

Environmental engineering Aplinkos inžinerija

PASTATO RENOVACIJOS MEDŽIAGŲ PASIRINKIMO ĮTAKA CO₂ EMISIJOMS PER VISĄ GYVAVIMO CIKLĄ

Gabrielė VIDRINSKIENĖ, Violeta MOTUZIENĖ 

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva

- gauta 2026 m. balandžio 30 d.
- priimta 2026 m. birželio 1 d.

Santrauka. Pastatų renovacija yra viena iš pagrindinių priemonių mažinant statybų sektoriaus CO₂ emisijas, tačiau medžiagų pasirinkimas senos statybos daugiabučių atnaujinimo metu dažnai vertinamas tik per energinio efektyvumo perspektyvą. Šiame tyrime analizuojamas daugiabučio namo renovacijos fasado medžiagų poveikis aplinkai per visą gyvavimo ciklą, lyginant tradicines izoliacines ir apdailos medžiagas su tvaresnėmis alternatyvomis. Vertinti taikoma gyvavimo ciklo analizė (GCA), vadovaujantis LEVEL(s) metodiniais principais. Tyrimo tikslas – įvertinti, kaip medžiagų parinkimas veikia bendras renovacijos CO₂ emisijas. Tyrimo rezultatai parodė, kad analizuotų šiltinimo medžiagų bendras gyvavimo ciklo emisijų balansas svyruoja nuo 41,5 t CO₂ ekv. iki –920,3 t CO₂ ekv., palyginti su 39,3 t CO₂ ekv. baziniu sprendiniu. Mažiausi emisijų rodikliai nustatyti biogeninės kilmės medžiagų scenarijuose, tačiau rezultatai reikšmingai priklauso nuo biogeninės anglies apskaitos ir gyvavimo ciklo pabaigos scenarijų.

Reikšminiai žodžiai: renovacija, CO₂ emisijos, tvarumas, fasadų medžiagos, gyvavimo ciklo analizė (GCA).

 Autorius susirašinėti. El. paštas violeta.motuziene@vilniustech.lt

1. Įvadas

Pastatų sektorius išlieka vienu reikšmingiausių energijos vartotojų ir šiltnamio efektą sukeliančių dujų šaltinių pasaulyje. Pastatų sektoriaus reikšmingumą taip pat akcentuoja González-Torres ir kt. (2025), pažymėdami, kad bendras su pastatais susijusių emisijų mastas, įskaitant eksploataciją ir statybines medžiagas, gali siekti apie 40 % CO₂ emisijų. Panašius sektoriaus masto rodiklius pateikia ir Bhattarai ir kt. (2025), pažymėdami, kad 2022 m. pastatų sektorius sudarė apie 34 % pasaulinės galutinės energijos paklausos ir 37 % su energija bei procesais susijusių CO₂ emisijų. Europos mastu problema išlieka ypač aktuali – Europos Parlamentas ir Taryba (2024) pažymi, kad daugiau nei 75 % esamų pastatų yra energiška neefektyvūs, o didžioji jų dalis bus eksploatuojama ir 2050 m. Šie duomenys rodo, kad pastatų modernizavimas yra esminė klimato kaitos švelninimo priemonė.

Atsižvelgiant į tai, renovacija laikoma viena pagrindinių pastatų sektoriaus dekarbonizacijos krypčių. Tačiau mokslininkai jau kurį laiką pabrėžia, kad vien energijos vartojimo mažinimo eksploatacijos etape nepakanka – būtina vertinti viso gyvavimo ciklo metu susidaranti emisijas. Tai, kad emisijos turi būti vertinamos viso gyvavimo ciklo mastu, patvirtina 2025 m. Kertsmik ir kt. (Kertsmik et al., 2025)

atliktas tyrimas, kuriame analizuotas pastatų emisijų pasiskirstymas skirtingose gyvavimo ciklo fazėse. Nustatyta, kad renovuotų pastatų atveju įkūnytosiomis emisijomis gali sudaryti apie 40 % pastato eksploatacijos metu susidaranti emisijų. Tai rodo, kad siekiant ilgalaikių dekarbonizacijos tikslų būtina vertinti ne tik pastato energinį efektyvumą, bet ir statybinių medžiagų bei konstrukcinių sprendinių poveikį viso gyvavimo ciklo metu.

González-Torres ir kt. (2025) taip pat pabrėžia, kad gerėjant pastato energiniam efektyvumui, emisijų dalis, susijusi su medžiagų gamyba ir statybos procesu, tampa vis reikšmingesnė bendrame gyvavimo ciklo kontekste. Pastatų eksploatacinė energija sudaro apie 30 % pasaulinio galutinės energijos vartojimo, o kartu su įkūnytosiomis emisijomis pastatai generuoja apie 40 % visų pasaulinių šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų. Iš jų apie 10 % tenka įkūnytosioms emisijoms, susijusioms su statybinių medžiagų gamyba ir statybos procesais.

Medžiagų pasirinkimas ir konstrukcinių sprendinių optimizavimas gali reikšmingai prisidėti prie bendro emisijų mažinimo. Tai rodo 2024 m. Kanavaris ir kt. (Kanavaris et al., 2024) atliktas tyrimas, kuriame modeliuojant skirtingus projektavimo scenarijus nustatyta, kad pasirinkus pažangesnius konstrukcinius sprendinius galima reikšmingai sumažinti su statybinių medžiagų gamyba susijusias emisijas, kai kuriais atvejais – iki 40–55 %. Kompleksinės

renovacijos potencialą taip pat patvirtina Cavagnoli ir kt. (2024), pabrėžia, kad modernizavimo priemonės leidžia reikšmingai sumažinti tiek energijos vartojimą, tiek CO₂ emisijas. Panašų metodinį požiūrį, kuriame derinama pastato energinio efektyvumo analizė ir gyvavimo ciklo analizė (GCA), leidžianti vienu metu vertinti pirminės energijos sąnaudas ir CO₂ emisijas, taikė Valančius ir kt. (2018). Autoriai nagrinėjo pastato atitvarų šiltinimo efektyvumą vertindami pirminės energijos sąnaudas ir CO₂ emisijas skirtinguose energinio naudingumo klasės gerinimo scenarijuose. Tyrime analizuota šiltinimo medžiagų įkūnytoji energija, emisijos ir jų atsipirkimo laikotarpiai keičiant pastato energinę klasę (pvz., nuo F iki B ar nuo B iki A++). Gauti rezultatai parodė, kad aukštesnės energinės klasės siekimas ne visais atvejais lemia trumpesnį aplinkosauginio atsipirkimo laikotarpį, nes rezultatai priklauso nuo naudojamų medžiagų savybių ir vertinamų gyvavimo ciklo etapų.

Šie rezultatai rodo, kad renovacijos sprendinių pasirinkimas turi tiesioginę įtaką bendram pastato emisijų balansui, todėl vertinant dekarbonizacijos galimybes būtina analizuoti ir medžiagų bei konstrukcinių sprendinių poveikį.

Susidarančių emisijų vertinimo gyvavimo ciklo metu poreikį sustiprina ir Europos Sąjungos teisinis reguliavimas. Europos Parlamento ir Tarybos direktyvoje (ES) 2024/1275 dėl pastatų energinio naudingumo numatyta, kad valstybės narės turi užtikrinti naujų pastatų viso gyvavimo ciklo globalinio atšilimo potencialo (GAP) skaičiavimą bei nustatyti ribines šio rodiklio vertes, taip siekiant iki 2050 m. sukurti klimatui neutralų pastatų fondą. Tai reiškia, kad pastatų poveikio aplinkai vertinimas nebegali apsiriboti vien eksploatacine energija – būtina sistemškai vertinti visą gyvavimo ciklą, įskaitant statybinių medžiagų gamybą ir su tuo susijusias emisijas.

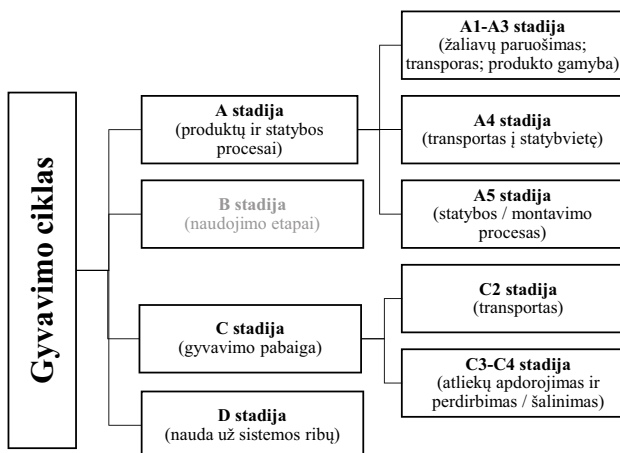
Atsižvelgiant į šias aplinkybes, renovacijos sprendimai turėtų būti vertinami kompleksiskai, derinant energinio efektyvumo didinimą su viso gyvavimo ciklo metu išsiskiriančiomis emisijomis.

Tyrimo tikslas – išanalizuoti renovuojamo daugiabučio fasado medžiagų pasirinkimo įtaką CO₂ emisijoms per visą gyvavimo ciklą, taikant gyvavimo ciklo analizę (GCA), pagrįstą LEVEL(s) sistemos principais.

2. Tyrimo objektas ir metodika

Tyrimo metodika: empiriniame tyrime taikoma gyvavimo ciklo analizė (GCA), siekiant įvertinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas per visą pasirinktų medžiagų gyvavimo laikotarpį. Analizė atliekama vadovaujantis pastatų tvarumo vertinimo sistema LEVEL(s), taikant 1.2 rodiklio metodinius principus (Dodd ir kt., 2021), kurie grindžiami EN 15978 ir EN 15804 standartuose apibrėžta gyvavimo ciklo vertinimo metodika.

Gyvavimo ciklo sistemos ribos šiame tyrime apima produkto ir statybos procesų stadiją (A1–A5), gyvavimo pabaigos stadijas (C2–C4) bei už sistemos ribų gaunamą naudą (D stadija), kaip parodyta 1 paveiksle, A1–A3 stadijose vertinamos žaliavų išgavimo, transportavimo ir produkto gamybos metu susidarančios emisijos, A4 stadijoje – me-



1 paveikslas. Analizuojami gyvavimo ciklo etapai (sudaryta autorės)

džiagų transportas į statybą, o A5 stadijoje – montavimo proceso metu susidarančios emisijos.

Naudojimo etapas (B stadija) šiame tyrime nevertinamas. Remiantis literatūros duomenimis bei analizuojamų šiltinimo medžiagų aplinkosauginėmis produktų deklaracijomis (EPD), šių medžiagų eksploatavimo laikotarpis laikomas ne trumpesnis kaip 50 metų (Silvestre et al., 2016; Rockwool Polska Sp. z o.o, 2025; Nordic Fibreboard Ltd OÜ, 2025). Todėl daroma prielaida, kad per visą analizės laikotarpį medžiagos nebus keičiamos, o tyrime pagrindinis dėmesys skiriamas gamybos, statybos etapų emisijoms bei gyvavimo pabaigos etapų procesams.

Gyvavimo pabaigos stadijoje vertinami transporto (C2) bei atliekų apdorojimo ir šalinimo procesai (C3–C4). C3 ir C4 stadijos analizėje nagrinėjamos kartu, siekiant užtikrinti skirtingų aplinkosauginių produktų deklaracijų tarpusavio palyginamumą. Demontavimo etapas (C1) į analizės ribas neįtrauktas.

Tyrimo taikomos šios prielaidos:

- 1) pastato analizės laikotarpis – 50 metų, vadovaujantis LEVEL(s) 1.2 rodiklio metodika;
- 2) analizuojamos apšiltinimo medžiagos laikomos eksploatuojamomis visą nagrinėjamą laikotarpį, todėl naudojimo stadija (B) į analizės ribas neįtraukiama;
- 3) visoms medžiagoms transportuoti taikomas identiškas transporto scenarijus, siekiant užtikrinti rezultatų tarpusavio palyginamumą.

CO₂ emisijos apskaičiuojamos dauginant medžiagų kiekius iš jų aplinkosauginėse produktų deklaracijose pateiktų globalinio atšilimo potencialo (GAP) reikšmių ir sumuojant pagal analizuojamas gyvavimo ciklo stadijas. Rezultatai pateikiami kaip bendras CO₂ ekvivalentas per 50 metų laikotarpį bei atskirai produkto stadijoje (A1–A3), išskaidant GAP rodiklį į iškastinės kilmės, biogeninę ir LULUC sudedamąsias dalis.

Vadovaujantis standartu LST EN 15804:2012+A2:2019 „Statinių tvarumas. Aplinkosauginės produktų deklaracijos. Pagrindinės taisyklės, taikomos statybos produktų kategorijoms“, C priedo nuostatomis, klimato kaitos poveikio kategorija deklaruojama kaip GAP ir išskaidoma į

tris subkategorijas: GAP iškastinis, GAP biogeninis ir GAP LULUC (angl. *land use and land use change*).

GAP iškastinis apima šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas, susijusias su iškastinės kilmės anglies šaltiniais, įskaitant iškastinio kuro deginimą ir procesų emisijas.

GAP biogeninis rodo CO₂, kuris išsiskiria arba yra sulai- komas medžiagose, gamtinių procesų metu per medžiagos gyvavimo ciklą. Vadovaujantis standarto nuostatomis, CO₂ paėmimas į biomasę apskaitomas su neigiamu ženklu, o jo išsiskyrimas – su teigiamu ženklu. Dėl šios priežasties tam tikrais gyvavimo ciklo etapais GAP biogeninio rodiklio reikšmė gali būti neigiama.

GAP LULUC apibūdina emisijas ir pašalinimus, atsirandan- čius dėl anglies atsargų pokyčių dirvožemyje ir biomasėje, susijusių su žemės naudojimu ar žemės paskirties keitimu.

Tyrimo objektas – tipinis XX a. antrojoje pusėje staty- tas daugiabutis gyvenamasis namas (2 paveikslas), kuriam



2 paveikslas. Tyrimo objektas

parengtas investicijų planas ir numatytas kompleksinis at- naujinimas pagal Lietuvoje taikomą daugiabučių moderni- zavimo praktiką.

Analizuojamas pastatas – 1975 m. statybos, 12 aukš- tų, gelžbetoninių plokščių konstrukcijos, 60 butų, apie 2993 m² naudingojo ploto. Tokio tipo pastatai sudaro reikšmingą Lietuvos gyvenamojo fondo dalį ir yra vieni dažniausiai modernizuojamų pagal valstybines programas, todėl pasirinktas objektas laikytinas reprezentatyviu.

Investicijų plane numatytas kompleksinis atnaujinimas, apimantis pastato atitvarų šiltinimą, inžinerinių sistemų modernizavimą ir energinio naudingumo klasės gerinimą. Tyrime pastatas naudojamas kaip bazinis modelis lygina- majai analizei, orientuotai į išorinių sienų šiltinimo medžia- gos pasirinkimo įtaką CO₂ emisijoms.

Analizuojamos medžiagos pateiktos 3 paveiksle. Tyrime baziniu yra laikomas tradicinis renovacijos sprendinys, kai išorinės sienos šiltinamos mineraline (akmens) vata. Alternatyviuose scenarijuose ši izoliacinė medžiaga keičiama kitomis, mažesniu CO₂ pasižyminčiomis alternatyvomis, iš- laikant analogišką energinio efektyvumo lygį. Pastato ge- ometrija, klimato sąlygos ir kiti konstrukciniai sprendiniai visais scenarijais išlaikomi nekintami, užtikrinant palygina- mą analizės pagrindą.

Empiriniame tyrime vertinamos tradicinės ir alternaty- vios išorinių sienų šiltinimo medžiagos, kurių aplinkosaugi- niai rodikliai pateikti gamintojų aplinkosauginėse produktų deklaracijose (EPD) (Amorim Cork Insulation, 2023; Hem- pFlax Building Solutions GmbH, 2022; Nordic Fibreboard Ltd OÜ, 2025; Rockwool Polska Sp. z o.o., 2025).

1 lentelėje pateikiamos analizuojamų šiltinimo me- džiagų pagrindinės šiluminės savybės bei tyrime taikyti jų storių. Medžiagos parinktos taip, kad alternatyvūs spren- diniai užtikrintų ne mažesnę nei bazinis sprendinio sienos šiluminę varžą.

Baziniu sprendiniu laikoma akmens vata. Alternaty- vūs scenarijai sudaryti naudojant medžio plaušo plokštes, kanapių pluošto vatą ir ekspanduoto kamščio plokštes.



3 paveikslas. Analizuojamos medžiagos: a) akmens vata, b) medžio plaušo plokštės, c) kanapių pluošto vata, d) ekspanduoto kamščio plokštės

1 lentelė. Analizuojamų šiltinimo medžiagų šiluminės savybės

Medžiaga	Šilumos laidumas λ (W/mK)	Storis d (m)	U koeficientas (W/ m ² K)	Gyvavimo laikas (metai)
Akmens vata (bazinis)	0,034	0,20	0,15	50
Medžio plaušo plokštės	0,049	0,29	0,15	50
Kanapių pluošto vata	0,040	0,24	0,15	50
Ekspanduoto kamščio plokštės	0,040	0,24	0,15	50

Atsižvelgiant į skirtingą medžiagų šilumos laidumą, jų storiai parinkti taip, kad būtų išlaikytas analogiškas atitvaros šiluminis efektyvumas.

Skaiciavimuose vertinama ne tik atskiros šiltinimo medžiagos šiluminė varža, bet ir bendra apšiltintos sienos šiluminė varža, įskaitant esamos sienos konstrukciją bei vidaus ir išorės paviršių šiluminės varžas.

3. Empirinio tyrimo rezultatai

Anrame skyriuje pateikiami analizuotų šiltinimo medžiagų gyvavimo ciklo analizės rezultatai. Vertinamas bendras globalinio atšilimo potencialas (GAP) per visą 50 metų laikotarpį bei jo pasiskirstymas pagal atskiras gyvavimo ciklo stadijas (A1–A3, A4, A5, C2, C3–C4 ir D). 4 paveiksle pateikiamas analizuojamų šiltinimo medžiagų globalinio atšilimo potencialo (GAP) pasiskirstymas pagal gyvavimo ciklo etapus. Rezultatai rodo, kad didžiausią įtaką bendram emisijų balansui turi gamybos etapas (A1–A3), apimantis žaliavų paruošimo, transportavimo ir gamybos procesus.

Akmens vatos atveju A1–A3 etapas sudaro 42,7 t CO₂ ekv., ir tai yra pagrindinis bendro emisijų kiekio šaltinis. A1–A3 etape vyraujantis iškastinis GAP komponentas rodo, kad reikšmingą įtaką daro energijai imlūs mineralinių žaliavų apdorojimo procesai.

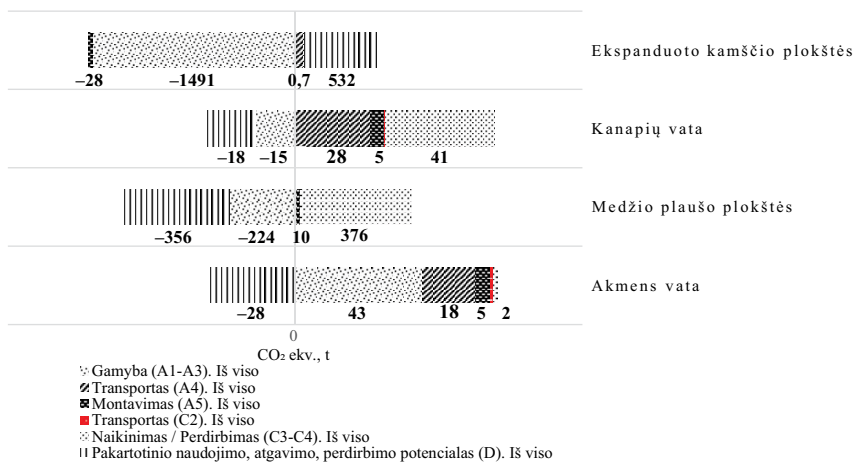
Biogeninės kilmės medžiagų atveju gamybos etapas pasižymi reikšmingai mažesnėmis arba neigiamomis reikšmėmis. Medžio plaušo plokščių A1–A3 etapas suda-

ro –223,9 t CO₂ ekv., kanapių pluošto vatos –14,9 t CO₂ ekv., o ekspanduoto kamščio plokščių –1490,8 t CO₂ ekv. Šiuose rezultatuose iškastinis komponentas išlieka teigiamas (pvz., ekspanduoto kamščio atveju 60,6 t CO₂ ekv.), tačiau neigiamas biogeninis komponentas yra daug didesnis (–1552,4 t CO₂ ekv.). Tai susiję su LST EN 15804:2012+A2:2019 standarte „Statinių tvarumas. Aplinkosauginės produktų deklaracijos. Pagrindinės taisyklės, taikomos statybos produktų kategorijoms“ taikoma biogeninės anglies apskaita: augalinėje biomasėje sukauptas CO₂ produkto gyvavimo ciklo pradžioje laikomas iš aplinkos pašalintu kiekiu ir yra apskaitomas su neigiamu ženklu. Dėl to iš atsinaujinančių žaliavų pagamintos medžiagos gamybos etape gali turėti neigiamą emisijų reikšmę, atspindinčią anglies kaupimą produkte.

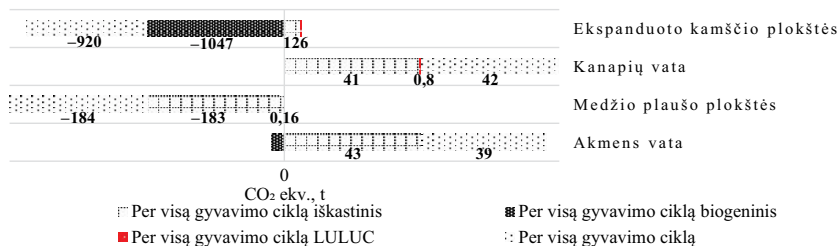
Transporto (A4 ir C2) bei montavimo (A5) etapų įtaka bendram rezultatui yra santykinai mažesnė, kadangi tyrime taikytas vienodas transporto scenarijus.

Gyvavimo pabaigos etape (C3–C4) biogeninėms medžiagoms fiksuojamas emisijų padidėjimas, susijęs su sukauptos anglies išsiskyrimu atliekų tvarkymo scenarijuose. Pavyzdžiui, medžio plaušo plokščių C3–C4 etapas sudaro 376 t CO₂ ekv., o kanapių pluošto vatos – 40,9 t CO₂ ekv. Šie rezultatai atspindi medžiagų deklaracijose pateiktus atliekų tvarkymo modelius.

Pakartotinio naudojimo, atgavimo ar perdirbimo potencialo atveju daliai medžiagų fiksuojamas reikšmingas emisijų mažinimo efektas. Medžio plaušo plokščių atveju



4 paveikslas. Apšiltinimo medžiagų įkūnytųjų emisijų balansas skirtinguose gyvavimo ciklo etapuose



5 paveikslas. Apšiltinimo medžiagų įkūnytųjų emisijų balansas per jų gyvavimo ciklą

siekia –355,7 t CO₂ ekv., o akmens vatos –28,5 t kg CO₂ ekv. Ekspanduoto kamščio plokštėms šiame modulyje deklaruojama teigiama reikšmė (531,6 t CO₂ ekv.).

5 paveiksle pateikiamas bendras emisijų balansas per visą gyvavimo ciklą, išskaidytas į iškastinį, biogeninį ir LULUC komponentus. Akmens vatos bendras rezultatas sudaro 39,3 t CO₂ ekv., kurį beveik visiškai lemia iškastinės kilmės emisijos (43,5 t CO₂ ekv.), o biogeninis komponentas išlieka nedidelis (–4 t CO₂ ekv.). LULUC komponento įtaka yra minimali (11,45 kg CO₂ ekv.).

Kanapių pluošto vatos bendras emisijų balansas siekia 41,5 t CO₂ ekv. Nors šios medžiagos biogeninis komponentas yra neigiamas (–100,24 kg CO₂ ekv.), iškastinės emisijos (40,7 t CO₂ ekv.) išlieka didesnės už sukauptos anglies efektą, todėl galutinis rezultatas yra teigiamas.

Medžio plaušo plokščių bendras balansas tampa neigiamas (–184,1 t CO₂ ekv.), o ekspanduoto kamščio plokščių –920,3 t CO₂ ekv. Šiuos rezultatus lemia didelis biogeninės anglies kiekis žaliavoje ir metodikoje taikomas jos apskaitos principas gamybos etape, kuris reikšmingai sumažina bendrą gyvavimo ciklo emisijų balansą.

LULUC komponento įtaka visoms medžiagoms išlieka santykinai nedidelė ir neturi esminės įtakos galutiniams rezultatams.

Apibendrinant tyrimo rezultatus nustatyta, kad didžiausi skirtumai tarp analizuotų medžiagų atsiranda gamybos etape ir gyvavimo pabaigos stadijose. Mineralinės akmens vatos emisijų balansą lemia iškastinės emisijos gamybos etape, o biogeninės kilmės medžiagų rezultatus reikšmingai veikia sukauptos anglies apskaita bei įvertintas pakartotinio naudojimo, energijos atgavimo ir perdirbimo potencialas už sistemos ribų. Transporto ir montavimo etapai bendram rezultatui turi santykinai mažesnę įtaką. Taigi, tyrimo rezultatai rodo, kad šiltinimo medžiagos pasirinkimas gali turėti esminę įtaką klimato kaitos rodikliams.

4. Išvados

1. Atlikta gyvavimo ciklo analizė parodė, kad renovuojamo daugiabučio šiltinimo medžiagos pasirinkimas turi reikšmingą įtaką bendram CO₂ emisijų balansui per 50 metų laikotarpį. Bazinio sprendinio (akmens vatos) gyvavimo ciklo įkūnytosi emisijos sudaro 39,3 t CO₂ ekv.
2. Lyginant su baziniu sprendiniu, kanapių pluošto vatos scenarijuje bendras emisijų balansas padidėjo iki 41,5 t CO₂ ekv., t. y. apie 5,7 % daugiau nei naudojant akmens vatą.
3. Medžio plaušo plokščių scenarijuje bendras emisijų balansas tapo neigiamas ir sudarė –184,1 t CO₂ ekv., o tai yra apie 4,7 karto mažesnis rezultatas nei bazinio sprendinio atveju.
4. Didžiausias emisijų sumažėjimas nustatytas ekspanduoto kamščio plokščių scenarijuje, kuriame bendras gyvavimo ciklo balansas siekė –920,3 t CO₂ ekv., t. y. apie 23 kartus mažesnis rezultatas nei baziniame scenarijuje.
5. Didžiausi skirtumai tarp analizuotų medžiagų susiformuoja gamybos etape (A1–A3) bei gyvavimo pabaigos

stadijose (C3–C4 ir D), o transporto (A4, C2) ir montavimo (A5) etapui bendram emisijų balansui turi santykinai mažesnę įtaką, kadangi tyrime visoms analizuotoms medžiagoms taikytas panašus transportavimo scenarijus.

6. Tyrimo rezultatai rodo, kad bendrą gyvavimo ciklo emisijų balansą reikšmingai veikia biogeninės anglies apskaita ir gyvavimo ciklo pabaigos scenarijai, todėl renovacijos sprendinių vertinimas turėtų būti grindžiamas viso gyvavimo ciklo analize.

Literatūra

- Amorim Cork Insulation. (2023). *Environmental product declaration: Expanded insulation corkboard (ICB)* (EPD HUB, HUB-0281). EPD Hub. <https://www.epdhub.com>
- Bhattarai, B., Bhattarai, B. S., Maskey, R. K., & Bhochhibhoya, S. (2025). Life cycle assessment of reinforced concrete residential buildings in Nepal: Pathways to carbon footprint reduction through sustainable construction. *Building and Environment*, 281, Article 113199. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.113199>
- Cavagnoli, S., Bonanno, A., Fabiani, C., Palomba, V., Frazzica, A., Carminati, M., Herrmann, R., & Pisello, A. L. (2024). Holistic investigation for historical heritage revitalization through an innovative geothermal system. *Applied Energy*, 372, Article 123761. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.123761>
- Dodd, N., Donatello, S., & Cordella, M. (2021). *Level(s) indicator 1.2: Life cycle Global Warming Potential (GWP): User manual: Introductory briefing, instructions and guidance (Publication version 1.1)*. European Commission, Joint Research Centre.
- European Commission, Joint Research Centre. (2020). *Criteria for analysis of LCA software tools and databases for buildings (Draft 4.1)*. European Commission.
- European Committee for Standardization. (2011). *Sustainability of construction works – Assessment of environmental performance of buildings – Calculation method (EN 15978:2011)*. CEN.
- European Committee for Standardization. (2019). *Sustainability of construction works – Environmental product declarations – Core rules for the product category of construction products (EN 15804:2012+A2:2019)*. CEN.
- Europos Parlamentas ir Taryba. (2024). *Direktyva (ES) 2024/1275 dėl pastatų energinio naudingumo (nauja redakcija)*. Europos Sąjungos oficialusis leidinys.
- Gonzalez-Torres, M., Pérez-Lombard, L., Clementi, E. L., & Coronel, J. F. (2025). Examining the reasons for changes in buildings' energy consumption in the United States, China and the European Union. *Energy & Buildings*, 332, Article 115461. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2025.115461>
- HempFlax Building Solutions GmbH. (2022). *Environmental product declaration: Thermohemp Combi Jute* (Bau-EPD-Hempflax-2022-1-GaBi). Bau EPD GmbH.
- Kanavaris, F., Di Benedetto, G., Campbell, A., Gedge, G., & Kaethner, S. (2024). Reducing the embodied carbon of concrete-framed buildings through improved design and specification: Influence of building typologies, construction types and concrete mix. *Structures*, 67, Article 107005. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2024.107005>
- Kertsmik, K.-A., Kalamees, T., Hallik, J., & Arumägi, E. (2025). The feasibility of zero-emission neighbourhood renovation of apartment buildings in a cold climate. *Building and Environment*, 278, Article 113004. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.113004>

- Lietuvos standartizacijos departamentas. (2019). *Statinių tvarumas. Aplinkosauginės produktų deklaracijos. Pagrindinės taisyklės, taikomos statybos produktų kategorijoms* (LST EN 15804:2012+A2:2019). Lietuvos standartizacijos departamentas.
- Nordic Fibreboard Ltd OÜ. (2025). *Environmental product declaration: Woodfibre softboards* (EPD number RTS_414_25). Rakenustieto EPD.
- Rockwool Group. (2025). *Technical bulletin 4: Durability of ROCKWOOL stone wool insulation*. Rockwool.
- Rockwool Polska Sp. z o.o. (2025). *Environmental product declaration: Rockwool stone wool insulation for buildings*. Rockwool Group.
- Silvestre, J. D., Pargana, N. F., de Brito, J., & Pinheiro, M. D., & Durão, V. (2016). Insulation cork boards – Environmental life cycle assessment of an organic construction material. *Materials*, 9(5), Article 394. <https://doi.org/10.3390/ma9050394>
- Valančius, K., Vilutienė, T., & Rogoža, A. (2018). Analysis of the payback of primary energy and CO₂ emissions in relation to the increase of thermal resistance of a building. *Energy and Buildings*, 179, 39–48. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.08.037>

THE IMPACT OF BUILDING RENOVATION MATERIAL SELECTION ON CO₂ EMISSIONS OVER THE ENTIRE LIFE CYCLE

Abstract. Building renovation is one of the main measures for reducing CO₂ emissions in the construction sector; however, the selection of materials in the renovation of older multi-apartment buildings is often assessed only from the perspective of energy efficiency. This study analyses the environmental impact of façade materials used in the renovation of a multi-apartment building throughout the entire life cycle, comparing conventional insulation and finishing materials with more sustainable alternatives. The assessment is carried out using Life Cycle Assessment (LCA) in accordance with the methodological principles of the LEVEL(s) framework. The aim of the study is to evaluate how material selection affects the overall CO₂ emissions associated with building renovation. The results showed that the overall life-cycle emission balance of the analysed insulation materials ranges from 41.5 t CO₂ eq. to –920.3 t CO₂ eq., compared to 39.3 t CO₂ eq. in the baseline solution. The lowest emission values were identified in scenarios involving biogenic materials; however, the results are significantly influenced by biogenic carbon accounting and end-of-life scenarios. Each solution and the environmental assessment examines the environmental impact of the proposed measures over their life cycle. Based on the results of the multi-criteria analysis, the systems best suited to the object of study (GDS) are recommended.

Keywords: renovation, CO₂ emissions, sustainability, facade materials, Life Cycle Assessment (LCA).