

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Ieva CATALDO

TVARIOŠIOS TIEKIMO GRANDINĖS
VALDYMO STATYBOS ĮMONĖSE
DAUGIAKRITERIS VERTINIMAS

DAKTARO DISERTACIJA

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI,
STATYBOS INŽINERIJA (T 002)

Vilnius, 2025

Disertacija rengta 2020–2025 m. Vilniaus Gedimino technikos universitete.

Vadovas

prof. dr. Audrius BANAITIS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Statybos inžinerija – T 002).

Vilniaus Gedimino technikos universiteto Statybos inžinerijos mokslo krypties disertacijos gynimo taryba:

Pirmininkas

prof. dr. Marija BURINSKIENĖ (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Statybos inžinerija – T 002).

Nariai:

dr. Eglė KLUMBYTĖ (Kauno technologijos universitetas, Statybos inžinerija – T 002),

doc. dr. Natalija LEPKOVA (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Statybos inžinerija – T 002),

doc. dr. Laura TUPĖNAITĖ (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Statybos inžinerija – T 002),

doc. dr. Emlyn David Qivitoq WITT (Talino technologijos universitetas, Estija, Statybos inžinerija – T 002).

Disertacija bus ginama viešame Statybos inžinerijos mokslo krypties disertacijos gynimo tarybos posėdyje **2025 m. birželio 10 d. 10 val.** Vilniaus Gedimino technikos universiteto *Aula Doctoralis* posėdžių salėje.

Adresas: Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lietuva.

Tel. (0 5) 274 4956; faksas (0 5) 270 0112; el. paštas doktor@vilniustech.lt

Pranešimai apie numatomą ginti disertaciją išsiųsti 2025 m. gegužės 9 d.

Disertaciją galima peržiūrėti Vilniaus Gedimino technikos universiteto talpykloje <https://etalpykla.vilniustech.lt/> ir Vilniaus Gedimino technikos universiteto bibliotekoje (Saulėtekio al. 14, LT-10223 Vilnius, Lietuva).

Vilniaus Gedimino technikos universiteto 2025-027-M mokslo literatūros knyga

<https://doi.org/10.20334/2025-027-M>

© Vilniaus Gedimino technikos universitetas, 2025

© Ieva Cataldo, 2025

ieva.cataldo@vilniustech.lt

VILNIUS GEDIMINAS TECHNICAL UNIVERSITY

Ieva CATALDO

MULTI-CRITERIA EVALUATION OF SUSTAINABLE SUPPLY CHAIN MANAGEMENT IN CONSTRUCTION COMPANIES

DOCTORAL DISSERTATION

TECHNOLOGICAL SCIENCES,
CIVIL ENGINEERING (T 002)

Vilnius, 2025

The doctoral dissertation was prepared at Vilnius Gediminas Technical University in 2020–2025.

Supervisor

Prof. Dr Audrius BANAITIS (Vilnius Gediminas Technical University, Civil Engineering – T 002).

The Dissertation Defense Council of the Scientific Field of Civil Engineering of Vilnius Gediminas Technical University:

Chairperson

Prof. Dr Marija BURINSKIENĖ (Vilnius Gediminas Technical University, Civil Engineering – T 002).

Members:

Dr Eglė KLUMBYTĖ (Kaunas University of Technology, Civil Engineering – T 002),

Assoc. Prof. Dr Natalija LEPKOVA (Vilnius Gediminas Technical University, Civil Engineering – T 002),

Assoc. Prof. Dr Laura TUPĖNAITĖ (Vilnius Gediminas Technical University, Civil Engineering – T 002),

Assoc. Prof. Dr Emlyn David Qivitoq WITT (Tallinn University of Technology, Estonia, Civil Engineering – T 002).

The dissertation will be defended at the public meeting of the Dissertation Defense Council of the Scientific Field of Civil Engineering in the *Aula Doctoralis* Meeting Hall of Vilnius Gediminas Technical University at **10 a.m. on 10 June 2025**.

Address: Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania.

Tel.: +370 5 274 4956; fax +370 5 270 0112; e-mail: doktor@vilniustech.lt

A notification on the intended defence of the dissertation was sent on 9 May 2025. A copy of the doctoral dissertation is available for review at the Vilnius Gediminas Technical University repository <https://etalpykla.vilniustech.lt/> and the Library of Vilnius Gediminas Technical University (Saulėtekio al. 14, LT-10223 Vilnius, Lithuania).

Reziumė

Disertacijoje nagrinėjama statybos sektoriaus įmonių tvariosios tiekimo grandinės valdymo (TTGV) problematika. Pagrindinis tyrimo objektas – statybos įmonės, kuriose taikomas tvariosios tiekimo grandinės valdymas. Pagrindinis disertacijos tikslas – sudaryti TTGV rodiklių sistemą ir sukurti vertinimo priemonę, kuri leistų įvertinti tvariosios tiekimo grandinės valdymą statybos įmonėse, taikant daugiakriterius sprendimų priėmimo metodus.

Disertaciją sudaro įvadas, trys skyriai, bendrosios išvados, naudotos literatūros ir autorės publikacijų disertacijos tema sąrašai ir trys priedai.

Įvadiniamе skyriuje aptariama tiriamoji problema, darbo aktualumas, aprašomas tyrimo objektas, formuluojamas darbo tikslas ir uždaviniai, aprašoma tyrimų metodika, darbo mokslinis naujumas, darbo rezultatų praktinė reikšmė, ginamieji teiginiai. Įvado pabaigoje pristatomos autorės disertacijos tema paskelbtos publikacijos ir pranešimai konferencijose bei disertacijos struktūra.

Pirmajame skyriuje pateikta naujausių mokslinių tyrimų analitinė apžvalga, siekiant apibrėžti tvariosios tiekimo grandinės valdymą ir jo vertinimą. Skyriaus pabaigoje formuluojamos išvados ir tikslinami disertacijos uždaviniai.

Antrajame skyriuje pateiktos statybos įmonių TTGV vertinimo priemonės teorinės nuostatos: sudaroma TTGV tvarumo rodiklių sistema, pateikiami tvarumo rodiklių reikšmingumo nustatymo ir daugiakriterių sprendimų priėmimo metodai (DEMATEL, BWM ir MABAC) ir parengiama metodika tvarumo rodiklių reikšmingumui bei originaliam, darbo autorės siūlomam, kompozitiniam TTGV statybos įmonėse į(si)vertinimo indeksui nustatyti.

Trečiajame skyriuje tiriamos siūlomos vertinimo priemonės praktinio taikymo galimybės tvarumui į(si)vertinti ir sprendžiamas tiekėjų parinkimo uždavinys Lietuvos statybos įmonėje. Skyriaus pabaigoje aptartos statybos įmonių tvariosios tiekimo grandinės valdymo vertinimo priemonės praktinio taikymo įmonėse perspektyvos ir galimos tolesnių tyrimų kryptys.

Disertacijos tema paskelbti 6 moksliniai straipsniai: du – žurnaluose, įtrauktuose į *Web of Science* sąrašą, du – recenzuojamų konferencijų straipsnių rinkiniuose, du – recenzuojamame Lietuvos konferencijos straipsnių rinkinyje. Disertacijos tema perskaityti penki pranešimai Lietuvos ir kitų šalių konferencijose, darbo rezultatai pristatyti seminare Rygos technikos universitete.

Abstract

The dissertation examines the challenges of sustainable supply chain management in the construction sector. The main research object is construction companies that apply sustainable supply chain management. The primary goal of the dissertation is to create a conceptual tool that allows for evaluating Sustainable Supply Chain Management (SSCM) in construction companies using multi-criteria decision-making methods.

The dissertation consists of an introduction, three chapters, general conclusions, a list of references, a list of publications by the author on the dissertation topic, and three appendices. The introduction discusses the research problem and relevance of the work, describes the research object, formulates the goal and objectives, and presents the research methodology, scientific novelty, practical significance of the results, and the defended statements. At the end of the introduction, the author's publications and conference presentations are listed related to the dissertation topic, as well as the structure of the dissertation.

The First Chapter is dedicated to the literature review, providing an analytical overview of the latest scientific research conducted in Lithuania and internationally. The aim is to define what sustainable supply chain management is and how it can be assessed. The chapter ends with conclusions and the thesis tasks.

The Second Chapter presents the theoretical principles of the SSCM tools for construction companies, including an overview of the formation of the SSCM sustainability indicator system and multi-criteria decision-making methods. The following methods are discussed in detail: the expert method for determining indicator significance, the multi-criteria DEMATEL, BWM, and MABAC. Finally, the methodology for constructing the composite SSCM self-assessment index for construction companies is reviewed.

The Third Chapter explores the practical application of the proposed tool for assessing sustainability in real construction companies. A methodology and an algorithm are proposed for implementing the conceptual tool to evaluate sustainable supply chain management in a real construction company.

Six scientific articles were published on the topic: two in journals indexed in the *Web of Science* list, two in referenced conference paper collections and two in a peer-reviewed collection of conference papers in Lithuania. Additionally, five presentations related to the dissertation topic were delivered at conferences in Lithuania and other countries, and the results were presented at a seminar at Riga Technical University.

Žymėjimai

Simboliai

v_j – j -oji simplekso viršūnė (angl. j^{th} *Vertex of the Simplex*);

$\bar{t}_j$ – vidutinis rodiklių vertinimo rangas (ekspertinio vertinimo metodas) (angl. *Average Ranking*);

t_{jk} – k eksperto nustatytas j rodiklio rangas ($k = 1, 2, \dots, r$) (angl. *Rank of the Indicator*);

r – ekspertų skaičius (ekspertinio vertinimo metodas) (angl. *Number of Experts*);

W – konkordancijos koeficientas (ekspertinio vertinimo metodas) (angl. *Concordance Coefficient*);

q_j – j rodiklio reikšmingumas (ekspertinio vertinimo metodas) (angl. *Importance of the Indicator*);

n – vertinamų rodiklių skaičius (angl. *Number of Evaluated Indicators*);

S – kiekvieno rodiklio vertinimo rangų nuokrypių suma (angl. *Sum of Deviations of Evaluation Ranks*);

χ^2 – konkordancijos koeficiento reikšmingumas (angl. *Importance of Concordance Coefficient*);

q_j^* – integruotasis reikšmingumas (angl. *Integrated Importance*);

q_j^b – ekspertinio vertinimo metodu gautas globalusis reikšmingumas (angl. *Global Importance*);

q_j^c – DEMATEL metodu gautas rodiklių reikšmingumas (angl. *Importance of the Indicators*);

I – tapatybės matrica (DEMATEL) (angl. *Identity Matrix*);

O – nulinė matrica (DEMATEL) (angl. *Zero Matrix*);
 n – kriterijų skaičius (DEMATEL) (angl. *Number of Criterias*);
 $\tilde{R}$ – bendrosios įtakos matrica (DEMATEL) (angl. *General Influence Matrix*);
 r – įtakos balas (DEMATEL) (angl. *Influence Score*);
 e – ekspertų, dalyvaujančių vertinimo procedūroje, skaičius (angl. *Number of Experts*);
 $\tilde{Z}$ – vidutinė matrica (DEMATEL) (angl. *Average Matrix*);
 $\tilde{X}$ – tiesioginio ryšio matrica (DEMATEL) (angl. *Direct Connection Matrix*);
 $\tilde{T}$ – visų santykių matrica (angl. *Matrix of all Relationships*);
 X – pirmojo sprendimo matrica (MABAC) (angl. *First Decision Matrix*);
 n – kriterijų skaičius (MABAC) (angl. *Number of Criteria*);
 m – alternatyvų skaičius (MABAC) (angl. *Number of Alternatives*);
 v_{ij} – elementų svartinė matrica (V) (MABAC) (angl. *Weighted Matrix of Elements*);
 g_i – kriterijaus C_i apytikslis kraštinės plotas (MABAC) (angl. *Approximate Edge of Criterion C_i*);
 m – bendrasis pasirinkimų skaičius (MABAC) (angl. *Total Number of Choices*);
 v_{ij} – svartinės matricos (V) komponentai (MABAC) (angl. *Components of Weighted Matrix (V)*);
 N – normalizuotoji matrica (MABAC) (angl. *Normalized Matrix*);
 G – apromsimacijos matrica (MABAC) (angl. *Approximation Matrix*).

Santrumpos

AHP – analitinis hierarchijų proceso metodas (angl. *Analytic Hierarchy Process*);
 ANP – analitinis tinklinis metodas (angl. *Analytic Network Process*);
 DI – dirbtinis intelektas (angl. *AI – Artificial Intelligence*);
 BIM – statinio informacinis modeliavimas (angl. *Building Information Modeling*);
 BWM – geriausiojo ir blogiausiojo atvejų metodas (angl. *Best – Worst Method*);
 CSF – lemiami sėkmės veiksniai (angl. *Critical Success Factors*);
 COPRAS – kompleksinis proporcingo vertinimo metodas (angl. *Complex Proportional Assessment*);
 DEMATEL – sprendimų priėmimo bandymų ir vertinimo laboratorijos metodas (angl. *Decision Making Trial and Evaluation Laboratory*);
 ISO – Tarptautinė standartizacijos organizacija (angl. *International Standard Organization*);
 JIT – tiekimo grandinė tinkamu laiku (angl. *Just in Time*);
 KIP – pagrindiniai veiklos rodikliai (angl. *Key Performance Indicators*);
 MABAC – ribinės aproksimacijos srities palyginimų metodas (angl. *Multiple Attribute Decision Making Based on Aggregated Ranking*);
 MDCM – daugiakriteriai sprendimų priėmimo metodai (angl. *Multi-Criteria Decision-Making Method*);
 ML – mašininis mokymasis (angl. *Machine Learning*);
 MIVES – daugiakriteris integruotosios vertinimo sistemos metodas (angl. *Multi-criteria Integrated Value Evaluation System*);
 NEC – naujoji inžinerijos sutartis (angl. *New Engineering Contract*);
 NLP – natūralusis kalbos apdorojimas (angl. *Natural Language Processing*);

RII – santykinės svarbos indeksas (angl. *Relative Importance Index*);
SAW – paprastasis suminis svėrimo metodas (angl. *Simple Additive Weighting*);
SWARA – laipsniškas kriterijų santykinės svarbos porinis lyginimas (angl. *Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis*);
TBL – triguba apatinė riba (angl. *Triple Bottom Line*);
TG – tiekimo grandinė (angl. *Supply Chain*);
TGV – tiekimo grandinės valdymas (angl. *Supply Chain Management*);
TOPSIS – artumo idealiajam taškui metodas (angl. *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*);
TTG – tvarioji tiekimo grandinė (angl. *Sustainable Supply Chain*);
TTGV – tvariosios tiekimo grandinės valdymas (angl. *Sustainable Supply Chain Management*);
VIKOR – daugiakriterės optimizacijos ir kompromiso sprendimo metodas (serb. *ViseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje*);
VR – virtualioji realybė (angl. *Virtual Reality*);
ŽTG – žaliaji tiekimo grandinė (angl. *Green Supply Chain*);
ŽTGV – žaliosios tiekimo grandinės valdymas (angl. *Green Supply Chain Management*).

Turinys

IVADAS	1
Problemos formulavimas	1
Darbo aktualumas	2
Tyrimų objektas	2
Darbo tikslas	2
Darbo uždaviniai	2
Tyrimų metodika	3
Darbo mokslinis naujumas	3
Darbo rezultatų praktinė reikšmė	3
Ginamieji teiginiai	4
Darbo rezultatų aprobavimas	4
Disertacijos struktūra	5
1. MOKSLO DARBŲ, SKIRTŲ TVARIOSIOS TIEKIMO GRANDINĖS VALDYMUI STATYBOS ĮMONĖSE VERTINTI, ANALIZĖ	7
1.1. Statybos įmonių tiekimo grandinės valdymas ir jo ypatumai	7
1.1.1. Tiekimo grandinės valdymo samprata statybos įmonėse	8
1.1.2. Tvarusis tiekimo grandinės valdymas statybos įmonėse	12
1.2. Tvariosios tiekimo grandinės valdymo kliūtys ir galimybės statybos įmonėse	19

1.2.1. Pagrindinės tvariosios tiekimo grandinės valdymo kliūtys statybos sektoriuje.....	20
1.2.2. Pagrindinės tvariosios tiekimo grandinės valdymo galimybės statybos sektoriuje.....	25
1.2.3. Statybos įmonių tiekimo grandinių Covid-19 pandemijos metu analizė.....	29
1.2.4. Tvarumo rodiklių, turinčių įtakos statybos įmonių tvariosios tiekimo grandinės valdymui, grupavimas.....	34
1.3. Indeksavimo metodai, skirti tvarumui įvertinti.....	35
1.4. Pirmojo skyriaus išvados ir disertacijos uždavinių formulavimas.....	38
2. STATYBOS ĮMONIŲ TVARIOSIOS TIEKIMO GRANDINĖS VALDYMO Į(SI)VERTINIMO PRIEMONĖS TEORINĖS NUOSTATOS.....	41
2.1. Tvariosios tiekimo grandinės valdymo tvarumo rodiklių sistemos sudarymas.....	41
2.2. Tvarumo rodiklių reikšmingumo nustatymo ir daugiakriterių sprendimų priėmimo metodai.....	49
2.2.1. Rodiklių reikšmingumo nustatymo ekspertinis metodas.....	50
2.2.2. DEMATEL metodas.....	51
2.2.3. BWM metodas.....	54
2.2.4. MABAC metodas.....	58
2.3. Kompozitinio tvariosios tiekimo grandinės valdymo statybos įmonėse į(si)vertinimo indekso sudarymo metodika.....	60
2.3.1. Tvariosios tiekimo grandinės tvarumo rodiklių reikšmių normalizavimas.....	61
2.3.2. Rodiklių agregavimas ir kompozitinio tvarumo indekso kūrimas statybos įmonių tiekimo grandinės valdymui vertinti.....	65
2.3. Antrojo skyriaus išvados.....	66
3. STATYBOS ĮMONIŲ TVARIOSIOS TIEKIMO GRANDINĖS VALDYMO Į(SI)VERTINIMO PRIEMONĖS TAIKYMAS.....	67
3.1. Tyrimo eiga.....	67
3.2. Tiekimo grandinės tvarumo rodiklių vertinimas.....	69
3.2.1. Rodiklių reikšmingumo nustatymas Delfi metodu.....	70
3.2.2. Kompozitinio indekso skaičiavimo algoritmas statybos įmonės tiekimo grandinės tvarumui vertinti.....	75
3.3. Daugiakriterių metodų komplekso taikymas, parenkant statybos įmonės tiekėjus.....	80
3.3.1. DEMATEL metodo taikymas.....	83
3.3.2. BWM metodo taikymas.....	88
3.4. Praktinio uždavinio sprendimas, vertinant geriausio tiekėjo parinkimą Lietuvos statybos įmonei.....	90
3.5. Tvariosios tiekimo grandinės valdymo statybos įmonėse daugiakriterio vertinimo perspektyvos, tyrimo apribojimai ir tolesnių tyrimų kryptys.....	96

3.6. Trečiojo skyriaus išvados	98
BENDROSIOS IŠVADOS.....	101
LITERATŪRA IR ŠALTINIAI	103
AUTORĖS MOKSLINIŲ PUBLIKACIJŲ DISERTACIJOS TEMA SĄRAŠAS	119
SUMMARY IN ENGLISH	121
PRIEDAI	133
Priedas A. Ekspertinės apklausos pavyzdys	134
Priedas B. DEMATEL metodo apklausos pavyzdys	141
Priedas C. BWM metodo apklausos pavyzdys	144

Contents

INTRODUCTION	1
Formulating the problem	1
Relevance of the dissertation	2
Object of research	2
Aim of the dissertation.....	2
Tasks of the dissertation	2
Research methodology.....	3
Scientific novelty of the dissertation	3
Practical value of the research findings	3
Defended statements	4
Approaval of the research findings.....	4
Structure of the dissertation	5
1. ANALYSIS OF RESEARCH PAPERS TO ASSESS SUSTAINABLE SUPPLY CHAIN MANAGEMENT IN CONSTRUCTION COMPANIES.....	7
1.1. Management of the supply chain of construction companies and its specificities.....	7
1.1.1. Concept of supply chain management in construction companies	8
1.1.2. Sustainable supply chain management in construction companies	12

1.2. Barriers and opportunities for sustainable supply chain management in construction companies.....	19
1.2.1. Main barriers to sustainable supply chain management in the construction sector	20
1.2.2. Key options for sustainable supply chain management in the construction sector	25
1.2.3. Analysis of construction companies' supply chains during the COVID-19 pandemic	29
1.2.4. Grouping of sustainability indicators influencing the sustainable supply chain management of construction companies	34
1.3. Indexation methods to assess sustainability	35
1.4. Conclusions of the First Chapter and formulation of the task of the dissertation	38
 2. THEORETICAL FRAMEWORK OF THE SUSTAINABLE SUPPLY CHAIN MANAGEMENT TOOL FOR CONSTRUCTION COMPANIES	41
2.1. Developing a framework of sustainability indicators for sustainable supply chain management.....	41
2.2. Methods for determining the significance of sustainability indicators and multi-criteria decision-making	49
2.2.1. Expert method for determining the significance of indicators	50
2.2.2. DEMATEL method	51
2.2.3. BWM method	54
2.2.4. MABAC method.....	58
2.3. Methodology for the compilation of the composite sustainable supply chain management index in construction companies	60
2.3.1. Normalization of sustainable supply chain sustainability indicators.....	61
2.3.2. Aggregation of indicators and development of a composite sustainability index for the assessment of supply chain management in construction companies	65
2.3. Conclusions of Chapter Two	66
 3. APPLICATION OF THE SUSTAINABLE SUPPLY CHAIN MANAGEMENT TOOL FOR CONSTRUCTION COMPANIES	67
3.1. Study progress	67
3.2. Assessment of supply chain sustainability indicators.....	69
3.2.1. Determination of the significance of the indicators by the Delphi method	70
3.2.2. Composite index calculation algorithm for assessing the sustainability of a construction company's supply chain.....	75
3.3. Application of a complex of multi-criteria methods to the selection of suppliers of a construction company.....	80
3.3.1. Application of the DEMATEL method	83
3.3.2. Application of the BWM method	88

3.4. Solving the practical problem in evaluating the selection of the best supplier for a Lithuanian construction company.....	90
3.5. Perspectives for the multi-criteria assessment of sustainable supply chain management in construction companies, limitations of the study, and directions for further research	96
3.6. Conclusions of Chapter Three	98
GENERAL CONCLUSIONS	101
REFERENCES	101
LIST OF THE AUTHOR’S SCIENTIFIC PUBLICATIONS ON THE TOPIC OF THE DISSERTATION	119
SUMMARY IN ENGLISH.....	121
ANNEXES	133
Annex A. Example of an expert survey	134
Annex B. Sample survey of the DEMATEL method	141
Annex C. Sample BWM Method.....	144

Ivadas

Problemos formulavimas

Nors pastaraisiais metais tiekimo grandinės valdymo svarba statybos sektoriuje buvo plačiai pripažinta, statybos įmonių tvarumo įgyvendinimo procesuose vis dar kyla didelių iššūkių. Norint atlikti ilgalaikį šio plataus sektoriaus vertinimą, būtina įvertinti daugybę sudėtingų tvarumo komponentų – aplinkosauginių, socialinių ir finansinių. Šie komponentai Pasaulinės aplinkos ir plėtros komisijos (*Brundtland*) ataskaitoje (www.sustainabledevelopment.un.org) vadinami santrumpa TBL (angl. *Triple Bottom Line*). Todėl svarbu vykdyti statybos įmonių TTGV vertinimą, kuris dažnai yra sudėtingas, nes statybos įmonių valdymo procese naudojami tvarumo rodikliai dažniausiai yra kokybiniai, o ne kiekybiniai. Be to, esamuose tyrimuose trūksta aiškumo, kurie tvarumo rodikliai daro didžiausią įtaką statybos įmonių tiekimo grandinių vertinimui. Šiame tyrime pagrindinis dėmesys skiriamas statybos įmonių tiekimo grandinėms įtaką darančių tvarumo rodiklių svarbai nustatyti. Kai tiekimo grandinės charakteristikos jau žinomos, uždaviniui spręsti naudojami daugiakriteriai metodai.

Darbo aktualumas

Tiekimo grandinės valdymas (TGV) mokslinėje literatūroje yra siejamas su procesiniu požiūriu, akcentuojama kokybinė procesų pusė (Brix-Asala et al., 2018; Kumar et al., 2020; Croxton et al., 2001; Bouzon et al., 2018; Lambert, 2008; Konovalenko & Ludwig, 2019). Tačiau tyrimų, kurie nagrinėtų statybos įmonių TTGV holistiniu požiūriu, nacionaliniu ir tarptautiniu lygmeniu, o ne fragmentiškai, vis dar trūksta. Esami požiūriai mokslinėje literatūroje dažniausiai orientuoti į projektų tiekimo grandinių valdymą, o ne į ilgalaikį tvarųjį statybos įmonės sprendimų priėmimo būdą. Taip pat didžioji dalis esamų TGV metodų ir sistemų yra perkeltami į statybos sektorių, neatsižvelgiant į statybos įmonių specifiką, todėl TTG procesų valdymo vertinimas statybos sektoriuje ir jo nagrinėjimas yra aktualus ne tik teoriniu, moksliniu, bet ir praktiniu aspektu.

Akivaizdu, jog TGV aplinka statybos įmonėse yra gana sudėtinga ir kompleksiška, todėl tvarumo indeksavimo sistemos ir daugiakriterio metodų komplekso sukūrimas yra daugiaaspektis uždavinys ir reikalauja atskiro mokslinio tyrimo.

Tyrimų objektas

Darbo objektas – statybos įmonės, kuriose taikomas tvariosios tiekimo grandinės valdymas.

Darbo tikslas

Disertacinio darbo pagrindinis tikslas – sukurti vertinimo priemonę, kuri leistų į(si)vertinti tvariosios tiekimo grandinės valdymą statybos įmonėse, taikant daugiakriterius sprendimų priėmimo metodus.

Darbo uždaviniai

Darbo tikslui pasiekti darbe sprendžiami šie uždaviniai:

1. Išanalizuoti įvairių šalių mokslininkų atliktus tyrimus ir jų rezultatus statybos įmonių TTGV srityje ir pagrįsti TTGV vertinimo priemonės kūrimo poreikį.
2. Sukurti kompleksinę statybos įmonėse taikomų TTGV rodiklių sistemą ir sukurti statybos įmonių TTGV vertinimo priemonę.

3. Sukurti kompozitinį TTGV statybos įmonėse į(si)vertinimo indeksą.
4. Įvertinti statybos įmonės TTG partnerius (tiekėjus) realiame projekte pagal sukurtą rodiklių sistemą, taikant daugiakriterius sprendimų priėmimo metodus.
5. Apibrėžti statybos įmonių TTGV įvertinimo modelio praktinio taikymo perspektyvas ir numatyti galimas tolesnių tyrimų kryptis.

Tyrimų metodika

Disertacijos rengimas buvo grindžiamas mokslinėmis publikacijomis, statistiniais leidiniais, kitomis mokslo institucijų mokslinėmis ir informacinėmis publikacijomis.

Sprendžiant tyrimo uždavinius, buvo atliktos ekspertų apklausos, atlikta duomenų analizė ir pritaikytos metodikos (ekspertinis vertinimas, hibridinis daugiakriteris sprendimų priėmimo metodų (DEMATEL, BWM ir MABAC) kompleksas).

Darbo mokslinis naujumas

Rengiant disertaciją, buvo gauti šie statybos inžinerijos mokslui nauji rezultatai:

1. Sukurta originali statybos įmonių TTGV vertinimo priemonė, integruojant TGV tvarumo vertinimo rodiklius, kompozitinį TTGV statybos įmonėse vertinimo indeksą ir daugiakriterius sprendimo priėmimo metodus.
2. Sudaryta kompleksinė statybos įmonėse taikomų TTGV tvarumo vertinimo rodiklių sistema pagal pasiūlytas 7 rodiklių grupes.
3. Sukurtas kompozitinis TTGV statybos įmonėse į(si)vertinimo indeksas, leidžiantis statybos įmonėms į(si)vertinti esamą TGV tvarumo situaciją.
4. Sukurta rodiklių sistema statybos įmonės TTG partneriams (tiekėjams) vertinti ir atrankai realiame projekte. Uždaviniams spręsti pasiūlytas efektyvus daugiakriteris sprendimo priėmimo metodų kompleksas, sudarytas iš DEMATEL, BWM ir MABAC metodų.

Darbo rezultatų praktinė reikšmė

Tyrimų rezultatai gali būti naudingi statybos įmonėms, taikančioms arba planuojančioms taikyti tvariosios tiekimo grandinės valdymo principus, atlikti

tvariosios tiekimo grandinės valdymo įvertinimą ir nustatyti esamą tiekimo grandinės valdymo tvarumo situaciją, nustatyti tobulintinas sritis, atlikti tvariosios tiekimo grandinės valdymo stebėseną ir priimti argumentuotus sprendimus. Pasiūlytas praktiškai pritaikomas daugiakriteris statybos įmonės TTG partnerių (tiekėjų) vertinimo ir atrankos algoritmas. Pritaikius siūlomą tvariosios tiekimo grandinės valdymo vertinimo priemonę, galima skatinti efektyvesnį išteklių naudojimą, sumažinti poveikį aplinkai, sustiprinti įmonės įvaizdį ir paskatinti inovacijas.

Ginamieji teiginiai

1. Svarbiausių tvarumo rodiklių nustatymas yra vienas iš esminių veiksnių, padedančių užtikrinti sėkmingą statybos įmonių veiklą, diegiant tiekimo grandinės tvarumo valdymo praktiką.
2. Sukurtas kompozitinis indeksas yra tinkamas taikyti statybos įmonėse, siekiančiose į(si)vertinti esamą tiekimo grandinės valdymo tvarumo situaciją, nustatyti tobulintinas sritis ir vykdyti tvariosios tiekimo grandinės valdymo stebėseną, priimti argumentuotus sprendimus.
3. Vertinant statybos įmonių tiekimo grandinės tvarumą, esant dideliame tvarumo rodiklių skaičiui ir siekiant gauti kuo patikimesnius rezultatus, tikslinga taikyti kelis daugiakriterės analizės metodus. Nustatyti tvarumo rodiklių grupių ir pogrupių reikšmingumai lemia prioritetus, vertinant statybos įmonių tvariosios tiekimo grandinės valdymą.

Darbo rezultatų aprobavimas

Disertacijos tema paskelbti šeši moksliniai straipsniai: du – *Web of Science* duomenų bazės leidiniuose, turinčiuose citavimo rodiklį (Cataldo et al., 2022; Cataldo et al., 2025), du – recenzuojamų konferencijų straipsnių rinkiniuose (Cataldo, 2022a; Cataldo, 2023), du – recenzuojamuose Lietuvos konferencijos straipsnių rinkiniuose (Cataldo, 2022b; Cataldo, 2024). Disertacijos tema perskaityti penki pranešimai Lietuvos ir kitų šalių konferencijose:

- Tarptautinėje konferencijoje „XVI International Prof. Vladas Gronskas Scientific Conference, Sustainability Section“, 2021 m. gruodžio 2 d., Kaunas, Lietuva.
- 24-ojoje Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijoje „Mokslas – Lietuvos ateitis. Statyba“ 2021 m. kovo 29 d., Vilnius, Lietuva.
- 25-ojoje Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijoje „Mokslas – Lietuvos ateitis. Statyba“ 2022 m. kovo 25 d., Vilnius, Lietuva.

- Tarptautinėje konferencijoje „II International Scientific and Practical Internet Conference: Scientific Research and Innovation“, 2023 m. balandžio 3–4 d., Dnipro, Ukraina.
- 26-ojoje Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijoje „Mokslas – Lietuvos ateitis. Statyba“ 2023 m. balandžio 13 d., Vilnius, Lietuva.

Disertacijos rezultatai pristatyti moksliniame seminare Rygos Technikos universitete (RTU) Inžinerijos ekonomikos ir valdymo katedroje 2024 m. gegužės 22 d. Rygoje, Latvijoje.

Disertacijos struktūra

Disertaciją sudaro įvadas, trys skyriai ir bendrosios išvados, literatūros šaltiniai ir autorės mokslinių publikacijų disertacijos tema sąrašai, santrauka anglų kalba ir trys (A, B, C) priedai. Disertacijos apimtis – 90 puslapių be literatūros sąrašo, priedų ir santraukos anglų kalba. Disertacijoje pateikti 7 paveikslai, 36 lentelės, panaudoti 196 literatūros šaltiniai.

Mokslo darbų, skirtų tvariosios tiekimo grandinės valdymui statybos įmonėse vertinti, analizė

Skyriuje pateikiama bendroji tiekimo grandinių sektoriaus apžvalga statybos įmonėse, apibrėžiama TTGV sąvoka ir tvarumo svarba statybos įmonėse, taip pat atskleidžiami TTGV ryšiai su tvariaja statyba. Apžvelgiami šia tema publikuoti mokslininkų tyrimai.

Skyriaus tematika paskelbti trys autorės straipsniai (Cataldo et al., 2022; Cataldo, 2023; Cataldo et al., 2023) ir perskaitytas pranešimas tarptautinėje konferencijoje.

1.1. Statybos įmonių tiekimo grandinės valdymas ir jo ypatumai

Anksčiau statybos įmonių tiekimo grandinės valdymas nebuvo pakankamai išvystytas dėl didelės statybos sektoriaus fragmentacijos ir projektų specifikos (Berardi & Peregrino de Brito, 2021). Didelę dalį problemų, su kuriomis kasdien susiduria statybos įmonės, sukelia prastas kelių suinteresuotųjų šalių tiekimo

grandinės (TG) koordinavimas atskirose tiekimo grandinės dalyse, atsižvelgiant į didelius vietos ir laiko skirtumus. Mokslininkai, tiriantys statybos įmonių TG, pasiūlė naujoviškus metodus, kaip diegti žiedinės ekonomikos principus ir tvarumo praktikas statybos įmonių tiekimo grandinės valdymo procese. Pavyzdžiui, kai kurie mokslininkai siūlė diegti principines sistemas (pvz., atsinaujinančios energijos integraciją, pramoninę simbiozę, uždarąjį ciklą, išteklių atkūrimą ir pakartotinį naudojimą ir pan.), skirtas palengvinti žiedinės ekonomikos įgyvendinimą statyboje (Shuanggui et al., 2011; Mendoza et al., 2017). Kiti tyrėjai pateikė techninius sprendimus, taikydami pastatų informacinį modeliavimą (angl. *Building Information Modeling* – BIM) (Wang et al., 2018; Deng et al., 2019). Nors yra pateikta naudingų tvariųjų statybos įmonių tiekimo grandinių projektavimo, įgyvendinimo ir vertinimo tyrimų rezultatų, ankstesnis mokslinių tyrimų tikslas dažniausiai būdavo tik sumažinti atliekų kiekį tradicinėje tiekimo grandinės struktūroje (Huang et al., 2018). Norint integruoti perdirtų atliekų kiekį su visais pirminiais statybinių medžiagų šlais ir toliau plėtoti uždarojo ciklo TG struktūrą žiedinės ekonomikos link, reikalingas holistinis požiūris. Viena iš tokių struktūrų yra žinoma pramoninės simbiozės terminu (Mendoza et al., 2017). Tiekimo grandinės nagrinėjantys mokslininkai siekia surasti geriausius sprendimus statybos įmonių tiekimo grandinėms, kad šios sektoriaus dalyviams užtikrintų realų veiklos ir bendradarbiavimo koordinavimą, o statybos įmonių tiekimo grandinių dalyviai būtų užtikrinti, kad ateities prognozės būtų teisingos ir lengvai įgyvendinamos (Yu et al., 2021).

1.1.1. Tiekimo grandinės valdymo samprata statybos įmonėse

Prieš pradedant nagrinėti tvarumo sąvoką, reikėtų pasigilinti ir suprasti, kas yra tiekimo grandinė. Net iki XX a. dešimtojo dešimtmečio mokslininkų (Pralhalad & Hamel, 1996; Lee & Dale, 1998; Elkington, 1997) požiūris į TG apėmė platų tvarumo rodiklių spektrą: buvo akcentuojami santykiai su tiekėjais, informacijos dalijimasis, verslo procesų valdymas, propaguojamas orientavimasis į klientą ir tarpusavio bendradarbiavimą. Tačiau praktikos ir mokslo tezių sujungimas TG procesų valdymo srityje dar nebuvo identifikuojamas. Pagrindinis TGV tikslas buvo pagerinti ryšius tarp įmonių procesų, o valdymo tikslas – stiprinti sąsajas tarp vidaus procesų. Bėgant metams, statybos įmonių išteklių planavimas, pasiskirstymo poreikio planavimas, produkto duomenų valdymas, elektroninė komercija, bendradarbiavimo inžinerija ir kiti informacinių technologijų sprendimai papildė statybos įmonių gamybos sistemas (Ashby et al., 2012). Atsirado vienas iš svarbiausių būdų tikslingai ir kryptingai valdyti TG ir jų procesus – svarbūs tapo žmogiškieji elementai, ypatinga svarba buvo skiriama TG dalyvių kompetencijai kelti (Rigby et al., 2000; Rakickas & Skunčikienė, 2007). Taikant įvairiapusių požiūrį, TG apibrėžtis mokslinėje literatūroje tapo platesnė. Anot Kopninos et al.

(2018), TG yra įmonių tinklas, kuriame bendrai priimami sprendimai. Ganeshan & Boone (2019) požiūriu, TG yra santykių valdymas, o Linton et al. (2007) TG apibūdino šią sąvoką kaip tam tikrą valdymo sistemą, kurios tikslas – susieti gamintojus ir klientus į bendrąją organizuotą sistemą.

TG valdymas yra daug analizės ir dėmesio reikalaujanti mokslo sritis. Anot Lambert & Etz (2017), Qiu et al. (2021), Shiralkar et al. (2021) ir kitų mokslininkų, galima išskirti aštuonis TGV procesus, kurie padeda sklandžiai ir be trikdžių veikti tiekimo grandinėms: 1) užsakymo įvykdymo valdymas (angl. *Order Fulfillment*) (Qiu et al., 2021), 2) paklausos valdymas (angl. *Demand Management*) (Koli Dey et al., 2021), 3) santykių su tiekėjais valdymas (angl. *Supplier Relationship Management*) (Shiralkar et al., 2021), 4) gamybos srauto valdymas (angl. *Manufacturing Flow Management*) (Moshood et al., 2021), 5) klientų aptarnavimo valdymas (angl. *Customer Service Management*) (Qiu et al., 2021), 6) produkcijos tobulinimas ir prekyba (angl. *Product Development and Commercialization*) (Shiralkar et al., 2021), 7) santykių su klientais valdymas (angl. *Customer Relationship Management*) (Qiu et al., 2021) ir 8) grįžtamųjų srautų valdymas (angl. *Returns Management*) (Lambert & Enz, 2017).

Pagal naujausius mokslinės literatūros šaltinius, daugelis tyrėjų sutaria, jog dabartinės metodikos ir įrankiai statybos įmonių tiekimo grandinės tvarumui vertinti nėra pakankamai veiksmingi, patikimi ir visapusiški. Todėl reikia imtis tolesnių veiksmų, optimizuojant logistinius ir statybos procesus, kad būtų patenkinti augantys klientų ir rangovų poreikiai (Yan et al., 2019). Siekdamas patenkinti vartotojų poreikius, prisitaikyti prie besikeičiančių administracinių standartų ir efektyviai vykdyti prekybos ar pirkimo procesus, statybos įmonės turėtų į pagalbą pasitelkti dirbtinio intelekto, blokų grandinių, daiktų interneto ir kitų integruotųjų kompiuterinių technologijų pažangą (Rejeb et al., 2020; Bakhtiarizadeh et al., 2021; Sindhwani et al., 2022). Siekdami sukurti proaktyvųjį ir nuspėjamąjį išmanųjį rizikos valdymo mechanizmą, statybos įmonių tiekimo grandinėse dalyvaujantys įmonių vadovai pradėjo taikyti tokius sprendimo priėmimo būdus, kai siūlymus teikia įvairiais duomenų šaltiniais pagrįstos DI ir ML technologijos (Sindhwani et al., 2022). Į pagalbą pasitelkiant DI, problemos išsprendžiamos greičiau, tiksliau ir naudojant didesnę įvesties įvairovę nei naudojant įprastinius metodus. Sudėtingos ir nuspėjamosios duomenų analizės naudojimas smarkiai išaugo diegiant TG rizikos valdymo sprendimus. Todėl yra tikslinga taikyti dirbtinį intelektą statybos įmonių tiekimo grandinės rizikos valdymui pasitelkiant mašininį mokymąsi, gilųjį mokymąsi (angl. *Deep Learning*) ir natūralųjį kalbos apdorojimą bei kitus novatoriškus metodus (Deiva Ganesh & Kalpana, 2022).

Tiekimo grandinė – su kliento išsakyto poreikių (tiesiogiai ar netiesiogiai) įgyvendinimu susijusių subjektų visuma, kuri gali apimti nemažai grandžių (stadijų): tam priklauso žaliavų tiekėjai, gamintojai, užsakovai, didmenininkai ir

mažmenininkai (Sebestyén et al., 2024). TG statybos įmonėse apima visus etapus, susijusius su statybos organizavimu ir valdymu:

- užsakovo interesų atstovavimą derybose su (sub)rangovais;
- statybos dokumentų kontrolę ir jų parengimą;
- statybos paslaugų valdymą ir projektų koordinavimą;
- statybos projekto komandos valdymą ir konkursų organizavimą;
- statybos projekto valdymą, pradedant paruošiamaisiais statybos darbais, baigiant statinio patvirtinimu tinkamu naudoti;
- statybos darbų, finansinių grafikų valdymą, sudarymą ir atlikimą;
- sąmatų sudarymą;
- konsultacijas statybos darbų, investicijų ir valdymo klausimais;
- konsultacijas teisiniais klausimais dėl statybos projektų ir nekilnojamojo turto;
- patalpų ir kitų pastatų būklės įvertinimą, pateikiant ataskaitą iš licencijuoto specialisto ir kt.

Statybos įmonės TG apima rangovus, gamintojus, statybos medžiagų tiekėjus ir statytojus (vystytojus), taip pat įtraukia sandėliavimo paslaugas teikiančius subjektus, vežėjus ir kitus tarpininkus bei patį klientą (užsakovą). Visos statybos įmonės TG grandys (subjektai) yra tarpusavyje susieti finansų, informacijos ir medžiagų saitais, tačiau ne visos grandys yra privalomos (Kopnina et al., 2018).

Subjekto veiksmai ir klientų poreikiai daro įtaką statybos įmonės TG struktūrai. Už atskirą TG etapą ar stadiją atsako ne vienas subjektas, o visi susiję subjektai, todėl ši įvykių grandinė turi būti traktuojama kaip tinklas (Li et al., 2006). Statybos įmonės gali gauti medžiagų iš kelių tiekėjų vienu metu, savo produktą perduoti keliems antriniams subrangovams, tarpininkams ir kt. TG bruožų išskyrimas ir jų apibūdinimas pateikti 1.1 lentelėje.

1.1 lentelė. TG samprata skirtingų autorių nuomone (sudaryta autorės)

Table 1.1. Concept of the SC according to different authors' opinions (compiled by the author)

TG bruožas	Pagrindinė mintis	Šaltiniai
Tinklas	TG sudaryta iš tiesiogiai ar netiesiogiai susijusių grandžių, kurios tikslas yra patenkinti kliento poreikius. TG sudaro tiekėjai, gamintojai, sandėlio darbuotojai, transportuotojai, didmenininkai, mažmenininkai ir klientai.	Upadhyay & Kumar (2020)
	TG turėtų būti suprantama kaip tarpusavyje susietų įmonių ar organizacijų tinklas, apimantis visumą nuo žaliavų gamybos iki galutinio prekių ar paslaugų pristatymo.	Carter & Rogers (2008), Yeung, et al. (2023)
	TG – tai priemonių ir paskirstymo būdų tinklas, veikiantis nuo to momento, kai įsigyjamos žaliavos, iki tol, kol tarpinis ar galutinis produktas pateikiamas galutiniam vartotojui.	Ganeshan & Boone (2019)

1.1 lentelės tęsinys

TG bruožas	Pagrindinė mintis	Šaltiniai
	Tiekimo grandinę sudaro atskiros įmonės, kurios turi bendrus tikslus ir dažnai veikia individualiai. Visų įmonių, kurios yra TG dalis, verslo procesai priklauso nuo kitų tos grandinės dalių.	Lima et al. (2021)
	TG – tai galimybių paskirstymo tinklas, kuris padeda atlikti prekių įsigijimo, jų pakeitimo į galutinius ar tarpinius produktus ir galutinių prekių paskirstymo vartotojams funkcijas.	Ghadimi et al. (2021)
	TG – glaudžiais ryšiais susijusių organizacijų tinklas, kuriame paslaugų ir produktų vertė galutiniam vartotojui sukuriamą atliekant skirtingas veiklas.	Kopnina et al. (2018), Tu et al. (2023)
	TG yra sudėtingas kompleksiško, plačiai geografiškai paskirstytų ir dažnai globalių objektų tinklas.	Nunes et al. (2020)
Grandinės srautai	TG galima apibūdinti kaip produktų ir medžiagų srauto keliavimą įsigijimo, gamybos, sandėliavimo, pardavimo ir paskirstymo procesuose.	Martins et al. (2021)
	TG yra įvykių seka, kuri apima gamybos, tiekimo, transportavimo, sandėliavimo, klientų aptarnavimo ir informacinių technologijų procesus. Šie procesai šiuolaikinio verslo sąlygomis tampa vis svarbesni. TG dėka yra tenkinami klientų poreikiai.	Goyal et al. (2018), Saad et al. (2021)
	TG, pradedant nuo tiekėjų, gamybos ir paskirstymo grandinės ir baigiant galutiniais vartotojais, yra medžiagų srautų planavimas ir kontrolė.	Nuñez-Cacho et al. (2018), Tushar et al. (2022)
	TGV yra sudėtinė filosofija, kurios esminis principas yra valdyti bendruosius paskirstymo kanalų srautus tarp tiekėjo ir galutinio vartotojo.	Li et al. (2006), Zhu et al. (2023)
Valdymo koordinavimas	Visi procesai nuo žaliavos parinkimo prekei iki prekės pateikimo galutiniam vartotojui yra apibrėžiami TG samprata.	Ganeshan & Boone (2019)
	TG – tiekėjų, gamintojų, prekybininkų, aptarnavimo personalo ir pirkėjų sudaryta sistema, kurioje informacija juda abiem TG kryptimis, o sudėtinės dalys (žaliavos ir prekės) juda grandine žemyn.	Frankel (2014), Zhang & Song (2022)
	TG – tai įmonių sistema, kuri apima visus procesus, susietus su galutinio produkto pateikimu klientui. Ši sistema apima visas su produktu susijusias veikos sritis: žaliavų paiešką, gamybą, surinkimą, sandėliavimą, inventorius apskaitą, užsakymų teikimą, dokumentų parengimą ir informacinių technologijų, skirtų stebėti šiuos procesus, valdymą.	Shiralkar et al. (2021)
	TG – tai koordinuota sistema, kuria naudojantis produktas patenka galutiniam vartotojui suplanuotu laiku.	Pande & Kumar (2021)

1.1 lentelės pabaiga

TG bruožas	Pagrindinė mintis	Šaltiniai
Tikslas	TG simbolizuoja naują verslo valdymo sistemą ir santykius su kitais tiekimo grandinės nariais. Organizacijos bendradarbiauja, turėdamos tikslą koordinuotai pateikti produktus ar paslaugas rinkai.	Lambert & Etz (2017); Lambert (2008)
	TG – tai įmonių tinklas, kuris tiesioginiais ir grįžtamaisiais ryšiais susijęs su skirtingais procesais ir produktų bei paslaugų forma suteikiančiais vertę galutiniam vartotojui.	Fritz (2019)
	Sudėtinio TG valdymu įgyvendinama sujungta bendroji tiekimo ar vertės grandinė nuo išorinio vartotojo poreikių nustatymo produktų (ar paslaugų) vystymo, gamybos ir vidinio (ar išorinio) paskirstymo būdu.	Ganeshan & Boone (2019)
	Holistinio požiūrio samprata tiekimo grandinėje atskleidžiama nuo pradžios iki pabaigos koordinuojama veikla, kurios tikslas – pasiekti maksimalų pelną, efektyviai panaudoti žaliavas ir minimizuoti išlaidas derinant visus procesus tarpusavyje.	Martins et al. (2021)
	TG – tai koncepcinis terminas, skirtas organizacijų eilei ar tinklui apibrėžti, pradedant tiekėju, baigiant galutiniu vartotoju, kurio tikslas – koordinuojant organizacijos veiklą, integruoti tolygų prekių tiekimą ir poreikių tenkinimą.	Frankel (2014), Ayarkwa et al. (2022)

Apžvelgus skirtingų mokslininkų teorijas apie tiekimo grandines, galima daryti išvadą, jog tiekimo grandinė – optimizuota ir koordinuota įmonių, esančių tinkle, veikla, kuri užtikrina įmonių sąnaudų mažinimą tinkle, projektų įgyvendinimą ir darbų atlikimą laiku. Visų anksčiau išvardintų TGV procesų integravimas suteikia statybos įmonėms galimybę efektyviai valdyti įvairias sritis, tokias kaip: derybos su tiekėjais, logistikos funkcijų atlikimas, darbų paskirstymo vykdymas, atsargų planavimas, prekių grąžinimų tvarkymas ir prekių užsakymas iš tiekėjų. Jeigu įmonė valdytų visus procesus, ignoruodama bendruosius TGV principus, statybos įmonei kiltų sunkumų, išlaikant konkurencingumą, pelningumą ir efektyvumą. Dėl pažangiųjų šiuolaikinių IT sprendimų pagalbos statybos įmonės gali efektyviai vykdyti, planuoti ir kontroliuoti visus procesus, susijusius su TG logistika vienoje rankose.

1.1.2. Tvarusis tiekimo grandinės valdymas statybos įmonėse

Nuo XXI a. pr., ypač labiau išsivysčiusiose šalyse, didėja susidomėjimas moksliniais TTGV tyrimais ir įvairiais jo įgyvendinimo praktikoje aspektais – tvarumu, aplinkosauga ir pan. Atsirado tokie terminai, kaip žaliasis tiekimo grandinės valdymas (angl. *Green Supply Chain Management (GSCM)* – ŽTGV), tvarusis tiekimo grandinės valdymas. Dauguma mokslinių tyrimų, susijusių su

TTGV, yra paremti trimis tvarumo ramsčiais, kurie Brundtland ataskaitoje apibrėžti kaip socialiniai, aplinkosauginiai ir ekonominiai ramsčiai ir vadinami „triguba apatine riba“ (angl. *Triple Bottom Line* – TBL). Šiuos ramsčius TTGV nagrinėjo Elkington (1997), Carter ir Rogers (2008), Pagell ir Wu (2009), pateikdami dažniausiai cituojamas TTGV apibrėžtis.

Tvarumas, kaip daugiadalykė koncepcija, buvo sukurta XX a. septintajame dešimtmetyje. Tai – mus supančios aplinkos, kuri turi ribotus išteklius, ir žmogaus egzistavimas kartu, nelaužant nustatytų etikos ir moralės normų (Kopnina et al., 2018). Tvarumo koncepcijos taikymas pratęsia tradicinį TGV principą už dabartinės praktikos ribų, siekiant įtraukti ir pagerinti aplinkosaugines, socialines ir ekonomines perspektyvas (Ahi et al., 2018). Didžioji dalis tvarumą tiriančių mokslininkų pritaria nuostatai, kad organizacijos gali pasiekti savo tvariosios vadybos tikslus tausodamos aplinką (Kopnina et al., 2018). Pasaulio ekonomikos plėtros Rio žemės komisija (Environmental and Sustainable Development) viršūnių susitikimo metu pabrėžė tvariojo verslo poreikio svarbą. Juo siekiama patenkinti dabartinių kartų poreikius, nesusilpninant ateities kartų galimybių patenkinti savo poreikius (Frankel, 2014).

Daugumoje tyrimų, ypač statybos sektoriuje, pabrėžiama būtinybė projektų valdymo srityje judėti link tvariosios gamybos būdo. Shen et al. (2010) apibūdina priežastis, kodėl tvarumo sąvoka turėtų būti numatyta statybos įmonių valdymo plane: „Kalbant apie statybos sektorių, tvarumas yra veiksnys, lemiantis sėkmingą darbo eigą, pridedantis papildomos ekonominės naudos ir privalumų statybos įmonėms, prisidedant prie geresnės aplinkos ir pažangiosios visuomenės kūrimo bei tuo pačiu siekiant konkurencingos veiklos“. Tvarioji tiekimo grandinė yra visų projekto etapų valdymas planuojant, stebint ir kontroliuojant visą projekto procesą ir rezultatų gyvavimo ciklą, siekiant visiškai atitikti suinteresuotųjų šalių reikalavimus, užtikrinant organizacijos skaidrumą ir etiką bei atsižvelgiant į ekonominius, socialinius ir aplinkosauginius aspektus vadinamaisiais trigubais apribojimais (angl. *Triple Constraints* – TC) (Stanitsas et al., 2021).

TTGV yra tiekimo grandinių valdymas, kurio metu yra integruojami įmonių tiekėjų, klientų ir išorės suinteresuotųjų subjektų (pvz., vartotojų, įstatymų formuotojų, asociacijų) apibrėžti tvarumo tikslai ir reikalavimai. Viena iš TTGV problemų yra ta, kad mokslininkai savo tyrimais ir praktika dažnai koncentruojasi į ekologiją ir aplinkos tausojimą, tačiau mažai dėmesio skiria socialinei tvarumo dimensijos pusei (Ashby et al., 2012; Popovič et al., 2017; Linton et al., 2007; Bastas & Liyanage, 2018). Anot Fritz (2019), norint tvariai valdyti tiekimo grandines, svarbu integruoti tvarumo aspektą įvairiais strateginiais grandinės lygiais pasitelkiant: a) valdymo mechanizmus ir aukščiausiąją vadovybę; b) operatyviniu lygmeniu; c) produkto ar paslaugos lygiu ir d) per tiekimo grandinės partnerius. Ši integracija neturi būti suprantama kaip hierarchinė, nes

tvarumo integravimas tiekimo grandinėje gali vykti vienu metu skirtingais lygmenimis arba gali būti planuojamas kita tvarka.

Tvarusis tiekimo grandinės valdymas (TTGV) yra bendrasis terminas, apimantis atvirkštinę logistiką ir žaliąjį tiekimo grandinės valdymą. Siekiant pagerinti socialinę, aplinkosauginę ir ekonominę partnerių valdymo politiką, TTGV akcentuojamas platesnis TGV veiksmų spektras įmonių vadovams. Nepaisant to, kad akademinėje visuomenėje ir statybos pramonėje tvarumo samprata užima vis svarbesnį vaidmenį, statybos įmonių TTGV rodiklių tyrimų pagal tris tvarumo charakteristikas (ekologinę, socialinę ir ekonominę) yra nedaug (Luthra et al., 2017; Liu et al., 2019). Tvarumas yra plati sąvoka, todėl ją apibrėžti dažnai sudėtinga, o tvarumo matavimas gali tapti komplikuoju procesu, nes dauguma tvarumo rodiklių yra kokybiniai, o ne kiekybiniai. Akademinėje visuomenėje populiarėja moksliniai straipsniai apie tvarumo ir tiekimo grandinės valdymo problemas statybos sektoriuje (Sroufe, 2017; Martins et al., 2021; Kopnina et al., 2018; Lima et al., 2021). Pasaulinės aplinkos ir plėtros komisijos Brundtland ataskaita, apibrėžusi tvarumo sampratą ir paskatinusi tvarumo rodiklių principus integruoti į statybos sektorių, buvo postūmis šio tyrimo plėtrai. Nors yra tyrimų, kuriuose didžiausias dėmesys skirtas tvarumo rodiklių diegimo TTGV statybos projektuose kontekstui, dauguma jų pabrėžė tiekėjų atrankos klausimo svarbą (Maqbool, 2018). Tačiau tyrimų, pagal kuriuos būtų galima racionaliai įvertinti statybos įmonių tvarumo praktikas tiekimo grandinėse įvairiais daugiakriterių sprendimų priėmimo metodų kompleksais, nebuvo daug.

Siekiant išgryninti su tvariosios tiekimo grandinės valdymu statybos įmonėse mokslinėje literatūroje sietinus požymius ir (ar) raktažodžius (arba TTGV statybos įmonėse vertinimui priskirtinas charakteristikas), atlikta ir naujausių mokslinės literatūros šaltinių bibliometrinė analizė. Pagal nustatytus paieškos *Web of Science Core Collection* duomenų bazėje parametrus (*SSCM in construction companies* (Title) OR *Constructional SSCM* (Title) OR *Sustainability indicators in construction sector* (Title) AND Article (Document Type) AND 2017–2021 (Year Published)) analizei buvo parinkti 95 straipsniai. Detalesnis bibliometrinės analizės eigos ir rezultatų aprašymas pateikiamas disertacinio tyrimo autorės publikuotame straipsnyje (Cataldo et al., 2022). Žemiau pateikti tik pagrindiniai bibliometrinės analizės rezultatai, svarbūs išgryninti su tvariosios tiekimo grandinės valdymu statybos įmonėse mokslinėje literatūroje sietinas charakteristikas.

Dažniausiai pasikartojančių raktažodžių, sietinų su TTGV statybos įmonėse pagal nustatytus bent penkis pasikartojimo kriterijus, paskirstymą parodo 1.1 paveiksle pateiktas bibliometrinis žemėlapis, kurį sudaro 3 klasterių grupės. Raktažodžių pasikartojimą ir jų tarpusavio sąsajas galima nustatyti analizuojant mazgų dydžius, atstumą tarp mazgų ir raktažodžių ryšio linijas. Tinklo mazgo

Remiantis bibliometrine analize, siekta identifikuoti su TTGV statybos įmonėse susijusius raktažodžius, norint išgryninti su šia tema mokslinėje literatūroje sietinus požymius. Atlikta analizė padėjo išskirti dažniausiai pasikartojančius ir reikšmingiausius autorių išskiriamus raktažodžius, tačiau yra sudėtinga juos sugrupuoti pagal tam tikrus požymius ar charakteristikas. Galima teigti, kad mokslinės literatūros autoriai akcentuoja įvairius statybos įmonių TTGV aspektus, tačiau sudėtinga juos apibendrinti. Tai patvirtina prielaidą, kad nėra bendros nuomonės apie statybos įmonių TTGV. Bibliometrinės analizės rezultatai parodė, kad moksliniuose straipsniuose dažniausiai su TTGV statybos įmonėse sietini tokie raktažodžiai, kaip darnumas, tvarusis vystymasis, suinteresuotosios šalys, inovacijos, konkurencinis pranašumas, žiedinė ekonomika, aplinkosauginis valdymas.

Šie tyrime rasti raktažodžiai, išskėlė keletą tyrimo klausimų ateičiai. Pateiktas pagrindinių klausimų, iškeltų peržvelgus su statybos įmonių TTGV susijusius straipsnius, sąrašas:

- Kaip TTGV gali prisidėti prie statybinių medžiagų efektyvumo kiekybinio įvertinimo?
- Kokie yra pagrindiniai tvarumo rodikliai statybos įmonių TTGV?
- Kaip DI technologija gali padidinti TTGV našumą statybos sektoriuje?
- Kaip tvariesias paslaugas ir produktų dizainą iš kitų pramonės šakų galima būtų pritaikyti statybos pramonėje?
- Kaip TBL pasaulinio konkurencingumo koncepciją galima diegti statybos įmonėse?
- Kaip ekologiškasias *Lean* ir *Six Sigma* (Battula et al. 2020) strategijas galima integruoti į statybos įmonių tiekimo grandinės valdymo procesą?
- Kokia yra skaitmeninių technologijų (pvz., blokų grandinių) įtaka statybų sektoriaus efektyvumui?
- Kokie yra transporto kintamųjų parinkimo parametrai, siekiant pagerinti aplinkosaugos aspektus?
- Kaip suinteresuotosios tiekimo grandinės šalys gali padėti susidoroti su popandeminių situacijų poveikiu?

Visas klausimų, susijusių su TTGV statybos įmonėse literatūros apžvalga, sąrašas yra Cataldo et al. (2022) straipsnyje.

Kuriant ir palaikant pasaulinių ir regioninių statybos įmonių tiekimo grandinių veiklą, TTGV yra veiksmingas ir efektyvus susijusių socialinių, ekonominių ir aplinkosauginių elementų valdymas. Diegiant TTGV praktikas statybos įmonėse, galima sumažinti poveikį aplinkai, laiko sąnaudas, nesėkmių riziką ir padidinti jų konkurencingumą (Suh et al., 2019). Šiuo procesu yra skatinama sąmoninga valdymo praktika, kurios dėka sumažinamas statybos projekto metu susidarančių atliekų kiekis ir garantuojama sėkminga ilgalaikė

statybos įmonės veikla. Tačiau, nepaisant jos svarbos, į šią valdymo perspektyvą dažnai neatsižvelgiama (Kivilä et al., 2017).

Statybos įmonių TGV užduotis – koordinuoti ir integruoti materialinius, finansinius ir informacinius srautus tarp klientų, tiekėjų, statytojų, rangovų, medžiagų gamintojų, mažmeninės ir didmeninės prekybos įmonių bei kontroliuoti ir automatizuoti statybos ir logistikos procesus. Vienos ar kelių integruotųjų kompiuterinių sistemų panaudojimas ir procesų standartizavimas leidžia statybos įmonėms sutaupyti laiko, sumažinti darbuotojų skaičių ir padidinti statybos proceso našumą. Užtikrinant sklandų projektavimo, statymo, medžiagų užsakymo ir gamybos bei logistikos planavimo procesą sumažėja sąnaudų kiekis, trumpinamas statybos laikas, optimizuojamos išlaidos (Ghadimi et al., 2021). Statybos įmonės gali numatyti ateities planus ir planuoti visą TGV nuo statybos projekto parengimo iki galutinio statinio užbaigimo ir pridavimo registruojant klientų užsakymus, statybos dokumentų kontrolę ir statybos objektus.

Pagrindinė ir pirmoji TG dalis – užsakovas, todėl pirminė įmonės užduotis yra patenkinti kliento poreikius ir padidinti pelną, t. y. padidinti skirtumą tarp galutinio produkto vertės jo vartotojui ir patirtų sąnaudų, skirtų tenkinti galutinio užsakovo poreikius (kitai vadinama didžiausia pridėtine verte). Dažniausiai pagrindinis pajamų šaltinis TG ir pelną nešantis subjektas yra užsakovas. Dauguma statybos įmonių tiekimo grandinių yra komercinės. Tai reiškia, kad tiekimo grandinė yra sėkminga tada, kai yra pasiekiamas norimas TG pelningumas (Brint et al., 2020). Norint, kad statybos įmonės TG būtų sėkminga visose stadijose, reikia vertinti tiekimo grandinės valdymą. Suprantant, kad visi statybos įmonės TG esantys srautai lemia sąnaudas, galima daryti išvadą, kad esminė sėkmės sąlyga yra efektyvus statybos srautų valdymas ir tų srautų judėjimo koordinavimas (Lambert, 2008). Ghadimi et al. (2021) dėka buvo išskirtos keturios pagrindinės efektyvaus srautų valdymo koncepcijos statybos įmonių TGV, kurios skiriasi nuo tradicinės srautų valdymo sistemos:

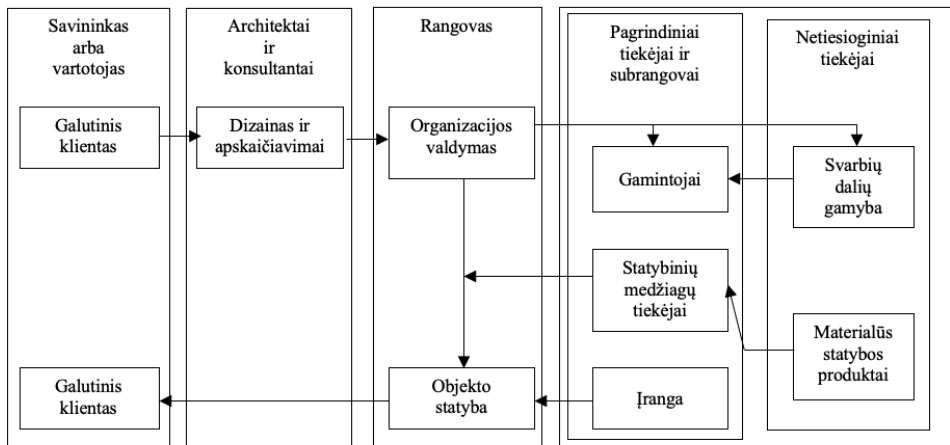
1. TG statybos įmonėse suvokiama kaip veiksmų visuma, o ne kaip daug atskirų operacijų statybos srityje: dokumentų parengimas, žaliavos, gamyba, logistika, projektų įgyvendinimas. TG yra traktuojama kaip darni statybos projekto visuma, o visi grandinės nariai (rangovas, gamintojas, klientas) yra įtraukiami į šios grandinės sistemos planavimo procesą (Ghadimi et al., 2021).
2. TG statybos valdymo koncepcijoje atsargos užima svarbų vaidmenį ir yra traktuojamos kaip priemonė subalansuoti sklandiems materialiujų produktų srautams. Dažniausiai atsargos naudojamos kaip dviejų skirtingų grandinės komponentų apsauginis barjeras, lemiantis dideles atsargų apimtis ir valdymo sąnaudas.

3. Vienas iš svarbiausių prioritetų TGV – strateginis statybos projekto planavimas, reikalingas statybos veiklai planuoti ir vykdyti, taip pat tinkamas pasiruošimas projektui ir sumanūs žaliavų naudojimas.
4. Sėkmingai statybos įmonės TG veiklai vykdyti pasirenkamos naudoti integruotosios informacinės sistemos, pvz., BIM, padedančios užtikrinti paklausai patenkinti reikalingų atsargų kiekį ir paklausos skaidrumą visoje tiekimo grandinėje (Brint et al., 2020).

TGV statybos sektoriuje gali būti tinkamas įrankis persipynusiems organizaciniais iššūkiams spręsti. Šis valdymas bet kuriuo statybos etapu gali padėti diegti veiksmingas valdymo strategijas galimoms kliūtims įveikti (Lewis & Smith, 2014; Xing et al., 2020). Statybos įmonių TG sudaro rangovai, gamintojai, statybinių medžiagų tiekėjai, statybininkai, inžinieriai, užsakovai, taip pat fiziniai asmenys, vežėjai ir tarpininkai, administruojantys sandėliavimą. Visi TG subjektai statybos įmonėse yra tarpusavyje sujungti finansų, duomenų ir medžiagų jungtimis, tačiau ne visos jungtys yra reikalingos kiekvienoje grandinės dalyje (Brix-Asala et al., 2018; Blengini & Shields, 2010). Užsakovai privalo apsispręsti dėl statybos įmonės TG struktūros jau pirmuosiuose jos etapuose (Goyal et al., 2018). TG traktuojama kaip įvykių grandinė ir negali būti stebima vienoje grandyje. Priešingai, TG turi būti traktuojamas kaip tinklas (Carter & Rogers, 2008; Moktadir et al., 2021; Heidary Dahooie et al., 2020; Zhang & Yu, 2021).

1.2 paveiksle parodyta bendroji statybos valdymo eiga – vienas iš tiekimo grandinės valdymo aspektų, t. y. atsakomybės perkėlimas kitiems iš vienos statybos etapo dalies į kitus etapus, pvz., savininkams, architektams ir konsultantams, kurie pateikia išsamią darbų ataskaitą ir yra atsakingi už galutinį projekto apipavidalinimą. Tuomet pagrindinę pramonės darbuotojų darbo grandies dalį sudaro rangovų ir subrangovų veikla. Visos TG dalys yra tiesiogiai susijusios viena su kita, tačiau gali būti nagrinėjamos atskirai dalimis (Wong et al., 2015; Battula et al., 2020).

Pagal šią schemą, klientas yra pirminis užsakovas, būtent jis gauna galutinį statybos projekto variantą. Architektai ir konsultantai suprojektuoja statinio projektą, nustato statinio reikalavimus, geodezinius duomenis, rangovai toliau organizuoja tolesnes operacijas ir vadovauja statybai. Pagrindiniai tiekėjai pristato medžiagas, įrankius ir žaliavas, reikalingas statyboms, o netiesioginiai tiekėjai pristato pagrindiniams tiekėjams užsakytus gaminius ir užsiima svarbių dalių gamyba. Norint minimizuoti medžiagų ir inventoriaus sąnaudas, tiekimo grandinėje naudojamos informacinės technologijos (Battula et al., 2020; Bouzon et al., 2018). Visos šios statybos pramonės schemos (1.2 pav.) dalys yra sujungtos ir veikia kaip tam tikra ekosistema.



1.2 pav. Bendroji statybos valdymo schema (sudaryta autorės pagal Battula et al., 2020)

Fig. 1.2. Outline of the general management of the construction industry (compiled by the author according to Battula et al., 2020)

Anot Konovalenko ir Ludwig (2019), TGV apibrėžtyje telpa visos pagrindinės veiklos, kurių pagalba kuriama pridėtinė vertė statybos įmonėms, pradedant projektavimu, projekto planavimu, ir baigiant statinio pastatymu ir atidavimu eksploatuoti. Statyboje TG srautai apima daugelį sluoksnių ir susideda iš informacijos srauto, medžiagų judėjimo ir finansinių duomenų apsikeitimo tarp visų TG dalyvių (mažmenininkų, didmenininkų, klientų, statytojų, tiekėjų, gamintojų).

1.2. Tvariosios tiekimo grandinės valdymo kliūtys ir galimybės statybos įmonėse

TTGV terminas gali būti apibrėžiamas „veiksmingu susietų socialinių, ekonominių ir aplinkosauginių aspektų valdymu kuriant ir prižiūrint pasaulines tiekimo grandines“ (Iqbal et al., 2020). TTGV leidžia sumažinti atliekų kiekį ir užtikrinti ilgalaikę statybos darbų priežiūrą, taip pat suteikti ekonominę, socialinę ir aplinkosauginę gerovės vertę visoms suinteresuotosioms šalims, kurios dalyvauja kuriant ir tiekiant produktus ir paslaugas visais jų gyvavimo ciklo lygmenimis. TTGV taikymas statybos įmonėse padeda sumažinti poveikį aplinkai, gedimų riziką ir padidinti statybos įmonių konkurencingumą (Suhi et al., 2019, Kivilä et al., 2017). Paprastai TTGV apima keturias sritis: 1) duomenų, elementų ir logistikos administravimą; 2) finansinių ir socialinių kintamųjų

administravimą; 3) inovacijas ir naujų projektų valdymą; ir 4) partnerių valdymą (Bastas & Liyanage, 2018).

Siekdamos išlikti konkurencingos ir patenkinti augančius statybos užsakovų poreikius, statybos įmonės turėtų nuolat diegti naujausias integruotąsias kompiuterines naujoves, pasitelkti dirbtinio intelekto, daiktų interneto, blokų grandinių technologijas ir kitą technologinį potencialą (Yan et al., 2019). Tai padėtų

išspręsti vartotojų užklausų kiekio ir administracinių standartų keliamus iššūkius ir efektyvinti veiklą (Rejeb et al., 2020; Sindhwani et al., 2022; Bakhtiarizadeh et al., 2021).

Siekiant įvertinti dabartinį TGV tyrimų lygį statybos sektoriuje, šio darbo autorės Cataldo et al. (2022) literatūros apžvalga parodė, kad mokslininkai buvo suinteresuoti analizuoti įvairius sprendimų priėmimo metodus ir problemas, įskaitant tiekimo grandinės koordinavimą ir jos subjektų bendradarbiavimą. Moksliniame straipsnyje taip pat buvo nagrinėta medžiagų ir informacijos srautų svarba bei TGV pritaikymas konkrečiuose geografiniuose regionuose. Buvo prieita prie išvados, jog statybų sektoriaus tiekimo grandinės valdymo procese trūksta holistinio požiūrio, dauguma mokslininkų susitelkė į atskirus TG nagrinėjimo metodus ir statybos įmonių TGV sritis: tvarumą (Berardi & Peregrino, 2021), gyvavimo ciklo vertinimą (Wu et al., 2020), žaliąjį statybinių atliekų šalinimą (Aslam et al., 2020), logistiką, projektų pristatymą laiku (Kitsis & Chen, 2021), naujausius statybos reglamentus ir rangovų parinkimo būdus (Pero et al., 2017). Šio tyrimo metu buvo išskirtos svarbiausios statybos įmonių TTGV kliūtys ir jos potencialios ateities galimybės. Naudojant sisteminę literatūros apžvalgą, TTGV kliūčių ir galimybių statybos įmonėse tyrimas parodė, kad autoriai plačiai nagrinėja įvairius šios problemos elementus. Brundtland konvencijoje išskirti trys pagrindiniai komponentai (ekonominis, socialinis ir aplinkosauginis), dažnai minimi *Triple Bottom Line* terminu, pagal kurį literatūros apžvalgoje buvo suskirstyti pagrindiniai kliūčių ir galimybių elementai (Henao et al., 2019; Kumar & Ramesh, 2020; Literal & Guhao, 2021). Kai kurie mokslininkai pasiūlė sukurti naująją tvarumo rodiklių tyrimų strategiją (Popović et al., 2017; Fetter, 2019; Tetteh et al., 2019; Suhi et al., 2019; Azevedo et al., 2020).

1.2.1. Pagrindinės tvariosios tiekimo grandinės valdymo kliūtys statybos sektoriuje

Atliekant vertinimą, nagrinėtuose straipsniuose mokslininkai tyrinėjo socialinius iššūkius, pvz., socialinį spaudimą dėl didelės taršos ir didelio energijos suvartojimo (Liu et al., 2019), neefektyvių statybinių medžiagų ir išteklių naudojimo politinius aspektus (Nantee & Sureeyatanapas, 2021), tvarumo metodų taikymo

komplikacijas dėl nepakankamų subjektų įgūdžių, duomenų bei laiko (Pande & Adil, 2021) ir informacijos stoką (Popović et al., 2017).

Kita autorių grupė pabrėžė ekonominį tvarumo problemos aspektą: logistikos sistemų neefektyvumą ir grynųjų pinigų trūkumą (Martins et al., 2021). Araújo et al. (2020), sunkumai derinant spartesnės ekonomikos plėtros poreikį su tvarumo aspektu yra pagrindinė augančios ekonomikos šalių problema, kurias skatina augantys suinteresuotųjų šalių ir socialiniai poreikiai. Statybos įmonės ir jų TG susiduria su daugiamatėmis problemomis, apimančiomis ne tik ekonominių tikslų integravimą (Bastas & Liyanage, 2018), bet ir žiedinės ekonomikos įgyvendinimo trūkumą statybos sektoriuje (Hossain et al., 2020). Išsamus statybos įmonių TTGV iššūkių, paminėtų nagrinėtuose moksliniuose straipsniuose, sąrašas pateiktas 1.2 lentelėje.

1.2 lentelė. TTGV ateities iššūkiai ir barjerai statybos įmonėse (sudaryta autorės)

Table 1.2. SSCM challenges and barriers in the construction companies in the future (compiled by the author)

Autoriai	Pagrindiniai ateities iššūkiai TTGV statybos įmonėse
Liu et al. (2019)	Statybos įmonės, kurių veikla sueikvoja daug energijos ir didina taršos lygį, patiria socialinį ir aplinkosauginį spaudimą tvariau vystyti sektorių.
Hatefi (2023)	Statybos įmonių plėtra padidina tiesioginį ir netiesioginį CO ₂ pėdsaką, prisideda prie globalizacijos ir urbanizacijos problemų, dėl kurių miestai gali prarasti žaliąsias erdves.
Núñez-Cacho et al. (2018)	Nepaisant valdymo metodų ir pažangiojo planavimo, statybos įmonėse vykstančių procesų duomenys paprastai renkami rankiniu būdu. Reikia diegti naujas realiojo laiko duomenų technologijas, taip išvengiant pasikartojančio rankinio darbo.
Upadhyay & Kumar (2020)	Dėl daugialypių veiksmų įtraukimo į projektavimo darbus tvaryjusių paslaugų ir produktų dizainas išlieka iššūkiu statybos įmonėms.
Biggeri & Ferrone (2022)	Ankstesnės pastangos, bandant pašalinti neigiamą poveikį, susijusį su statybos sektoriumi, buvo fragmentiškos ir ribotos. Statybos sektorius turi būti ekologiškesnis nuo pradinio projekto iki pastato nugriovimo jo gyvavimo ciklo pabaigoje.
Nantee & Sureeyatanapas (2021)	Statybos produktų sandėliavimo kokybė gali pablogėti, atsižvelgiant į kiekvienos įmonės sprendimus ir strategijas (pvz., didėjančios sąskaitos už elektrą, priežiūros išlaidos ir darbo vietų praradimas).
Martins et al. (2021)	Atsižvelgiant į globalizacijos procesus, logistikos sistemos procesų efektyvumas turi būti gerinamas, norint išlaikyti jas konkurencingas. Konkurencingumas nėra susijęs tik su ekonominiais aspektais. Statybos ir logistikos įmonėms reikia atsižvelgti į TBL koncepciją.
Pande & Adil (2021)	Gamyba statybos sektoriuje: daugelį tvarumo metodų nėra lengva taikyti dėl nepakankamų įgūdžių, griežto duomenų ir laiko reglamentavimo ir kitų priežasčių.

Tseng et al. (2021)	Statybos ir griovimo atliekų disponavimas kelia aplinkosauginių ir socialinių problemų. Šie iššūkiai tampa vis aktualesnė problema visame pasaulyje. Ankstesniuose tyrimuose nebuvo atsižvelgta į TBL
---------------------	---

1.2 lentelės tęsinys

Autoriai	Pagrindiniai ateities iššūkiai TTGV statybos įmonėse
	susiejimą su patikimu vertinimu arba empiriniu modeliu, padedančiu įvertinti statybinių atliekų susidarymą, taip pat nebuvo empirinės jautrumo analizės, siekiant nustatyti maksimalų pelną.
Deiva Ganesh & Kalpana (2022)	Modeliavimo metodika iki šiol nebuvo plačiai taikoma atsinaujinančios energijos tiekimo grandinėje, todėl ateityje gali kilti problemų statybos sektoriui prognozuoti.
Bartolini et al. (2019)	Besiplečiantis elektroninės prekybos statybos sektorius ir didėjanti asmeninio pritaikymo paklausa padidino sandėliavimo patalpų ir pastatų poreikį. Sandėlių eksploatavimo procesai daugiausia prisideda prie šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekio padidėjimo tiekimo grandinėse.
Bastas & Liyanage (2018)	Suinteresuotųjų šalių dėmesys tiekimo grandinėse sutelkiamas į kokybės valdymą, o tvarumo ir išteklių taupymo aspektai dažnai pamiršami.
Berardi & Peregrino de Brito (2021)	Medžiagų efektyvumo didinimas padeda sumažinti pramoninių atliekų kiekį ir išteklių sunaudojimą. Tačiau dažnai kyla sunkumų norint įvertinti efektyvumą statybos medžiagų gamybos įmonėje.
Sebestyén et al. (2024)	Tvariosios tiekimo grandinės biomasės efektyvumo vertinimas dažnai susideda iš sudėtingos kintamųjų vertinimo sekos. Dėl šių kintamųjų dažnai sunku analizuoti rezultatus.
Thies et al. (2019)	Vis dažniau analizuojamas statybinių atliekų poveikis aplinkai ir socialinis aspektas. Tam reikalingi sistemingi vertinimo metodai, pvz., gyvavimo ciklo vertinimas. Jų įgyvendinimas ir taikymas dažnai yra sudėtingas.
Araújo et al. (2020)	Statybos sektorius yra vienas iš didžiausių verslo sektorių. Šiame sektoriuje sukuriamą didelę vertę ir daug darbo vietų, naudojama daug išteklių – o tai veikia socialinius, ekonominius ir aplinkosauginius aspektus. Besivystančiose šalyse kylantys sunkumai, derinant spartesnio ekonomikos augimo poreikį su tvarumu, yra didelė problema.
Sangwant et al. (2019)	Esamos statybos įmonių tvarumo vertinimo sistemose trūksta integruotojo vertinimo, kurį sudarytų produkto gyvavimo ciklas, ištekliai, kritiniai veiksniai (produktas, procesas ir politika), pagrindiniai veiklos rodikliai ir jų sąsaja su tvarumo aspektais.
Bastas & Liyanage (2019)	Didėjant suinteresuotųjų šalių ir visuomenės spaudimui, statybos įmonės, savo veikloje diegiančios tiekimo grandines, susiduria su daugialypiais iššūkiais ne tik integruojant ekonominius, aplinkosauginius ir socialinius išteklius į savo valdymo sistemas, bet ir skatinant nuolatinį tvarumo aspekto gerinimą.
Stanitsas et al. (2021)	Logistikos indeksai yra susiję su dideliu CO ₂ išmetimu, socialiniais veiksniais ir prekybos atvirumu. Norint mažinti poveikį aplinkai, logistikos įmonėms reikia ieškoti tvaresnių ir gamtai draugiškesnių priemonių.
López-Penabad et al. (2022)	Informacijos trūkumas lemia socialinio tvarumo spragas. Kai kurios iš jų taip pat yra susijusios su tiekimo grandinių socialinio tvarumo

	vertinimo sunkumais, kuriuos dažnai sukelia tinkamų naudoti kiekybinių rodiklių trūkumas.
--	---

1.2 lentelės pabaiga

Autoriai	Pagrindiniai ateities iššūkiai TTGV statybos įmonėse
Tetteh et al. (2019)	Nepakankama tarptautinių statybos jungtinių įmonių veiklos metrika lemia netinkamą statybos įmonių TTG veiklos vykdymą. Šių statybos įmonių veiklos vertinimo rodikliai yra pagrindinės jo netinkamumo priežastys.
Acquaye et al. (2022)	Nepaisant pagrindinių tvariojo valdymo principų supanašėjimo, aplinkosauginių požiūriu TTGV tapo iššūkiu statybos įmonėms, nes tiekimo grandinės iš prigimties yra dinamiškos ir sudėtingos.
Nuñez-Cacho et al. (2018)	Nėra socialiniu požiūriu pagrįstų priemonių, todėl sunku įvertinti tvarumo metodų įgyvendinimo laipsnį statybos TG.
Aghelie (2020)	Plieno pramonės veikla kelia didelį susirūpinimą tvarumo valdymo sferoje dėl energijos ir gamtos išteklių eikvojimo, dažnų darbų saugos trūkumų ir neigiamos įtakos darbuotojų sveikatai.

Trečioji tyrėjų grupė daugiausia dėmesio skyrė ir akcentavo aplinkosauginius TTGV iššūkius: didėjantį anglies dioksido pėdsaką (Toufani et al., 2018), aplinkosauginės taršos problemas pastatų griovimo procesuose (Tseng et al., 2021), aplinkai saugių sandėliavimo būdų trūkumą, šiltnamio efektą sukeliančių dujų išlakas (Bartolini et al., 2019) ir plieno gamybos pramonę, eikvojančią daug energijos ir gamtos išteklių (Aghelie, 2020). Statybos įmonių tiekimo grandinės valdymo procese gausu iššūkių. Tai apima suinteresuotųjų šalių nenorą keistis, perteklines atliekas, vagystes, vėluojančius pristatymus ir kitus nenumatytus trikdžius, kol statybinės medžiagos pasiekia paskirties vietą.

1.2.2. Pagrindinės tvariosios tiekimo grandinės valdymo galimybės statybos sektoriuje

Atlikus mokslinės literatūros apžvalgą, identifikuotos kelios galimos tyrimų kryptys šioje srityje. Žvelgiant iš socialinės perspektyvos, kai kuriuose tyrimuose akcentuojamas išmaniųjų sandėlių valdymas ir išmaniosios gamybos sistemos (Bag et al., 2018), būtinybė įmonėms bendradarbiauti su kitomis tiekimo grandinės šakomis (Jiang & Cao, 2021), logistikos transportavimo sistemų perėjimas nuo rankinių prie e-tiekimo grandinių (Ying, 2021), pramonės 4.0 technologijų, DI ir blokų grandinių, didžiųjų duomenų technologijų taikymas kasdienėje statybos įmonių veikloje (Bastas & Liyanage, 2019).

Kalbant apie aplinkosauginį TTGV potencialą, vienos iš svarbiausių TTGV galimybių statybos įmonėse yra: pagerinti taršos išlakų kontrolės galimybes ir padidinti investicijas į energijos taupymo ir emisijų mažinimo technologijas, skatinti tvarų vystymąsi (Kaufman & Ülkü, 2018; Hsu et al., 2019; Aslam et al., 2020), naudoti svarbiausius tvarumo rodiklius, pvz., gamtos išteklių valdymo politiką, energijos valdymą, šiltnamio efektą sukeliančių dujų išlakų mažinimą ir

investavimą į socialines kampanijas (Kumar & Ramesh, 2020), naudoti aplinkos tvarumo priemonės plieno pramonei (Goyal et al., 2018), stiprinti darniosios tiekimo grandinės ryšius (Ghadimi et al., 2021).

Žiūrint iš ekonominės pusės, buvo identifikuotos šios TTGV plėtos galimybės: statybos įmonių TG esantiems subjektams suteikti valstybinę ekonominę pagalbą dėl Covid-19 pandemijos pasekmių (Karmaker et al., 2021), prisidėti prie technologijų skaitmeninimo ir investavimo į inovacijas (Nunes et al., 2020), investuoti papildomus išteklius tyrimams veiklos ir priežiūros etapuose (Lima et al., 2021), nuolat sekti pinigų srautus ir sudaryti praktinių perspektyvų planą (Kumar & Ramesh, 2020). Toliau pateikiamos moksliniuose straipsniuose rastos ateities galimybės TTGV statybos įmonėse (1.3 lentelė).

1.3 lentelė. Pagrindinės TTGV ateities galimybės statybos įmonėse (sudaryta autorės)

Table 1.3. Main potentials of construction companies' SSCM in the future (compiled by the author)

Autoriai	Pagrindinės TTGV ateities galimybės statybos įmonėse
Zhu et al. (2023)	Daugumoje ankstesnių tyrimų buvo ignoruojami socialiniai tiekimo grandinės tvarumo aspektai. Reikia skirti daugiau dėmesio pažangiosios ir sumaniosios gamybos sistemų, sumaniosioms sandėliavimo valdymo sistemų, novatoriškos logistikos ir tvarumo temoms.
Jiang & Cao (2021)	Siekdamos optimalaus tvariojo augimo ir vystymosi potencialo, naujosios statybos įmonės negali įgyti konkurencinio pranašumo statybos rinkoje, pasikliaudamos tik savo jėgomis ir ištekliais.
Ying (2021)	Siekdamos derinti mažai CO ₂ į aplinką išskiriančią ekonomiką su energijos taupymu ir išmetamųjų teršalų kiekiu mažinimu, įmonės turi atsižvelgti į svarbius transporto rūšies pasirinkimo veiksnius ir taikyti matematinį modeliavimą optimizavimo problemoms spręsti. Tuomet logistikos valdymo sistema būtų paremta elektronine TG.
Kumar et al. (2020)	Aukščiausiojo lygio tvarumo rodikliai apima gamtos išteklių valdymą, energijos taupymą, šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimo mažinimą. Socialinės investicijos gali padėti optimizuoti statybos įmonių TG.
Hu & Chong (2021)	Gamyba už įmonės ribų yra modernus statybos metodas, kuris suinteresuotosioms šalims teikia įvairios aplinkos tvarumo naudos. Populiarėjantis šio metodo naudojimas praktikoje sukėlė didelį mokslininkų susidomėjimą šio būdo tvarumu.
Aslam et al. (2020)	Inovatyviųjų technologijų įmonės turėtų sustiprinti taršos kontrolę ir padidinti investicijas į energijos taupymo ir išmetamųjų teršalų mažinimo technologijas tvariajam vystymuisi skatinti. Pagrindinės problemos, kurias įmonės turi spręsti, yra ekologiškų produktų pardavimo pajamų didinimas ir tikslinio ekologiško vartojimo galimybių gerinimas.

Sindhwani et al. (2022)	Užfiksavus visas tvarumo dimensijas pirminiame architektūrinio projektavimo etape, gali būti pasirūpinta įvairiais klausimais, kurie turės įtakos tvarumui visoje tiekimo grandinėje ir visos organizacijos veikloje.
----------------------------	---

1.3 lentelės tęsinys

Autoriai	Pagrindinės TTGV ateities galimybės statybos įmonėse
Pande & Adil (2021)	<i>Pramonė 4.0</i> technologijų (didžiųjų duomenų analitika grįstų DI) taikymas gali teigiamai paveikti tvariosios gamybos plėtrą ir pagerinti žiedinės ekonomikos taikymo galimybes.
Sebestyén et al. (2024)	Per penkerius metus pastebimai išaugo plieno gamybos ekologinio tvarumo rodikliai, kai šiame sektoriuje buvo pradėti naudoti aplinkos tvarumo aspektą užtikrinantys veiksniai.
Ghadimi et al. (2021)	Vidutinių statybos įmonių požiūriu tvirti žaliosios tiekimo grandinės santykiai yra sėkmingo ekologiškos gamybos įgyvendinimo rezultatas. Vidutinio dydžio įmonėse taikant tvariųjų tiekimo grandinių naudą kasdienėje veikloje, susidaro mažesnės gamybos išlaidos.
Mozhdeh Ros-tamnezhad (2020)	Kokybinį socialinio tvarumo modelį galima sukonstruoti naudojant sistemų dinaminį metodą. Kompleksinė tarpusavyje susijusi įvairių įtaką darančių veiksnių struktūra modeliuojama naudojant priežasties ir pasekmės grįžtamojo ryšio sąsajas statybos sektoriui.
Hatefi (2023)	Siekiant užtikrinti medžiagų, informacijos ir pinigų srautų efektyvumą biomasės gamybos tinkluose ir valdyti operacijas naudojant iškastinių šaltinių sistemas, tvarumo koncepcijos turėtų būti analizuojamos ir vertinamos tiksliai apibrėžtame kontekste.
Bastas & Liyanage (2019)	Galimybė integruoti <i>Lean</i> , <i>Green</i> ir <i>Six Sigma</i> metodus gamintojo lygmeniu ir siekti struktūriškai pagerinti tvarumą turėtų būti vienu pagrindiniu ateities prioritetu statybų įmonėse.
RezaHoseini et al. (2021)	Norint iširti tvarumo vaidmenį tiekimo grandinės tinklo projektavime, galima pritaikyti naują daugiafunkcijų sveikaskaitinio tiesinio programavimo modelį, kuris atspindėtų reikšmingus sprendimus, susijusius su didelio našumo, TTG projektavimu statybos įmonėse.
Biuki et al. (2020)	Nustačius labiau į tvarumą orientuotus tiekėjus, problemai spręsti galima taikyti mišraus sveikaskaitinio programavimo modelį, kuris padėtų planuoti tvariąją tiekimo grandinę. Remiantis dviejų fazių požiūriu, galima išspręsti keletą skirtingų iššūkių, pvz., tvarumo problemą, užtikrinti integruotąjį sprendimų priėmimą nustatant vietą, maršruto parinkimą ir atsargų kontrolės planavimą
Karmaker et al. (2021)	Norint išspręsti Covid-19 pandemijos sukeltas TTG komplikacijas, reikalinga vyriausybės ir įmonių partnerių finansinė parama ateičiai.
Nunes et al. (2020)	Skaitmeninimas, pvz., blokų grandinių technologija, turi potencialą statybos įmonių tiekimo grandinės valdymui pertvarkyti. Blokų grandinių technologija suteikia suteikia galimybę patikimai išsaugoti visas tiekimo grandinės operacijas duomenų bazėje. Ši decentralizuota sandorių duomenų bazė teikia daugiau skaidrumo, patikimumo, atsekamumo ir efektyvumo tiekimo grandinės valdymui.
Ganeshan & Boone (2019)	Siekiant įveikti vis didėjančią išteklių išekvojimo mastą ir spręsti besivystančių šalių ekonominius aspektus, sprendimų priėmimui gali būti taikomas analitinis hierarchinis procesų (AHP) vertinimo metodas, siekiant nustatyti statybos įmonių tvarumui įtakos turinčius veiksnus, .
Lima et al. (2021)	Straipsniuose daugiausia dėmesio skiriama planavimo ir vykdymo etapams darbo vietoje, todėl būtina parengti daugiau veiklos ir priežiūros etapų tyrimų.

1.3 lentelės pabaiga

Autoriai	Pagrindinės TTGV ateities galimybės statybos įmonėse
Shiralkar et al. (2021)	Augant sąmoningumui tvarumo ir TBL požiūriu, reikia vientisojo įvertinimo indekso, pagrįsto trimis pagrindiniais tikslais: ekonomikos augimu, aplinkos išsaugojimu ir socialine atsakomybe.
Kumar & Ramesh (2020)	Statybos ir griovimo atliekų perdirbimo naudos bus mažiau, jei perdirbimo gamyklos vieta nebus suderinta su tvarumo principais. Politiniai ir teisiniai kriterijai, pvz., vietos valdžios parama ir finansinė parama, taip pat ekonominiai aspektai.

Atlikti tyrimai įrodė tvarumo teorijos naudą statybos įmonių TG valdymo procese (Amarah & Langston, 2017). Būtina iširti, kaip blokų grandinėmis pagrįstos atsekamumo sistemos paveikia atsargų, transportavimo ir paskirstymo sprendimus TTGV kiekviename statybos įmonių procesų etape. Norint apskaičiuoti išteklius, reikalingus sėkmingiems tvariosios ir ekologiškos statybos metodams sukurti, reikalingi nauji įrankiai. Kalbant apie efektyvumą, svarbu paminėti, jog yra tyrimų, kuriuose pabrėžiamas tvarumas kaip reikšmingas TGV derinimo, bendradarbiavimo ir sinchronizavimo veiksnys (Balaman, 2019). Atlikus literatūros apžvalgą, padaryta išvada, kad trūksta tyrimų apie darniųjų sprendimų efektyvumą, gerinant statybos įmonių TTGV veiklas, tokias kaip logistika, sandėliavimas, paskirstymas ir transportavimas.

Remiantis literatūros apžvalga, publikuota straipsnyje (Cataldo et al., 2022), galima teigti, kad, pasitelkus TTGV, tvarumo tikslai ir reikalavimai, kuriuos nustato statybos įmonių vadovybė, išorės suinteresuotosios šalys, tiekėjai ir klientai, yra sėkmingai integruojami į statybos sektorių. Norint, kad TG būtų tvari, visi statybos įmonės TG padaliniai turi įvykdyti iš anksto aptartus tikslus (Fritz, 2019). Produkto gyvavimo ciklo analizė, kuri padeda nustatyti statybos įmonės poveikį aplinkai per visą gyvavimo ciklą, nuo projektavimo etapo iki statybinio produkto ar pastato naudojimo, laikoma perspektyvia TTGV tobulinimo priemone (Fritz, 2019; Wong et al., 2015). Statybinių medžiagų tiekėjų pasirinkimas gali būti pagrįstas įvairiais kriterijais (pvz., aplinkosauga), kuriuos statybos įmonės turi nustatyti atsižvelgdamos į savo strateginius tikslus, politiką ir reguliavimo standartus (Schöggl et al., 2017). Siekdamos aplinkosaugos tikslų, statybos įmonės galėtų rinktis tiekėjus pagal aplinkosauginius kriterijus arba nustatyti tam tikrą politikos instrukcijų rinkinį, kurio turėtų laikytis pasirinkti tiekėjai (Wong et al., 2015).

1.2.3. Statybos įmonių tiekimo grandinių Covid-19 pandemijos metu analizė

Plačiai paplitusios epidemijos ar pandemijos gali turėti didelį neigiamą poveikį statybos įmonėms ir tiekimo grandinėms, įskaitant jų efektyvumo ir darbo našumo

sumažėjimą (Guan et al., 2020), sukelti globalius logistikos sutrikimus (Chowdhury et al., 2021). Skirtingai nei kiti ankstesni protrūkiai, Covid-19 pandemija vienu metu paveikė visus tiekimo grandinės mazgus (tiekimo grandinės narius) ir jungtis (Remko, 2020; Ishida, 2020). Taigi TG srautas iš esmės sutriko. Tai apėmė valstybinių sienų uždarymą, tiekimo rinkos blokavimą, transporto priemonių judėjimo ir tarptautinės prekybos nutraukimą, darbo jėgos trūkumą ir fizinio atstumo išlaikymo trūkumą gamyklose (Guan et al., 2020).

Literatūros analizė šia tema atskleidė, kad daugumoje tyrimų pagrindinis dėmesys buvo skiriamas paklausiausių ir būtiniausių prekių bei sveikatos priežiūros produktų TG, o statybos įmonių TG sutrikimo pasekmės pandemijos laikotarpiu nebuvo plačiai nagrinėjamos. Taigi, šioje srityje trūksta empiriškai sukurtų ir

teoriškai pagrįstų tyrimų. Iš 74 analizuotų straipsnių šia tema beveik trečdalyje jų (24 straipsniuose) pandemijos padariniams vertinti tiekimo grandinėse buvo siūloma naudoti įvairius kiekybinius metodus: septyniuose moksliniuose straipsniuose buvo naudojamas kompiuterinis modeliavimas, siekiant prognozuoti

Covid-19 pandemijos padarinius. Šėsiuose tyrimuose panaudoti matematinio modeliavimo metodai, įskaitant teorinį modeliavimą, tiesinio mišraus sveikaskaitinio ir stochastinio optimizavimo metodus. Iš likusių straipsnių penkiuose tyrimuose panaudotas analitinis modeliavimas, devyniuose remtasi antrinių duomenų analize, įskaitant pagrindinio komponento analizę ir grupinę analizę, o viename tyrime buvo taikoma laipsniškojo svorio vertinimo santykio analizė, kuri yra vienas iš daugiakriterio sprendimų priėmimo metodų (angl. *Multiple-Criteria Decision-Making – MCDM*).

Nepaisant įvairių problemų ir trikdžių, kuriuos Covid-19 pandemija sukėlė įvairių sričių TG, tvarumo aspektas tapo itin svarbus. Kalbant apie statybos įmonių tiekimo grandinių sutrikimus, Covid-19 pandemija sutrukdė subrangovų planavimą, statybinių medžiagų ir prekių tiekimą ir sukėlė jų įkainius. Prognozuojama, jog pandemijos pasekmės bus jaučiamos dar ne vienerius metus (Chodorow-Reich & Coglianese, 2020). Dėl socialinių ribojimų ir karantino reikalavimų statybos įmonių tiekimo grandinėse sumažėjo darbo jėgos, buvo patirti esminiai vėlavimai, stabdantys bendrąją projekto eigą ir sukėlę didelių darbų vykdymo grafiko sutrikimų. Vėlavimai buvo ypač akivaizdūs, kai TG buvo laiku nepristatytų medžiagų ar žaliavų iš kitų šalių.

Nagrinėjant šią temą, moksliniuose straipsniuose identifikuota nemažai strategijų, kurios padėtų įveikti statybos darbuotojų sveikatos ir saugos iššūkius Covid-19 metu. Pagal atliktą mokslinės literatūros apžvalgą sudarytas 1.4 lentelėje pateiktas valdymo praktikų sąrašas. Kiekvieno tipo projektui skirtos Covid-19 saugos problemos yra skirtingos. Pavyzdžiui, dirbantiems lauke fiziškai atskirai vienas nuo kito darbuotojams buvo lengviau laikytis naujųjų saugos

taisyklių nei tiems, kurie dirbo uždaroje patalpoje. Tačiau labai svarbu atlikti sveikatos ir saugos rizikos vertinimus, reikalauti, kad darbuotojai laikytųsi mokslo ir sveikatos ekspertų reikalavimų, ir užtikrinti, kad darbo aplinka būtų saugi.

1.4 lentelė. Efektyvių valdymo strategijų sąrašas sprendžiant Covid-19 pasekmes (sudaryta autorės)

Table 1.4. List of effective management strategies for coping with consequences of Covid-19 (compiled by the author)

Kategorija	Strategijos	Aprašymas	Šaltiniai
Darbo jėgos apsauga	Iš naujo apibrėžta statybvietės saugumo sąvoka.	Saugos priemonių integracija: reguliarius darbuotojų tikrinimas, įrangos dezinfekavimas, kaukių darbuotojams suteikimas.	Chodorow-Reich & Coglianese, 2020; Heidary Dahooie et al., 2020; Karmaker et al., 2021; Aghelie, 2020; Martins et al., 2021
	Pagalba personalui, kuris dirba nuotoliniu būdu.	Paramos siūlymas dirbantiems nuotoliniu būdu, organizuojant virtualias interaktyvias sesijas, mokymus apie technologijų naudojimą, reikalingų kompiuterinių priemonių suteikimas.	
	Lanksčiųjų darbo grafikų inicijavimas, skatinant socialinę atsiribojimą.	Lanksčiųjų darbo grafikų sudarymas, suskirstant projektus į atskiras grupes ir ribojant kiekvienoje zonoje dirbančiųjų žmonių skaičių.	
	Darbuotojų mokymas streso simptomams atpažinti ir valdyti.	Depresijos, miego sutrikimo, streso požymių aptikimas ir slopinimas, padedant darbuotojams išlikti optimalios formos.	
Projekto vykdymo apsauga	Inovatyviųjų technologijų išplėtimo galimybės.	Inovatyviųjų technologijų teikimas, skirtas keisti informaciją tarp komandos narių (BIM), virtualiosios realybės (VR) naudojimas susitikimams ir patikrinimams.	Remko, 2020; Mollenkopf et al., 2020; Martins et al., 2021
	Darbuotojų supratingumas Covid-19 pandemijos klausimais.	Darbuotojų švietimas apie Covid-19 politiką ir virtualiojo darbo galimybes susitikimams suteikimas.	
Projekto tęstinumo apsauga	Ilgesnių darbo pabaigimo terminų suteikimas.	Pratęsti terminai padeda be streso ar klientų nusivylimo laiku pabaigti statybos darbus. Taip pat sulaukti vėluojančių medžiagų ar įrankių..	Chodorow-Reich & Coglianese, 2020;

	Produktyvumui padidinti atlikti kasmetinį rangovo vertinimą.	Rangovų vertinimas padeda sužinoti, ar kuri nors tiekimo grandis vėluoja, sužinoti esamą darbų tvarkaraščio ir medžiagų tiekimo būseną.	Ishida, 2020; Derevyankina & Yankovskaya, 2020
--	--	---	--

1.4 lentelės pabaiga

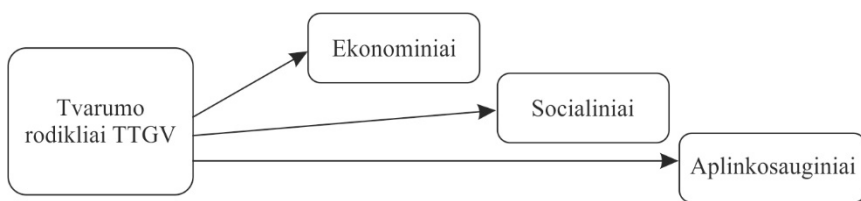
Kategorija	Strategijos	Aprašymas	Šaltiniai
	Atlikti rizikos analizę.	Galimų papildomų išlaidų ir rezultatų planavimui padėtų rizikos vertinimo atlikimas ir naujųjų modeliavimo metodų įdiegimas.	
	Sukurti tiekimo grandinės pabaigos (angl. <i>end-to-end</i>) žemėlapi.	Įvairiems trikdžiams tiekimo grandinėje spręsti sukuriamą sistemą, kuri atpažintų trikdį ir galėtų jį kuo greičiau pašalinti.	

Covid-19 pandemijos metu tvarumo praktika statybos įmonių TG buvo smarkiai paveikta. Keletas tyrimų (Ishida, 2020; Derevyankina & Yankovskaya, 2020; Mollenkopf et al., 2020) apėmė aplinkosauginio, socialinio ir ekonominio tvarumo aspektus, įskaitant darbų praradimą, sveikatos ir saugos klausimus, smurto šeimoje problemą, socialinę ir sveikatos nelygybę, pandemijos poveikį darbo rinkai, dominuojančią kelių pasirinktų prekinų ženklų galią, organizacijų etinius pažeidimus, darbo įstatymų ir socialinių standartų laikymąsi ir platesnį socialinių išlaidų reikalingumą. Keliuose straipsniuose buvo svarstomi statybos įmonių aplinkos tvarumo klausimai, atsižvelgiant į Covid-19 pandemiją. Įvertinta pažanga, padaryta įgyvendinant ekologiškų ir mažai anglies dioksido į aplinką išskiriančių energijos gamybos metodų diegimą (Karmaker et al., 2021); produktų gyvavimo ciklo poveikis aplinkai, kuris padidėjo pandemijos metu (Xu et al., 2020); pandemijos poveikis atliekų srautams, išteklių naudojimui ir oro taršai, aplinkos tvarumo politikos įgyvendinimas. Tyrėjai teigė, jog Covid-19 pandemija turės tiek teigiamą, tiek neigiamą poveikį aplinkos tvarumui, nes tikimasi, kad įmonės ir gyventojai bus labiau pasiryžę taikyti tvariąsias idėjas ir po Covid-19 pandemijos eros. Teigiamą poveikį aplinkai turėtų geresnė oro kokybė, mažesnis anglies dvideginio ir šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimas, energijos sunaudojimo ir aplinkos taršos sumažėjimas (Acquaye et al., 2017; Guan et al., 2020).

Per Covid-19 pandemiją statybos įmonės patyrė reikšmingų sutrikimų tiekimo grandinėse, dėl kurių vėlavo medžiagų tiekimas ir trūko darbo jėgos. Pastebima, jog po pandemijos įmonės, siekdamos supaprastinti procesus ir pagerinti komunikaciją, dažniau pradėjo naudoti skaitmenines priemones ir technologijas. Be to, siekiant suvaldyti galimas rizikas ateityje, buvo pereita prie labiau lokalizuoto tiekimo ir įmonių atsparumo krizių metu valdymo.

1.2.4. Tvarumo rodiklių, turinčių įtakos statybos įmonių tvariosios tiekimo grandinės valdymui, grupavimas

Esminiai tvarumo rodikliai padeda išspręsti su TTGV susijusias problemas statybos įmonėse (Pade et al., 2008). Sąvoka „rodiklis“ neatitinka vienos apibrėžtos ir tikslios idėjos, rodiklį galima apibūdinti kaip „tam tikros rūšies matuoklį ar skaitiklį“, tvirtina Reid & Rout (2020). Moldan & Dahl (2012) teigia, jog ne visos tvarumo rodiklių grupės yra vienodai tikslios ir kiekybinės. Jollands (2006) savo tyrime teigia, jog „rodiklis iš esmės yra ženklas; teiginys, reikalaujantis aiškinimo“. Norint plačiau suprasti šį terminą, šiuo tyrimu siekiama pateikti daugiau informacijos apie statybos įmonių TTGV tvarumo rodiklius. Dažnai minima, jog tvarumo rodikliai ir kiti kritiniai komponentai yra esminiai elementai, padedantys statybos įmonėms įvertinti tvarumo aspektą (Gunnasdotir et al., 2021). Anot Stanitsas et al. (2021), prieš pradedant nagrinėti statybos įmonių TG, iš pradžių reikia suskaidyti tvarumo rodiklius į keletą grupių (1.3 pav.).



1.3 pav. Tvarumo rodiklių grupės TTGV (sudaryta autorės)

Fig.1.3. Groups of sustainability indicators in SSCM (compiled by the author)

Pagal pateiktas tvarumo grupes (ekonominę, socialinę ir aplinkosauginę) yra lengviau išskaidyti rodiklius, aktualius įvairiose statybos įmonių TTG stadijose. Kai kurie rodikliai tinka ne tik vienai, bet ir kelioms grupėms.

Tvarumo aspektas yra neabejotinai svarbus – dėl stringančių tiekimo grandinių veiklos visame pasaulyje vėluoja statybos projektų užbaigimas, sparčiai kyla medžiagų kainos ir mokesčiai. Naudodamiesi šiuo modeliu, statybos įmonių vadovai galėtų tiksliau įvertinti riziką, tinkamai koordinuoti ir planuoti statybos projekto veiklas, analizuoti galimas projekto sėkmės ir nesėkmės priežastis, veiksmingai paskirstyti ribotus išteklius, atrinkti tinkamus komandos narius ir prognozuoti projekto baigtį dar prieš jam prasidedant.

Ekologinė rodiklių grupė apima kokybės veiksnus (rodiklius), susijusius su aplinkosaugine žala aplinkai ir ekosistemos vertės pablogėjimu. Aplinkosauginės grupės rodikliai yra TG dalis, kuria naudojantis, taikant struktūrinį požiūrį į tvarų planavimą, įmonė valdo savo projekto veiklos poveikį aplinkai (Brix-Asala et al., 2018). Socialinė rodiklių grupė apima komunikacinius ir komandinius rodiklius,

kurie padeda suinteresuotiesiems asmenims veiksmingai bendrauti tarpusavyje ir su vietos bendruomene. Reikėtų pabrėžti, jog didžioji dalis socialinės dalies rodiklių turi tiesioginį ryšį su daugeliu vadybos klausimų (Yildiz et al., 2020; Ma et al., 2018).

Ekonominiai tvarumo rodikliai statybos įmonių TGV apima ilgalaikio finansinio stabilumo, atliekų minimalizavimo ir išteklių optimizuoto naudojimo aspektus (Remko 2020, Martins et al. 2021). Pagrindiniai rodikliai apima kaštų efektyvumą, pelno maržas ir investicijų grąžą, užtikrinant, kad įmonės suderintų pelningumą su atsakingu išteklių valdymu. Be to, tiekimo santykių ir apmokėjimo ciklą stebėseną padeda išlaikyti tvarią tiekimo grandinę, skatindama ekonominį tvarumą, mažindama vėlavimus ir gerindama grynąją finansų apyvartą.

Bendradarbiaujant su kitais TG nariais, didėja statybos įmonės tvarumo normų įgyvendinimas (Zhang & Song, 2022). Šie rodikliai apima TTGV vertes, vartotojų dalyvavimą statybos įmonės TG, komandos narius, darbo organizavimą, techninių išteklių prieinamumą, išorinę aplinką, tikslią projekto užduotį, plėtos tikslus, gamtos išteklius ir vadovų palaikymą.

1.3. Indeksavimo metodai, skirti tvarumui įvertinti

Norint įvertinti tiekimo grandinės tvarumą statybos įmonėse, autorės tyrimu siekiama sudaryti indeksavimo sistemą. Apžvelgtoje mokslinėje literatūroje galima rasti daugybę tvarumo vertinimo metodų, taikomų statybos sektoriuje. Pavyzdžiui, W. Gu ir Wangas (2022) suskirstė esminius tvarumo vertinimo kriterijus į keturias pagrindines kategorijas: 1) rodiklius; 2) produkto tvarumo lygio vertinimo priemonės; 3) sektoriaus; 4) nacionalines tvarumo vertinimo priemones. Šios kategorijos taip pat taikomos tvarumo vertinimo metodams: pagal Suhi et al. (2019) bei Dobrovolskienės ir Tamošiūnienės (2016) tyrimus, galima išskirti trijų tipų vertinimo metodus: 1) indeksus, kurie gali būti integruoti arba neintegruoti; 2) su gaminiu susijusius vertinimo metodus, kuriuose pagrindinis dėmesys skiriamas produkto, prekės ar paslaugos medžiagų (ar energijos) srautams vertinti gyvavimo ciklo požiūriu; ir 3) integruotojo vertinimo metodus. Anot Suhi et al. (2019), klasifikacijos gali būti skirtingos priklausomai nuo to, kaip kuriami tvarumo rodikliai ir koku mastu jie apibendrinami. Moldan ir Dahlo (2006) teigimu, yra keturių tipų tvarumo rodikliai: indeksai, paprastieji rodikliai, suvestiniai rodikliai ir sudėtiniai rodikliai.

Yeungo et al. (2023) darbe pasiūlytas lyginamosios analizės modelis Delfų apklausos metodu, siekiant objektyviai įvertinti naujosios inžinerijos sutarties (angl. *New Engineering Contract* – NEC) projektų inžinerijos ir statybos sutarčių įvykdymo našumą Honkonge pagal sudarytą pagrindinių veiklos rodiklių sistemą. Atlikus Honkongo statybos sektoriaus ekspertų apklausą, buvo gautas statistiškai reikšmingas

septynių pagrindinių veiklos rodiklių sąrašas. Galiausiai buvo sukurtas NEC projektų Honkonge sudėtinis projektų našumo indeksas, siekiant visapusiškai įvertinti NEC projektų rezultatus lyginamosios analizės pagrindu. Pasak Yeungo et al. (2023), svorių priskyrimas rodikliams yra esminis veiksmas, atliekant kiekybinį daugiakriterį vertinimą. Kiekvienas tyrimo objektą apibūdinantis rodiklis turi skirtingą įtaką nagrinėjamam tikslui (Mahat et al., 2021). Todėl svarbu nustatyti rodiklių reikšmingumą, t. y. jų svorius. Tyrimuose dažniausiai taikomas subjektyvusis vertinimo metodas, kurio metu ekspertai nustato rodiklių svorius (Biggeri & Ferrone, 2022). Rodiklių svoriai gali būti nustatomi ir taikant ekspertų vertinimais pagrįstus matematinius statistinius metodus. Sviurių tikslumas ir jų reikšmės priklauso nuo pasirinkto vertinimo metodo (Podvezko & Podvezko, 2015). Nepriklausomai nuo naudojamo metodo, vertinimo logika, kuriant indeksavimo sistemą, turėtų išlikti ta pati: svarbiausias rodiklis turi turėti didžiausią svorį, o visų sviurių suma turi būti lygi vienetui (Dobrovolskienė & Tamošiūnienė, 2016).

Pasak López-Penabado et al. (2022), kuriant sudėtinį indeksą galima išskirti šešis svarbiausius etapus: 1) sudaroma teorinė sistema, kuri turėtų būti daugiamatė ir orientuota į suinteresuotąsias šalis; 2) pradedamas indikatorių parinkimas; 3) atliekama tiriamoji rodiklių analizė, apimanti rodiklių pasiskirstymą, rodiklio tipą, trūkstamus duomenis ir nuokrypius; 4) atliekama daugiamatė analizė, kurios metu įvertinamas duomenų rinkinio tinkamumas ir leidžiama geriau suprasti metodologinį pasirinkimą; 5) atliekamas dalinių rezultatų normalizavimas, sviurio nustatymas ir sumavimas; ir 6) atliekamos rezultatų neapibrėžtumo ir jautrumo analizės, kuriant sudėtinį indeksą.

Dobrovolskienė ir Tamošiūnienė (2016) pristatė sudėtinio statybos projekto tvarumo indekso kūrimo metodiką. Tvarumo kriterijai buvo parinkti ir suskirstyti į kategorijas, remiantis literatūros apžvalga ir statybos sektoriui svarbiais tvarumo standartais. Siekiant nustatyti ir įvertinti svarbiausius tvarumo reikalavimus, buvo atlikta apklausa, kurios metu Lietuvos statybos sektoriaus ekspertai pateikė savo nuomonę apie tvarumo reikalavimus. Galiausiai, taikant daugiakriterius sprendimų priėmimo metodus, buvo sukurtas verslo projekto tvarumo statybos sektoriuje vertinimo indeksas.

W. Gu ir Wang tyrime (2022) buvo įvertintas tvarusis verslumas statybos sektoriuje, naudojant tris rodiklius: novatoriškumą, verslumą ir sprendimų priėmimo būdus. Mokslininkai sukūrė naują tvariojo verslumo indeksą, naudodami nuo laiko priklausančio koeficiento būsenos erdvės lygties modelį (angl. *a Time-Varying Coefficient State Space Equation Model* – TVCSSEM). Šiame tyrime nagrinėjama tvariojo verslumo įtaka Kinijos regiono statybos ekonomikos augimui, naudojant naują, su laiku kintantį indeksą, ir nagrinėjamas techninių tyrimų ir plėtros bei finansinio tarpininkavimo plėtros vaidmuo.

Atlikęs Ganos statybos pramonės 200 specialistų tyrimą, Ayarkwa et al. (2022) pateikė empirinę iššūkių analizę ir jų švelninimo strategijas. Siekiant

pagerinti projektų valdymo komandų pasirengimą, valdant darniosios statybos procesus, apklausos duomenys buvo analizuojami taikant aprašomąją statistiką ir santykinio aktualumo indekso reitingus. Šios analizės pagrindu buvo sukurtas konceptualusis statybos iššūkių vertinimo modelis Ganos statybos sektoriuje.

Kaldas et al. (2021) tyrime pristatomas sudėtinis tvarumo balas, apimantis 6R principus, viso gyvavimo ciklo etapus ir TBL metodą. Metodiką sudaro penki pagrindiniai etapai: tinkamų rodiklių parinkimas, duomenų rinkimas, duomenų normalizavimas, analitinės hierarchijos proceso taikymas pasirinktų rodiklių svoriams įvertinti ir balų normalizavimas bei jų sujungimas, siekiant nustatyti tvarumo indeksą.

López-Penabadas et al. (2022), siekdamas sukurti darniojo vystymosi indeksą kaimiškosioms savivaldybėms, pasiūlė sudėtinį indeksą, pagrįstą „abejonių naudos“ metodika (angl. *the Benefit of the Doubt methodology*). Indeksą sudaro keturi skirtingi aspektai: ekonominis, demografinis, socialinis ir aplinkosauginis. Šio indekso empiriniai duomenys buvo palyginti su duomenimis iš kitų trijų šaltinių (bendrųjų svorių, efektyvumo ir geometrinio vidurkio bei logistinio normalizavimo modelių).

Penki daugiakriterio sprendimų priėmimo (MCDM) metodai SAW (angl. *Simple Additive Weighting*) – paprastas papildomas svėrimas, COPRAS (angl. *Complex Proportional Assessment*) – kompleksinis proporcinis vertinimas, TOPSIS (angl. *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) – prioritetų nustatymo metodas pagal panašumą idealiajam sprendiniui, VIKOR (serb. *VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje*) – daugiakriterės optimizacijos ir kompromisinio sprendimo metodas ir MIVES (angl. *Multi-criteria Integrated Value Evaluation System*) – daugiakriterė integruotoji vertinimo sistema) naudojami Sánchez-Garrido et al. (2022) tyrime, skirtame bendruoju tvarumo balu įvertinti statybos projektus. Kadangi tyrime buvo nesutariama dėl efektyviausio MCDM metodo tvarumui įvertinti, straipsnyje pateikiamas pasaulinis struktūrinio tvarumo indeksas (angl. *Global Structural Sustainability Index* – GSSI), kuris sujungia ir įvertina rodiklius. Išvadose teigiama, kad, atsižvelgus į tris tvarumo aspektus, gaunami objektyvūs projektų vertinimo rezultatai, kurių nereikia generuoti taikant kiekvieną vienmatį gyvavimo ciklo metodą (Sánchez-Garrido et al. 2022).

Oliveiros et al. (2019) tyrimo koncepcija gamybos įmonės grąžinamojo proceso analizei vertinti buvo taikyta siekiant patvirtinti TG procesų sudėtinio rodiklio kūrimo metodikos svarbą. Oliveiros et al. (2019) darbe atlikti atskiri matavimai, susiję su tuo pačiu procesu, sulygininti su svorių vidurkiu, siekiant įvertinti bendrąją tvarumo praktiką efektyvumo ir veiksmingumo požiūriu. Išvadose teigiama, kad sudėtinio kompozicinio tvarumo rodiklio ir verslo analitikos strategijų derinimas leidžia susidaryti išsamesnį viso proceso našumo vaizdą ir palengvina pagrindinių priežasčių analizę.

Kadangi daugumoje naujausių tyrimų pabrėžta problema, jog dabartinės metodikos ir priemonės nėra pakankamai veiksmingos, nepakankamai saugios ir patikimos, reikia imtis tam tikrų veiksmų, siekiant optimizuoti statybos įmonių TGV tvarumo vertinimą, norint patenkinti augančius užsakovų ir rangovų poreikius (Yan et al., 2019). Tvarumo vertinimas dažnai yra sudėtingas procesas, nes dauguma tvarumo rodiklių yra kokybiniai, o ne kiekybiniai. Norint sukurti iniciatyvų, nuspėjamą ir intelektualų tvarumo vertinimo mechanizmą statybos įmonių tiekimo grandinėms vertinti, reikia sutelkti dėmesį į veiklos efektyvumą ir daugiakriterių sprendimų priėmimo pagrįstą indeksavimo modelį (Ganesh & Kalpana, 2022).

1.4. Pirmojo skyriaus išvados ir disertacijos uždavinių formulavimas

1. Mokslinės literatūros analizė parodė didelį susidomėjimą TTGV. Pateikta apžvalga buvo siekiama apibendrinti esamas žinias ir pašalinti spragas apie tiekimo grandinių neapibrėžtumą statybos sektoriuje ir prieštaravimus apie TTGV statybos įmonėse.
2. TTGV gali būti laikomas bendruoju terminu, kuris apima atvirkštinę logistiką ir ŽTGV. Skaitmeninių naujovių integravimas (t. y. naujųjų informacinių sistemų ir ryšių technologijų, tokių kaip blokų grandinės, virtualioji realybė, dirbtinis intelektas), valdymas ir vidaus bei išorės suinteresuotųjų šalių valdymas yra ateities TTGV prioritetas.
3. Bibliometrinės analizės rezultatai parodė, kad moksliniuose straipsniuose dažniausiai su TTGV statybos įmonėse sietini tokie raktažodžiai, kaip darnumas, tvarusis vystymasis, suinteresuotosios šalys, inovacijos, konkurencinis pranašumas, žiedinė ekonomika, aplinkosauginis valdymas. Šių raktažodžių dominavimas suformavo pagrindines tyrimo krypties gaires. Mokslinės literatūros autoriai akcentuoja įvairius statybos įmonių TTGV aspektus, tačiau juos yra sudėtinga apibendrinti. Tai patvirtina prielaidą dėl bendros nuomonės apie statybos įmonių TTGV stoką.
4. Tvarumas – plati sąvoka, todėl ją apibrėžti dažnai yra sudėtinga. Tvarumo matavimas gali tapti komplikuoju procesu, nes dauguma tvarumo rodiklių yra kokybiniai, o ne kiekybiniai. Statybos įmonių TTGV negali būti vertinamas pagal vieną rodiklį ir turėtų būti vertinamas daugiafunkciškai. Atlikus literatūros analizę buvo nustatyta, jog nėra vienintelio geriausio metodo TTGV rodikliams vertinti. Norint įvertinti tvarumo efektyvumą statybos įmonėse, rekomenduojama visus statybos įmonių TG tvarumo

vertinimą lemiančius TTG rodiklius analizuoti kompleksiskai ir taikant daugiakriterius sprendimų priėmimo metodus.

5. Prieita prie išvados, kad disertacijos uždaviniai buvo suformuluoti remiantis išsamia mokslinės literatūros apžvalga ir atliktais tyrimais, todėl jie atitinka tyrimo tikslus ir nekelia papildomo koregavimo poreikio.

Statybos įmonių tvariosios tiekimo grandinės valdymo į(si)vertinimo priemonės teorinės nuostatos

Šiame disertacijos skyriuje pateikiama autorės sukurta statybos įmonės TTGV į(si)vertinimo priemonė ir išsamiai analizuojami jos elementai: sudaroma kompleksinė statybos įmonėse taikomų TTGV rodiklių sistema, siūlomas tvarumo rodiklių į(si)vertinimas kompozitiniu indeksu ir pateikiamas daugiakriteris metodų kompleksas tiekėjams parinkti. Skyriaus tematika paskelbtas straipsnis (Cataldo et al., 2023) ir perskaitytas pranešimas tarptautinėje konferencijoje.

2.1. Tvariosios tiekimo grandinės valdymo tvarumo rodiklių sistemos sudarymas

Pirmajame skyriuje buvo nustatyta, jog, norint kompleksiškai išanalizuoti statybos įmonių TTGV, reikia naudoti tvarumo rodiklių vertinimo sistemą. Siekiant išspręsti su statybos įmonių TG tvarumu susijusias problemas ir pradėdant nagrinėti daugiakriterį sprendimo procesą, pirmiausia reikėtų išskirti pagrindinius tvarumo rodiklius ir juos sugrupuoti. Šio darbo tyrimų strategijoje

laikomasi mišriųjų metodų požiūrio. Pagal autorės pasirinktas septynias grupes (teisinę, fizinę, socialinę, ekologinę, politinę, technologinę ir ekonominę), kurios apima pagrindines statybos įmonės TTGV aplinkas, galima lengviau išskirti ir įvertinti tvarumo rodiklius. Tai galėtų padėti užtikrinti sėkmingą statybos įmonių veiklą, diegiant tvaraus TG valdymo praktiką.

Rodikliai atskirose grupėse pateikti žemiau (sudaryta pagal Shuanggui et al., 2011; Huang et al., 2018; Wang et al., 2018; Zon et al., 2020; Huertas et al., 2020; Gunnasdottir et al., 2020; Quamar & Al-Kindi, 2020; Yadegaridehkordi et al., 2020; Reid & Rout, 2020; Merino-Saum et al., 2020; Salami et al., 2021; Gunnasdottir et al., 2021; Stanitsas et al., 2021; Shi & Xu, 2021) (2.1–2.7 lentelės).

Pirmoji aptariama tvarumo rodiklių grupė – teisinė. Ši tvarumo rodiklių grupė apima statybos įmonės vadybos aplinką, kurioje siekiama matuoti pažangą, siekiant darniųjų vystymosi tikslų, taip pat apima teisės aktus, dokumentacijas, reglamentus ir geriausios praktikos strategijas statybos įmonėse.

2.1 lentelė. Teisiniai tvarumo rodikliai statybos įmonėse

Table 2.1. Legal sustainability indicators in construction companies

Rodiklių grupės	Rodiklio žymėjimas	Rodikliai	Apibūdinimas
Teisiniai rodikliai	I_{leg1}	Aplinkos vadyba	Veiksmingas aplinkos valdymas ir stebėjimas užtikrina sėkmingą statybos projekto aplinkosauginių tikslų įvykdymą.
	I_{leg2}	Rizikos valdymo mechanizmas	Aplinkosauginiu požiūriu pažangaus nelaimių rizikos valdymo kūrimas ir socialinio supratingumo skatinimas, prisitaikymas prie klimato pokyčių, nelaimių rizikos valdymas.
	I_{leg3}	Efektyvumas ir kaina	Laiko, rizikos faktoriaus, sąnaudų, vertės, dokumentų, tiekėjų, subrangovų veiklos ir ataskaitų optimalus valdymas, kuris gali būti pasiektas pasitelkiant efektyvią statybos projekto kontrolę.
	I_{leg4}	Geriausios praktikos strategija	Strategija, pagal kurią įmonė, įgyvendinanti statybos projektą, nustato geriausią praktikos strategiją ir ją integruoja į savo gamybinius ir administracinius procesus.
	I_{leg5}	Rangovo įsipareigojimų vykdymas	Apima statybos sutarčių sudarymą, darbų deklaravimo sutartis, galimas specialiąsias sąlygas, sąskaitas, brėžinius, statybos grafikus ir įprastas draudimo rūšis. Suinteresuotosios šalys turėtų gebėti suprasti pagrindines sutarties sąlygas.

	I_{leg6}	Ataskaitos ir tikslinga dokumentacij a	Ataskaitos, kuriose pateikiama visuomenės nuomonė apie įgyvendintus statybos projektus (statistika ir analizė), kurios apima tikslų projekto sukūrimą, įgyvendinant pilnąjį tiekimo grandinės valdymo planą.
--	------------	--	--

Fizinių rodiklių grupė statybos įmonėms įvertina tokių tvarumo aspektų, kaip išteklių efektyvumas, energijos suvartojimas ir poveikis aplinkai, matavimą ir vertinimą. Ji apima rodiklius, padedančius statybos įmonėms mažinti ekologinį pėdsaką, optimizuoti medžiagų naudojimą ir gerinti bendrąjį projektų tvarumą.

2.2 lentelė. Fiziniai tvarumo rodikliai statybos įmonėse

Table 2.2. Physical sustainability indicators in construction companies

Rodiklių grupės	Rodiklio žymėjimas	Rodikliai	Apibūdinimas
Fiziniai rodikliai	I_{phy1}	Tvarusis projekto įgyvendinimas	Nurodomi tvariojo vystymosi principai, valdant suinteresuotąsias šalis. Prioritetas skiriamas bendradarbiavimui, gerinant aplinkosauginę kokybę.
	I_{phy2}	Tvarusis išteklių naudojimas	Aplinkos pritaikymas, kuriant ir įgyvendinant aplinkos apsaugos strategiją; sumanus ir apskaičiuotas išteklių vartojimas.
	I_{phy3}	Darbo atlikimas ir galutiniai rezultatai	Priemonė, susijusi su statybos projekto investicijų grąža, skolinimosi sąlygomis, perspektyvumu ir grynųjų pinigų srautu. Finansiniai matavimai, statybos procesų ir būklės ataskaitų stebėjimas, projekto planavimas ir valdymas, didžiausią dėmesį skiriant projekto rezultatams.
	I_{phy4}	Bendradarbiavimas ir tarpusavio pasitikėjimo ugdymas	Suinteresuotųjų asmenų poreikių ir interesų tenkinimas, dalyvavimas rengiant statybos projektą ir jį įgyvendinant lemia sėkmingą norimų rezultatų įvykdymą. Bendradarbiavimo praktika ir kriterijai, pagal kuriuos atrenkami tvarieji rodikliai, leidžiantys pagerinti statybos įmonės rezultatus.
	I_{phy5}	Darbuotojų atskaitomybė	Apima statybos įmonės darbuotojų komandos formavimo patirtį, susijusią su jų organizacija ir darbo vieta. Darbuotojų atsakomybė už procesus, projekto rezultatus statybos įmonei ir klientams.

	I_{phy6}	Suinteresuotųjų šalių išitraukimas	Suinteresuotųjų šalių dalyvavimo TG procesuose sąveika su statybos įmonės suinteresuotaisiais subjektais bendrajai projekto naudai pasiekti. Ilgalaikio ir stabilaus bendradarbiavimo pasirinkimas, vertinimas, partnerystė ir plėtra.
--	------------	------------------------------------	--

Socialinių rodiklių grupė statybos įmonėms įvertina tokių tvarumo aspektų, kaip darbuotojų gerovė, poveikis bendruomenei ir suinteresuotųjų šalių įtraukimas, vertinimą ir skatinimą. Ji apima rodiklius, skirtus vertinti darbo sąlygas, saugos standartus, socialinę įvairovę ir socialinę statybos projektų naudą, siekiant užtikrinti teigiamą poveikį visuomenei (Zhang & Song, 2022). Socialinių rodiklių sąrašas pateiktas 2.3 lentelėje.

2.3 lentelė. Socialiniai tvarumo rodikliai statybos įmonėse

Table 2.3. Social sustainability indicators in construction organizations

Rodiklių grupės	Rodiklio žymėjimas	Rodikliai	Apibūdinimas
Socialiniai rodikliai	I_{soc1}	Projekto komandos pasitenkinimas	Projekto komandos pasitenkinimas yra pagrindinis projekto sėkmės rodiklis, apimantis ir kiekybinius, ir kokybinius aspektus, todėl jį išmatuoti gana sudėtinga. Jis atspindi komandos narių išitraukimą, motyvaciją ir bendradarbiavimą, taip pat susijęs su kolektyvinėmis statybos įmonės narių vertybėmis, įsitikinimais ir principais.
	I_{soc2}	Tikslinės paskatos ir kompensacijos	Bendroji grynųjų pinigų ar kitų paskatų suma, kurią galima pasiūlyti kaip premiją.
	I_{soc3}	Darbuotojų ir darbdavių švietimas	Kritinis mąstymas, problemų sprendimas, efektyvus sprendimų priėmimas ir kiti įgūdžiai turi būti ugdomi kiekvienam darbuotojui.
	I_{soc4}	Darbuotojų teisės	Apima statybos asociacijų laisvę, ryšius su profesinėmis sąjungomis ir socialinį valdymą. Tai susiję su darbuotojų, turinčių geresnes darbo galimybes, įgalinimu, naujų darbo vietų kūrimu ir joms sukurti reikalingomis sąlygomis.

	I_{soc5}	Viešieji santykiai ir visuomenės įsitraukimas	Apima bendruomeninių galimybių, planų ir norų kūrimą: skiriamas dėmesys strateginėms investicijoms, kurias formuoja bendruomenė, ir vystomi santykiai su bendruomenės vadovais. Socialinis visuomenės noras priimti statybos įmonės vystomų projektų rezultatus.
--	------------	---	--

Ekologinių tvarumo rodiklių grupė statybos įmonėms įvertina aplinkosauginės veiklas ir aplinkos gerinimą, apimančią biologinės įvairovės išsaugojimą, atliekų mažinimą ir anglies dioksido pėdsako minimizavimą. Ši grupė apima tokius rodiklius, padedančius įmonėms taikyti aplinkai draugiškas praktikas, kaip tvariųjų medžiagų naudojimą, energiją tausojančių projektų diegimą ir ekologinės žalos mažinimą statybos įmonės veiklose.

2.4 lentelė. Ekologiniai tvarumo rodikliai statybos įmonėse

Table 2.4. Ecological sustainability indicators in construction companies

Rodiklių grupės	Rodiklio žymėjimas	Rodikliai	Apibūdinimas
Ekologiniai rodikliai	I_{env1}	Poveikis aplinkai	Apima gyvavimo ciklo analizę, statybos įmonės produktų išmontavimo ir antrinio panaudojimo analizę bei atvirkštinę logistiką.
	I_{env2}	Išlaidų mažinimas, diegiant tvarysias praktikas	Pastatai, pastatyti naudojant tvarysias medžiagas ir metodus, ilgiau tarnauja, todėl sumažėja ilgalaikės priežiūros išlaidos. Naudojant perdirbtus metalus, sertifikuotą patvariąją medieną, kompozicines medžiagas ir mažai priežiūros reikalaujančias apdailos medžiagas, sumažinamas remonto dažnis ateityje.
	I_{env3}	Ekologinis pėdsakas	Ekologinis pėdsakas – tai žmogaus apkrovos gamtai matas.
	I_{env4}	Darnioji darbo praktika	Statybos įmonių praktikos integravimas pagal organizacinę prizmę į natūraliąją ir socialinę aplinką (apima visas TTG dalis: švietimo klausimus, santykius su darbuotojais, galimybes atsiskleisti (karjeros galimybes ir kt.), taip pat statybos įmonės komandos plėtros ir valdymo galimybes).

Politinių tvarumo rodiklių grupė statybos įmonėms apima politinių praktikų vertinimą ir diegimą, reglamentų atitiktį bei politikos, remiančios darnaus vystymosi tikslus statybos sektoriuje, įgyvendinimą.

2.5 lentelė. Politiniai tvarumo rodikliai statybos įmonėse

Table 2.5. Political sustainability indicators in construction companies

Rodiklių grupės	Rodiklio žymėjimas	Rodikliai	Apibūdinimas
Politiniai rodikliai	I_{pol1}	Nacionalinis ir ekonominis stabilumas	Ekonomikos augimas ir politinis stabilumas yra tarpusavyje susiję. Nestabili politinė aplinka daro įtaką statybos įmonės investicijoms ir didina projekto nesėkmės riziką.
	I_{pol2}	Griežtas rangovų ir subrangovų atrankos procesas	Griežta atrankos sistema (taikant empirines metodikas) ir mažesnė biurokratija didina statybos įmonių procesų efektyvumą.

2.5 lentelės pabaiga○

Rodiklių grupės	Rodiklio žymėjimas	Rodikliai	Apibūdinimas
	I_{pol3}	Įmonės veikla tarptautiniu mastu	Apima didėjančio statybos įmonės dalyvavimo tarptautinėse rinkose procesą.
	I_{pol4}	Politinė aplinka ir įmonės įsitraukimas į aplinkosauginę politiką	Susiję su visais aplinkos apsaugos įsipareigojimais, aplinkos pritaikymu kuriant, įgyvendinant ir išsaugant aplinkos apsaugos strategiją.
	I_{pol5}	Terminų laikymasis ir atsiskaitymas laiku	Organizavimo ir planavimo procesas, kaip paskirstyti savo laiką įvairioms užduotims bei veikloms, ir statybos įmonės mokumo matas.
	I_{pol6}	Skaidrumas ir holistinis požiūris	Kiekvieną organizacijos skyrių jungianti ir visems kaip vienai komandai dirbti padedanti strategija. Visi darbuotojai dirba kartu, siekdami visaapimančio organizacijos tikslo. Procesų ir politikos skaidrumas pasiekiamas tiesiogiai bendradarbiaujant su tiekėjais, nediskriminuojant atskirų TG narių ir saugant visą konfidencialią informaciją.

Technologinių tvarumo rodiklių grupė statybos įmonėms apima inovatyviųjų technologijų, tokių kaip automatizacija, išmaniosios medžiagos ir energiją taupantys sistemų sprendimai, integracijos ir poveikio vertinimą, siekiant pagerinti tvarumą statybos įmonės praktikoje.

2.6 lentelė. Technologiniai tvarumo rodikliai statybos įmonėse

Table 2.6. Technological sustainability indicators in construction companies

Rodiklių grupės	Rodiklio žymėjimas	Rodikliai	Apibūdinimas
Technologiniai rodikliai	I_{tech1}	Inovacijos ir nuolatiniai patobulinimai	Produktų, procesų ar organizacinės naujovės, susijusios su statybos sritimi. Inovacijų valdymo praktika atsiranda vykdant mokslinius tyrimus ir inicijuojant inovacijų plėtrą.
	I_{tech2}	Projekto išpildymas ir klientų pasitenkinimas	Matas, kaip statybos įmonės produktai, paslaugos ir bendroji klientų patirtis atitinka klientų lūkesčius.

2.6 lentelės pabaiga

Rodiklių grupės	Rodiklio žymėjimas	Rodikliai	Apibūdinimas
Technologiniai rodikliai	I_{tech3}	Tvariųjų medžiagų naudojimas	Tvariosios medžiagos, naudojamos statybos įmonės projektuose, yra lengvai suyrančios, nedarančios žalos aplinkai ir ekosistemoms.
	I_{tech4}	Naujų technologijų diegimas	Efektyviai naudojami ištekliai ir diegiami už tvariąją aplinką atsakingi statybiniai procesai bei naujos technologijos, siekiant užtikrinti statybos įmonės tvarumą.
	I_{tech5}	Kokybės ir produktyvumo lygis	Efektyviosios kokybės kontrolės užtikrinimo sistemos įgyvendinimas. Statybos įmonės savybė, susijusi su žiniomis ir įgūdžiais, skirtais profesionaliai atlikti užduotį.
	I_{tech6}	Sistemų taikymas	Visi pagrindiniai TTGV procesai (pvz., apibrėžiant sritį, planavimą, projekto užbaigimą). Verslo modelis, kurio tikslas – tenkinti suinteresuotųjų šalių poreikius, naudojant bendrąjį produktų ir paslaugų derinį, kad, pasitelkus TTGV sprendimus, būtų išpildyti tiekėjų interesai.

Ekonominių tvarumo rodiklių grupė statybos įmonėms apima finansinės veiklos ir kaštų efektyvumo vertinimą, tvariųjų praktikų, tokių kaip išteklių optimizavimas, ilgalaikis pelningumas ir ekonominis atsparumas statybos projektuose, skatinimą.

2.7 lentelė. Ekonominiai tvarumo rodikliai statybos įmonėse

Table 2.7. Economic sustainability indicators in construction companies

Rodiklių grupės	Rodiklio žymėjimas	Rodikliai	Apibūdinimas
Ekonominiai rodikliai	I_{eco1}	Pelno maksimizavimas	Tinkama tikslinė rinka formuoja statybos įmonės rezultatams pasiekti reikalingas paslaugas ir produktus. Tai ekonominių ir aplinkosaugos duomenų integravimas, siekiant statybos projekto sėkmės.

2.7 lentelės pabaiga

Rodiklių grupės	Rodiklio žymėjimas	Rodikliai	Apibūdinimas
Ekonominiai rodikliai	I_{eco2}	Ištekliai ir sėkmingas jų valdymas	Sąnaudų paskirstymas efektyviam statybinių išteklių naudojimui. Išlaidų, susijusių su statybos įmonės ištekliais, ir kitų išlaidų planavimo ir kontrolės procesas.
	I_{eco3}	Finansų planavimas	Efektyvus finansų strateginis planavimas; kuriamas statybos įmonės finansinis planas statybos veiklai vykdyti; ekonominių pokyčių valdymo strategijos įgyvendinimas.
	I_{eco4}	Lėšos labdarai ir visuomeninei veiklai	Socialinių kampanijų (labdaros organizacijų, kitų socialinių veiklų) finansavimo svarba.
	I_{eco5}	Konkurencija tarp įmonių ir sąžiningos kainos	Skatinant teigiamą konkurenciją, dėl bendradarbiavimo komandoje ir bendrųjų TG grandžių pastangų didėja produktyvumas. Darbuotojai privalo prisitaikyti prie naujos aplinkos, technologijų, lūkesčių ir sąlygų.

Statybos įmonių TTG valdymo procese dalyvaujantys vadovai turi suprasti ir gebėti įvertinti tvarumo sėkmę lemiančius rodiklius bei, jais remdamiesi, įsivertinti įmonės TG tvarumą (Frankel, 2014).

2.2. Tvarumo rodiklių reikšmingumo nustatymo ir daugiakriterių sprendimų priėmimo metodai

Norint atsižvelgti iškart į keliasdešimt statybos įmonių tiekimo grandinės tvarumo rodiklių, būtinas daugiakriteris sprendimų priėmimo metodas. Rodiklių reikšmingumą galima nustatyti pritaikant analitinį hierarchinį procesų vertinimo metodą AHP, santykinės svarbos indeksą RII, integruotąjį reikšmingumo nustatymo ir ekspertinio vertinimo metodus, kitus MCDM metodus ar jų kompleksus (Desai et al., 2015; Owusu-Manu et al., 2015; Gebrehiwet & Luo, 2017; Cataldo et al., 2024). Ankstesniuose tyrimuose dažniausiai buvo naudojami įprasti sprendimų priėmimo metodai, tokie kaip AHP ar TOPSIS (Mangla et al., 2015; Zhang & Song, 2022). Tačiau jų naudojimas neišsprendžia kai kurių sprendimų priėmimo procesų dviprasmiškumo ir neapibrėžtumo problemų. Metodai kritikuojami dėl sudėtingos metodikos ir didelio porų palyginimo naudojimo, kuris, turint platų rodiklių ar ekspertų sąrašą, būtų sunkiai įmanomas tiekimo grandinėse (Gunnasdottir et al., 2021; Lahane & Kant, 2021). Nesvarbu,

kuris metodas bus taikomas, naudojama ta pati metodo vertinimo logika, kai didžiausią svorį turintis reikšmingumas yra svarbiausias. Šiame darbe taikomi ekspertinio vertinimo metodas, DEMATEL, BWM ir MABAC metodų kompleksas ir sukurtas kompozitinis TTGV statybos įmonėse į(si)vertinimo indeksas. Taikydamos tokią metodiką, statybos įmonės gali pasirinkti geriausius tiekėjus reikiamai TG daliai.

2.2.1. Rodiklių reikšmingumo nustatymo ekspertinis metodas

Nors svarbiausiems statybos įmonių TGV tvarumo rodikliams vertinti taikoma didelė metodų įvairovė, dažniausiai, sprendžiant panašius uždavinius, yra taikomas subjektyvusis vertinimas, kai rodiklių svorį nustato ekspertai, t. y. taikomas ekspertinis rodiklių reikšmingumo nustatymo metodas (Yeung et al., 2023). TTGV rodiklių svoriams nustatyti tinkamiausias yra statybos specialistų ekspertinis vertinimas, nes statybos įmonių TGV apima visus grandinės narius, o jų savaime subjektyvūs poreikiai turi būti išpildyti. Ekspertas, remdamasis savo patirtimi ir asmenine nuomone, turi suranguoti rodiklius pagal jų svarbą. Rangavimo procedūra paaiškinama taip: pačiam svarbiausiam rodikliui ekspertas suteikia

1-ąjį rangą, antrajam pagal svarbą – 2-ąjį rangą ir t. t. iki paskutiniojo pagal svarbą (jei lyginamųjų rodiklių skaičius n , jam bus suteikiamas n -tasis rangas). Šis ekspertų vertinimo metodas yra taikomas ne tik statyboje, bet ir socialiniuose, informatikos, ekonomikos, chemijos, fizikos ir kitose mokslo srityse. Gavus respondentų apklausų atsakymus, gauti rezultatai yra apdorojami statistiškai. Pagrindiniai keturi etapai, pagal kuriuos atliekami rodiklių vertinimo svorių skaičiavimai ekspertinio vertinimo metodu (Kitsis & Chen, 2021; Karlsson et al., 2020; Ghadimi et al., 2021), yra šie:

1. Apskaičiuojamas vidutinis rodiklių vertinimo rangas $\bar{t}_j$:

$$\bar{t}_j = \frac{\sum_{k=1}^r t_{jk}}{r}, \quad (2.1)$$

čia t_{jk} – k eksperto suteiktas j rodiklio rangas ($k = 1, 2, \dots, r$); r – ekspertų skaičius.

2. Kiekvieno rodiklio vidutinę įvertio reikšmę dalijant iš rodiklių vidurkių sumos, apskaičiuojamas rodiklio reikšmingumas:

$$q_j = \frac{\bar{t}_j}{\sum_{j=1}^n \bar{t}_j}, \quad (2.2)$$

čia n – vertinimų rodiklių skaičius. Visų rodiklių reikšmingumų suma turi būti lygi vienetui. Subjektyvusis reikšmingumas yra gaunamas rodiklio reikšmingumą q_j atėmus iš vieneto.

3. Nustatomas respondentų nuomonės patikimumas, kuris išreiškiamas ekspertų nuomonių koordinacijos koeficientu W , įvertinančiu individualių nuomonių sutapimo laipsnį:

$$W = \frac{12S}{r^2(n^3-1)}, \quad (2.3)$$

$$S = \sum_{j=1}^n \left[\sum_{k=1}^r t_{jk} - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r t_{jk} \right]^2, \quad (2.4)$$

čia S – kiekvieno rodiklio vertinimo rangų nuokrypių kvadratų suma; n – vertinimų rodiklių skaičius; r – respondentų skaičius; t_{jk} – k -tojo respondento j rodikliui priskiriamas rangas. Jeigu koeficiento W reikšmė lygi 1, reiškia, kad visi respondentai rodikliams skyrė vienodą reikšmę ir buvo vieningi. Jeigu koeficiento W reikšmė lygi 0, reiškia, kad respondentų veiksmai gali būti laikomi atsitiktiniais ir tarp jų nėra bendrojo susitarimo. Visos tarpinės koeficiento W reikšmės nurodo mažesnę ar didesnę vieningumo laipsnį tarp respondentų.

4. Nustatant konkordancijos koeficiento reikšmingumą, naudojama ši formulė:

$$\chi^2 = \frac{12S}{rn(n+1)} = Wr(n-1). \quad (2.5)$$

Ekspertų nuomonės laikomos suderintomis, kai pagal (2.5) formulę apskaičiuota χ^2 reikšmė didesnė už $\chi^2_{\alpha,v}$, paimtą iš χ^2 skirstinio lentelės su $v = n - 1$ laisvės laipsniu ir pasirinktu artimu nuliui reikšmingumo lygiu α . Priešingu atveju, ekspertų nuomonės laikomos nesuderintomis, jeigu $\chi^2 < \chi^2_{\alpha,v}$. Naudojant šią formulę, apskaičiuojamas globaliųjų rodiklių reikšmingumas:

$$q_j^b = q_i q_j n_j, \quad (2.6)$$

čia q_i – grupės reikšmingumas; q_j – rodiklio reikšmingumas; n_j – rodiklių skaičius grupėje.

Šis metodas yra pakankamai paprastas, todėl gana dažnai naudojamas (Pamučar & Ćirović, 2015; Hossen et al., 2015; Saad et al., 2021).

2.2.2. DEMATEL metodas

Amerikos Bastilijos laboratorijoje 1971 m. buvo sukurtas DEMATEL (angl. *Decision Making Trial and Evaluation Laboratory*) metodas. Iki šiol šis metodas paprastai naudojamas kriterijų koreliacijai ir svoriams nustatyti, taip pat sąsajoms ir ryšiams tarp kriterijų atskleisti ir jų santykiniam svoriui nustatyti (Kaya & Yet, 2019; Mohammed et al., 2019; Kilic et al., 2020; Mohammed et al., 2021). DEMATEL metodas padeda spręsti sudėtingų sprendimų priėmimo klausimus, analizuojant problemų priežastis ir pasekmes. Su matricomis galima vizualizuoti

sudėtingų priežastinių sąveikų struktūrą. Dėl to ryšių tarp rodiklių priežasčių ir pasekmių struktūrinis modelis tampa sistemiškai suprantamesnis (Li et al., 2020). Mohammedas et al. (2019) sukūrė strategiją, pagal kurią DEMATEL metodu įvertino tiekimo grandinės tiekėjų kiekvieno kriterijaus reikšmingumą ir svorį. Pirmiausia buvo nustatyti atrankos kriterijai, sudaryta vieninga sistema ir gauti srities ekspertų anketų rezultatai.

Šis metodas skirtas sąsajoms ir ryšiams tarp kriterijų atskleisti ir nustatyti ekspertų įvertintą jų santykinį svorį (Dalalah et al., 2011; Pamučar & Cirovic, 2015). Šiame tyrime DEMATEL metodas naudojamas kriterijų santykiniams svoriams išmatuoti ir tvarkyti neryškiąsias ekspertų įvertintas kriterijų svorių vertes pasirinktoje statybos įmonėje tiekėjų parinkimui vertinti. Naudojant šį metodą, kriterijai skirstomi dvi kategorijas, priežasties ir poveikio grupes. Poveikio grupei, kuri naudojama kriterijų svoriams apskaičiuoti, įtakos turi priežasčių grupė (Dalalah et al., 2011).

Pirma, šiame tyrime aprašomas platus vieno iš m variantų ($A_i, i = 1, 2, \dots, m$) pasirinkimo ir įvertinimo bei palyginimo su kitomis alternatyvomis, naudojant n kriterijų ($X_j, j = 1, 2, \dots, n$), kurių reikšmės žinomos, klausimas. Parinktys išsaugomos vektoriuose x_{ij} , kur x_{ij} – i -osios alternatyvos reikšmė pagal j -ąjį kriterijų. Kiekvienam kriterijui (rodikliui) suteikiamas svorio koeficientas $w_j, j = 1, 2, \dots, n$ ($\sum_{j=1}^n w_j = 1$), parodantis jo santykinę svarbą, vertinant alternatyvas. Reikia pabrėžti, jog skirtingi kriterijai turi skirtingą poveikį galutiniam alternatyvų vertinimui. Pagrindiniai metodo taikymo etapai yra šie:

1-asis etapas. Surenkamos ekspertų nuomonės, tada apskaičiuojama vidutinė matrica $\tilde{Z}$. Tiesioginio ryšio neaiškioji $n \times n$ mato (n – kriterijų skaičius) matrica $\tilde{Z}$ (2.7) formulė) iš pradžių konstruojama, naudojant modifikuotą neapibrėžtąjį DEMATEL metodą. Siekiant matricoje išlaikyti ryšį tarp kriterijų, visos tiesioginio ryšio matricos generuojamos, atliekant porų palyginimą tarp kriterijų, kuriuose Z_{ij} parodo, kiek C_i kriterijus turi įtakos C_j kriterijui. Taikant šį metodą, norima nustatyti, kaip kriterijai veikia vienas kitą. Remiantis porų palyginimu, kiekvieno eksperto prašoma įvertinti tiesioginės įtakos tarp dviejų elementų lygį. Z_{ij} reiškia eksperto suvokimą, kiek i veiksnys daro įtaką j komponentui. Kiekvienam ekspertui sudaroma $n \times n$ neneigiama matrica $\tilde{Z}^e = [\tilde{z}_{ij}^e]$, čia n – kriterijų, o e – ekspertų, dalyvaujančių vertinimo procedūroje, skaičiai; $1 \leq e \leq k$.

Šio etapo rezultatas yra $\tilde{Z}^1, \tilde{Z}^2, \dots, \tilde{Z}^k$ matricos iš m ekspertų. Galutinė $\tilde{Z} = [\tilde{z}_{ij}]$ matrica sukurama sujungus ekspertų sprendimus.

$$\widetilde{z}_{ij} = (z_{ij}^{(l)}, z_{ij}^{(m)}, z_{ij}^{(r)}) = \begin{cases} z_{ij}^{(l)} = \min(z_{ij}^e) \\ z_{ij}^{(m)} = \sqrt[k]{\prod_{i=1}^k z_{ij}^e} \\ z_{ij}^{(r)} = \max(z_{ij}^e) \end{cases}, \quad (2.7)$$

čia k – bendrasis ekspertų skaičius; z_{ij}^e – e -ojo eksperto suteikta pirmenybė.

2-asis etapas. Apskaičiuojama normalizuotoji pradinė tiesioginio ryšio matrica ($\widetilde{X}$). Kiekvienas $\widetilde{X}$ matricos elementas turi reikšmę tarp $[0, 1]$ po to, kai pradinė tiesioginio ryšio matrica $\widetilde{X} = \widetilde{x}_{ij}$ buvo normalizuota. Pradinės tiesioginio ryšio matricos komponentai gaunami pagal (2.9) formulę.

$$\widetilde{X} = \begin{bmatrix} \widetilde{x}_{11} & \widetilde{x}_{12} & \dots & \widetilde{x}_{1n} \\ \widetilde{x}_{21} & \widetilde{x}_{22} & \dots & \widetilde{x}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \widetilde{x}_{n1} & \widetilde{x}_{n2} & \dots & \widetilde{x}_{nn} \end{bmatrix}, \quad (2.8)$$

$$\widetilde{x}_{ij} = \frac{\widetilde{z}_{ij}}{\widetilde{R}} = \left(\frac{z_{ij}^{(l)}}{r^{(l)}}, \frac{z_{ij}^{(m)}}{r^{(m)}}, \frac{z_{ij}^{(r)}}{r^{(r)}} \right), \quad (2.9)$$

$$\widetilde{R} = \max(\sum_{j=1}^n \widetilde{z}_{ij}) = (r^{(l)}, r^{(m)}, r^{(r)}), \quad (2.10)$$

čia $\widetilde{R}$ – bendrosios įtakos matrica; r – įtakos balas.

3-iasis etapas. Gaunama pilnoji santykių matrica ($\widetilde{T}$). Taikant (2.13) formulę, čia $I - n \times n$ tapatumo matrica, galima sudaryti bendrosios įtakos matricą $\widetilde{T}$. Ši $\widetilde{T}$ matrica parodo bendrąją ryšį tarp kiekvienos sistemos rodiklių poros, o $\widetilde{t}_{ij}$ elementas rodo netiesioginį i faktoriaus poveikį j veiksmui. Pradinę normalizuotąją tiesioginio ryšio neapibrėžtąją matricą galima padalyti į kelias kitas submatricas, pvz., (X_1, X_2, X_3) . Dalalah et al. (2011) tyrime buvo nustatyta:

$$\lim_{k \rightarrow \infty} (X_s)^w = 0, \quad (2.11)$$

ir

$$\lim_{k \rightarrow \infty} (I + X_s + \dots + X_s^2 + \dots + X_s^k) = (I - X_s)^{-1}, \quad (2.12)$$

čia O – nulinė matrica (Papoulis & Pillai, 2002; Pamučar & Cirovic, 2015). Suminio ryšio bendrosios įtakos matrica $\widetilde{T}$ apskaičiuojama (2.13) formule (Dalalah et al., 2011):

$$\widetilde{T} = \lim_{w \rightarrow \infty} (\widetilde{X} + \widetilde{X}^2 + \dots + \widetilde{X}^{10}) = \widetilde{X}(I - \widetilde{X})^{-1}. \quad (2.13)$$

Ši bendrosios įtakos $\tilde{T}$ matrica gali būti išreikšta taip:

$$\tilde{T} = \begin{bmatrix} \tilde{t}_{11} & \tilde{t}_{12} & \dots & \tilde{t}_{1n} \\ \tilde{t}_{21} & \tilde{t}_{22} & \dots & \tilde{t}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{t}_{n1} & \tilde{t}_{n2} & \dots & \tilde{t}_{nn} \end{bmatrix}, \quad (2.14)$$

čia $\tilde{t}_{ij} = (t_{ij}^{(l)}, t_{ij}^{(m)}, t_{ij}^{(r)})$ – sprendimų priėmėjo bendrasis kiekvienos alternatyvos i įtakos balas pagal j kriterijų.

4-asis etapas. Nustatomos $\tilde{T}$ matricos eilučių ir stulpelių sumos. (2.15) ir (2.16) formulėmis galima apskaičiuoti matricos eilučių sumą ir submatricų T_1, T_2 ir T_3 stulpelių sumas, pažymėtas atitinkamai $\tilde{X}_i$ ir $\tilde{R}_i$. Toliau skaičiuojamos vektorių $(X + R)$ ir $(X - R)$ sumos kiekvienam sprendimo kriterijui. DEMATEL svoriai yra normalizuotieji vektoriai $(X + R)$, čia didžiausios $(X + R)$ vertės reiškia svarbiausius kriterijus.

$$\tilde{X}_i = \sum_{j=1}^n \tilde{t}_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (2.15)$$

$$\tilde{R}_i = \sum_{j=1}^n \tilde{t}_{ij}, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad (2.16)$$

čia n – bendrasis kriterijų skaičius.

5-asis etapas. Atliekamas kriterijų svorio koeficientų skaičiavimas. Naudojant (2.17) formulę, apskaičiuojami kriterijų svorio koeficientai:

$$\tilde{W}_i = \sqrt{(\tilde{X}_i + \tilde{R}_i)^2 + (\tilde{X}_i - \tilde{R}_i)^2}. \quad (2.17)$$

6-asis etapas. Pagal (2.18) formulę svorio koeficientams normalizuojami:

$$\tilde{w}_i = \frac{\tilde{W}_i}{\sum_{i=1}^n \tilde{W}_i}, \quad (2.18)$$

čia $\tilde{w}_i$ – galutiniai kriterijų svoriai, pagal kuriuos priimami sprendimai (Dalalah et al., 2011).

Tiesioginio ryšio matrica naudojama ryšiams tarp kriterijų pavaizduoti Dalalah et al. (2011) modifikuotame DEMATEL modelyje. Dalalah et al. (2011) bei Pamučar ir Cirovic (2015) tyrimai pagrindė ir šiame darbe taikomą modifikuotąjį neapibrėžtąjį DEMATEL metodą.

2.2.3. BWM metodas

BWM metodas buvo sukurtas 2015 m. J. Rezaei et al., siekiant išspręsti daugiakriterių sprendimų priėmimo iš tam tikro pasirinkimų rinkinio problemas (angl. *Multiple-Criteria Decision-Making* – MCDM), ypač kai ekspertai arba sprendimų priėmėjai turi ribotą laiką ar galimybes įvertinti kiekvieną galimą

kriterijų derinį sudėtingoje sprendimų priėmimo užduotyje. BWM metodo pagrindiniai etapai: a) suformuluoti problemą (išvardyti tikslus, galimus sprendimus ir vertinimo standartus); b) palyginti alternatyvas su reikalavimais; c) išsiaiškinti svarbiausius kriterijus (Rezaei et al., 2018).

BWM metodas dažnai taikomas įvairiose mokslo srityse, įskaitant TGV (Kusi-Sarpong et al., 2021), sveikatos priežiūros paslaugų kokybės valdymą ir žinių valdymo sistemų vertinimą. Metodas populiarus, nes kriterijų lyginimas poromis leidžia išvengti klaidų, metodas yra nesudėtingas, patikimas ir nuoseklus. Tačiau, nors BWM dažnai naudojamas, nuoseklių mokslinių tyrimų sprendimo priemonėms ir prioritetų įvertinimo metodams nustatyti atlikta nedaug (Tu et al., 2023). BWM metodas, pagrįstas dviem priešingais kriterijais (geriausias ir blogiausias), palyginti su kitais daugiakriteriais sprendimų priėmimo metodais, (pvz., TOPSIS ar kelių savybių naudingumo teorija) (Mohammed et al., 2021), gali užkirsti kelią tam tikram šališkumui. BWM metodas gali būti taikomas įvairiuose MCDM problemų sprendimo etapuose alternatyvoms vertinti, atsižvelgiant į kriterijus (ypač kai nėra objektyvių alternatyvų įvertinimo priemonių). Šiuo metodu taip pat galima nustatyti kriterijų, pagal kuriuos ieškoma sprendimo, svarbą (Brunelli & Rezaei, 2019).

Pirmiausia ekspertams reikia susipažinti su kriterijų vertinimo skale (lyginant juos poromis) (2.8 lentelė).

2.8 lentelė. BWM metodui taikomų kriterijų vertinimo skalė (Rezaei et al., 2018)

Table 2.8. Scale of evaluation of criteria (for BWM method) (Rezaei et al., 2018)

Svarbumo lygis	Apibrėžtis
1	Kriterijai vienodai svarbūs
3	Nuosaikus pranašumas vieno kriterijaus kito atžvilgiu
5	Reikšmingas pranašumas vieno kriterijaus kito atžvilgiu
7	Stiprus pranašumas vieno kriterijaus kito atžvilgiu
9	Labai stiprus pranašumas vieno kriterijaus kito atžvilgiu
2, 4, 6, 8	Tarpinis sprendimas tarp gretimų samprotavimų

Pagrindiniai BWM metodo sprendimo etapai yra šie: tarkime, kad yra n kriterijų skaičius ir norima juos palyginti poromis skalėje nuo 1/9 iki 9/1. Rezultatų matrica bus:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}, \quad (2.19)$$

čia a_{ij} – rodo, kiek pirmenybių prieš kriterijų i turi j kriterijus. Jei $a_{ij} = 1$, i ir j kriterijai yra vienodos svarbos. Kai $a_{ij} > 1$, i kriterijus yra reikšmingesnis nei j ; kai $a_{ij} = 9$, tuomet i kriterijus yra daug reikšmingesnis nei j kriterijus. a_{ij} parodo j kriterijaus svarbą i kriterijui. Norint, kad A matrica būtų simetrinė, bet kuriems i ir j kriterijams turi galioti: $a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$ ir $a_{ij} = 1$. Dėl matricos simetriškumo matricai užpildyti reikia atlikti $n(n-1)/2$ porų palyginimą. Tuomet gauname lygtį:

$$a_{ik} \times a_{kj} = a_{ij}, \forall i, j.$$

Šiame skyriuje aprašomi BWM metodo etapai, taikomi kriterijaus svoriams nustatyti.

1-jame etape sukuriamas atrankos kriterijų sąrašas (Rezaei, 2015; Rezaei et al., 2018). Šiame etape sugalvojami standartai $\{c_1, c_2, \dots, c_n\}$, kurių reikia laikytis renkantis geriausią variantą. Sprendimo kriterijai gali apimti šias kokybes, pvz., renkantis tiekėją:

$\{kokybė (c_1), kaina (c_2), pristatymas (c_3), darnumas (c_4), reputacija (c_5)\}$.

2-asis etapas. Nustatomi geriausi (svarbiausias, geidžiamiausias ir pan.) ir blogiausi (mažiausiai svarbus, mažiausiai pageidaujamas ir pan.) kriterijai. Šiame etape sprendimus priimančiam asmuo nustato geriausius ir blogiausius kriterijus. Šiuo metu neatliekami jokie palyginimai. Pvz., vienam konkrečiam sprendimui priimančiam asmeniui geriausi ir blogiausi kriterijai gali būti kaina (c_2) ir reputacija (c_5).

3-asis etapas. Naudojama skalė nuo 1 iki 9, norint išreikšti pirmenybę geriausio kriterijaus, o ne visų kitų kriterijų atžvilgiu. Tuomet atsiranda „geriausias kitiems“ vektorius:

$$A_B = (a_{B1}, a_{B2}, \dots, a_{Bn}), \quad (2.20)$$

čia a_{Bn} – žymi geriausio kriterijaus B pirmenybę prieš j kriterijų. Akivaizdu, kad $A_{BB} = 1$.

4-asis etapas. Naudojama skalė nuo 1 iki 9, norint suteikti pirmenybę blogiausiam kriterijui. Blogiausio scenarijaus rezultatas:

$$A_W = (a_{1W}, a_{2W}, \dots, a_{nW})^T, \quad (2.21)$$

čia a_{jW} – j kriterijaus pirmenybė prieš blogiausią W kriterijų. Matyti, kad $A_{WW} = 1$.

5-jame etape yra randami idealieji svoriai: $(w_1^*, w_2^*, \dots, w_n^*)$.

Svoris, gaunamas kiekvienoje w_B/w_j ir w_j/w_W poroje, yra idealusis svoris pagal kriterijus $\frac{w_B}{w_j} = a_B$ ir $\frac{w_j}{w_W} = a_{jW}$. Radus sprendimą su didžiausiais absoliučiaisiais skirtumais visiems j kriterijams ir atsižvelgus į svorių neneigiamumo ir sumos sąlygas, formuluojamas toks vadinamasis minimakso uždavinys:

$$\min \max_j \left\{ \left| \frac{w_B}{w_j} - a_{Bj} \right|, \left| \frac{w_j}{w_W} - a_{jW} \right| \right\}, \quad (2.22)$$

esant sąlygoms

$$\sum_j w_j = 1, \quad (2.23)$$

$$w_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n.$$

Uždavinys gali būti performuluotas į grynai minimumo uždavinį:

$$\text{Min } \xi, \quad (2.24)$$

esant

$$\left| \frac{w_B}{w_j} - a_{Bj} \right| \leq \xi, \text{ visiems } j \text{ kriterijams,}$$

$$\left| \frac{w_j}{w_W} - a_{jW} \right| \leq \xi, \text{ visiems } j \text{ kriterijams,}$$

$$\sum_j w_j = 1, \quad (2.25)$$

$$w_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n.$$

Išsprendus (2.24) uždavinį, rodikliams ($w_1^*, w_2^*, \dots, w_n^*$) gaunami optimalieji svoriai ξ^* (Amiri et al., 2021). Toliau apskaičiuojami darnos (angl. *Consistency Ratio* – CR) indeksai palyginimams:

$$CR = \frac{\xi^*}{CI}. \quad (2.26)$$

Sąlyginės darnos vertės *CI* (angl. *Consistency Index* – CI) pateiktos 2.9 lentelėje. Matyti, kad kuo mažesnis optimalusis svoris ξ^* , tuo mažesnė darnos indekso *CR* vertė ir tuo tolygesni bus vektoriai.

2.9 lentelė. Sąlyginės darnos indeksai *CI* (Rezaei et al. 2018)

Table 2.9. Consistency index (Rezaei et al. 2018)

a_{BW}	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Sąlyginis indeksas	0,00	0,44	1,00	1,63	2,30	3,00	3,73	4,47	5,23

BWM metodas naudojamas išaiškinti sprendimų kriterijų svarbą. Palyginti su AHP (angl. *Analytic Hierarchy Process* – analitinės hierarchinis procesas), ANP (angl. *Analytic Network Process* – analitinis tinklinis procesas), SWARA (angl. *Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis* – pažingsninė svorinio vertinimo analizė) ar kitais svertiniais metodais, BWM yra pranašesnis, nes kriterijų svorio reikšmės gaunamos tiesiškai. Tai pagerina rezultatų kokybę ir garantuoja patikimus rezultatus. Be to, BWM, palyginti su kitais MCDM įrankiais, reikalauja mažiau porinių palyginimų. Vienas iš BWM pranašumų yra tas, kad jį lengva derinti su kitomis technikomis (Rezaei, 2015).

2.2.4. MABAC metodas

MABAC metodas buvo sukurtas Belgrado gynybos universiteto tyrimų institute (Pamučar & Cirovic, 2015). MABAC metodo pagrindą galima suprasti apibrėžiant atstumą tarp kiekvienos alternatyvos kriterinės funkcijos ir ribos aproksimacijos srities. MABAC metodas įgyvendinamas šešiais etapais.

1-asis etapas. Sukuriama pirmojo sprendinio matrica (X), įvertinant m pasirinkimų pagal n kriterijų. Įverčiai surašomi į vektorius $A_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in})$, čia x_{ij} – j -ojo kriterijaus reikšmės i -ajam pasirinkimui $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$).

$$X = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \dots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix}. \quad (2.27)$$

2-asis etapas. Pradedamas matricos pradinių elementų normalizavimas (N).

$$N = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \dots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} n_{11} & n_{12} & \dots & n_{1n} \\ n_{21} & n_{22} & \dots & n_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ n_{m1} & n_{m2} & \dots & n_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix}. \quad (2.28)$$

Normalizuotosios matricos (N) komponentai skaičiuojami taip:

a) išmokos tipo kriterijus (pageidautina didesnė kriterijaus vertė):

$$n_{ij} = \frac{x_{ij} - x_i^-}{x_i^+ - x_i^-}; \quad (2.29)$$

b) išlaidų tipo kriterijus (pageidautina mažesnė kriterijaus vertė):

$$n_{ij} = \frac{x_{ij} - x_i^+}{x_i^+ - x_i^-}, \quad (2.30)$$

x_i^+ ir x_i^- apibrėžiami taip:

$x_i^+ = \max(x_1, x_2, \dots, x_m)$ – didžiausioji stebimojo kriterijaus reikšmė pagal alternatyvas,

$x_i^- = \min(x_1, x_2, \dots, x_m)$ – mažiausioji stebimojo kriterijaus reikšmė pagal alternatyvas.

3-iasis etapas. Apskaičiuojami svertinės matricos (V) elementai (V):

$$v_{ij} = w_i(n_{ij} + 1), \quad (2.31)$$

čia w_i – kriterijų svorio koeficientus. Svertinė matrica V gaunama naudojant (2.31) formulę.

$$\begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & \dots & v_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_{m1} & v_{m2} & \dots & v_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_1(n_{11} + 1) & w_2(n_{12} + 1) & \dots & w_n(n_{1n} + 1) \\ w_1(n_{21} + 1) & w_2(n_{22} + 1) & \dots & w_n(n_{2n} + 1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_1(n_{m1} + 1) & w_2(n_{m2} + 1) & \dots & w_n(n_{mn} + 1) \end{bmatrix} \quad (2.32)$$

4-asis etapas. Apskaičiuojama aproksimacijos ribų matrica – eilutė (G_i):

$$g_i = \left(\prod_{j=1}^m v_{ij} \right)^{1/m}. \quad (2.33)$$

Visa mato $n \times l$ matrica – eilutė G gaunama taip surašant g_i $i = 1, 2, \dots, n$:

$$\begin{matrix} C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ G = [g_1 & g_2 & \dots & g_n]. \end{matrix} \quad (2.34)$$

5-asis etapas. Išmatuojamas alternatyvos atstumas nuo aproksimacijos ribų matricos:

$$Q = \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & \dots & q_{1n} \\ q_{21} & q_{22} & \dots & q_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ q_{m1} & q_{m2} & \dots & q_{mn} \end{bmatrix}, \quad (2.35)$$

čia q_{ij} – skirtumas tarp svertinės matricos komponentų (V) ir atitinkamų aproksimacijos ribų matricos elementų.

$$Q = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & \dots & v_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_{m1} & v_{m2} & \dots & v_{mn} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} g_1 & g_2 & \dots & g_n \\ g_1 & g_2 & \dots & g_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ g_1 & g_2 & \dots & g_n \end{bmatrix}, \quad (2.36)$$

$$Q = \begin{bmatrix} v_{11} - g_1 & v_{12} - g_2 & \dots & v_{1n} - g_n \\ v_{21} - g_1 & v_{22} - g_2 & \dots & v_{2n} - g_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_{m1} - g_1 & v_{m2} - g_2 & \dots & v_{mn} - g_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & \dots & q_{1n} \\ q_{21} & q_{22} & \dots & q_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ q_{m1} & q_{m2} & \dots & q_{mn} \end{bmatrix}. \quad (2.37)$$

Alternatyva A_i gali priklausyti aproksimacijos ribų sričiai, viršutinei aproksimacijos sričiai arba apatinei aproksimacijos sričiai: $A_i \in \{G \vee G^+ \vee G^-\}$. Idealią alternatyvą (A^+) būtų viršutinėje aproksimavimo srityje (G^+), o antiidealią alternatyvą (A^-) – apatinėje aproksimacijos srityje (G^-). Kuriai sričiai priklauso alternatyva, nustato šios sąlygos:

$$A_i \in \begin{cases} G^+ \text{ jeigu } q_{ij} > 0 \\ G \text{ jeigu } q_{ij} = 0 \\ G^- \text{ jeigu } q_{ij} < 0 \end{cases}. \quad (2.38)$$

Geriausia iš alternatyvų rinkinio alternatyva A_i yra ta, kurios daugiausia kriterijų patenka į viršutinę aproksimacijos sritį (G^+). Tarkime, alternatyvos A_i 5 iš 6 kriterijų priklauso viršutinei aproksimacijos sričiai ir 1 kriterijus – apatinei sričiai. Tai reiškia, kad alternatyva yra artima idealiajai alternatyvai.

6-asis etapas. Parinkčių skirstymas. Galiausiai kiekvienai alternatyvai suskaičiuojami suminiai atstumai nuo svertinės matricos vektorių:

$$S_i = \sum_{j=1}^n q_{ij}, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (2.39)$$

Geriausia alternatyva yra ta, kuriai S_i mažiausias.

2.3. Kompozitinio tvariosios tiekimo grandinės valdymo statybos įmonėse į(si)vertinimo indekso sudarymo metodika

Tiekimo grandinės grupių reikšmingumų skaičiavimas atliekamas naudojant (2.40)–(2.46) formules. Kiekybinio daugiakriterio vertinimo atveju itin svarbu nustatyti rodiklių svarbą arba jų svorį. Vertinimo motyvai yra vienodi, nepaisant naudojamo metodo: reikšmingumų vertės ir tikslumas nustatomi vertinimo metodu, kur svarbiausia i -toji rodiklių grupė gauna didžiausią svorį ω_i . Užtikrinant tinkamą reikšmingumų paskirstymą tvarumo grupėms, visų priskirtų tvarumo grupių reikšmingumų suma turi būti lygi vienetui (Podvezko & Podvezko, 2015) (2.40 formulė):

$$\sum_{i=1}^n \omega_i = 1, \quad (2.40)$$

čia n – rodiklių grupių skaičius.

Kiekvienos grupės rodiklių reikšmės apskaičiuojamos atskirai. Pasirinktu įvertinimo metodu nustatomos kiekvieno rodiklio i individualiosios reikšmingumų vertės ir tikslumas w_i^{ind} . Visų individualiųjų reikšmingumų suma turi būti lygi grupės rodiklių skaičiui:

$$\sum_{i=1}^x w_i^{ind} = x. \quad (2.41)$$

Kiekvieno rodiklio bendrasis reikšmingumas apskaičiuojamas padauginant individualųjį reikšmingumą ir grupės reikšmingumą.

2.3.1. Tvariosios tiekimo grandinės tvarumo rodiklių reikšmių normalizavimas

Rodikliai paprastai išreiškiami skirtingomis vienetų matavimo sistemomis, todėl tolesniame vertinimo procese būtinas jų normalizavimas. Zhou et al. (2012) tyrime siūloma taikyti tokius normalizavimo metodus: minimaliosios ir maksimaliosios reikšmės normalizavimas, atstumo iki atskaitos vertės ir procentinių metinių skirtumų normalizavimai. Taikant atstumo iki atskaitos vertės metodą, normalizuotoji reikšmė apskaičiuojama kaip rodiklio ir išorinio standarto arba tikslinės reikšmės santykis. Išorinis lyginamasis standartas gali būti apibrėžtas konkrečiam gamybos sektoriui taikomais normatyvais, vietos teisės aktais ar kitais dokumentais (Oliveira et al., 2012; Zhou et al., 2012). Pirmiausia reikia nustatyti, ar kiekvienas rodiklis yra maksimalizuojamasis ar minimizuojamasis. Pirmuoju atveju rodiklių geriausios reikšmės yra didžiausios, antruoju – mažiausios. Tokie metodai, kaip SAW, vertina tik maksimalizuojamųjų rodiklių reikšmes, todėl minimizuojamus rodiklius reikia transformuoti į maksimalizuojamus pagal (2.42) formulę (Podvezko, 2008). Rodikliai SI_i normalizuojami taip:

$$SI_{Ni} = \frac{SI_i^{max}}{SI_i^{targ}}, \quad (2.42)$$

$$SI_{Ni} = \frac{SI_i^{targ}}{SI_i^{min}}, \quad (2.43)$$

čia SI_i^{max} – i -tojo tiekimo grandinės tvarumo rodiklio vertė, kurios didesnė vertė rodo teigiamą poveikį tvarumui (daugiau yra geriau); SI_i^{min} – i -tojo tiekimo grandinės tvarumo rodiklio vertė, kurios mažesnė vertė rodo teigiamą poveikį tvarumui (mažiau yra geriau); SI_i^{targ} – i -tojo tvarumo rodiklio tikslinė vertė.

$$0 \leq SI_{Ni} \leq 1. \quad (2.44)$$

Pavyzdžiui, siekiama rodiklio „apkrova gamtai“ vertė yra minimumas, o rodiklio „ekonominis ir politinis stabilumas“ – maksimumas (2.10 lentelė).

2.10 lentelė. Rodiklio siekiamoji vertė (sudaryta autorės)

Table 2.10. Targeted value of the indicator (compiled by the author)

Tvarumo grupės	Rodiklio kodas	Rodiklis	Apibūdinimas, rodiklis, minimumo (min) ar maksimumo (max) siekiamumas
Tiesiniai rodikliai	SI_{leg1}	Aplinkos vadyba	Vandens, elektros, dujų naudojimas / Bendrasis išteklių naudojimas; min
	SI_{leg2}	Rizikos valdymo mechanizmas	Nelaimingų atsitikimų skaičius / Bendrasis darbuotojų skaičius; min
	SI_{leg3}	Efektyvumas ir kaina	Medžiagų efektyvumas / Bendroji medžiagų kaina; min
	SI_{leg4}	Geriausios praktikos strategija	Faktinis geriausių praktikų naudojimo skaičius įmonėje / Numatytasis geriausių praktikų strategijų naudojimo skaičius; max
	SI_{leg5}	Rangovo įsipareigojimų vykdymas	Sėkmingai įvykdyti projektai / Visi įmonės projektai; max
	SI_{leg6}	Ataskaitos ir tikslinga dokumentacija	Pilnai užpildytų ir dokumentuotų veiklų kiekis / Visos veiklos; max
Fiziniai rodikliai	SI_{phy1}	Tvarusis projekto įgyvendinimas	Tvariosios praktikos įgyvendinimas projekte / Visų praktikų kiekis; max
	SI_{phy2}	Tvarusis išteklių naudojimas	Tvariųjų išteklių naudojimas / Visi įmonės naudojami ištekliai; max
	SI_{phy3}	Darbo atlikimas ir galutiniai rezultatai	Efektiviūs galutiniai rezultatai / Bendrosios darbo praktikos; max
	SI_{phy4}	Bendradarbiavimas ir tarpusavio pasitikėjimo ugdymas	Pasitikėjimo lygis ir darbuotojų laimės lygis / Visų darbuotojų skaičius; max
	SI_{phy5}	Darbuotojų atskaitomybė	Projektus įgyvendinančių darbuotojų skaičius / Bendrasis darbuotojų skaičius; max
	SI_{phy6}	Suinteresuotųjų šalių įsitraukimas	Akredituotų suinteresuotųjų darbuotojų projektuose skaičius / Visų darbuotojų skaičius projekte; max
Politiniai rodikliai	SI_{pol1}	Nacionalinis ir ekonominis stabilumas	Šalies politinis ir ekonominis stabilumo lygis / Idealusis stabilumo lygis; max
	SI_{pol2}	Griežtas rangovų ir subrangovų atrankos procesas	Parinkimo procesų kiekis / Bendrasis rangovų ir subrangovų kiekis; max

	SI_{pol3}	Įmonės veikla tarptautiniu mastu	Projektų skaičius ir plėtros tarptautiškumo lygis / Įmonės numatytasis tarptautiškumo lygis; max
	SI_{pol4}	Politinė aplinka ir įmonės įsitraukimas į aplinkosauginę politiką	Aplinkosauginės politikos srityje aktyvių įmonės darbuotojų skaičius / Visų darbuotojų skaičius; max

2.10 lentelės tęsinys

Tvarumo grupės	Rodiklio kodas	Rodiklis	Apibūdinimas, rodiklis, minimumo (min) ar maksimumo (max) siekiamumas
	SI_{pol5}	Terminų laikymasis ir mokėjimas laiku	Faktinė mokėjimo data / Planuojama mokėjimo data; max
	SI_{pol6}	Skaidrumas ir holistinis požiūris	Įmonės skaidrumo lygis / Numatytasis skaidrumo lygis; max
Technologiniai rodikliai	SI_{tech1}	Inovacijos ir nuolatiniai patobulinimai	Įdiegtų inovacijų skaičius / Visų projektų skaičius; max
	SI_{tech2}	Projekto išpildymas ir klientų pasitenkinimas	Patenkintų darbuotojų skaičius / Klientų ir darbuotojų skaičius; max
	SI_{tech3}	Tvariųjų medžiagų naudojimas	Naudotų tvariųjų medžiagų kiekis / Visų naudotų medžiagų kiekis; max
	SI_{tech4}	Naujųjų technologijų diegimas	Naujųjų technologijų įgyvendinimas / Prieinamų naujųjų technologijų kiekis; max
	SI_{tech5}	Kokybės ir produktyvumo lygis	Faktinis produktyvumo lygis / Planuojamas produktyvumo lygis; max
	SI_{tech6}	Sistemų taikymas	Naujųjų sistemų taikymas operacijose / Operacijų skaičius; max
Ekonominiai rodikliai	SI_{eco1}	Pelno našumas	Pelnas per mėnesį / Planuotasis pelnas per mėnesį; (Eur) max
	SI_{eco2}	Ištekliai ir sėkmingas jų valdymas	Išteklių naudojimas / Planuotasis išteklių naudojimas; min
	SI_{eco3}	Pinigų planavimas	Tiesioginės sąnaudos per mėnesį / Visos planuotos sąnaudos per mėnesį; min
	SI_{eco4}	Lėšos labdarai ir visuomeninei veiklai	Dalyvavimas socialinėse veiklose / Savivaldybės įmonių dalyvavimo socialinėse veiklose vidurkis; max
	SI_{eco5}	Konkurencija tarp įmonių ir sąžiningos kainos	Įmonės kainos / Šalies vidutinės kainos panašiuose projektuose; min
Ekologiniai rodikliai	SI_{eco1}	Poveikis aplinkai	Pokyčiai, kuriuos žmonių veikla sukelia aplinkai, galintys neigiamai paveikti įmonės ekosistemą / Visi projekto aplinkos pokyčiai; min
	SI_{eco2}	Išlaidų mažinimas, diegiant tvariąsias praktikas	Pelningumo padidėjimas, įgyvendinant tvariąsias idėjas / Bendrasis įmonės pelningumas; (Eur) max
	SI_{eco3}	Apkrova gamtai	Apkrova gamtai, sukurta įmonės / Numatytasis krūvis gamtai; min

2.10 lentelės pabaiga

Tvarumo grupės	Rodiklio kodas	Rodiklis	Apibūdinimas, rodiklis, minimumo (min) ar maksimumo (max) siekiamumas
	SI_{eco4}	Darnioji darbo praktika	Tvariųjų darbo praktikų kiekis / Bendrasis darbo praktikų kiekis; max
Socialiniai rodikliai	SI_{soc1}	Projekto komandos patenkinimas	Patenkintų projekto komandos narių skaičius / Visų projekto komandos narių skaičius; max
	SI_{soc2}	Tikslinės paskatos ir kompensacijos	Išmokėtosios premijos darbuotojams / Numatytosios premijos; max
	SI_{soc3}	Darbuotojų ir darbdavių švietimas	Mokymo valandų skaičius / Bendrasis darbuotojų darbo valandų skaičius; max
	SI_{soc4}	Darbuotojų teisės	Faktinis teisių, susijusių su darbdavių ir darbuotojų santykiais, laikymasis įmonėje / Teisių laikymosi procentas šalyje; max
	SI_{soc5}	Viešieji santykiai ir visuomenės įsitraukimas	Faktinis įmonės veiksmų ar elgesio pripažinimas ir pagarba socialinėje aplinkoje / Numatytasis įmonės veiksmų pripažinimas ir pagarba; max

Normalizavus rodiklius, visų jų reikšmės tampa bedimensės ir priklauso intervalui [0; 1] (Dobrovolskienė & Tamošiūnienė, 2016). 2.10 lentelėje rodikliai pagal tai, kaip jie veikia tvarumą, suskirstyti į maksimizuojamuosius (lentelėje jie žymimi max) ir minimizuojamuosius (lentelėje žymimi min).

2.3.2. Rodiklių agregavimas ir kompozitinio tvarumo indekso kūrimas statybos įmonių tiekimo grandinės valdymui vertinti

Galutinis vertinimo etapas vadinamas agregavimu. Žinant rodiklių vertes, galima sukurti bendrąjį matavimo rodiklį – tvarumo indeksą statybos įmonėms. Populiariausias agregavimo būdas yra svertinių ir normalizuotųjų individualiųjų rodiklių sumavimas. Statybos įmonės kompozitinis tvarumo indeksas ($S\{KTI\}$) tiekimo grandinės valdymui nustatomas taip:

$$S\{KTI\} = \sum_{i=1}^n w_i^{gl} SI_{Ni}, \quad (2.45)$$

čia $S\{KTI\}$ – bendrasis tvariosios tiekimo grandinės indeksas; w_i^{gl} – tvarumo rodiklio i normalizuotasis bendrasis reikšmingumas; SI_{Ni} – tvarumo rodiklio i normalizuotoji vertė; n – rodiklių skaičius.

$$0 \leq S\{KTI\} \leq 1. \quad (2.46)$$

Kompozitiniu tvarumo indeksu galima išsamiai įvertinti statybos įmonių TG tvarumą. Įmonės įvertinamos ir priskiriamos tvarumo kategorijai pagal jų veiklos rezultatus įvairiose tvarumo dimensijose. Kategorijos gali kisti nuo „tvartosios“, rodančios aukštą tvarumo integracijos ir veiklos lygį, iki „netvartosios“, rodančios reikšmingą poreikį gerinti tvarumo praktikas.

2.3. Antrojo skyriaus išvados

1. Atlikta išsami mokslinių literatūros šaltinių analizė ir teoriniai tyrimai leido išrinkti tvartuosius rodiklius, darančius įtaką statybos įmonių TGV. Su tvarumo rodiklių pagalba statybos įmonės gali identifikuoti TGV ypatumus ir suprasti, kuriose grandyse slypi problemos, ir jas išspręsti. Tvarumo rodiklių yra keliasdešimt, todėl jie sugrupuoti pagal Brutlando konvencijos nutarimą į septynias tvarumo grupes: ekonominę, politinę, aplinkosauginę, ekologinę, socialinę, technologinę ir fizinę. Šios tvarumo rodiklių grupės toliau nagrinėjamos trečiajame skyriuje.
2. Viena iš svarbiausių daugiakriterės analizės dalių – tvarumo rodiklių svorių nustatymas. Akivaizdu, kad tvarumo rodiklių svarba yra nevienoda skirtingam statybos įmonių TGV. Skyriuje pristatyti tvarumo rodiklių svorių skaičiavimo metodai (pvz., ekspertinio vertinimo skaičiavimas, rodiklių kategorizavimas, daugiakriterių metodų naudojimas ir kompozitinio indekso sudarymas) gali būti plačiai naudojami ir kitiems panašiams statybos įmonių TGV rodikliams apskaičiuoti. Pristatytais tvarumo rodiklių reikšmingumų skaičiavimo metodais statybos ekspertai gali nustatyti ir ištirti jų įmonėse esančias tiekimo grandinės problemas.
3. Statybos įmonių TTGV vertinimo priemonė, apimanti ekspertinį vertinimo metodą, tvarumo rodiklių kompozitinį indeksą ir daugiakriterių sprendimo priėmimo DEMATEL, BWM ir MABAC metodų kompleksą taikymą, yra veiksmingas ir universalus būdas įvertinti tvarumo rodiklių svarbą statybos įmonių TG, į(si)vertinti tvarumo praktikas statybos įmonių TG, parinkti geriausius tiekėjus statybos įmonėms ir vertinti kitus statybos įmonių tvartosios tiekimo grandinės dalių aspektus.

Statybos įmonių tvariosios tiekimo grandinės valdymo į(si)vertinimo priemonės taikymas

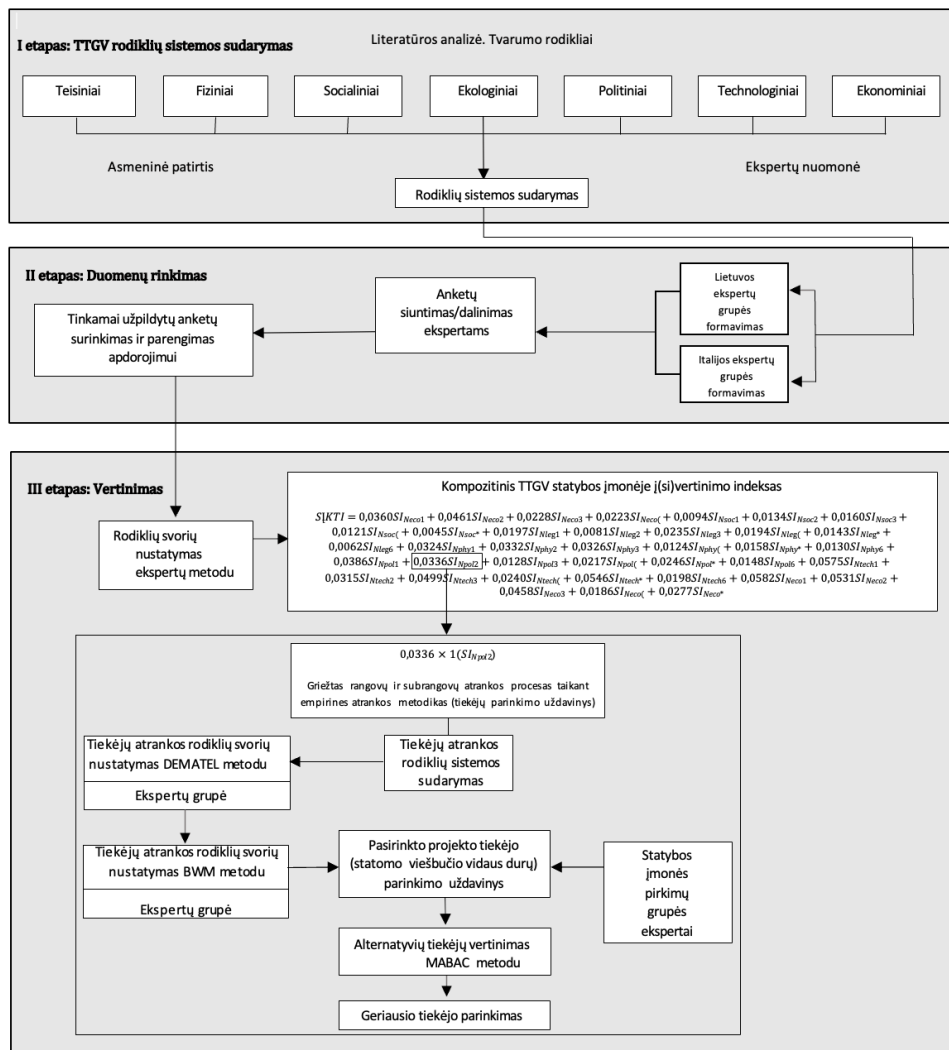
Šiame skyriuje statybos įmonėse taikomų TTGV rodiklių svoriai yra nustatomi ekspertų apklausos būdu. Žinant tvarumo rodiklių vertes, sukuriamas kompozitinis tvarumo indeksas statybos įmonių TG tvarumui į(si)vertinti. Tuomet, sudarius kompleksinę statybos įmonėse taikomų TTGV rodiklių sistemą, sukuriamą statybos įmonių TTGV vertinimo priemonė. Pasirinkus nedidelę statybos įmonės TG dalį – SI_{Npol2} rodiklį (griežtas rangovų ir subrangovų atrankos procesas), atliekamas statybos įmonės TTG partnerių (tiekėjų) vertinimas realiaame projekte pagal sudarytą rodiklių sistemą, taikant daugiakriterius sprendimų priėmimo metodus (DEMATEL, BWM ir MABAC). Galiausiai aptariamos statybos įmonių TTGV į(si)vertinimo priemonės praktinio taikymo perspektyvos ir galimos tolesnių tyrimų kryptys.

Pagal šio skyriaus rezultatus paskelbti straipsniai (Cataldo 2023; Cataldo et al. 2025) ir perskaitytas pranešimas konferencijoje (Cataldo 2022b).

3.1. Tyrimo eiga

Tyrimas atliekamas pagal 3.1 paveiksle pateiktą schemą. Jos naudojimas, remiantis tvarumo rodikliais, galėtų padėti statybos įmonei į(si)vertinti tvarumo

praktikas tiekimo grandinėje, parinkti geriausius tiekėjus ir užkirsti kelią trikdžiams tiekimo grandinėje. Apklausos patikimumas suderintas, o apklausoje minimi ekspertai, vertinę rodiklius ir atlikę pavyzdinį ekspertinį vertinimą, yra skirtingi ir jų imtis kita.



3.1 pav. Statybos įmonių TTGV daugiakriterės vertinimo metodikos rengimo schema (sudaryta autorės)

Fig. 3.1. Development scheme of SSCM multi-criteria evaluation for construction companies (compiled by the author)

Pirmasis tyrimo etapas yra TTGV rodiklių sistemos sudarymas. Remiantis mokslinių darbų literatūros analize, asmenine patirtimi ir ekspertų nuomone, buvo išskirti 38 tvarumo rodikliai, turintys didžiausią įtaką statybos įmonių TTGV vertinimui. Norint tikslesnio tvarumo rodiklių įvertinimo, jie buvo suskirstyti į septynias darbo autorės sudarytas tvarumo grupes (teisinę, fizinę, socialinę, ekologinę, politinę, technologinę ir ekonominę). Taip buvo sudaryta tvarumo rodiklių sistema.

Vėliau sekė duomenų rinkimo etapas: buvo formuojamos dvi ekspertų grupės iš Lietuvos ir Italijos. Paskui anketos buvo siunčiamos (dalijamos) ekspertams. Tinkamai užpildytos anketos buvo išanalizuotos ir parengtos apdorojimui.

Vertinimo etape tvarumo rodiklių svoriai buvo nustatomi ekspertinio vertinimo metodu. Normalizavus tvarumo rodiklių svorius, buvo formuojamas kompozitinis TTGV statybos įmonėje į(si)vertinimo indeksas. Iš visų 38-ių tvarumo rodiklių buvo pasirinktas vienas rodiklis – SI_{Npol2} (griežtas rangovų ir subrangovų atrankos procesas, taikant empirines atrankos metodikas) ir formuojamas tiekėjų parinkimo uždavinys. Po šio etapo sudaroma tiekėjų atrankos rodiklių sistema, kuriai priklauso 7 rodiklių grupės. Išanalizavus ekspertų grupių atsakymus į anketas, tiekėjų atrankos rodiklių svoriai nustatyti DEMATEL ir BWM daugiakriteriais sprendimų priėmimo metodais. Galiausiai sudarytas pasirinkto projekto tiekėjo (statomo viešbučio vidaus durų) parinkimo uždavinys. Statybos įmonės pirkimų grupės ekspertai MABAC metodu įvertino alternatyvius tiekėjus statomo viešbučio vidaus durų užsakymui ir buvo parinktas geriausias tiekėjas projektui.

3.2. Tiekimo grandinės tvarumo rodiklių vertinimas

Siekiant įvertinti pagrindinį tvarumo rodiklių rinkinį ir jų grupes, pritaikytas Delfų metodas. Delfų metodas yra iteracinis procesas, apimantis diagiapakopę procedūrą, kurios metu užtikrinamas grįžtamasis ryšys, nepriklausoma ekspertų nuomonė ir anonimiškumas (Tura et al., 2019). Delfų metodu pagrįstame ekspertų nuomonių tyrime remiamasi principu, jog struktūruotos ekspertų grupės sprendimai yra tikslesni nei vertinant jų nuomones nestruktūruotai ar individualiai. Delfų metodo praktika yra plačiai taikoma daugelyje akademinių sričių, pavyzdžiui, atliekant statybos projektų vertinimą (Yeung et al., 2023), taip pat turto valdymo (Turskis et al., 2009), energetikos (Zhu et al., 2023), gamybos (Tatari et al., 2015) tiekimo grandinių vertinimą (Bastas & Liyanage, 2018).

3.2.1. Rodiklių reikšmingumo nustatymas Delfų metodu

Pirma, buvo sudarytos apklausos ir atlikti pusiau struktūriniai interviu, siekiant patvirtinti TTGV rodiklių, gautų sisteminės literatūros apžvalgos metu, taikymą ir svarbą statybos įmonėse. Struktūruoti interviu Delfų metodu šiame darbe buvo atlikti pagal Tura et al. (2019) interviu planavimo strategijos gaires. Anketos su šiais tvarumo rodikliais buvo sudarytos ir įteiktos įvertinti tvariosios statybos ekspertams Italijoje ir Lietuvoje. Iš 3.1 lentelės galima spręsti, kurių sričių atstovai dominavo rengtoje apklausoje Italijoje ir Lietuvoje. Matoma, jog didžiausias respondentų skaičius (5 iš 30-ies dalyvavusiųjų buvo iš ekologinių namų projektavimo ir statybos srities), taip pat akademinės aplinkos bei statybos logistikos srities (po 4 respondentus).

3.1 lentelė. Respondentų skaičius statybos pramonės šakose pirmojoje apklausos dalyje (sudaryta autorės)

Table 3.1. Number of respondents in construction industries in the 1st part of the survey (compiled by the author)

Nr.	Veikla	Respondentų darbo pobūdis	Respondentų skaičius
1	Statybinės medžiagos	įmonės vadovas, inžinierius	2
2	Statybinių atliekų išvežimas	operacijų vadovas	2
3	Statybos logistika	logistikos projektų vadovas, administratorius	4
4	Saulės energija	projektų vadovas	1
5	Atsinaujinančiosios technologijos	direktorius, atsinaujinančiųjų technologijų inžinierius	2
6	Dizainas ir statyba	aplinkosaugos inžinierius, projektuotojas	3
7	Akademinė aplinka	dėstytojas, tyrėjas	4
8	Ekonomų statymas ir projektavimas	tvariųjų namų statytojas ir projektuotojas	5
9	Moduliniai namai	inžinierius, projektuotojas	2
10	Infrastruktūra ir plieno konstrukcijos	statybos projektų vadovas	1
11	Žalioji statyba ir pasyvieji namai	inžinierius, darbuotojas	2
12	Architektūra	dizaineris, architektas	2
Iš viso			30 respondentų

Visos šios apklausos interviu sesijos vyko nuo 2022 m. balandžio iki gruodžio mėn. Apklausos buvo atliekamos gyvai ir internetu. 3.2 lentelėje pateikta informacija apie respondentų profilį. Matyti, jog didžioji dauguma apklausoje dalyvavusių ekspertų buvo vyriškosios lyties (net 23 iš 30-ies), vidutinis respondentų amžius buvo tarp 30 ir 49 metų. Dauguma respondentų buvo baigę aukštąjį universitetinį išsilavinimą (86,67 proc.), o daugumos įmonių, kurioms atstovavo ekspertai, darbuotojų skaičius buvo tarp 10 ir 15-os darbuotojų (50 proc.). Daugiausia respondentų atsakė, kad jų darbo statyboje patirtis siekė nuo 10 iki 15-os metų (43,33 proc.).

3.2 lentelė. Respondentų, dalyvavusių pirmojoje apklausoje, profilis (pirmojoje apklausos dalyje) (sudaryta autorės)

Table 3.2. Profile of respondents who took part in the 1st part of the survey (compiled by the author)

Respondentų profilis	Klasifikavimas	Skaičius	Procentas
Amžius	20–29 metų	4	13,33
	30–39 metų	11	36,67
	40–49 metų	9	30
	50 ir daugiau metų	6	20
Lytis	vyras	23	76,67
	moteris	7	23,33
Išsilavinimas	aukštasis koleginis	4	13,33
	aukštasis universitetinis	26	86,67
Veiklos sritis	vystytojas	8	26,67
	dizaineris, konsultantas	7	23,33
	rangovas	11	36,67
	mokslininkas	4	13,33
Darbuotojų skaičius įmonėje	1–9 žmonės	7	23,33
	10–19 žmonių	15	50
	50–249 žmonės	5	16,67
	>250 žmonių	3	10
Patirtis metais	Mažiau nei 5 metai	2	6,67
	5–9 metų	6	20
	10–15 metų	13	43,33
	Daugiau nei 15 metų	9	30

Iš viso buvo pateiktos 78 anketos, iš jų pilnai užpildytos, buvo grąžinta 30 anketų. Kiekvieno tvarumo rodiklio duomenys su vietiniais, individualiaisiais,

bendraisiais reikšmingumais ir bendraisiais normalizuotaisiais reikšmingumais ir rangais pateikti 3.3 lentelėje.

3.3 lentelė. Tiekimo grandinės tvarumo rodiklių rangavimas su vietiniais, individualiaisiais ir bendraisiais reikšmingumais (sudaryta autorės)

Table 3.3. Ranking of supply chain sustainability indicators with local, individual, and general significances (compiled by the author)

Tvarumo grupė	Grupės svoris	Kodas	Rodiklis	Vietinis reikšmingumas w_i	Individualusis reikšmingumas w_i^{ind}	Globalusis reikšmingumas	Globalusis normalizuotasis reikšmingumas w_i^{gd}	Rangas
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ekologiniai rodikliai	0,1711	SI_{Neco1}	poveikis aplinkai	0,2833	1,1332	0,1939	0,0360	9
		SI_{Neco2}	išlaidų mažinimas, diegiant tvariąsias praktikas	0,3625	1,4500	0,2481	0,0461	6
		SI_{Neco3}	apkrova gamtai	0,1792	0,7168	0,1226	0,0228	19
		SI_{Neco4}	darnioji darbo praktika	0,1750	0,7000	0,1198	0,0223	20
Socialiniai rodikliai	0,0595	SI_{Nsoc1}	projekto komandos patenkinimas	0,1694	0,8470	0,0504	0,0094	35
		SI_{Nsoc2}	tikslinės paskatos ir kompensacijos	0,2417	1,2085	0,0719	0,0134	30
		SI_{Nsoc3}	darbuotojų ir darbdavių švietimas	0,2889	1,4445	0,0859	0,0160	26
		SI_{Nsoc4}	darbuotojų teisės	0,2194	1,0970	0,0653	0,0121	34
		SI_{Nsoc5}	viešieji santykiai ir visuomenės įsitraukimas	0,0806	0,4030	0,0240	0,0045	38
Teisiniai rodikliai	0,0818	SI_{Nleg1}	aplinkos vadyba	0,2163	1,2978	0,1062	0,0197	23
		SI_{Nleg2}	rizikos valdymo mechanizmas	0,0893	0,5358	0,0438	0,0081	36
		SI_{Nleg3}	efektyvumas ir kaina	0,2579	1,5474	0,1266	0,0235	18
		SI_{Nleg4}	geriausios praktikos strategija	0,2123	1,2738	0,1042	0,0194	24

		<i>SI_{Nieg5}</i>	rangovo įsipareigojimų vykdymas	0,1567	0,9402	0,0769	0,0143	29
		<i>SI_{Nieg6}</i>	ataskaitos ir tikslinga dokumentacija	0,0675	0,4050	0,0331	0,0062	37

3.3 lentelės tęsinys

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fiziniai rodikliai	0,1250	SI_{Nphy1}	tvarusis projekto įgyvendinimas	0,2321	1,3926	0,1741	0,0324	13
		SI_{Nphy2}	tvarusis išteklių naudojimas	0,2381	1,4286	0,1786	0,0332	11
		SI_{Nphy3}	darbo atlikimas ir galutiniai rezultatai	0,2341	1,4046	0,1756	0,0326	12
		SI_{Nphy4}	bendradarbiavimas ir tarpusavio pasitikėjimo ugdymas	0,0893	0,5358	0,0670	0,0124	33
		SI_{Nphy5}	darbuotojų atskaitomybė	0,1131	0,6786	0,0848	0,0158	27
		SI_{Nphy6}	suinteresuotųjų šalių įsitraukimas	0,0933	0,5598	0,0700	0,0130	31
Politiniai rodikliai	0,1310	SI_{Npol1}	nacionalinis ir ekonominis stabilumas	0,2639	1,5832	0,2074	0,0386	8
		SI_{Npol2}	griežtas rangovų ir subrangovų atrankos procesas	0,2302	1,3811	0,1809	0,0336	10
		SI_{Npol3}	įmonės veikla tarptautiniu mastu	0,0873	0,5237	0,0686	0,0128	32
		SI_{Npol4}	politinė aplinka ir įmonės įsitraukimas į aplinkosauginę politiką	0,1488	0,8927	0,1169	0,0217	21
		SI_{Npol5}	terminų laikymasis ir mokėjimas laiku	0,1687	1,0121	0,1326	0,0246	16
		SI_{Npol6}	skaidrumas ir holistinis požiūris	0,1012	0,6071	0,0795	0,0148	28
Technologiniai rodikliai	0,2128	SI_{Ntech1}	inovacijos ir nuolatiniai patobulinimai	0,2421	1,4526	0,3091	0,0575	2
		SI_{Ntech2}	projekto išpildymas ir klientų pasitenkinimas	0,1329	0,7974	0,1697	0,0315	14
		SI_{Ntech3}	tvariųjų medžiagų naudojimas	0,2103	1,2618	0,2685	0,0499	5
		SI_{Ntech4}	naujų technologijų diegimas	0,1012	0,6072	0,1292	0,0240	17
		SI_{Ntech5}	kokybės ir produktyvumo lygis	0,2302	1,3812	0,2939	0,0546	3
		SI_{Ntech6}	sistemų taikymas	0,0833	0,4998	0,1064	0,0198	22

3.3 lentelės pabaiga

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ekonominiai rodikliai	0,2188	SI_{Neco1}	pelnas	0,2861	1,4305	0,3130	0,0582	1
		SI_{Neco2}	ištekliai ir sėkmingas jų valdymas	0,2611	1,3055	0,2856	0,0531	4
		SI_{Neco3}	pinigų planavimas	0,2250	1,1250	0,2462	0,0458	7
		SI_{Neco4}	lėšos labdarai ir visuomeninei veiklai	0,0917	0,4585	0,1003	0,0186	25
		SI_{Neco5}	konkurencija tarp įmonių ir sąžiningos kainos	0,1361	0,6805	0,1489	0,0277	15

Tvarumo rodiklių svarba, vertinant statybos įmonių tiekimo grandines ir jų valdymą, yra nevienoda. Todėl viena iš svarbiausių daugiakriterės analizės dalių yra tvarumo rodiklių svorių nustatymas. Tai lemia tam tikrų valdymo aspektų įtakos statybos įmonių TG procese įvertinimą, todėl turi būti taikomas visuose daugiakriteriuose vertinimo uždaviniuose. Yra dvi pagrindinės rodiklių reikšmingumų grupės, pagal kurias galima juos skirstyti: objektyvieji reikšmingumai, kurie nustatomi naudojant matematinės formules ir metodus, ir subjektyvieji, kurie nustatomi subjektyviu žmogaus požiūriu. Žinant tvarumo rodiklių reikšmingumus, toliau gali būti skaičiuojamas kompozitinis tvarumo indeksas statybos įmonės TG tvarumui vertinti.

3.2.2. Kompozitinio indekso skaičiavimo algoritmas statybos įmonės tiekimo grandinės tvarumui vertinti

Siekiant kiekybiškai įvertinti tvarumo praktikas statybos įmonių TG, buvo pasiūlytas kompozitinis tvarumo indeksas, padedantis atlikti tvarumo į(si)vertinimą statybos įmonių TG, pasitelkiant tvarumo rodiklių svorių sistemą. Šio tyrimo rezultatai rodo, jog pateiktas kompozitinis tvarumo indeksas yra tinkamas sistemingam, išsamesniam, tikslesniam ir struktūrizuotam statybos įmonės TG tvarumo vertinimui.

Tvarumo indekso taikymas palengvina lyginamosios analizės procesą. Siekiant darbo tikslo ir kuriant priemonę statybos įmonių TTGV įvertinti, šiame darbe naudojama kompozitinio indekso metodologija, pagrįsta Oliveiros et al. (2019), Hatefi (2023), Zhou et al. (2012) bei Dobrovolskienės ir Tamošiūnienės (2016) tyrimais. Kuriant šį kompozitinį indeksą, buvo naudojami anksčiau aptarti rezultatai iš apklausų, kur ekspertinio vertinimo būdu įvertinti tvarumo rodikliai.

Ekspertai įvertino statybos įmonių TG tvarumo rodiklius pagal jų svarbą, nuo svarbiausių iki mažiau svarbių. Skalė, naudota šiems rodikliams įvertinti,

priklausė nuo rodiklio numerio grupėje: pavyzdžiui, nuo 1 iki 6 technologiniams rodikliams, kur 1 reiškė „labai svarbu“, o 6 – „visiškai nesvarbu“, ir nuo 1 iki 5 ekonominiams rodikliams, kur 1 reiškė „labai svarbu“, o 5 – „visiškai nesvarbu“, ir t. t.

Kiekvienam TG tvarumo rodikliui sukuriami balų sistema (3.4 lentelė), pagrįsta per tam tikrą laiko tarpą (metus, porą metų ar penkmetį) pasiekto rezultato ir atitinkamo tikslo palyginimu, nes pasirinkti tvarumo rodikliai matuojami skirtingais vienetais. Todėl tiesioginis jų palyginimas yra neįmanomas. Rodikliai po normalizavimo yra bedimensiniai ir priklauso intervalui $[0, 1]$, čia 0 reiškia blogiausią, o 1 – geriausią padėtį. Taip pat sukuriami balų sistema technologiniams ir ekonominiams rodikliams išmatuoti. Procentinis (%) balas buvo gautas padalijus metinį rodiklio rezultatą iš atitinkamo tikslo. Jei tvarumo rodiklis pasiekia arba pranoksta tikslą, jis gauna 100 % ar didesnę balą; jei ne – gauna žemesnę nei 100 % balą. Kiekviena statybos įmonė tiekimo grandinėje turėtų nustatyti tikslus kiekvienam rodikliui. Pavyzdžiui, tvaryjū medžiagų naudojimas turėtų sudaryti bent 80 % visų su įmonės veikla susijusių medžiagų. Taigi, SI_{Ni}^{targ} lygus 80 %. Tarkime, kad SI_{Ntech3} yra 50 % įmonės tvaryjū medžiagų naudojimas. Tada rodiklio normalizuotoji vertė SI_{Ntech3} būtų lygi 0,625. Jei įmonė TG taiko empirines atrankos metodikas, tuomet rodiklis vertinamas 1, kuris yra dauginamas iš ekspertiniu metodu nustatyto reikšmingumo. Jeigu statybos įmonė TG netaiko jokių atrankos metodikų, rodiklio vertinimas lygus 0. Jeigu statybos įmonė taiko atrankos, tačiau ne empirines metodikas, rodikliams skiriamas 0,5 balas. Pavyzdžiui, jeigu statybos įmonė iš 10 duotųjų TG tvarumo vertinimo rodiklių taiko tik vieną pagal empirinę atrankos vertinimo metodiką, tuomet tos TG tvarumo vertė bus lygi $\frac{1}{10} = 0,1$. Tiek kompozitinio indekso formavimas, tiek vertinimas atliekami pagal tiesinę skalę. Todėl rezultatai ir tvarumo vystymosi poveikis gali būti lengvai stebimi ir paaiškinami vertinamoms statybos įmonėms (Sebestyén et al., 2024). Šį indekso skaičiavimo metodą galima naudoti tiek bendrajam, tiek suminiam rodiklių tvarumui skaičiuoti.

3.4 lentelė. Kokybinės kompozitinio indekso kategorijos tvarumo rodikliams (sudaryta autorės)

Table 3.4. Quality categories of composite index for sustainability indicators (compiled by the author)

Kokybinė tvarumo indekso kategorija	Balo daliklis	Paaiškinimas
-------------------------------------	---------------	--------------

Tvarumas maksimaliai išpildytas	1–0,9	Stipraus tvarumo potencialo kategorija įvertinami rodikliai statybos įmonėms, kurios parodė išskirtinį įsipareigojimą ir pažangą, įgyvendinant tvarumo praktikas pagal skirtingus rodiklių aspektus, demonstruodamos gebėjimą skatinti inovacijas ir vadovauti tvarumo iniciatyvoms.
---------------------------------------	-------	--

3.4 lentelės pabaiga

Kokybinė tvarumo indekso kategorija	Balo daliklis	Paaškinimas
Stipri tvarumo praktikų veikla	0,89–0,7	Reikšmingo tvarumo potencialo kategorija įvertinami rodikliai statybos įmonėms, kurios padarė pastebimą pažangą tvarumo rodiklio srityje ir turi potencialą tolesnėms inovacijoms ir tobulinimui.
Gera tvarumo praktikų veikla	0,6–0,69	Gero tvarumo potencialo kategorija atspindi rodiklius įmonėse, kurios pasiekė tvirtą pagrindą tvarumo praktikose, demonstruodamos įsipareigojimą atsakingai verslo veiklai.
Viršijanti vidurkį tvarumo praktikų veikla	0,5–0,59	Viršijančia vidurkio tvarumo potencialo kategorija įvertinami rodikliai statybos įmonėms, kurių tvarumo praktikos viršija pramonės vidurkį, demonstruodamos nuolatinio tobulinimo įsipareigojimą.
Vidutinė tvarumo praktikų veikla	0,4–0,49	Vidutinio tvarumo potencialo kategorija įvertinami rodikliai statybos įmonėms, kurios įgyvendino pagrindines tvarumo priemones, bet turi galimybę pagerinti tvarumo integraciją į savo pagrindinę veiklą.
Žemesnė nei vidurkis tvarumo praktikų veikla	0,3–0,39	Žemesne nei vidurkis tvarumo potencialo kategorija įvertinami rodikliai statybos įmonėms, kurios pralenkia pramonės vidurkį tvarumo veiklos požiūriu ir turi reikšmingą galimybę pagerinti savo tvarumo praktikas.
Silpnas tvarumo praktikų veiklumas	0,29–0,1	Silpno tvarumo potencialo kategorija įvertinami rodikliai statybos įmonėms su ribotu tvarumo integravimu ir veikla, reikalaujančiomis didelių pastangų, gerinant jų tvarumo praktikas.
Netvarus arba rodiklis nepritaikomas	0	Netvarumo kategorija įvertinami rodikliai statybos įmonėms, kurios rodo mažą įsipareigojimą tvarumui, demonstruodamos praktikas, kurios yra žalingos aplinkai, visuomenei ir ilgalaikiam verslo gyvybingumui.

Žinant tvarumo rodiklių svorius, pilnoji statybos įmonės TG kompozitinio tvarumo vertinimo indekso (3.1) formulė atrodytų taip:

$$\begin{aligned}
 SI_{KTI} = & 0,0360SI_{Neco1} + 0,0461SI_{Neco2} + 0,0228SI_{Neco3} + \\
 & 0,0223SI_{Neco4} + 0,0094SI_{Nsoc1} + 0,0134SI_{Nsoc2} + 0,0160SI_{Nsoc3} + \\
 & 0,0121SI_{Nsoc4} + 0,0045SI_{Nsoc5} + 0,0197SI_{Nleg1} + 0,0081SI_{Nleg2} + \\
 & 0,0235SI_{Nleg3} + 0,0194SI_{Nleg4} + 0,0143SI_{Nleg5} + 0,0062SI_{Nleg6} + \\
 & 0,0324SI_{Nphy1} + 0,0332SI_{Nphy2} + 0,0326SI_{Nphy3} + 0,0124SI_{Nphy4} + \\
 & 0,0158SI_{Nphy5} + 0,0130SI_{Nphy6} + 0,0386SI_{Npol1} + 0,0336SI_{Npol2} + \\
 & 0,0128SI_{Npol3} + 0,0217SI_{Npol4} + 0,0246SI_{Npol5} + 0,0148SI_{Npol6} + \\
 & 0,0575SI_{Ntech1} + 0,0315SI_{Ntech2} + 0,0499SI_{Ntech3} + 0,0240SI_{Ntech4} +
 \end{aligned}$$

$$0,0546SI_{Ntech5} + 0,0198SI_{Ntech6} + 0,0582SI_{Neco1} + 0,0531SI_{Neco2} + 0,0458SI_{Neco3} + 0,0186SI_{Neco4} + 0,0277SI_{Neco5} \quad (3.1)$$

Iš septynių tvarumo rodiklių grupių, kurios veikia statybos įmonių TGV, paaiškėjo, kad ekonominiai rodikliai yra svarbiausia grupė (reikšmingumas 0,2188), o technologiniai rodikliai yra antrieji pagal svarbumą (reikšmingumas 0,2128), kaip parodyta 3.5 lentelėje. Ekspertų nuomone, ekonominiai ir technologiniai rodikliai vaidina lemiamą vaidmenį, vertinant tvarumą statybos įmonių TG. Ekologiniai rodikliai negali būti atmesti, siekiant statybos įmonės TG tvarumo sėkmės, nepaisant jiems priskirto šiek tiek mažesnio reikšmingumo (0,1711). Siekiant patikrinti susitarimą tarp dalyvių dėl tvarumo rodiklių, buvo apskaičiuotas Kendalo nuomonių konkordacijos koeficientas. Stiprus susitarimas dėl tvarumo rodiklių grupių rangavimo buvo patvirtintas Kendalo konkordacijos koeficientu 0,6305 ($\chi^2 = 90,786 > \chi^2_{\alpha,v} = 16,812, \alpha = 0,01$) ($0,5 \geq W > 0,7$ pagal Hatefi (2023)). Kiekvienai tvarumo rodiklių grupei Kendalo vertės W ir χ^2 pateiktos 3.5 lentelėje.

3.5 lentelė. Kiekvienos grupės parametrų vertės (sudaryta autorės)

Table 3.5. Values of each group's parameters (compiled by the author)

Parametrai	Tvarumo grupė						
	Ekologinė	Socialinė	Teisinė	Fizinė	Politinė	Technologinė	Ekonominė
W	0,4882	0,5674	0,7258	0,7103	0,6147	0,6046	0,6208
χ^2	35,15	54,467	87,095	85,238	73,762	72,548	59,6
df	3	4	5	5	5	5	4
$\chi^2_{\alpha,v}$	11,345	13,277	15,086	15,086	15,086	15,086	13,277

* Pastaba: $\alpha = 0,01$; df – laisvės laipsnis.

Apskaičiavus rezultatus, iš 3.5 lentelės matyti labai stiprus ekspertų nuomonių sutarimas ($0,7 \geq W > 0,9$, pagal Hatefi, 2023), išryškinant svarbius tiek teisinius, tiek fizinius tvarumo rodiklius. Be to, tarp dalyvių buvo patvirtintas sutarimas ($0,5 \geq W > 0,7$), kad įvairios tvarumo rodiklių grupės – ekonominės, politinės, technologinės ir socialinės – yra gyvybiškai svarbios tvariosioms statybos įmonių praktikoms TG. Be to, tarp ekspertų buvo pastebėtas nuomonių sutarimas ($0,3 \geq W > 0,5$) dėl ekologinių tvarumo rodiklių svarbos statybos įmonių TG tvarumui. Trys svarbiausi rodikliai (pelningumas ($w_{Neco1}^{gl} = 0,0582$), inovacijos ir tobulinimai ($w_{Ntech1}^{gl} = 0,0575$) ir kokybės bei produktyvumo lygis ($w_{Ntech5}^{gl} = 0,0546$)) pabrėžia svarbų finansinio ir operacinio veikimo vaidmenį, siekiant statybos įmonių TG tvarumo. Tai rodo, jog ekspertai ilgalaikiu laikotarpiu tvarumą kartu su aplinkosaugine ar socialine atsakomybe laiko strateginiu ir finansiškai įgyvendinamu aspektu statybos įmonių TG. Nors finansinis ir operacinis veikimas yra prioritetas, tačiau rodiklių, tokių kaip išteklių valdymas

($w_{Neco2}^{gl} = 0,0531$), tvariųjų medžiagų naudojimas ($w_{Ntech3}^{gl} = 0,0499$) ir išlaidų mažinimo iniciatyvos dėl tvariosios praktikos ($w_{Neco2}^{gl} = 0,0461$) įtraukimas, rodo ekspertų sąmoningumą dėl poreikio subalansuoti ekonominius tikslus su aplinkosauginiais aspektais.

Kompozitinio tvarumo indekso statybos įmonių TG vertinimui tyrimas patvirtino šias pagrindines nuostatas:

- kompozitinis tvarumo indeksas tinka vertinant daugumos statybos įmonių TG tvarumą, naudojant laisvai prieinamus įvesties duomenis, patikrintus atliekančių vertinimą ekspertų;
- su šio indekso pagalba gaunami statybos įmonės TG tvarumo vertinimo rezultatai ir sprendimai, kuriuos galima lengvai palyginti tarp kelių statybos įmonių arba vienoje įmonėje kas tam tikrą laiko tarpą;
- statybos įmonės TG tvarumo į(si)vertinimo rezultatai tiesiogiai siejami jos nustatytomis tvarumo gairėmis, rezultatai gali būti palyginami po kelerių metų, leidžiant įmonei įvertinti pasiektus ilgalaikius tvarumo tikslus.

3.3. Daugiakriterių metodų komplekso taikymas, parenkant statybos įmonės tiekėjus

Šiame etape buvo pasirinktas vienas normalizuotas rodiklis iš viso tvariųjų rodiklių sąrašo – SI_{Npol2} (griežtas rangovų ir subrangovų atrankos procesas), kuris bus toliau vertinamas geriausio tiekėjo pa(si)rinkimui vertinti Lietuvos statybos įmonių TG. Remiantis literatūros analize, buvo sukurta rodiklių (kriterijų) sistema SI_{Npol2} rodikliams vertinti, kurie turi tiesioginę įtaką, parenkant statybos įmonės TTGV tiekėjus. Šie rodikliai pateikiami 3.6 lentelėje. Turint rodiklių sąrašą, šiam apklausos etapui buvo parinkta 11 ekspertų, turinčių patirties Lietuvos statybos įmonių veikloje ir sutinkančių atlikti dvi apklausos dalis (tvarumo rodiklių vertinimas daugiakriteriais sprendimų priėmimo metodais DEMATEL ir BWM).

3.6 lentelė. Tvarumo rodikliai, kurie turi tiesioginę įtaką, parenkant statybos įmonių TTGV tiekėjus (sudaryta autorės)

Table 3.6. Sustainability indicators that have a direct influence on supplier selection in construction SSCM (compiled by the author)

Nr.	Rodiklis	Trumpinys	Apibūdinimas	Autoriai
1	Kaina	R_1	geriausia tiekėjų siūloma kaina norimam produktui	Feng & Gong, 2020; Tushar et al., 2022; Amindoust et al., 2012; Fallahpour et al., 2016

3.6 lentelės pabaiga

Nr.	Rodiklis	Trumpinys	Apibūdinimas	Autoriai
2	Pristatymas	R ₂	pristatymas laiku, pristatymo tikslumas ir patikimumas, paskirstymo kokybė	Govindan et al., 2020; Cavalcante et al., 2019; Ebrahim Qazvini et al., 2021; Amin & Zhang, 2012
3	Kokybė	R ₃	specifikacijų atitikimas ir sertifikavimas, atmetimo ar klaidų dažnumas	Feng & Gong, 2020; Mina et al., 2021; Kannan et al., 2020; Hou & Xie, 2019; Bai & Sarkis, 2010
4	Darnumas gamtai	R ₄	ŽTG naudojimas, aplinkosauginių normų atitikimas, tvarumo plėtra, gamtai draugiškų žaliavų naudojimas	Banaeian et al., 2018; Gören, 2018; Ecer & Pamucar, 2020; Azevedo et al., 2011
5	Reputacija	R ₅	ankstesnių darbų našumas, kokybiškas darbų atlikimas, klientų pasitenkinimas, kokybės išlaikymas	Mina et al., 2021; Govindan et al., 2020; Feng & Gong, 2020; Punniyamoorthy et al., 2011
6	Lankstumas	R ₆	plati produktų ir žaliavų pasiūla, atsakingumas, greitas trikdžių šalinimas, rizikos valdymas, prisitaikymas prie situacijos	Hou & Xie, 2019; Cengiz et al., 2017; Kannan et al., 2015; Bai & Sarkis, 2010
7	Gebėjimas pristatyti medžiagas ar prekes	R ₇	tvirtos finansinės ir techninės galimybės, tyrimų ir plėtros pajėgumai, vykdomieji gebėjimai, nuolatinis tobulėjimas	Gören, 2018; Ecer & Pamucar, 2020; Kannan et al., 2020; Gauthier, 2005

Respondentų, dalyvavusių šiose apklausos dalyse (antroji ir trečioji), charakteristikos pateikiamos 3.7 lentelėje:

3.7 lentelė. Ekspertų antrosios ir trečiosios apklausos dalies (DEMATEL ir BWM) charakteristikos (sudaryta autorės)

Table 3.7. Expert characteristics of 2nd and 3rd part (DEMATEL and BWM) of the questionnaire (compiled by the author)

Nr.	Klausimas		Ekspertai *
1	Amžius (metais)	20–29	3
		30–39	4
		40–49	1
		50 >	3

2	Lytis	vyras	7
		moteris	4

3.7 lentelės pabaiga

Nr.	Klausimas		Ekspertai *
3	Išsilavinimas	aukštesnysis	1
		aukštasis universitetinis	10
4	Atstovaujamos įmonės darbo sfera	užsakovas	2
		projektuotojas, konsultantas	1
		rangovas	5
		kita	3
5	Darbo patirtis	>5	3
		5–10	2
		10–15	1
		15>	5

*Dėl konfidencialumo nenurodomi ekspertų ir įmonių pavadinimai.

Pagal 3.7 lentelę galima spręsti, jog dauguma apklausoje dalyvavusių ekspertų yra baigę aukštąjį išsilavinimą (dešimt iš vienuolikos). Septyni iš vienuolikos ekspertų buvo vyriškos lyties, o penki iš vienuolikos ekspertų turėjo daugiau nei 15-os metų darbo patirtį.

3.3.1. DEMATEL metodo taikymas

DEMATEL metodo taikymo pirmasis etapas reikalauja atlikti porinį palyginimą tarp septynių rodiklių, prašant ekspertų įvertinti juos naudojant skalę nuo 0 iki 3 (Dalalah et al., 2011; Pamučar & Cirovic, 2015). 3.8 lentelėje pateikiamos visų sprendimų priėmėjų nuomonės (pvz., eksp. 1, eksp. 2, eksp. 3, ... , eksp. 11), paskirstytos prie kiekvieno rodiklio. Ekspertai lygina rodiklius nepriklausomai.

3.8 lentelė. Pradiniai ekspertų palyginimai DEMATEL metodu (sudaryta autorės)

Table 3.8. Initial comparisons of the respondents by DEMATEL method (compiled by the author)

	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆	R ₇
R ₁	(0,0,0,0,0,0,0,0,0,0)	(0,3,1,2,2,2,1,3,2,2,2)	(3,3,3,3,1,3,3,3,3,3,3)	(2,2,3,3,1,3,0,3,1,1,1)	(1,1,2,2,0,2,1,3,2,0,3)	(2,2,3,3,2,2,2,3,1,0,1)	(3,1,2,2,2,2,3,3,2,2,3)
R ₂	(0,2,1,2,2,2,1,2,2,3,2)	(0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0)	(1,0,0,0,1,2,2,2,3,2,3)	(1,2,0,2,0,1,2,2,2,1,2)	(3,3,3,2,0,1,3,2,3,1,3)	(3,3,3,3,2,2,2,2,3,2,3)	(1,2,3,3,1,1,3,2,2,2,3)
R ₃	(3,2,3,3,2,3,3,3,3,3,2)	(1,1,0,0,1,2,2,2,2,2,3)	(0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0)	(1,1,1,3,0,3,3,1,2,0,3)	(3,3,3,3,2,2,3,2,3,3,2)	(3,3,3,2,1,2,2,3,3,1,3)	(1,1,2,2,1,2,3,3,3,0,3)
R ₄	(2,2,2,3,3,2,1,1,2,1,1)	(1,3,1,3,1,2,2,2,2,2,2)	(1,1,3,2,3,3,2,2,1,1,3)	(0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0)	(3,2,3,3,1,2,2,1,2,2,1)	(1,1,2,3,1,2,1,2,2,2,1)	(1,1,1,3,1,2,2,1,2,1,2)

3.8 lentelės pabaiga

	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆	R ₇
R ₅	(1,3,3,1,2,2,2,2,3,3)	(3,1,3,2,1,2,3,2,2,2,2)	(3,3,3,2,2,3,3,3,2,3,3)	(3,1,1,1,3,3,2,2,1,1,3)	(0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0)	(2,2,3,3,1,2,2,2,1,3,2)	(2,1,3,2,1,2,2,2,2,3,2)
R ₆	(2,3,2,3,2,1,0,2,2,2,1,2)	(3,2,1,2,1,2,1,1,1,3,3)	(3,2,2,3,2,2,1,2,2,3,2)	(1,0,2,3,3,1,2,2,2,2,1)	(1,2,3,2,1,1,1,1,1,3,3)	(0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0)	(2,1,3,3,1,1,2,2,1,2)
R ₇	(3,3,1,3,2,2,2,2,1,2,2)	(1,2,2,2,2,1,1,3,2,2,3)	(1,1,1,3,1,2,2,2,1,3,2)	(1,1,3,1,1,3,1,2,1,2,3)	(1,3,3,3,1,2,1,3,2,1,1)	(2,3,3,3,2,2,2,2,1,2,2)	(0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0)

Pagal DEMATEL metodą, naudojant skalę nuo 0 iki 3 (0 – vieno rodiklio reikšmė kito vertinimui neturi įtakos; 1 – turi labai mažą įtaką; 2 – turi vidutinę įtaką; 3 – turi didelę įtaką), kiekvienam ekspertui sudaromos septynios lentelės, kurias jis turi užpildyti, vertindamas rodiklių vertes tarpusavyje. Vėliau visų ekspertų nuomonės sujungiamos. 3.9 lentelėje pateikiama jų geometrinė vidurkio reikšmė. Šis vidurkis dar vėliau yra naudojamas kaip pradinė matrica DEMATEL rezultatams apdoroti. Surinkus duomenis iš ekspertų, apskaičiuojama pradinė vidurkio matrica Z.

3.9 lentelė. Pradinė DEMATEL rodiklių vidurkio matrica Z, sudaryta iš visų 11 respondentų rezultatų (sudaryta autorės)

Table 3.9. Initial DEMATEL average matrix Z from combined results of all 11 respondents (compiled by the author)

	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆	R ₇	SUM
R ₁	0,00	1,82	2,82	1,82	1,55	1,91	2,27	12,18
R ₂	1,73	0,00	1,45	1,27	2,18	2,55	2,09	11,27
R ₃	2,73	1,45	0,00	1,73	2,64	2,36	1,91	12,82
R ₄	1,82	1,91	2,00	0,00	2,00	1,64	1,55	10,91
R ₅	2,18	2,09	2,73	1,82	0,00	2,09	2,00	12,91
R ₆	1,73	1,82	2,18	1,73	1,73	0,00	1,82	11,00
R ₇	2,18	1,91	1,73	1,73	1,91	2,18	0,00	11,64
SUM	12,36	11,00	12,91	10,09	12,00	12,73	11,64	
Max	12,9	12,91						
1/max	0,0775	0,0775						
1/s	0,0775							

Kitame etape rezultatai rodiklių vidurkio matricoje Z turi būti normalizuojami. Kaip, normalizavus rezultatus, atrodytų pradinė normalizuotoji tiesioginio ryšio matrica X, parodyta 3.10 lentelėje.

3.10 lentelė. Pradinė normalizuotoji tiesioginio ryšio matrica X (sudaryta autorės)**Table 3.10.** Normalized initial-direct relation matrix X (compiled by the author)

	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7
R_1	0,0000	0,1408	0,2183	0,1408	0,1197	0,1479	0,1761
R_2	0,1338	0,0000	0,1127	0,0986	0,1690	0,1972	0,1620
R_3	0,2113	0,1127	0,0000	0,1338	0,2042	0,1831	0,1479
R_4	0,1408	0,1479	0,1549	0,0000	0,1549	0,1268	0,1197
R_5	0,1690	0,1620	0,2113	0,1408	0,0000	0,1620	0,1549
R_6	0,1338	0,1408	0,1690	0,1338	0,1338	0,0000	0,1408
R_7	0,1690	0,1479	0,1338	0,1338	0,1479	0,1690	0,0000

Žinant normalizuotosios matricos X rezultatus, galima suformuoti bendrosios įtakos sąryšio matricą T , susijusią su numatytais rodikliais ir nurodančią sąryšį tarp ekspertų nuomonių ir rodiklių (3.11 lentelė).

3.11 lentelė. Bendrosios įtakos matrica T (sudaryta autorės)**Table 3.11.** Total influence matrix T (compiled by the author)

	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7	R
R_1	1,5877	1,5418	1,8274	1,4479	1,6462	1,7504	1,6505	11,4519
R_2	1,5927	1,3225	1,6357	1,3236	1,5738	1,6754	1,5367	10,6605
R_3	1,8389	1,5909	1,7314	1,5078	1,7802	1,8530	1,7027	12,0048
R_4	1,5638	1,4183	1,6305	1,2027	1,5307	1,5851	1,4703	10,4013
R_5	1,8154	1,6332	1,9103	1,5177	1,6192	1,8467	1,7142	12,0568
R_6	1,5675	1,4202	1,6491	1,3280	1,5233	1,4814	1,4944	10,4639
R_7	1,6616	1,4883	1,6956	1,3858	1,5988	1,6961	1,4369	10,9631
X	11,6275	10,4152	12,0801	9,7135	11,2721	11,8882	11,0056	

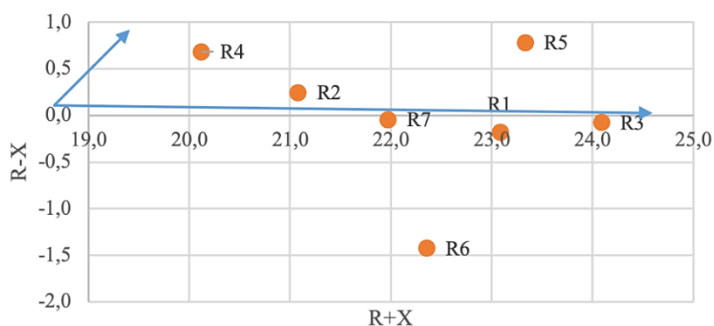
Tuomet, norint gauti kiekvieno sprendimo rodiklio svorį, reikia naudoti (2.15) ir (2.16) lygtis. Šiomis lygtimis galima generuoti matricų stulpelius $(X + R)$ ir $(X - R)$, kaip parodyta 3.12 lentelėje. Pagal normalizuotąsias $(X + R)$ stulpelių vertes, galima vertinti sprendimų rodiklių svarbą ar svorius. Lentelės esminiai rezultatai yra kiekvienos eilutės suma (ji vadinama vektoriumi X) ir kiekvienos stulpelio suma (ji vadinama vektoriumi R). Iš rezultatų matyti, kad rodiklio maksimalioji vertė $X = 12,0801$ buvo skirta kokybės rodikliui (R_3). Šis rodiklis, anot apklausoje dalyvavusių respondentų, buvo labiausiai pageidaujamas. Mažiausia užfiksuota rodiklio vertė $X = 9,7135$ buvo skirta

veiklos darnumui (R4). Šis rodiklis, anot apklausoje dalyvavusių ekspertų, buvo mažiausiai pageidaujamas iš visų septynių rodiklių, pateiktų vertinti ekspertams. Sudarant DEMATEL priežasties ir pasekmės diagramą (3.2 pav.), rodikliai buvo palyginami su slenkstinio lygio konstanta $\alpha = 1,5919$, kuri yra bendrosios įtakos matricos T vidurkis.

3.12 lentelė. Priežasties ir poveikio rodiklių grupės (sudaryta autorės)

Table 3.12. Cause and effect groups for the indicators (compiled by the author)

	R	X	R+X	R-X	Rodiklių grupė	Veikiantys kitus	Veikiami kitų
R ₁	11,4519	11,6275	23,0794	-0,1756	Veikiamas kitų	0	2
R ₂	10,6605	10,4152	21,0756	0,2453	Veikia kitus	3	0
R ₃	12,0048	12,0801	24,0849	-0,0753	Veikia kitus	0	3
R ₄	10,4013	9,7135	20,1148	0,6878	Veikiamas kitų	2	0
R ₅	12,0568	11,2721	23,3289	0,7846	Veikiamas kitų	1	0
R ₆	10,4639	11,8882	22,3521	-1,4243	Veikia kitus	0	1
R ₇	10,9631	11,0056	21,9687	-0,0425	Veikia kitus	0	4
			24,0849	0,7846			



3.2 pav. DEMATEL priežasties ir pasekmės diagrama (sudaryta autorės)

Fig. 3.2. DEMATEL cause and effect diagram (compiled by the author)

Iš diagramos matyti, jog labiausiai kitus rodiklius veikiantis buvo R5 (reputacija), po jo rikiavosi R4 (veiklos darnumas) ir R2 (pristatymas). Aptariant labiausiai veikiamus kitų rodiklius, pirmoje vietoje buvo R6 (lankstumas), po jo rikiavosi R1 (kaina), R3 (kokybė) ir R7 (atsargų valdymas) tvarumo rodikliai, kurie taip pat buvo labiausiai veikiami kitų.

Galiausiai buvo apskaičiuota, kad geriausias rodiklis daugiakriteriu sprendimų priėmimo metodu DEMATEL, palyginti su kitais, yra kokybė (R3). Kiti rodikliai,

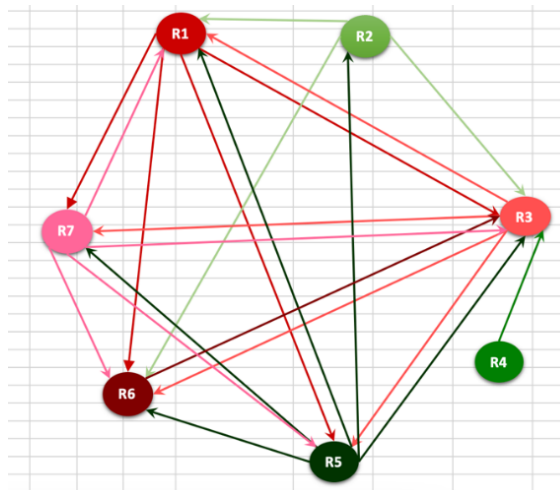
lyginant su blogiausiu rodikliu, – veiklos darnumas (R4) (3.13 lentelė). Išreitingavus visus septynis tvarumo rodiklius, gautus DEMATEL metodu, nuo svarbiausio iki mažiausiai svarbaus Lietuvos statybos įmonių tiekėjų parinkimo uždavinyje, jų svarbos eilė atrodytų taip: kokybė (1), reputacija (2), kaina (3), lankstumas (4), atsargų valdymas (5), pristatymas (6), veiklos darnumas (7).

3.13 lentelė. Bendrieji DEMATEL metodu sudaryti anketų duomenų skaičiavimai (sudaryta autorės)

Table 3.13. Overall calculations of survey data compiled using the DEMATEL method (compiled by the author)

Rodiklis	Trumpinys	$(R + X)^2$	$(R - X)^2$	w	W	Reitingas
Kaina	R ₁	532,6578	0,0308	23,0800	0,1479	3
Pristatymas	R ₂	444,1823	0,0602	21,0771	0,1350	6
Kokybė	R ₃	580,0841	0,0057	24,0851	0,1543	1
Veiklos darnumas	R ₄	404,6034	0,4731	20,1265	0,1290	7
Reputacija	R ₅	544,2392	0,6157	23,3421	0,1496	2
Lankstumas	R ₆	499,6163	2,0286	22,3974	0,1435	4
Atsargų valdymas	R ₇	482,6240	0,0018	21,9687	0,1408	5
			Viso	156,0770	1,0000	

Šią mintį iliustruoja 3.3 paveikslas, kuriame parodoma, kaip rodikliai veikia vienas kitą.



3.3 pav. Tvarumo rodiklių priklausomybė, apskaičiuota DEMATEL metodu (sudaryta autorės)

Fig. 3.3. Dependency of sustainability indicators, calculated using the DEMATEL method (compiled by the author)

Turint antrosios apklausos dalies rezultatus apie tvarumo rodiklių svarbą, parenkant ir vertinant tiekėjus Lietuvos statybos įmonės tiekimo grandinėje DEMATEL metodu, toliau taikomas BWM metodas galutiniams rodiklių svoriams nustatyti.

3.3.2. BWM metodo taikymas

DEMATEL metodas negali apskaičiuoti nepriklausomų alternatyvų santykinio svorio. Kai yra nepakankamai duomenų kiekvienos alternatyvos rodiklių vertėms kvantifikuoti, reikalingas kitas daugiakriteris MCDM metodas alternatyvoms įvertinti (Zhu et al., 2023). Todėl šiame darbe kiekvieno rodiklio svoriui nustatyti buvo pasirinktas BWM metodo taikymas.

Pirmasis šio metodo etapas yra pagal rodiklių skaičių (C) parinkti tinkamą rodiklių skaičiavimo lentelę, naudojant Rezaei (2015) sukurtą Excel skaičiuoklę (<https://bestworstmethod.com/software/>). Šiuo atveju rodiklių skaičius buvo 7, todėl buvo pasirinkta C = 7 skaičiuoklė ir įvesti rodiklių pavadinimai. Geriausias rodiklis, palyginti su kitais (angl. *Best to Others*), buvo kokybė (R3), o kiti, lyginant su blogiausiu (angl. *Others to the Worst*), buvo veiklos darnumas (R4). Tuomet buvo įvesti sprendimo priėmėjo (iš viso dalyvavo 11 respondentų iš DEMATEL metodo apklausos) rezultatai atskirai kiekvienam priėmėjui: įvertintas geriausias kitiems rodiklis (3 etapas) ir prasčiausias, palyginti su kitais (4 etapas), skalėje nuo 1 iki 7. Svarbu, kad, įvertinus geriausią kitiems rodiklį ir prasčiausią, palyginti su kitais, išliktų jų loginė seka. Pagal įvesties duomenis programoje rodiklių svoriai yra automatiškai suskaičiuojami ir rodomi rezultatų langeliuose ir jų svorių grafike. Pagal šio metodo kūrėjus Mohammadi ir Rezaei (2020), kelių respondentų skirtingos nuomonės ir gauti jų rezultatai atskiruose BWM metodo languose yra vidurkinami aritmetiškai.

Įvesties langelyje CR (angl. *Consistency Ratio*) – darnos santykis, rodoma, kiek rezultatai yra patikimi, ir yra gaunamas dalijant darnos indeksą (angl. *Consistency Index* – CI) iš atsitiktinio indekso (angl. *Random Index* – RI) (Rezaei et al., 2018). Jei CR rodmuo yra ne didesnis nei slenkstinis rodmuo, lyginimų suderinamumas priimtinas ir ekspertų vertinimai yra patikimi. Kitu atveju reikia prašyti sprendimo priėmėjų (apklausos respondentų) peržiūrėti porinius palyginimus. Šiuo atveju ne visų respondentų darnos santykis buvo mažesnis nei slenkstinis rodmuo, todėl kai kurių ekspertų buvo prašoma peržiūrėti savo įvertinimus, kad rodiklių svorių vertės atitiktų logišką seką. 3.14 lentelėje pateikiami bendrieji BWM metodu gauti tvarumo rodiklių svoriai.

Pasitikrinus gautuosius duomenis, visų rodiklių svorių vidurkiai, apskaičiavus BWM metodu, turi būti lygūs vienetui $\sum_j w_j = 1$ ((2.31) formulė).

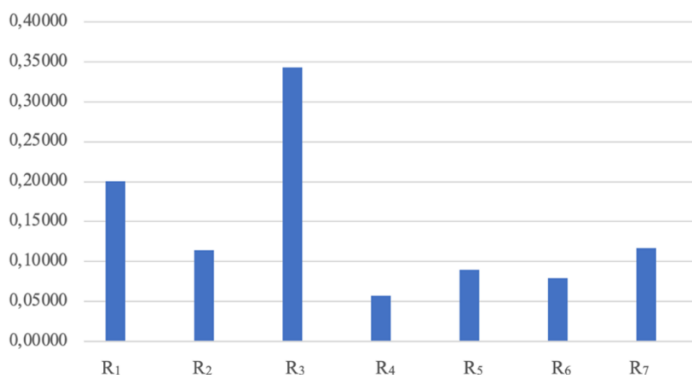
$$\sum_j w_j = 0,20033 + 0,1141 + 0,3431 + 0,0571 + 0,0896 + 0,0789 + 0,1169 = 1. \quad (3.2)$$

Rodiklių svorių pasiskirstymo diagrama (3.4 pav.) iliustruoja visų septynių tvarumo rodiklių svorius, gautus apskaičiavus juos BWM metodu (diagramoje kiekvienas rodiklis (R_1 , R_2 ir t. t.) sunumeruotas atitinkamai pagal skaičius (1, 2 ir t. t.).

3.14 lentelė. Bendrieji BWM metodu apskaičiuoti anketų rodiklių svoriai (sudaryta autorės)

Table 3.14. Overall calculations of weights of the indicators compiled using the BWM method (compiled by the author)

Kaina	Pristatymas	Kokybė	Veiklos darnumas	Reputacija	Lankstumas	Atsargų valdymas
0,2019	0,1346	0,3317	0,0288	0,1010	0,1346	0,0673
0,2021	0,1010	0,3407	0,0396	0,0808	0,1010	0,1347
0,0484	0,0706	0,4519	0,1412	0,1130	0,0807	0,0941
0,2109	0,0603	0,3515	0,0469	0,1055	0,0844	0,1406
0,2091	0,1394	0,3526	0,0410	0,1046	0,0836	0,0697
0,2063	0,1375	0,3583	0,0434	0,0825	0,1031	0,0688
0,2229	0,1338	0,2675	0,0255	0,0446	0,0382	0,2675
0,1173	0,2858	0,3224	0,0366	0,0704	0,0503	0,1173
0,2190	0,0547	0,2737	0,1460	0,1460	0,0730	0,0876
0,2247	0,0899	0,3820	0,0449	0,0899	0,0562	0,1124
0,34105	0,0474	0,3411	0,0337	0,0474	0,0632	0,1263
0,20033	0,1141	0,3431	0,0571	0,0896	0,0789	0,1169



3.4 pav. Rodiklių svorių pasiskirstymas, apskaičiuotas BWM metodu (sudaryta autorės)

Fig. 3.4. Weights and importance of indicators, calculated using the BWM method
(compiled by the author)

Susumavus rezultatus matyti, jog svarbiausias rodiklis, palyginti su kitais pagal vertinimo skalę (nuo 1 iki 7, kur 1 – rodikliai vienodai svarbūs, o 7 – jaučiamas labai svarbus pranašumas vieno rodiklio atžvilgiu), buvo kokybė (R_3), o prasčiausias, palyginti su blogiausiu pagal rodiklių vertinimo skalę (nuo 1 iki 7), buvo veiklos darnumas (R_4).

3.4. Praktinio uždavinio sprendimas, vertinant geriausio tiekėjo parinkimą Lietuvos statybos įmonei

Žinant pagrindinius septynis rodiklius ir jų svarbą, parenkant statybos įmonių tvariosios tiekimo grandinės partnerius (tiekėjus), galima praktiškai parinkti geriausią tiekėją statybos įmonei. Šiam uždaviniui spręsti buvo pasirinkta viena iš didžiausių Lietuvos statybos įmonių, veikianti nuo 1995 m. ir plėtojanti novatoriškus projektus, užtikrindama aukščiausius kokybinius reikalavimus, tausojant aplinką. Per veiklos metus įmonė pastatė daugiau kaip 1 mln. m² ploto komercinių objektų ir daugiau kaip 8 tūkst. butų Lietuvoje ir kitose Europos šalyse. Jų vertė viršija 1 mlrd. eurų. Anot įmonės atstovų, įmonė skatina ir savo projektuose naudoja pažangiąsias technologijas, diegia tvariusius sprendimus (pirmieji Lietuvoje pastatė daugiabutį namą su saulės jėgaine ant stogo (2013 m.), inicijavo Lietuvos žaliųjų pastatų tarybos, užsiimančios visuomenės švietimu tvariųjų pastatų ir aplinkos temomis, kūrimą (2013 m.), užtikrina racionalų išteklių panaudojimą, užsiima visuomenės švietimu pastatų tvarumo klausimais, skatina bendradarbiavimą tarp valdžios ir verslo institucijų bei aktyviai bendradarbiauja su akademine bendruomene.

Praktiniam tiekėjų parinkimo uždaviniui buvo pasirinktas įmonės statomas viešbutis. Į verslo klientus orientuotas keturių žvaigždučių viešbutis svečiams siūlo 199 kambarius, beveik 250 vietų konferencijų centrą, restoraną su vasaros terasa. Pastatas yra pirmasis viešbutis Lietuvoje, gavęs A+ energinės klasės pažymėjimą, todėl tvariųjų medžiagų naudojimas šio pastato statybose buvo vystytojų prioritetas. Šio praktinio uždavinio tikslas – parinkti visų viešbučio vidaus medinių durų, kurių skaičius 398 vnt., tiekėją, atsižvelgiant į tvarumo rodiklius (kainą (iš viso Eur, be PVM), pristatymą (darbo dienų skaičius), kokybę (nuo 5 iki 1), veiklos darnumą (nuo 5 iki 1), reputaciją (nuo 5 iki 1), lankstumą (nuo 5 iki 1) ir atsargų valdymą (nuo 5 iki 1)), apie kuriuos buvo kalbėta ankstesniuose skyriuose.

Bendrieji vidaus durų reikalavimai viešbučio tiekėjui: reikalingas produktas – vidaus durys (galimos spalvos RAL 9010/9016/7016/8115) su rėmu, reikiamas kiekis – 398 vnt., matmenys 203,5×84,4×4 cm, varstymo kryptis – kairinė, prioritetas

vientisojo medžio masyvui, reikalingas kuo greitesnis pristatymas už priimtina kainą, prioritetas teikiamas įmonei, turinčiai tvarumo standartus (ISO, EcoGreen, Fairtrade, Eco Label ir kt.). Tiekėjų kainų pasiūlymai gauti atsižvelgus į užsakomų durų kiekį. Pasiūlymai ir pristatymo terminai galioja perkant tik nurodytą durų kiekį projektui. Papildomai, pasirinkus tiekėją, užsakomos staktos, grindjuostės ir rankenos. Vertinti keturių vidaus durų įmonių (šiam darbe jos žymimos kaip UAB „A“, UAB „B“, UAB „C“ ir UAB „D“ dėl vystytojo taikomų konfidencialumo susitarimų pirkimo konkurso informacijai skelbti), galinčių pasiūlyti norimą produkto kokybę ir didelį produkto kiekį vystytojui už tinkamą kainą, pasiūlymai. Keturių tiekėjų įmonių pasiūlymų palyginimai pateikti 3.15 lentelėje.

3.15 lentelė. Tiekėjų įmonių pasiūlymų palyginimas vidaus durims vystytojų projektui (sudaryta autorės)

Table 3.15. Comparison of supplier company offers for doors for the developers' project (compiled by the author)

Tiekėjas (įmonė)	UAB „A“	UAB „B“	UAB „C“	UAB „D“
Gaminio pavadinimas	<i>Classen Traffic M3</i> , profiliuotas	<i>Graffiti 3 Standart</i> (1885PZ)	<i>Sonoma Oak</i> (RAL 0109), <i>Forum 7</i>	<i>Palermo P</i> (DSW1), <i>Fraxinus ulxesior</i>
Medžiaga	grafito uosio imitacija, ekofanera (MDF plokštė), pilnaviduris užpildas negalimas	laminuotas ažuolas, vientisas medis	<i>Silbergrau</i> uosio imitacija, faneruotas, galimas pilnaviduris užpildas (perforuota MDP)	vientisas uosis
Durų dažai	dažytas specialiais baldiniais poliuretaniniais <i>Doorsy PL</i> dažikliais	dažytas ekokietaisiais aliejais	dažytas RAL–NCS palečių spalva baldiniais poliuretaniniais dažais	dažytas <i>Emmale 1013</i> ekokietaisiais aliejais
Užsakymo kaina (iš viso, Eur, be PVM)	71,242	229,248	101,888	205,766
Pristatymo terminas (d. d.)	7	25	10	15
Tvarumo standartai	nėra	yra, ISO 45001, ISO 5001	yra, ISO 14001	yra, ISO 38200; ISO 45001

Gamybos šalis	Lenkija	Vokietija	Ukraina	Lietuva
---------------	---------	-----------	---------	---------

Pagal šiuos duomenis trys ekspertai iš įmonės pirkimų skyriaus nepriklausomai įvertino visų keturių tiekėjų pasiūlymus, atsižvelgdami į septynis tvarumo rodiklius. Du rodikliai buvo vertinami pagal kainą eurais (be PVM) ir pristatymo laiką darbo dienomis, visi kiti – pagal neapibrėžtąją (angl. *Fuzzy*) Likerto skalę nuo 5 iki 1 (Pamučar & Ćirović, 2015). Likerto vertinimo skalė pateikta 3.16 lentelėje.

3.16 lentelė. Neapibrėžtoji Likerto vertinimo skalė, naudojama tiekėjams vertinti (sudaryta autorės)

Table 3.16. Fuzzified Likert scale used for the supplier evaluation (compiled by the author)

Nr.	Rodiklio įvertinimas	Neapibrėžtoji skalė	Lingvistinės vertės
1	Labai gerai	5	(4.5, 5, 5)
	<i>Very Good</i> (VG)		
2	Gera	4	(3.5, 4, 4.5)
	<i>Good</i> (G)		
3	Nėra nuomonės	3	(2.5, 3, 3.5)
	<i>Fair</i> (F)		
4	Prastai	2	(1.5, 2, 2.5)
	<i>Poor</i> (P)		
5	Labai prastai	1	(1, 1, 1)
	<i>Very Poor</i> (VP)		

Žinant trijų ekspertų įvertinimus šiam uždaviniui, po šio etapo galima taikyti daugiakriterį sprendimų priėmimo metodą MABAC rezultatams gauti. Remiantis MABAC metodo skaičiavimo rezultatais, alternatyvos gali būti nustatomos pagal skirtingus reikalavimus (Pamučar & Ćirović, 2015).

Pirmiausia pasirenkamas alternatyvus skaičius. Kadangi yra vertinamos keturios įmonės, potencialiai tieksiančios vidaus duris viešbučiui, šiuo atveju alternatyvų skaičius – 4. Toliau pasirenkamas tvarumo rodiklių tipas, pagal kurį vertinama norima rodiklio vertė. Pavyzdžiui, norima kuo mažesnės kainos, todėl idealiojo rodiklio R1 vertė bus –1, o kokybės rodiklio norma turėtų būti kuo aukštesnė – idealiojo rodiklio R3 vertė – 1 (3.17 lentelė).

3.17 lentelė. Rodiklio tipas, naudojamas tiekėjams vertinti MABAC metodu (sudaryta autorės)

Table 3.17. Type of indicator used for the supplier evaluation by MABAC method (compiled by the author)

Nr.	Rodiklis	Trumpinys	Rodiklio tipas	
1	Kaina	R1	min	-1
2	Pristatymas	R2	max	1
3	Kokybė	R3	max	1
4	Veiklos darnumas	R4	max	1
5	Reputacija	R5	max	1
6	Lankstumas	R6	max	1
7	Atsargų valdymas	R7	max	1

Tada suskaičiuojami kiekvieno rodiklio balai. Bendrinant atskirų ekspertų nuomones, naudojamas aritmetinis vidurkis. Šioje lentelėje du rodikliai (kaina ir pristatymas) nėra įrašyti, nes jie jau turi matavimo vienetus (Eur/vnt. be PVM ir darbo dienų skaičius) (3.18 lentelė).

3.18 lentelė. Bendrieji ekspertų balai kiekvienam rodikliui (sudaryta autorės)

Table 3.18. Overall scores of each expert for each indicator (compiled by the author)

Įmonė	Kokybė	Veiklos darnumas	Reputacija	Lankstumas	Atsargų valdymas
UAB „A“	1,00	2,00	1,67	3,33	3,33
UAB „B“	5	4,67	5	2,33	2,33
UAB „C“	2,67	3,00	2,67	4,00	4,00
UAB „D“	4,67	4,67	4,67	4,33	4,00

Dabar skaičiuojama pradinė sprendimų matrica (X), gaunama naudojant rodiklių svorių koeficientų lentelę $\tilde{w}_{c_i}$ (Pamučar & Ćirović, 2015). Toliau pateikta rodiklių svorių koeficientų 3.19 lentelė.

3.19 lentelė. Rodiklių svorių koeficientų lentelė ($\tilde{w}_{R_i}$) (sudaryta autorės)

Table 3.19. Weight coefficients of the indicators ($\tilde{w}_{R_i}$)(compiled by the author)

	D_i	R_i	$D_i + R_i$	$D_i \dots R_i$	W_i	w_i
R1	2,37	2,04	4,41	0,33	4,42	0,146
R2	2,37	1,96	4,33	0,41	4,35	0,144
R3	1,59	1,99	3,58	-0,39	3,60	0,119
R4	1,67	1,99	3,65	-0,32	3,66	0,121

R5	1,44	2,02	3,46	-0,57	3,51	0,115
R6	1,63	1,41	3,04	0,23	3,05	0,101
R7	1,68	0,87	2,54	0,81	2,67	0,088

3.20 lentelėje pateikiamos normalizuotoji matrica (N) ir svertinė normalizuotoji sprendimų matrica (V).

3.20 lentelė. Normalizuotoji sprendimų matrica (N) ir svertinė normalizuotoji sprendimų matrica (V) (sudaryta autorės)

Table 3.20. Normalized decision matrix (N) and weighted normalized decision matrix (V) (compiled by the author)

Rodiklių svoriai	0,20033	0,11409	0,34305	0,05707	0,08959	0,07894	0,11693	Viso :1
---------------------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	------------

3.20 lentelės pabaiga

Rodiklio rūšis	min	max	max	max	max	max	max
	-1	1	1	1	1	1	1
Matrica (N)	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
Įmonė „A“ (A1)	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,500	1,000
Įmonė „B“ (A2)	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000	0,000
Įmonė „C“ (A3)	0,806	0,167	0,417	0,375	0,300	0,833	0,833
Įmonė „D“ (A4)	0,149	0,444	0,917	1,000	0,900	1,000	0,833
Matrica (I)	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
Įmonė „A“ (A1)	0,401	0,114	0,343	0,057	0,090	0,118	0,234
Įmonė „B“ (A2)	0,200	0,228	0,686	0,114	0,179	0,079	0,117
Įmonė „C“ (A3)	0,362	0,133	0,486	0,078	0,116	0,145	0,214
Įmonė „D“ (A4)	0,230	0,165	0,658	0,114	0,170	0,158	0,214

Dabar gaunamas alternatyvos atstumas nuo BAA matricos (angl. *Border Approximation Area Value* – ribinė aproksimacijos sritis) (*Q*) (3.21 lentelė).

3.21 lentelė. Alternatyvos atstumas nuo BAA matricos (*Q*) (sudaryta autorės)**Table 3.21.** Distance of alternatives from matrix BAA (*Q*)(compiled by the author)

Alternatyvos	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
Įmonė „A“ (A1)	0,1148	-0,0405	-0,1806	-0,0303	-0,0440	-0,0025	0,0456
Įmonė „B“ (A2)	-0,0856	0,0736	0,1624	0,0267	0,0456	-0,0419	-0,0714
Įmonė „C“ (A3)	0,0759	-0,0215	-0,0377	-0,0089	-0,0171	0,0238	0,0261
Įmonė „D“ (A4)	-0,0558	0,0102	0,1338	0,0267	0,0367	0,0370	0,0261

Galiosiausiai galima suskaičiuoti alternatyvų reitingą (geriausią viešbučio vidaus durų tiekėjų parinkimo sąrašą) daugiakriteriu sprendimų priėmimo metodu MABAC (3.22 lentelė).

3.22 lentelė. Alternatyvų reitingas MABAC metodu (sudaryta autorės)

Table 3.22. Alternative ranking by MABAC method (compiled by the author)

Alternatyvos	Q	Reitingas
Įmonė „A“ (A1)	-0,1376	-7
Įmonė „B“ (A2)	0,1095	2
Įmonė „C“ (A3)	0,0406	3
Įmonė „D“ (A4)	0,2147	1

Pagal šį skaičiavimą matyti, kad įmonė „D“ yra geriausias tiekėjo variantas, parenkant statybos įmonės statomo viešbučio vidaus duris. Po įmonės „D“ rikiuojasi tiekėjų įmonė „B“, įmonė „C“ yra trečioji pagal gerumą vidaus durų parinkimo įmonė, o įmonė „A“ yra gerokai prastesnis pasirinkimas nei visos kitos trys prieš tai išvardytos tiekėjų įmonės. Šiuos rezultatus lėmė rodiklių svorių, kuriuos rodikliams skyrė ekspertai, pasiskirstymas. Taigi rezultatams tiesioginę įtaką darė kiekvienos alternatyvos atstumas nuo BAA matricos.

3.5. Tvariosios tiekimo grandinės valdymo statybos įmonėse daugiakriterio vertinimo perspektyvos, tyrimo apribojimai ir tolesnių tyrimų kryptys

Šiuo disertaciniu tyrimu siekta sukurti vertinimo priemonę, kuri leistų į(si)vertinti tvariosios tiekimo grandinės valdymą statybos įmonėse, taikant daugiakriterius sprendimų priėmimo metodus. Atlikus teorinių su disertacijos tematika sietinų tyrimų analizę, buvo nuspręsta tvarumo praktikas statybos įmonių tiekimo grandinių valdymo procese analizuoti keliais skirtingais metodais, nepamirštant tvarumo sampratos daugialypiškumo. Siekiant tvarumą statybos įmonių tiekimo grandinėse įvertinti skirtingais būdais, atsižvelgiant į atlikto ekspertinio vertinimo rezultatus, buvo sukurtas kompozitinis tvarumo vertinimo indeksas, pagal kurį statybos įmonės galėtų į(si)vertinti savo tvarumo praktikas TG ir ateityje jas gerinti. Atlikus esamos metodinės bazės analizę, išsiaiškinta, jog esamuose tyrimuose daugiakriterių metodų kompleksų naudojimas yra pradinėse stadijose, todėl nedidelei statybos įmonės tiekimo grandinės daliai nuspręsta taikyti daugiakriterių sprendimų priėmimo metodų kompleksą, pasitelkus DEMATEL, BWM ir MABAC metodus.

Siekiant įsitikinti pasiūlytos tvarumo vertinimo sistemos sandaros, struktūros ir loginės sekos tinkamumu, sudarytas ir išspręstas praktinis tiekėjų vertinimo ir parinkimo uždavinys statybos įmonės statomo viešbučio vidaus durims parinkti. Trys ekspertai iš šios statybos įmonės dalyvavo sprendžiant šį praktinį uždavinį.

Susipažinę su galutiniais uždavinio rezultatais, jie sutiko, kad rezultatai atitinka loginę seką, ir sutiko su geriausio tiekėjo parinkimo sąrašo rezultatais, gautais pritaikius daugiakriterių sprendimo priėmimo metodus. Remiantis tyrimo rezultatais, galima teigti, kad siūloma tvarumo vertinimo priemonė statybos įmonių TGV yra tinkama taikyti skirtingo dydžio statybos įmonėms TG Lietuvoje ir kitose pasaulio šalyse. Atlikus pirminį statybos įmonės tiekimo grandinės įvertinimą, taikant sukurtą kompozitinio į(si)vertinimo indekso vertinimo metodiką, nustatyta vertė 0,64 – tai gera tvarumo praktikų veikla. Statybos įmonė gali vertinti savo TG pagal sukurtą kompozitinį į(si)vertinimo indeksą arba tam taikyti empirines metodikas.

Tyrimo apribojimai. Remiantis metodo praktinio taikymo testavimo rezultatais, galima išskirti tokius esminius atlikto tyrimo apribojimus:

- Statybos įmonių TGV tvarumo vertinimo priemonė daugiakriteriais sprendimo priėmimo metodais buvo kuriama pasitelkiant septynias tvarumo grupes, į kurias tilpo pagrindiniai su tvarumo vertinimu susiję tvarumo rodikliai. Kompozitinis tvarumo vertinimo indeksas gali būti taikomas ateityje, atliekant tvarumo į(si)vertinimą įvairiose statybos įmonių TG Lietuvos ir kitų šalių rinkose. Tai gali būti reikšminga priemonė, siekiant įmonėms norimų rezultatų ir diegiant tam tikrus tvarumo standartus tiekimo grandinėse.
- Praktinis geriausio tiekėjo parinkimo ir vertinimo uždavinys buvo spęstas vienoje iš didžiausių Lietuvos statybos įmonių, kurios veikla susijusi su NT objektų vystymu ir statyba, tačiau šis ar panašus uždavinys gali būti sprendžiamas ir kitose srityse ar sektoriuose (pvz., logistikoje, didmeninėje prekyboje, gamyboje, kuriant ir vystant programines įrangas, teikiant paslaugas ir pan.).
- Tvarumo vertinimas daugiakriteriais sprendimo priėmimo metodais buvo atliktas statybos įmonių TG, tačiau galėtų būti naudojamas ir viešosiose įstaigose, savivaldybėse, valstybinėse ir ne pelno siekiančiose organizacijose.

Taip pat reikia pabrėžti, kad pasiūlytoje daugiakriterio tvarumo vertinimo priemonėje yra galimybė vertinimą atlikti skirtingose TG dalyse, skirtinguose statybos projekto etapuose, skirtinguose įmonės padaliniuose ir rezultatus analizuoti skirtingais laikotarpiais, pavyzdžiui, kas metus, kas keletą metų ar kas penketį, taip stebint tvarumo praktikų pokyčius statybos įmonėje. Taip pat reikėtų paminėti subjektyvios ekspertų nuomonės įtaką – jeigu rodiklių reikšmingumą nustatytų kiti ekspertai, vertinimo rezultatai galėtų pasikeisti.

Tolesnių tyrimų kryptys. Diskusija. Siekiant didinti siūlomo TG tvarumo vertinimo priemonės taikymo praktines galimybes, numatytos esminės tolesnių tyrimų gairės, apimančios:

- papildomą testavimą ir tobulinimą skirtingų dydžių, šalių ir veiklos sričių statybos įmonių TG.
- priemonės adaptavimą skirtingoms statybos sritims ir kitų tvarumo rodiklių tobulinimą. Tikimasi, jog, dažniau diegiant šią tvarumo vertinimo priemonę, bus identifikuoti tobulintini aspektai, ir tai prisidės prie jos universalumo.

Siūloma TTGV vertinimo sistema gali būti pritaikoma platesniame kontekste, integruojant ją su skaitmeninėmis technologijomis ir individualiomis pramonės tvarumo sistemomis, leidžiančiomis apdoroti duomenimis pagrįstus sprendimus. Siūloma, jog ateityje būtų sudaroma instrukcija ar informacinis žinynas statybos įmonių atstovams, kaip naudoti šį įrankį TG tvarumui vertinti. Ateityje šis įrankis galėtų būti naudojamas atliekant tarpsektorinį lyginimą (tarkime, statybos ir transporto arba kelių statybos rūšių), padedant įmonėms stiprinti atsparumą ir gerinti tvarumą tiekimo grandinėse, taikant standartizuotus vertinimo rodiklius. Siekiant užtikrinti veiksmingą šio įrankio diegimą, įmonėms rekomenduojama taikyti struktūruotą požiūrį, derinant TTGV vertinimą su įmonės tvarumo tikslais ir pasitelkiant tokias technologines naujoves, kaip blokų grandinė ir dirbtinis intelektas.

3.6. Trečiojo skyriaus išvados

1. Norint sudaryti kompleksinę tvarumo vertinimo priemonę statybos įmonių TG, šiame moksliniame darbe gautų apklausų rezultatai buvo apdorojami skirtingais metodais: taikant ekspertinį vertinimą, sukuriant kompozitinį tvarumo indeksą ir pasitelkiant DEMATEL, BWM ir MABAC daugiakriterius sprendimų priėmimo vertinimo metodus.
2. Ekspertų nuomone, ekonominiai ir technologiniai rodikliai vaidina lemiamą vaidmenį, vertinant tvarumą statybos įmonių TG. Trys svarbiausi rodikliai (pelningumas ($w_{Neco1}^{gl} = 0,0582$), inovacijos ir tobulinimai ($w_{Ntech1}^{gl} = 0,0575$) ir kokybės bei produktyvumo lygis ($w_{Ntech5}^{gl} = 0,0546$)) pabrėžia svarbų finansinio ir operacinio veikimo vaidmenį, siekiant statybos įmonių TG tvarumo.
3. Nors finansinis ir operacinis veikimas yra prioritetas, tačiau rodiklių, tokių kaip išteklių valdymas ($w_{Neco2}^{gl} = 0,0531$), tvaryjū medžiagų naudojimas ($w_{Ntech3}^{gl} = 0,0499$) ir išlaidų mažinimo iniciatyvos dėl tvariosios praktikos ($w_{Neco2}^{gl} = 0,0461$), įtraukimas rodo ekspertų sąmoningumą dėl poreikio subalansuoti ekonominius tikslus su aplinkosauginiais aspektais.
4. Siūlomai metodologijai iliustruoti pasirinktas vienas iš svarbiausių geriausiam tiekėjui nustatyti rodiklis – griežtas rangovų ir subrangovų

atrankos procesas. DEMATEL metodu vertinus septynis rodiklius, šio rodiklio nustatyta maksimali vertė buvo $X = 12,0801$, skirta kokybės rodikliui (R_3). Šis rodiklis, anot apklausoje dalyvavusių respondentų, buvo labiausiai pageidaujamas. Mažiausia užfiksuota rodiklio vertė $X = 9,7135$ buvo skirta veiklos darnumui (R_4).

5. BWM metodu susumavus rezultatus, matyti, jog svarbiausias rodiklis, palyginti su kitais pagal vertinimo skalę, buvo kokybė (R_3), o prasčiausias, lyginant su blogiausiu pagal rodiklių vertinimo skalę, buvo veiklos darnumas (R_4).
6. Pritaikius MABAC metodą, išspręstas Lietuvos statybos įmonės statomo viešbučio vidaus durų geriausio tiekėjo praktinis vertinimo ir parinkimo uždavinys. Pagal skaičiavimus, įmonė „D“ yra geriausias tiekėjo variantas, parenkant statybos įmonės statomo viešbučio vidaus duris. Po įmonės „D“ rikiuojasi tiekėjų įmonė „B“, įmonė „C“ – trečioji pagal gerumą vidaus durų parinkimo įmonė, o tiekėjų įmonė „A“ – gerokai prastesnis pasirinkimas, nei visos kitos trys prieš tai išvardytos tiekėjų įmonės.

Bendrosios išvados

1. Norint užtikrinti tvarią statybos įmonės veiklą, būtina taikyti inovatyvias technologijas ir žaliasias strategijas. Įmonės veikla turi pasižymėti žiniomis grįstu ekonomikos ir procesų valdymu bei organizaciniu lankstumu. Mokslinės literatūros analizė parodė, kad tvarumo vertinimas statybos įmonių tiekimo grandinėse yra santykinai naujas ir mažai tirtas reiškinys, todėl egzistuoja poreikis tirti naujuosius metodus tvarumui vertinti ekologiniais, aplinkosauginiais ir socialiniais aspektais. Esamoje mokslinėje literatūroje stokojama bendro sutarimo dėl statybos įmonių TG tvarumo vertinimo daugiakriteriais metodais. Siekiant užpildyti šią mokslinių tyrimų spragą, disertacijoje pasiūlyta tvarumo vertinimo priemonė, leidžianti statybos įmonėse į(si)vertinti TTGV, taikant kompozitinį indeksą ir daugiakriterius sprendimų priėmimo metodus.
2. Šiame darbe sudaryta ir aprašyta kompleksinė statybos įmonėse naudojamų TTGV tvarumo rodiklių sistema ir pasiūlyti konkretūs rodikliai, kurie autorės sugrupuoti į 7 rodiklių grupes: ekologinę, socialinę, teisinę, fizinę, politinę, technologinę ir ekonominę. Ši statybos įmonių tvarumo rodiklių TTGV sistema gali būti naudojama ne tik Lietuvos, bet ir kitų užsienio šalių statybos įmonėse.

3. Pritaikius suformuotus tvarumo rodiklius ir apskaičiavus kiekvieno iš šių rodiklių svarbą statybos įmonių TG, disertacijoje pasiūlytas autorės sukurtas kompozitinis TTGV statybos įmonių tvarumo į(si)vertinimo indeksas. Sukurtas indeksas statybos įmonėms leidžia įvertinti ilgalaikės tvarumo praktikas, vertinti įmonių pilnąsias tiekimo grandines ir atskiras jų dalis iš ilgalaikės perspektyvos pozicijos bei padeda parinkti statybos įmonių TTG partnerius (tiekėjus).
4. Nustatyta, jog statybos įmonių TG tvarumo vertinimo galimybės daugiakriteriais sprendimų priėmimo metodais nėra pakankamai išnagrinėtos, todėl sukurtas daugiakriterių sprendimų priėmimo metodų kompleksas, pagrįstas DEMATEL, BWM ir MABAC metodų taikymu. Pažymėtina, kad daugiakriterių sprendimo priėmimo metodų kompleksas tvariesiems statybos įmonių TGV rodikliams vertinti yra tinkamas būdas užtikrinti kompromisą tarp kelių skirtingų ekspertų nuomonių.
5. Pasiūlytas sprendimų priėmimo metodų kompleksas patikrintas išsprendus praktinį tiekėjų įvertinimo ir parinkimo uždavinį Lietuvos statybos įmonei, ieškant geriausio viešbučio vidaus durų tiekėjo iš keturių pretendentų. Sprendimų priėmimo metodai yra tinkama priemonė statybos įmonėms, parenkant geriausius TTG partnerius (tiekėjus) įvairiuose vystomuose projektuose.
6. Empirinio tyrimo rezultatai pagrindžia pasiūlytos TTGV vertinimo priemonės kūrimo poreikį ir apibrėžia taikymo galimybes, parenkant Lietuvos statybos įmonių TTG tiekėjus.

Literatūra ir šaltiniai

Acquaye, A., Feng, K., Oppon, E., Salhi, S., Ibn-Mohammed, T., Genovese, A., & Hubacek, K. (2017). Measuring the environmental sustainability performance of global supply chains: A multi-regional input-output analysis for carbon, sulphur oxide and water footprints. *Journal of Environmental Management*, 187, 571–585. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.10.059>

Aghelie, A. (2020). Measuring aspects of sustainable manufacturing practices in steelmaking plant industry in Iran. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 5, 744–750.

Ahi, P., Searcy, C., & Jaber, M. (2018). A quantitative approach for assessing sustainability performance of corporations. *Ecological Economics*, 152, 336–346. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.06.012>

Ayarkwa, J., Opoku, J., Antwi-Afari, P., & Yi Man Li, R. (2022). Sustainable building processes' challenges and strategies: The relative important index approach. *Cleaner Engineering and Technology*, 7, 2666–2678. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100455>

Aldakhil, A. M., Nassani, A., Awan, U., Abro, M., & Zaman, K. (2018). Determinants of green logistics in BRICS countries: An integrated supply chain model for green business. *Journal of Cleaner Production*, 195, 861–868. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.248>

Amarah, B. & Langston, C. (2017). Development of a triple bottom line stakeholder satisfaction model. *Journal of Corporate Real Estate*, 19, 17–35. <https://doi.org/10.1108/JCRE-03-2016-0017>

- Amin, S. H., & Zhang, G. (2012). An integrated model for closed-loop supply chain configuration and supplier selection: Multi-objective approach. *Expert Systems with Applications* 39(8), 6782–6791. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.12.056>
- Amindoust, A., Ahmed, S., Saghaefinia, A., & Bahreininejad, A. (2012). Sustainable supplier selection: A ranking model based on fuzzy inference system. *Applied Soft Computing* 12(6), 1668–1677. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2012.01.023>
- Amiri, M., Hashemi-Tabatabaei, M., Ghahremanloo, M., Keshavarz-Ghorabae, M., Zavadskas, E. K., & Antucheviciene, J. (2021). A novel model for multi-criteria assessment based on BWM and possibilistic chance-constrained programming. *Computers and Industrial Engineering*, 156, 107287. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107287>
- Arampantzi, C., & Minis, I. (2017). A new model for designing sustainable supply chain networks and its application to a global manufacturer. *Journal of Cleaner Production*, 156, 276–292. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.164>
- Araújo, A.G., Carneiro, A., & Palha, R.P. (2020). Sustainable construction management: A systematic review of the literature with meta-analysis. *Journal of Cleaner Production*, 256, 120350. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120350>
- Ashby, A., Leat, M., & Hudson-Smith, M. (2012). Making connections: a review of supply chain management and sustainability literature. *Supply Chain Management: An International Journal*, 17, 497–516. <https://doi.org/10.1108/13598541211258573>
- Aslam, M. S., Huang, B., & Cui, L. (2020). Review of construction and demolition waste management in China and USA. *Journal of Environmental Management*, 264, 110445. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110445>
- Azevedo, B. D., Caiado, R. G. G., & Scavarda, L. F. (2020). Systematic literature reviews in sustainable supply chain – SSC: A tertiary study. *Operations Management for Social Good*, 383–392. https://doi.org/10.1007/978-3-030-23816-2_37
- Azevedo, S. G., Carvalho, H., & Machado, V. C. (2011). The influence of green practices on supply chain performance: A case study approach. *Transportation research part E: Logistics and Transportation review*, 47(6), 850–871. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2011.05.017>
- Bag, S., Telukdarie, A., Pretorius, J. H. C., & Gupta, S. (2018). Industry 4.0 and supply chain sustainability: Framework and future research directions. *Benchmarking: An International Journal*, 28, 1410–1450. <https://doi.org/10.1108/BIJ-03-2018-0056>
- Bai, C., & Sarkis, J. (2010). Integrating sustainability into supplier selection with grey system and rough set methodologies. *International Journal of Production Economics*, 124(1), 252–264. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.11.023>
- Bakhtiarzadeh, E., Shahzad, W. M., Poshdar, M., Khalfan, M., & Rotimi, J. O. B. 2021. Blockchain and information integration: Applications in New Zealand's prefabrication supply chain. *Buildings*, 11(12), 608. <https://doi.org/10.3390/buildings11120608>
- Balaman, S. Y. (2019). Chapter 4 – Sustainability issues in biomass-based production chains. *Decision-Making for Biomass-Based Production Chains*, Academic Press, 77–112. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814278-3.00004-2>

- Balasubramanian, S., & Shukla, V. (2017). Green supply chain management: an empirical investigation on the construction sector. *Supply Chain Management*, 22(1), 58–81. <https://doi.org/10.1108/SCM-07-2016-0227>
- Banaeian, N., Mobli, H., Fahimnia, B., Nielsen, I. E., & Omid, M. (2018). Green supplier selection using fuzzy group decision making methods: A case study from the agri-food industry. *Computers and Operations Research*, 89, 337–347. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2016.02.015>
- Bartolini, M., Bottani, E., & Grosse, E. (2019). Green warehousing: Systematic literature review and bibliometric analysis. *Journal of Cleaner Production*, 226, 242–258. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.055>
- Bastas, A., & Liyanage K. (2019). Integrated quality and supply chain management business diagnostics for organisational sustainability improvement. *Sustainable Production and Consumption*, 17, 11–30. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2018.09.001>
- Bastas, A., & Liyanage, K. (2018). ISO 9001 and supply chain integration principles based sustainable development: A Delphi study. *Sustainability*, 10(12), 726–744. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.110>
- Battula V., Namurur S., & Kone V. (2020). A study on factors involved in implementation of supply chain management in construction industry. *Materials Today: Proceedings*, 33, 446–449. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.900>
- Berardi, P. C., & Peregrino de Brito, R. (2021). Supply chain collaboration for a circular economy – From transition to continuous improvement. *Journal of Cleaner Production*, 328, 129511. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129511>
- Biggeri, M., & Ferrone, L. (2022). Child Sustainable Human Development Index (CSHDI): Monitoring progress for the future generation. *Ecological Economics*, 192, 107266. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107266>
- Biuki, M., Kazemi, A., & Alinezhad, A. (2020). An integrated location-routing-inventory model for sustainable design of a perishable products supply chain network. *Journal of Cleaner Production*, 260, 120842. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120842>
- Blengini, A., & Shields, D. J. (2010). Green labels and sustainability reporting: Overview of the building products supply chain in Italy. *Management of Environmental Quality*, 21, 477–493. <https://doi.org/10.1108/14777831011049115>
- Bouzon, M., Govindan, K., & Rodriguez, C. M. (2018). Evaluating barriers for reverse logistics implementation under a multiple stakeholders' perspective analysis using grey decision-making approach. *Resources, Conservation and Recycling*, 128, 315–335. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.11.022>
- Brint, A., Genovese, A., & Piccolo, C. (2020). Reducing data requirements when selecting key performance indicators for supply chain management: The case of multinational automotive component manufacturer. *International Journal of Production Economics*, 233, 107967. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107967>
- Brix-Asala, C., Geisbush, A. K., Sauer, P., Schopflin, P., & Zehendner, A. (2018). Sustainability tensions in supply chains: A case study of paradoxes and their management. *Sustainability*, 10(2), 424. <https://doi.org/10.3390/su10020424>

- Brunelli, M., & Rezaei, J. (2019). A multiplicative best–worst method for multi-criteria decision making. *Operations Research Letters*, 47, 12–15. <https://doi.org/10.1016/j.orl.2018.11.008>
- Carter, C. R., & Rogers, D. S. (2008). A framework of sustainable supply chain management: moving toward new theory. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 38, 360–387. <https://doi.org/10.1108/09600030810882816>
- Cavalcante, I., Frazzon, E., Forcellini, F., & Ivanov, D. (2019). A supervised machine learning approach to data-driven simulation of resilient supplier selection in digital manufacturing. *International Journal of Information Management*, 49, 86–97. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.03.004>
- Cengiz, A. E., Aytekin, O., Ozdemir, I., Kusan, H., & Cabuk, A. (2017). A multi-criteria decision model for construction material supplier selection. *Procedia Engineering*, 196, 294–301. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.07.202>
- Chodorow-Reich, G., & Coglianesi, J. (2020). Projecting unemployment durations: A factor–low simulation approach with application to the COVID-19 recession. *National Bureau of Economic Research*, 35(2), 456. <https://doi.org/10.1086/712322>
- Chowdhury, P., Kumar P., Kaisar, S., & Mokradir, A. (2021). Covid-19 related supply chain studies: a systematic review. *Transportation Research*, 148, 102271. <https://doi.org/10.1016/j.tr.2021.102271>
- Croxton, K. L., Garcia-Dastugue, S. J., Lambert, D. M., & Rogers, D. S. (2001). The supply chain management processes. *The International Journal of Logistics Management*, 12(2), 13–36. <https://doi.org/10.1108/09574090110806271>
- Dalalah, D., Hayajneh, M., & Batieha, F. (2011). A fuzzy multi–criteria decision making model for supplier selection. *Expert Systems with Applications*, 38, 8384–8391. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.01.031>
- Dave, B. (2013). Developing a construction management system based on lean construction and building information modelling. *PhD Thesis*, University of Salford, UK. <https://usir.salford.ac.uk/id/eprint/30820>
- Deiva Ganesh, A., & Kalpana, P. (2022). Future of artificial intelligence and its influence on supply chain risk management – A systematic review. *Computers and Industrial Engineering*, 169, 108206. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108206>
- Deng, Y., Gan Vincent, L., Das, M., Chen, C. P., & Anumba, C. (2019). Integrating 4d BIM and GIS for construction supply chain management. *Journal of Constructional Engineering and Management*, 145, 3516–3540. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001633](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001633)
- Derevyankina, E. S., & Yankovskaya, D. G. (2020). The impact of Covid-19 on supply chain management and global economy development. *International Journal of Supply Chain Management*, 9, 765–774.
- Desai J. N., Pitroda J., & Bhavasar J. J. (2015). Analysis of Factor Affecting change order in construction industry using RII method. *International Journal of Modern Trends in Engineering and Research*, 17, 344–346. <https://doi.org/10.21271/zjpas.31.6.1>

- Dobrovolskienė, N., & Tamošiūnienė, R. (2016). An Index to Measure sustainability of a business project in the construction industry: Lithuanian Case. *Sustainability*, 8(1), 14. <https://doi.org/10.3390/su8010014>
- Ebrahim Qazvini, Z., Haji, A., & Mina, H. (2021). A fuzzy solution approach to supplier selection and order allocation in green supply chain considering the location-routing problem. *Scientia Iranica*, 28(1), 446–464. <https://doi.org/10.24200/sci.2019.50829.1885>
- Ecer, F., & Pamucar, D. (2020). Sustainable supplier selection: A novel integrated fuzzy best worst method (F-BWM) and fuzzy CoCoSo with Bonferroni (CoCoSo'B) multi-criteria model. *Journal of Cleaner Production*, 266, 121981. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121981>
- Elkington, J. (1997). Cannibals with Forks: The Triple Bottom Line of 21st Century Business. *Capstone, Oxford*. <https://doi.org/10.1002/tqem.3310080106>
- Fallahpour, A., Olugu, E. U., Musa, S. N., Khezrimotlagh, D., & Wong, K. Y. (2016). An integrated model for green supplier selection under fuzzy environment: application of data envelopment analysis and genetic programming approach. *Neural Computing and Applications*, 27, 707–725. <https://doi.org/10.1007/s00521-015-1890-3>
- Feng, J., & Gong, Z. (2020). Integrated linguistic entropy weight method and multi-objective programming model for supplier selection and order allocation in a circular economy: A case study. *Journal of Cleaner Production*, 277, 122597. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122597>
- Fetter, B. (2019). Small and medium enterprises in the sustainable supply chain: A review. *Periodica Polytechnica Social and Management Sciences*, 27, 154–163. <https://doi.org/10.3311/PPso.12564>
- Frankel, B. (2014). Definitive guide to supply chain best practices. *Council of Supply Chain Management Professionals*.
- Fritz, M. M. C. (2019). Sustainable supply chain management. *Responsible Consumption and Production, Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals*, 1–14. https://doi.org/10.1007/978-3-319-71062-4_21-1
- Ganeshan, R., & Boone, T. (2019). Forecasting sales in the big supply chain: Consumer analytics in the big data era. *International Journal of Forecasting*, 35, 170–180. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2018.09.003>
- Gauthier, C. (2005). Measuring corporate social and environmental performance: The extended life-cycle assessment. *Journal of business ethics*, 59, 199–206. <https://doi.org/10.1007/s10551-005-3416-x>
- Gebrehiwet, T., Luo, H. (2017). Analysis of delay impact on construction project based on RII and correlation coefficient: Empirical study. *Procedia Engineering*, 196, 366–374. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.07.212>
- Ghadimi, P., O'Neill, S., Wang, C., Sutherland, J. W. (2021). Analysis of enablers on the successful implementation of green manufacturing for Irish SMEs. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 32, 85–109. <https://doi.org/10.1108/JMTM-10-2019-0382>

- Goyal, S., Routroy, S., & Shah, H. (2018). Measuring the environmental sustainability of supply chain for Indian steel industry: A graph theoretic approach. *Business Process Management Journal*, 24, 517–536. <https://doi.org/10.1108/BPMJ-10-2016-0200>
- Gören, H. G. (2018). A decision framework for sustainable supplier selection and order allocation with lost sales. *Journal of Cleaner Production*, 183, 1156–1169. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.211>
- Govindan, K., Mina, H., Esmaeili, A., & Gholami-Zanjani, S. M. (2020). An Integrated Hybrid Approach for Circular supplier selection and Closed loop Supply Chain Network Design under Uncertainty. *Journal of Cleaner Production*, 242, 118317. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118317>
- Guan, D., Wang, D., & Hallegatte, S. (2020). Global supply chain effects of COVID-19 control measures. *Nature Human Behaviour*, 4, 577–587. <https://doi.org/10.1038/s41562-020-0896-8>
- Gunnasdottir, I., Davidsdottir, B., & Worrell, E. (2020). Review of indicators for sustainable energy development. *Renewable and Sustainable Energy Review*, 133, 110294. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110294>
- Gunnasdottir, I., Davidsdottir, B., & Worrell, E. (2021). It is best to ask: Designing a stakeholder-centric approach to selecting sustainable energy development indicators. *Energy Research and Social Science*, 72, 101968. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.101968>
- Hatefi, M. A. (2023). An improved rank order centroid method (IROC) for criteria weight estimation: An application in the engine/vehicle selection problem. *Informatica*, 34(2), 249–270. <https://doi.org/10.15388/23-INFOR507>
- Heidary Dahooie, J., Hosseini Dehshiri, S. J., Banaitis, A., & Binkytė-Vėlienė, A. (2020). Identifying and prioritizing cost reduction solutions in the supply chain by integrating value engineering and grey multi-criteria decision-making. *Technological and Economic Development of Economy*, 26, 1311–1338. <https://doi.org/10.3846/tede.2020.13534>
- Henao, R., Sarache, W., & Gómez, I. (2019). Lean manufacturing and sustainable performance: Trends and future challenges. *Journal of Cleaner Production*, 208, 99–116. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.116>
- Hossain, Md. U., Ng, S. T., Antwi-Afari, P., & Amor, B. (2020). Circular economy and the construction industry: Existing trends, challenges and prospective framework for sustainable construction. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 130, 109948. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109948>
- Hossen, M. M., Kang, S., & Kim, J. (2015). Construction schedule delay risk assessment by using combined AHP-RII methodology for an international NPP project. *Nuclear Engineering and Technology*, 47, 362–379. <https://doi.org/10.1016/j.net.2014.12.019>
- Hou, Q., & Xie, L. (2019). Research on supplier evaluation in a green supply chain. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2, 1–14. <https://doi.org/10.1155/2019/2601301>
- How, B., & Lam, H. L. (2018). Sustainability evaluation for biomass supply chain synthesis: Novel principal component analysis (PCA) aided optimization approach. *Journal of Cleaner Production*, 189, 941–961. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824388-6.00002-6>

- Hsu, C. H., Zhang, T. Y., & Lin, W. D. (2019). Advanced supply chain development avoiding interruption risk on big data approach. In Proceedings of the 2019 IEEE International Conference on Architecture, Construction, Environment and Hydraulics (ICACEH); <https://doi.org/10.1109/ICACEH48424.2019.9041937> IEEE: Xiamen, China, December 2019, 9–12.
- Hu, X., & Chong, H., Y. (2021). Environmental sustainability of off-site manufacturing: a literature review. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 28(1), 332–350. <https://doi.org/10.1108/ECAM-06-2019-0288>
- Huang, B., Wang, X., Geng, Y., & Bleischwitz, R. (2018). Construction and demolition waste management in China through the 3R principle. *Resources, Conservation and Recycling*, 129, 36–44. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.05.010>
- Huertas, D. B., Farinha, F., Oliveira, M. J., & Silva, E. (2020). Comparison of artificial intelligence algorithms to estimate sustainability indicators. *Sustainable Cities and Society*, 63, 102430. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102430>
- Yadegaridehkordi, E., Hourmand, M., Nilashi, M., & Asolami, E. (2020). Assessment of sustainability indicators for green building manufacturing using fuzzy multi-criteria making approach. *Journal of Cleaner Production*, 277, 122905. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122905>
- Yan, J., Lai, F., Liu, Y. I., Yu, D. C., & Yi, W. (2019). Multi-stage transport and logistic optimisation for mobilised and distributed battery. *Energy Conversion and Management*, 196, 261–276. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.06.001>
- Yeung, J., Chan, D., Chan J., & Lok, K. (2023) Development of a Composite Project Performance Index for the New Engineering Contract (NECPPI) of construction projects in Hong Kong: a Delphi study. *International Journal of Construction Management*, 23(16), 2804–2817. <https://doi.org/10.1080/15623599.2022.2100058>
- Yildiz, S., Kivrak, S., Gultekin, A. B., & Arslan, G. (2020). Built environmental design: Social sustainability relation in urban renewal. *Sustainable Cities and Society*, 60, 102173. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102173>
- Ying, Z. (2021). Low carbon logistics network planning based on green supply chain. In Proceedings of the 2021 13th International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA); <https://doi.org/10.1109/ICMTMA52658.2021.00029> IEEE: Beihai, China, January 2021, 86–89.
- Iqbal, S., Bukhari, S., Riaz, A., & Haider, S. (2020). Assessment of sustainable competitive advantages and influences through project management practices of construction industry of Pakistan. *Journal of Business and Social Review in Emerging Economies*, 6, 1199–1209. <https://doi.org/10.26710/jbsee.v6i3.1398>
- Ishida, S. (2020). Perspectives on supply chain management in a pandemic and the post-COVID-19 era. *IEEE Engineering Management Review*, 1–11. <https://doi.org/10.1109/EMR.2020.3016350>

- Yu, Y., Yazan, D. M., & Bhochhibhoya S. (2021). Towards circular economy through industrial symbiosis in The Dutch construction industry: A case of recycled concrete aggregates. *Journal of Cleaner Production*, 193, 126083 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126083>
- Jiang, H., & Cao, Y. (2021). Case analysis and model construction of the impact of supply chain relationship quality on growth performance in the start-up stage of new ventures. In *Proceedings of the 2021 2nd International Conference on E-Commerce and Internet Technology (ECIT)*; IEEE: Hangzhou, China, March 2021, 352–355. <https://doi.org/10.1109/ECIT52743.2021.00080>
- Jollands, N. (2006). Getting the most out of eco-efficiency indicators for policy. *Sustainable Development Indicators in Ecological Economics*, 317–343. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.074>
- Kaya, R., & Yet, B. (2019). Building Bayesian networks based on DEMATEL for multiple criteria decision problems: A supplier selection case study. *Expert Systems with Applications*, 134, 234–248. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.05.053>
- Kaldas, O., Shihata, L., & Kiefer, J. (2021). An index-based sustainability assessment framework for manufacturing organizations. *Procedia CIRP*, 97, 235–240. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.05.231>
- Kannan, D., Govindan, K., & Rajendran, S. (2015). Fuzzy axiomatic design approach based green supplier selection: a case study from Singapore. *Journal of Cleaner Production*, 96, 194–208. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.12.076>
- Kannan, E., Mina, H., Nosrati-Abarghoee, S., & Khosrojerdi, G. (2020). Sustainable circular supplier selection: a novel hybrid approach. *Science of the Total Environment*, 722, 137936. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137936>
- Karlsson, I., Rootzen, J., Johnsson, F. (2020). Reaching net-zero carbon emissions in construction supply chains – Analysis of a Swedish road construction project. *Renewable and sustainable energy reviews*, 120, 109651. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109651>
- Karmaker, C., Ahmed, T., Ahmed, S., Ali, S., Moktadir, A., & Kabir, G. (2021). Improving supply chain sustainability in the context of COVID-19 pandemic in an emerging economy: Exploring drivers using an integrated model. *Sustainable Production and Consumption*, 26, 411–427. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.09.019>
- Kaufman, F., & Ülkü, A. (2018). An interdisciplinary inquiry into sustainable supply chain management. In *Handbook of Research on Supply Chain Management for Sustainable Development*; Akkucuk, U., Ed.; Advances in Logistics, Operations, and Management Science; IGI Global, 2018. ISBN 978-1-5225-5757-9
- Kilic, H. S., Demirci, A. E., & Delen, D. (2020). An integrated decision analysis methodology based on IF-DEMATEL and IF-ELECTRE for personnel selection. *Decision Support Systems*, 137, 113360. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2020.113360>
- Kitsis, A. M., Chen, I. J. (2021). Do stakeholder pressures influence green supply chain Practices? Exploring the mediating role of top management commitment. *Journal of Cleaner Production*, 316, 128258. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128258>

- Kivilä, J., Martinsuo, M., & Vuorinen, L. (2017). Sustainable project management through project control in infrastructure projects. *International Journal of Project Management*, 35, 1167–1183. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2017.02.009>
- Koli Dey, B., Bhuniya, S., & Biswajit Sarkar, B. (2021). Involvement of controllable lead time and variable demand for a smart manufacturing system under a supply chain management. *Expert Systems with Applications*, 184, 135684. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.115464>
- Konovalenko, I., & Ludwig, A. (2019). Event processing in supply chain management – the status quo and research outlook. *Computers in Industry*, 105, 229–249. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.12.009>
- Kopnina, H., Washington, H., & Gray, J. (2018). The future of conservation’ debate: Defending ecocentrism and the nature needs half movement. *Biological conservation*, 217, 140–148. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.10.016>
- Kumar, A., & Ramesh, A. (2020). An MCDM framework for assessment of social sustainability indicators of the freight transport industry under uncertainty. A multi-company perspective. *Journal of Enterprise Information Management*, 33, 1023–1058. <https://doi.org/10.1108/JEIM-09-2019-0272>
- Kumar, A., Shrivastav, S., Adlakha, A., & Vishwakarma, N. K. (2020). Appropriation of sustainability priorities to gain strategic advantage in a supply chain. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 71(1), 125–155. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-06-2020-0298>
- Kusi-Sarpong, S., Orji, I. J., Gupta, H., & Kunc, M. (2021). Risks associated with the implementation of big data analytics in sustainable supply chains. *Omega*, 105, 125647. <https://doi.org/10.1016/>
- Lahane, S., & Kant, R. (2021). A hybrid Pythagorean fuzzy AHP–CoCoSo framework to rank the performance outcomes of circular supply chain due to adoption of its enablers. *Waste Management*, 130, 48–60. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.05.013>
- Lambert, D. (2008). Supply chain management: Processes, partnerships, performance. Sarasota, Florida: Supply Chain Management Institute.
- Lambert, D., & Etz, M. (2017). Issues in supply chain management: Progress and potential. *Industrial Marketing Management*, 62, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2016.12.002>
- Lee, R. G., & Dale, B. G. (1998). Business process management: a review and evaluation. *Business Process Re-engineering and Management Journal*, 4(3), 214–225.
- Lewis M., & Smith W. (2014). Paradoxical Leadership to Enable Strategic Agility. *Sage Journals*, 56, 1011–1026. <https://doi.org/10.1177/0021886314522322>
- Li, Y., Diabat, A., & Lu, C. C. (2020). Leagile supplier selection in Chinese textile industries: A DEMATEL approach. *Annals of Operations Research*, 287(1), 303–322. <https://doi.org/10.1007/s10479-019-03453-2>
- Li, S., Ragu-Nathan, B., Ragu-Nathan, T. S., & Rao, S. S. (2006). The impact of supply chain management practices on competitive advantage and organizational performance.

- OMEGA: *The International Journal of Management Science*, 34(2), 107–124. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2004.08.002>
- Lima, L., Trindade, E., Alencar, L., Alencar, M., & Silva, L. (2021). Sustainability in the construction industry: A systematic review of the literature. *Journal of Cleaner Production*, 289, 125730. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125730>
- Linton, J. D., Klassen, R., & Jayaraman, V. (2007). Sustainable supply chains: An introduction. *Journal of Operations Management*, 25, 1075–1082. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2007.01.012>
- Literal, V. J. I., & Guhao, E. S. (2021). Structural equation model on triple bottom line performance of large manufacturing companies in Region XII, Philippines. In *International Symposia in Economic Theory and Econometrics*; Barnett, W.A., Sergi, B.S., Eds.; Emerald Publishing Limited, 2021, 13–37. <https://doi.org/10.1108/S1571-038620210000028002>
- Liu, Y., Eckert, C., Yannou-Le Bris, G., & Petit, G. (2019). A fuzzy decision tool to evaluate the sustainable performance of suppliers in an agrifood value chain. *Computers and Industrial Engineering*, 127, 196–212. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.12.022>
- Liu, Y., Xu, J., & Xu, M. (2019). Green construction supply chain performance evaluation based on BSC-SCOR. In *Proceedings of the 2018 15th International Conference on Service Systems and Service Management (ICSSSM)*; IEEE: Hangzhou, China, July 2018, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICSSSM.2018.8465071>
- López-Penabad, C., Iglesias-Casal, A., & Rey-Ares, L. (2022). Proposal for a sustainable development index for rural municipalities. *Journal of Cleaner Production*, 357, 165733, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131876>
- Luthra, S., Govindan, K., Kannan, D., Mangla, S. K., & Garg, C. P. (2017). An integrated framework for sustainable supplier selection and evaluation in supply chains. *Journal of Cleaner Production*, 140, 1686–1698. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.078>
- Ma, L., Hosseini, M. R., Jiang, W., Martek, I., & Mills, A. (2018). Energy Productivity convergence within the Australian construction industry: A Panel data study, 72, 313–320. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2018.04.030>
- Mahat, N., Tah, J, Vidalakis, C., Khamaksorn, A., Thinnukool, O., & Abd Malek, M. I. (2021). Data identification of determinants affecting the adoption of sustainable construction: The perspective of residential building developers. *Data in Brief*, 39, 125467. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2021.107556>
- Mangla, S. K., Kumar, P., & Barua, M. K. (2015). Risk analysis in green supply chain using fuzzy AHP approach: A case study. *Resources, Conservation and Recycling*, 104, 375–390. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.01.001>
- Maqbool, R. (2018). Efficiency and effectiveness of factors affecting renewable energy projects; an empirical perspective. *Energy*, 158, 944–956. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.06.015>
- Martins, V. W. B., Anholon, R., Sanchez-Rodrigues, V., Leal Filho, W., Quelhas, O. L. G. (2021). Brazilian logistics practitioners' perceptions on sustainability: An exploratory

- study. *The International Journal of Logistics Management*, 32, 190–213. <https://doi.org/10.1108/IJLM-02-2020-0091>
- Mendoza M. F., Sharmina, M., Gallego-Schmid, A., Heyes, G. (2017). Integrating back-casting and eco-design for the circular economy: the Bece framework. *Journal of Indicators Ecology*, 21, 526–544. <https://doi.org/10.1111/jiec.12590>
- Merino-Saum, A., Halla, P., Superti, V., Boesch, A., & Binder, C. R. (2020). Indicators for urban sustainability: Key lessons from systematic analysis of 67 measurement initiatives. *Ecological Indicators*, 119, 106879. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106879>
- Mina, H., Kannan, D., Gholami-Zanjani, S. M., & Biuki, M. (2021). Transition towards circular supplier selection in petrochemical industry: A hybrid approach to achieve sustainable development goals. *Journal of Cleaner Production*, 286, 125273. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125273>
- Mohammadi, M. & Rezaei, J. (2020). Bayesian best-worst method: A probabilistic group decision making model. *Omega*, 96, 102075. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2019.06.001>
- Mohammed, A., Harris, I., & Dukyil, A. (2019). A trasilient decision making tool for vendor selection: A hybrid-MCDM algorithm. *Management Decisions*, 57(2), 372–395. <https://doi.org/10.1108/MD-04-2018-0478>
- Mohammed, A., Naghshineh, B., Spiegler, V., & Carvalho, H. (2021). Conceptualizing a supply and demand resilience methodology: A hybrid DEMATEL–TOPSIS–possibilistic multi-objective optimization approach. *Computers and Industrial Engineering*, 160, 107589. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107589>
- Moktadir, Md. A., Mahmud, Y., Banaitis, A., Sarder, T., Khan, M. R. (2021). Key performance indicators for adopting sustainability practices in footwear supply chains. *E&M Economics and Management*, 24, 197–213. <https://doi.org/10.15240/tul/001/2021-1-013>
- Moldan, B., & Dahl, A. (2006). Challenges to sustainability indicators. *Sustainability Indicators: A Scientific Assessment*, 1–26.
- Moldan, B., & Dahl, A. L. (2012). Ecological Indicators, *Editorial*, 12, 1–3. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.08.001>
- Mollenkopf, D. A., Ozanne, L. K., & Stolze, H. J. (2020). A transformative supply chain response to COVID-19. *Journal of Service Management*, 35(2), 145–652. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2022.04.009>
- Moshood, T., Nawanir, G., Mahmud, F., & Sorooshian, S. (2021). Green and low carbon matters: A systematic review of the past, today, and future on sustainability supply chain management practices among manufacturing industry. *Cleaner Engineering and Technology*, 4, 100144. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100144>
- Nantee, N., & Sureeyatanapas, P. (2021). The impact of Logistics 4.0 on corporate sustainability: A performance assessment of automated warehouse operations. *Benchmarking: An International Journal*, 28, 2865–2895. <https://doi.org/10.1108/BIJ-11-2020-0583>
- Nunes, F. M., & Lee Park, C. (2017). Self-claimed sustainability: Building social and environmental reputations with words. *Sustainable Production and Consumption*, 11, 46–57. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2016.04.002>

- Nunes, F. M., Lee Park, C., & Paiva, E. L. (2020). Can we have it all? Sustainability trade-offs and cross-insurance mechanisms in supply chains. *International Journal of Operations and Production Management*, 40, 1339–1366. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-12-2019-0802>
- Nuñez-Cacho, P., Górecki, J., Molina-Moreno, V., & Corpas-Iglesias, F. (2018). What gets measured, gets done: Development of a circular economy measurement scale for building industry. *Sustainability*, 10(7), 2340. <https://doi.org/10.3390/su10072340>
- Oliveira, R., Cubo, C., Estrada, R., Fernandes, A. C., Afonso, P., Carvalho, M.S., Sampaio, P., Roque, J., & Rebelo, M. (2019). A Composite Indicator for Supply Chain Performance Measurement: A Case Study in a Manufacturing Company. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, Macao, China, 1611–1615. <https://doi.org/10.1109/IEEM44572.2019.8978598>
- Owusu-Manu, D., Edwards, D. J., Badu, E., Donkor-Hyiaman, K. A., & Love, P.E.D. (2015). Real estate infrastructure financing in Ghana: Sources and constraints. *Habitat International*, 50, 35–41. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2015.07.008>
- Pade, C., Mallinson, B., & Sewry, D. (2008). An elaboration of critical success factors for rural ict project sustainability in developing countries: exploring the dwesa case. *Journal of Information Technology Case and Application Research*, 10, 32–55. <https://doi.org/10.1080/15228053.2008.10856146>
- Pagell, M., & Wu, Z. H. (2009). Building a more complete theory of sustainable supply chain management using case studies of 10 exemplars. *Journal of Supply Chain Management*, 45, 37–56. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2010.10.001>
- Pamučar, D., & Ćirović, G. (2015). The selection of transport and handling resources in logistics centers using Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison (MABAC). *Expert Systems with Applications*, 42(6), 3016–3028. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.11.057>
- Pande, B., & Adil, G. K. (2021). Assessment of the current state of sustainability in a manufacturing firm. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 4, 1254–1276. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-04-2020-0151>
- Papoulis, A., & Pillai, S. U. (2002). Probability, random variables and stochastic processes with errata sheet. *McGraw Hill Higher Education*.
- Pero, M., Moretto, A., Bottani, E., & Bigliardi, B. (2017). Environmental collaboration for sustainability in the construction industry: An exploratory study in Italy. *Sustainability*, 9(1), 125. <https://doi.org/10.3390/su9010125>
- Podviezko, A., & Podviezko (2015). Influence of Data Transformation on Multicriteria Evaluation Result. *Procedia Engineering*, 122, 151–157. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.10.019>
- Popović, T., Kraslawski, A., Barbosa-Póvoa, A., & Carvalho, A. (2017). Quantitative indicators for social sustainability assessment of society and product responsibility aspects in supply chains. *Journal of International Studies*, 10, 9–36. <https://doi.org/10.14254/2071-8330.2017/10-4/1>

Prahalad, G., & Hamel, C. K. (1996). *Competing for the Future*. Harvard Business School Press; USA.

Punniyamoorthy, M., Mathiyalagan, P., & Parthiban, P. (2011). A strategic model using structural equation modeling and fuzzy logic in supplier selection. *Expert Systems with Applications*, 38(1), 458–474. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.06.086>

Qiu, R., Hou, L., Sun, Y., & Sun, M. (2021). Joint pricing, ordering and order fulfillment decisions for a dual-channel supply chain with demand uncertainties: A distribution-free approach. *Computers and Industrial Engineering*, 160, 107546. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107546>

Quamar, S., & Al-Kindi, M. (2020). Renewability and sustainability: Current status and future prospects. *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials*, 1, 717–730.

Rakickas, A., & Skunčikienė, S. (2007). Informacinių technologijų taikymo galimybės besimokančioje organizacijoje tiekimo grandinės modelio valdymo pavyzdžiu. *Dešimtoji respublikinė doktorantų ir magistrantų konferencija „Lietuvos ūkio vystymas ES erdvėje: procesai ir tendencijos“*, Kaunas: VDU.

Reid, J., & Rout, M. (2020). Developing sustainability indicators: The need for radical transparency. *Ecological Indicators*, 110, 105941. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105941>

Rejeb, A., Simske, S., Rejeb, K., Treiblmaier, H., & Zailani, S. (2020). Internet of Things research in supply chain management and logistics: A bibliometric analysis. *Internet of Things*, 12, 100318. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2020.100318>

Remko, H. (2020). Research opportunities for a more resilient post-COVID-19 supply chain – closing the gap between research findings and industry practice. *International Journal of Operating Production Management*, 40, 341–355. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-03-2020-0165>

Rezaei, J. (2015). Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega*, 53, 49–57. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2014.11.009>

Rezaei, J., Kothadiya, O., Tavasszy, L., & Kroesen, M. (2018). Quality assessment of airline baggage handling systems using SERVQUAL and BW. *Tourism Management*, 66, 85–93. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2017.11.009>

RezaHoseini, A., Noori, S., & Ghannadpour, S.F. (2021). Integrated scheduling of suppliers and multi-project activities for green construction supply chains under uncertainty. *Automation in Construction*, 122, 103485. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103485>

Rigby, C., Day, M., Forrester, P., & Burnett, J. (2000). Agile supply: Rethinking systems thinking, systems practice. *International Journal of Agile Management Systems*, 2(3), 178–186. <https://doi.org/10.1108/14654650010356086>

Rostamnezhad, M., Nasirzadeh, F., Khanzadi, M., Jarban, M. J., & Ghayoumian, M. (2020). Modeling social sustainability in construction projects by integrating system dynamics and fuzzy-DEMATEL method: a case study of highway project. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 27(7), 1595–1618. <https://doi.org/10.1108/ECAM-01-2018-0031>

- Saad, S., Alaloul, W. S., Ammad, S., Altaf, M., & Qureshi, A. H. (2021). Identification of critical success factors for the adoption of Industrialized Building System (IBS) in Malaysian construction industry. *Ain Shams Engineering Journal*, 256–264. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.04.001>
- Saavedra, M., Fontes C., & Freires, F. G. (2018). Sustainable and renewable energy supply chain: A system dynamics overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 247–259. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.033>
- Salami, S. F., Isah, A. D., & Muhammad, I. B. (2021). Critical indicators of sustainability for mixed-use buildings in Lagos, Nigeria. *Environmental and Sustainability Indicators*, 9, 100101. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2021.100101>
- Sánchez-Garrido, A., Navarro, I., & Yepes, V. (2022). Multi-criteria decision-making applied to the sustainability of building structures based on Modern Methods of Construction. *Journal of Cleaner Production*, 330, 129724. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129724>
- Sangwan, K. S., Bhakar, V., & Digalwar, A. K. (2019). A sustainability assessment framework for cement industry – a case study. *Benchmarking: An International Journal*, 26(2), 470–497. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.11.101>
- Schöggel, J. P., Baumgartner, R. J., & Hofer, D. (2017). Improving sustainability performance in early phases of product design: A checklist for sustainable product development tested in the automotive industry. *Journal of Cleaner Production*, 140, 1602–1617. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.195>
- Sebestyén, V., Fejes, R., Tóth, E., Tóth-Nagy, G., & Kurdi, R. (2024). University of Pannonia Sustainability index (UPS_i) for corporate sustainability. *Environmental and Sustainability*, 122, 100349. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2024.100349>
- Shen, L. Y., Tam, V. W. Y., & Ji, Y. B. (2010). Project feasibility study: the key to successful implementation of sustainable and socially responsible construction management practice. 254–259. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.10.014>
- Shi, Y., & Xu, J. (2021). BIM-based information system for eco-enviro-friendly end-of-life disposal of construction and demolition waste. *Automation in Construction*, 125, 103611. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103611>
- Shiralkar, K., Bongale, A., & Kumar, S. (2021). Issues with decision making methods for supplier segmentation in supplier relationship management: A literature review. *Materials Today: Proceedings*, 50, 1786–1792. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.09.197>
- Shuanggui, Y., Baoguo, J., & Chun, L. (2011). The tentative idea of energy recovery based on 3R principle. *Procedia Engineering*, 21, 1188–1192. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.11.2129>
- Sindhvani, R., Afridi, S., Kumar, A., Banaitis, A., Luthra, S., & Singh, P. L. (2022). Can Industry 5.0 revolutionize the wave of resilience and social value creation? A multi-criteria framework to analyse enablers. *Technology in Society*, 68, 101887. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2022.101887>
- Sroufe, R. (2017). Integration and organizational change towards sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 162, 315–329. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.180>

- Stanitsas, M., Kirytopoulos, K., & Loepoulos, V. (2021). Integrating sustainability indicators into project management: The case of construction industry. *Journal of Cleaner Production*, 279, 123774. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123774>
- Suhi, S. A., Enayet, R., Haque, T., Ali, S. M., Moktadir, A., & Paul, S. K. (2019). Environmental sustainability assessment in supply chain: An emerging economy context. *Environmental Impact Assessment Review*, 79, 106306. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2019.106306>
- Tamošaitienė, J., Zavadskas, E. K., Šileikaitė, I., & Turskis, Z. (2017). A novel hybrid MCDM approach for complicated supply chain management problems in construction. *Procedia Engineering*, 172, 1137–1145. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.02.168>
- Tatari, O., Kucukvar, M., Onat, N.C. (2015). Towards a triple bottom line life cycle sustainability assessment of buildings. *Applied Energy*, 150, 36–49. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.04.001>
- Tetteh, M., Chan, A., & Nani, G. (2019). Combining process analysis method and four-pronged approach to integrate corporate sustainability metrics for assessing international construction joint ventures performance. *Journal of Cleaner Production*, 237, 117781. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117781>
- Thies, C., Kieckhäfer, K., Spengler, T., & Sodhi, M. (2019). Operations research for sustainability assessment of products: A review. *European Journal of Operational Research*, 274, 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.04.039>
- Toufani, P., Kucukvar, M., & Onat, N. C. (2018). Carbon footprints of construction industries: A global, Supply chain-linked analysis. In Proceedings of the 2018 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM); IEEE: Bangkok, December 2018, 11–16. <http://dx.doi.org/10.1109/IEEM.2018.8607513>
- Tseng, M. L., Jeng, S. Y., Lin, C. W., & Lim, M. K. (2021). Recycled construction and demolition waste material: A cost–benefit analysis under uncertainty. *Management of Environmental Quality*, 32, 665–680. <https://doi.org/10.1108/MEQ-08-2020-0175>
- Tu, J., Wu, Z., & Pedrycz, W. (2023). Priority ranking for the best-worst method. *Information Sciences*, 635, 42–55. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2023.03.110>
- Tura, N., Keränen, J., & Patala, S. (2019). The darker side of sustainability: Tensions from sustainable business practices in business networks. *Industrial Marketing Management*, 77, 221–231. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2018.09.002>
- Turskis, Z., Zavadskas, E. K., & Peldschus, F. (2009). Multi-criteria optimization system for decision making in construction design and management. *Engineering Economics*, 1, 7–17.
- Tushar, Z., N., Bari, M., & Khan, M. A. (2022). Circular supplier selection in the construction industry: A sustainability perspective for the emerging economies. *Sustainable Manufacturing and Service Economics*, 1, 100005. <https://doi.org/10.1016/j.smse.2022.100005>
- Upadhyay, P., & Kumar, A. (2020). A house of sustainability-based approach for green product design: Setting future research agenda. *Management of Environmental Quality*, 31, 819–846. <https://doi.org/10.1108/DPRG-09-2023-0130>

- Wang, H., Lu, X., Sheng, C., & Cui, W. (2018). General frame for arbitrary 3R subproblems based on the POE model. *Robotics and Autonomous Systems*, 105, 138–145. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2018.04.002>
- Wentao Gu, W., & Wang, J. (2022). Research on index construction of sustainable entrepreneurship and its impact on economic growth. *Journal of Business Research*, 142, 266–276. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.12.060>
- Wong, C. Y., Wong, C. W., & Boon-itt, S. (2015). Integrating environmental management into supply chains. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 45, 43–68. <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-05-2013-0110>
- Wu, C., Zhang, Y., Pun, H., & Lin, C. (2020). Construction of partner selection criteria in sustainable supply chains: A systematic optimization model. *Expert Systems with Applications*, 158, 124675. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113643>
- Wu, H., Zuo, J., Yuan, H., Zillante, G. (2020). Cross-regional mobility of construction and demolition waste in Australia: An exploratory study. *Resources, Conservation and Recycling*, 156, 104710. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104710>
- Xing, W., Hao, J. L., & Qian, L. (2020). Implementing Lean construction techniques and management methods in Chinese projects: A case study in Suzhou, China. *Journal of Cleaner Production*, 286, 124944. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124944>
- Xu, Z., Elomri, A., Kerbache, L., & El Omri, A. (2020). *Impacts of COVID-19 on global supply chains: facts and perspectives*, *IEEE Engineering Management Review*, 1–17. <https://doi.org/10.1109/EMR.2020.3018420>
- Zhang F., & Song W. (2022). Sustainability risk assessment of blockchain adoption in sustainable supply chain: An integrated method. *Computers and Industrial Engineering*, 171, 108378. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108378>
- Zhang, H., & Yu, L. (2021). Resilience–cost trade–off supply chain planning for the prefabricated construction project. *Journal of Civil Engineering and Management*, 27(1), 45–59. <https://doi.org/10.3846/jcem.2021.14114>
- Zhou, L., Tokos, H., Krajnc, D., & Yang, Y. (2012). Sustainability performance evaluation in industry by composite sustainability index. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 14(5), 789–803. <https://doi.org/10.1007/s10098-012-0454-9>
- Zhu X., Ran, Y., Zhang, G., Chen, J., & Heli, L. (2023). Identification of maintenance significant items for machine tools by integrating DEMATEL and MABAC with spherical fuzzy sets. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 126 (Part D), 107155. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.107155>
- Zon, J. L. N., Loepoldino, C. J., Yamane, L. H., & Siman, R. R. (2020). Waste pickers organizations and municipal selective waste collection: Sustainability indicators. *Waste Management*, 118, 219–231. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.08.023>

Autorės mokslinių publikacijų disertacijos tema sąrašas

Straipsniai recenzuojamuose mokslo žurnaluose

Cataldo, I., Banaitis, A., Samadhiya, A., Banaitienė, N., Kumar, A., & Luthra, S. (2022). Sustainable supply chain management in construction: an exploratory review for future research. *Journal Civil Engineering and Management*, 28(7), 536–553. <https://doi.org/10.3846/jcem.2022.17202>

Cataldo, I., Banaitienė, N., & Banaitis, A. (2025). A composite index to measure sustainability of supply chain management in construction companies. *E&M Economics and Management*, 28(1), 98–116. <https://doi.org/10.15240/tul/001/2024-5-017>

Straipsniai kituose leidiniuose

Cataldo, I. (2022a). Tvariosios tiekimo grandinės valdymas statyboje. *Mokslas – Lietuvos Ateitis / Science – Future of Lithuania*, 14, Article mla.2022.15156. <https://doi.org/10.3846/mla.2022.15156>

Cataldo, I. (2022b). Importance of sustainability indicators in construction SSCM. *XVI International Prof. Vladas Gronskas Scientific Conference in Vilnius University Kaunas Faculty, Sustainability Section. December 3rd, 2021*. <https://doi.org/10.15388/ISC.2022.3>

Cataldo, I. (2024). Tiekimo grandinės valdymo starybos įmonėse tvarumo matavimas, *Mokslas – Lietuvos Ateitis / Science – Future of Lithuania*, 16, Article mla.2024.19088. <https://doi.org/10.3846/mla.2024.19088>

Cataldo, I. (2023). Sustainability Assessment of Construction SCM through Development of Indicators. *WayScience, 2nd International Scientific and Practical Internet Conference, Scientific Research and Innovation 2023-04-03*. 17–20. https://www.researchgate.net/publication/370593701_2nd_International_Scientific_and_Practical_Internet_Conference

Summary in English

Introduction

Formulating the problem

Although the importance of supply chain management in the construction sector has been widely recognized in recent years, significant challenges still exist in implementing sustainability processes within construction companies. A long-term assessment of this broad sector requires numerous complex sustainability components (environmental, social, and financial), defined by the Triple Bottom Line (TBL) in the Brundtland Report by the World Commission on Environment and Development. Therefore, it is important to conduct a sustainability assessment of construction companies' supply chains, which is often challenging because sustainability indicators used in the management of construction companies are frequently qualitative rather than quantitative. Furthermore, current research lacks a clear understanding of which sustainability indicators have the greatest impact on evaluating construction companies' supply chains. Therefore, this study focuses on identifying the importance of sustainability indicators that influence construction companies' supply chains. When supply chain characteristics are known, multi-criteria methods are used to address this issue.

Relevance of the dissertation

In scientific literature, supply chain management (SCM) is associated with a process-oriented approach, emphasizing the qualitative aspect of processes (Brix-Asala et al., 2018;

Kumar et al., 2020; Croxton et al., 2001; Bouzon et al., 2018; Lambert, 2008; Konovalenko & Ludwig, 2019). However, there is still a lack of research examining construction companies' sustainable supply chain management (SSCM) from a holistic perspective at national and international levels rather than in a fragmented way. Existing approaches in the scientific literature are mostly focused on project supply chain management rather than on a long-term sustainable decision-making approach for construction companies. Additionally, most existing SCM methods and systems are transferred to the construction sector without considering the specificities of construction companies, making the assessment and study of sustainable supply chain management (SSCM) processes in the construction sector relevant not only from a theoretical and scientific standpoint but also practically.

It is evident that this environment is quite complex, and therefore, the development of sustainability indexing systems and a complex of multi-criteria methods is a multi-faceted challenge requiring dedicated scientific research.

Object of research

The research object of the dissertation is construction companies that apply sustainable supply chain management.

Aim of the dissertation

The dissertation aims to develop a conceptual tool that enables the assessment of sustainable supply chain management in construction companies using multi-criteria decision-making methods.

Tasks of the dissertation

The following tasks are addressed to achieve the research objective:

1. To review research conducted by scientists from various countries and their results in the field of sustainable supply chain management (SSCM) in construction companies and justify the need to develop a conceptual SSCM tool.
2. To develop a comprehensive system of SSCM indicators applied in construction companies and create a conceptual SSCM tool for these companies.
3. To create a composite SSCM assessment index for construction companies.
4. To conduct an evaluation of a construction company's supply chain partners (suppliers) in a real project based on the established indicator system using multi-criteria decision-making methods.
5. To discuss the practical application prospects of the SSCM evaluation model in construction companies and possible directions for further research.

Research methodology

The dissertation was based on scientific publications, statistical reports, online statistical data from various countries, and other scientific and informational publications from academic institutions. To address the research tasks, surveys of construction professionals

and experts were conducted, data analysis was performed, and methodologies were applied, including expert evaluation and a hybrid complex of multi-criteria decision-making methods (DEMATEL, BWM, and MABAC).

Scientific novelty of the dissertation

The following novel results for civil engineering were obtained in the preparation of the dissertation:

1. An original conceptual tool for evaluating sustainable supply chain management (SSCM) in construction companies was developed, integrating SSCM sustainability assessment indicators, a composite SSCM assessment index for construction companies, and multi-criteria decision-making methods.
2. A comprehensive system of SSCM sustainability assessment indicators applied in construction companies was created based on seven proposed indicator groups.
3. A composite SSCM assessment index was developed, enabling construction companies to evaluate their current SSCM sustainability status.
4. An indicator system was created to evaluate and select SSCM partners (suppliers) for a real project. An effective combination of multi-criteria decision-making methods, consisting of DEMATEL, BWM, and MABAC methods, was proposed to address these tasks.

Practical value of the research findings

The research results may be useful for construction companies that are applying or planning to apply sustainable supply chain management (SSCM) principles, to perform an SSCM assessment, identify the current sustainability status of their supply chain management, determine areas for improvement, conduct SSCM monitoring, and make well-informed decisions. A practically applicable multi-criteria algorithm for evaluating and selecting SSCM partners (suppliers) in construction companies is proposed. By applying the suggested SSCM model, companies can promote more efficient resource use, reduce environmental impact, strengthen their image, and encourage innovation.

Defended statements

1. Identifying key sustainability indicators is one of the essential factors that can help ensure the successful operation of construction companies when implementing sustainable supply chain management practices.
2. The developed composite index is suitable for construction companies seeking to assess their current supply chain management sustainability status, identify areas for improvement, monitor sustainable supply chain management, and make well-informed decisions.
3. When assessing the sustainability of construction companies' supply chains, especially with many sustainability indicators, and to achieve the most reliable results, it is appropriate to apply multiple multi-criteria analysis methods. De-

termining the significance of sustainability indicator groups and sub-groups establishes priorities for evaluating sustainable supply chain management in construction companies.

Approval of the research findings

The topic of the dissertation was published in six scientific articles: two in journals included in the *Web of Science* list (Cataldo, Banaitis, Samadhiya, Banaitienė, Kumar & Luthra, 2022; Cataldo, Banaitis & Banaitienė, 2025), two in an international conference proceedings collection (Cataldo, 2022a; Cataldo, 2023), and two in a peer-reviewed collection of conference articles in Lithuania (Cataldo, 2022b; Cataldo, 2024). The topic of the dissertation was presented in five presentations at conferences in Lithuania and other countries:

- XVI International Prof. Vladas Gronskas Scientific Conference, Sustainability Section, 2 December 2021, Kaunas, Lithuania.
- 24th Lithuanian Conference for Junior Researchers “Science – Future of Lithuania. Construction,” 29 March 2021, Vilnius, Lithuania.
- 25th Lithuanian Conference for Junior Researchers “Science – Future of Lithuania. Construction,” 25 March 2022, Vilnius, Lithuania.
- II International Scientific and Practical Internet Conference: Scientific Research and Innovation, 3–4 April 2023, Dnipro, Ukraine.
- 26th Lithuanian Conference for Junior Researchers “Science – Future of Lithuania. Construction,” 13 April 2023, Vilnius, Lithuania.

The final results of the dissertation were presented at the scientific seminar at Riga Technical University on 23 May 2024, Riga, Latvia.

Structure of the dissertation

The dissertation consists of an introduction, three chapters, general conclusions, references, a list of the author’s scientific publications on the dissertation topic, a summary in English, and three appendices (A, B, C). The dissertation spans 90 pages excluding the reference list, appendices, and the summary in English. The dissertation contains seven figures, 36 tables, and 196 references.

1. Analysis of research papers to assess sustainable supply chain management in construction companies

The First Chapter provides an overview of supply chains in construction companies in Lithuania and other countries, describes the concept of SSCM and its importance in construction companies, and its connections with sustainable construction. Academic scientific articles on this topic are reviewed.

Based on the review of different research theories about supply chains, it can be concluded that a supply chain is an optimized and coordinated network activity of companies, ensuring cost reduction within the network and timely delivery of orders to customers. The analysis of scientific literature has shown a significant interest in SSCM. The

review aimed to summarize existing knowledge and address gaps and contradictions regarding SSCM in construction companies.

Currently, SCM is one of the fastest-growing business concepts. The application of this concept helps optimize business management, reduce operational costs and losses, and increase company profitability. In scientific literature, SSCM covers supplier selection balancing, choice of transportation type, and project time planning, which have become real operational challenges in construction companies attempting to reduce project delays, logistics costs, dispersion, and greenhouse gas emissions.

According to the latest scientific literature sources, academics agree that current methodologies and tools for evaluating sustainable supply chain management in construction companies are not sufficiently effective, secure, and reliable. Therefore, certain steps need to be taken to optimize logistics and construction operations to meet the growing needs of customers and contractors (Yan et al., 2019). With the help of AI, such as Blockchain, the Internet of Things, and other advanced integrated computer programs, problems are solved faster, more accurately, and with greater input diversity than conventional methods (Ganesh & Kalpana, 2022).

SSCM in construction companies cannot be evaluated based on a single value; it is a multifaceted dimension. A literature analysis revealed that there is no single best method for evaluating SSCM indicators. A comprehensive analysis of all SCM indicators that determine the assessment of construction companies' sustainability and apply multi-criteria methods is recommended for the assessment of the sustainability effectiveness of construction companies.

In this chapter, significant attention was also paid to the evaluation of sustainability indexing systems. The development of an initiative, predictive, and intellectual mechanism for assessing the sustainability of supply chains in construction companies requires a focus on operational efficiency and a multi-criteria decision-making-based indexing model.

Based on the review of scientific literature, it can be concluded that it is necessary to analyze the following actions to evaluate the SSCM of construction companies: (a) establish a hierarchical structure of SSCM indicators encompassing the external, institutional, and internal environments of construction companies; (b) develop a conceptual model (an index) of composite evaluation indicators determining SCM in construction companies; and (c) validate the developed indicator system using multi-criteria analysis methods (DEMATEL, BWM and MABAC) to evaluate construction company SSCM partners (suppliers).

2. Theoretical framework of the sustainable supply chain management tool for construction companies

The Second Chapter presents a developed tool for analyzing indicators influencing the sustainability of construction companies' SSCM, and its elements are thoroughly examined based on the extensive analysis of scientific literature and relying on the opinions of specialists in this field and personal experience. A practical and scientific literature analysis observed that during the preparation of this research work, in studies conducted using SSCM models of construction companies, supply chains were analyzed only from narrow perspectives and based on limited indicators (Fig. S2.1).

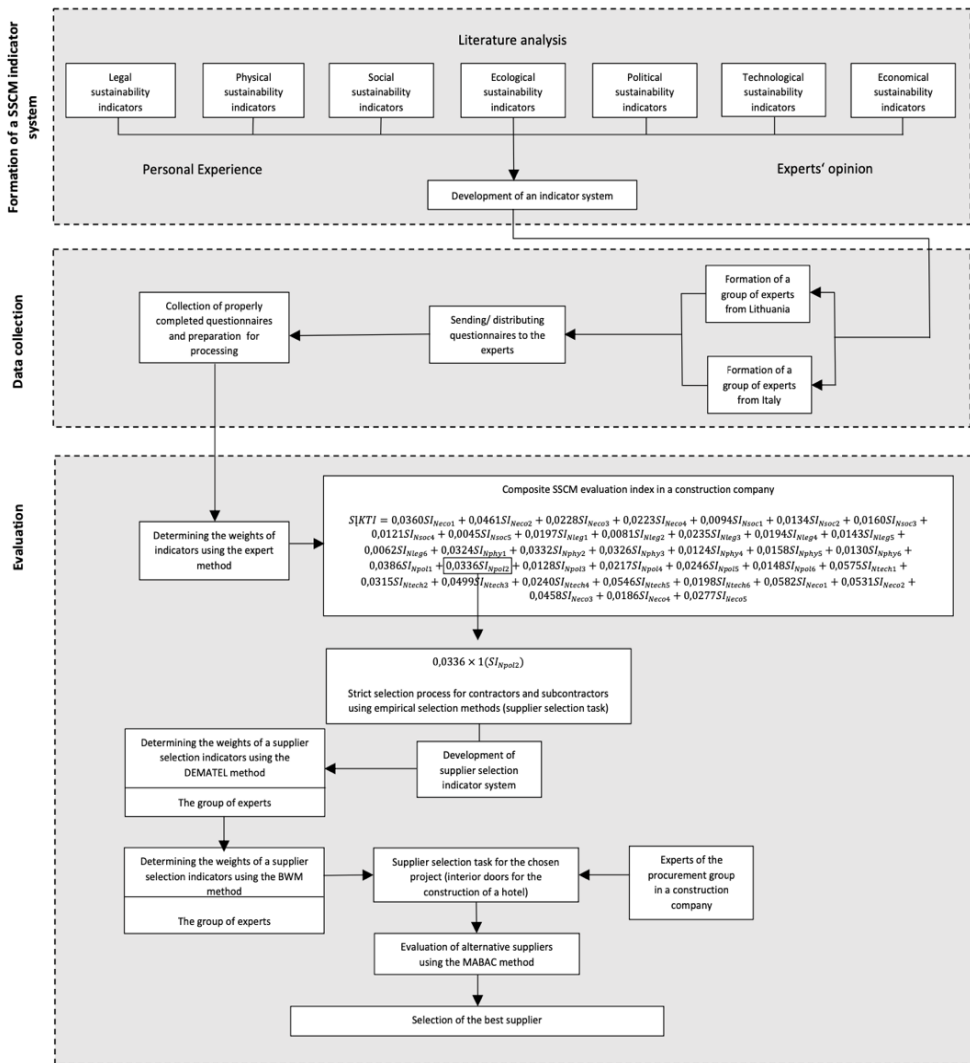


Fig. S2.1. Conceptual model of the SSCM in construction companies by multi-criteria assessment (compiled by the author)

First, based on an extensive review of scientific literature, a list of sustainability indicators influencing construction company supply chains was created; they were divided into seven sustainability groups, and the indicator system was developed.

After the weights of the sustainability indicators were determined using the expert method, a composite SSCM evaluation index was created to evaluate sustainability practices in construction companies. A new sustainability indexing system was proposed to

facilitate sustainability evaluation in construction companies using a system of weighted sustainability indicators to quantitatively assess sustainability practices in construction companies.

After creating the index, a small part of the construction company's supply chain was taken, e.g., one sustainability indicator (SI_{Npol2} – strict contractor and subcontractor selection process using empirical methods) was chosen. For the evaluation of the best supplier selection, a hybrid model of a new multi-criteria decision-making method complex, including DEMATEL, BWM was created and was applied in this work to determine the weights of supplier selection indicators to develop a supplier selection system.

Finally, the multi-criteria evaluation method MABAC was used to evaluate alternative supplier selection, and the best supplier was chosen.

A task to categorize sustainability indicators (criteria) into a limited list was created, clearly described according to different evaluation criteria that need to be considered simultaneously. In this work, a hybrid method is proposed, namely a combination of the Delphi method, expert evaluation, indexing system, DEMATEL, BWM, and MABAC methods.

One of the most important parts of multi-criteria analysis is determining the weights of sustainability indicators. The importance of sustainability indicators varies for different SSCMs of construction companies. After examining various sustainability evaluation principles, it was proposed to rely on several groups of quantitative sustainability indicators: economic, political, environmental, ecological, social, technological, and physical. The application of different methods (the chosen evaluation system comprising the expert evaluation method, composite indexing system of sustainability indicators, and the hybrid application of DEMATEL, BWM, and MABAC methods) is the most effective way to identify the most important sustainability indicators (criteria), calculate their importance in the SSCM of construction companies, evaluate sustainability practices in construction companies, select the best suppliers for construction companies, and assess other aspects within the sustainable supply chain of construction companies.

3. Application of the sustainable supply chain management tool for construction companies

In the Third Chapter of the dissertation, the author presents a model of a multi-criteria analysis method complex and a composite sustainability indicator index, which is applied to solve the practical task of evaluating the selection of the best supplier for a construction company project.

For the complex evaluation, a composite sustainability indicator evaluation index is proposed, which thoroughly assesses the sustainability practices of a construction company. The indicator system consists of 38 indicators divided into seven sustainability groups (Table S3.1).

The first part of the survey evaluated the weights of sustainability indicators using the Delphi method and expert evaluation method with experts from Italy and Lithuania. It also calculated the sustainability indicators and their sustainability groups that have the greatest impact on construction companies. The most important sustainability indicators in construction company supply chains are used to present an integrated method to create

a composite index, which can measure and evaluate sustainability practices in construction company supply chains.

Table S3.1. Ranking of supply chain sustainability indicators with local, individual, and general significances (compiled by the author)

Sustainability group	Weight of the group	Code	Indicator	Global normalized importance w_i^g	Rank
1	2	3	4	5	6
Environmental indicators	0.1711	<i>SI_{Neco1}</i>	Environmental Impact	0.0360	9
		<i>SI_{Neco2}</i>	Cost Reduction through the Implementation of Sustainable Practices	0.0461	6
		<i>SI_{Neco3}</i>	Environmental Load	0.0228	19
		<i>SI_{Neco4}</i>	Sustainable Work Practices	0.0223	20
Social indicators	0.0595	<i>SI_{Nsoc1}</i>	Project Team Satisfaction	0.0094	35
		<i>SI_{Nsoc2}</i>	Targeted Incentives and Compensation	0.0134	30
		<i>SI_{Nsoc3}</i>	Employee and Employer Education	0.0160	26
		<i>SI_{Nsoc4}</i>	Employee Rights	0.0121	34
		<i>SI_{Nsoc5}</i>	Public Relations and Community Engagement	0.0045	38
Legal indicators	0.0818	<i>SI_{Nleg1}</i>	Environmental Management	0.0197	23
		<i>SI_{Nleg2}</i>	Risk Management Mechanism	0.0081	36
		<i>SI_{Nleg3}</i>	Efficiency and Cost	0.0235	18
		<i>SI_{Nleg4}</i>	Best Practices Strategy	0.0194	24
		<i>SI_{Nleg5}</i>	Contractor Commitment Fulfillment	0.0143	29
		<i>SI_{Nleg6}</i>	Reporting and Targeted Documentation	0.0062	37
Physical indicators	0.1250	<i>SI_{Nphy1}</i>	Sustainable Project Implementation	0.0324	13
		<i>SI_{Nphy2}</i>	Sustainable Resource Use	0.0332	11
		<i>SI_{Nphy3}</i>	Work Performance and Final Results	0.0326	12
		<i>SI_{Nphy4}</i>	Collaboration and Building Mutual Trust	0.0124	33
		<i>SI_{Nphy5}</i>	Employee Accountability	0.0158	27
		<i>SI_{Nphy6}</i>	Stakeholder Engagement	0.0130	31
Political indicators	0.1310	<i>SI_{Npol1}</i>	National and Economic Stability	0.0386	8
		<i>SI_{Npol2}</i>	Stringent Contractor and Subcontractor Selection Process	0.0336	10
		<i>SI_{Npol3}</i>	Company Operations on an International Scale	0.0128	32
		<i>SI_{Npol4}</i>	Political Environment and Company Engagement in Environmental Policy	0.0217	21
		<i>SI_{Npol5}</i>	Adherence to Deadlines and Timely Payment	0.0246	16
		<i>SI_{Npol6}</i>	Transparency and Holistic Approach	0.0148	28
Technological	0.2128	<i>SI_{Ntech1}</i>	Innovation and Continuous Improvement	0.0575	2
		<i>SI_{Ntech2}</i>	Project Completion and Customer Satisfaction	0.0315	14
		<i>SI_{Ntech3}</i>	Use of Sustainable Materials	0.0499	5
		<i>SI_{Ntech4}</i>	Implementation of New Technologies	0.0240	17

End of Table S3.1

1	2	3	4	5	6
Economic indicators	0.2188	SI_{Ntech5}	Level of Quality and Productivity	0.0546	3
		SI_{Ntech6}	Application of Systems	0.0198	22
		SI_{Neco1}	Profitability	0.0582	1
		SI_{Neco2}	Resources and Successful Management	0.0531	4
		SI_{Neco3}	Financial Planning	0.0458	7
		SI_{Neco4}	Funding for Charity and Community Activities	0.0186	25
		SI_{Neco5}	Competition Among Companies and Fair Pricing	0.0277	15

Based on the results, the weights of sustainability indicators were normalized, and a composite indexing system was created according to their importance. By using this composite index, construction companies could assess their sustainability practices by using empirical methods. The composite index for evaluating the sustainability of construction companies could serve as a tool for assessing sustainability practices in the long term and should be used annually, every two years, or every five years to observe changing implementations of sustainability practices. The full formula for the sustainability index of a construction company would look like this:

$$\begin{aligned}
 SI = & 0.0360SI_{Neco1} + 0.0461SI_{Neco2} + 0.0228SI_{Neco3} + 0.0223SI_{Neco4} + \\
 & 0.0094SI_{Nsoc1} + 0.0134SI_{Nsoc2} + 0.0160SI_{Nsoc3} + 0.0121SI_{Nsoc4} + 0.0045SI_{Nsoc5} + \\
 & 0.0197SI_{Nleg1} + 0.0081SI_{Nleg2} + 0.0235SI_{Nleg3} + 0.0194SI_{Nleg4} + 0.0143SI_{Nleg5} + \\
 & 0.0062SI_{Nleg6} + 0.0324SI_{Nphy1} + 0.0332SI_{Nphy2} + 0.0326SI_{Nphy3} + \\
 & 0.0124SI_{Nphy4} + 0.0158SI_{Nphy5} + 0.0130SI_{Nphy6} + 0.0386SI_{Npol1} + \\
 & 0.0336SI_{Npol2} + 0.0128SI_{Npol3} + 0.0217SI_{Npol4} + 0.0246SI_{Npol5} + 0.0148SI_{Npol6} + \\
 & 0.0575SI_{Ntech1} + 0.0315SI_{Ntech2} + 0.0499SI_{Ntech3} + 0.0240SI_{Ntech4} + \\
 & 0.0546SI_{Ntech5} + 0.0198SI_{Ntech6} + 0.0582SI_{Neco1} + 0.0531SI_{Neco2} + \\
 & 0.0458SI_{Neco3} + 0.0186SI_{Neco4} + 0.0277SI_{Neco5}
 \end{aligned} \quad (1)$$

A review of multi-criteria evaluation methods was conducted. Since the choice of multi-criteria evaluation methods depends on the task at hand, the known methods, DEMATEL, BWM, and MABAC, were selected for the evaluation in a combined method complex.

Finally, a small part of the construction company's supply chain was selected to evaluate the sustainability indicator, SO_{Npol2} (a strict selection process for contractors and sub-contractors) value. This system would allow a construction company to assess the selection of the best supplier for a construction project using a multi-criteria method complex. For the questionnaire using DEMATEL and BWM methods, there were chosen seven sustainability indicators that directly influence the selection of suppliers for managing the sustainable supply chain of a construction company: R1 – Price, R2 – Delivery time, R3 – Quality, R4 – Operational Sustainability, R5 – Reputation, R6 – Flexibility, R7 – Inventory management.

After ranking all seven sustainability indicators obtained from the expert survey using the DEMATEL method, from the most important to the least important for the supplier

selection task in the evaluation of the sustainable supply chain of Lithuanian construction companies, their order of importance is as follows: (1) Quality; (2) Reputation; (3) Cost; (4) Flexibility; (5) Inventory Management; (6) Delivery; and (7) Operational Sustainability (Table S3.2).

Table S3.2. Overall calculations of survey data compiled using the DEMATEL method (compiled by the author)

Indicator	Code	$(R+X)^2$	$(R-X)^2$	w	W	Rank
Price	R1	532.6578	0.0308	23.0800	0.1479	3
Delivery	R2	444.1823	0.0602	21.0771	0.1350	6
Quality	R3	580.0841	0.0057	24.0851	0.1543	1
Operational sustainability	R4	404.6034	0.4731	20.1265	0.1290	7
Reputation	R5	544.2392	0.6157	23.3421	0.1496	2
Flexibility	R6	499.6163	2.0286	22.3974	0.1435	4
Inventory management	R7	482.6240	0.0018	21.9687	0.1408	5
sum				156.0770	1.0000	

The next phase of the study was the application of the BWM method. After summing the results, it was calculated that the best indicator, compared to the others on the indicator evaluation scale (from 1 to 7, where 1 means indicators are equally important and 7 indicates a significant advantage of one indicator), was Quality (R3), while the other indicators, compared to the worst on the evaluation scale (from 1 to 7), was Operational Sustainability (R4).

After the second and third parts of the survey, a practical task was created, and the MABAC method was applied. This solution allowed representatives of a Lithuanian construction company to evaluate the selection of the best supplier for the represented construction company. Three experts from the company's procurement department independently evaluated the proposals from all four suppliers, considering all seven sustainability indicators. Finally, the ranking of alternatives (the list of the best suppliers of interior doors for the hotel) can be found using the multi-attribute MABAC method (Table S3.3).

Table S3.3. Alternative ranking by the MABAC method (compiled by the author)

Alternatives	Q	Ranking
Supplier "A" (A1)	-0.1376	-7
Supplier "B" (A2)	0.1095	2
Supplier "C" (A3)	0.0406	3
Supplier "D" (A4)	0.2147	1

According to this calculation, it can be decided that Supplier “D” is the best supplier option for the company, for selecting interior doors for the hotel under construction.

General conclusions

1. To ensure the sustainable operation of a construction company, the application of innovative technologies and greener strategies is necessary, including knowledge management, organizational flexibility, and knowledge-based economic aspects. Therefore, research methods that can explore these innovative and sustainable solutions are essential. A review of the scientific literature revealed that sustainability assessment in the supply chains of construction companies is a relatively new and under-researched phenomenon. Thus, the dissertation justifies the need to explore new methods for sustainability assessment from ecological, environmental, and social perspectives. The current scientific literature lacks a consensus on a multi-criteria decision support model-based sustainability assessment in the supply chains of construction companies, which could allow for a more comprehensive and optimal sustainability evaluation by integrating sustainability indicators. The dissertation proposes to fill this research gap with a new concept of a sustainability assessment tool for construction companies' supply chains.
2. The dissertation presents an original conceptual SSCM tool created by the author, which can be applied for the comprehensive assessment of sustainability practices and the evaluation of SCM partners (suppliers) of construction companies. This tool helps address the economic, social, and environmental issues faced by construction companies, assess sustainable practices, and select the best supplier. During this research, an SSCM methodology for the construction sustainability indicators was developed, which can be used not only in Lithuania but also in other foreign construction companies. It is noteworthy that the application of multi-criteria methods is a suitable approach for evaluating sustainability indicators in the supply chains of construction companies and finding a compromise between expert opinions.
3. A comprehensive system of SSCM sustainability indicators used in construction companies has been identified and described. Specific indicators have been proposed and grouped by the author into seven groups: ecological, social, legal, physical, political, technological, and economic. Using the compiled list of the most important sustainability indicators and calculating the importance of each of these indicators in the supply chains of construction companies, a unified composite SSCM sustainability assessment index for construction companies was created. This composite index allows construction companies to evaluate long-term sustainability practices and assess the entire supply chain and its separate parts in the long term.
4. It was revealed that the possibilities of sustainability assessment using multi-criteria methods in construction companies have not been sufficiently explored. Therefore, a hybrid complex model of decision-making methods was created based on the application of the DEMATEL, BWM, and MABAC models. The

combination of integrated methods enables a systematic evaluation of qualitative and quantitative indicators that influence the selection of suppliers in the supply chains of construction companies. The most important sustainability criteria relevant to the supplier selection task in construction companies were identified and argued. With the help of this model, considering the list of sustainability indicators, the selection of SCM partners (suppliers) in construction companies can be evaluated in a justified manner. The combination of selected methods allows for the flexible incorporation of sustainability indicators (criteria), considering the specific environment of each construction company.

5. The results of the empirical research support the applicability of the decision-making support model in the context of selecting SCM suppliers for Lithuanian construction companies. The proposed decision-making support model application methodology was empirically tested by creating and solving a practical supplier evaluation and selection task for the Lithuanian construction company, selecting the best supplier of interior doors for developing a hotel from four partner proposals.
6. It can be stated that the decision-making support model can be applied as a support tool for construction companies to rationally select the best SCM partner (supplier) for the ongoing project.

Priedai

Priedas A. Ekspertinės apklausos pavyzdys

Priedas B. DEMATEL metodo apklausos pavyzdys

Priedas C. BWM metodo apklausos pavyzdys

Priedas A. Ekspertinės apklausos pavyzdys

Pirmoji apklausos dalis

Klausimynas statybos įmonių atstovams

Respondentui: anketa skirta duomenims surinkti apie tvarųjį tiekimo grandinės valdymą statybos įmonėse ir pagrindinių rodiklių svarbą šiame sektoriuje. Tyrimo objektas – rodikliai, lemiantys sėkmingą tiekimo grandinės valdymą statybos įmonėse. Ši anoniminė anketa yra baigiamojo daktaro darbo dalis, kurios rezultatai bus naudojami pagrindiniams rodikliams įvertinti, taikant įvairius daugiakriterius metodus. Sąraše iš viso yra 38 įvairių grupių rodikliai.

1. Informacija apie respondentą (pažymėkite arba paryškinkite (Bold))

1.1. Jūsų amžius	a) mažiau nei 20 metų
	b) 20–29 metų
	c) 30–39 metų
	d) 40–49 metų
	e) 50 metų ir daugiau
1.2. Lytis	a) vyras
	b) moteris
1.3. Išsilavinimas	a) vidurinis
	b) aukštesnysis
	c) aukštasis universitetinis
	d) kita (įrašykite) _____
1.4. Jūsų atstovaujamos įmonės darbo sfera	a) rangovas
	b) užsakovas
	c) projektuotojas, konsultantas
	d) kita (įrašykite) _____
1.5. Darbuotojų skaičius Jūsų atstovaujamoje įmonėje	a) 1–9 žmonės
	b) 10–49 žmonės
	c) 50–249 žmonės
	d) 250 ir daugiau
1.6. Darbo patirtis	a) mažiau nei 5 metai
	b) 5–9 metų
	c) 10–15 metų
	d) 16 ir daugiau

2. Tvarumo rodiklių grupių, naudojamų statybos įmonėse tiekimo grandinės valdymui, prioritetų suteikimas. Prašome suskirstyti tvarumo grupes pagal jų svarbą nuo 1 (svarbiausia) iki 7 (mažiausiai svarbi)

Nr.	1	2	3	4	5	6	7
Tvarumo vertinimo grupė	Socialinė	Teisinė	Fizinė	Politinė	Technologinė	Ekonominė	Ekologinė
Prioritetas nuo 1 (svarbiausia) iki 7 (mažiausiai svarbi)							

3. Statybos įmonėse tiekimo grandinės valdymui naudojamų tvarumo rodiklių įvertinimas ir prioritetų nustatymas

Kiek, Jūsų nuomone, svarbus kiekvienas iš toliau išvardytų rodiklių? Įvertinkite rodiklius pagal pateiktą skalę nuo 100 (labai svarbus) iki 1 (visiškai nesvarbus), taip pat kas 10 (nuo 100 iki 1) ir suteikite prioritetą kiekvienam rodikliui grupėje.

Nr.	Rodikliai	Vertinimas	Vertinimas skalėje	Prioritetas
	Socialiniai rodikliai	intervale nuo 100 (labai svarbus) iki 1 (visiškai nesvarbus)	intervale nuo 100 iki 1 kas 10 (20; 30 ir t. t.)	nuo 1 (svarbiausias) iki 5 (mažiausiai svarbus)
1	Etika: verslo etika, organizacijos kultūra			
2	Paskatos: tikslinės paskatos			
3	Švietimas: aplinkosauginis švietimas			
4	Darbuotojų teisės: žmogaus teisės, tvarus užimtumas			
5	Visuomenė: bendruomenės santykiai ir įsitraukimas, visuomenės pritarimas projektui			
	Teisiniai rodikliai			nuo 1 (svarbiausias) iki 6 (mažiausiai svarbus)
6	Aplinkos vadyba: aplinkos vadybos planas			
7	Rizikos valdymas: prisitaikymas prie klimato kaitos, nelaimių rizikos valdymas			
8	Efektyvumas: efektyvi projekto kontrolė, efektyvus rizikos valdymo planas, apimties valdymo kontrolė			

Nr.	Rodikliai	Vertinimas	Vertinimas skalėje	Prioritetas
9	Strategija: geriausios praktikos strategija			
10	Dokumentacija: detali sutarties dokumentacija, nematerialiojo turto valdymas			
11	Ataskaitos: socialinio poveikio ataskaitos, gera statybos projektų apimties apibrėžtis			
	Fiziniai rodikliai			nuo 1 (svarbiausias) iki 6 (mažiausiai svarbus)
12	Suinteresuotosios šalys: tvarus projekto įgyvendinimas, vadovaujant statybos projekto dalyviams, aplinkosauginė atsakomybė			
13	Tvarus išteklių naudojimas: ekologinis efektyvumas, energijos vartojimo efektyvumas, naudojami atsinaujinantys energijos šaltiniai, iškastinio kuro mažinimas, tausios gamtos išteklių naudojimas, statybos vandens kokybės poveikis			
14	Darbo atlikimas ir galutiniai rezultatai: sėkmingas finansinis ir ekonominis darbų atlikimas, galimybė mokėti ir įperkamas, projekto rezultatų akcentavimas			
15	Suinteresuotosios šalys: suinteresuotųjų šalių įtraukimas, tiekimo grandinės narių bendradarbiavimas, ryšių su klientais valdymas, prieiga prie kontaktų			
16	Darbuotojų atskaitomybė: darbuotojų įsipareigojimas darbo vietoje, atskaitomybės kultūra			
17	Suinteresuotosios šalys: suinteresuotųjų šalių įtraukimas ir valdymas, rangovo ir tiekėjo santykiai			
	Politiniai rodikliai			nuo 1 (svarbiausias) iki 6 (mažiausiai svarbus)
18	Stabilumas: ekonominis ir politinis stabilumas			
19	Biurokratija: biurokratinis racionalizavimas			
20	Tarptautiškumas			
21	Politika: aplinkos vadybos sistemų ir politikos svarba			

Nr.	Rodikliai	Vertinimas	Vertinimas skalėje	Prioritetas
22	Holistinis požiūris: socialinė atsakomybė, holistinis požiūris į naudą			
23	Politika: politinių veiksmų nepriklausomumas nuo statybos projekto, skaidrūs ir konkurencingi pirkimų procesai			
	Technologiniai rodikliai			nuo 1 (svarbiausias) iki 6 (mažiausiai svarbus)
24	Inovacijos: inovacijų valdymas, naujų produktų kūrimas			
25	Patobulinimai: DI valdymo technologijos ir bendrieji patobulinimai			
26	Tvariosios medžiagos: tvariųjų statybinių medžiagų naudojimas, tinkamos ir lanksčios aplinkos projektavimo detalės ir specifikacijos			
27	Naujosios technologijos: naujausios aplinkos statybos technologijos ir metodai			
28	Kokybė: kokybės vadybos sistemos diegimas, akcentuojama darbo kokybė			
29	Sistemų pritaikymas: statybos projekto valdymo etapų ir procesų sekimas, produktų ir paslaugų sistemos			
	Ekonominiai rodikliai			nuo 1 (svarbiausias) iki 5 (mažiausiai svarbus)
30	Pelnas: tikslinė rinkodara, ekonominė ir aplinkosaugos apskaita			
31	Ištekliai: efektyvus išteklių paskirstymas, išlaidų valdymo planas, išteklių planavimas			
32	P pinigų planavimas: efektyvus strateginis planavimas, rengiamas statybos veiklos projekto valdymo planas, pokyčių valdymo strategijos įgyvendinimas, efektyvus duomenų apdorojimas sprendimų priėmimo praktikai			
33	Labdara ir visuomeninė veikla: socialinių akcijų finansavimas, socialinio teisingumo sampratos			
34	Konkurencija: konkurencijos skatinimas, prisitaikymas prie projekto aplinkos			

Nr.	Rodikliai	Vertinimas	Vertinimas skalėje	Prioritetas
	Ekologiniai rodikliai			nuo 1 (svarbiausias) iki 4 (mažiausiai svarbus)
35	Poveikis aplinkai: produktų ir paslaugų gyvavimo ciklas, siekiant sumažinti poveikį aplinkai, poveikio aplinkai vertinimo projekto ataskaita			
36	Biologinė įvairovė: projekto biologinė įvairovė			
37	Gamtos apkrova: pastovi ir nuspėjama apkrova			
38	Darnios darbo praktikos: statybos įmonių tvarumas ir organizacinė kultūra			

4. Statybos įmonėse tiekimo grandinės valdymui naudojamų tvarumo rodiklių įvertinimas

Kiek, Jūsų nuomone, svarbus kiekvienas iš toliau išvardytų rodiklių? Įvertinkite rodiklius pagal jų svarbą nuo 1 (labai maža) iki 5 (labai aukšta) (kiekvieno rodiklio svarbą pažymėkite arba pabraukite (Bold)).

Nr.		Svarba				
		labai maža	maža	vidutinė	aukšta	labai aukšta
	Socialiniai rodikliai					
1	Etika: verslo etika, organizacinė kultūra	1	2	3	4	5
2	Paskatos: tikslinės paskatos	1	2	3	4	5
3	Švietimas: aplinkosauginis švietimas	1	2	3	4	5
4	Darbuotojų teisės: žmogaus teisės, tvarus užimtumas	1	2	3	4	5
5	Visuomenė: bendruomenės santykiai ir įsitraukimas, visuomenės pritarimas projektui	1	2	3	4	5
	Teisiniai rodikliai					
6	Aplinkos vadyba: aplinkos vadybos planas	1	2	3	4	5
7	Rizikos valdymas: prisitaikymas prie klimato kaitos, nelaimių rizikos valdymas	1	2	3	4	5
8	Efektyvumas: efektyvi projekto kontrolė, efektyvus rizikos valdymo planas, apimties valdymo kontrolė	1	2	3	4	5
9	Strategija: geriausias praktikos strategija	1	2	3	4	5
10	Dokumentacija: detali sutarties	1	2	3	4	5

Nr.		Svarba				
		labai maža	ma- ža	vidutin ė	aukšta	labai aukšta
	dokumentacija, nematerialiojo turto valdymas					
11	Ataskaitos: socialinio poveikio ataskaitos, gera statybos projektų apimties apibrėžtis	1	2	3	4	5
	Fiziniai rodikliai					
12	Suinteresuotosios šalys: tvarus projekto įgyvendinimas, vadovaujant statybos projekto dalyviams, aplinkosauginė atsakomybė	1	2	3	4	5
13	Tvarus išteklių naudojimas: ekologinis efektyvumas, energijos vartojimo efektyvumas, naudojami atsinaujinantys energijos šaltiniai, iškastinio kuro mažinimas, tausūs gamtos išteklių naudojimas, statybos vandens kokybės poveikis	1	2	3	4	5
14	Darbo atlikimas ir galutiniai rezultatai: sėkmingas finansinis ir ekonominis darbų atlikimas, galimybė mokėti ir įperkamas, projekto rezultatų akcentavimas	1	2	3	4	5
15	Suinteresuotosios šalys: suinteresuotųjų šalių įtraukimas, tiekimo grandinės narių bendradarbiavimas, ryšių su klientais valdymas, prieiga prie kontaktų	1	2	3	4	5
16	Darbuotojų atskaitomybė: darbuotojų įsipareigojimas darbo vietoje, atskaitomybės kultūra	1	2	3	4	5
17	Suinteresuotosios šalys: suinteresuotųjų šalių įtraukimas ir valdymas, rangovo ir tiekėjo santykiai	1	2	3	4	5
	Politiniai rodikliai					
18	Stabilumas: ekonominis ir politinis stabilumas	1	2	3	4	5
19	Biurokratija: biurokratinis racionalizavimas	1	2	3	4	5
20	Tarptautiškumas	1	2	3	4	5
21	Politika: aplinkos vadybos sistemų ir politikos svarba	1	2	3	4	5
22	Holistinis požiūris: socialinė atsakomybė, holistinis požiūris į naudą	1	2	3	4	5
23	Politika: politinių veiksmų nepriklausomumas nuo statybos projekto, skaidrūs ir konkurencingi pirkimų procesai	1	2	3	4	5
	Technologiniai rodikliai					
24	Inovacijos: inovacijų valdymas, naujų produktų kūrimas	1	2	3	4	5
25	Patobulinimai: DI valdymo technologijos ir	1	2	3	4	5

Nr.		Svarba				
		labai maža	ma- ža	vidutin ė	aukšta	labai aukšta
	bendrieji patobulinimai					
26	Tvariosios medžiagos: tvariųjų statybinių medžiagų naudojimas, tinkamos ir lanksčios aplinkos projektavimo detalės ir specifikacijos	1	2	3	4	5
27	Naujosios technologijos: naujausios aplinkos statybos technologijos ir metodai	1	2	3	4	5
28	Kokybė: kokybės vadybos sistemos diegimas, akcentuojama darbo kokybė	1	2	3	4	5
29	Sistemų pritaikymas: statybos projekto valdymo etapų ir procesų sekimas, produktų ir paslaugų sistemos	1	2	3	4	5
	Ekonominiai rodikliai					
30	Pelnas: tikslinė rinkodara, ekonominė ir aplinkosaugos apskaita	1	2	3	4	5
31	Ištekliai: efektyvus išteklių paskirstymas, išlaidų valdymo planas, išteklių planavimas	1	2	3	4	5
32	P pinigų planavimas: efektyvus strateginis planavimas, rengiamas statybos veiklos projekto valdymo planas, pokyčių valdymo strategijos įgyvendinimas, efektyvus duomenų apdorojimas sprendimų priėmimo praktikai	1	2	3	4	5
33	Labdara ir visuomeninė veikla: socialinių akcijų finansavimas, socialinio teisingumo sampratos	1	2	3	4	5
34	Konkurencija: konkurencijos skatinimas, prisitaikymas prie projekto aplinkos	1	2	3	4	5
	Ekologiniai rodikliai					
35	Poveikis aplinkai: produktų ir paslaugų gyvavimo ciklas, siekiant sumažinti poveikį aplinkai, poveikio aplinkai vertinimo projekto ataskaita	1	2	3	4	5
36	Biologinė įvairovė: projekto biologinė įvairovė	1	2	3	4	5
37	Gamtos apkrova: pastovi ir nuspėjama apkrova	1	2	3	4	5
38	Darnios darbo praktikos: statybos įmonių tvarumas ir organizacinė kultūra	1	2	3	4	5

Ačiū už Jūsų atsakymus!

Priedas B. DEMATEL metodo apklausos pavyzdys

Antroji apklausos dalis

Klausimynas statybos įmonių atstovams

Respondentui: anketa skirta duomenims surinkti apie statybos įmonių tvariosios tiekimo grandinės partnerių parinkimo rodiklių vertinimą. Tyrimo objektas – rodikliai, lemiantys sėkmingą tiekimo grandinės valdymą statybos įmonėse. Ši anoniminė anketa yra baigiamojo disertacinio darbo dalis, kurios rezultatai bus naudojami pagrindiniams rodikliams įvertinti, taikant įvairius daugiakriterius metodus. Tyrimu siekiama nustatyti statybos įmonių tvariosios tiekimo grandinės partnerių (tiekėjų) parinkimo rodiklių svarbą.

1. Informacija apie respondentą (pažymėkite arba paryškinkite (Bold))

1.1. Jūsų amžius	a) mažiau nei 20 metų
	b) 20–29 metų
	c) 30–39 metų
	d) 40–49 metų
	e) 50 metų ir daugiau
1.2. Lytis	a) vyras
	b) moteris
1.3. Išsilavinimas	a) vidurinis
	b) aukštesnysis
	c) aukštasis universitetinis
	d) kita (įrašykite) _____
1.4. Jūsų atstovaujamos įmonės darbo sfera	a) rangovas
	b) užsakovas
	c) projektuotojas, konsultantas
	d) kita (įrašykite) _____
1.5. Jūsų įmonės pavadinimas (įrašykite, reikalingas tik apklausos rengėjams)	_____
1.6. Darbo patirtis	a) mažiau nei 5 metai
	b) 5–9 metų
	c) 10–15 metų
	d) 16 ir daugiau

2. Statybos įmonių tvariosios tiekimo grandinės partnerių (tiekėjų) parinkimo rodiklių vertinimas (DEMATEL metodas)

Statybos įmonių tvariosios tiekimo grandinės partnerių (tiekėjų) parinkimo rodikliai

Rodiklio trumpinys	Rodiklis	Apibūdinimas
R1	Kaina	geriausia tiekėjo pasiūlyta kaina už reikiamą produktą
R2	Pristatymas	pristatymas laiku, pristatymo tikslumas ir patikimumas, paskirstymo tinklo kokybė
R3	Kokybė	specifikacijų atitikimas, kokybės vadybos sistemos ir sertifikavimas, nuokrypių ar klaidų dažnumas
R4	Veiklos darnumas	žaliosios tiekimo grandinės naudojimas, aplinkosauginių normų atitikimas, tvarumo plėtra, aplinkai draugiškų žaliavų naudojimas
R5	Reputacija	atliktų darbų našumas, kokybiškas darbų atlikimas, klientų pasitenkinimas, kokybės išlaikymas
R6	Lankstumas	plati produktų ir žaliavų pasiūla, atsakingumas, greitas trikdžių šalinimas, rizikos valdymas, prisitaikymas prie situacijos
R7	Atsargų valdymas	finansinės ir techninės galimybės, tyrimų ir plėtros pajėgumai, valdymo gebėjimai, žmogiškųjų, technologinių ir ekonominių išteklių valdymas

Rodiklių vertinimo skalė (lyginant poromis)

Vertė	Reikšmingumas
0	nėra įtakos
1	maža įtaka
2	vidutinė įtaka
3	didelė įtaka

Įvertinkite, kiek kaina daro įtaką kitiems rodikliams (pvz., pristatymui, kokybei)

	0	1	2	3	
Kaina (R1)					Pristatymas (R2)
Kaina (R1)					Kokybė (R3)
Kaina (R1)					Veiklos darnumas (R4)
Kaina (R1)					Reputacija (R5)
Kaina (R1)					Lankstumas (R6)
Kaina (R1)					Atsargų valdymas (R7)

Įvertinkite, kiek pristatymas daro įtaką kitiems rodikliams

	0	1	2	3	
Pristatymas (R2)					Kaina (R1)
Pristatymas (R2)					Kokybė (R3)
Pristatymas (R2)					Veiklos darnumas (R4)
Pristatymas (R2)					Reputacija (R5)
Pristatymas (R2)					Lankstumas (R6)
Pristatymas (R2)					Atsargų valdymas (R7)

Įvertinkite, kiek kokybė daro įtaką kitiems rodikliams

	0	1	2	3	
Kokybė (R3)					Kaina (R1)
Kokybė (R3)					Pristatymas (R2)
Kokybė (R3)					Veiklos darnumas (R4)
Kokybė (R3)					Reputacija (R5)
Kokybė (R3)					Lankstumas (R6)
Kokybė (R3)					Atsargų valdymas (R7)

Įvertinkite, kiek veiklos darnumas daro įtaką kitiems rodikliams

	0	1	2	3	
Veiklos darnumas (R4)					Kaina (R1)
Veiklos darnumas (R4)					Pristatymas (R2)
Veiklos darnumas (R4)					Kokybė (R3)
Veiklos darnumas (R4)					Reputacija (R5)
Veiklos darnumas (R4)					Lankstumas (R6)
Veiklos darnumas (R4)					Atsargų valdymas (R7)

Įvertinkite, kiek reputacija daro įtaką kitiems rodikliams

	0	1	2	3	
Reputacija (R5)					Kaina (R1)
Reputacija (R5)					Pristatymas (R2)
Reputacija (R5)					Kokybė (R3)
Reputacija (R5)					Veiklos darnumas (R4)
Reputacija (R5)					Lankstumas (R6)
Reputacija (R5)					Atsargų valdymas (R7)

Įvertinkite, kiek lankstumas daro įtaką kitiems rodikliams

	0	1	2	3	
Lankstumas (R6)					Kaina (R1)
Lankstumas (R6)					Pristatymas (R2)
Lankstumas (R6)					Kokybė (R3)
Lankstumas (R6)					Veiklos darnumas (R4)
Lankstumas (R6)					Reputacija (R5)
Lankstumas (R6)					Atsargų valdymas (R7)

Įvertinkite, kiek atsargų valdymas daro įtaką kitiems rodikliams

	0	1	2	3	
Atsargų valdymas (R7)					Kaina (R1)
Atsargų valdymas (R7)					Pristatymas (R2)
Atsargų valdymas (R7)					Kokybė (R3)
Atsargų valdymas (R7)					Veiklos darnumas (R4)
Atsargų valdymas (R7)					Reputacija (R5)
Atsargų valdymas (R7)					Lankstumas (R6)

Ačiū už Jūsų atsakymus!

Priedas C. BWM metodo apklausos pavyzdys

Trečioji apklausos dalis

Klausimynas statybos įmonių atstovams

Respondentui: anketa skirta duomenims surinkti apie statybos įmonių tvariosios tiekimo grandinės partnerių parinkimo rodiklių vertinimą. Tyrimo objektas – rodikliai, lemiantys sėkmingą tiekimo grandinės valdymą statybos įmonėse. Ši anoniminė anketa yra baigiamojo daktaro darbo dalis, kurios rezultatai bus naudojami pagrindiniams rodikliams įvertinti, taikant įvairius daugiakriterius metodus. Tyrimu siekiama nustatyti statybos įmonių tvariosios tiekimo grandinės partnerių (tiekėjų) parinkimo rodiklių svarbą.

1. Informacija apie respondentą (pažymėkite arba paryškinkite (Bold))

1.1. Jūsų amžius	a) mažiau nei 20 metų b) 20–29 metų c) 30–39 metų d) 40–49 metų e) 50 metų ir daugiau
1.2. Lytis	a) vyras b) moteris
1.3. Išsilavinimas	a) vidurinis b) aukštesnysis c) aukštasis universitetinis d) kita (įrašykite) _____
1.4. Jūsų atstovaujamos įmonės darbo sfera	a) rangovas b) užsakovas c) projektuotojas, konsultantas d) kita (įrašykite) _____
1.5. Jūsų įmonės pavadinimas (įrašykite, reikalingas tik apklausos rengėjams)	_____
1.6. Darbo patirtis	a) mažiau nei 5 metai b) 5–9 metų c) 10–15 metų d) 16 ir daugiau

2. Statybos įmonių tvariosios tiekimo grandinės partnerių (tiekėjų) parinkimo rodiklių vertinimas (angl. *Best - Worst Method*) (BWM) metodu

Statybos įmonių tvariosios tiekimo grandinės partnerių (tiekėjų) parinkimo rodikliai

Rodiklių trumpinys	Rodiklis	Apibūdinimas
R1	Kaina	geriausia tiekėjo pasiūlyta kaina už reikiamą produktą

Rodiklių trumpinys	Rodiklis	Apibūdinimas
R2	Pristatymas	pristatymas laiku, pristatymo tikslumas ir patikimumas, paskirstymo tinklo kokybė
R3	Kokybė	specifikacijų atitikimas, kokybės vadybos sistemos ir sertifikavimas, nuokrypių ar klaidų dažnumas
R4	Veiklos darnumas	žaliosios tiekimo grandinės naudojimas, aplinkosauginių normų atitikimas, tvarumo plėtra, aplinkai draugiškų žaliavų naudojimas
R5	Reputacija	atliktų darbų našumas, kokybiškas darbų atlikimas, klientų pasitenkinimas, kokybės išlaikymas
R6	Lankstumas	plati produktų ir žaliavų pasiūla, atsakingumas, greitas trikdžių šalinimas, rizikos valdymas, prisitaikymas prie situacijos
R7	Atsargų valdymas	finansinės ir techninės galimybės, tyrimų ir plėtros pajėgumai, valdymo gebėjimai, žmogiškųjų, technologinių ir ekonominių išteklių valdymas

Rodiklių vertinimo skalė (lyginant rodiklius poromis)

Svarbumo lygis	Apibrėžtis
1	rodikliai vienodai svarbūs
3	vieno rodiklio nuosaikus pranašumas kito atžvilgiu
5	vieno rodiklio reikšmingas pranašumas kito atžvilgiu
7	vieno rodiklio stiprus pranašumas kito atžvilgiu
9	vieno rodiklio labai stiprus pranašumas kito atžvilgiu
2, 4, 6, 8	tarpinis sprendimas tarp gretimų samprotavimų

Geriausias rodiklis, apskaičiuotas DEMATEL metodu, – kokybė (R3)

Blogiausias rodiklis, apskaičiuotas DEMATEL metodu, – veiklos darnumas (R4)

Geriausias rodiklis – kokybė (R3), lyginant su kitais, pagal vertinimo skalę (nuo 1 iki 9)

Geriausias rodiklis, lyginant su kitais (Best to Others)	Kokybė (R3)
Kaina (R1)	
Pristatymas (R2)	
Kokybė (R3)	1
Veiklos darnumas (R4)	
Reputacija (R5)	
Lankstumas (R6)	
Atsargų valdymas (R7)	

Kiti rodikliai, lyginant su blogiausiu – veiklos darnumas (R4), pagal vertinimo skalę (nuo 1 iki 9)

Kiti rodikliai, lyginant su blogiausiu (Others to the Worst)	Veiklos darnumas (R4)
Kaina (R1)	
Pristatymas (R2)	
Kokybė (R3)	
Veiklos darnumas (R4)	1
Reputacija (R5)	
Lankstumas (R6)	
Atsargų valdymas (R7)	

Ačiū už Jūsų atsakymus!

Ieva CATALDO

TVARIOSIOS TIEKIMO GRANDINĖS VALDYMO
STATYBOS ĮMONĖSE DAUGIAKRITERIS VERTINIMAS

Daktaro disertacija

Technologijos mokslai,
Statybos inžinerija (T 002)

MULTI-CRITERIA EVALUATION OF SUSTAINABLE
SUPPLY CHAIN MANAGEMENT IN CONSTRUCTION COMPANIES

Doctoral Dissertation

Technological Sciences,
Civil Engineering (T 002)

Lietuvių kalbos redaktorė Laimutė Kertenienė

Anglų kalbos redaktorė Jūratė Griškėnaitė

2025 05 09. 12,8 sp. l. Tiražas 20 egz.
Leidinio el. versija <https://doi.org/10.20334/2025-027-M>
Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Saulėtekio al. 11, 10223 Vilnius
Spausdino UAB „Ciklonas“,
Žirmūnų g. 68, 09124 Vilnius