 2024 m. ataskaita apie atnaujintus (modernizuotus) daugiabučius namus.

Rodiklis	Prieš re- novaciją	Po reno- vacijos
Energinio naudingumo klasė	D	B
Teorinės energijos sąnaudos patalpų šildymui, kWh/m ² per metus	236,00	82,12
Faktinės sąnaudos patalpų šildymui (dveji metai iki renovacijos), kWh/m ² per metus	108,05	-
Faktinės sąnaudos patalpų šildymui (vieneri metai iki renovacijos), kWh/m ² per metus	119,65	-

Rodiklis	Prieš re- novaciją	Po reno- vacijos
Faktinės sąnaudos sąnaudos patalpų šildymui (pirmieji metai po renovacijos)*, kWh/m ² per metus	-	50,22
Faktinės sąnaudos sąnaudos patalpų šildymui (antrieji metai po renovacijos)*, kWh/m ² per metus	-	64,67

* Perskaičiuota norminiams metams.

Vis dėlto tyrimas atskleidė reikšmingų teorinių ir faktinių rodiklių neatitikimų. Energinio naudingumo sertifikate buvo numatyta, kad teorinės energijos sąnaudos sieks 82,12 kWh/m² per metus. Tačiau realybėje pirmaisiais metais po atnaujinimo jos buvo 38,85 % mažesnės (50,22 kWh/m²), o antraisiais – 21,29 % mažesnės (64,67 kWh/m²) už projekte numatytą vertę.

7. Diskusija ir išvados

Atliktas tyrimas atskleidė reikšmingą šilumos energijos sąnaudų sumažėjimą po daugiabučio namo renovacijos, tačiau kartu išryškino akivaizdžius skirtumus tarp teorinių ir faktinių rodiklių. Tokie neatitikimai patvirtina renovacijos efektyvumą, bet kartu rodo praktikoje taikomos pastatų energinio vertinimo metodikos ribotumą. Galima daryti išvadą, kad teoriniai skaičiavimai ne visuomet tiksliai atspindi realų energijos suvartojimą, todėl būtina tobulinti vertinimo modelius, ypač didelį dėmesį skiriant tokiems veiksniams kaip gyventojų elgsena.

Nors vieno konkretaus daugiabučio analizė leidžia išsamiai įvertinti renovacijos poveikį, gautų rezultatų negalima apibendrinti visam pastatų fondui, kadangi kiekvienas objektas yra unikalus, o jame įgyvendinamos renovacijos priemonės gali skirtis. Ateityje tikslinga atlikti platesnės apimties tyrimus, apimančius skirtingų tipų pastatus bei įvertinančius įvairias modernizavimo priemones. Taip pat rekomenduojama pasirinkti ilgesnį stebėjimo laikotarpį, kad galima būtų nustatyti, ar energijos sutaupymas išlieka stabilus ilgalaikėje perspektyvoje.

Literatūra

12str./Lietuvos Respublikos transporto veiklos pagrindų įstatymas. (2024). Nuskaityta iš <https://www.infolex.lt/teise/DocumentSinglePart.aspx?Aktold=78302&StrNr=12>

- Baseer, M., Ghiaus, C., & Kachalla, I. A. (2024). An Overview of Barriers and Potential Solutions for Energy Renovation of Existing Buildings. Nuskaityta iš <https://research.ebsco.com/c/q3he5j/viewer/pdf/qah55vaohn>
- Calais-dover.com. (2025). Nuskaityta iš <https://calais-dover.com/calais-port/>
- Chandrasekaran, V., Dvarioniene, J., Vitkute, A., & Gecevicus, G. (2021). Environmental Impact Assessment of Renovated Multi-Apartment Building Using LCA Approach: Case Study from Lithuania. *Sustainability*, 13. Nuskaityta iš <https://doi.org/10.3390/su13031542>
- Čižiūnienė, K., Matijošius, J., Sokolovskis, E. ir Balevičiūtė, J. (2024). *Assessment of Implementing Green Logistics Principles in Railway Transport: The Case of Lithuania. Tvarumas 2024*, 16 (7), 2716. Nuskaityta iš https://www.mdpi.com/2071-1050/16/7/2716?utm_source=chatgpt.com
- dgt-duisburg.de. (2025). Nuskaityta iš https://dgt-duisburg.de/en/?utm_source
- Europos Audito Rūmai. (2023). *Specialioji ataskaita. Įvairiarūšis krovinių vežimas*. (2023). Nuskaityta iš <https://op.europa.eu/webpub/eca/special-reports/intermodal-freight-transport-08-2023/lt/>
- gov.uk. (2024). Nuskaityta iš <https://www.gov.uk/guidance/international-rail-freight-uk-border-requirements-and-processes>
- Kaunas.lt. (2024). Nuskaityta iš Infrastruktūra: <https://kaunas.lt/infrastruktura/>
- Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija. (2016). *STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“*. Nuskaityta iš <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/2c182f10b6bf11e6aae49c0b9525cbbb/asr>
- Lietuvos Respublikos Vyriausybė. (2004). Daugiabučių namų atnaujinimo (modernizavimo) programa. Nuskaityta iš <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.AE67B6739526/dBEeXhOxXG>
- Lietuvos Respublikos Vyriausybė. (2021). *Lietuvos ilgalaikė renovacijos strategija*. Nuskaityta iš <https://am.lrv.lt/lt/veiklos-sritys-1/statybos-ir-bustas/statyba-ir-bustas/ilgalaike-renovacijos-strategija/>
- lognet.lt. (2024). Nuskaityta iš <https://lognet.lt/lt/multimodaliniai-pervezimai.html>
- ltginfra.lt. (2024). Nuskaityta iš <https://ltginfra.lt/paslaugos/terminalu-valdymas-ir-pletra/terminalai/kaunas/>
- Prozuments, A., Borodinecs, A., Zaharovs, S., Banionis, K., Monstvilas, E., & Norvaišienė, R. (2023). Evaluating Reduction in Thermal Energy Consumption across Renovated Buildings in Latvia and Lithuania. *Sustainability*, 14. Nuskaityta iš <https://doi.org/10.3390/buildings13081916>
- Putte, S. V., Steeman, M., & Janssens, A. (2025). The Building Energy Performance Gap in Multifamily Buildings: A Detailed Case Study Analysis of the Energy Demand and Collective Heating System. *Sustainability*, 21-28. Nuskaityta iš <https://doi.org/10.3390/su17010252>
- Railana.com. (2024). Nuskaityta iš <https://railana.com/multimodaliniai-kroviniu-pervezimai/>
- Shi, X., Si, B., Zhao, J., Tian, Z., Wang, C., Jin, X., & Zhou, X. (2019). Magnitude, Causes, and Solutions of the Performance Gap of Buildings: A Review. *Sustainability*, 10-12. Nuskaityta iš <https://doi.org/10.3390/su11030937>
- Theaa.com. (2025). Nuskaityta iš <https://www.theaa.com/route-planner/route?from=%20Utenos%20g.%2041B,%20Vilnius,%2008217%20Vilniaus%20m.%20sav.%20%20&to=62100%20Calais,%20France>
- timocom.lt. (2024). Nuskaityta iš <https://www.timocom.lt/lexicon/transporto-%C5%BEodynas/terminalas>
- transkespedicija.lt. (2024). Nuskaityta iš <https://transekspedicija.lt/straipsniai/multimodaliniai-ir-intermodaliniai-pervezimai/>
- Vyriausybė, L. R. (2004). nutarimas dėl daugiabučių namų atnaujinimo (modernizavimo).
- Xing Shi, B. S. (2019). Magnitude, Causes, and Solutions of the Performance Gap of Buildings: A Review.

THE IMPACT OF RENOVATION ON THE ENERGY EFFICIENCY OF MULTI-APARTMENT BUILDINGS: A COMPARATIVE ANALYSIS

GABIJA KUČINSKAITĖ¹

*¹Vilniaus Kolegija | Higher Education Institution, Faculty of Civil Engineering,
Department of Civil Engineering, Antakalnio g. 54, Vilnius*

Summary: The article presents the impact of the renovation of one specific apartment building in Vilnius on energy efficiency, i.e. the energy consumption before and after the renovation, as well as the difference between theoretical and actual energy consumption. The aim of the study is to assess the impact of renovation on energy consumption in a specific apartment building. The study was conducted using a comparative analysis method, comparing energy consumption before and after the renovation. The results of the study showed a significant decrease in heat energy consumption after the renovation of the apartment building, but a discrepancy between theoretical and actual energy consumption was also observed. The energy savings actually achieved do not correspond to the theoretical energy consumption provided for in the energy performance certificate, which according to calculations should reach 82.12 kWh/m²/year, while in reality after one year it reached 50.22 kWh/m²/year (38.85%), and after two years – 64.64 kWh/m²/year (21.29%). This difference may be due to the behavior of residents, microenvironmental conditions and "mismatch between design and actual implementation".

Key words: renovation, apartment buildings, modernisation, energy efficiency, energy consumption.

INŽINERINIŲ PASTATŲ SISTEMŲ STUDIJŲ PROGRAMOS STUDENTŲ GAMYBINĖS TECHNOLOGINĖS PRAKTIKOS KOKYBĖS VERTINIMAS

ONA MEKŠRIŪNAITĖ¹, VIRGINIJA URBONIENĖ¹

¹Vilniaus kolegija, Statybos fakultetas, Statybos inžinerijos katedra,
Antakalnio g. 54, Vilnius

Anotacija. Profesinės veiklos (gamybinė technologinė) praktika yra neatsiejama studijų proceso dalis, integruota į Inžinerinių pastatų sistemų studijų programą. Gamybinės technologinės praktikos (toliau – praktika) paskirtis – įgytas teorines žinias pritaikyti praktinėje veikloje. Šią praktiką studentai atlieka įmonėse, kurių veiklos sritis susijusi su šildymo, vėdinimo, oro kondicionavimo (ŠVOK) sistemų, vandentiekio bei nuotakyno ir kitų inžinerinių tinklų projektavimu, montavimu, valdymu bei priežiūra. Praktikos trukmė – 8 savaitės (6 kreditai). Atlikę praktiką įmonėse, studentai parengia praktikos ataskaitą, kurią vertina įmonės paskirtas praktikos koordinatorius ir kolegijos paskirtas praktikos vadovas. Siekiant užtikrinti praktikos kokybę ir glaudesnę bendradarbiavimą, kasmet vykdoma studentų anketinė apklausa ir gautų rezultatų analizė. Rezultatai aptariami su praktikų vadovais bei darbdaviais. Atsakymus į anketose pateiktus klausimus pateikė 13 studentų, iš kurių 6 nuolatinė studijų studentai ir 7 išlėstinių studijų studentai. Inžinerinių pastatų sistemų studijų programos studentai praktiką atliko dešimtyje įmonių.

Reikšminiai žodžiai: gamybinė technologinė praktika; praktikos kokybė; studentų vertinimas; profesinės kompetencijos; ŠVOK.

Įvadas

Profesinės veiklos (gamybinė technologinė) praktika yra neatsiejama studijų proceso dalis, integruota į *Inžinerinių pastatų sistemų studijų programą*.

Praktikos organizavimo principus ir jų vykdymą reglamentuoja Vilniaus kolegijos studentų praktikų organizavimo tvarkos aprašas (patvirtintas Vilniaus kolegijos akademinės tarybos 2021 m. birželio 16 d. nutarimu Nr. AT N-5; paskelbtas Vilniaus kolegijos direktoriaus 2021 m. birželio 21 d. įsakymu Nr. V-197).

Šio aprašo 3.4 punkte apibrėžiama: „Profesinės veiklos praktika – praktika, kurios metu studentai demonstruoja ir tobulina praktinius įgūdžius realiomis darbo sąlygomis, siekdami atitinkamoje studijų programoje numatytų studijų rezultatų.“

Gamybinės technologinės praktikos tikslas – įgyti praktinio darbo patirtį statybos įmonėse, veikiančiose inžinerinių sistemų projektavimo, montavimo, valdymo bei priežiūros srityse vadovaujant kvalifikuotiems specialistams.

Praktika skirta supažindinti studentus su įmonės struktūra, jos veikla, analizuoti įmonės ar jos padalinių dokumentaciją, stebėti ir dalyvauti montuojant inžinerines sistemas bei taikomas montavimo technologijas, analizuoti darbų priėmimo dokumentus, montavimo darbų vykdymo derinimą su kitais statybos darbais. Analizuojama montavimo darbų kokybės kontrolė bei darbų vertinimo metodai,

nagrinėjami darbų saugos ir gamtosaugos klausimai.

Tyrimo tikslas – įvertinti, kaip studentai vertina praktikos kokybę ir kokie aspektai lemia jos teigiamą vertinimą. Siekiant šio tikslo, darbe apibendrinama įgytų praktinių žinių ir įgūdžių kokybė, įvertinamas praktikos naudingumas ir efektyvumas bei analizuojami studentų pageidavimai ir pasiūlymai, susiję su praktikos organizavimu ir vykdymu.

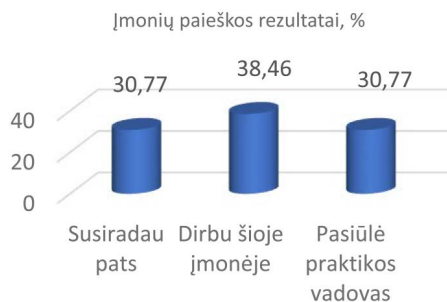
Tyrimo objektas – gamybinės technologinės praktikos vertinimas. Tyrime taikomi metodai: anketinė apklausa ir duomenų analizė.

1. Kaip suradote įmonę atlikti praktiką?

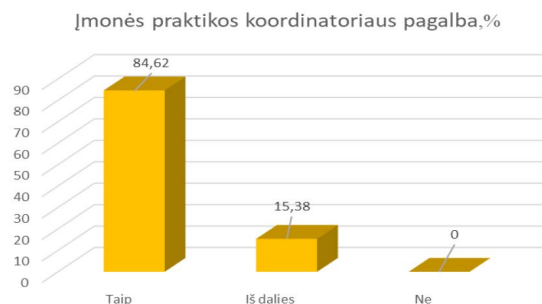
1 lentelė. Įmonės paieškos rezultatai
Šaltinis: sudaryta autorių.

Eil. nr.	Rezultatas	Studentų skaičius	Išraiška %
1	Susiradau pats	4	30,77
2	Dirbu šioje įmonėje	5	38,46
3	Pasiūlė praktikos vadovas	4	30,77

Keturiems studentams gamybinės technologinės praktikos vietą pasiūlė kolegijos praktikos vadovas (30,77 %); penki studentai praktiką atliko įmonėje, kurioje dirba pagal specialybę (38,46 %); keturi studentai praktikos vietas susirado patys (30,77 %).



1 pav. Studentų praktikos vietų paieškos rezultatai
Šaltinis: sudaryta autorių.



3 pav. Įmonės praktikos vadovo pagalba
Šaltinis: sudaryta autorių.

2. Ar buvote aprūpintas darbo priemonėmis?

2 lentelė. Aprūpinimas darbo priemonėmis praktikos metu
Šaltinis: sudaryta autorių.

Eil. nr.	Aprūpinimas darbo priemonėmis	Studentų skaičius	Išraiška %
1	Taip	13	100
2	Ne	0	0



2 pav. Aprūpinimas darbo priemonėmis
Šaltinis: sudaryta autorių

Praktikos metu visi studentai buvo aprūpinti darbo priemonėmis (100 %).

3. Ar buvo reikalinga įmonės praktikos vadovo pagalba?

3 lentelė. Įmonės praktikos koordinatoriaus pagalba
Šaltinis: sudaryta autorių.

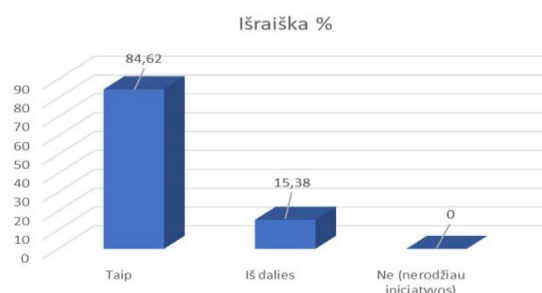
Eil. nr.	Praktikos koordinatoriaus pagalba	Studentų skaičius	Išraiška %
1	Taip	11	84,62
2	Iš dalies	2	15,38
3	Ne	0	0

Dauguma studentų (84,62 %) nurodė, kad įmonių paskirti praktikos koordinatoriai suteikė reikiamą pagalbą tiek praktikos metu, tiek rengiant ataskaitą. Visgi 15,38 % apklaustųjų pažymėjo, kad kai kurių įmonių vadovai dėl didelio užimtumo nepakankamai konsultavo studentus atliekant darbus, rengiant ataskaitą ar vertinant jų atliktas užduotis.

4. Ar praktika įmonėje atitiko jūsų lūkesčius?

4 lentelė. Praktikos lūkesčių įgyvendinimas įmonėje
Šaltinis: sudaryta autorių.

Eil. nr.	Užduočių įgyvendinimas atliekant praktiką įmonėje	Studentų skaičius	Išraiška %
1	Taip	11	84,62
2	Iš dalies	2	15,38
3	Ne (nerodžiau iniciatyvos)	0	0



4 pav. Praktikos lūkesčių įgyvendinimas įmonėje
Šaltinis: sudaryta autorių.

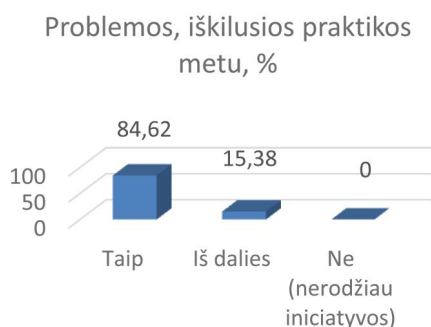
Dauguma apklaustųjų (84,62 %) teigė, kad praktikos užduotys buvo suderintos su įmone

(pagal 1-ąją praktikos sutarties priedą) ir sėkmingai įgyvendintos. Studentų teigimu, jų lūkesčiai buvo išpildyti dėl tinkamai pasirinktos įmonės bei jos veiklos srities.

5. Ar praktikos metu buvo kilę problemų?

5 lentelė. Problemos, kilusios praktikos metu
Šaltinis: sudaryta autorių.

Eil. nr.	Problemos, kilusios praktikos metu	Studentų skaičius	Išraiška %
1	Taip	1	7,70
2	Iš dalies	2	15,38
3	Ne	10	76,92



5 pav. Problemos, kilusios įmonėje praktikos metu
Šaltinis: sudaryta autorių

Problemos, su kuriomis studentai susidūrė praktikos metu įmonėse, yra neesminės: pavyzdžiui, laikinai pakeista darbo vieta arba dėl didelio praktikos koordinatoriaus užimtumo ne visada pavykę gauti atsakymus į užduotus klausimus.

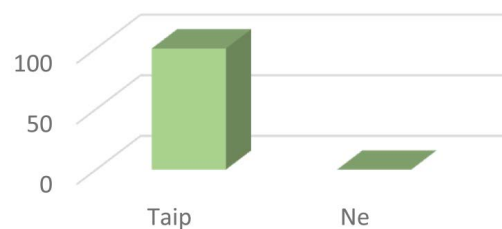
6. Ar praktikos metu įmonėje įgytos žinios buvo naudingos?

6 lentelė. Praktikos metu įgytų žinių naudingumas
Šaltinis: sudaryta autorių

Eil. nr.	Įgytų praktinių žinių nauda	Studentų skaičius	Išraiška %
1	Taip	13	100
3	Ne	0	0

Praktikos metu įmonėse atliktų darbų pobūdis ir jų nauda tolesnėms studijoms 100 % atitiko būsimą *Inžinerinių pastatų sistemų* programos studentų profesiją.

Įgytų praktinių žinių nauda, %



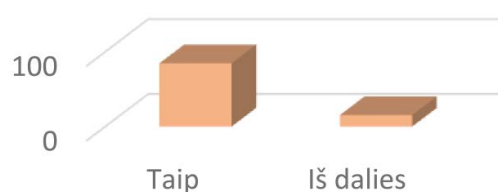
6 pav. Praktikos metu įgytos profesinės žinios
Šaltinis: sudaryta autorių

7. Ar Jums buvo suteikta visa reikiama informacija rengiant praktikos ataskaitą?

7 lentelė. Informacijos suteikimas rengiant praktikos ataskaitą
Šaltinis: sudaryta autorių.

Eil. nr.	Suteikta informacija praktikos ataskaitai	Studentų skaičius	Išraiška %
1	Taip	11	84,62
2	Iš dalies	2	15,38

Suteikta informacija praktikos ataskaitai, %



7 pav. Suteikta informacija praktikos ataskaitos rengimui
Šaltinis: sudaryta autorių.

Dauguma respondentų (84,62 %) pažymėjo, kad rengiant gamybinės technologinės praktikos ataskaitą buvo aiškiai nurodytos svarbiausios nagrinėtinos temos. Be to, rengdami ataskaitas studentai papildomai konsultavosi su įmonių praktikos koordinatoriais. Du studentai (15,38 %) nurodė, kad rengiant ataskaitą jiems pritrūko laiko informacijos šaltinių paieškai.

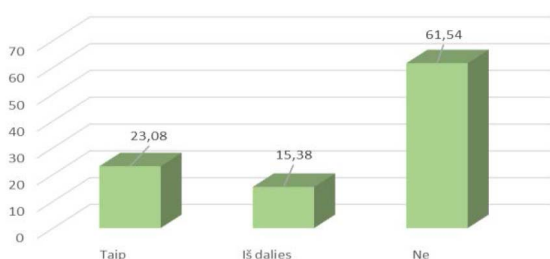
8. Ar teikėte pasiūlymus praktikos koordinatoriui dėl praktikos eigos?

8 lentelė. Siūlymai, pateikti praktikos koordinatoriui

Šaltinis: sudaryta autorių.

Eil. nr.	Pateikti siūlymai	Studentų skaičius	Išraiška %
1	Taip	3	23,08
2	Iš dalies	2	15,38
3	Ne	8	61,54

Pateikti siūlymai, %



8 pav. Studento pateikti pasiūlymai įmonės praktikos koordinatoriui

Šaltinis: sudaryta autorių.

Studentai pasiūlė labiau detalizuoti (konkretizuoti) užduotis, skirtas atlikti darbo vietoje, suteikti daugiau laiko užduočiai atlikti.

9. Ar baigę studijas pageidautumėte dirbti įmonėje, kurioje atliko praktiką?

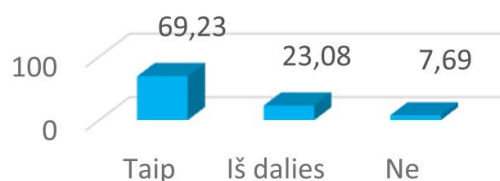
9 lentelė. Pageidautų dirbti įmonėje, kurioje atliko praktiką

Šaltinis: sudaryta autorių.

Eil. nr.	Pageidautų dirbti įmonėje	Studentų skaičius	Išraiška %
1	Taip	9	69,23
2.	Iš dalies	3	23,08
3.	Ne	1	7,69

Studentai pažymėjo, kad baigę studijas pageidautų likti dirbti įmonėse, kuriose atliko gamybinę technologinę praktiką. Galimybę įsidarbinti domėjosi 9 studentai (69,23 %), iš kurių septyni yra ištęstinių ir du – nuolatinių studijų studentai. Darbą praktikos įmonėje tik „iš dalies“ (dar nėra tvirtai apsisprendę) rinkęsi 3 studentai (23,08 %), o vienas studentas nurodė nepageidaujantis dirbti pasirinktoje įmonėje.

Pageidautų dirbti įmonėje, %



9 pav. Studento pageidavimas įsidarbinti įmonėje

Šaltinis: sudaryta autorių.

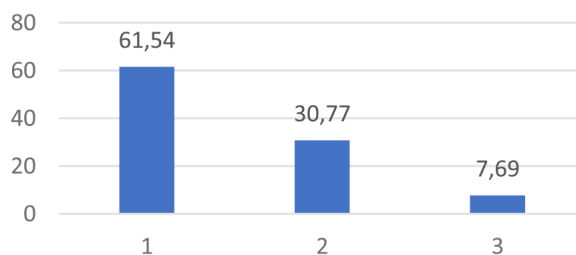
10. Kaip įmonės koordinatorius vertina studentų atliktą gamybinę technologinę praktiką balais?

10 lentelė. Studento gamybinės technologinės praktikos vertinimas balais (vertina įmonės koordinatorius)

Šaltinis: sudaryta autorių.

Eil. nr.	Įmonės koordinatoriaus vertinimas	Studentų skaičius	Išraiška %
1.	10 (puikiai)	8	61,54
2.	9 (l. gerai)	4	30,77
3.	8 (gerai)	1	7,69

Praktikos koordinatoriaus vertinimas, %



10 pav. Įmonės praktikos koordinatoriaus praktikos vertinimas

Šaltinis: sudaryta autorių.

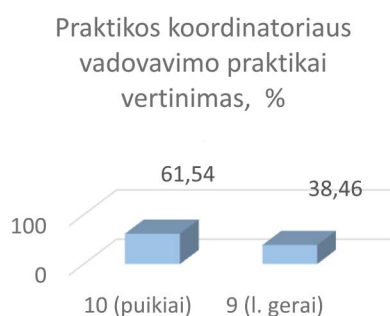
Ištęstinių studijų studentai (7 studentai), dirbantys įmonėse pagal specialybę, praktikos vadovo buvo vertinami įvairiais balais: 8 (gerai), 9 (l. gerai) ir 10 (puikiai). Visi nuolatinių studijų studentai (6 studentai) įvertinti 10 (puikiai).

11. Kaip studentai vertina įmonės praktikos koordinatoriaus vadovavimą praktikai?

11 lentelė. Įmonės praktikos koordinatoriaus vadovavimo vertinimas (vertina studentai):

Šaltinis: sudaryta autorių.

Eil. nr.	Įmonės koordinatoriaus vertinimas	Studentų skaičius	Išraiška %
1.	10 (puikiai)	8	61,54
2.	9 (l. gerai)	5	38,46



11 pav. Įmonės praktikos koordinatoriaus praktikos vertinimas

Šaltinis: sudaryta autorių.

Studentai, tikslingai pasirinkę įmones gamybinei technologinei praktikai atlikti, sėkmingai įgyvendino savo lūkesčius. Praktika jiems buvo įdomi ir naudinga tolesnėms studijoms, ypač rengiant specialybės dalykų kursinius, o vėliau – ir baigiamuosius darbus.

Apibendrinant galima teigti, kad:

1. Ištęstinių studijų studentai gamybinę technologinę praktiką linkę atlikti įmonėse, kuriose dirba. Pastebima tendencija, kad ir dalis nuolatinė studijų studentų praktiką atliko tose įmonėse, kuriose įsidarbino dar studijuodami (nuo 3-iojo semestro).
2. Studentų vertinimu, gamybinė technologinė praktika visiškai atitiko jų lūkesčius: numatyti tikslai buvo įgyvendinti, o įgytos praktinės žinios bus vertingos tolesnėms studijoms, ypač rengiant specialybės dalykų kursinius ir baigiamuosius darbus.
3. Studentai pabrėžė, kad darbdaviai itin vertina būsimų specialistų asmenines savybes: pareigingumą, kruopštumą, atsakingumą

bei iniciatyvumą. Akcentuojama bendravimo ir bendradarbiavimo įgūdžių svarba bei nuolatinis siekis tobulėti. Dauguma respondentų praktikos atlikimo vietą vienareikšmiškai rekomenduoatų ir žemesnių kursų studentams.

Išvados

Atlikus gamybinės technologinės praktikos vertinimo duomenų analizę, suformuluotos šios išvados:

1. Nustatyta, kad praktikos metu įgytų žinių ir įgūdžių kokybė yra aukšta: 84,62 % studentų nurodė, kad užduotys buvo aiškiai suformuluotos, o praktikos koordinatoriai suteikė reikiamą metodinę pagalbą. Studentai gebėjo sėkmingai pritaikyti teorines žinias sprenddami realias inžinerines užduotis įmonėse.
2. Praktika įvertinta kaip efektyvi ir naudinga tolesniam profesiniam tobulėjimui. 100 % respondentų patvirtino, kad atliktų darbų pobūdis visiškai atitiko *Inžinerinių pastatų sistemų* studijų programos profilį. Be to, tyrimas atskleidė aukštą praktikos pridėtinę vertę įsidarbinimo perspektyvoms – net 69,23 % studentų domėjosi galimybe likti dirbti praktikos institucijoje.
3. Išanalizavus studentų grįžtamąjį ryšį, nustatyta, kad pagrindinis pageidavimas yra susijęs su glaudesniu komunikavimu: dalis studentų (15,38 %) susidūrė su informacijos vėlavimu dėl didelio vadovų užimtumo. Nepaisant to, dauguma respondentų vienareikšmiškai siūlytų šias praktikos vietas žemesnių kursų studentams, akcentuodami asmeninių savybių (kruopštumo, iniciatyvumo) svarbą darbo rinkoje.

Literatūra

Vilniaus kolegija. (2021). *Vilniaus kolegijos studentų praktikų organizavimo tvarkos aprašas*. Patvirtinta Vilniaus kolegijos akademinės tarybos 2021 m. birželio 16 d. nutarimu Nr. AT N-5; paskelbta Vilniaus kolegijos direktoriaus 2021 m. birželio 21 d. įsakymu Nr. V-197.

Vilniaus kolegija. (n. d.). *Gamybinės technologinės praktikos aprašas*. [Institucinis dokumentas].

ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL PRACTICE QUESTIONNAIRES IN THE ENGINEERING BUILDING SYSTEMS STUDY PROGRAMME

ONA MEKŠRIŪNAITĖ¹, VIRGINIJA URBONIENĖ¹

*¹Vilniaus Kolegija | Higher Education Institution, Faculty of Civil Engineering,
Department of Civil Engineering, Antakalnio g. 54, Vilnius*

Summary. Professional activity (industrial-technological) internship is an integral part of the study process and is incorporated into the Engineering of Building Systems study programme. The purpose of the industrial-technological internship (hereinafter referred to as the Internship) is to apply the acquired theoretical knowledge in practical activities. Students complete the internship in companies whose fields of activity are related to the design, installation, management, and maintenance of heating, ventilation, and air conditioning (HVAC) systems, water supply and wastewater systems, and other engineering networks. The duration of the Internship is 8 weeks (6 ECTS credits). After completing the Internship in companies, students prepare an internship report, which is evaluated by a company-appointed internship coordinator and a college-appointed internship supervisor. To ensure the quality of the Internship and to promote closer cooperation, a student questionnaire survey is conducted annually, followed by an analysis of the collected results. The results of the analysis are discussed with internship supervisors and employers. Responses to the questionnaire were provided by 13 students.

Key words: internship; internship quality; student evaluation; professional competencies; HVAC.

STATYBOS PROJEKTŲ TERMINŲ NESILAIKYMAS IR GALIMŲ SPRENDIMŲ BŪDŲ LYGINAMOJI ANALIZĖ

MANTAS KONSTANTINAVIČIUS¹

¹*Vilniaus kolegija, Statybos fakultetas, Statybos inžinerijos katedra, Antakalnio g. 54, Vilnius*

Anotacija. Straipsnyje nagrinėjama statybos projektų terminų nesilaikymo problema, laikoma viena reikšmingiausių šiuolaikinės statybos pramonės rizikų. Tyrimo tikslas – nustatyti pagrindines statybos projektų vėlavimo priežastis ir, taikant lyginamąją analizę, įvertinti mokslinėje literatūroje siūlomų vėlavimų mažinimo priemonių efektyvumą. Tyrime analizuojami 2021–2024 m. publikuoti tarptautiniai moksliniai šaltiniai, identifikuojant pagrindines priežasčių grupes bei jų tarpusavio sąsajas.

Rezultatai parodė, kad statybos projektų vėlavimai yra kompleksinis reiškinys, kurį lemia planavimo, organizavimo, finansiniai, žmogiškieji, techniniai ir išoriniai veiksniai. Lyginamoji analizė atskleidė, kad skirtingi autoriai akcentuoja nevienodas priežasčių grupes, tačiau vieningai pabrėžia integruoto projektų valdymo svarbą. Nustatyta, kad efektyviausiai vėlavimai mažinami kompleksiskai derinant užsakovo, rangovo ir išorinių veiksnių valdymo sprendimus. Tyrimo rezultatai gali būti pritaikomi statybos projektų planavimo ir valdymo praktikoje, siekiant sumažinti terminų nesilaikymo riziką.

Reikšminiai žodžiai: statybos projektai, terminų nesilaikymas, statybos vėlavimai, lyginamoji analizė.

Įvadas

Statybos projektų terminų nesilaikymas išlieka viena aktualiausių problemų šiuolaikinėje statybų pramonėje, kuri nuosekliai identifikuojama tarptautiniuose moksliniuose tyrimuose. Pastarųjų metų analizės rodo, kad projektų vėlavimai pasireiškia įvairiuose regionuose ir skirtinguose statybos sektoriuose, nepriklausomai nuo projekto masto ar pobūdžio (Mohammed & Bello, 2022; Amoah et al., 2024). Tai leidžia šią problemą vertinti ne kaip pavienį atvejį, bet kaip sisteminį reiškinį.

Mokslinėje literatūroje pabrėžiama, kad statybos projektų vėlavimai daro didelį neigiamą poveikį projektų įgyvendinimui – jie didina projekto sąnaudas, apsunkina darbų organizavimą, blogina suinteresuotų projekto šalių tarpusavio santykius ir dažnai tampa teisinių ginčų priežastimi (Tharsan et al., 2021; Amoah et al., 2024). Dėl šios priežasties terminų nesilaikymas laikomas viena reikšmingiausių projektų valdymo rizikų.

Analizuojamų šaltinių autoriai vieningai sutaria, kad statybos projektų vėlavimus lemia ne viena konkreti priežastis, o tarpusavyje susijusių veiksnių visuma. Vėlavimai gali atsirasti bet kuriame projekto gyvavimo ciklo etape – nuo planavimo ir projektavimo iki statybos darbų vykdymo bei galutinio objekto perdavimo (Mohammed & Bello, 2022). Tai patvirtina, jog efektyvus vėlavimų valdymas reikalauja sisteminio požiūrio, pagrįsto skirtinguose

tyrimuose identifikuotų priežasčių ir sprendimų palyginimu.

Atsižvelgiant į tai, šiame darbe taikomas lyginamasis požiūris, leidžiantis ne tik apibendrinti statybos projektų vėlavimo priežastis, bet ir įvertinti skirtinguose tyrimuose siūlomų sprendimo būdų efektyvumą.

Tyrimo tikslas – atskleisti pagrindines statybos projektų vėlavimo priežastis ir, taikant lyginamąją analizę, įvertinti mokslinėje literatūroje siūlomų sprendimo metodų efektyvumą. Siekiant šio tikslo, darbe analizuojamas statybos projektų terminų nesilaikymo teorinis pagrindas remiantis naujausia moksline literatūra, išskiriamos ir sisteminamos pagrindinės vėlavimo priežasčių grupės, lyginami skirtinguose moksliniuose šaltiniuose pateikiami vėlavimų mažinimo metodai bei apibendrinami analizės rezultatai, formuluojant praktines rekomendacijas.

1. Tyrimo metodika

Tyrimo taikomas lyginamasis (analitinis) metodas, pagrįstas 2021–2024 m. publikuotų tarptautinių mokslinių straipsnių analize. Analizuojami keturi pagrindiniai šaltiniai: Mohammed ir Bello (2022), Tharsan, Devapriya ir Gowsiga (2021), Amoah, Okere ir Deshpande (2024) bei MDPI (2021). Šiuose tyrimuose identifikuojamos statybos projektų vėlavimo priežastys ir siūlomos jų mažinimo strategijos lyginamos tarpusavyje, siekiant nustatyti bendras tendencijas ir esminius skirtumus.

2. Literatūros apžvalga

Statybos projektų terminų nesilaikymas mokslinėje literatūroje nagrinėjamas kaip kompleksinis reiškinys, kuris kyla iš statybų pramonės specifikos. Moksliniai tyrimai pabrėžia, kad statybos projektai pasižymi dideliu unikalumu, sudėtingais technologiniais procesais, dideliu suinteresuotų šalių skaičiumi ir priklausomybe nuo išorinių aplinkos veiksnių, todėl net ir nedideli nukrypimai nuo planuotų sprendimų gali lemti reikšmingus grafiko sutrikimus (Mohammed & Bello, 2022).

Remiantis analizuojamais šaltiniais, projektų terminų nesilaikymas nėra atsitiktinis ar pavienis reiškinys, o dažniausiai yra sisteminių planavimo, valdymo ar koordinavimo trūkumų pasekmė. Amoah, Okere ir Deshpande (2024) nurodo, kad vėlavimai gali atsirasti bet kuriame projekto gyvavimo ciklo etape – nuo inicijavimo ir planavimo iki statybos darbų vykdymo bei galutinio projekto užbaigimo, todėl jų poveikis dažnai apima ne tik laiką, bet ir kitus pagrindinius projekto valdymo apribojimus.

Mokslinėje literatūroje taip pat yra pabrėžiama, kad statybos projektų vėlavimai daro tiesioginę įtaką projekto kainai, darbų apimčiai, kokybei bei suinteresuotų šalių tarpusavio santykiams. Projekto grafiko nesilaikymas dažnai lemia papildomas sąnaudas, kurios yra susijusios su ilgesne darbų trukme, padidėjusiu išteklių poreikiu ar neplanuotais kainų svyravimais rinkoje (Tharsan, Devapriya & Gowsiga, 2021). Tokios pasekmės ypač ryškios didelės apimties ar infrastruktūrinuose projektuose.

Atsižvelgiant į tai, terminų nesilaikymas vertinamas kaip viena reikšmingiausių rizikų statybos projektuose, o jo valdymas laikomas neatsiejama projektų valdymo dalimi. Būtent dėl šios priežasties moksliniuose tyrimuose vis daugiau dėmesio skiriama ne tik vėlavimų aprašymui, bet ir jų priežasčių sisteminiui bei skirtingų vėlavimų mažinimų sprendimų efektyvumo palyginimui – tai sudaro pagrindą tolimesnei šio darbo lyginamajai analizei.

Statybos projektų terminų nesilaikymo priežasčių analizė

Mokslinėje literatūroje statybos projektų terminų nesilaikymo priežastys analizuojamos įvairiais aspektais, tačiau skirtingų autorių tyrimai leidžia išskirti bendras, pasikartojančias priežasčių grupes. Nors tyrimuose nėra naudojami vienodi

klasifikavimo principai, dauguma autorių sutaria, kad projektų vėlavimus lemia tarpusavyje susiję techniniai, organizaciniai, finansiniai, žmogiškieji bei išoriniai veiksniai (Tharsan et al., 2021; Mohammed & Bello, 2022; Amoah et al., 2024).

Viena reikšmingiausių statybos projektų vėlavimo priežasčių grupių yra planavimo ir organizavimo trūkumai. Tyrimuose pabrėžiama, kad nepakankamai detalus darbų planavimas, netikslūs grafikai, prastas darbų koordinavimas ir neaiškūs atsakomybių paskirstymas dažnai sukelia darbų eigą trikdančius nukrypimus nuo plano. Autoriai pažymi, kad planavimo klaidos ankstyvuose projekto etapuose vėliau sukelia grandininį vėlavimų efektą viso projekto metu (Mohammed & Bello, 2022).

Kita plačiai identifikuojama priežasčių grupė – finansiniai veiksniai. Tyrimuose yra pabrėžiama, kad vėlavimus dažnai lemia nepakankamas projekto finansavimas, vėluojantys mokėjimai rangovams ar tiekėjams, biudžeto viršijimas bei kainų svyravimai statybos rinkoje. Finansiniai sutrikimai tiesiogiai veikia darbų tempą, resursų prieinamumą ir rangovų galimybes laikytis nustatytų terminų (Amoah et al., 2024).

Ne mažiau svarbi žmogiškųjų išteklių ir valdymo kompetencijų grupė. Tyrimuose nurodoma, kad kvalifikuotų darbuotojų trūkumas, nepakankama projekto vadovų patirtis, prasta komunikacija tarp projekto dalyvių bei sprendimų priėmimo vilkinimas reikšmingai prisideda prie projektų vėlavimo. Šie veiksniai ypač išryškėja sudėtinguose ir didelės apimties statybos projektuose, kuriuose yra būtinas sklandus įvairių specialistų bendradarbiavimas (Tharsan et al., 2021).

Atskirą priežasčių grupę sudaro techniniai ir projektavimo veiksniai. Mokslinėje literatūroje pabrėžiama, kad netikslūs techniniai sprendiniai, dažni projektavimo pakeitimai, klaidos brėžiniuose bei nepakankamai įvertinti techniniai sprendimai dažnai lemia darbų stabdymą ar pakartotinį atlikimą. Tai ne tik ilgina darbų trukmę, bet ir didina projekto sąnaudas (Mohammed & Bello, 2022).

Galiausiai, tyrimuose išskiriami išoriniai veiksniai, kurie įprastai nepriklauso nuo tiesioginės projekto dalyvių kontrolės. Prie jų priskiriamos nepalankios oro sąlygos, teisės aktų pokyčiai, leidimų gavimo procedūrų užtrukimas, tiekimo grandinių sutrikimai bei force majeure aplinkybės. Autoriai pabrėžia, kad nors šių veiksnių visiškai išvengti neįmanoma, jų poveikį galima sumažinti taikant tinkamus

rizikų valdymo sprendimus (Amoah et al., 2024; MDPI, 2021).

Apibendrinant galima teigti, kad statybos projektų terminų nesilaikymas yra kompleksinis reiškinys, kylantis ne dėl vienos izoliuotos priežasties, o dėl kelių tarpusavyje sąveikaujančių veiksnių visumos. Skirtingų autorių tyrimų analizė leidžia identifikuoti bendras priežasčių grupes ir sudaro prielaidas tolesnei lyginamajai sprendimo būdų analizei.

Statybos projektų vėlavimų pasekmės

Statybos projektų vėlavimai sukelia daugialypį poveikį, kuris paliečia visas projekto suinteresuotas šalis ir gali turėti tiek tiesioginių, tiek ilgalaikių padarinių. Analizuojami moksliniai šaltiniai pabrėžia, kad vėlavimų pasekmės yra glaudžiai susijusios su jų priežastimis: kuo sudėtingesnės ir labiau tarpusavyje susijusios vėlavimo priežastys, tuo didesnė tikimybė, kad projekto rezultatai bus reikšmingai paveikti (Mohammed & Bello, 2022; Amoah et al., 2024).

Finansinės pasekmės

Finansiniai nuostoliai yra viena ryškiausių vėlavimų pasekmių grupių. Rangovams vėlavimai dažnai reiškia:

- padidėjusias darbo jėgos ir įrangos išlaikymo sąnaudas;
- papildomų resursų poreikį;
- prarastą pelningumą dėl ilgesnės projekto trukmės;
- galimus delspinigius ar sutartines baudas.

Užsakovams vėlavimai gali lemti:

- prarastas planuotas pajamas;
- investicinių tikslų neįgyvendinimą;
- papildomas išlaidas dėl projektavimo pakeitimų ar rinkos kainų svyravimų.

Amoah, Okere & Deshpande (2024) pabrėžia, kad finansinės pasekmės dažnai yra didesnės nei iš pradžių numatoma, nes vėlavimai sukelia grandininį efektą kitoms projekto veikloms.

Organizacinės ir valdymo pasekmės

Vėlavimai trikdo projekto valdymo procesus ir apsunkina darbų organizavimą. Tharsan, Devapriya ir Gowsiga (2021) nurodo, kad dėl vėlavimų:

- sudėtingėja darbų koordinavimas tarp rangovų ir subrangovų;
- atsiranda grafiko persidengimų, kurie mažina darbo našumą;

- didėja rizika, kad bus prarasta projekto kontrolė;
- kyla poreikis dažniau koreguoti planus ir grafikus.

Tokie trikdžiai ypač ryškūs projektuose, kuriuose jau ankstyvuose etapuose buvo identifikuoti planavimo ar komunikacijos trūkumai.

Tiekimo grandinės ir technologinės pasekmės

MDPI (2021) tyrimas parodė, kad vėlavimai dažnai sustiprina tiekimo grandinės nestabilumą. Dėl projekto grafiko pokyčių:

- medžiagos gali būti pristatomos netinkamu metu;
- tiekėjai gali nebeturėti galimybių prisitaikyti prie naujų terminų;
- technologiniai procesai gali būti stabdomi arba atliekami neoptimaliai.

Tai ypač aktualu tarptautiniuose ir infrastruktūriniuose projektuose, kuriuose tiekimo grandinė yra sudėtinga ir priklauso nuo išorinių veiksnių.

Socialinės ir psichologinės pasekmės

Vėlavimai daro poveikį ir projekto dalyvių tarpusavio santykiams. Moksliniai šaltiniai nurodo, kad dėl vėlavimų:

- didėja darbuotojų nepasitenkinimas ir stresas;
- kyla konfliktai tarp užsakovo, rangovo ir projektuotojų;
- prastėja komandos motyvacija ir darbo atmosfera.

Ilgainiui tai gali lemti darbuotojų kaitą, sumažėjusį produktyvumą ir prastesnę projekto kokybę.

Teisinės ir reputacinės pasekmės

Vėlavimai dažnai tampa teisinių ginčų priežastimi, ypač tais atvejais, kai nėra aiškiai nustatyta atsakomybė už vėlavimą (Mohammed & Bello, 2022). Ginčai gali apimti:

- delspinigių taikymą;
- sutarties nutraukimą;
- žalos atlyginimo reikalavimus.

Be to, tiek rangovams, tiek užsakovams vėlavimai gali turėti ir ilgalaikį reputacinį poveikį. Neigiamas projekto įvaizdis gali sumažinti pasitikėjimą organizacija ir apsunkinti dalyvavimą būsimuose konkursuose ar partnerystėse.

Kompleksinis poveikis projektų sėkmei

Visų nagrinėtų šaltinių autoriai sutaria, kad vėlavimų pasekmės nėra pavienės – jos sąveikauja

tarpusavyje ir gali sukelti grandininį efektą. Finansiniai nuostoliai gali lemti resursų trūkumą, kuris dar labiau didina vėlavimus, organizaciniai trikdžiai gali sukelti konfliktus, mažinančius darbo našumą, tiekimo sutrikimai gali priversti keisti technologinius sprendimus, o tai didina projekto kainą ir riziką.

Dėl šios priežasties statybos projektų vėlavimai vertinami kaip viena reikšmingiausių rizikų, galinčių lemti projekto nesėkmę tiek technine, tiek ekonomine, tiek socialine prasme.

Vėlavimų mažinimo sprendimų lyginamoji analizė

Siekiant sistemingai įvertinti statybos projektų vėlavimų mažinimo būdus, atlikta keturių mokslinių šaltinių lyginamoji analizė, orientuota ne į atskirų autorių pateiktų sprendimų perpasakojimą, bet į vėlavimų mažinimo priemonių grupavimą ir jų akcentų palyginimą. Vertinimas atliktas pagal tris pagrindines atsakomybės grupes: užsakovo veiksnį, rangovo veiksnį ir išorinių veiksnį valdymą.

Analizė parodė, kad dauguma nagrinėtų autorių didžiausią dėmesį skiria rangovo atsakomybės sričiai. Rangovų vaidmuo vėlavimų mažinime siejamas su efektyvesniu darbų planavimu, laiko valdymu, žmogiškųjų išteklių kompetencijų stiprinimu ir vidinių procesų kontrole. Pabrėžiama, kad realistiškas darbų grafiko sudarymas, operatyvus galimų vėlavimų identifikavimas ir prevencinių priemonių taikymas yra esminiai veiksniai, leidžiantys mažinti terminų nesilaikymo riziką (Tharsan et al., 2021; Mohammed & Bello, 2022).

Užsakovo veiksniai mokslinėje literatūroje dažniau siejami su strateginiais ir organizaciniais sprendimais. Nustatyta, kad aiškiai apibrėžti projekto reikalavimai, savalaikis sprendimų priėmimas, stabilus finansavimas ir operatyvus projektavimo pakeitimų valdymas turi reikšmingą įtaką projekto eigai. Užsakovo sprendimų vilkinimas ar neapibrėžta projekto apimtis dažnai sukelia grandininis vėlavimus, kurie tampa sunkiai kontroliuojami vėlesniuose etapuose (Amoah et al., 2024).

Trečioji grupė – išorinių veiksnį valdymas – vertinama kaip ribotai kontroliuojama, tačiau reikšminga sritis. Nustatyta, kad tiekimo grandinės sutrikimai, rinkos svyravimai ir kiti išoriniai veiksniai dažnai sustiprina vidines projekto problemas. Todėl jų valdymas turi būti integruotas į bendrą projektų rizikų valdymo

sistemą, taikant tokius sprendimus kaip alternatyvių tiekėjų planavimas ir logistikos lankstumo didinimas (Zhao et al., 2021).

Apibendrinant analizės rezultatus, nustatyta, kad mokslinėje literatūroje nėra vieningo sutarimo dėl svarbiausių vėlavimo priežasčių ar efektyviausių sprendimo būdų. Skirtingų autorių akcentai priklauso nuo nagrinėjamų projektų specifikos, masto bei taikytų tyrimo metodų (Mohammed & Bello, 2022; Amoah et al., 2024). Pastebima, kad didelės apimties ir sudėtinguose projektuose dažniau akcentuojamas užsakovo vaidmuo, o mažesniuose projektuose didesnė reikšmė tenka rangovo veiklos efektyvumui.

Taip pat nustatyta, kad tyrimų rezultatai priklauso nuo metodologijos – ekspertinėmis apklausomis pagrįstuose tyrimuose labiau išryškėja subjektyvūs vadybiniai aspektai, o empiriniuose tyrimuose akcentuojami faktiniai procesiniai sutrikimai (Tharsan et al., 2021). Be to, naujausiuose tyrimuose vis daugiau dėmesio skiriama išoriniams veiksniams, ypač tiekimo grandinių nestabilumui ir ekonominiams pokyčiams (Zhao et al., 2021).

Apibendrinant galima teigti, kad efektyvus statybos projektų vėlavimų mažinimas galimas tik taikant integruotą požiūrį, kai užsakovo, rangovo ir išorinių veiksnį valdymo priemonės yra derinamos tarpusavyje ir pritaikomos konkrečiam projekto kontekstui (Amoah et al., 2024; Mohammed & Bello, 2022).

Diskusija

Gauti rezultatai leidžia teigti, kad statybos projektų vėlavimų problematika negali būti sprendžiama taikant universalius modelius, nes jos pobūdis priklauso nuo projekto konteksto, dalyvių atsakomybės pasiskirstymo ir išorinių sąlygų. Tai patvirtina ir skirtingų autorių išvados.

Svarbus aspektas yra tyrimų metodologijos įtaka rezultatams. Ekspertinėmis apklausomis pagrįsti tyrimai dažniau identifikuoja organizacines ir vadybines problemas, tačiau jų rezultatai gali būti subjektyvūs. Empiriniai tyrimai leidžia tiksliau nustatyti procesinius sutrikimus, tačiau dažnai apsiriboja konkrečiais projektais ar regionais, todėl jų pritaikomumas yra ribotas.

Diskusijoje taip pat išryškėja, kad pastaraisiais metais didėja išorinių veiksnį reikšmė. Tiekimo grandinės sutrikimai, ekonominiai svyravimai ir geopolitiniai veiksniai tampa vis svarbesni, todėl tradicinis dėmesys vien tik vidiniams projekto valdymo aspektams tampa nepakankamas.

Pastebėtina, kad literatūroje trūksta vertinimų, kurie leistų nustatyti skirtingų veiksnių įtakos mastą. Taip pat ribotai nagrinėjamas šiuolaikinių skaitmeninių technologijų (pvz., BIM, dirbtinio intelekto) vaidmuo vėlavimų prevencijoje, nors praktikoje jų reikšmė sparčiai didėja.

Todėl tolimesni tyrimai turėtų būti orientuoti į kiekybinių modelių kūrimą, regioninių ypatumų analizę ir inovatyvių technologijų integravimo vertinimą statybos projektų valdyme.

Išvados

1. Atlikta mokslinių šaltinių analizė parodė, kad statybos projektų terminų nesilaikymas kyla dėl tarpusavyje susijusių vidinių ir išorinių veiksnių, pasireiškiančių viso projekto gyvavimo ciklo metu. Nagrinėti autoriai sutaria, kad vėlavimai nėra pavieniai atvejai, o dažniausiai sisteminių planavimo, koordinavimo, finansavimo ir tiekimo grandinės valdymo trūkumų pasekmė.
2. Lyginamoji analizė atskleidė, kad skirtinguose tyrimuose akcentuojamos skirtingos vėlavimų priežasčių grupės, tačiau daugiausia dėmesio skiriama rangovo veiklos efektyvumui. Prastas darbų planavimas, nepakankama darbuotojų kompetencija ir neefektyvus resursų valdymas yra veiksniai, dažniausiai įvardijami kaip turintys tiesioginę įtaką projekto grafikui. Užsakovo pusėje didžiausią reikšmę turi sprendimų priėmimo operatyvumas, projekto apimties aiškumas ir finansavimo stabilumas.
3. Analizuoti šaltiniai taip pat pabrėžia išorinių veiksnių reikšmę, ypač tiekimo grandinės sutrikimus, ekonominius pokyčius ir aplinkos sąlygas. Šie veiksniai dažnai sustiprina vidines projekto problemas ir gali lemti grandininį

vėlavimų efektą, ypač didelės apimties ar tarptautiniuose projektuose.

4. Tyrimo rezultatai leidžia teigti, kad efektyvus statybos projektų vėlavimų mažinimas nėra įmanomas taikant vienos srities sprendimus. Visi nagrinėti autoriai pabrėžia integruoto požiūrio būtinybę, kai planavimas, rizikų valdymas, kompetencijų stiprinimas, tiekimo grandinės kontrolė ir sklandi komunikacija tarp projekto dalyvių yra derinami tarpusavyje. Tik kompleksinis ir projekto specifiką atitinkantis valdymo modelis gali sumažinti vėlavimų riziką ir užtikrinti sklandų projekto įgyvendinimą.

Literatūra

- Amoah, K. B. O., Okere, E., & Deshpande, A. (2024). Construction delay analysis: Causes, impacts, and mitigation strategies. *Journal of Civil Engineering*. https://www.researchgate.net/publication/386986758_Construction_Delay_Analysis_Causes_Impacts_and_Mitigation_Strategies
- Mohammed, Z., & Bello, U. (2022). Causes of delay in construction projects: A systematic review. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*. <https://www.ijert.org/causes-of-delay-in-construction-projects-a-systematic-review>
- Tharsan, T., Devapriya, S., & Gowsiga, D. (2021). Mitigation approach for significant causes of contractor's delays in construction projects in Sri Lanka. *International Conference on Business Management Journal*. <https://journals.sjp.ac.lk/index.php/icbm/article/view/5241>
- Zhao, X., Hwang, B. G., & Low, S. P. (2019/2021). Critical factors causing delays in construction supply chains. *Sustainability*, 11(21), 5973. <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/21/5973>

SCHEDULE DELAYS IN CONSTRUCTION PROJECTS: A COMPARATIVE ANALYSIS OF CAUSES AND MITIGATION SOLUTIONS

MANTAS KONSTANTINAVIČIUS¹

*¹Vilniaus Kolegija | Higher Education Institution, Faculty of Civil Engineering,
Department of Civil Engineering, Antakalnio g. 54, Vilnius*

Summary: This article examines the problem of delays in construction project schedules, which is considered one of the most significant risks in the contemporary construction industry. The aim of the study is to identify the main causes of construction project delays and, through comparative analysis, to evaluate the effectiveness of delay mitigation measures proposed in the scientific literature. The study analyses international scientific sources published between 2021 and 2024, identifying the main groups of causes and their interrelationships.

The results revealed that delays in construction projects are a complex phenomenon influenced by planning, organizational, financial, human, technical, and external factors. The comparative analysis showed that different authors emphasize different groups of causes; however, they unanimously highlight the importance of integrated project management. It was determined that the most effective delay mitigation can only be achieved through a comprehensive approach combining client-, contractor-, and external factor management solutions. The findings of the study can be applied in construction project planning and management practices to reduce the risk of schedule delays.

Key words: construction projects, schedule delays, construction delays, comparative analysis.

MULTIMODALINIŲ VEŽIMŲ REGULIAVIMO VERTINIMAS

AURELIJUS VAŠKYS¹, IVAN ČESOV¹

¹Vilniaus kolegija, Statybos fakultetas, Verslo ir viešosios vadybos katedra,
Antakalnio g. 54, Vilnius

Anotacija. Straipsnyje analizuojamas multimodalinių vežimų teisinis reguliavimas Europos Sąjungoje, atskleidžiant jo fragmentiškumą, terminologinį nevientisumą ir bendro atsakomybės režimo nebuvimą. Nagrinėjama skirtingų teisės šaltinių – Europos Sąjungos teisės aktų, tarptautinių konvencijų ir nacionalinės teisės – sąveika, lemianti teisinį neapibrėžtumą, ypač nelokaluotos žalos atvejais. Taikant teisinių dokumentų analizę ir lyginamąjį metodą, vertinamas Lietuvos, Lenkijos, Čekijos ir Vokietijos teisinis reguliavimas. Nustatyta, kad Lietuva, Lenkija ir Čekija daugiausia remiasi bendrosiomis civilinės teisės normomis, o Vokietijos modelis išsiskiria nuoseklesniu reguliavimu ir „atsargine“ atsakomybės taisykle (angl. *fallback rule*). Remiantis tyrimo rezultatais, pateikiamos Europos Sąjungos harmonizavimo kryptys ir rekomendacijos Lietuvai.

Reikšminiai žodžiai: multimodaliniai vežimai, intermodalinis transportas, vežėjo atsakomybė, atsakomybės režimas, ES teisė.

Įvadas

Multimodaliniai vežimai – krovinių vežimas pasitelkiant bent dvi skirtingas transporto rūšis vienoje logistinėje grandinėje – tampa vis svarbesni Europos Sąjungos vidaus rinkoje, siekiant didinti transporto efektyvumą ir tvarumą. Tačiau jų teisinis reguliavimas išlieka nevienalytis: praktikoje multimodalinės operacijos dažnai išskaidomos į atskiras vežimo atkarpas, kurioms taikomos skirtingos tarptautinės konvencijos ir nacionalinės teisės normos. Tokia situacija sukuria taikytinos teisės, atsakomybės ribų ir įrodinėjimo naštos nustatymo problemų, ypač kai grandinėje dalyvauja keli vežėjai ir terminalų operatoriai (Mitkevičius, 2017).

Mokslinė problema kyla dėl to, kad Europos Sąjungos lygmeniu nėra bendro multimodalinių vežimų teisinio režimo, todėl valstybėse narėse susiformuoja skirtinga reguliavimo ir praktinio taikymo sistema, ypač tais atvejais, kai neįmanoma nustatyti žalos atsiradimo etapo.

Tyrimo objektas – multimodalinių vežimų teisinis reguliavimas Europos Sąjungoje ir pasirinktų valstybių narių nacionalinėje teisėje.

Tyrimo tikslas – įvertinti multimodalinių vežimų teisinio reguliavimo spragas ir pateikti jų harmonizavimo bei nacionalinio tobulinimo kryptis. Siekiant šio tikslo, darbe analizuojami pagrindiniai multimodalinių vežimų reguliavimo iššūkiai Europos Sąjungos lygmeniu, lyginamas Lietuvos, Lenkijos, Čekijos ir Vokietijos nacionalinis teisinis reguliavimas, nustatomos galimos Europos Sąjungos teisės harmonizavimo kryptys ir jų galimas poveikis bei formuluojami siūlymai dėl multimodalinių vežimų reglamentavimo tobulinimo Lietuvoje.

Tyrimo metodika grindžiama teisiųjų dokumentų analize, mokslinės literatūros ir terminų analize, bei skirtingų valstybių teisinio reglamentavimo vertinimu.

Tikimasi, kad tyrimo rezultatai leis identifikuoti pagrindinius multimodalinių vežimų teisinio reguliavimo trūkumus, įvertinti skirtingų valstybių taikomą praktiką ir pateikti pagrįstas rekomendacijas, skirtas teisinio tikrumo didinimui, terminijos suvienodinimui bei aiškesniam vežėjo atsakomybės reglamentavimui.

1. Multimodalinio transporto samprata ir teisinės doktrinos problematika

Multimodalinio transporto samprata mokslinėje literatūroje nėra vienareikšmiškai apibrėžta, o skirtingi autoriai ją sieja su įvairiais transporto organizavimo, teisinio reguliavimo ir tvarumo aspektais. Multimodalinis transportas dažnai apibrėžiamas kaip „intermodalinio transporto forma, kurioje siekiama sumažinti kelių transporto naudojimą, prioritetą teikiant alternatyvioms transporto rūšims“ (Knapčíková ir Kaščák, 2019). Tokia koncepcija siejama su Europos Sąjungos siekiu mažinti CO₂ emisiją ir didinti transporto sistemos efektyvumą.

Vis dėlto mokslinėje literatūroje išlieka reikšmingas terminologinis neapibrėžtumas. Pažymima, kad „nėra vieningos integruoto, multimodalinio ir kombinuoto transporto sąvokų apibrėžties“ (Svetopetřić, 1991). Ši problema dar labiau komplikuoja teisinį reguliavimą, nes skirtingos sąvokos lemia skirtingą atsakomybės ir taikytinos teisės aiškinimą.

Kai kurių autorių tyrimuose multimodalinis transportas suvokiamas kaip „skirtingų

transporto rūšių integracija vienoje transporto grandinėje“ (Elbert ir kt., 2020). Tai leidžia optimizuoti sąnaudas ir mažinti poveikį aplinkai. Tokie sprendimai laikomi strategiškai svarbiais siekiant suderinti ekonominius rodiklius ir aplinkosauginius tikslus.

Teisinėje doktrinoje pabrėžiama, kad viena pagrindinių problemų yra aiškaus ir vieningo teisinio režimo nebuvimas. Multimodalinių vežimų reglamentavimas daugiausia grindžiamas „tarptautinėmis konvencijomis, taikomomis atskiroms transporto rūšims“ (Spanjaart, 2017). Dėl tokio teisinio reglamentavimo multimodaliniuose vežimuose kyla teisės kolizijų, lemiančių nevienodą teisės taikymo praktiką. Civilinės atsakomybės klausimai laikomi vienu sudėtingiausių multimodalinio transporto teisės aspektų. Pažymima, kad „nėra aiškaus ir vieningo atsakomybės režimo“ (Besong, 2007). Praktikoje kyla neapibrėžtumas, ypač kai neįmanoma nustatyti žalos atsiradimo etapo. Dėl to siūloma kurti specifinį multimodaliniam transportui pritaikytą atsakomybės modelį.

Nacionaliniu lygmeniu pastebima didesnė pažanga reguliuojant multimodalinius vežimus. Nurodoma, kad „priimami specialūs teisės aktai,

tačiau tarptautiniu mastu proveržio nesitikima“ (Korableva, 2025). Tai rodo, kad reguliavimo raida vyksta netolygiai, o bendro tarptautinio režimo kūrimas išlieka sudėtingas.

Sutarčių teisės kontekste akcentuojamas multimodalinių vežimų teisinis reguliavimas ir jo tobulinimo poreikis. Pabrėžiama „elektroninių dokumentų svarba ir būtinybė aiškiau reglamentuoti šalių atsakomybę“ (Pavlyuk, 2019). Skaitmeninimas šiuo aspektu laikomas viena iš priemonių didinti teisinį aiškumą ir efektyvumą.

Galiausiai, ypatingas dėmesys skiriamas vežėjų atsakomybei ir teisinei apsaugai, ypač vežant pavojingus krovinius. Teisinė apsauga grindžiama „sutartiniais santykiais tarp siuntėjo ir vežėjo, o vežėjas atsako už saugų krovinio pristatymą“ (Yunita ir kt., 2023).

Apibendrinant galima teigti, kad nors multimodalinis transportas analizuojamas skirtingais aspektais, vis dar trūksta vienodos terminijos ir nuoseklaus teisinio reguliavimo. Tai lemia praktinius iššūkius, susijusius su atsakomybės taikymu, teisės kolizijomis ir teisinio tikrumo užtikrinimu. Literatūros apžvalgos santrauka pateikta 1 lentelėje.

1 lentelė. Literatūros apžvalgos santrauka

Šaltinis: sudaryta autorių.

Autorius	Pagrindinės įžvalgos	Reikšmė nagrinėjamai problemai
Knapčiková ir Kaščák (2019)	Multimodalinis transportas siejamas su intermodalumu ir kelių transporto mažinimu	Pabrėžiama tvarumo ir CO ₂ emisijos mažinimo svarba
Svetopetrić (1991)	Nėra multimodalinio, intermodalinio ir kombinuoto transporto sąvokų vienovės	Pabrėžiamas terminologinis neapibrėžtumas
Elbert ir kt. (2020)	Transporto rūšių integracija leidžia optimizuoti sąnaudas ir mažinti poveikį aplinkai	Parodomas ekonominis ir aplinkosauginis suderinamumas
Spanjaart (2017)	Reguliavimas grindžiamas atskirų transporto rūšių konvencijomis	Atskleidžiamas teisinio reguliavimo nevientisumas
Besong (2007)	Multimodaliniame transporte nėra bendro atsakomybės režimo	Pabrėžiama teisinio neapibrėžtumo problema
Korableva (2025)	Nacionaliniu lygmeniu vyksta pažanga, bet tarptautinis reguliavimas stagnuoja	Parodomas reguliavimo raidos netolygumas
Pavlyuk (2019)	Būtina tobulinti sutarčių teisę ir elektroninių dokumentų naudojimą	Akcentuojama skaitmeninimo svarba
Yunita ir kt. (2023)	Vežėjų atsakomybės ir teisinės apsaugos svarba vežant pavojingus krovinius	Pabrėžiama atsakomybės reikšmė praktikoje

2. Multimodalinių vežimų teisinio reguliavimo problema Europoje

Multimodalinių vežimų teisinis reguliavimas Europos Sąjungoje grindžiamas skirtingais teisės šaltiniais – Europos Sąjungos teisės aktais, tarptautinėmis konvencijomis ir nacionaline teise. ES lygmeniu reikšminga 1992 m. gruodžio 7 d. Tarybos direktyva 92/106/EEB dėl tam tikrų kombinuoto transporto rūšių bendrųjų taisyklių nustatymo (Taryba, 1992), taip pat 2020 m. liepos 15 d. Europos Parlamento ir Tarybos reglamentas (ES) 2020/1056 dėl elektroninės krovinių vežimo informacijos (Europos Parlamentas ir Taryba, 2020). Tarptautiniu mastu paminėtina 1980 m. Jungtinių Tautų konvencija dėl tarptautinio multimodalinio krovinių vežimo, tačiau ji nėra įsigaliojusi ir praktikoje netaikoma (Jungtinės Tautos, 1980). Dėl to multimodaliniai vežimai nėra pakankamai reglamentuoti nei nacionaliniu, nei Europos Sąjungos lygmeniu.

Teisinio reglamentavimo nevientisumas pasireiškia tuo, kad multimodaliniai vežimai reguliuojami skirtingais teisės aktais, todėl susidaro nevienoda praktika ir ribotas teisinis prognozuojamumas. Skirtingos pervežimo grandinės dalys vertinamos pagal skirtingas teisės sistemas – tarptautines konvencijas ar nacionalinę teisę, todėl ginčiuose būtina nustatyti taikytiną teisę konkrečiai žalos situacijai.

Reikšminga problema išlieka ir nesuvienodinta terminija, lemianti skirtingą „multimodalinio“, „intermodalinio“ ir „kombinuoto“ transporto kvalifikavimą valstybėse narėse, o tai daro tiesioginę įtaką tiek atsakomybės taikymui, tiek paskatų sistemai.

Kita esminė problema – bendro atsakomybės režimo nebuvimas. ES teisėje nėra vienodos multimodalinio vežėjo atsakomybės schemos, todėl taikomi atskirų transporto rūšių teisiniai režimai arba nacionalinės civilinės teisės normos. Pavyzdžiui, 1956 m. Konvencija dėl tarptautinio krovinių vežimo keliais sutarties (CMR) taikoma tik kelių transportui, tačiau multimodaliniuose vežimuose kyla atsakomybės atribojimo ir įrodinėjimo problemų, ypač nenustačius žalos atsiradimo etapo (Jungtinių Tautų Europos ekonomikos komisija, 1956).

Skirtingas ES teisės perkėlimas ir nacionalinių teisinių sistemų ypatumai lemia nacionalinių praktikų kolizijas. Panašios situacijos skirtingose valstybėse sprendžiamos nevienodai, ypač nelokaluotos žalos atvejais, kai taikomos skirtingos „atsarginės“ taisyklės (Mitkevičius,

2017). Kaip pažymima mokslinėje literatūroje, „nėra aiškaus ir vieningo atsakomybės režimo“, o tai didina teisinį neapibrėžtumą multimodaliniuose vežimuose (Besong, 2007).

Apibendrinant galima teigti, kad multimodalinių vežimų teisinis reguliavimas Europos Sąjungoje išlieka nevienalytis. Terminijos vienovės ir atsakomybės režimo nebuvimas riboja teisinį aiškumą ir apsunkina praktinį teisės taikymą tarpvalstybinėse transporto grandinėse.

3. Lyginamoji analizė: Lietuva, Lenkija, Čekija, Vokietija

Lietuva. Lietuvoje nėra specialaus teisės akto, kuris išsamiai reglamentuotų multimodalinius vežimus, taip pat nėra įstatymiškai įtvirtintos „multimodalinio transporto“ sąvokos. Nacionaliniu lygmeniu apibrėžtas tik kombinuotasis vežimas. Pagal Lietuvos Respublikos transporto veiklos pagrindų įstatymą „kombinuotasis vežimas – krovinių vežimas tarp Europos Sąjungos valstybių narių tuo pačiu transporto vienetu, kai dalis maršruto vykdoma kelių transportu, o kita dalis – geležinkelio, vidaus vandenių ar jūrų transportu“ (Lietuvos Respublikos Seimas, 1991).

Kai tarptautinės konvencijos netaikomos arba „neįmanoma nustatyti žalos atsiradimo etapo“, ginčai sprendžiami pagal Lietuvos Respublikos civilinio kodekso nuostatas (2000). Tokia situacija didina teisinį neapibrėžtumą. Kaip pažymi Mitkevičius (2017), „multimodalinio vežimo teisinis reguliavimas Lietuvoje išlieka nepakankamai aiškus“, o atsakomybė praktikoje priklauso nuo to, ar galima nustatyti konkretų transporto etapą.

Lenkija. Lenkijoje nėra specialaus multimodalinių vežimų įstatymo, todėl taikomos bendrosios civilinės teisės normos ir tarptautinės konvencijos. Jei žalos atsiradimo vieta nenustatoma, taikomas bendras civilinės atsakomybės režimas. Tokia sistema, nors ir funkcionuojanti, neužtikrina pakankamo teisinio aiškumo. Kaip pažymima literatūroje, „multimodalinio transporto teisinis reglamentavimas remiasi tarptautinėmis konvencijomis, taikomomis atskiroms vežimo dalims“ (Spanjaart, 2017). Pažymėtina, kad pagal Lenkijos civilinio kodekso nuostatas, vežimo sutartis laikoma civiline sutartimi, pagal kurią vežėjas įsipareigoja už atlygį pervežti krovinį ar asmenį, o tai lemia bendrųjų civilinės atsakomybės taisyklių taikymą (Lenkijos civilinis kodeksas, 1964).

Čekija. Čekijoje multimodaliniai vežimai reguliuojami per bendrąsias civilinės teisės normas ir tarptautines konvencijas. Terminija nėra įtvirtinta. Kaip pažymi Svetopetrić (1991), „nėra vieningos integruoto, multimodalinio ir kombinuoto transporto sąvokų apibrėžties“, todėl išlieka interpretavimo galimybės. Panašią problemą identifikuoja ir Novák (2021), pabrėždamas, kad skirtingos sąvokos lemia nevienodą jų taikymą praktikoje. Pagal Čekijos civilinio kodekso nuostatas, vežimo santykiai reguliuojami kaip sutartiniai įsipareigojimai, o tai reiškia, kad multimodaliniai vežimai vertinami per bendrųjų prievolių teisės taisyklių prizmę (Čekijos civilinis kodeksas, 2012).

Vokietija. Vokietijoje multimodaliniai vežimai aiškiai reglamentuoti Vokietijos komerciniame kodekse (1998), 5 skyriuje „Vežimas skirtingomis transporto rūšimis“ (§§ 452–452d). Šios nuostatos apima vežimo sutartį, žalos nustatymo taisykles, pranešimo apie žalą tvarką ir nukrypstančius susitarimus.

Vokietijos teisėje numatyta, kad jei žalos atsiradimo vieta nustatoma, taikomas konkrečiai transporto rūšiai būdingas režimas, o jei nenustatoma – taikomos vienodos taisyklės. Tokia sistema laikoma pažangesne, nes, kaip pažymi Besong (2007), „Multimodalinis transportas neturi aiškaus atsakomybės režimo“, todėl bendro modelio sukūrimas yra būtinas siekiant teisinio tikrumo.

Galima daryti išvadą, jog Lietuva, Lenkija ir Čekija remiasi bendrosiomis civilinės teisės normomis ir tarptautinėmis konvencijomis, o tai lemia didesnę teisinę neapibrėžtumą. Vokietijos modelis išsiskiria aiškiu nacionaliniu reguliavimu ir nuoseklesniu atsakomybės taikymu.

4. Harmonizavimo perspektyvos ES mastu

Direktyvos 92/106/EEB vaidmuo ir jos atnaujinimas. Direktyva 92/106/EEB apibrėžia kombinuoto transporto sąvoką ir nustato palankesnes sąlygas, skirtas skatinti perėjimą nuo kelių transporto prie kitų transporto rūšių (Europos Sąjungos Taryba, 1992). Vis dėlto praktikoje ši direktyva laikoma ribotos apimties ir nebeatitinkančia dabartinių rinkos poreikių. Dėl to Europos Komisija pasiūlė jos pakeitimus, numatančius paramos priemones intermodaliniam transportui, didesnę dėmesį duomenų rinkimui ir skaitmeninimui (Europos Komisija, 2023).

Skaitmeninimas ir vienodas dokumentas. Europos Sąjungos lygmeniu dar 2009 m. buvo

analizuojama vienodo (elektroninio) vežimo dokumento ir savanoriško atsakomybės režimo pridėtinė vertė multimodaliniams vežimams. Nustatyta, kad vienodas dokumentas galėtų sumažinti administracinę naštą ir palengvinti multimodalinių transporto grandinių valdymą (Europos Komisija, 2009).

Atsakomybės režimų sąveika. Tarptautinės vienaarūšės konvencijos, pavyzdžiui, CMR, taikomos multimodalinėse grandinėse tik tuo atveju, kai galima nustatyti konkretų vežimo segmentą. Tačiau nelokaluotos žalos atvejai išlieka problemiški. Tokiose situacijose išryškėja poreikis „atsarginėms“ taisyklėms, kurios užtikrintų didesnę teisinę aiškumą ir nuoseklų atsakomybės taikymą (Jungtinių Tautų Europos ekonomikos komisija, 1956; Mitkevičius, 2017).

Teisėkūros priemonių pasirinkimo dilema. Harmonizavimas direktyvomis palieka erdvės skirtingam jų perkėlimui į nacionalinę teisę, o reglamentai, nors ir užtikrina vienesnį taikymą, reikalauja platesnio politinio sutarimo ir suderinamumo su esamais tarptautiniais režimais. Todėl realistiškiausias sprendimas yra mišrus modelis, apimantis ES lygmens terminijos ir duomenų standartų nustatymą bei nacionalinių „atsarginių“ taisyklių taikymą, kol bus pasiektas platesnis susitarimas dėl bendro multimodalinių vežimų teisinio režimo.

5. Rekomendacijos Lietuvai

Atsižvelgiant į multimodalinių vežimų teisinio reguliavimo fragmentiškumą Lietuvoje, tikslinga formuluoti kryptingas teisėkūros ir praktinio įgyvendinimo rekomendacijas. Pirmiausia, nacionaliniu lygmeniu rekomenduojama įtvirtinti vieningą „atsarginę“ atsakomybės taisyklę (angl. *fallback rule*), taikomą tais atvejais, kai neįmanoma nustatyti žalos atsiradimo etapo. Tokia taisyklė (angl. *fallback rule*) leistų sumažinti teisinę neapibrėžtumą, užtikrintų nuoseklesnį ginčų sprendimą ir sudarytų prielaidas labiau prognozuojamam rizikos vertinimui (Mitkevičius, 2017).

Antra, siūlytina priimti specialų nacionalinį teisės aktą, reglamentuojantį multimodalinius vežimus. Šiame teisės akte turėtų būti aiškiai apibrėžtos pagrindinės sąvokos, nustatytos sutartinių santykių šalys (siuntėjas, vežėjas, multimodalinio transporto operatorius (angl. *multimodal transport operator*)), jų teisės ir pareigos, taip pat įtvirtintos taikytinos teisės ir ginčų sprendimo taisyklės. Toks reguliavimas

prisdėtų prie didesnio teisinio aiškumo ir vienodos praktikos formavimo.

Trečia, net ir nesant atskiro įstatymo, tikslinga integruoti pagrindines multimodalinio transporto sąvokas į Lietuvos Respublikos civilinį kodeksą. Terminijos įtvirtinimas bendrosios civilinės teisės sistemoje sudarytų minimalią bazę vienodam sutarčių aiškinimui ir teismų praktikai, taip sumažinant interpretavimo skirtumus.

Ketvirta, būtina skatinti įrodymų ir dokumentavimo procesų standartizaciją. Rekomenduojama nustatyti vieningus krovinių būklės fiksavimo protokolus terminaluose ir perdavimo taškuose, taip pat užtikrinti nuoseklų informacijos dokumentavimą visoje logistikos grandinėje. Tokios priemonės padėtų tiksliau lokalizuoti žalos atsiradimo vietą ir sumažintų priklausomybę nuo „atsarginės“ atsakomybės taisyklės (angl. *fallback rule*) taikymo (Europos Komisija, 2009).

Apibendrinant galima teigti, kad aiškesnis teisinis reglamentavimas, nuosekli terminija ir praktinių procedūrų standartizavimas sudarytų prielaidas efektyvesniam multimodalinių vežimų reguliavimui Lietuvoje, mažintų teisinį neapibrėžtumą ir didintų transporto sektoriaus veiklos prognozuojamumą.

Išvados

1. Multimodalinių vežimų teisinis reguliavimas Europos Sąjungoje išlieka fragmentiškas, nes grindžiamas skirtingais teisės šaltiniais – ES teisės aktais, tarptautinėmis konvencijomis ir nacionaline teise. Tai lemia nevienodą teisės taikymą ir ribotą teisinį prognozuojamumą.
2. Vienodos terminijos ir bendro atsakomybės režimo nebuvimas sudaro prielaidas teisės kolizijoms, ypač nelokalizotos žalos atvejais, kai neįmanoma nustatyti konkretaus vežimo etapo.
3. Lyginamoji analizė parodė, kad Lietuva, Lenkija ir Čekija daugiausia remiasi bendrosiomis civilinės teisės normomis ir tarptautinėmis konvencijomis, o Vokietijoje įtvirtintas specialus teisinis reguliavimas užtikrina didesnę teisinį aiškumą, ypač taikant „atsarginę“ atsakomybės taisyklę (angl. *fallback rule*).
4. Siekiant didinti teisinį tikrumą, būtina stiprinti reglamentavimą tiek ES, tiek nacionaliniu lygmeniu, numatant terminijos suvienodinimą, aiškesnę atsakomybės režimą bei „atsarginės“ taisyklės (angl. *fallback rule*) įtvirtinimą ir dokumentavimo praktikų tobulinimą Lietuvoje.

Literatūra

Besong, C. (2007). *Towards a modern role for liability in multimodal transport law*. Prieiga per internetą: <https://www.proquest.com/openview/bebeac521ac67367b760bfc854a4685b/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366>

Čekijos Respublikos Parlamentas. (2012). *Čekijos civilinis kodeksas*. Prieiga per internetą: <<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-89>>

Elbert, R., Müller, J.-P., ir Rentschler, J. (2020). *Tactical network planning and design in multimodal transportation – A systematic literature review*. Prieiga per internetą: <DOI:10.1016/j.rtbm.2020.100462>

Europos Parlamentas ir Taryba. (2020). *Regulation (EU) 2020/1056 of 15 July 2020 on electronic freight transport information*. Prieiga per internetą: <<https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2020/1056/oj>>

Europos Sąjungos Taryba. (1992). *Council Directive 92/106/EEC of 7 December 1992 on the establishment of common rules for certain types of combined transport of goods between Member States*. Prieiga per internetą: <<https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/1992/106/oj>>

Jungtinės Tautos. (1980). *United Nations Convention on International Multimodal Transport of Goods*. Prieiga per internetą: <<chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://unctad.org/system/files/official-document/tdmtconf17en.pdf>>

Jungtinių Tautų Europos ekonomikos komisija. (1956). *Convention on the Contract for the International Carriage of Goods by Road (CMR)*. Prieiga per internetą: <https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/conventn/cmr_e.pdf>

Knaččíková, L., ir Kaščák, P. (2019). *Sustainable multimodal and combined transport in the European Union*. *Advances in Logistics*, 6(4). Prieiga per internetą: <<https://doi.org/10.22306/al.v6i4.144>>

Korableva, I. V. (2025). *Genesis of legal regulation of multimodal transportation*. *Teoriya i praktika obshchestvennogo razvitiya*. Prieiga per internetą: <DOI:10.24158/tipor.2025.2.26>

Lenkijos Respublikos Seimas. (1964). *Lenkijos civilinis kodeksas*. Prieiga per internetą: <<https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU19640160093>>

Lietuvos Respublikos Seimas. (1991). *Lietuvos Respublikos transporto veiklos pagrindų įstatymas*. Prieiga per internetą: <<https://e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.FBE404535C5B/asr>>

Lietuvos Respublikos Seimas. (2000). *Lietuvos Respublikos civilinis kodeksas*. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.245495>

Mitkevičius, V. (2017). *Multimodalinio krovinių vežimo teisinis (ne)reguliavimas Lietuvoje*. *Teisė*, 105, 135–154. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.15388/Teise.2017.105.11125>

Novák, R. (2021). *Contracts for international multimodal carriage and Rotterdam Rules*. *Perner's Contacts*, 16(1). Prieiga per internetą <https://doi.org/10.46585/pc.2021.1.1666>

Pavlyuk, S. (2019). *Feature selection and extraction in spatiotemporal traffic forecasting: a systematic literature review*. Prieiga per internetą: [DOI:10.1186/s12544-019-0345-9](https://doi.org/10.1186/s12544-019-0345-9)

Spanjaart, M. (2017). *Multimodal transport law*. ISBN: 9781315213699. Prieiga per internetą: [DOI:10.4324/9781315213699](https://doi.org/10.4324/9781315213699)

Svetopetrić, I. (1991). *Pojam termina integralni, multimodalni i kombinirani transport*. Prieiga per internetą: https://www.academia.edu/30621280/Multimodalni_transport

Verheyen, W. (2019). *What is a unimodal carriage contract? The mode of transport as legal concept*. In *Research Handbook on Maritime Law and Regulation*. Prieiga per internetą: <https://classic.austlii.edu.au/au/journals/ELECD/2019/1646.html>

Vokietijos komercinis kodeksas. Prieiga per internetą: <https://www.gesetze-im-internet.de/hgb/>

Yunita, H., Aron, K., ir Ferreira, J. N. D. (2023). *Legal protection and liability for multimodal transport operators in the transport of dangerous and toxic goods*. *Pandecta: Research Law Journal*. Prieiga per internetą: [DOI:10.15294/pandecta.v18i1.42153](https://doi.org/10.15294/pandecta.v18i1.42153)

EVALUATION OF MULTIMODAL TRANSPORT REGULATIONS

AURELIJUS VAŠKYS¹, IVAN ČESOV¹

*¹Vilniaus Kolegija | Higher Education Institution, Faculty of Civil Engineering,
Department of Business and Public Management, Antakalnio g. 54, Vilnius*

Summary: This article examines the legal regulation of multimodal transport within the European Union, highlighting its fragmented nature, inconsistent terminology, and the absence of a unified liability regime. The interaction between different legal sources—European Union legislation, international conventions, and national laws—creates legal uncertainty, particularly in cases where the stage of damage cannot be identified.

The study identifies key challenges, including the lack of harmonized definitions of multimodal, intermodal, and combined transport, as well as divergent national practices among EU Member States. Using legal document analysis and a comparative approach, the article evaluates the regulatory frameworks of Lithuania, Poland, the Czech Republic, and Germany.

The findings reveal that Lithuania, Poland, and the Czech Republic primarily rely on general civil law rules and international conventions, resulting in greater legal uncertainty. In contrast, Germany has established a more coherent legal framework within its Commercial Code (HGB), incorporating a hybrid liability model and a fallback rule applied when the location of damage cannot be determined.

Based on the analysis, the article proposes directions for EU-level harmonization and offers recommendations for Lithuania, including the introduction of a fallback rule, clearer legal definitions, and improved documentation and digitalization practices. These measures would enhance legal certainty and ensure more consistent application of liability rules in multimodal transport.

Key words: multimodal transport; intermodal transport; carrier liability; liability regime; EU law.

CONSTRUCTION & DEMOLITION WASTE GENERATION AND MANAGEMENT IN LITHUANIA

KRISTUPAS BITINAS¹, DOVAS ŠEKŠTELIS¹, INGA PIŠČIKIENĖ¹

¹*Vilniaus Kolegija | Higher Education Institution, Faculty of Civil Engineering, Department of Civil Engineering, Antakalnio g. 54, Vilnius*

Abstract. Construction and Demolition Waste (CDW) has emerged as the most significant waste stream globally, accounting for approximately one-third of all waste generated in the European Union. In Lithuania, the construction sector has experienced robust growth, prompting a critical evaluation of its environmental footprint and the sustainability of its materials management. This article investigates the hypothesis that construction waste volumes in Lithuania have increased over the 2021–2023 period and evaluates the effectiveness of current management strategies in meeting circular economy objectives. Utilizing statistical data from the State Data Agency and comparing national performance with European Union benchmarks, the study identifies a 10.4% increase in waste generation between 2022 and 2023. While Lithuania demonstrates an exceptional quantitative recovery rate of 90–95%, which exceeds the European Union's 70% target, the research highlights a "downcycling" crisis where materials are recovered for low-value applications rather than high-value circular reuse. The findings suggest that achieving true sustainability requires a shift from quantitative recovery targets to qualitative, high-value recycling methodologies, mandatory source sorting, and "Design for Deconstruction" principles.

Keywords: construction and demolition waste, circular economy, recycling, sustainability.

Introduction

The construction industry is a fundamental pillar of modern civilization, providing the infrastructure necessary for habitation, commerce, and transportation. However, this development comes at a significant environmental cost. Construction and demolition waste (CDW) is currently recognized as one of the largest waste streams globally, generated during the construction, renovation, and demolition of buildings and infrastructure (Eurostat, 2024; MDPI, 2021). At the European Union level, CDW accounts for a substantial share of total waste generation, making it a key focus of environmental and waste management policies (Waste Framework Directive 2008/98/EC).

This issue is particularly relevant for Lithuania, where the construction sector has been steadily expanding in recent years due to urban modernization and large-scale residential renovation initiatives. National statistics indicate that construction activity is closely linked to increasing volumes of industrial and construction-related waste, highlighting growing pressure on waste management systems (State Data Agency of Lithuania, 2022; Statistics Lithuania, 2023). The construction industry therefore represents a paradox, as it is simultaneously one of the largest consumers of raw materials and one of the largest producers of waste.

In response to these challenges, the concept of the circular economy has become central

to European environmental policy. The circular economy seeks to decouple economic growth from resource consumption by promoting material reuse, recycling, and long-term value retention (Waste Framework Directive 2008/98/EC). In theory, CDW is particularly well suited to circular economy principles because its main components—such as concrete, metals, and wood—are relatively homogeneous and have high technical recycling potential. Previous studies suggest that up to 95% of construction and demolition waste could be recovered if appropriate sorting and management practices are applied (MDPI, 2021). Nevertheless, a substantial gap remains between this theoretical potential and actual on-site waste management practices. This article therefore explores the scale of CDW generation, recent trends in Lithuania, and the key barriers preventing a transition toward a truly circular construction model.

1. Historical evolution of construction materials in Lithuania

Understanding the current construction and demolition waste landscape requires an examination of how Lithuania's built environment has evolved over the past century. Historical development patterns indicate that early construction practices in Lithuania relied heavily on timber and other locally available materials, reflecting the predominance of wooden architecture and renewable resources in the early twentieth century (State Data Agency

of Lithuania, 2022). While such structures were relatively sustainable in terms of material origin, their demolition generated organic waste streams characteristic of that period. After World War II, particularly during the Soviet era, construction practices shifted markedly toward industrialized methods and mineral-based materials. Large-scale prefabricated concrete housing projects significantly altered the national building stock, introducing extensive quantities of reinforced concrete and masonry materials (Statistics Lithuania, 2023).

This transition toward mineral-intensive construction largely explains contemporary waste generation patterns. As aging Soviet-era residential and public buildings approach the end of their service life or undergo deep renovation as part of national modernization programs, they produce substantial volumes of concrete, brick, and mixed mineral waste (Eurostat, 2024; State Data Agency of Lithuania, 2023). In addition, more recent construction phases have increased material complexity through the use of composite materials, advanced thermal insulation systems, plastics, and glass. These changes have contributed to a more heterogeneous waste stream, complicating sorting and recycling processes (MDPI, 2021). Consequently, each historical phase of construction activity has created a distinct “material legacy” that continues to shape current challenges in construction and demolition waste management in Lithuania.

2. The global scale and environmental consequences

The generation of construction and demolition waste represents a significant global environmental challenge. Within the European Union, construction and demolition waste constitutes the largest waste stream, accounting for approximately one third of all waste generated by member states (Eurostat, 2024). Annual CDW generation in the EU reaches hundreds of millions of tonnes, reflecting the scale of construction activity and the material-intensive nature of the sector. Similar trends are observed internationally, confirming that construction waste management is a global issue rather than a regionally isolated problem (MDPI, 2021).

The environmental impact of construction and demolition waste is multifaceted. Inefficient waste management contributes to increased emissions, resource depletion, and environmental degradation.

A major contributor to climate change is cement production, which is an essential component of concrete used in construction worldwide. Cement manufacturing is energy-intensive and releases significant amounts of carbon dioxide due to both fuel combustion and the chemical process of limestone calcination (MDPI, 2021; Waste Framework Directive 2008/98/EC). As a result, the construction sector plays a notable role in overall environmental pollution and greenhouse gas emissions.

Beyond emissions, the extraction of virgin raw materials such as sand, gravel, and stone leads to habitat destruction, increased land disturbance, and high energy consumption. When construction materials are not effectively recycled or reused, additional environmental burdens arise from both waste disposal and the extraction of replacement materials (Eurostat, 2024). Furthermore, inadequate waste handling practices can result in social and economic consequences, including illegal dumping, health risks for workers due to poor on-site sorting, and the loss of economic value embedded in reusable materials (State Data Agency of Lithuania, 2023). These factors highlight the importance of improving construction and demolition waste management as part of broader sustainability and circular economy strategies.

3. Analysis of Lithuanian construction waste trends (2021–2023)

Lithuania’s construction sector has experienced substantial activity in recent years, particularly in residential development and public infrastructure projects. To examine the hypothesis that construction and demolition waste volumes are increasing, statistical data from the State Data Agency of Lithuania were analyzed for the 2021–2023 period. According to official statistics, Lithuania generated 863,322 tonnes of construction and demolition waste in 2021 (State Data Agency of Lithuania, 2022). In 2022, total waste generation declined to 770,924 tonnes, representing a temporary reduction that may be associated with external factors affecting construction activity, including economic uncertainty and disruptions related to geopolitical events impacting supply chains across Europe (Statistics Lithuania, 2023).

The downward trend observed in 2022 reversed in 2023. Data indicate that construction and demolition waste generation increased to 851,156 tonnes, corresponding to an approximate 10.4% rise compared to the previous year (State

Data Agency of Lithuania, 2023). This increase supports the hypothesis that waste generation is strongly linked to economic development and ongoing construction activity, including large-scale residential renovation initiatives. National renovation programs aimed at improving the energy efficiency of existing building stock have contributed significantly to demolition and reconstruction activities, thereby increasing waste volumes.

Analysis of waste management outcomes in 2023 reveals both positive developments and persistent challenges. Of the total waste generated, approximately 682,479 tonnes were recycled, while a substantial share was directed to energy recovery processes (State Data Agency of Lithuania, 2023). At the same time, landfill disposal decreased from 18,246 tonnes in 2022 to 13,554 tonnes in 2023, indicating improved diversion of construction waste from landfills (Eurostat, 2024). These findings suggest that although overall waste generation is rising, Lithuania has made progress in reducing landfill dependence and improving recovery practices.

4. Lithuania in the European and regional context

When comparing Lithuania's performance with that of neighboring countries and the wider European Union, the results appear statistically strong. The European Union's Waste Framework Directive established a target requiring member states to recover at least 70% of non-hazardous construction and demolition waste (Waste Framework Directive 2008/98/EC). Based on official statistics, Lithuania has consistently exceeded this threshold, achieving recovery rates in the range of 90–95% in recent years (Eurostat, 2024; State Data Agency of Lithuania, 2023). These figures place Lithuania among the higher-performing EU member states and above the EU-27 average recovery level, demonstrating effective diversion of construction waste from landfills.

A regional comparison with Latvia provides additional perspective. Available data indicate that Latvia generated a considerably smaller volume of construction and demolition waste than Lithuania, with total CDW generation of approximately 306,000 tonnes reported in 2019 (Eurostat, 2024). Although both countries are subject to the same EU recovery target, Lithuania manages substantially larger waste volumes while maintaining higher recovery rates. This

suggests a comparatively well-developed waste management system in quantitative terms.

However, these favorable statistics should be interpreted with caution. High recovery rates do not necessarily indicate high-quality recycling or full implementation of circular economy principles. In both Lithuania and neighboring countries, a significant share of recovered construction waste is used in low-value applications rather than being recycled into materials of equivalent quality (MDPI, 2021). Consequently, despite strong quantitative performance, the transition from basic recovery toward high-value, circular recycling remains a shared regional challenge.

5. The "quality gap" and the downcycling dilemma

The primary concern associated with Lithuania's high construction and demolition waste recovery rate relates to the qualitative aspect of that recovery. Although official statistics indicate that up to 95% of construction waste is classified as "recovered," a substantial share of this material undergoes downcycling rather than high-value recycling (Eurostat, 2024; State Data Agency of Lithuania, 2023). Downcycling refers to recycling processes in which materials are reused in lower-value applications that do not preserve their original functional or structural properties (MDPI, 2021). In Lithuania, a common example of this practice is the crushing of high-quality concrete and brick waste for use as backfill or road sub-base material. While such applications prevent landfill disposal, they do not fully align with circular economy principles.

This reliance on downcycling limits the overall level of circularity, as it fails to substantially reduce demand for virgin raw materials in structural construction applications. From a sustainability perspective, the greatest environmental benefits of recycling are achieved through high-value recycling processes, where waste materials replace newly extracted resources of comparable quality, such as recycled concrete aggregates used in new concrete production (MDPI, 2021). When materials are downcycled, the opportunity to reduce emissions associated with energy-intensive extraction and processing of virgin materials is largely lost. Consequently, despite high recovery rates, the potential for reducing carbon dioxide emissions and resource depletion remains underutilized.

These findings indicate that construction waste management strategies should move

beyond quantitative recovery targets toward a greater emphasis on qualitative outcomes. In the Lithuanian context, policy priorities should increasingly focus on improving material separation, encouraging high-value recycling practices, and aligning waste management systems more closely with circular economy objectives outlined at the European Union level (Waste Framework Directive 2008/98/EC).

6. Barriers to high-quality recycling

Several obstacles hinder the transition of the Lithuanian construction sector toward high-value circularity in construction and demolition waste management. One of the most significant challenges is insufficient sorting at the source. When different material fractions—such as concrete, wood, plastics, and gypsum-based products—are mixed at construction or demolition sites, contamination occurs, significantly reducing the technical and economic feasibility of later separation and high-quality recycling (MDPI, 2021). As a result, mixed waste is often directed toward low-value recovery options, including downcycling.

Economic considerations further exacerbate this problem. In many cases, contractors face lower immediate costs when opting for low-grade recovery or disposal pathways rather than investing additional time and labor in careful on-site sorting. This cost imbalance discourages the adoption of practices that would enable higher-value recycling (State Data Agency of Lithuania, 2023). In addition, regulatory frameworks and economic incentives are not always sufficiently robust or consistent to promote high-quality recycling as the most financially attractive option (Waste Framework Directive 2008/98/EC).

Another significant barrier lies in prevailing construction practices and building design approaches. The construction sector has traditionally prioritized rapid demolition over deconstruction, which involves the systematic disassembly of structures to preserve material value and enable reuse (MDPI, 2021). Moreover, many contemporary buildings are not designed with their eventual dismantling in mind, resulting in material combinations and bonding techniques that hinder separation at the end of their life cycle. These factors collectively limit the ability of the Lithuanian construction industry to fully implement high-value circular economy principles.

Strategic Solutions and Policy Directions

To advance toward a genuinely circular construction model, Lithuania must implement a set of coordinated strategic interventions in construction and demolition waste management. A key measure is the promotion of *design for deconstruction*, an approach that encourages buildings to be designed as assemblages of components that can be more easily disassembled, reused, or recycled at the end of their service life (MDPI, 2021). By shifting practices from conventional demolition toward planned deconstruction, it becomes possible to preserve the material value of structural elements such as timber, steel components, and masonry units, thereby improving reuse and high-value recycling potential.

Strengthening regulatory requirements related to source separation represents another essential intervention. Mandatory on-site sorting of mineral, organic, and hazardous waste streams would significantly improve material purity and enhance the economic viability of high-quality recycling processes (Waste Framework Directive 2008/98/EC). In Lithuania, the introduction of mandatory Green Public Procurement practices in public construction projects has already demonstrated progress in this direction, as such measures encourage the use of recycled materials and enforce stricter waste management standards within publicly funded developments (State Data Agency of Lithuania, 2023).

Investment in advanced waste processing technologies is also critical. Improved sorting and treatment facilities are necessary to transform construction and demolition waste into high-grade secondary raw materials capable of replacing virgin resources (Eurostat, 2024). In parallel, a broader cultural shift within the construction sector is required. Greater emphasis on waste prevention and material efficiency should be integrated into early project planning stages, supported by digital tools such as Building Information Modeling (BIM). These tools enable more accurate prediction of waste quantities and improved tracking of material flows throughout the building life cycle, thereby supporting more effective circular economy implementation (MDPI, 2021).

7. Discussion

The results of this study show that construction and demolition waste management in Lithuania performs well in quantitative terms but faces

challenges in achieving high-quality circularity. Statistical data indicate that Lithuania consistently exceeds the European Union's minimum recovery target of 70% for non-hazardous construction and demolition waste, with recovery rates reaching up to 95% (Eurostat, 2024; State Data Agency of Lithuania, 2023). These results demonstrate that Lithuania is effective at diverting construction waste from landfills and complying with EU waste management regulations.

However, a closer analysis reveals that high recovery rates do not automatically mean that construction waste is managed in a truly circular way. A large share of recovered materials is downcycled, meaning that waste is reused in lower-value applications such as road sub-base or backfilling. While this approach helps reduce landfill disposal, it does not significantly decrease the demand for new raw materials in construction, which limits its environmental benefits (MDPI, 2021).

The findings also highlight several reasons why high-value recycling remains limited in Lithuania. One major issue is insufficient sorting of waste at construction sites, which leads to material contamination and reduces recycling quality. In addition, from an economic perspective, low-grade recovery is often cheaper and easier for contractors than investing in careful sorting and high-quality recycling processes. Similar challenges have been identified in broader European waste management policies and practice (Waste Framework Directive 2008/98/EC).

Recent policy measures, such as Green Public Procurement, show positive potential by encouraging the use of recycled materials and stricter waste management requirements in public construction projects. Nevertheless, these measures alone are not enough to ensure a full transition to circular construction. Greater emphasis is needed on design for deconstruction, better planning at the project design stage, and investment in advanced recycling technologies. Overall, while Lithuania has made significant progress in managing construction and demolition waste, further improvements are required to move from high recovery rates toward meaningful circular economy outcomes.

Conclusions

1. Statistical analysis confirms that construction and demolition waste generation in Lithuania increased between 2021 and 2023, with a significant rise of approximately 10.4%

observed in 2023, reflecting growing construction and renovation activity.

2. Lithuania consistently exceeds the European Union's recovery target for non-hazardous construction and demolition waste, achieving recovery rates of 90–95%, which indicates effective landfill diversion and regulatory compliance.
3. Despite high recovery rates, a large share of recovered waste is subject to downcycling, limiting its contribution to true circular economy outcomes and reducing potential environmental benefits.
4. Key barriers to high-value recycling include inadequate source sorting, economic disadvantages of high-quality recycling, limited processing infrastructure, and building designs that do not support material disassembly.
5. Strategic measures such as design for deconstruction, strengthened source-sorting regulations, technological investment, and expanded use of Green Public Procurement are essential to improve recycling quality and material circularity.
6. To achieve sustainable construction and demolition waste management, policy and industry focus in Lithuania should shift from quantitative recovery targets toward qualitative performance, emphasizing material reuse, high-value recycling, and lifecycle-based planning.

Literature

Eurostat. (2024). *Construction and demolition waste statistics for the European Union*. <https://ec.europa.eu/eurostat>

MDPI. (2021). *Sustainable management of construction and demolition waste*. *Buildings*, 11(2), Article 61. <https://www.mdpi.com/journal/buildings>

State Data Agency of Lithuania. (2023). *Analysis of statistical indicators for waste management*. <https://www.stat.gov.lt>

State Data Agency of Lithuania. (2022). *Environment, agriculture and energy in Lithuania*. <https://www.stat.gov.lt>

Waste Framework Directive 2008/98/EC. (2008). *Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council on waste and repealing certain directives*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32008L0098>

Statistics Lithuania. (2023). *Annual report on industrial production and waste generation*. <https://www.stat.gov.lt>

STATYBOS IR GRIOVIMO ATLIEKŲ SUSIDARYMAS IR TVARKYMAS LIETUVOJE

KRISTUPAS BITINAS¹, DOVAS ŠEKŠTELIS¹, INGA PIŠČIKIENĖ¹

¹Vilniaus kolegija, Statybos fakultetas, Statybos inžinerijos katedra, Antakalnio g. 54, Vilnius

Santrauka. Statybos ir griovimo atliekos (SGA) sudaro didžiausią atliekų srautą Europos Sąjungoje ir kelia reikšmingų aplinkosauginių iššūkių tiek ES, tiek nacionaliniu lygmeniu. Lietuvoje augantis statybos sektorius ir intensyvi pastatų renovacija lemia nuolat didėjantį šių atliekų kiekį, todėl efektyvus jų tvarkymas tampa ypač svarbus siekiant žiedinės ekonomikos tikslų. Šio straipsnio tikslas – išanalizuoti statybos ir griovimo atliekų susidarymo tendencijas Lietuvoje 2021–2023 m. laikotarpiu bei įvertinti taikomų tvarkymo priemonių veiksmingumą tvarumo kontekste. Tyrimas pagrįstas Valstybės duomenų agentūros statistikos analize ir Lietuvos rodiklių palyginimu su Europos Sąjungos nustatytais tikslais. Gauti rezultatai rodo, kad 2023 m., lyginant su 2022 m., SGA kiekis Lietuvoje padidėjo 10,4 %. Nors atliekų panaudojimo ir perdirbimo rodikliai siekia 90–95 % ir viršija ES nustatytą 70 % ribą, nustatyta, kad didelė dalis atliekų panaudojama žemos pridėtinės vertės būdais (vadinamuoju „nuvertinamuoju perdirbimu“ arba downcycling), o tai neužtikrina tikrųjų žiedinės ekonomikos principų įgyvendinimo.

Straipsnyje daroma išvada: siekiant tvaraus SGA tvarkymo, būtina pereiti nuo kiekybinių tikslų prie aukštos kokybės perdirbimo, stiprinti atliekų rūšiavimą jų susidarymo vietoje ir taikyti projektavimo išardymui (*design for deconstruction*) principus.

Reikšminiai žodžiai: statybos ir griovimo atliekos, žiedinė ekonomika, perdirbimas, tvarumas.

USE OF WASTE MATERIALS IN CONCRETE PRODUCTION FOR SUSTAINABLE CONSTRUCTION

LIEPA KEKYTĖ¹, AUSTĖJA BERNOTAITĖ², INGA PIŠČIKIENĖ¹

¹Vilniaus Kolegija | Higher Education Institution, Faculty of Civil Engineering,
Department of Civil Engineering, Antakalnio g. 54, Vilnius

Abstract. Concrete is the most widely used construction material in the world, and its production has a significant environmental impact, mainly due to cement manufacturing. Cement production is one of the most energy-intensive industrial processes and generates large amounts of carbon dioxide emissions. Recently, the construction industry has started looking for sustainable alternatives to reduce environmental damage while maintaining structural performance. One of the most promising approaches is the incorporation of waste materials into concrete as partial replacements for cement or aggregates.

This article presents a comparative analysis of the recent research into the use of waste materials in concrete production. It sheds light on various aspects of different types of waste that have been analysed in selected articles that were published from 2020 to 2025. Particular attention is given to the influence of waste on workability, environmental benefits, and practical application in different types of concrete. Experimental observations related to slump flow and durability are discussed. The results indicate that waste-based concrete can contribute to sustainable construction while maintaining acceptable performance, although certain limitations remain.

Keywords: concrete, cement replacement, waste materials, sustainability, slump flow
Keywords: concrete, cement replacement, waste materials, sustainability, slump flow.

Introduction

Concrete plays a vital role in modern construction and is widely used in civil engineering infrastructure such as buildings, bridges, roads, and dams due to its availability, durability, resistance to environmental exposure, and ability to be cast into complex shapes (Mashaan & De Silva, 2024; Thomas, 2021). Rapid global urbanization and the increasing demand for infrastructure have led to continuously growing concrete consumption, raising serious environmental concerns related to cement production (Wang & Syamsunur, 2024; Al-Tersawy et al., 2023). Cement manufacturing is one of the most carbon-intensive industrial processes because of high energy consumption and CO₂ emissions from limestone calcination (Thomas, 2021).

In the context of global climate targets, this environmental burden has encouraged researchers to seek sustainable solutions based on material efficiency, circular economy principles, and alternative binders. Among these strategies, the use of waste materials in concrete production has emerged as a promising approach to reduce cement consumption while maintaining acceptable mechanical and durability performance. The study is based on a qualitative comparative analysis of peer-reviewed journal articles selected according to

publication date, relevance, and focus on waste-based concrete technologies.

The aim of this article is to conduct a comparative analysis of recent scientific literature published between 2020 and 2025 on the use of waste materials in concrete production and to identify key benefits, limitations, and future research directions.

1. Concrete and cement: environmental context

Concrete and cement are central to discussions on sustainability in the construction sector due to their extensive use and environmental impact. Ordinary Portland cement (OPC), the primary binder in concrete, is responsible for a significant share of global industrial CO₂ emissions, mainly due to energy-intensive clinker production (Thomas, 2021; Wang & Syamsunur, 2024). As a result, reducing clinker content has become one of the most effective strategies for lowering the environmental footprint of concrete.

Recent studies emphasize the importance of sustainable material solutions, including supplementary cementitious materials, waste-based binders, and durability-oriented design approaches (Che et al., 2024; Abutu et al., 2025). Extending service life and improving durability are considered critical factors in reducing life-cycle environmental impacts (Peixoto et al., 2024).

Concrete as a Construction Material

Concrete is composed of cement, aggregates, and water, and it offers high compressive strength, durability, resistance to water and heat, and structural versatility. These properties make it the most commonly used construction material worldwide (Zelege & Cherkos, 2025). Despite its technical advantages, the environmental impact of concrete is largely driven by cement production rather than aggregates or water usage.

Cement Production and Environmental Impact

According to many current researchers, cement production has a large environmental footprint because it is both energy-intensive and chemically emits CO₂ during limestone calcination. The majority of the analyzed sources identify cement as an essential driver of construction-related emissions. Thomas (2021) highlights the scale of global cement production and emphasizes that cement-related CO₂ represents a significant share of worldwide emissions, making "business-as-usual" cement and concrete supply chains increasingly incompatible with global climate targets. Similar conclusions are presented by Wang and Syamsunur (2024), who stress that clinker production remains the dominant contributor to the environmental burden of concrete, regardless of downstream material efficiency improvements. Further studies reinforce that emissions from cement manufacturing are tightly coupled with broader climate and environmental challenges, strengthening the demand for alternative binders and low-carbon cementitious systems (Hamsashree et al., 2024; Hore & Shiuly, 2023).

Across the articles in focus, the most consistent mitigation strategy is substitution and circularity, particularly through reducing clinker content by replacing cement with supplementary cementitious materials (SCMs), industrial by-products, and bio-based or nano-scale additives. Alkali-activated binders and fly ash-slag systems are frequently highlighted as effective pathways for lowering cement-related emissions while maintaining adequate mechanical performance and durability (Hamsashree et al., 2024). Experimental studies demonstrate that partial cement replacement with waste-derived materials such as sewage sludge ash, silica fume, agricultural ashes, or ceramic waste can significantly reduce cement demand, thereby lowering embodied carbon without severely compromising structural integrity (Zelege &

Cherkos, 2025; Oluwole et al., 2025). In parallel, emerging research on bio-based admixtures and nano-enhanced additives suggests that these materials can enhance cement hydration, microstructural refinement, and durability, allowing for further cement reduction while maintaining performance (Bedada et al., 2023; Abutu et al., 2025). Collectively, these studies indicate that reducing cement consumption through material innovation is one of the most impactful strategies for mitigating the environmental footprint of concrete.

Cement production involves high-temperature kiln processes that require substantial energy input, primarily from fossil fuels, further amplifying its greenhouse gas emissions. Consequently, increasing regulatory pressure and climate-driven policies are pushing the construction industry toward cement efficiency, clinker reduction, and alternative binder systems (Thomas, 2021; Wang & Syamsunur, 2024). Replacing a portion of cement with waste materials, SCMs, or bio-based additives is therefore widely recognized as a practical and scalable approach to reducing emissions while improving sustainability outcomes, without fundamentally compromising structural performance or durability (Zelege & Cherkos, 2025; Bedada et al., 2023).

2. Waste materials as cement replacements

The use of waste materials as partial cement replacements is consistently identified in the literature as a key strategy for reducing clinker demand and lowering the environmental footprint of concrete. Studies show that waste-derived materials such as sewage sludge ash, silica fume, ceramic waste powder, paper pulp ash, agricultural ashes, and industrial by-products can partially replace ordinary Portland cement while maintaining acceptable mechanical and durability performance when properly proportioned (Oluwole et al., 2025; Zelege & Cherkos, 2025; Sarker et al., 2023; Al-Tersawy et al., 2023). Studies further highlight that alkali-activated binders based on fly ash and slag can significantly reduce or even eliminate cement clinker use, although durability under aggressive exposure conditions must be carefully evaluated (Hamsashree et al., 2024; Che et al., 2024). Emerging research also emphasizes the role of bio-based admixtures and nano-enhanced additives in improving hydration efficiency and

microstructural refinement, thereby enabling further cement reduction without compromising performance (Bedada et al., 2023; Abutu et al., 2025). Overall, these studies demonstrate that waste-based cement replacement is a viable but material-specific approach that requires careful assessment of chemistry, dosage, and long-term durability (Mashaan & De Silva, 2024; Thomas, 2021; Wang & Syamsunur, 2024).

Types of Concrete

The reviewed literature shows that “concrete” increasingly refers to a family of engineered materials tailored to specific performance and sustainability goals. According to the analysed studies, each type of concrete responds differently to the incorporation of alternative materials. Alongside conventional Ordinary Portland Cement (OPC) concrete (Al-Tersawy et al., 2023), studies discuss self-compacting concrete (SCC) designed for high flow and durability, including SCC made with recycled constituents and evaluated under chloride exposure conditions (Peixoto et al., 2024). Another major category is alkali-activated concrete (AAC/AA concrete), where binders such as fly ash-slag reduce reliance on Portland cement and are assessed for durability in aggressive environments, with variants incorporating recycled aggregates, rubber particles, and steel fibers to enhance impact resistance (Hamsashree et al., 2024; Che et al., 2024). The analysed literature also highlights autoclaved aerated concrete (AAC blocks) as a lightweight, thermally efficient material system relevant to energy performance (Hore & Shiuly, 2023). In parallel, multiple studies frame waste-modified and blended concretes—using sewage sludge ash, silica fume, ceramic powder, paper pulp ash, and other wastes - as distinct “types” defined by their binder strategy and performance tradeoffs (Oluwole et al., 2025; Zeleke & Cherkos, 2025; Mashaan & De Silva, 2024; Wang & Syamsunur, 2024). Finally, bio-modified concretes (including bio-based admixtures and nano-enhanced bio-additives) are presented as emerging types aimed at improving hydration/microstructure and enabling lower-impact mixtures (Bedada et al., 2023; Abutu et al., 2025; Sarker et al., 2023).

Waste Materials Used in Concrete

To reduce environmental pollution and ensure that the mechanical properties of concrete continue to meet engineering requirements, the

analyzed research has explored the incorporation of waste-derived materials and recycled fibers into concrete mixtures. Scholars increasingly report the use of recycled fibers - such as steel, glass, plastic, and plant-based fibers (e.g., jute fiber) - to enhance crack resistance, toughness, and impact performance, and also diverting waste from landfills (Che et al., 2024; Abutu et al., 2025). Numerous waste materials have also gained attention as partial cement replacements, including wood ash obtained from biomass combustion, fly ash produced from coal-fired power plants, silica fume generated as a by-product of silicon production, and recycled plastic waste used in polymer-modified or blended systems (Sarker et al., 2023; Hamsashree et al., 2024; Al-Tersawy et al., 2023). These materials often exhibit pozzolanic or filler effects that improve microstructural densification, durability, and long-term performance when appropriately proportioned (Oluwole et al., 2025; Zeleke & Cherkos, 2025). Broader reviews confirm that fly ash and slag remain among the most effective supplementary cementitious materials in both ordinary and alkali-activated concretes, significantly reducing OPC clinker demand while maintaining acceptable strength and durability under aggressive exposure conditions (Mashaan & De Silva, 2024; Wang & Syamsunur, 2024). In addition, bio-based admixtures and nano-enhanced bio-additives derived from organic or waste sources are increasingly reported to improve hydration efficiency, workability, and durability, further enabling cement reduction without compromising performance (Bedada et al., 2023; Abutu et al., 2025). Together, these studies demonstrate that the combined use of waste fibers and waste-derived cementitious materials offers a viable pathway toward more sustainable, high-performance concrete consistent with circular economy principles (Peixoto et al., 2024; Thomas, 2021; Yunfei & Syamsunur, 2024).

3. Benefits of waste incorporation

The incorporation of waste materials into concrete mixtures offers significant environmental, technical, and economic advantages and has become a central focus of recent concrete research. One of the main benefits is the reduction in cement consumption, which directly lowers CO₂ emissions associated with clinker production and addresses the

high carbon footprint of conventional concrete (Thomas, 2021; Wang & Syamsunur, 2024). At the same time, the use of industrial by-products, agricultural residues, and other waste-derived materials improves waste management and recycling, reducing landfill disposal while promoting resource efficiency and circular economy principles (Al-Tersawy et al., 2023; Mashaan & De Silva, 2024). Numerous experimental studies report that appropriately selected waste materials - such as fly ash, silica fume, sewage sludge ash, ceramic waste, and bio-based additives- can enhance concrete durability and long-term performance by improving microstructure, resistance to chloride ingress, and performance under aggressive environmental exposures (Hamsashree et al., 2024; Peixoto et al., 2024; Zeleke & Cherkos, 2025). In addition, the integration of recycled fibers, polymer-based wastes, and nano-enhanced bio-additives has been shown to improve crack control, toughness, and hydration efficiency, further supporting performance-based cement reduction strategies (Che et al., 2024; Abutu et al., 2025; Bedada et al., 2023). Nevertheless, the literature consistently emphasizes that careful material characterization, dosage optimization, and mix design are essential to avoid adverse effects on workability, strength development, and durability, particularly when high replacement levels or heterogeneous waste streams are used (Oluwole et al., 2025; Hore & Shiuly, 2023). Overall, the reviewed studies demonstrate that waste incorporation into concrete can deliver substantial environmental and performance benefits when supported by robust design and testing frameworks aligned with sustainable construction goals.

4. Discussion

The comparative analysis of studies published between 2020 and 2025 confirms that the incorporation of waste materials into concrete production is an effective and increasingly mature strategy for improving sustainability, primarily by reducing cement consumption and associated CO₂ emissions. Across the reviewed literature, waste-derived materials—used as partial cement replacements, alternative binders, or functional additives—consistently demonstrate the potential to maintain acceptable mechanical performance while significantly lowering the environmental footprint of concrete (Thomas, 2021; Wang & Syamsunur, 2024). These findings reinforce

the central role of binder-level innovation in decarbonizing concrete.

At the same time, the analysis highlights that performance outcomes vary considerably depending on waste type, replacement level, and mix design approach. While materials such as fly ash, slag, agricultural ashes, and industrial by-products show clear benefits, their effectiveness is highly dependent on chemical composition, fineness, and curing conditions (Sarker et al., 2023; Zeleke & Cherkos, 2025). Alkali-activated systems and hybrid mixtures incorporating multiple waste streams or bio-based additives offer enhanced sustainability potential but require careful durability assessment and quality control to ensure long-term performance (Hamsashree et al., 2024; Abutu et al., 2025). The increasing focus on durability and service-life extension, rather than short-term strength alone, reflects a shift toward life-cycle-based sustainability metrics in concrete research (Peixoto et al., 2024).

Overall, the reviewed studies demonstrate that waste incorporation into concrete can deliver substantial environmental and technical benefits when supported by robust material characterization, optimized mix design, and durability-oriented evaluation. However, broader implementation remains constrained by variability in waste material properties, limited long-term field data, and the absence of standardized testing and design frameworks (Mashaan & De Silva, 2024). Future research should therefore prioritize large-scale validation, harmonized performance criteria, and integrated life-cycle assessments to facilitate the safe and widespread adoption of waste-based concrete technologies in sustainable construction.

Conclusions

1. The use of waste materials as partial cement replacements is an effective strategy for reducing the environmental impact of concrete production.
2. Many waste-based concretes maintain acceptable mechanical and durability performance when properly designed.
3. Variability in waste material properties and limited long-term data remain key challenges for large-scale implementation.
4. Future research should focus on durability assessment, standardization, and life-cycle analysis to support wider adoption.

Literature

Abutu, D., Ameh, A. O., Umunnawuike, C., Barima, M., Nyah, F., Nwaichi, P. I., Charity, O. C., & Yerima, E. A. (2025). Reinforcing concrete with nano-enhanced bio-additives: A path toward sustainable construction materials. *Discover Concrete and Cement*, 1, Article 20. <https://doi.org/10.1007/s44416-025-00022-8>

Al-Tersawy, S. H., Zakey, S. E., El-Sadany, R. A., et al. (2023). Utilization of various industrial wastes in ordinary concrete under normal manufacturing conditions. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 17, Article 44. <https://doi.org/10.1186/s40069-023-00603-6>

Bedada, K. D., Nyabuto, A. O., Kinoti, I. K., & Marangu, J. M. (2023). Review on advances in bio-based admixtures for concrete. *Journal of Sustainable Construction Materials and Technologies*, 8(4), 344–367. <https://doi.org/10.47481/jscmt.1328915>

Che, W., Li, L., Chen, Z., Liang, D., & Guo, Y. (2024). Impact resistance of rubberized alkali-activated concrete incorporating recycled aggregate and recycled steel fiber. *Buildings*, 14(2), 322. <https://doi.org/10.3390/buildings14020322>

Hamsashree, Pandit, P., Prashanth, S., et al. (2024). Durability of alkali-activated fly ash-slag concrete—State of art. *Innovative Infrastructure Solutions*, 9, Article 222. <https://doi.org/10.1007/s41062-024-01530-5>

Hore, S., & Shiuly, A. (2025). Study on thermal conductivity of autoclaved aerated concrete (AAC): A review. *Environment, Development and Sustainability*, 27, 5525–5572. <https://doi.org/10.1007/s10668-023-04118-8>

Mashaan, N. S., & De Silva, A. (2024). Review on assessment and performance mechanism evaluation of non-structural concrete incorporating waste materials. *Applied Mechanics*, 5(3), 579–599. <https://doi.org/10.3390/applmech5030033>

ATLIEKŲ PANAUDOJIMAS BETONO GAMYBOJE SIEKIANT TVARUMO STATYBOJE**LIEPA KEKYTĖ¹, AUSTĖJA BERNOTAITĖ², INGA PIŠČIKIENĖ¹***¹Vilniaus kolegija, Statybos fakultetas, Statybos inžinerijos katedra,
Antakalnio g. 54, Vilnius*

Santrauka. Betonas yra viena plačiausiai naudojamų statybinių medžiagų pasaulyje, tačiau jo gamyba daro neigiamą poveikį aplinkai, daugiausia – dėl cemento pramonės. Cemento gamyba yra energijai imlus procesas ir vienas pagrindinių anglies dioksido emisijų šaltinių statybos sektoriuje. Pastaraisiais metais vis daugiau dėmesio skiriama tvariems sprendimams, leidžiantiems sumažinti betono poveikį aplinkai bei kartu išlaikyti jo mechanines ir ilgaamžiškumo savybes. Vienas perspektyviausių sprendimų – atliekų, kaip dalinio cemento ar užpildų pakaitalo, naudojimas. Šiame straipsnyje pateikiama 2020–2025 m. publikuotų mokslinių tyrimų lyginamoji analizė: apžvelgiami naudojamų atliekų tipai, jų poveikis betono savybėms ir aplinkosauginė nauda. Tyrimų rezultatai rodo, kad atliekų pagrindu gaminamas betonas gali reikšmingai prisidėti prie tvarios statybos plėtros, nors vis dar kyla tam tikrų praktinio taikymo ir ilgaamžiškumo iššūkių.

Reikšminiai žodžiai: betonai, cementas, atliekos, tvarumas, ilgaamžiškumas.

Studentų konferencijos
STATYBA IR LOGISTIKA '25:
MOKSLAS IR PRAKTIKA
medžiaga
straipsnių rinkinys

Sudarytojas Andrius Gulbinas
Redaktorė Rima Marcinkevičienė

Vilniaus kolegijos
Statybos fakultetas

