

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Arvydas KIAULAKIS

TVARIŲ STATINIO SPRENDINIŲ MODELIAVIMAS TAIKANT BIM TECHNOLOGIJAS

DAKTARO DISERTACIJA

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI,
STATYBOS INŽINERIJA (T 002)

Vilnius, 2022

Disertacija rengta 2017–2022 metais Vilniaus Gedimino technikos universitete.

Vadovas

doc. dr. Tatjana VILUTIENĖ (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, statybos inžinerija – T 002).

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

Pirmininkas

prof. habil. dr. Artūras KAKLAUSKAS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, statybos inžinerija – T 002).

Nariai:

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

prof. habil. dr. Antanas ČENYS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, informatikos inžinerija – T 007),

doc. dr. Ergo PIKAS (Talino technologijos universitetas, Estija, statybos inžinerija – T 002),

dr. Darius PUPEIKIS (Kauno technologijos universitetas, statybos inžinerija – T 002).

Disertacija bus ginama viešame Statybos inžinerijos mokslo krypties disertacijos gynimo tarybos posėdyje **2022 m. liepos 4 d. 10 val.** Vilniaus Gedimino technikos universiteto senato posėdžių salėje.

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

Tel. (8 5) 274 4956; faksas (8 5) 270 0112; el. paštas doktor@vilniustech.lt

Pranešimai apie numatomą ginti disertaciją išsiųsti 2022 m. birželio 3 d.

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

Vilniaus Gedimino technikos universiteto 2022-031-M mokslo literatūros knyga

doi: 10.20334/2022-031-M

© Vilniaus Gedimino technikos universitetas, 2022

© Arvydas Kiaulakis, 2022

arvydas.kiaulakis@vilniustech.lt

VILNIUS GEDIMINAS TECHNICAL UNIVERSITY

Arvydas KIAULAKIS

MODELING OF SUSTAINABLE BUILDING SOLUTIONS USING BIM TECHNOLOGIES

DOCTORAL DISSERTATION

TECHNOLOGICAL SCIENCES,
CIVIL ENGINEERING (T 002)

Vilnius, 2022

Doctoral dissertation was prepared at Vilnius Gediminas Technical University in 2017–2022.

Supervisor

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

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

Chairman

Prof. Dr Habil. Artūras KAKLAUSKAS (Vilnius Gediminas Technical University, Civil Engineering – T 002).

Members:

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

Prof. Dr Habil. Antanas ČENYS (Vilnius Gediminas Technical University, Informatics Engineering – T 007),

Assoc. Prof. Dr Ergo PIKAS (Tallinn University of Technology, Estonia, Civil Engineering – T 002),

Dr Darius PUPEIKIS (Kaunas University of Technology, Civil Engineering – T 002).

The dissertation will be defended at the public meeting of the Dissertation Defence Council of Civil Engineering in the Senate Hall of Vilnius Gediminas Technical University at **10 a. m. on 4 July 2022.**

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 intend defending of the dissertation was send on 3 June 2022. A copy of the doctoral dissertation is available for review at Vilnius Gediminas Technical University repository <http://dspace.vgtu.lt> and at the Library of Vilnius Gediminas Technical University (Saulėtekio al. 14, LT-10223 Vilnius, Lithuania).

Reziumė

Disertacijoje nagrinėjamos vertinimo metodų problemos, susijusios su BIM taikymo efektu organizacijos veiklai, įtraukiant tvarumo aspektus. Pagrindiniai tyrimo objektai yra tvarių statinio sprendinių kūrimo procesai, vykdomi taikant BIM technologijas, užtikrinant darnaus vystymosi tikslų įgyvendinimą ir vertinant BIM technologijų poveikį turto valdytojo veiklai. Pagrindinis disertacijos tikslas – sukurti modelį BIM technologijų poveikiui vertinti ir integruojant BIM bei daugiatikslius metodus tvaraus statinio racionaliems sprendimams modeliuoti.

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

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

Pirmasis skyrius skirtas literatūros apžvalgai. Jame pateikta naujausių Lietuvoje ir užsienyje mokslinių tyrimų analitinę apžvalgą, siekiant nustatyti, kaip integruoto modeliavimo įrankiais užtikrinamas sprendimų tvarumas statinio projektavimo ir statybos etapuose. Skyriaus pabaigoje formuluojamos išvados ir tikslinami disertacijos uždaviniai.

Antrajame skyriuje pateiktas koncepcinis modelis BIM technologijų poveikiui vertinti ir tvaraus statinio racionaliems sprendimams modeliuoti.

Trečiajame skyriuje tiriamos siūlomo modelio praktinio taikymo galimybės tvaraus statinio sprendimams modeliuoti realiame projekte. Pasiūlyta metodika ir algoritmas pritaikyti realiame projekte sukūrus koncepcinį modelį BIM technologijų poveikiui vertinti.

Disertacijos tema paskelbti 8 straipsniai: trys – straipsnių rinkiniuose, įtrauktuose į *Clarivate Analytics Web of Science* duomenų bazės leidinius, turinčius citavimo rodiklį, vienas – įtrauktas *Clarivate Analytics Web of Science* duomenų bazės leidinį, neturinčiam citavimo rodiklio, vienas – kitų tarptautinių duomenų bazių leidinyje, vienas – recenzuojamuose tarptautinių konferencijų straipsnių rinkinyje, du – respublikinių konferencijų medžiagose. Disertacijos tema perskaityti penki pranešimai Lietuvos ir kitų šalių konferencijose.

Abstract

The dissertation deals with the evaluation method problems related to the effect of applying BIM to the organization's activities, including aspects of sustainability. The main research objects are BIM technologies processes ensuring the implementation of sustainable development goals and assessing the impact of BIM technologies on the activities of an asset manager. The main goal of the dissertation is to create a model for assessing the impact of BIM technologies and modeling the rational solutions of a sustainable building by integrating BIM and multi-objective methods.

The dissertation consists of an introduction, three chapters, general conclusions, lists of used literature and the author's publications on the topic of the dissertation, and six appendices.

The introductory chapter discusses the research problem, the relevance of the work, describes the research object, formulates the aim and objectives of the thesis, describes the research methodology, the scientific novelty, the practical significance of the results, and the defense. The introduction closes with a presentation of the author's publications and conference presentations on the topic of the dissertation and the structure of the dissertation.

The first chapter is devoted to a review of the literature. It provides an analytical overview of the latest research in Lithuania and abroad to determine how the sustainability of solutions in the design and construction stages of a building is ensured with the help of integrated modeling tools. At the end of the chapter, conclusions are formulated, and the tasks of the dissertation are specified.

The second chapter presents a conceptual model for assessing the impact of BIM technologies and modeling rational solutions for a sustainable structure.

The third chapter investigates the practical application of the proposed model for modeling sustainable building solutions in a real project. The methodology and algorithm are proposed for applying the conceptual model to evaluate the impact of BIM technologies in a real project.

8 articles were published on the topic of the dissertation: three – in the collection of articles included in the publications of the Clarivate Analytics Web of Science database with a citation rate, one – are included in the publication of the Clarivate Analytics Web of Science database without a citation rate, one – in publications of other international databases, one in peer – reviewed international conference proceedings and two in republican conference proceedings. 5 papers on the topic of the dissertation were read at conferences in Lithuania and other countries.

Žymėjimai

Simboliai

A – varianto racionalumas;

d_{ij} – COPRAS metodo normalizuotos matricos nariai;

p – ekspertų skaičius;

K_i – naudingumo laipsnis;

m – rodiklių skaičius;

N_j – alternatyvos naudingumo laipsnis;

n – palygintų vertinimų skaičius

S_j – j -ajam objektui apskaičiuojama visų rodiklių svertinių normalizuotų verčių suma;

S_i – optimalumo funkcijos vertė;

S_{+j} – maksimizuojančių įvertintų normalizuotų kriterijų suma;

S_{-j} – minimizuojančių įvertintų normalizuotų kriterijų suma;

S_j^+ – santykinė alternatyvų svarba pagal apibūdinančias teigiamas savybes;

S_j^- – santykinė alternatyvų svarba pagal apibūdinančias neigiamas savybes;

Q_i – alternatyvų santykinis reikšmingumas;

$x_{\max}$ – visų palygintų alternatyvų didžiausia rodiklio vertė;

$\hat{X}$ – normalizuota svertinė matrica;

x_{ij} – sprendimų priėmimo matricos nariai;

$\bar{x}_{ij}$ – TOPSIS metodo normalizuotos matricos nariai.

Santrumpos

2D – dvimatė erdvė (plokštuma), naudojama grafiniams primityviems objektams, tokiems kaip kreivės, figūros ir kt., kurti (angl. *Two Dimensions*);

3D – trimatė erdvė, naudojama kuriant taškų rinkinius, sujungiamus į linijas, kreives, plokštumas ir pan., kurias naudojant gaunami tūriniai kūnai. 3D objektai gali būti atvaizduojami kaip: daiktai, sukurti realioje erdvėje (eksponuojami gyvai); trimačiai optiniai (holograminiai) erdviniai atvaizdai; trimačio objekto kompiuterių modeliuojami dvimačiai atvaizdai. BIM metodologijoje 3D – statinio modeliavimas, t. y. objektinis informacinis statinio modelis, kurio informacijos imtis apribota trimatės detalumo lygiais apibrėžta statinio elementų geometrija (angl. *Three Dimensions*);

4D – keturmatė erdvė, kurioje trimatis kūnas dažniausiai atvaizduojamas laiko atžvilgiu. Tai nėra paremta įprastais Euklido erdvės ir fizikos dėsniais, o grindžiama erdvėlaikio samprata. Taigi keturmatę erdvę galima suprasti kaip fiksuojamą trimačio kūno būsenos atvaizdą kitimą laike. BIM metodologijoje 4D – projektavimas, 3D + laikas, t. y. objektinis informacinis statinio modelis, kurio informacijos imtis susideda iš trimatės detalumo lygiais apibrėžtos statinio elementų geometrijos ir laiko parametro, kurio kitimas daro įtaką kitiems modelio elementų parametrams (angl. *Four Dimensions*);

5D – projektavimas ir 4D + pinigai, t. y. objektinis informacinis statinio kaštų modelis, kurio informacijos imtis susideda iš trimačių detalumo lygiais apibrėžtų objektų – statinių elementų, susietų su laiko ir išteklių, reikalingų, kad elementas realybėje atsiderėtų projekcinėje padėtyje, parametrais (angl. *Five Dimensions*);

nD arba xD – n -matė (nenustatyta) ir x -matė (kintamojo ir nežinomo dydžio) erdvės, dažniausiai atspindinčios ne papildomus matavimus erdvėje, o trimačio kūno būsenos kitimą laike su papildoma kokybine ar kiekybine informacija. BIM metodologijoje nD arba xD – objektinis informacinis statinio modelis, kurio informacijos imtis susideda iš trimačių detalumo lygiais apibrėžtų objektų – virtualių statinių elementų, kurie yra papildyti kitais parametrais tam, kad būtų pasiektas nD arba xD informacijos kūrimo tikslas (pvz., informacija, paruošta ūkio valdymui, energinis modeliavimas ir kt.) (angl. *n (undefined), x (unknown) Dimensions*);

AECO – architektūra, inžinerija, statyba ir savininkas-valdytojas (angl. *Architecture, Engineering, Construction and Owner-operator*);

BEP – BIM įgyvendinimo planas yra dokumentas, skirtas visiems Lietuvos privatiems ir valstybės užsakovams, projektuotojams ir statybininkams įgyvendinant konkrečius BIM projektus, parengti bendrą projekto komandos darbo ir užsakovo informacijos reikavimų įgyvendinimo planą (angl. *BIM Execution Plan*);

BEM – fizikos pagrindu sukurta pastato energijos naudojimo modeliavimo programinė įranga (angl. *Building Energy Modeling*);

BIM – statomo turto bendrinamosios skaitmeninės pateikties sukūrimas ir taikymas siekiant pagerinti jo projektavimą, statybą, naudojimą ir priežiūrą ir priimti teisingus sprendimus (angl. *Building Information Modeling*);

BIPV – integruotų fotovoltinių įrenginių statyba (angl. *Building Integrated Photovoltaics*);

BREEAM – pastatų tyrimo steigimo aplinkos vertinimo metodas (angl. *Building Research Establishment Environmental Assessment Method*);

BWPE – BIM grindžiamas gyvavimo ciklo įvertinimas (angl. *BIM-based Whole-life Performance Estimator*);

CAD – virtualiųjų arba realių objektų projektavimo būdas naudojant kompiuterines technologijas. Taikant CAD kuriami objektai – eskizai, techniniai sprendiniai ir darbo brėžiniai, kuriuose pateikiama grafinė bei kitokia informacija (medžiagų ir procesų aprašymai, matmenys ir pan., priklausomai nuo programos naudojimo būdų). CAD objektai projektuojami dvimatėje (2D arba 2D CAD) ir trimatėje (3D arba 3D CAD) erdvėje (angl. *Computer-Aided Design*);

CASBEE – išsami sukurtos aplinkos efektyvumo vertinimo sistema (angl. *Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency*);

CAFM – kompiuterizuotas pastatų ūkio valdymas (angl. *Computer Aided Facilities Management*);

COBie – keitimasis pastatų eksploatavimo duomenimis (angl. *Construction Operations Building Information Exchange*);

DFMA – gamybos ir montavimo projektavimas (angl. *Design for Manufacture and Assembly*);

DGNB – Vokietijos tvarios statybos draugija (vok. *Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen*);

DoE – eksperimentų projektavimas (angl. *Design of Experiments*);

DPV – projektavimo rengimo žiūryklė (angl. *Design Performance Viewer*);

DM – sprendimų priėmėjai (angl. *Decision Makers*);

EIR – dokumentas, kuriame statytojas (užsakovas) nurodo, kaip statinio informacinio modeliavimo projekte turi būti rengiami, pateikiami ir naudojami informacijos modeliai ir jų pateiktys, įskaitant visus su jais susijusius procesus ir procedūras. (angl. *Employer Information Requirements*);

GHG – išmetamų šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekis (angl. *Greenhouse Gas Emissions*);

GW – klimato kaita (angl. *Global Warming*);

HBIM – paveldo pastatų informacijos modeliavimas (angl. *Historic Building Information Modeling*);

IDM – metodologija ir formatas statybos projektų procesams ir susijusiai informacijai identifikuoti ir aprašyti (angl. *Information Delivery Manuals*);

IFC – duomenų mainų standartas, formatas arba duomenų modelis, skirtas statybos pramonės duomenims struktūruoti ir aprašyti. Tai yra neutrali, atviro failų formato platforma (angl. *Industry Foundation Classes*);

IRT ir IKT – informacijos ir ryšių / komunikacijų technologijos (gali būti vadinama – technologijos) – informacinės kompiuterinės technologijos. Tai kompiuterinių programų, kompiuterinės įrangos naudojimas perteikiant, teikiant informaciją, mokant ir mokantis (angl. *Information Communication Technology*);

IT – informacinės technologijos – taip pat kaip IRT, tik neapimant elektroninių ryšių (angl. *Information Technology*);

KPI – pagrindiniai veiklos rodikliai (angl. *Key Performance Indicators*);

LEED – lyderystės energetikos ir aplinkos projektavimo srityje (angl. *Leadership in Energy and Environmental Design*);

LOD – geometrijos detalumo lygiai (angl. *Level of Detail*);

LOI – informacijos detalumo lygiai (angl. *Level of Information*);

PE – pirminė energija (angl. *Primary energy*);

PI – veiklos rodikliai (angl. *Performance Indicators*);

RIBA – Karališkasis britų architektų institutas (angl. *Royal Institute of British Architects*);

SLAM BIM – sėkmės lygio vertinimo modelis (angl. *Success Level Assessment Model*);

SQL – BIM duomenys naudojant standartą;

TMS – transaktyvios atminties sistemos.

Turinys

IVADAS	1
Problemos formulavimas.....	1
Darbo aktualumas.....	2
Tyrimų objektas	2
Tyrimų tikslas.....	3
Darbo uždaviniai	3
Tyrimų metodai.....	3
Darbo mokslinis naujumas	4
Darbo rezultatų praktinė reikšmė	4
Ginamieji teiginiai.....	5
Darbo rezultatų aprobavimas.....	5
Disertacijos struktūra.....	5
 1. MOKSLINĖS LITERATŪROS APIE BIM TAIKYMĄ TVARIŲ PASTATŲ PROJEKTAVIME IR STATYBOJE APŽVALGA	 7
1.1. Tyrimai susiję su tvarių pastatų projektavimu, statyba ir naudojimu	8
1.1.1. Tvarumo samprata	8
1.1.2. Tvaraus pastato kūrimo uždaviniai.....	9
1.1.3. Tvarumo sampratos daugialypiškumas.....	10
1.1.4. BIM svarba sprendžiant statybos projektų uždavinius	15
1.2. BIM taikymo naudos projektuojant, statant ir naudojant statinius	18
1.2.1. Informacijos mainų būdai ir BIM programinė įranga, naudojamos visose projekto vystymo stadijose	18

1.2.2. BIM taikymo projektuose patirties analizė	21
1.2.2.1. BIM taikymo naudos planavimo etape	26
1.2.2.2. BIM taikymo naudos projektavimo etape.....	27
1.2.2.3. BIM taikymo naudos statybos etape.....	28
1.2.2.4. BIM taikymo naudos eksploatavimo etape.....	28
1.3. Statinio nugriovimas. Problemos, sprendžiamos griauinant statinį ir utilizuojant arba perdirbant atliekas	30
1.4. Statybos projekto uždavinių sprendimas integruotai taikant BIM metodologiją ir daugiakriterės analizės metodus	31
1.5. Pirmojo skyriaus išvados ir disertacijos uždavinių formulavimas	36
 2. KONCEPCINIS MODELIS BIM TECHNOLOGIJŲ POVEIKIUI VERTINTI IR TVARAUS STATINIO SPRENDIMAMS MODELIUOTI	41
2.1. Tvaraus statinio sprendimų koncepcinio modelio elementai	41
2.2. BIM technologijų ir daugiakriterės analizės integravimo galimybės sprendžiant tvaraus statinio kūrimo uždavinius	45
2.2.1. Alternatyvių pastato konstrukcinių sprendinių tvarumo vertinimo modelis.....	45
2.2.2. Daugiakriterės analizės metodai alternatyvoms palyginti.....	46
2.3. BIM taikymo poveikio vertinimas statinio projektavimo, statybos ir naudojimo etapuose.....	51
2.4. BIM taikymo poveikio vertinimo metodai organizacijos projektuose.....	57
2.5. Antrojo skyriaus išvados.....	79
 3. KONCEPCINIO MODELIO PRITAIKYMAS TVARAUS STATINIO SPRENDIMAMS MODELIUOTI IR BIM TECHNOLOGIJŲ POVEIKIUI VERTINTI.....	81
3.1. Pastato sprendinių tvarumo vertinimas integruotai taikant BIM technologijas.....	81
3.1.1. Tiriamojo objekto aprašymas.....	82
3.1.2. Alternatyvių konstrukcinių sprendinių aprašymas	84
3.1.3. Rodiklių sistema alternatyvoms vertinti.....	86
3.1.4. Konstrukcinių sprendinių parametrinė analizė.....	87
3.1.5. Ekonominių rodiklių apskaičiavimas.....	91
3.1.6. Technologinių rodiklių apskaičiavimas	91
3.1.7. Poveikio aplinkai rodiklių apskaičiavimas.....	92
3.1.8. Ekspertų nuomonės tyrimas Delfų metodu	94
3.1.9. Alternatyvių konstrukcinių sprendinių daugiakriterė analizė	96
3.1.10. Alternatyvų palyginimo rezultatų analizė	100
3.2. BIM taikymo naudų vertinimas: atvejo tyrimas	102
3.2.1. Tiriamojo objekto aprašymas.....	102
3.2.2. BIM taikymo naudų vertinimo metodo pritaikymas tiriamajam objektui	105
3.2.3. BIM taikymo vertinimo rezultatų analizė	111
3.3. BIM naudų vertinimo skaičiuoklės aprobavimas.....	112

3.3.1. Objekto aprašymas	112
3.3.2. BIM naudos ir sąnaudų analizė	115
3.3.3. BIM naudų vertinimo skaičiuoklės rezultatų analizė	117
3.4. Rinkos dalyvių pasirengimas taikyti BIM statybos projektuose	118
3.5. Trečiojo skyriaus išvados	122
 BENDROSIOS IŠVADOS	 125
 LITERATŪRA IR ŠALTINIAI.....	 129
 AUTORIAUS MOKSLINIŲ PUBLIKACIJŲ DISERTACIJOS TEMA SĄRAŠAS.....	 147
 SUMMARY IN ENGLISH.....	 149
 PRIEDAI.....	 165
A priedas. Užsienio šalių BIM projektų patirties analizė	166
B priedas. Nagrinėtuose šaltiniuose taikomi BIM poveikio vertinimo rodikliai	170
C priedas. Rinkos dalyvių pasirengimas taikyti BIM statinio statybos projektuose	174
D priedas. BIM taikymo naudų klasifikavimas pagal statybos projekto etapų veiklas.....	184
E priedas. BIM naudų vertinimo skaičiuoklės prototipas.....	198
F priedas. ARAS ir COPRAS metodų skaičiavimo palyginimas	199

Contents

INTRODUCTION	1
Problem formulation	1
Relevance of the thesis	2
Object of the research	2
The aim of the thesis	2
Tasks of the thesis	3
Research methodology	3
Scientific novelty of the thesis	4
Practical value of the research findings	4
Defended statements	5
Approval of the research findings	5
Structure of the dissertation	6
1. REVIEW OF THE SCIENTIFIC LITERATURE ON THE APPLICATION OF BIM IN THE DESIGN AND CONSTRUCTION OF SUSTAINABLE BUILDINGS	7
1.1. Research on the design, construction, and operation of sustainable buildings	8
1.1.1. Concept of sustainability	8
1.1.2. Tasks of a sustainable building design	9
1.1.3. Multiplicity of the concept of sustainability	10
1.1.4. Importance of BIM in solving the challenges of construction projects	15

1.2. Benefits of BIM application in the design, construction, and operation of buildings	18
1.2.1. Information exchange techniques and BIM software used at all stages of project development.....	18
1.2.2. Analysis of BIM application experience in projects	21
1.2.2.1. Benefits of applying BIM at the planning stage.....	27
1.2.2.2. Benefits of applying BIM at the design stage	27
1.2.2.3. Benefits of applying BIM during the construction phase.....	28
1.2.2.4. Benefits of applying BIM during the operational phase	29
1.3. Demolition of a building. Solved problems related to demolition and disposal or recycling of waste.....	30
1.4. Solving construction project tasks in an integrated way using BIM methodology and multi-criteria analysis methods	31
1.5. Conclusions of the first chapter and refinement of the dissertation tasks.....	36
 2. A CONCEPTUAL MODEL FOR ASSESSING THE IMPACT OF BIM TECHNOLOGIES AND MODELING SUSTAINABLE BUILDING SOLUTIONS	41
2.1. Elements of the conceptual model of sustainable building solutions	41
2.2. Possibilities of integrating BIM technologies and multi-criteria analysis in solving the challenges of sustainable building development	45
2.2.1. Sustainability assessment model of alternative building construction solutions	45
2.2.2. Multi-criteria analysis methods for comparing alternatives.....	46
2.3. Impact assessment of BIM application in the design, construction, and operation phases of a building	51
2.4. BIM application impact assessment methods in organizational projects	57
2.5. Conclusions of the second chapter	79
 3. APPLICATION OF THE CONCEPTUAL MODEL FOR MODELING SUSTAINABLE BUILDING SOLUTIONS AND ASSESSING THE IMPACT OF BIM TECHNOLOGIES	81
3.1. Sustainability assessment of building solutions through the integrated application of BIM technologies	81
3.1.1. Description of the research object.....	82
3.1.2. Description of alternative design solutions.....	84
3.1.3. Indicator system for evaluating alternatives	86
3.1.4. Parametric analysis of structural solutions.....	87
3.1.5. Calculation of economic indicators	91
3.1.6. Calculation of technological indicators	91
3.1.7. Calculation of environmental impact indicators	92
3.1.8. Expert opinion research by the Delphi method.....	94
3.1.9. Multi-criteria analysis of alternative design solutions	96
3.1.10. Analysis of the results of the comparison of alternatives.....	100
3.2. Assessing the benefits of applying BIM: a case study	102

3.2.1. Description of the research object.....	102
3.2.2. Application of the BIM application benefit evaluation method to the research object	105
3.2.3. Analysis of BIM application evaluation results	111
3.3. Approval of the BIM benefit evaluation spreadsheet	112
3.3.1. Object description.....	112
3.3.2. BIM benefit-cost analysis	115
3.3.3. Analysis of BIM benefit evaluation calculator results.....	117
3.4. Preparation of market participants to apply BIM in construction projects	118
3.5. Conclusions of the third chapter.....	122
GENERAL CONCLUSIONS	125
LITERATURE AND SOURCES	129
LIST OF THE AUTHOR’S SCIENTIFIC PUBLICATIONS ON THE TOPIC OF THE DISSERTATION	147
SUMMARY IN ENGLISH.....	149
ANNEXES.....	165
Annex A. Analysis of experience of foreign BIM projects	166
Annex B. BIM impact assessment indicators used in the analyzed sources.....	170
Annex C. Preparation of market participants to apply BIM in construction projects	174
Annex D. Classification of BIM application benefits according to the activities of the construction project stages.....	184
Annex E. Prototype of BIM Benefit Evaluation Spreadsheet	198
Annex F. Comparison of calculation of ARAS and COPRAS methods	199

Įvadas

Problemos formulavimas

Tvarumo ir efektyvumo didinimas – pagrindiniai statybos sektoriaus uždaviniai. Tvaraus vystymosi tikslų įgyvendinimas statybos sektoriuje neatsiejamas nuo naujausių technologijų taikymo. Per pastaruosius du dešimtmečius išsivysčiusi skaitmeninių duomenų sukūrimo ir valdymo technologija, pagrįsta statinio informacinio modeliavimo (angl. *Building Information Modeling*, BIM) metodais tapo pagrindiniu įrankiu skaitmenizuojant ir automatizuojant turto sukūrimo ir valdymo procesus statybos projektuose. Statybos projektų dalyviai savo sprendimus turi priimti atsižvelgiant į naujus su BIM taikymo prievole susijusius reikalavimus bei derinti su tvarios plėtros uždaviniais. Įvairios su tvarios plėtros tikslais susijusios iniciatyvos papildė skaitmenizavimo procesus statybos sektoriuje ir sudėdė papildomus akcentus. Pradėtos diskusijos dėl investicijų vertinimo pagal tvarumo rodiklius. Atlikus įvairių šaltinių analizę nustatyta, kad šiuo metu nėra metodų, kurie įgalintų BIM taikymo efekto (naudos) organizacijos veiklai vertinimą įtraukiant tvarumo aspektus. Taip pat atlikti tyrimai atskleidė, kad turto valdytojams (statybos projektų užsakovams) trūksta žinių ir priemonių, kurios palengvintų BIM technologijų diegimą ir taikymą.

Disertacijos problema formuluojama vertinant atsirandančias prievoles ir BIM metodologijos pagrindu vykdomų statybos projektų daugialypiškumą. Atsižvelgdami į tai, sprendimų priėmėjai (užsakovas, projekto vystytojas, projektuotojas) pastato projektavimo ir statybos stadijose turi spręsti daugiatikslius uždavinius derinant juos su tvarios plėtros siekiais.

Darbo aktualumas

Atlikus įvairių šaltinių analizę nustatyta, kad šiuo metu pasaulyje vyksta dideli statybos sektoriaus skaitmenizavimo procesai. Sparčiai tobulėjančios informacinės ir komunikacijų technologijos per pastarąjį dešimtmetį padarė esminį proveržį skaitmenizuojant ir automatizuojant procesus visuose gamybos, pramonės sektoriuose. Šios technologijos neaplenkė ir statybų sektoriaus, kurio skaitmeninimo procesai apibūdinami atskiru terminu „Construction 4.0“ (liet. „Statyba 4.0“), įvertinant šio pramonės segmento svarbą, daugialypiškumą, specifiką ir sąsajas su daugeliu pramonės sričių.

Statinių tvarumas neatsiejamas nuo kompleksiskai vertinamų tvarumo rodiklių. Tvarumo rodikliai gali būti patikrinti tik detalai vertinant visus statinio sukūrimo etapus, todėl be skaitmeninių technologijų sprendinių taikymo ir sisteminio duomenų surinkimo statinio modelio tvarumo tikslai sunkiai įgyvendinami. Vykstantys pokyčiai kelia iššūkius rinkos dalyviams, ypač užsakovams ir turto valdytojams, kurie iki šiol BIM technologijų netaikė. Priemonės egzistuoja, tačiau nėra susistemintos ir taikomos fragmentiškai, nesusietos su tvarumo siekiais, trūksta vieningos rodiklių sistemos, nėra patikimos BIM taikymo naudų vertinimo sistemos.

Disertacijos tyrimo metu sukurti rezultatai padėtų suderinti skirtingų suinteresuotų grupių tikslus bei atliepti statinių kūrimo ir valdymo uždavinius, kuriems spręsti būtinas daugelio disciplinų žinių sujungimas.

Tyrimų objektas

Disertacijos tyrimų objektas – tvarių statinio sprendinių kūrimo procesai, taikant BIM technologijas, užtikrinant darnaus vystymosi tikslų įgyvendinimą ir vertinant BIM technologijų poveikį.

Tyrimų tikslas

Darbo tikslas – sukurti koncepcinį modelį, kuris leistų įvertinti BIM technologijų poveikį tvaraus statinio kūrimo procesams ir sprendinių racionalumą, integruotai taikant BIM technologijas ir daugiakriterius sprendimų priėmimo metodus.

Darbo uždaviniai

Darbo tikslui pasiekti darbe sprendžiami šie uždaviniai:

1. Atlikti naujausių mokslinių tyrimų analitinę apžvalgą, siekiant nustatyti, kaip taikant BIM technologijas, užtikrinamas sprendinių tvarumas statybos projektuose.
2. Tvaraus statinio racionaliems sprendimams modeliuoti ankstyvojoje projektavimo (konceptijos kūrimo) stadijoje sukurti hibridinį sprendimo modelį, pagrįstą BIM ir daugiakriterių metodų taikymu ir patikrinti siūlomo modelio praktinio taikymo galimybes realiame projekte.
3. Sukurti BIM technologijų poveikio tvaraus statinio kūrimo procesams vertinimo koncepcinio modelio struktūrą, integruotai taikant BIM technologijas ir daugiakriterius sprendimų priėmimo metodus.
4. Atskleisti BIM technologijų naudas modeliuojant tvaraus pastato racionalius sprendimus. Susisteminti BIM taikymo naudas pagal projekto įgyvendinimo etapus, bei įvertinti statybos dalyvių pasirengimą taikyti BIM projektavimo, statybos ir naudojimo etapuose.

Tyrimų metodai

Disertacijos uždaviniams spręsti taikyti analitiniai, skaitiniai ir atvejų tyrimo metodai. Apžvelgti ir apibendrinti naujausi moksliniai tyrimai, susiję su BIM technologijų taikymo problematika. Empirinio tyrimo metodas – apklausa patvirtino literatūroje aptariamas BIM taikymo iššūkius. Literatūros analizės pagrindu nustatyti ir susisteminti metodai BIM poveikio statinio kūrimo procesams vertinti.

Naudojant skirtingų gamintojų programinę įrangą atliktas atvejo tyrimuose nagrinėtų statybos objektų BIM modelių parengimas. Statinio projekto sprendinių tvarumo vertinimo rodiklių sistema buvo sudaryta remiantis užsienio šalių ir Lietuvos mokslinių straipsnių analize. Rodiklių santykinis reikšmingumas nustatytas Delfų metodu. Racionaliai statinio rekonstrukcijos alternatyvai nustatyti pritaikyti daugiakriteriai sprendimų metodai SAW, ARAS ir COPRAS.

Darbo mokslinis naujumas

Rengiant disertaciją buvo gauti šie statybos inžinerijos mokslui nauji rezultatai:

1. Sukurtas koncepcinis modelis BIM technologijų poveikiui vertinti ir tvaraus statinio sprendiniams modeliuoti integruojant poveikio aplinkai, technologinius ir ekonominius rodiklius, daugiakriterius sprendimų bei statinio informacinio modeliavimo (BIM) metodus.
2. Sukurtas hibridinis sprendimo modelis, pagrįstas BIM, Delfų ir daugiakriterių metodų taikymu, kuris leidžia vertinti statinio sprendinių tvarumą ankstyvojoje projektavimo (konceptijos kūrimo) stadijoje.
3. Pagal tvarumo kategorijas ir statinio projektavimo, statybos ir naudojimo stadijas suklasifikuotos BIM taikymo naudos.
4. Sukurta skaičiavimo metodika BIM technologijų poveikiui vertinti statinio projektavimo, statybos ir naudojimo etapuose.

Darbo rezultatų praktinė reikšmė

Pasiūlytas koncepcinis modelis palengvintų tvaraus statinio kūrimo sprendinių modeliavimą integruotai taikant tvarumo rodiklius, daugiakriterius sprendimų metodus ir BIM technologijas. Pateikti eksperimentiniai tyrimai rodo, kad siūlomas modelis gali būti taikomas kuriant tvarius statinio sprendinius ankstyvojoje pastato projektavimo stadijoje. Tyrimo rezultatai naudingi visiems statybos dalyviams sprendžiant įvairius uždavinius, kai statinio projektavimo, statybos ir naudojimo etapuose taikomos BIM technologijos.

Tyrimų rezultatai buvo praktiškai pritaikyti šiuose projektuose:

- „Horizon 2020“ projekte „Project Network for Using BIM to Increase the Energy Buildings Performance (Net-UBIEP)“, 2017–2019.
- Projektas Nr. 10.1.1-ESFA-V-912-01-0029 „Development of Measures for Increasing the Efficiency of Life Cycle Processes of Public Sector Structures by Applying Building Information Modeling (BIM-LT)“, 2019–2023.
- TPP programos projektas „Tvaraus pastato racionalių pasyvių energinio efektyvumo priemonių technologinių variantų parinkimo BIM modelyje sistemos prototipo sukūrimas ir testavimas rinkoje (BIM4NZEB-DS)“, 2020–2021.

Ginamieji teiginiai

1. Siūlomas koncepcinis modelis leidžia vertinti alternatyvas kompleksškai integruojant poveikio aplinkai, technologinių ir ekonominių veiksnių analizę. Daugiakriterių sprendimo priėmimo metodų taikymas, derinant su BIM technologijomis, leidžia tiksliau įvertinti alternatyvių sprendinių tvarumą ir patrauklumą.
2. Autoriaus pasiūlytas hibridinis sprendimo modelis, grįstas BIM, Delfų ir daugiakriterių metodų taikymu, tinka vertinti statinio sprendinių tvarumą ankstyvojoje statinio projektavimo (konceptijos kūrimo) stadijoje.
3. Naudojant pasiūlytą BIM investicijų ir naudų vertinimo rodiklių sistemą, galima atlikti BIM poveikio ekonominį vertinimą.

Darbo rezultatų aprobavimas

Disertacijos tema paskelbti aštuoni moksliniai straipsniai: trys – *Clarivate Analytics Web of Science* duomenų bazės leidiniuose, turinčiuose citavimo rodiklį (Vilutienė, Šarkienė, Šarka & Kiaulakis, 2020; Vilutienė, Kiaulakis & Migilinskas, 2021); vienas – *Clarivate Analytics Web of Science* duomenų bazės leidinyje, neturinčiame citavimo rodiklio (Vilutienė et al., 2020); vienas – kitų tarptautinių duomenų bazių leidinyje (Kiaulakis et al., 2018); keturi – kituose recenzuojamuose mokslo leidiniuose (Kiaulakis et al., 2016; Kiaulakis et al., 2018; Kiaulakis, Vilutienė, & Šarka, 2019; Kiaulakis, Vilutienė, Šarka & Šarkienė, 2019).

Atliktų tyrimų rezultatai buvo paskelbti dviejose tarptautinėse mokslinėse konferencijose:

- Pranešimas konferencijoje „The 13th International Multi-Conference on Society, Cybernetics and Informatics: IMSCI 2019“ 2019 m. liepos 8 d., Orlandas, JAV.
- Pranešimas konferencijoje „13th International Conference „Modern Building Materials, Structures and Techniques“ 2019 m. gegužės 16–17 d., Vilnius, Lietuva.

Disertacijos struktūra

Disertaciją sudaro įvadas, trys skyriai, bendrosios išvados, literatūros ir šaltinių bei autoriaus mokslinių publikacijų disertacijos tema sąrašai, santrauka anglų kalba ir šeši priedai.

Mokslinės literatūros apie BIM taikymą tvarių pastatų projektavime ir statyboje apžvalga

Šiame skyriuje nagrinėjama, kaip tvarumo sampratos daugialypiškumas ir BIM technologijų kompleksiškumas apsunkina šių dviejų kategorijų sintezę ir apriboja praktinį taikymą statybos projektuose. Apklausos rezultatai padėjo nustatyti esamą situaciją Lietuvoje ir papildyti apžvalginę dalį pirminiais duomenimis.

Skyriaus tematika paskelbti 5 straipsniai (Kiaulakis, Vilutienė, 2016; Kiaulakis, Vilutienė, Migilinskas, 2018; Kiaulakis, Vilutienė, Šarka, Šarkienė, 2019; Kiaulakis, Vilutienė, Šarka, 2019; Vilutienė, Šarkienė, Šarka, Kiaulakis, 2020; Vilutienė, Kiaulakis, Migilinskas, 2021).

1.1. Tyrimai susiję su tvarių pastatų projektavimu, statyba ir naudojimu

1.1.1. Tvarumo samprata

Tvarumo samprata statybos srityje susijusi su statybos veiklų poveikio aplinkai ir sprendimų tvarumo vertinimu. Literatūroje statybos sektoriaus veiklų poveikis siejamas su aplinkos tarša, didelio kiekio sunkiai perdirbamų atliekų susidarymu, didelių gamtos išteklių ir energijos suvartojimu. Tvarumo užtikrinimo uždaviniai numato ieškoti veiklos būdų, kurie atlieptų dabartinius visuomenės poreikius nepakenkiant ateities kartų galimybėms patenkinti jų poreikius (Holden et al., 2014). Statybos pramonėje keliama tikslai projektuoti ir statyti tvarius, mažai energijos vartojančius pastatus, taikyti aplinkai nekenksmingas medžiagas ir darbo metodus, kurie gali padėti siekti tvarios plėtros tikslus ekonomiškai pagrįstomis priemonėmis. Paprastai tvarumo analizė atliekama projektavimo etape, kai statinių komponentai ir elementai jau yra pasirinkti. Priimdama sprendimus dėl tinkamiausios projektavimo alternatyvos, kuri padės sukurti tvarius ir efektyvius pastatus, pasirinkimo ankstyvojoje projektavimo stadijoje, projektavimo komanda turi įvertinti procesų tarpusavio priklausomybę ir integruotai pritaikyti skirtingų disciplinų žinias (Jalaei et al., 2020).

Statybos pramonė yra didžiausia Europos pramonės darbdavė, kuriai tenka apie 10 % Europos BVP ir kuri daro didelį poveikį aplinkai ir socialinei gerovei (Burgan & Sansom, 2006). Pastatas ar konstrukcija, suprojektuoti naudojant aplinkai nekenksmingas medžiagas, nebūtinai yra tvarūs. Tvarumas negali būti užtikrintas atsižvelgiant tik į aplinkosaugos klausimais. Šie turi būti suderinti su ekonominiais ir socialiniais klausimais (Wang et al., 2015). Tvarios plėtros uždaviniai apima visų tvarumo principų integravimą į projekto visas stadijas ir visų atsakingų suinteresuotųjų šalių įtraukimą (Turskis et al., 2019). Tvarių pastatų, atitinkančių tvarumo kategorijas, projektavimas daro statybos inžinieriaus vaidmenį labai svarbų. Laikantis tradicinio pastatų projektavimo požiūrio, statybos inžinieriai retai vertina aplinkosauginį aspektą, kuris šiuolaikiniame integruotame pastato projektavimo principu buvo pripažintas vienu svarbiausių veiksnių (Hou et al., 2015b). Statybos inžinieriaus sprendimai daro didelę įtaką atliekų susidarymui, vandens ir energijos vartojimui ir aplinkos taršai (Weisenberger, 2011). Taisant tvarumo principus projektavimo procese galima pagerinti projekto tvarumą (Shen et al., 2008).

Tačiau teigiama, kad papildomos išlaidos, laikas ir ribotas ekologiškų medžiagų tiekėjų skaičius bei informacijos prieinamumas yra svarbios tvarios plėtros kliūtys (Shi et al., 2013). Be to, sprendimų priėmimo procesą apsunkina statinio konstrukcinių elementų įvairovė ir tvarių medžiagų prieinamumas, skirtingi užsakovų, architektų ir projektuotojų požiūriai ir poreikiai (Shi & Li, 2019).

1.1.2. Tvaraus pastato kūrimo uždaviniai

Tvarus pastatas – tai pastatas, galintis pagerinti gyvenimo kokybę ir tausoti aplinką, taupyti energiją, išteklius ir būtų suprojektuotas iš medžiagų, kurias galima būtų perdirbti – sumažinti pavojingųjų medžiagų, kurioms yra (arba gali būti) veikiami žmogaus ir kiti organizmai, ekosistemą projektuojant, statant ir naudojant pastatą.

Pastato tvarumo aspektai skirstomi į keturias grupes: aplinkos, socialiniai, ekonominiai ir techniniai (Zabihi et al., 2012).

Pagrindinės strategijos, kaip užtikrinti pastato tvarumą, yra šios:

- energijos suvartojimo mažinimas;
- vandens suvartojimo mažinimas;
- atliekų perdirbimas.

Gera suprojektuoti tvarūs pastatai gali padėti taupyti pastato išlaikymo išlaidas, padidinti komfortą ir sukurti sveikesnę aplinką žmonėms gyventi ir dirbti, užtikrinti geresnę patalpų oro kokybę, natūralią dienos šviesą ir šiluminį komfortą.

Energijos vartojimas išeikvojant gamtos išteklius ir išmetamas CO₂ kiekis yra vienas svarbiausių žmonių veiklos padarinių aplinkai. Nepastovios energijos rinkos, didėjančios energijos sąnaudos ir didėjantis supratimas apie aplinką tokiais klausimais, kaip pasaulinis atšilimas, daro energijos vartojimo efektyvumą ir taupymą svarbiausiu prioritetu. „Build Green“ dėmesys skiriamas pastato energijos vartojimo mažinimui ir naudotojų komforto didinimui. Kas yra aplinkos tvarumas? 1987 m. Pasaulio aplinkos ir plėtros komisija tvarumą apibrėžė taip: „Tenkinti dabarties poreikius nepakenkiant ateities kartų galimybėms patenkinti savuosius“. Šis apibrėžimas buvo patvirtintas 1992 m. Rio de Žaneire vykusioje Jungtinių Tautų aplinkos ir plėtros konferencijoje. 2003 m. Ekonominio bendradarbiavimo ir plėtros organizacija pareiškė: „Statybos sektorius daro didelę įtaką ne tik ekonominiam ir socialiniam gyvenimui, bet ir gamtai bei aplinkai“. Įvairios statybinės veiklos, tokios kaip pastatų projektavimas, statyba, naudojimas, atnaujinimas ir griovimas, tiesiogiai ir netiesiogiai veikia šio sektoriaus aplinkosauginį veiksmingumą. Atsižvelgiant į tai, „tvaraus pastato“ koncepcija – neigiamo poveikio pastatų aplinkai ir statybų veiklai mažinimas – atkreipė suinteresuotųjų šalių dėmesį OECD šalyse. Poveikis gali svyruoti priklausomai nuo perdirbtų medžiagų naudojimo statybose, iki mažai teršiančių transporto rūšių ir maksimalaus energijos vartojimo efektyvumo pastate, pavyzdžiui, pagerinant izoliaciją ir vartojant saulės energiją. Neseniai paskelbtoje EBPO ataskaitoje aprašomas statybų sektoriaus poveikis aplinkai ir ekonomikai bei esama padėtis aplinkosaugos srityje ir pateikiamos rekomendacijos, kaip parengti ir įgyvendinti politiką, skatinančią aplinką tausojančius pastatus (<https://buildgreen.co>).

1.1.3. Tvarumo sampratos daugialypiškumas

Išteklių išekvojimas, ekosistemų irimas ir klimato kaita yra iššūkiai, kurie pastaroju metu pabrėžiami moksliniuose tyrimuose (CA17133: Implementing Nature Based Solutions for Creating a Resourceful Circular City, n.d.). Perėjimas prie tvarių procesų per pastato projektavimo, statybos ir naudojimo etapus vertinamas kaip sprendimas tiems iššūkiams įveikti ir miestus paversti tvariomis sistemomis. Vienas šio perėjimo elementų – ekologiškų sprendimų įgyvendinimas projektuojant pastatus ir inžinerinius statinius.

Tvarumas yra daugialypis reiškinys, apimantis daugelį prieštaraujančių tikslų. Plačiąja prasme tvarumas apima kategorijas, užtikrinančias reikalavimus projektui, pastato naudotojų poreikius, ir atsižvelgia į aplinkos, ekonominius ir socialinius aspektus (Chong & Wang, 2016). Pastatų sprendimų tvarumą būtų galima užtikrinti pasiekiant geriausią gyvenimo kokybę pastato erdvėse, užtikrinant akustinį, vizualinį ir šiluminį komfortą (Chong & Wang, 2016). Pažangius technologinius sprendimus, tinkamų pastato sistemų parinkimą, našumą, ilgaamžiškumą ir kitus projektavimo aspektus (Jaganathan et al., 2013) paminėjo kaip projekto atributus tvarumo atžvilgiu. Norint kurti tvarų projektą, (Yepes et al., 2015) siūlo vertinti išlaidas, išmetamo CO₂ kiekius ir naudojimo laiką. Kaip nurodė Kim et al. (2015), energijos sąnaudos ir anglies dvideginio emisija turi būti apskaičiuojamos kiekvienam statybos projektui, panašiai kaip medžiagų ir darbo sąnaudos. Tvarus projektas turi užtikrinti statybos standartų laikymąsi, pasikartojančių elementų gamybą arba masinę gamybą, leidžiančią sumažinti išlaidas (Burgan & Sansom, 2006). Komercinių pastatų sudėtingumas ir būtinybė įvertinti daugelį tvarumo kategorijų reikalauja, kad būtų pasirinktas optimalus tvarių sprendimų rinkinys, tam tikslui naudojant patikimus optimizavimo algoritmus (Rafiei & Adeli, 2016).

Statybos pramonė kurį laiką stengėsi pagerinti savo aplinkosauginį veiksmingumą. Palygintas statybinių medžiagų, naudojamų laikančiosioms konstrukcijoms, ekologinis efektyvumas (Oda et al., 2012). Plokščių statybos metodų palyginimas rodo, kad galima sumažinti bendrą suvartojamos energijos kiekį iki 40 % (Miller & Doh, 2015). Pranešama apie įvairių struktūrinių elgesį, aukštą konstrukcijos kokybę ir našumą siekiant tvarumo plieno laužas (L. Y. Shen et al., 2008) ir plieno gamybos technologijas CO₂ surinkti (Quader et al., 2016). Priešingai, pripažinta, kad cemento ir cemento pagrindu pagamintų kompozitų gamyba nėra tokia ekologiška kaip plienas (Fantilli & Chiaia, 2013). Per pastarąjį dešimtmetį atlikus tyrimus buvo pateikti pasiūlymai, kaip pasiekti geresnių betono aplinkos ir struktūrinių savybių. Per pastaruosius du dešimtmečius dėl besikeičiančių tvarumo reikalavimų pasikeitė pastato projektas. Tai atsispindi tvaraus pastato formavimo modeliuose. Pavyzdžiui, plieninė konstrukcija pastato fasade išreiškia taisyklingas įstrižaines, ją lengviau ir greičiau montuoti ir labai suderinama su tvaraus pastato koncepcija (Szolomicki & Golasz-Szolomicka, 2019).

Dėl didėjančios konkurencijos statybos įmonės svarsto įmonių socialinę atsakomybę dėl socialinių ir aplinkos veiksnių, kurie apibrėžia šią sąvoką ir yra įtraukti į įmonių išsipareigojimus prisidėti prie tvarios ekonominės plėtros (Zhao et al., 2012). Tačiau projekto suinteresuotieji subjektai nepakankamai supranta tvaraus vystymosi principų įtraukimo į ankstyvuosius projekto etapus svarbą. Netgi galimybių stadijoje turėtų būti konsultuojamasi su projektuotojais ir konstrukcijų inžinieriais dėl profesionalių patarimų dėl įvairių alternatyvų ir jų įtakos projekto tvarumui (Shen, Yin et al., 2010). Be to, reikia atsižvelgti į įvairių suinteresuotųjų šalių kategorijas, kad būtų užtikrintas išsamus visų tvarumo aspektų, ypač konkrečiam pastatui būdingo socialinio poveikio, vertinimas (Zhao et al., 2019).

Yra daugybė išsamaus tvarumo vertinimo būdų, pavyzdžiui, gerai žinomi pavyzdžiai: LEED ir „Green Globes“ JAV, BREEAM – JK, DGNB – Vokietijoje, pastatų aplinkos vertinimo metodas BEAM Plus – Honkonge, CASBEE – Japonijoje, „Green Star“ – Australijoje ir kt. Šių tvarumo vertinimo būdų taikymas užima daug laiko ir nesvarsto ekonominio aspekto, kuris prieštarauja galutiniam darnaus vystymosi principui. Viena vertus, reikia ekologiškų sprendimų, kuriuose būtų suvartojama kuo mažiau energijos ir susidarytų atliekų, kita vertus, investuotojas ketina vykdyti rentabilius projektus (Biolk & Hanák, 2019). Šiuo atžvilgiu sąnaudų analizės trūkumas yra pagrindinis minėtų tvarumo vertinimo priemonių trūkumas (Vilutienė et al., 2015). Be to, minėtos tvarumo vertinimo ir sertifikavimo sistemos nors ir tinkamos pastato komponentų tvarumui įvertinti, nėra tinkama priemonė, padedanti architektams projektavimo metu (Feria & Amado, 2019). Be to, dauguma autorių, išanalizavusių tvaraus projektavimo metodiką, pažymi, kad ekologiškai efektyvių produktų kaina yra didelė (Plouffe et al., 2011). Buvo pranešta apie tvarumo vertinimo priemonių trūkumus, taip nurodant tvarių produktų projektavimo priemonių nebrandumą (Ahmad et al., 2018). Samani ir kt. padarė išvadą, kad vienas iš pagrindinių tvarių pastatų tyrimų trūkumų yra tas, kad technologškai orientuotiems tyrimams paprastai trūksta socialinės tvarumo dimensijos, o į socialiai orientuotas studijas reikia integruoti daugiau techninių aspektų. Norint išbandyti įvairių mokslininkų pasiūlytas tvaraus projektavimo ir statybos teorines naujoves, reikia atlikti daugiau tyrimų, įskaitant eksperimentus. Šioje srityje dar reikia daug nuveikti, kad ekologiškas projektas būtų finansiškai patrauklus investuotojui. Dėl nurodytų projektavimo ir tvarumo vertinimo trūkumų buvo padaryta išvada, kad reikia taikyti paprastus ir patikimus metodus, kad būtų galima įvertinti konstrukcinio sprendimo tvarumą ankstyvose projektavimo stadijose.

Liu et al. (2016) apžvalga atskleidė, kad akademinė bendruomenė pripažino BIM potencialą, atliekant energijos ir poveikio aplinkai analizę bei kuriant tvarų projektą. Olbina ir Elliott (2019) tyrimas atskleidė, kad įvairios suinteresuotųjų šalių grupės BIM traktuoja kaip universalų architektūros, inžinerijos ir statybos

(AEC) procesą, teikiantį naudos sudėtingiems ir paprastiems projektams. Naujau-siuose tyrimuose pagrindinis dėmesys skiriamas BIM ir kitų susijusių technolo-gijų ir darbo metodų integravimui, siekiant efektyviai spręsti įvairius tvaraus sta-tinio kūrimo uždavinius, tokius kaip energijos ir anglies dvideginio išmetimo kiekio skaičiavimas, siekiant paspartinti sprendimų priėmimo procesą ir sudaryti sąlygas projektuotojams ir kitiems specialistams efektyviau atlikti projekto įgy-vendinimo uždavinius (Vilutiene et al., 2019). Chan et al. (2019) atskleidė reikš-mingą BIM poveikį keliose AEC pramonės srityse, tokiose kaip projektavimas, statyba, įrenginių valdymas, sauga ir tvarumas. BIM gali pagerinti surenkamųjų elementų gamybos ir montavimo procesus, kurie laikomi veiksmingu metodu su-mažinti statybos pramonės atliekas, energijos suvartojimą ir išmetamą CO₂ kiekį (Zhao et al., 2019). Chan et al. (2019) tyrimas atskleidė kritinius veiksnus, kurie gali padėti sėkmingai įgyvendinti BIM ir tvarumo praktiką įgyvendinant statybos projektus. Trys reikšmingiausi yra „padidėjęs subrangovų, patyrusių įgyvendinant BIM projektus, skaičius“, „didesnis žinių ir patirties lygis įmonėje“ ir „didesnis projekto suinteresuotųjų šalių dalyvavimas ekologiškuose projektuose“. Taip pat buvo nustatytos kitos svarbios kategorijos, kurios apima „organizavimo ir su pro-jektais susijusius klausimus“, „pramonės kultūrą“, „teisinius klausimus“ ir „švie-timą, žinias ir mokymąsi“.

Pastatų tvarumas užtikrinamas pasiekus geriausią gyvenimo kokybę pastato erdvėse, suteikiant akustinį, vizualinį ir šiluminį komfortą. Naudojamų medžiagų charakteristikos, galimas jų poveikis globalinio atšilimo potencialui ir kiti povei-kio aplinkai rodikliai taip pat gali būti įvertinti dar ankstyvoje pastato projekta-vimo stadijoje. Suprojektavus pastatą, galima rinkti duomenis, kad būtų galima optimizuoti statybos proceso metu vykstančias veiklas. Pavyzdžiui, parinkti ma-žiau aplinką teršiančius technologinius procesus, optimizuoti technikos naudo-jimą, apskaiciuoti statybos kainą. Zavadskas et al. (2021) rodiklius suskirstė į ke-turias pagrindines grupes: strateginius (politinius), ekonominius, socialinius ir aplinkosauginius. Vertinant socialinio tvarumo aspektą, atsižvelgiama į maksi-malų pastato erdvės išnaudojimą ir pastato naudotojų komfortą. Remdamiesi lite-ratūros analize, autoriai apibendrina įvairiuose tyrimuose siūlomus tvarumo ro-diklius, pateiktus 1.1 lentelėje.

1.1 lentelė. Siūlomas tvarumo vertinimo kriterijų rinkinys

Table 1.1. Proposed set of sustainability assessment criteria (elaborated by the author)

Rodikliai	Šaltiniai
Socialiniai	
Paslaugos vartotojų skaičius, naudotojai/m ²	Zavadskas et al., 2021
Papildomų socialinės pridėtinės vertės paslaugų vykdymas, taškai	Zavadskas et al., 2021

1.1 lentelės tęsinys

Rodikliai	Šaltiniai
Veiklos svarba vertinant galimus socialinės gerovės nuostolius, taškai	Zavadskas et al., 2021
Dalis paslaugos teikiama nemokamai, proc.	Zavadskas et al., 2021
Ekonominiai	
Projektavimo darbų kaina, eurai	Sun et al., 2019; Dipasquale et al., 2019
Statybos darbų kaina, eurai	Levin & Ecology, 2016; Ercsey, 2022; Caldas & Norford, 2002
Medžiagų kaina, eurai	Ercsey, 2022; Dipasquale et al., 2019; Zavadskas & Antucheviciene, 2007
Mechanizmų darbo kaina, eurai	Zhao et al., 2012
Atsipirkimo laikotarpis, metai	Dipasquale et al., 2019; Gorgolewski et al., 1996
Technologiniai	
Žmogaus darbo sąnaudos, žm. val.	Shehata & El-gohary, 2012
Mašinų darbo sąnaudos, maš. val.	Gransberg, 2020
Pastato inžinerinių sistemų savybės:	
- šildymo įtaisų ir siurblių efektyvumas bei naudojimas, %, koef.;	Willem et al., 2017
- vėdinimo sistemų ir jos techninės įrangos efektyvumas bei panaudojimas, %, koef.;	Giam, 2022
- šilumos rekuperacijos įtaisų efektyvumas ir naudojimas, %, koef.;	Dipasquale et al., 2019; Mardiana-Idayu & Riffat, 2012
- automatinių kontrolės ir reguliavimo sistemų kokybė ir naudojimas, koef..	Parkhomey et al., 2020
Pastato bendras vidaus patalpų plotas (priklausomai nuo pastato paskirties svarbus atskiroms naudotojų grupėms dėl erdvių išsaugojimo ir naudojimo pastate numatyta veiklai vykdyti), m ²	Levin & Ecology, 2016; Li & Chen, 2021; Estephan et al., 2021
Kiti pastato fiziniai parametrai, nulemiantys komforto lygį pastato patalpose:	
Pastato ir butų patalpų orientacija pasaulio šalių atžvilgiu	Moradchelleh, 2011; Karimimoshaver & Shahrak, 2022

1.1 lentelės pabaiga

Rodikliai	Šaltiniai
Pastato kompaktiškumas (optimalus išorinių atitvarų ir šildomo patalpų ploto santykis)	Ercsey, 2022; Wang et al., 2021
Atitvarų šilumos izoliavimo savybės, $W/(m^2 \cdot K)$;	Bojic et al., 2002; Karimimoshaver & Shahrak, 2022
Vandens garų pastate susidarymas ir jų sklidimas atitvarose, m;	Pavlik et al., 2012; Tian et al., 2019
Atitvaros skaidriųjų elementų plotas, jų išdėstymas, saulės energijos vartojimas ar apsaugos priemonių nuo jos naudojimas, m^2 ;	Curpek, 2019; Wang et al., 2021
Aplinkosauginiai	
Pirminės energijos suvartojimas, MJ	Jie et al., 2018; Maslesa et al., 2018
Visuotinio atšilimo potencialas medžiagų gamybos, statybos etapuose ir transportuojant, GPW	
Šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisija, kg CO_2 ekv./vnt.	Ercsey, 2022; Kongboon et al., 2022; Lamnatou et al., 2016
Šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisija, kg CH_4 ekv.	Maslesa et al., 2018; Geronimo et al., 2022
Ozono sluoksnį ardančių dujų emisija, kg CFC-11 ekv.	Maslesa et al., 2018; Geronimo et al., 2022
Kitos šiltnamio efektui turintys įtaką cheminės medžiagos.	Chen et al., 2021
Atliekų kiekių susidarymo vertinimo rodikliai, t	Yuan, 2013
Kiti aplinkosauginiai rodikliai.	Maslesa et al., 2018; Lamnatou et al., 2016; Nielsen et al., 2016
Kita	
Saugumas	Lapinskienė, 2019
Teršalai	Lapinskienė, 2019
Įgyvendinimas	Lapinskienė, 2019
Estetika	Lapinskienė, 2019
Išpildymas	Lapinskienė, 2019
Valdymas/priežiūra	Lapinskienė, 2019

1.1.4. BIM svarba sprendžiant statybos projektų uždavinius

Visame pasaulyje BIM jau egzistuoja daugiau nei dvidešimt metų (Hadzaman et al., 2015). BIM metodologijos diegimo pradininkai yra JAV, kur JAV generolinių paslaugų administracija (angl. GSA) buvo atsakinga už JAV viešųjų projektų skatinimą ir strateginį įgyvendinimą (Waghmare & Bhalerao, 2016). Jungtinėje Karalystėje sukurta bendra strateginė sistema, susidedanti iš keturių strategijų, tokių kaip lyderystė, vizija, bendradarbiavimo sistema ir klientų bei pramonės pajėgumai, siekiant padėti viešajam sektoriui sėkmingai įgyvendinti BIM metodologiją (Waterhouse et al., 2016).

Kiti BIM diegimo lyderiai yra Norvegija, Suomija ir Danija (Biolek & Hanák, 2019). Singapūras aktyviai dalyvauja BIM darbotvarkėje, nes jo statybos ir nekilnojamojo turto tinklas (CORENET) pateikia įvairias BIM įgyvendinimo strategijas (Teo et al., 2012). Japonijoje įsitraukimas ir BIM įgyvendinimas parodė teigiamą investicijų grąžą, ypač rangovams (Smith, 2014). Australijos vyriausybė, įgyvendindama siūlomas darbo programas, griežtai įgyvendina įvairias BIM strategijas (buildingSMART Australasia, 2012). Honkongo būsto administracija turi savo standartus ir reikalavimus, susijusius su BIM diegimu ir taikymu, pvz., nustatyti reikalavimai keistis informacija ir perduoti duomenis.

Kaip teigia Cavka et al. (2017), statinio informacijos modeliavimas (BIM) gali išspręsti problemas, susijusias su informacijos patikimumu, siekiant pagerinti turto informacijos valdymą. Cavka et al. (2017) nuomone, nepaisant daugelio BIM privalumų, jo naudojimas statinio eksploatavimo etape vis dar yra labai ribotas. Cavka et al. (2017) nuomone, BIM įgyvendinimas didelėse organizacijose yra sudėtingas iššūkis, visų pirma dėl kliūčių, susijusių su turto valdytojo (užsakovo) požiūriu į BIM technologijas.

Literatūroje BIM pripažįstamas kaip reikšminga naujovė, vedanti statybų sektorių link tvarumo, o projektavimo įmonių pasirinkimas investuoti į BIM technologijas yra ekonomiškai ir efektyvus. Konkrečiai, projektavimo įmonė įvertina ekonominę naudą ir efektyvumo padidėjimą dėl BIM technologijų taikymo (Reizgevičius et al., 2018).

Ashworth et al. (2019) išanalizavo dokumentinę BIM diegimo pusę. Jie atkreipė dėmesį, kad turto valdytojams (užsakovams) dažnai neaišku, nuo ko pradėti, jie teigia, kad yra didelis informacijos kiekis, su kuria reikia susipažinti kad suprasti savo vaidmenį BIM projekte. Pagrindinė šio tyrimo išvada yra ta, kad BIM projektų valdytojai ieško geros praktikos pavyzdžių ir patarimų. Labai svarbu, kad pastatų valdytojai ir užsakovai įgytų BIM projektui vykdyti reikalingų žinių ir įgūdžių, visapusiškai įsitrauktų į BIM procesą ir aiškiai išdėstytų savo informacijos poreikius.

Li et al. (2019) pasiūlė penkias strategijas, skirtas BIM diegimo organizacijoje iššūkiams. Šios strategijos turėtų apimti organizacijos supratimo apie BIM ugdymą, integruotą projektų vykdymą (IPD), teisinės BIM diegimo organizacijoje

aplinkos kūrimą, programinės įrangos bei standartų ir debesų technologijos diegimą organizacijoje. Cavka et al. (2017) pasiūlė metodiką, skirtą užsakovo reikalavimams formuoti. Iš pradžių buvo sukurta metodika mokslinių tyrimų procesui paremti, tačiau paaiškėjo, kad tai gali padėti užsakovo reikalavimų formavimo procesui. Buvo sukurta koncepcinė sistema, pagal kurią skaitmeniniai ir fiziniai produktai būtų susiję su užsakovo reikalavimais ir organizacijos resursais. Cavka et al. (2017) nurodo šiuos 4 etapus:

1. Nustatyti užsakovo reikalavimus ištyrus duomenų šaltinius, pvz., organizacinės gairės, technologijų infrastruktūrą, personalo reikalavimus ir užsakovo reikalavimus BIM technologijų taikymui.

2. Projekto įgyvendinimo ir turto valdymo kontekste ištirti ir klasifikuoti užsakovo reikalavimų mastą ir apimtį.

3. Nustatyti reikalavimus, kuriuos galima įgyvendinti naudojant BIM grįstą projektų parengimą, įgyvendinimą ir turto valdymą.

4. Sukurti koncepcinę sistemą, skirtą projekto skaitmeniniams ir fiziniams produktams susieti su užsakovo reikalavimais ir organizacine aplinka.

Naujausių tyrimų analizė atskleidė, kad statinių informacijos modeliavimo srityje buvo sukaupta daug naujų žinių. Statinių informacijos modeliavimas sukūrė naujų BIM kompetencijų paklausą. Daugumoje tyrimų susijusių su BIM kompetencijomis daugiausia dėmesio skiriama paklausos susijusios su BIM darbo vietomis analizei (Cavka et al., 2017). Kiti (Szolomicki & Golasz-Szolomicka, 2019) bando rasti BIM kompetencijų struktūrizavimo ir klasifikavimo metodus. Daugiausia pastangos nustatyti BIM vaidmenis ir kompetencijas statybos pramonėje buvo sutelktos į kompetencijų apibrėžimą ir klasifikavimą (Ley & Albert, 2003), kompetencijų nustatymą ir struktūrizavimą atskiriems vaidmenims BIM projekte (Barison, 2011).

Statinio informacijos modeliavimo atsiradimas sukūrė naujų darbo vietų. Nepaisant didelio susidomėjimo, klausimai, susiję su BIM kompetencijomis vis dar neturi aiškaus sprendimo. (Kassem et al., 2018) nustatė, kad literatūroje nėra griežtai apibrėžtos kiekvieno BIM specialisto kompetencijos ar galimos kompetencijų sritys. Davies et al. (2017) pažymi, kad daugelyje BIM metodikų nurodomi tik projekto komandos narių vaidmenys ir atsakomybės, bet nenurodoma, kaip organizacija turėtų būti valdoma BIM kontekste projekto atskiruose etapuose ir projekto valdymo metu.

Barison (2011) tyrimas atskleidė, kad BIM projekto vadovas / valdytojas yra paklausiausia kompetencija užsakovo vaidmenį vykdančiose organizacijose. Be to, šiai kompetencijai reikalingos tarpdalykinės žinios, pvz., BIM projekto vadovas / valdytojas turi būti susipažinęs su informacinėmis technologijomis, projektavimo ir statybos procesais, projektų valdymu, BIM standartais, BIM projekto rengimo eiga, koordinavimo praktika, statybų brėžiniais ir sąnaudų vertinimu, ka-

lendorinių grafikų rengimu ir finansinės rizikos vertinimu, objektiniu projektavimu ir kitomis disciplinomis. Tačiau Rahman et al. (2016) tyrimas atskleidė, kad BIM projekto vadovo / valdytojo kompetencijos kaip ir tradicinio projekto vadovo kompetencijos apima taip pat daug bendrų įgūdžių, kurių yra daugiau nei unikalių įgūdžių, reikalingų BIM projektui valdyti.

Siekdami atsakyti į klausimą „Kokių kompetencijų reikia kiekvienam BIM darbuvi?“, Uhm et al. (2017) atliko 242 internetinių darbo skelbimų analizę ir suskirstė 43 kompetencijas į esmines, bendras ir susijusias su darbo specifika. Tarp 35 pareigybių, dešimt paklausiausių BIM pareigybių buvo BIM vadovas / valdytojas, BIM inžinierius, BIM koordinatorius, BIM technikas, architektas, mechanikos, elektros ir santechnikos (MEP) BIM inžinierius, BIM projektų vadovas, BIM projektuotojas, BIM MEP dizaineris ir vyresnysis architektas. Šių pareigybių kompetencijos buvo skirstomos į tris tipus: bendrosios kompetencijos, esminės ir konkrečiam darbui būdingos kompetencijos.

Gathercole ir Thurairajah (2014) atlikta BIM projekto komandų vaidmenų analizė parodė, kad tikimasi, jog BIM koordinatoriai turėtų turėti panašias kompetencijas kaip ir BIM modeliotojas. Kai kuriuose pareigybių aprašymuose pagrindinis reikalavimas buvo nurodytas kaip „Patyręs BIM modeliotojas ir galbūt koordinatorius“, o kitoje pozicijoje ieškoma kandidato, kuris „idealiu atveju anksčiau užėmė BIM koordinatoriaus pareigas arba labai patyrusio BIM specialisto pareigas“. Succar ir Sher (2014) aprašė keletą pagrindinių punktų, apibrėžiančių atskirų BIM kompetencijų specifiką. Pirma, individualios BIM kompetencijos yra konkrečiai susijusios su asmenų sugebėjimais (o ne su grupių, organizacijų ar komandų kompetencijomis). Individuali BIM kompetencija yra bendra trijų komponentų suma: konceptualios arba teorinės žinios; įgūdžių, procedūrinių ar taikomųjų žinių; asmeniniai bruožai (pvz., požiūris, elgesys, fiziniai gebėjimai). Tada kompetencijos elementas gali pasireikšti trimis skirtingais būdais: kaip gebėjimų, reikalingu atlikti apibrėžtą veiklą ar pasiekti pamatuojamą rezultatą; kaip veikla - užduočių, atliekamų siekiant išmatuojamą rezultatą, visuma; rezultatas arba išmatuojamas rezultatas (produktas ar paslauga). BIM kompetencijos yra kiekybiškai arba kokybiškai įvertinamos pagal veiklos standartus. BIM kompetencijas galima įgyti keliais būdais, įskaitant formalųjį švietimą, profesinį mokymą ar mokymąsi darbo vietoje ir profesinį tobulėjimą. Succar ir Sher (2014) pasiūlė kompetencijas klasifikuoti pagal asmeninius individų sugebėjimus, individų profesinius sugebėjimus, individo gebėjimą naudoti konkrečius įrankius ir metodus veiklai vykdyti ar išmatuojamam rezultatui pasiekti.

Kuriamos įvairios internetinių platformų pagrindu veikiančios BIM kompetencijų žinių bazės (Succar & Sher, 2014). Žinių bazė veikia kaip platforma daugybei struktūrizuotų kompetencijos elementų palyginti, tvarkyti ir suteikti prieigą, kad būtų lengviau įgyti, įvertinti ir pritaikyti kompetencijas (Succar & Sher,

2014). Šie kompetencijos elementai apibrėžiami naudojant neutralią sintaksę; semantiškai susieti vienas su kitu ir su internetiniu BIM žodynu; laipsniškai susieta su internetinių šaltinių sukaupta elektronine mokymosi medžiaga arba tikslingai sukurta dalyvaujančių temų ekspertų. Pateiktoje BIM kompetencijų hierarchijoje (Succar et al., 2013) kompetencijas skirsto į kelis lygius, t. y. pagal kompetencijų pakopą (pagrindines kompetencijas, srities kompetencijas ir vykdymo kompetencijas), pagal kompetencijų rinkinius (pvz., srities kompetencijas, suskirstytas į funkcines, technines, palaikomasias) ir pagal kompetencijos temas (pvz., funkcinės kompetencijos srities grupėje apima bendradarbiavimą, projekto valdymą, komandos ir darbo eigos valdymą ir kt.). Succar et al. (2013) suskirstė kompetencijas į tris grupes, pradedant technologijomis susijusiais BIM kompetencijų elementais, sekdami su procesu susijusiais BIM kompetencijų elementais ir baigdami su politika susijusiais BIM kompetencijų elementais. Davies et al. (2017) apžvalgoje pabrėžiama, kad nemaža dalis BIM įgyvendinimo suvienodinimo problemos slypi semantikoje, o ne technologijų spragose.

1.2. BIM taikymo naudos projektuojant, statant ir naudojant statinius

Šio skyriaus uždavinys – įvertinti statinio informacijos modeliavimo (BIM), kaip įrankio ir proceso, taikymą projektuojant, statant ir naudojant statinius, siekiant suprasti dabartinį BIM technologijų naudojimą, BIM naudas, naudojimo kliūtis, taip pat galimą panaudojimą ateityje.

1.2.1. Informacijos mainų būdai ir BIM programinė įranga, naudojamos visose projekto vystymo stadijose

Informacijos apie pastatus modeliavimas (BIM) tampa vis populiariesnis architektūros, inžinerijos ir statybos (AEC) sektoriuje (Vilutiene et al., 2019). Paprastai BIM galima apibūdinti iš skirtingų perspektyvų. Tuo pačiu metu tai yra technologijos, procesas, politika ir metodika, skirta informacijai valdyti statybos projekte.

BIM taikymo skirtingose šalyse patirties analizė atskleidė, kad su BIM susiję metodai siūlo įvairius sprendimus, kurie gali sustiprinti bendradarbiavimą statybų projekte ir pateiktų rezultatų kokybę (Succar et al., 2012). BIM apima pastatų ir kitų objektų projektavimo, dokumentavimo, vizualizavimo ir ataskaitų rengimo, dokumentavimo, informacijos apdorojimo procedūras, kurios gali pagerinti dalijimąsi duomenimis ir integruotą informacijos valdymą (Arayici et al., 2011). Tai padeda planuoti ir palaikyti sprendimus (Ghaffarianhoseini et al., 2017), prisideda prie našumo ir ekonominių rodiklių didėjimo (Hong et al., 2019), įgalina valdyti

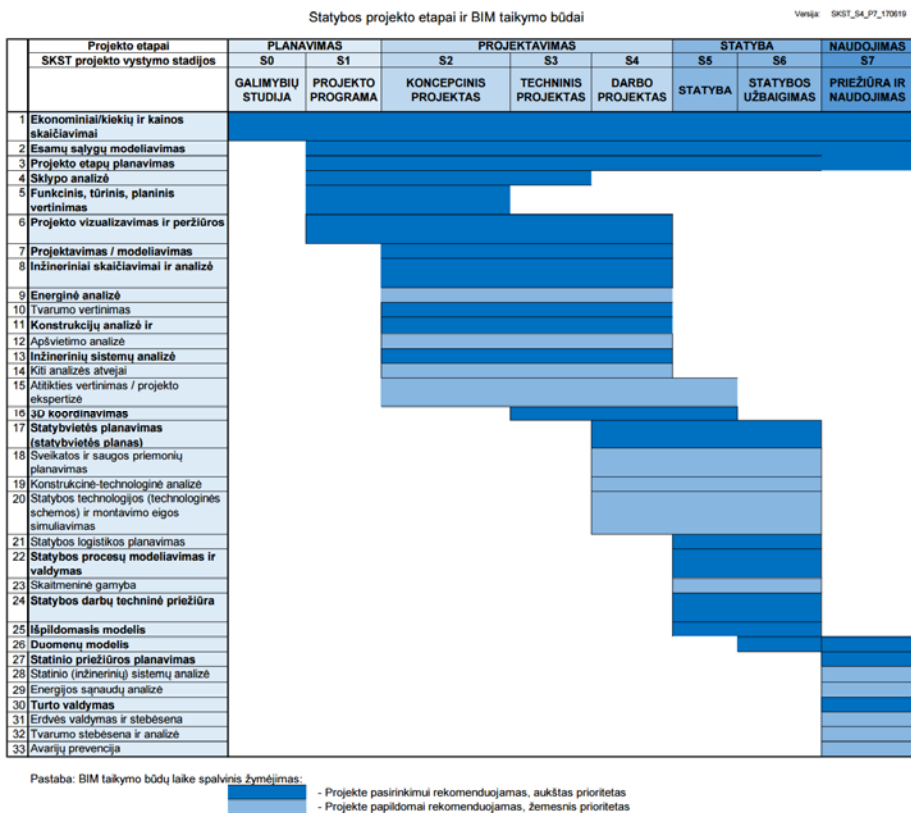
sąnaudas ir vertinti inžineriją (Park et al., 2017). Tokia nauda taikoma visoms susijusioms disciplinoms, įskaitant statybos inžineriją. BIM technologijų integravimo tyrimai atskleidžia daugybę spragų (Vilutiene et al., 2019). Bet, peržiūrėjus BIM literatūrą, paaiškėja, kad mokslininkai propaguoja BIM naudą, nes tai prisideda prie projektavimo efektyvumo ir padeda sumažinti nenumatytų pakeitimų apimtį dėl tikslesnio klaidų nustatymo (Yuan et al., 2019), padeda rasti pusiausvyrą tarp laiko ir sąnaudų statybos metu ir priežiūros efektyvumo, pasitelkiant faktinę informaciją apie projektą (Zadeh et al., 2017), sukuria erdvinį suvokimą ir sprendžia bendradarbiavimo problemas projektuojant (Miettinen & Paavola, 2018). Daug BIM metodologijos gairių ir nurodymų nagrinėjame šioje srityje pažengusių šalių praktikoje ir standartuose.

Pasaulyje yra sukurtų ir patvirtintų nemažai BIM standartų, gerai žinomi yra BS EN ISO 19650-1 – informacijos valdymas naudojant pastato informacinį modeliavimą: sąvokos ir principai; BS EN ISO 19650-2 – informacijos valdymas naudojant pastato informacijos modeliavimą: turto valdymo etapas; BS EN ISO 19650-3:2020 – informacijos valdymas naudojant pastato informacinį modeliavimą: turto eksploatavimo etapas; BS EN ISO 19650-5:2020 – informacijos valdymas naudojant pastato informacinį modeliavimą: saugumu pagrįstas požiūris į informacijos valdymą – JK (UK BIM Framework, 2019). NBIM-USV3 – terminų ir apibrėžimų pagrindinis žodynas – JAV (Dalacker & Hopf, 1974). LST EN ISO 29481-1:2017 – statinio informaciniai modeliai. Informacijos pateikimo vadovas; LST EN ISO 19650-2:2019 – informacijos valdymas taikant statinio informacinį modeliavimą: turto sukūrimo etapas – Lietuva (Lietuvos standartizacijos departamento biuletenis 2015 m. Nr. 5, 2017). Minėtuose standartuose nurodomi visi pagrindiniai principai ir reikalavimai BIM metodologijos taikymui, tačiau standartuose nėra numatyta metodų, kurie įgalintų BIM taikymo efekto organizacijos veiklai vertinimą įtraukiant tvarumo aspektus, taip pat nėra skirta pakankamai dėmesio BIM technologijų taikymo ypatumams skirtingo tipo projektuose. BIM taikymo būdų egzistuoja įvairiausių.

Ustinovičius et al. (2018) atlikta analizė parodė, kad norint patobulinti informacijos mainų formatus ir siekiant išsaugoti kuo daugiau projektinės informacijos reikia atlikti daugiau BIM tyrimų projektavimo metu. Kaip ir projektuojant BIM, programinės įrangos paketai turi būti tobulinami, papildant juos trūkstamais įrankiais ar programų kodais.

Literatūros šaltiniuose galima rasti įvairių statybos projekto etapų ir BIM taikymo būdų struktūravimą (Arayici & Aouad, 2011). Pavyzdžiui, 1.1 paveiksle buvo išskirti 33 BIM taikymo būdai pagal projekto etapus ir statybos projekto vystymo stadijas. Kiekvienam taikymui būdai galima priskirti naudojamą BIM programinę įrangą. Pavyzdžiui, esamoms sąlygoms modeliuoti gali būti taikoma BIM modeliavimo, 3D atvaizdavimo, 3D lazerinio skenavimo taškų debesų apdorojimo, fotogrametrijos duomenų apdorojimo, ortofoto ir kito fotografavimo

duomenų apdorojimo programinė įranga. Skirtingiems projektams gali būti parinkti skirtingi BIM technologijų ir taikymo būdų rinkiniai, priklausomai nuo projekto tipo, objekto tipo, užsakovo reikalavimų ir t. t. Reikėtų atkreipti dėmesį, kad 1.1 paveiksle pateiktas BIM taikymo būdų sąrašas nėra baigtinis. BIM taikymo būdų sąrašą vieni pirmųjų pasiūlė ir paskelbė „PennState“ koledžo mokslininkai. Jie pasiūlė dvidešimt penkis BIM taikymo būdus, suskirstytus pagal projekto kūrimo etapus. Taikymo būdai buvo nustatyti atlikus statybos sektoriaus ekspertų apklaudas, išanalizavus projektų įgyvendinimo atvejus ir atlikus literatūros analizę (Messner et al., 2011).



1.1 pav. Statybos projekto etapai ir BIM taikymo būdai
(iš Skaitmeninė statyba SKST_S4_P7_170619)

Fig. 1.1. Construction project stages and BIM application methods
(from Digital Construction SKST_S4_P7_170619)

Vystantis technologijoms ir atsirandant naujoms priemonėms ir įrankiams šis sąrašas gali būti išplėstas.

Kadangi BIM technologijos vis dar tobulėja ir procesai tampa vis labiau automatizuoti, reikia apibrėžti vaidmenis ir kompetencijas, taip pat sudėtingoms paslaugoms reikalingos žinios naudojant daugiamatį modeliavimą, pvz., 3D, 4D (įskaitant laiką), 5D (įskaitant išlaidas) ir 6D (įskaitant įrenginių valdymą) modeliavimas (Smith, 2014). Svarbiausia, kokią daugybę naudos iš BIM galima pasiekti tik naudojant komandinį darbą ir efektyvų informacijos valdymą per visus projekto etapus (Ghaffarianhoseini et al., 2017). Štai kodėl surinkti ir sutvarkyti projekto duomenys su tinkamais informacijos valdymo sprendimais yra būtini, norint užtikrinti efektyvų įgyvendinimą bet kuriame BIM brandos lygmeniu (Succar et al., 2012).

Statybos sektoriaus įmonėse diegiamos BIM koncepcijos, BIM paremti darbo metodai ir technologijos. Tačiau BIM pagrįsto požiūrio įgyvendinimo ir taikymo efektyvumo nauda dar nėra patikimai įvertinta (Succar et al., 2012). Nėra vienos šiam tikslui tinkamos rodiklių sistemos ir trūksta vertinimo metodų (Barlish & Sullivan, 2012). Kitame skyriuje aptariamos BIM naudos įvairiuose šaltiniuose ir susisteminti duomenys apie šaltiniuose pateiktus BIM taikymo efekto matavimo metodus.

1.2.2. BIM taikymo projektuose patirties analizė

Atlikus literatūros analizę nustatyta, kad yra BIM taikymo naudų matavimo rodikliai, kurie vertina BIM taikymo naudą procesams vykdant viešuosius pirkimus, vertinant projektuotojų darbo efektyvumą ir kitą galimą BIM taikymo efektą. Apibendrinti šios analizės rezultatai pateikti priede A, lentelėje „užsienio šalių BIM projektų patirties analizė“. Tyrimo metu buvo analizuojama, kaip BIM naudos buvo matuojamas organizacijų vykdytuose projektuose. BIM taikymo Lietuvoje efekto matavimas tik prasidėjo, todėl nėra daug projektų ir dar nėra pakankamai duomenų, kuriuos galima būtų analizuoti. Dėl šios priežasties buvo atlikta BIM taikymo patirties analizė užsienio šalyse. Buvo analizuojami įvairiuose moksliniuose straipsniuose aprašyti 34 projektų pavyzdžiai. BIM projektų pagrindiniai duomenys pateikti A priede. Čia nurodyta informacija apie projektą (jo pavadinimas), taikymo sritį (kokiam projektui etape taikytas BIM), tiriamieji rodikliai, kuriais buvo matuojamas BIM taikymo efektyvumas, rodiklių pasiektas lygis, užfiksuotas taikymo efektas (kokią įtaką BIM taikymas turėjo projektui), apribojimai ir sunkumai (projekto vykdymo metu) bei šaltinis. Tiriamieji BIM projektai daugiausia buvo administracinės ir gyvenamosios paskirties. Kaip pavyzdys, Huang et al. (2008) nagrinėjo 70 aukštų administracinį pastatą, Lee et al. (2015) analizavo 5 aukštų su 4 aukštų požeminiu garažu ligoninės pastatą, Irizarry et al. (2013) – naujos slaugos mokyklos pastato projektą, Wang et al. (2016) – Šanchajaus nelaimių kontrolės centrą, Azhar et al. (2011) – „Aquarium Hilton Garden Inn“ – pramogų kompleksą, „Savannah State“ universitetą, „Emory psychology

building“ ir kitus. Gyvenamosios paskirties pastatai buvo nagrinėti autorių Zhang et al. (2015) – kelių aukštų blokinis namas, Lu et al. (2014) analizavo du gyvenamosios paskirties pastatus, Love et al. (2015) – gyvenamųjų namų kvartalą, Abanda et al. (2016) – nedidelį šeimyninį namą, Jalaei et al. (2015) – gyvenamųjų namų kompleksą. Daugiausia projektuose buvo tiriami pinigų srautai – 6-iose projektuose, taip pat 4-iose projektuose buvo tirta medžiagų kaina, statybų darbų kaina, įvairių tyrimų kaina.

Wang et al. (2016) nagrinėdami vieną iš BIM projektų nustatė, jog taikant BIM nuo visos projekto vertės (44 mln. JAV dol.) buvo sutaupyta 201 133 JAV dol., t. y. 0,46 % visos projekto vertės. Azhar et al. (2011) nurodo, jog, vykdant „Aquarium Hilton Garden Inn“ projektą, nuo visos projekto vertės (46 mln. JAV dol.) buvo sutaupyta apytiksliai 600 000 JAV dol., t. y. 1,3 % nuo projekto vertės. Vykdant „Savannah State University“ projektą, nuo visos projekto vertės (12 mln. JAV dol.) buvo sutaupyta apytiksliai 1 995 000 JAV dol., t. y. 16,63 % nuo projekto vertės. Vykdant „The Mansion on Peachtree“ projektą, nuo visos projekto vertės (111 mln. JAV dol.) buvo sutaupyta apytiksliai 15 000 JAV dol., t. y. 0,013 % nuo projekto vertės. Vykdant „Emory psychology building“ projektą, nuo visos projekto vertės (35 mln. JAV dol.) buvo sutaupyta apytiksliai 35 000 JAV dol., t. y. 0,1 % nuo projekto vertės. Iš viso 26-iose projektuose buvo tiriami 16 skirtingų rodiklių. Tyrimo metu buvo nustatyta, jog 96 % atvejų rodiklių pokytis buvo teigiamas, t. y. BIM taikymas padėjo (1.3 pav.) padidinti darbo našumą (remiantis Sacks et al. (2014), sutaupyti pinigų (remiantis Wang et al. (2016), sutrumpinti projekto vykdymo laiką (remiantis Sacks et al. (2014), sumažinti energijos suvartojimo mastą (remiantis Asl et al. (2015), pagerinti darbo kokybę (remiantis Davies et al. (2013), padidinti investicijų grąžą (remiantis Lee et al. (2012), sumažinti statybos metu kylančias rizikas (remiantis Huang et al. (2008)), pagreitinoti informacijos perdavimą (remiantis McArth et al. (2012), sumažinti medžiagų kainas (remiantis Jalaei et al. (2015), sumažinti projekto išlaidas (remiantis Love et al. (2015), padidinti medžiagų kartotinio naudojimo apimtį (remiantis Akbarnezhad et al. (2014), sumažinti projekto rengimo laiką ir tyrimų kainą (remiantis Barazze et al. (2014)), leido tiksliau nustatyti galimus pavojus (remiantis Zhang et al. (2015)) ir kita. Iš 26 nagrinėtų projektų tik viename projekte rodiklis buvo neigiamas. Šį atvejį nagrinėjo Lee et al. (2015). Net 78,8 % informacijos buvo prarasta, keičiantis informacija .ifc duomenų formatu.

B priede pateikta lentelė, kurioje buvo analizuoti BIM poveikio vertinimo rodikliai. Buvo išnagrinėti 20 užsienio ir Lietuvos šaltinių, kuriuose buvo taikomi BIM poveikio vertinimo rodikliai. Lentelėje nurodyta informacija apie taikytą rodiklį, rodiklio matavimo formulę, kintamieji, matuotas poveikis ir šaltinis. „Autodesk“ (2016) pateikė rodiklį, kuriuo galima pamatuoti investicijų į BIM technologijas grąžą diegimo stadijoje. Succar et al. (2014) pateikė BIM brandos vertinimo rodiklį, kuriuo galima įvertinti ir pagerinti organizacijų veiklą taikant BIM.

Manzione et al. (2011) pateikė grupę rodiklių: veiksmų BIM serveryje efektyvumo rodiklį, kuriuo galima pamatuoti informacijos perdavimo greitį per periodą; BIM modelio versijos informacijos paketo išsamumo rodiklį, kuriuo galima kiekybiškai įvertinti informacijos paketų išsamumo lygį BIM modelio versijose; turimų ir nepanaudotų informacijos paketų skaičiaus rodiklis, kuriuo galima pamatuoti vėlavimus tarp informacijos įkėlimo ir atsiuntimo; perduodamos informacijos paketų dydžio rodiklis, kuriuo matuojamas informacijos kiekis, kurį konkretus komandos narys sukaupė nuo paskutinio informacijos įvedimo į BIM modelį; perdarinėjimų skaičiaus rodiklis, kuriuo galima pamatuoti projekto taisyms ir perdarinėjimus. Forbes & Ahmed (2010) pateikė tokius rodiklius: statybos užbaigtumo, kuriuo galima pamatuoti nustatyto užbaigtumo procentą kiekvienai veiklos rūšiai; sąnaudų santykį, kuriuo galima įvertinti sąnaudų patyrimą vertinant statybos valdymo ar administravimo veiklą. Barlish & Sullivan (2012) analizavo grupę rodiklių, tokių kaip projektavimo išlaidos, kuriuo galima pamatuoti procentinę kainos santykį su BIM modelio kūrimu ir be BIM; rangovų išlaidų rodiklį, kuriuo galima nustatyti procentinę kainos santykį tarp rangovo išlaidų ir visų išlaidų nerengiant BIM modelio; projektavimo ir rangos išlaidų rodiklis, kuriuo galima nustatyti procentinę kainos santykį tarp suminių projektavimo ir rangos išlaidų ir visų išlaidų; grafiko terminų įvykdymo rodiklis, kuriuo galima nustatyti tikros trukmės ir prognozuojamos trukmės santykį. Qian (2012) nagrinėjo pinigų srautų rodiklį, kuriuo galima nustatyti metinį finansinį BIM diegimo poveikį ir susijusį atsipirkimo laikotarpį. Son & Ock (2016) pasiūlė rodiklį, kuriuo galima pamatuoti investicijų grąžą projektavimo etape. Reizgevičius (2018) pasiūlė rodiklį, kuriuo galima pamatuoti taip pat investicijų grąžą projektavimo etape. „Pricewaterhouse Coopers“ (2018) pasiūlė sutaupymų vertės rodiklį, kuriuo matuojami įvairių tipų sutaupymai dėl BIM taikymo. Shin et al. (2018) pasiūlė rodiklį, kuriuo galima apskaičiuoti naudas pritaikius BIM rengiant projektus, Khan (2019) pasiūlė naudos ir sąnaudų analizės rodiklį, kuriuo galima pamatuoti faktinio ir planuoto projekto laiko skirtumą atskirose projekto stadijose. „EUBIM Task Group“ (2021) pateikia naudos ir sąnaudų analizės rodiklį, kuriuo galima pamatuoti įvairių tipų sutaupymus ir sąnaudas.

Pastaruosiu metu literatūroje analizuojami BIM taikymo ypatumai infrastruktūros projektuose. Pastatų statybos ir infrastruktūros sektoriai yra strategiškai svarbūs ekonomikai produkcijos, darbo vietų kūrimo ir pastatytos aplinkos pristatymo bei priežiūros srityse. Europos statybos sektoriaus produkcija yra 1,3 trilijonai EUR, ji sudaro maždaug 9 % Europos BVP ir jame dirba daugiau nei 18 mln. žmonių. Tačiau tai yra vienas iš mažiausiai skaitmenizuotų sektorių, kurio produktyvumo rodikliai mažėja (EUBIM Task Group, 2016).

Infrastruktūros projektai yra sudėtingi, politiškai jautrūs ir ekonomiškai neapibrėžti, jiems būdingos viešajam sektoriui aktualios ir aplinkosaugos problemos (Casady et al., 2020). Todėl reikia racionalių būdų iššūkiams įveikti ir efektyviai

infrastruktūrai sukurti. Tyrėjai kaip sprendimą siūlo skaitmeninimo, interneto ir duomenų analizės koncepcijas, taip pat IRT pagrįstus išmaniuosius sprendimus (Habibzadeh et al., 2019).

Naujausi tyrimai rodo, kad BIM gali pakeisti AEC (architektūros, inžinerijos ir statybos) pramonės šakų darbą (Dasović et al., 2019). Nors statybų įmonėse diegiami BIM pagrįsti darbo metodai ir technologijos, BIM taikymo efektyvumas projektuose dar nėra patikimai įvertintas (Ghaffarianhoseini et al., 2017). Tačiau literatūroje jau yra nemažai įrodymų, patvirtinančių BIM naudą įvairiose statybos tiekimo grandinės srityse (Botton & Forgues, 2018).

BIM siūlo įvairius įrankius, tinkamus projektuoti, dokumentuoti, vizualizuoti ir ataskaitoms teikti, įskaitant programinę įrangą ir informacijos apdorojimo BIM taikymą infrastruktūros projektų procedūrose. Tokia nauda sukuria pridėtinę vertę visiems tiekimo grandinės dalyviams (Bradley et al., 2016). BIM tampa bendra pastatų statybos ir infrastruktūros sektorių kalba visame pasaulyje ir suteikia galimybes efektyvesniam bendradarbiavimui. Buckley ir Logan (2017) atlikta apklausa atskleidė, kad nuo 2015 m. BIM metodikos taikymo mastas infrastruktūros projektuose padidėjo. Infrastruktūros projektuose buvo pranešta apie šiuos BIM metodikos pranašumus: trumpesnis dokumentų rengimo procesų paruošimas užtikrina pakartojamumą, mažiau klaidų ir yra galimybė tiksliai įvertinti projekto kainą ir trukmę. ES BIM darbo grupė, susidedanti iš viešojo sektoriaus klientų, infrastruktūros savininkų ir politikos formuotojų iš daugiau nei 20 Europos šalių (EUBIM Task Group, 2016), prognozuoja, kad BIM taps pasauliniu viešosios infrastruktūros projektų įgyvendinimo standartu.

Infrastruktūra dažnai reikalauja didelių investicijų, todėl tikimasi, kad racionalus jos naudojimas atneš didžiulę naudą visuomenei (Damidavičius et al., 2019). Infrastruktūros tobulinimo ir (skaitmeninių) įgūdžių ugdymo vizija yra vienas iš JK nacionalinių prioritetų (Verslo, energetikos ir pramonės strategijos departamentas, 2017). Lu (2016) ataskaita rodo, kad inžinierių ir rangovų, dirbančių su BIM, procentas JK 2015–2019 m. išaugo trigubai – atitinkamai nuo 21 % iki 69 %.

Buckley ir Logan (2017) nurodo, kad BIM naudojimas ankstyvose infrastruktūros projektavimo stadijose: 1) paveiktų produktyvumo padidėjimą; 2) sudaryti sąlygas visapusiškai sąnaudų ir naudos analizei atliekant infrastruktūros projektų analizę, o tai leidžia gerokai sutaupyti veiklos sąnaudų; 3) koordinuoja gatvių ir greitkelių apšvietimo planavimą atsižvelgiant į kitus energetikos ir aplinkosaugos aspektus; 4) leisti išmatuoti pagrindinius rodiklius, įskaitant ilgalaikius poveikio veiksnius, kuriuos būtų galima perteikti per visus projekto etapus; 5) sudaryti sąlygas tvarumo tikslus integruoti į projekto rengimo dokumentus. Ekspertų teigimu, infrastruktūros projektai teikia geresnės kokybės duomenis nei pastatų projektai (Krystallis et al., 2019).

Biancardo et al. (2020) pabrėžė, kad svarbu atskirti BIM naudojimą statybų projektuose kaip „vertikalų BIM“ ir infrastruktūros projektuose naudojamą kaip „horizontalų BIM“. Kadangi organizacijos gali dalyvauti tiek statybų projektuose, tiek infrastruktūros projektuose, abiem atvejais būtina suprasti subtilius BIM taikymo skirtumus. Horizontali (transportavimo) ir vertikali (pastatų) konstrukcija turi skirtingas operacijas, komponentus ir metodus, pradedant planavimu ir baigiant statybomis, baigiant eksploatacija ir priežiūra. Horizontali konstrukcija papildomai perduoda GIS duomenis dėl statybos objektų, tokių kaip geležinkelis, keliai, tuneliai ir kt., ilgio.

Ivairūs BIM metodikos taikymo pranašumai buvo dokumentuoti pastatų statybos ir infrastruktūros projektuose. Rahmani et al. (2015) aprašė, kaip energijos vartojimo modeliavimas vyko projekto projektavimo etape; buvo apsvastyta daugybė variantų ir nors optimizavimo procesas buvo atidėtas, kūrėjams pavyko rasti efektyviausią energiją taupantį variantą. Energijos taupymo naudojant BIM galimybes taip pat mini (Abanda & Byers, 2016). Poirier et al. (2015) tarp BIM naudojimo pranašumų paminėjo 75 % didesnę projektavimo darbo našumą. Galimybes padidinti pelną paminėjo (Lu et al., 2016). Projekto išlaidų sumažėjimą dėl BIM metodikos paminėjo Love et al. (2015) ir Wan et al. (2016). Kanadoje vykdytame projekte užfiksuota, kad BIM taikymas leido greitai perduoti informaciją projektuojant (McArthur, 2015). Kituose gyvenamųjų namų komplekso projektuose Kanadoje BIM pavyko pateikti pigesnių medžiagų (Jalaei & Jade, 2015).

Tačiau kartu su BIM naudojimo pranašumais tyrimuose minimos įvairios BIM taikymo problemos. Singapūro projektui pavyko užtikrinti pakartotinį medžiagų naudojimą, tačiau BIM įgyvendinimas projekte pareikalavo papildomų išlaidų (Akbarnezhad et al., 2014). Suomijoje daugiaaukščio pastato projektavimo ir statybos procesu pavyko sumažinti riziką dėl BIM naudojimo (Zhang et al., 2015). BIM įrankiais taip pat pavyko užtikrinti energijos taupymą projektavimo ir statybos etapuose, tačiau didžiausių sunkumų kėlė keitimasis duomenimis. Duomenų mainų sunkumus taip pat paminėjo Oh et al. (2015) ir Poirier et al. (2015).

Mahamadu et al. (2019) tyrė BIM įgalintojų įtaką projekto sėkmei, išanalizavę 64 projektus, įskaitant 56 pastatų statybos ir kitus civilinės infrastruktūros projektus, jų projektavimo ir statybos etapuose. Tyrimai atskleidė, kad BIM taikymas užtikrina informacijos tikslumą, geresnę projektavimo ir statybos procesų integraciją, efektyvią konfliktų analizę ir galimybę analizuoti projektavimo alternatyvas ir priimti racionalius sprendimus.

Yang ir Chou (2019) išanalizavo BIM taikymo patirtį projektuojant, statant ir eksploatuojant 13 skirtingų projektų, įskaitant dešimt infrastruktūros projektų, susijusių su keliais, tiltais, nuotekų valymo įrenginiais, suskystintųjų gamtinių dujų projektu, elektros skirstymo linijų transformavimu, stotimis, prieplaukomis ir trijų pastatų (muziejaus, ligoninės, sporto centro) projektais. Tiriamieji rodikliai

buvo projektavimo sprendimų aiškumas, konfliktų skaičius, darbo kokybė, kontrolės / išlaidų nuspėjamumas, pakeitimų prašymai, derybų ciklai. Tyrimo metu nustatyta, kad BIM pagerino kokybę 38,5 %, sumažino konfliktus – 38,5 %, aiškesnį dizainą – 61,5 %, modifikacijas sumažino 23,1 % ir tiksliau įvertino sąnaudas 30,8 %. Tyrimo autoriai daro išvadą, kad nors yra nemažai BIM naudos tyrimų, reikia tikslesnių kiekybinių metodų BIM naudai matuoti kaip alternatyvai tradiciniams šiuo metu naudojamiems metodams.

Nuo 2012 m. labai išaugo publikacijų apie BIM taikymą infrastruktūros projektuose skaičius (Vilutienė et al., 2020). Didėjimas vyksta nuo 2012 m., jis gali būti susijęs su JK vyriausybės 2011 m. statybos strategija, pagal kurią reikalaujama privalomai taikyti BIM visiems viešojo sektoriaus projektams antruoju BIM brandos lygmeniu iki 2016 m. Didėjantis susidomėjimas ir prievolių taikyti BIM infrastruktūros projektuose įvairiose šalyse atsiradimas skatina šios srities tyrimų plėtojimą.

Per pastarąjį dešimtmetį paskelbta BIM tyrimų infrastruktūros projektuose analizė atskleidė, kad daugiausia straipsnių paskelbė tyrėjai iš Kinijos, JAV, Vokietijos, Jungtinės Karalystės, Australijos, Kanados, Nyderlandų, Airijos, Pietų Korėjos ir Taivano (Vilutienė et al., 2020).

Apžvelgta literatūra rodo, kad šiandien BIM yra daug geriau dokumentuojamas, suprantamas ir naudojamas pastatų statybos sektoriuose, palyginti su infrastruktūra. BIM taikymas infrastruktūros projektuose jau kelerius metus atsilieka nuo pastatų statybos projektų, tačiau infrastruktūros projektai taip pat puikiai tinka diegti BIM. Tačiau BIM šalininkai infrastruktūros sektoriuje mano, kad „atskiri“ BIM infrastruktūros projektai jau kurį laiką vykdomi, jų rezultatų nepublikuojant mokslo žurnaluose. Tai leidžia daryti išvadą, kad projektų vykdytojai turėtų būti skatinami tyrimų rezultatus aktyviau skelbti mokslinėje literatūroje, kad prisidėtų prie BIM patirties sklaidos, BIM technologijų, integruotų į infrastruktūros projektus, matomumo.

Toliau glaustai apibūdinamos dažniausiai literatūros šaltiniuose minimos BIM taikymo naudos.

1.2.2.1. BIM taikymo naudos planavimo etape

BIM metodologiją pastatų savininkai ir objektų valdytojai gali naudoti sprenddami informacijos saugumo klausimus ir užtikrindami, kad tiksli ir patikima informacija apie jų turtą ir projektus būtų naudojama planavimo, projektavimo, statybos ir priežiūros etapuose (Zadeh et al., 2017). Naujausi tyrimai pabrėžė ekonominę naudą kaip vieną pagrindinių BIM metodologijos naudojimo pranašumų, nes tai užtikrina efektyvų išlaidų valdymą ir reikšmingą išlaidų taupymą (Ghaffarianho-seini et al., 2017). BIM metodika pagerina informacijos perdavimo tarp dalyvių kokybę, kad būtų užtikrintas greitas ir patikimas sprendimų priėmimas, tačiau

(Barlish & Sullivan, 2012) nustatė, kokia BIM pagrįsto projekto įgyvendinimo sėkmė priklauso nuo projekto dydžio, komandos įgūdžių, komandos komunikacijos ir kitų veiksnių. Park et al. (2016) pasiūlė BIM pagrįstą idėjų banką, kuris sistemingai kauptų ankstesnių projektų duomenis su galimybe juos pakartotinai panaudoti ir efektyviai kurti naujas idėjas.

1.2.2.2. BIM taikymo naudos projektavimo etape

Taikant BIM metodologiją suteikiama galimybė pagerinti bendradarbiavimą, nuolat tobulinti projektavimą, sumažinti projektavimo klaidų skaičių, pagerinti tikslumą, greičiau aptikti nesuderintus konstrukcinius sprendinius, sumažinti informacijos užklausas, perdarinėjimų skaičių ir neefektyvius sprendinių pakeitimus statybos metu, atlikti projekto sprendinių optimizavimą ir tvarumo analizę. Jang ir Lee (2018) pasiūlė naudoti BIM kaip pagrindinę priemonę projektavimo, gamybos ir surinkimo (DFMA) procesams susieti, sukuriant pastato projektavimo koncepciją, patobulintą gamybą sklandžiam statybų procesui. Arayici et al. (2011) daro išvadą, kad tokiam produktyvumui paremtam projektavimui reikalinga metodika, leidžianti integruotai valdyti kelis projekto dalyvius, kurie keistųsi informacija visuose projekto etapuose. Dėl to kyla poreikis integruoti kelių tipų domenų modeliavimą ir analizę. Modeliuojant daugialypę (nD – daugiadimensę) aplinką, BIM taikymas gali pagerinti pastato eksploatacines savybes naudojimo etape, o užsakovas gali turėti naudos iš alternatyvių projektavimo sprendimų modeliavimo, aplinkos modeliavimo ir tvarumo analizės (Rahmani et al., 2015).

BIM buvo naudojamas įvertinti projektavimo alternatyvas ir užtikrinti energijos vartojimo efektyvumą bei mažesnę anglies pėdsaką (Gerrish et al., 2017). Zhao et al. (2015) ištyrė keitimąsi duomenimis apie pastato informacijos modelį (BIM) ir pastato energijos modelį (BEM), išmatavo architektūrinių ir techninių projekto parametrų poveikį dinaminiam pastato energijos, saulės energijos vartojimo modeliavimui ankstyvajame projektavimo etape (Castro & Alvarado, 2017). Kuriami modeliai skirti įvertinti BIM efektyvumą turto pertvarkymo sprendimams (Pavlovskis et al., 2016), pastatų atnaujinimui (Scherer & Katranuschkov, 2018) arba paveldo architektūros projektų sprendiniams modeliuoti, pavyzdžiui, paveldo pastatų informacijos modeliavimui (HBIM) (Jordan-Palomar et al., 2018). Nors BIM dažnai laikomas sprendimu daugeliui klausimų, vykdant realius BIM projektus dažnai vėluojama ir padidėja išlaidos. Tai gali lemti nepakankamas dėmesys projekto dalyvių bendradarbiavimo ir keitimosi informacija problemoms įgyvendinant BIM projektą (Al Hattab & Hamzeh, 2013).

1.2.2.3. BIM taikymo naudos statybos etape

Dėl statybos projektų specifinių charakteristikų, daugybės dalyvių ir suinteresuotų grupių, daugialypės projekto aplinkos statybai būdingas neapibrėžtumas ir rizikos. Patikima informacija, pateikiama laiku, tampa lemiamu veiksniu įgyvendinant statybos projektą, nes planuojant, projektuojant ir ypač statant kai kurie sprendimai ir veiksmai daro tiesioginę įtaką projekto rezultatams ir galiausiai sukurtu statinio valdymui. Šias problemas galima išspręsti kreipiantis į įmones, kurios profesionaliai taiko BIM ir gali padėti generaliniams rangovams užtikrinti efektyvų projektų valdymą taikant BIM metodiką (Migilinskas et al., 2013)

BIM laikomas vienu geriausių sprendimų, kaip sumažinti riziką ir iššūkius, palyginti su tradicine darbo praktika ir geriausia praktika statybų pramonėje (Abanda et al., 2017). BIM gali padėti nustatyti ir palengvinti statybų riziką (Zou et al., 2017), pagerinti darbų saugą (Ding et al., 2016), patobulinti gamybos ir statybos procesus, leisti tiksliau nustatyti kiekius ir apibrėžti reikalavimus medžiagoms. Pastato elementų modeliavimas algoritmais taip pat gali padėti paruošti galimų sprendimų alternatyvas (Caetano & Leitão, 2019), detalųjį projektą, užtikrinti kokybę atliekant statybos darbus. Baigus statybos darbus, BIM grįžtas modelis turi būti atnaujintas ir pakeistas į jau pastatyto statinio BIM modelį ir dokumentus, užtikrinantį patikimą informacijos perdavimą į statinio naudojimo stadiją (Fountain & Langar, 2018).

Tokių įrankių, kaip 3D modeliai, 4D tvarkaraščiai ir 5D išlaidų valdymas, naudojimas gali smarkiai supaprastinti projekto dalyvių darbą statybų, eksploataavimo ir statinio naudojimo metu. Be to, dėl to sumažėja rizika, sumažėja klaidų, mažiau taisymų, perdarinėjimų, sutaupomos lėšos ir mažesnis statybinių atliekų kiekis (Akanbi et al., 2018).

1.2.2.4. BIM taikymo naudos eksploataavimo etape

BIM yra ne tik didelis statybos pramonės potencialas; dauguma tyrėjų nustato daug iššūkių įvairiuose BIM projektuose (Succar et al., 2012). Pasak Zadeh et al. (2019), aukštos kokybės BIM taikymo lygis gali sukurti didelį potencialą turto valdymo specialistams. Tačiau vertinti BIM naudingumą pastato naudotojams yra nemenkas iššūkis ir reikia papildomų tyrimų.

Akanbi et al. (2018) pateikia sprendimą, kaip padėti architektams ir projektuotojams, kurie tam tikrą laiką analizuoja projektavimo sprendimų poveikį aplinkai. Siūloma priemonė yra naudinga griovimo darbų planavimui, nes leidžia atlikti statybinių medžiagų auditą. Tucker ir Masuri (2018) teigia, kad BIM gali prisidėti prie tvaraus pastato inžinerinių sistemų valdymo. BIM nauda taip pat galima optimizuojant išlaidas ir valdant riziką statinio kūrimo procese (Zou et al., 2019), saugant ir perduodant informaciją, kad būtų užtikrinta tinkama statinio priežiūra, pagerintas žinių valdymas ir pakartotinis naudojimas kituose projektuose (Ding

et al., 2016). Palomar et al. (2018) analizavo galimybes naudoti BIM paveldo pastatų informacijai modeliuoti (HBIM), efektyviai derinant duomenis iš lazerinio skenavimo debesų, erdvinio 3D modeliavimo ir duomenų bazės. Toks modeliavimas įgalina projekto procesų susiejimą, tikslios informacijos apie turto valdymą gavimą ir skaitmeninių duomenų, reikalingų statinio naudojimo stadijoje, išsaugojimą.

Pastato informacinis modeliavimas (BIM) padeda projekto dalyviams tobulinti procesus ir technologijas planavimo, projektavimo, statybos ir griovimo etapuose, tokiu būdu efektyviai valdant ir sumažinant atliekų kiekius (Won & Cheng, 2017).

Technologijos, susijusios su BIM, gali būti naudojamos naudojamos šiems dalykams: valdyti ir optimizuoti statybos ir griovimo atliekas pasibaigus demontuojamų pastatų projektams (Akbarnezhad et al., 2014); veikti kaip projekto optimizavimo priemonė, siekiant sumažinti statybos metu susidarančių atliekų kiekį; padėti optimizuoti pastato elementų dydį (Banihashemi et al., 2018). Be to, BIM gali būti naudojamas įvertinant susidarančių atliekų kiekį, rengiant statybos ir griovimo atliekų valdymo planus, parenkant efektyviausias atliekų šalinimo vietas (Hannan et al., 2015), sisteminant informaciją apie statinio projektavimą ir statybą (Eadie et al., 2013), netgi aplinkos matmenims įvertinti išardant ir pakartotinai naudojant pastato komponentus pasibaigus jų eksploatavimo laikui (Akinade et al., 2015). BIM modeliai naudojami organizuojant įrangos, medžiagų ir darbo jėgos atvežimą laiku, integruojant informaciją apie materialinius išteklius ir geometriją su sąnaudų ir grafiko duomenimis (Akinade et al., 2015). Be to, BIM sumažina perteklinių procesų skaičių visuose projekto etapuose (Won & Cheng, 2017). Įrodymai rodo, kad BIM integravimas tik projektavimo etape gali sumažinti statybos ir griovimo atliekų kiekį iki 2 % (Banihashemi et al., 2018). Remiantis kai kuriais šaltiniais, statybos ir griovimo atliekų prevencija gali siekti 4,3–15,2 % (Won et al., 2016).

Iš to, kas išdėstyta, galima daryti išvadą, kad didžiąją dalį BIM privalumų teikia projektavimo etapas. Energijos modeliavimas projektavimo etape yra populiariausias BIM taikymas projektuose. Dažniausiai nurodomi BIM pranašumai yra produktyvumo pagerinimas, sutaupoma laiko projektuojant, o dažniausiai pasitaikančios problemos yra keitimasis duomenimis. Organizacijos, pradedančios taikyti BIM ir norinčios įvertinti BIM teikiamą naudą, pateisindamos savo planuojamas investicijas šioje srityje, palygina įgyvendintų ir vykdomų BIM projektų rezultatus. Kompanijos, turinčios BIM patirties, nagrinėja vykdomus ir baigtus BIM projektus, kad įvertintų BIM naudą, tačiau turi šiek tiek kitokį tikslą, kurdamos sudėtingesnę BIM požiūrį į naujus projektus, pavyzdžiui, nustatydamos geriausią pastato konfigūraciją ankstyvosiose projekto stadijose. Arba koncepcijos etape atliekama alternatyvių sprendinių analizė ir energijos modeliavimas, siekiant nustatyti mažiausiai taršius ir efektyviai energiją vartojančius sprendimus.

Taip pat nustatyta, kad BIM metodikos taikymas pastatų statybos projektuose yra plačiau aprašytas, o iki šiol mažiau publikacijų aprašė BIM metodikos taikymą infrastruktūros projektuose.

Atlikus literatūros analizę matyti, kad BIM taikymo naudos minimos įvairiuose šaltiniuose, susistemintos pagal projekto etapus ir pateiktos disertacinio darbo D priede. Detalus D priedo lentelės paaiškinimas pateiktas 2 skyriuje.

1.3. Statinio nugriovimas. Problemos, sprendžiamos griaunant statinį ir utilizuojant arba perdirbant atliekas

Dėl gyventojų migracijos iš kaimų į miestus vyksta sparti teritorijų urbanizacija. Spartus miestų augimas sukuria naujų iššūkių, tarp jų svarbios problemos susijusios su atliekų tvarkymu dėl didelių statybos ir griovimo apimčių. Šias problemas bandoma spręsti ieškant tvarių projektavimo ir atliekų tvarkymo sprendinių. Tačiau įvairios kliūtys trukdo įmonėms įgyvendinti tvarią praktiką statybos ir griovimo darbuose (Negash et al., 2021).

Dėl statybos ir griovimo atliekų lyginamos įprastos ir pramoninės (surenkamosios) pastatų sistemos atliekų susidarymo ir perdirbimo potencialo požiūriu (Begum et al., 2010). Tyrimas atskleidė, kad surenkamoji gamyba leido gerokai sumažinti susidarančių atliekų kiekį, o pakartotinai panaudotų ir perdirbimų atliekų kiekis buvo santykinai didesnis nei įprastoje statyboje. Surenkamųjų elementų atliekų mažinimo potencialą taip pat ištyrė Jaillon et al. (2009), atlikęs patyrusių specialistų apklausą ir keletą Honkongo gyvenamųjų pastatų atvejų tyrimų. Li et al. (2014) sukūrė surenkamojo gamybos būdo naudos statybose skaičiavimo modelį, integravo visas atliekų tvarkymo veiklas ir patvirtino jį atlikdami atvejo tyrimą Šendžene, Kinijoje. Be to, šis tyrimas įrodė, kad subsidijų suteikimas, skatinantis pirminio apdorojimo taikymą, buvo veiksmingesnė strategija nei atliekų susidarymo mokesčių didinimas. Lu et al. (2021) atliko kiekybinę analizę, siekdami įvertinti surenkamosios gamybos poveikį statybos ir griovimo atliekų mažinimui, remdamasi didžiaisiais duomenimis, gautais iš aukštybinių pastatų projektų Honkonge, daugiausia gyvenamųjų namų, 85 iš jų taikyta surenkamoji gamyba ir 29 – įprastinė statyba. Jų tyrimas atskleidė, kad surenkamoji gamyba gali sumažinti atliekų susidarymą 15,38 %, palyginti su įprastine statyba. Mah et al. (2018) apskaičiavo, kad, perejus prie surenkamųjų pramoninių pastatų sistemų, statybos ir griovimo atliekų šalinimo sąvartynuose sumažėtų 98,1 %, o toliau taikant įprastą šalinimo sąvartynuose modelį nuo dabar iki 2025 m. šis poveikis padidėtų 20,2 %.

Marrero et al. (2017) tyrimas parodė, kad statybos ir griovimo darbai daugiausia susiję su žemės darbais ir medžių kirtimu statybų metu. Marrero et al. (2017) pasiūlė naują scenarijų, kai gruntas 100 % naudojamas pakartotinai, o

inertinės atliekos susmulkinamos ir naudojamos kaip betono užpildas, o tai visais analizuojamais atvejais sumažina ekologinį pėdsaką daugiau nei 20 %.

Iodice et al. (2021) atliko tyrimą, kuriame buvo įvertintas statybos ir griovimo darbų valdymo tvarumas Kampanijos regione, Italijoje, apimantis aplinkosaugos, socialinius ir ekonominius aspektus. Buvo ištirti trys scenarijai: scenarijus, atspindintis linijinę ekonomiką (palyginimui) ir scenarijus, atspindintis geriausios praktikos įgyvendinimą, apimantį selektyvų griovimą ir didesnę medžiagų perdirbimą. Iodice et al. (2021) išvados parodė, kad selektyvaus griovimo įgyvendinimas ir perdirbimo didinimas sukuria naudą aplinkai ir socialinei sričiai, tačiau kartu didina įprastines išlaidas. Didžiausią poveikį išlaidoms sudarė selektyvus griovimas, kuris buvo gerokai brangesnis nei įprastas (apie 6,2 €/t, palyginti su 1,2 €/t). Tačiau Iodice et al. (2021) apskaičiavo, kad CO₂-ekv. sutaupymas už toną gali padidėti iki 88 %, taikant selektyvų griovimą ir didesnę perdirbimą, palyginti su linijinės ekonomikos scenarijumi.

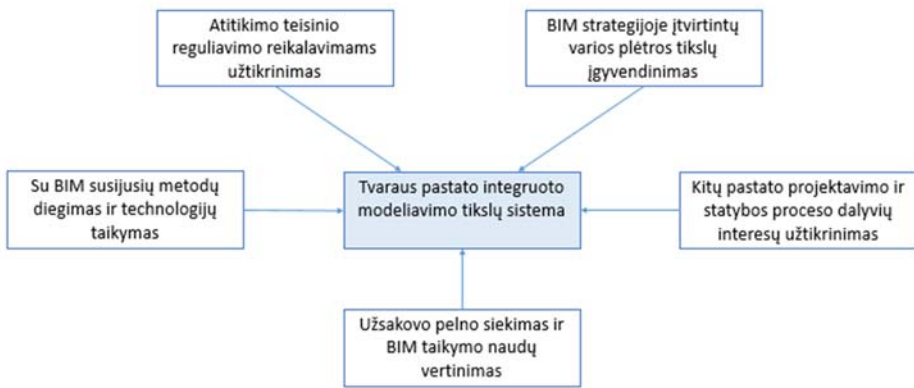
1.4. Statybos projekto uždavinių sprendimas integruotai taikant BIM metodologiją ir daugiakriterės analizės metodus

Užsakovai statinio projekto etapuose turi spręsti daugiatikslius uždavinius, derindami juos su tvarios plėtros siekiais. Statybos projekto metu užsakovas derina įvairius interesų grupių tikslus, kurie apima:

- atitikties teisinio reguliavimo reikalavimams užtikrinimą;
- teisės aktuose įtvirtintų tvarios plėtros tikslų įgyvendinimą;
- kitų pastato projektavimo ir statybos proceso dalyvių interesų užtikrinimą;
- užsakovo interesų užtikrinimą (pvz., pelno siekimą).

Pastaruoju metu buvo sukurta daugybė daugiakriterių vertinimo metodų, skirtų įvairioms statybos inžinerijos problemoms spręsti (Zavadskas et al., 2014). Jie skirstomi į dvi klases, priklausomai nuo to, kaip jie sujungia duomenis: diskretūs MCDM arba MADM ir nuolatiniai MODM (daugiafunkciai sprendimų priėmimo) optimizavimo metodai (Zavadskas et al., 2016). Visi metodai reikalauja apibrėžti variantus ir rodiklius, o dauguma jų reikalauja mato (pvz., „Svorių“), kad būtų galima įvertinti santykinį rodiklių reikšmingumą. Tačiau vienos funkcijos taikymas sprendimų priėmimo procese nėra pakankama sąlyga.

Viešojo sektoriaus užsakovai papildomai turi atsižvelgti į su BIM prievoles susijusių reikalavimų įgyvendinimą, pavyzdžiui, BIM metodų diegimą ir technologijų taikymą (1.2 pav.).



1.2 pav. Užsakovo tikslų sistema (sukurta autoriaus)

Fig. 1.2. Customer-goal system for the public sector (elaborated by the author)

Pastaruoju metu buvo sukurta daugybę daugiakriterių vertinimo metodų, skirtų įvairioms statybos inžinerijos problemoms spręsti (Zavadskas et al., 2014). Jie skirstomi į dvi klases, priklausomai nuo to, kaip jie sujungia duomenis: diskretūs MCDM arba MADM ir nuolatiniai MODM (daugiafunkciai sprendimų priėmimo) optimizavimo metodai (Zavadskas et al., 2016). Visi metodai reikalauja apibrėžti variantus ir rodiklius, o dauguma jų reikalauja mato (pvz., „Svorių“), kad būtų galima įvertinti santykinį rodiklių reikšmingumą. Tačiau vienos funkcijos taikymas sprendimų priėmimo procese nėra pakankama sąlyga. Nėra vieno metodo, kuris galėtų būti tinkamas visoms problemoms išspręsti. Skirtingi MCDM metodai kartais duoda skirtingus rezultatus (Zavadskas, Cavallaro et al., 2017). Skaiciavimo rezultatų patikimumui didinti vienu metu galima tikyti ne vieną MCDM metodą. Sudėtingiems uždaviniams spręsti, kai susiduriama su dideliais informacijos kiekiais, tikslesnių rezultatų galima gauti hibridiniu MCDM metodu (Zavadskas et al., 2016). Tai metodas, kai problemai spręsti taikomi metodų rinkiniai. Tyrėjai ir praktikai pastaruoju metu vis labiau palaiko hibridinių metodų taikymą, nes, integravus skirtingas naudingumo funkcijas į vieną sprendimų priėmimo modelį, galima padidinti sprendimų priėmimo proceso patikimumą ir skaidrumą realiose situacijose (Tzeng et al., 2017). Integruotuose metoduose dažniausiai naudojami dviejų ar daugiau MCDM metodų arba MCDM metodų ir kitų sprendimų palaikymo metodų deriniai (Yazdani et al., 2016).

Statybos projektų sėkmė labai priklauso nuo sprendimų priėmimo (Jato-Espino et al., 2014). Sprendimai priimami pagrįsti informacija, o nekokybiška informacija neišvengiamai lemia prastą sprendimų priėmimą (Elonen & Artto, 2003). Tobulėjant pastatų technologijoms, projektų ir informacijos, kuriai reika-

linga integracija, sudėtingumas taip pat padidėjo. Procesų susiskaidymas ir tradicinė praktika trukdė suinteresuotosioms šalims integruoti žinias ir informaciją, todėl kenkia projektavimo sprendimams (Nawi et al., 2014). Tikimasi, kad pastato informacinis modeliavimas (BIM), kaip novatoriška skaitmeninė technologija, pakeis tradicinį informacijos valdymo procesą (Elonen & Artto, 2003). Būtent horizontali integracija tarp įvairių suinteresuotųjų šalių ir vertikali informacijos integracija skirtinguose etapuose tampa įmanoma skatinant BIM (Chang & Shih, 2013), o tai suteikia galimybių integruoti fragmentuotą architektūros, inžinerijos ir statybos industriją. Į BIM modelius įtraukiami ir geometriniai, ir negeometriniai duomenys (Singh et al., 2011). BIM integruoja duomenis iš skirtingų disciplinų ir gali greitai ir tiksliai išgauti informaciją iš komponentų bei padėti įvertinti (Staub-French et al., 2003). Tačiau lieka klausimas, kaip integruoti ir panaudoti informaciją apie pastatą, kad būtų lengviau priimti sprendimus.

Wen et al. (2021) atliko literatūros analizę ir nustatė, kad labiausiai rūpima sprendimo problema yra rizikos vertinimas, plačiausiai naudojamas vertinimo rodiklis yra kaina, populiariausias individualus neraiškiųjų aibių MCDM modelis yra neraiškiųjų aibių AHP, o populiariausias hibridinis neraiškiųjų aibių MCDM modelis yra neraiškiųjų aibių AHP ir neraiškiųjų aibių TOPSIS derinys.

Zavadskas et al. (2021) siekė įvertinti pastato galutinio naudojimo efektyvumą naudodami neraiškiųjų aibių MCDA modelį. Zavadskas et al. (2021) suskirstė rodiklius pagal keturias pagrindines grupes: strateginiai (politiniai), ekonominiai, socialiniai ir aplinkosauginiai.

Semenas et al. (2021) pasiūlė metodą, kurs gali padėti aprėpti daugiau tyrimų erdvės aplink nustatytas prioritетines vietas, išlaikant palyginti trumpą judėjimo trajektoriją. Gauti rezultatai parodė, kad siūlomas WASPAS-mGqNS plėtinys gali būti pritaikytas sprendžiant sudėtingas sprendimų priėmimo problemas, tokias kaip pasikartojančios optimalios sienų parinkimo problemos atliekant autonominės aplinkos tyrimų užduotis.

Per pastarąjį dešimtmetį sprendimų priėmimas taikant daugiatislius metodus (MCDM) demonstruoja galimybes integruoti techninę informaciją ir daugelio suinteresuotųjų šalių tikslus į priimant sprendimus. Šie metodai leidžia lyginti ir reitinguoti sprendimų priėmimo schemas, integruojant dažnai prieštaraujančius rodiklius (Ishizaka & Siraj, 2018). MCDM sudaro trys pagrindiniai žingsniai: 1) apibrėžiamos atitinkamos alternatyvos ir atributai; 2) susiejamos skaitinės priemonės su santykinę skirtingų požymių svarba ir alternatyvų poveikiu šioms požymiams; 3) taikomi matai, kad būtų galima rūšiuoti ir reitinguoti skirtingas alternatyvas. Statybos pramonėje yra daug problemų, kurios gali būti sprendžiamos taikant daugiatislius metodus (Tan et al., 2021). MCDM taikymo poveikis gali būti geriau atskleistas taikant šiuos metodus kartu su BIM (Chen & Pan, 2016). BIM diegimą taip pat gali skatinti MCDM taikymas, kuris padeda įveikti BIM apribojimus, susijusius su kelių tikslų optimizavimu (Elaheh et al., 2019).

Daugiatikslėms problemoms spręsti buvo pasiūlyti įvairūs metodai. CoCoSo metodas yra vienas iš naujų kelių rodiklių sprendimų priėmimo metodų. Šio metodo pranašumas prieš kitus metodus, tokius kaip TOPSIS, VIKOR, ELECTRE ir kt., yra tas, kad šis metodas siūlo kombinuotą kompromisinį alternatyvų reitingavimo sprendimą. Šis metodas naudoja tris alternatyvų reitingavimo strategijas. Pirmoji strategija yra kiekvienos alternatyvos balų aritmetinis vidurkis. Antroji strategija nustato kiekvienos parinktės balus, palyginti su geriausiais. Trečioji strategija yra kompromisas tarp pirmosios ir antrosios strategijų. Galutinis kiekvienos alternatyvos rangas gaunamas naudojant trijų strategijų aritmetinį ir geometrinį vidurkį. Todėl CoCoSo metodas turi didžiausią lankstumą reitinguojant alternatyvas, palyginti su kitais iki šiol pateiktais metodais (Banihashemi et al., 2021).

Lescauskiene et al. (2020) pristatė naują rodiklių svorių metodą VASMA. VASMA svoriai integruoja WASPAS-SVNS subjektyviems svoriams nustatyti ir Shannon entropiją objektyviems svoriams apskaičiuoti. Zhang et al. (2020) pasiūlė naują daugiaekspertį MCDM metodą, skirtą nekilnojamojo turto vystytojams, siekiant išsirinkti tinkamiausią statybos elementų tiekėją. Kaklauskas, Zavadskas, Binkyte-Veliene et al. (2020) darnios statybos pramonei vertinti atlikti taikė du analizės metodus COPRAS ir projektų naudingumo bei investicijų vertės vertinimo INVAR metodą.

Daugėjant žmonių ir dėl to statant daug pastatų, būtina siekti tvarumo naudojant ekologiškas statybines medžiagas, kurios yra draugiškos aplinkai. Norint tai padaryti, statybinių medžiagų ekologiškumo reitingas gali padėti sprendimus priimančioms asmenims pasirinkti tinkamas tvarias pastatų medžiagas rengiant projektus (Balali et al., 2020).

Atsinaujinančios energijos technologijų vertinimas namų ūkiuose, taikant MCDM metodus, atliekamas įvairiais tikslais. Pagal straipsnių tikslus juos būtų galima suskirstyti į tris pagrindines grupes: technologijų palyginimo straipsniai, hibridinių energetikos sistemų vertinimo straipsniai ir straipsniai, sprendžiantys energijos valdymo problemas. Prie efektyvių ir paprastai taikomų metodų Siksnelyte-Butkiene et al. (2020) priskyrė EDAS metodą, kuris apima gana paprastus skaičiavimus ir labai naudingas neraiškios informacijos atvejais, WASPAS metodą, kuris yra vienas iš naujausių MCDM metodų ir vis dažniau taikomas dėl didelio tikslumo ir trumpų skaičiavimo etapų, ir PROMETHEE metodą dėl jo matematinių savybių.

Pramonės plėtra yra integruotas, sudėtingas ir judrus procesas. „Pramonė 4.0“ skatina gamybos plėtrą pasitelkiant informacines ir ryšių technologijas. Šioje strategijoje tinklai, sujungti su žmonėmis ir robotais, tokiais kaip daiktų internetas, su bendra ir analizuojama informacija, su dideliais duomenimis ir debesų kompiuterija visoje vertės grandinėje suteiks galimybę efektyviai ir lanksčiai gaminti. „Pramonė 4.0“ padidina laiko ir sąnaudų efektyvumą bei

pagerina gaminio kokybę taikant aktyvias technologijas, metodus ir įrankius. Todėl „Pramonė 4.0“ padeda pramonei pasiekti aukštesnį veiklos efektyvumo ir našumo lygį (Mahdiraji et al., 2020).

Energiją taupančio pastato idėjos įgyvendinimas yra svarbi priemonė siekiant pagerinti gyvenimo komfortą, skatinti aplinkos apsaugą ir mažinti teršalų išmetimą. Tai taip pat svarbi darnaus vystymosi strategijos dalis. Kadangi energiją taupantys pastato sprendiniai, pasiūlyti projektavimo etape, tiesiogiai veikia energijos suvartojimą naudojant pastatą, sprendimų priėmimas projektavimo etape yra gyvybiškai svarbus. Energijos taupymo sprendiniai yra daugaitiksliai, todėl racionalu taikyti MCDM modelius (Huang et al., 2020).

Jungtinių Tautų valstybės narės priėmė „Darbotvarkę 2030“, kurioje yra 17 tvaraus vystymosi tikslų (SDG), apimančių tam tikrą skaičių tikslų ir rodiklių. Nors rodikliai padeda apibrėžti esamos šalies padėtį, palyginti su tikslų pasiekimu, nustatyti jos padėtį kitų šalių atžvilgiu yra labai sudėtinga, nes tam reikia atlikti išsamią analizę (Kaklauskas et al., 2020). Rodiklių svoriai atlieka svarbų vaidmenį įvairiuose MCDM vertinimo modeliuose. Vertinimo rezultatai labai priklauso nuo svorių dydžių, nes jie proporcingai perduoda kiekvieno rodiklio svarbą galutiniam vertinimo rezultatui. Yra dvi metodų kategorijos, leidžiančios nustatyti rodiklių svorį – subjektyvus ir objektyvus. Pirmieji metodai yra pagrįsti ekspertų nuomonėmis, o antroji metodų grupė atspindi duomenų struktūrą. Entropijos metodą galima rasti populiariausioje objektyvių metodų grupėje; tai atspindi rodiklių verčių diversifikacijos laipsnį (Podvezko et al., 2020).

Maghsoodi et al. (2020) atliktame tyrime buvo pasiūlytas hibridinis MADM metodas, sungiantis BWM metodą su *COMbined COMpromiseSolution* (CoCoSo) ir kelių tikslų santykio optimizavimu. Pasiūlyta analizė vadinama IV-T-BWM-CoCoMULTIMOORA metodu. Keshavarz-Ghorabae et al. (2020) pasiūlė naują žaliosios statybos tiekėjų vertinimo metodiką, grįsta neraiškia informacija. Siūlomos metodikos pagrindas yra svertinis agreguotas produkto įvertinimas (WASPAS) ir paprasta kelių atributų vertinimo technika (SMART), o informacijos neapibrėžtumui spręsti naudojami Fermatean neraiškūs rinkiniai (FFS). Sprendimų priėmėjai paprastai vertina alternatyvas kalbiniu požiūriu su skirtinga kiekvieno termino atsiradimo tikimybe (Krishankumar et al., 2020). Sparčiai augant susidomėjimui kelių rodiklių grupių sprendimų priėmimo problemomis, mokslininkai nenuilstamai dirba kurdami naujus metodus, padedančius priimti racionalius sprendimus.

Marzouk ir Abdelakder (2020) pasiūlė hibridinį optimizavimą, taikydami nedominuojamą rūšiavimo genetinį algoritmą II (NSGA-II), tada pasirinko tvariausią statybinę medžiagą iš Pareto optimalių sprendimų rinkinio TOPSIS. Ši hibridinė metodų integracija leido išvengti MCDM pavertimo vienu tikslu, naudojant svorių rinkinį. Marzouk & Abdelakder (2020) teigia, kad ateityje gali pabandyti

integruoti ir išplėsti šių metodų taikymą su BIM, kad būtų išspręstos AEC problemos. Haruna et al. (2021) sukūrė daugiakriterį sprendimo modelį, naudodami analitinio tinklo procesą (ANP), siekiant nustatyti pagrindinius veiksnius, turinčius įtakos tvariam pastatui mažinant energijos ir anglies dvideginio emisijas. Apklausos duomenys buvo analizuojami naudojant aprašomąją statistiką. Sukurtą modelį sudarė trys klasteriai iš viso su šešiais mazgais, o svarbos lygis buvo lyginamas poromis vienas su kitu. Rezultatai parodė, kad projekto optimizavimas, sumažėję medžiagų reikalavimai yra svarbūs tvarios statybos veiksniai, į kuriuos atsižvelgta taikant BIM technologijas (Haruna et al., 2021).

1.5. Pirmojo skyriaus išvados ir disertacijos uždavinių formulavimas

1. Įsigaliojus prievolei viešųjų statinių statybai taikyti informacinį modeliavimą, užsakovai savo sprendimus turi priimti atsižvelgdami į naujus su BIM taikymo prievole susijusius reikalavimus ir derinti su tvarios plėtros uždaviniais. Atliktų naujausių mokslinių tyrimų analizės rezultatai atskleidė, kad šiuo metu nėra metodų, kurie leistų organizacijoms savo veiklose vertinti BIM taikymo efektą įtraukiant tvarumo aspektus. Todėl siūloma sukurti koncepcinį modelį BIM technologijų poveikiui vertinti ir statinio racionaliems sprendimams modeliuoti įtraukiant tvarumo aspektus.
2. Remiantis atlikta literatūros analizę galima daryti išvadą, kad projektavimo etapas svarbus sukuriant prielaidas pastato sprendinių tvarumui ir tvariam pastato naudojimui. Todėl siūloma statinio sprendinių tvarumą vertinti ankstyvojoje projektavimo (konceptijos kūrimo) stadijoje ir tam tikslui taikyti BIM ir daugiakriterius sprendimo priėmimo (MCDM) metodus. Siūlomo modelio praktinio taikymo galimybes tvaraus statinio sprendimams modeliuoti siūloma patikrinti realiame projekte.
3. BIM technologijos vis dar tobulėja ir procesams tampant vis labiau automatizuotiems, atsiranda naujų įrankių, kuriuos naudojant galima greičiau ir efektyviau atlikti planavimo, projektavimo ir kitas užduotis statybos projekte bei eksploatuojant statinį. Atlikus straipsnių, susijusių su BIM naudomis, analizę nustatyta, kad BIM naudos deklaruojamos teoriškai, trūksta susisteminto metodologinio požiūrio. Todėl siūloma susisteminti literatūroje pateikiamus BIM poveikio vertinimo metodus ir pasiūlyti BIM poveikio vertinimo metodiką.

4. Rinkoje jau yra priemonių ir įgūdžių, reikalingų sėkmingam BIM technologijų taikymui, tačiau yra įvairių iššūkių susijusių su skirtingų disciplinų žinių ir programinės įrangos veikimo integravimu. Atlikus rinkos dalyvių apklausą nustatyta, kad labai svarbiam projekto dalyviui – užsakovui (turto valdytojui) – vis dar trūksta žinių ir įgūdžių, reikalingų sėkmingam BIM projekto valdymui. Todėl siūloma parengti užsakovui BIM žinių sistemą, kurioje BIM galimas poveikis darbo metodams nurodomas atskiruose statinio etapuose, pateikiami BIM taikymo būdai / įgalintojai, susiję su tvaraus pastato kūrimu, bei kitos žinios, reikalingos sėkmingam pastato projektavimui, statybai ir naudojimui, atsižvelgiant į tvarumo aspektus.

Atlikus mokslinės literatūros analizę formuluojamas disertacijos tikslas ir uždaviniai.

Darbo tikslas – sukurti koncepcinį modelį BIM technologijų poveikiui vertinti ir integruojant BIM bei daugiataksiškus metodus modeliuoti tvaraus statinio racionalius sprendimus.

Darbo tikslui pasiekti reikia išspręsti šiuos uždavinius:

1. Atlikti mokslinės literatūros, susijusios su BIM technologijų taikymu modeliuojant tvaraus statinio sprendimus, analizę. Atlikti statybos dalyvių apklausą ir įvertinti jų pasirengimą taikyti BIM statybos projektuose.
2. Vadovaujantis mokslinės literatūros analize, nustatyti rodiklius, taikomus statinio sprendinių tvarumui vertinti ankstyvojoje projektavimo stadijoje.
3. Tvaraus statinio racionaliems sprendimams modeliuoti ankstyvojoje projektavimo (konceptijos kūrimo) stadijoje sukurti hibridinį sprendimo modelį, pagrįstą BIM ir daugiataksiškių metodų taikymu. Patikrinti siūlomo modelio praktinio taikymo galimybes realiaame projekte.
4. Sukurti kompleksinį modelį BIM technologijų poveikiui vertinti. Patikrinti siūlomo modelio praktinio taikymo galimybes realiaame projekte.
5. Atskleisti BIM technologijų naudas modeliuojant tvaraus pastato racionalius sprendimus. Susisteminti BIM taikymo naudas pagal projekto įgyvendinimo etapus.

Koncepcinis modelis BIM technologijų poveikiui vertinti ir tvaraus statinio sprendimams modeliuoti

Koncepcinis modelis BIM technologijų poveikiui vertinti ir tvaraus statinio sprendimams modeliuoti leidžia integruoti aplinkos, technologinius ir ekonominius rodiklius, taikant daugiakriterius sprendimų bei statinio informacinio integruotus modeliavimo metodus. Sukurtos matematinės išraiškos leidžia vertinti BIM technologijų poveikį projektavimo ir statybos etapuose.

Skyriaus tematika paskelbti trys autoriaus straipsniai (Vilutienė et al., 2021; Vilutiene et al., 2020; Kiaulakis et al., 2019).

2.1. Tvaraus statinio sprendimų koncepcinio modelio elementai

Remiantis atlikta literatūros analize, šiame skyriuje pasiūlytas koncepcinis modelis BIM technologijų poveikiui vertinti ir tvaraus statinio sprendimams modeliuoti (2.1 pav.). Šis modelis reikalingas užsakovui ankstyvoje projektavimo stadijoje

tvaraus statinio racionaliems sprendimams įvertinti, integruojant BIM technologijas ir darbo metodus.

Koncepcinis modelis susideda iš:

- užsakovo keliamų tikslų ir uždavinių;
- alternatyvių sprendinių tvarumo vertinimo projekte;
- daugiatislių metodų taikymo vertinant sprendimų tvarumą;
- investicijų į BIM diegimą ir darbo metodus vertinimą;
- BIM technologijų poveikio vertinimo organizacijoje.

Užsakovo tikslai formuojami vadovaujantis BIM strategijos tikslų ir uždavinių sistema, teisės aktų reikalavimais dėl BIM taikymo bei tvarios plėtros tikslų. Užsakovo tikslai BIM projektuose susiję su BIM taikymo apimties nustatymu (reikalingų BIM taikymo būdų ir technologijų parinkimu), planuojamomis naudomis ir efektu dėl BIM technologijų taikymo. Kartu užsakovas turi apsispręsti, kokiais kriterijais ir metodais remdamasis priims sprendimus projekte, pavyzdžiui, vertindamas alternatyvių sprendinių tvarumą. Autoriaus sukurtame modelyje pasiūlyta remtis TOPSIS, SAW ir COPRAS metodais, tačiau sprendimų priėmėjas gali parinkti ir kitus metodus atsižvelgiant į turimos pradinės informacijos tipą. Diegiančioms ir taikančioms BIM technologijas bei darbo metodus organizacijoms svarbu žinoti, kokių investicijų reikalauja šis pokytis. Autoriaus sukurtame modelyje pateikiami metodai BIM investicijų ir taikymo poveikiui vertinti. Tai padės organizacijoms pagrįsti sprendimus dėl parinktų BIM taikymo būdų ir numatytų taikyti technologijų.



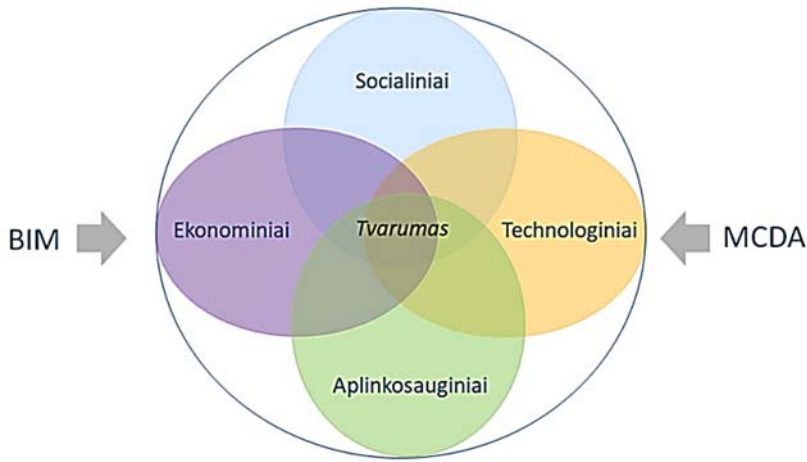
2.1 pav. Koncepcinis modelis BIM technologijų poveikiui vertinti ir tvaraus statinio sprendimams modeliuoti (sukurta autoriaus)

Fig 2.1. Conceptual model for assessing the impact of BIM working methods and modeling sustainable building solutions (elaborated by the author)

Siūlomas tvarumo analizės modelis apima daugialypių veiksmų analizę. Atlikta literatūros šaltinių analizė atskleidė, kad ankstyvame pastato projektavimo etape alternatyvių pastato sprendinių tvarumui įvertinti racionalu naudoti daugiakriterius sprendimų vertinimo metodus. MCDA leidžia investuotojui geriau įvertinti daugialypių alternatyvų patrauklumą. Vertinant alternatyvas daugiakriteriais metodais atsiranda galimybė padidinti priimamų sprendimų patikimumą.

Tvarumas užtikrinamas kompleksiskai ir yra susijęs su visais statybos projekto etapais: keliama tikslai sukurti / suprojektuoti tvarų pastatą, tvariai pastatyti, naudoti ir naudojimo pabaigoje tvariai perdirbti panaudotas medžiagas. Literatūros analizės dalyje buvo minėta, kad tvarumas apima aplinkos, ekonomines ir socialines kategorijas, užtikrinančias projekto ir vartotojų poreikius ir reikalavimus. Statybos procesams būdinga taikomų technologijų įvairovė, todėl tikslinga analizuoti technologinius aspektus kaip atskirą ir svarbią tvarumo kategoriją. Šiame tyrime naudotos tvarumo kategorijos buvo pasirinktos remiantis literatūros apžvalgoje atlikta analize ir apima aplinkos, ekonomines, technologines ir socialines kategorijas (2.2 pav.). Alternatyvių sprendimų tvarumo vertinimas reiškia daugelio rodiklių naudojimą; todėl modelyje siūloma taikyti daugiakriterius sprendimų (MCDA) metodus kaip patikimas ir įvairiapuses priemones sprendimams priimti (Zavadskas, Turskis et al., 2017). Be to, sprendimų priėmėjas, sprenddamas daugybę alternatyvų, surenka daug duomenų. Žmogiškasis veiksnys priimant sprendimus gali nulemti, kad duomenys bus neišsamūs arba iškreipiami ir galiausiai kyla klausimas apie surinktų duomenų rinkinių patikimumą. Nepatikimų duomenų ir informacijos rizika gali būti sumažinta, jei naudojamas automatizuotas duomenų rinkimas ir apdorojimas. Taikant pastatų informacijos modeliavimo (BIM) įrankius, pateikiami gan tikslūs sprendimai, todėl modelyje siūloma įtraukti BIM įrankius patikimiems duomenims (pvz., kiekiams) rinkti, tvarumui įvertinti (2.2 pav.).

Pastatų tvarumas užtikrinamas pasiekiant geriausią gyvenimo kokybę pastato erdvėse užtikrinant akustinį, vizualinį ir šiluminį komfortą. Ankstyvojoje pastato projektavimo stadijoje taip pat galima įvertinti naudojamų medžiagų charakteristikas, jų galimą poveikį visuotinio atšilimo potencialui ir kitus poveikio aplinkai rodiklius. Jau suprojektavus statinį galima surinkti duomenis statybos proceso metu vykstančioms veikloms optimizuoti. Pavyzdžiui, parinkti technologinius procesus, mažiau teršiančius aplinką, optimizuoti mechanizmų naudojimą, suskaičiuoti statybos kainą. Vertinant socialinį tvarumo aspektą, atsižvelgiama į pastato erdvių maksimalaus naudojimo galimybę ir pastato naudotojų patogumą.



2.2 pav. Tyrimuose naudojamos tvarumo kategorijos (sukurta autoriaus)
Fig. 2.2. Sustainability categories are used in the research (created by the author)

Atkreipiant dėmesį į išvardytus aspektus, buvo nustatyti alternatyvių konstrukcinių sprendimų tvarumo vertinimo rodikliai ankstyvojoje pastato projektavimo stadijoje. Tvarumo rodiklių rinkinys siūlomas taikyti konkrečiam uždaviniui spręsti, pasirinktas remiantis literatūros analize ir ekspertiniu vertinimu atliekant Delfų metodo procedūras. Socialinis aspektas atsispindėjo įtraukiant į siūlomą rodiklių rinkinį atitinkamas fizinius rodiklius išreikštas kategorijas, tokias kaip „bendras vidaus patalpų plotas“, kuris yra svarbus galutiniams pastato naudotojams dėl pastato erdvių naudojimo užtikrinant pastate numatytų veiklų vykdymą ir patogumą naudoti.

Apibendrinant skyrelyje aptartas išvalgas galima daryti išvadą, kad tvaraus statinio kūrimas prasideda nuo ankstyvojo pastato projektavimo etapo, kai dar nėra tikslių pastato projektinių sprendinių. Tokiomis aplinkybėmis pastato sprendinių tvarumo vertinimas yra apsunkintas ir sprendimų priėmėjas gali remtis nedidelių vertinimo rodiklių skaičiumi. Autorius, ištyręs įvairius tvarumo vertinimo principus, pasiūlė remtis keliais kiekybiniais rodikliais pagal keturias tvarumo vertinimo kategorijas: konstrukciniais, ekonominiais, technologiniais ir aplinkosauginiais. Renkant duomenis ankstyvojoje pastato projektavimo stadijoje kyla iššūkių dėl vertinti naudojamų duomenų tikslumo ir vertinimo rezultatų patikimumo. Šią problemą galima spręsti taikant statinio informacinio modeliavimo įrankius ir derinant juos su daugiakriteriais alternatyvų vertinimo metodais.

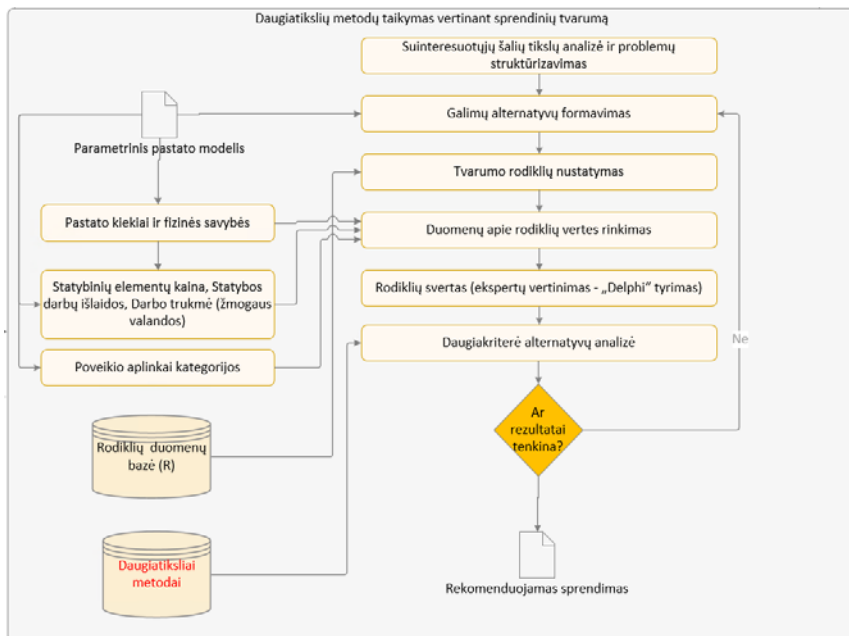
2.2. BIM technologijų ir daugiakriterės analizės integravimo galimybės sprendžiant tvaraus statinio kūrimo uždavinius

2.2.1. Alternatyvių pastato konstrukcinių sprendinių tvarumo vertinimo modelis

Alternatyvių pastato konstrukcinių sprendimų tvarumo vertinimas atliktas taikant daugiakriterius metodus ir BIM technologijų taikymu grįstą sprendimų modelį. Modelio struktūrą sudaro literatūros analizė, rodiklių sistemos kūrimas, ekspertų interviu ir atvejo tyrimas. Sprendimo modelis realizuojama šiais etapais:

1 etapas. Kuriamas pastato BIM modelis ir suformuotos įmanomos alternatyvos.

2 etapas. Remiantis literatūros analize, parenkama originali pastato konstrukcinių sprendimų tvarumo vertinimo rodiklių sistema.



2.3 pav. Hibridinio sprendimo modelis, pagrįstas BIM, Delfų ir daugiakriterių metodų taikymu (sukurta autoriaus)

Fig. 2.3. Hybrid solution model based on BIM, multi-criteria methods, and the Delphi technique (created by the author)

3 etapas. Ekspertinis rodiklių vertinimas taikant trijų pakopų Delfų metodą.

4 etapas. Alternatyvių konstrukcinių sprendimų rodiklių verčių apskaičiavimas, alternatyvių statybos technologijų analizė, ekonominių rodiklių (sąnaudų) nustatymas įgyvendinant alternatyvius konstrukcinius sprendimus, ir aplinkosauuginių rodiklių skaičiavimas.

5 etapas. Taikant daugiatislius metodus SAW, ARAS ir COPRAS palyginti alternatyvūs konstrukciniai sprendiniai taikant parinktus tvarumo vertinimo rodiklius. Šis žingsnis taip pat apima rezultatų analizę.

2.3 paveiksle pavaizduoti pagrindiniai modelio etapai.

Nors pastatą sudaro daugybė komponentų, šiame tyrime BIM technologijų ir daugiakriterės analizės integravimo galimybės buvo iliustruojamos taikant pasiūlytą modelį pastatų laikančiosioms konstrukcijoms vertinti ankstyvojoje pastato projektavimo stadijoje. Atliekant atvejo analizę, nagrinėtos trijų tipų laikančiųjų konstrukcijų alternatyvos:

- pastato karkaso laikančiosios konstrukcijos iš gelžbetonio surenkamųjų elementų ir metalinių konstrukcijų;
- pastato karkaso laikančiosios konstrukcijos iš surenkamojo gelžbetonio,
- pastato karkaso laikančiosios konstrukcijos iš monolitinio gelžbetonio.

2.2.2. Daugiakriterės analizės metodai alternatyvoms palyginti

Įvertinant alternatyvius konstrukcinius sprendimus, pateiktus 2.4–2.6 skirsniuose, taikomi daugiatisliai metodai SAW, ARAS ir COPRAS. Pastaruoju metu buvo sukurta dešimtys daugiatislių metodų, skirtų įvairioms statybos inžinerijos problemoms spręsti (Hou et al., 2015). Jie skirstomi į dvi klases, priklausomai nuo to, kaip jie sujungia duomenis: diskretūs MCDM (arba MADM) ir MODM optimizavimo metodai (Zavadskas et al., 2016). Visi jie reikalauja apibrėžti variantus ir rodiklius, o dauguma jų reikalauja svorių, kad būtų galima įvertinti santykinį rodiklių reikšmingumą. Tačiau vienos funkcijos taikymas sprendimų priėmimo procese nėra pakankama sąlyga. Nėra vieno metodo, kuris galėtų būti tinkamas išspręsti visas problemas. Skirtingi MCDM metodai kartais duoda skirtingus rezultatus (Zavadskas, Turskis et al., 2017). Tyrėjai ir praktikai pastaruoju metu vis labiau palaiko hibridinių metodų taikymą, nes, integravus skirtingas naudingumo funkcijas į vieną sprendimų priėmimo modelį, galima padidinti sprendimų priėmimo proceso patikimumą ir skaidrumą realiose situacijose (Tzeng et al., 2017). Integruotuose metoduose dažniausiai taikomi du ar daugiau MCDM metodų ar įvairių metodų derinys (Zavadskas et al., 2014).

Tipiška užduotis – suskirstyti sprendinius į ribotą skaičių alternatyvų, aiškiai aprašytų pagal skirtingus vertinimo rodiklius, į kuriuos reikia atsižvelgti vienu metu. Šiame darbe siūlomas hibridinis metodas, t. y. Delfų metodo, SAW, ARAS ir COPRAS metodų derinys. Delfų tyrimą taikant TOPSIS metodą pristatė

(Tamošaitienė et al., 2021). Ghodoosi et al. (2021) pasiūlė praktinį kiekybinį metodą, pagrįstą patikimumo analize, kuris leidžia vertintojams įvertinti pasiūlymo rizikos paskirstymą ir priimti sprendimus dėl pasiūlymo / jokio pasiūlymo, pagrįstą grafiko ir išlaidų viršijimo tikimybe. Metodas SAW (paprastas svorių sudėjimo metodas) yra vienas iš paprasčiausių ir plačiausiai naudojamų kelių rodiklių vertinimo metodų (Podvezko, 2011). Tačiau SAW naudoja tik maksimalaus optimizavimo funkcijos rodiklius, o rodikliai, mažinantys optimalumo kryptį, prieš juos taikant, turėtų būti paversti maksimizuojamais. Šis apribojimas pašalinamas taikant metodą COPRAS (kompleksinio proporcingo vertinimo metodas). Taikant COPRAS metodą, atskirai įvertinta rodiklių maksimizavimo ir minimizavimo įtaka. COPRAS metodu gauti skaičiavimo rezultatai priklauso nuo minimizuojamų rodiklių skaičiaus ir jų reikšmių. Lyginamoji SAW ir COPRAS metodų analizė (Podvezko, 2011) atskleidė, kad šiais dviem metodais gauti skaičiavimo rezultatai gali skirtis. Todėl, norint tiksliau įvertinti ir patvirtinti skaičiavimo rezultatus, reikėjo trečiojo metodo. Šiuo tikslu buvo pritaikytas ARAS metodas (Zavadskas & Turskis, 2010). Pagal ARAS metodą naudingumo funkcijos vertė, nustatanti alternatyvos efektyvumą, yra tiesiogiai proporcinga santykiniam pagrindinių rodiklių verčių ir svorių poveikiui (Zavadskas & Turskis, 2010). ARAS metodas yra COPRAS metodo modifikacija, kurioje įtraukta taip vadinama „optimali“ alternatyva, kurios reikšmės nustatomos pagal rodiklių optimizavimo kryptis iš esamų alternatyvų rodiklių reikšmių. Lyginamų alternatyvų rezultatai lyginami su „optimalios“ alternatyvos rezultatais.

Paprastas svorių sudėjimo (SAW) metodas yra plačiai žinomas ir praktiškai taikomas metodas (Hwang & Yoon, 1981).

Visų rodiklių svorių suma turi būti lygi vienetui:

$$(\sum_{i=1}^n q_i = 1). \quad (2.1)$$

Problema sprendžiama metodu tokia tvarka:

1 žingsnis. Suformuojama pradinio sprendimo matrica D:

$$D = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} & \cdots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & \cdots & x_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{n1} & x_{n2} & x_{n3} & \cdots & x_{nm} \end{bmatrix}. \quad (2.2)$$

2 žingsnis. Sprendimo matrica normalizuojama (arba transformuojama), norint gauti be matmenų reikšmes:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_i^{\max}}, \quad (2.3)$$

$$r_{ij} = \frac{x_i^{\min}}{x_{ij}}, \quad (2.4)$$

čia r_{ij} – konvertuojamas į j -osios alternatyvos rodiklių vertę; $x^{\min}$ – mažiausia rodiklio vertė; $x^{\max}$ – didžiausia rodiklio vertė visoms palygintoms alternatyvoms.

Formulė (2.3) naudojama transformuojant rodiklius, jei pageidautina didžiausios vertės. Formulė (2.4) naudojama transformuojant rodiklius, jei pageidautina minimalių verčių.

3 žingsnis. S_j -ajam objektui apskaičiuojama visų rodiklių svertinių normalizuotų verčių suma S_j :

$$S_j = \max \sum_{i=1}^n r_{ij} \times q_i, j = 1, 2, 3, \dots, m. \quad (2.5)$$

4 žingsnis. Alternatyvų reitingavimas ir pagrindimas. Didžiausia rodiklio vertė S_j atitinka racionalią alternatyvą. Palygintos alternatyvos turėtų būti suskirstytos rodiklio S_j apskaičiuotų verčių mažėjimo tvarka.

ARAS metodas

The Additive Ratio Assessment (ARAS) metodas (Zavadskas ir Turskis, 2010) buvo taikomas šiais žingsniais:

1 žingsnis. Sudaryta sprendimų priėmimo matrica.

$$X = \begin{bmatrix} x_{01} & \cdots & x_{0j} & \cdots & x_{0n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{i1} & \cdots & x_{ij} & \cdots & x_{in} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mj} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}; i = \overline{0, m}; j = \overline{1, n}. \quad (2.6)$$

Jei optimali j rodiklio reikšmė nežinoma, tada:

$$x_{0j} = \max_i x_{ij}, \text{ if } \max_i x_{ij} \text{ yra pageidautinas, ir} \quad (2.7)$$

$$x_{0j} = \min_i x_{ij}, \text{ if } \min_i x_{ij}^* \text{ yra pageidautinas.}$$

Šiame metode skaičiuojamas santykis su optimalia alternatyva. Yra įvairių teorijų, apibūdinančių santykį su optimalia verte. Tačiau reikšmės atvaizduojamos arba intervale $[0; 1]$ arba intervalas $[0; \infty]$, taikant sprendimų priėmimo matricos normalizavimą (Zavadskas ir Turskis, 2011).

2 žingsnis. Šio žingsnio tikslas – gauti be matmenų svertines rodiklių reikšmes. Visų rodiklių pradinės vertės yra normalizuotos, apibrėžiančios normalizuotos sprendimų priėmimo matricos X reikšmes x_{ij} :

$$\bar{X} = \begin{bmatrix} \bar{x}_{01} & \cdots & \bar{x}_{0j} & \cdots & \bar{x}_{0n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{x}_{i1} & \cdots & \bar{x}_{ij} & \cdots & \bar{x}_{in} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{x}_{m1} & \cdots & \bar{x}_{mj} & \cdots & \bar{x}_{mn} \end{bmatrix}; i = \overline{0, m}; j = \overline{1, n}. \quad (2.8)$$

Rodikliai, kurių pageidaujamos vertės yra didelės, normalizuojami taip:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=0}^m x_{ij}}. \quad (2.9)$$

Rodikliai, kurių pageidaujamos vertės yra žemos, normalizuojami taikant dviejų pakopų procedūrą:

$$x_{ij} = \frac{1}{x_{ij}}, \quad (2.10)$$

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=0}^m x_{ij}}.$$

3 žingsnis. Kitas žingsnis – apibrėžti normalizuotą svertinę matricą $\hat{X}$. Rodikliu galima įvertinti su svoriais $0 < w_j < 1$. Svorio w_j reikšmės paprastai nustatomos eksperto vertinimo metodu. Svorijų suma w_j būtų ribojama taip:

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1. \quad (2.11)$$

$$\begin{bmatrix} \hat{x}_{01} & \cdots & \hat{x}_{0j} & \cdots & \hat{x}_{0n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{x}_{i1} & \cdots & \hat{x}_{1j} & \cdots & \hat{x}_{in} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{x}_{m1} & \cdots & \hat{x}_{mj} & \cdots & \hat{x}_{mn} \end{bmatrix}; \quad i = \overline{0, m}; j = \overline{0, n}. \quad (2.12)$$

Visų rodiklių normalizuotos svertinės vertės apskaičiuojamos taip:

$$\hat{x}_{ij} = \bar{x}_{ij} w_j; \quad i = \overline{0, m}, \quad (2.13)$$

čia w_j – j rodiklio svoris; x_{ij} – normalizuota j rodiklio reikšmė.

4 žingsnis. Optimalumo funkcijos vertės nustatomos taip:

$$S_i = \sum_{j=1}^n \hat{x}_{ij}; \quad i = \overline{0, m}, \quad (2.14)$$

čia S_i – i alternatyvos optimalumo funkcijos reikšmė.

Kuo didesnė optimalumo funkcijos S_i vertė, tuo efektyvesnė alternatyva. Alternatyvų prioritetus galima nustatyti pagal vertę S_i .

5 žingsnis. Naudingumo laipsnis nustatomas palyginus analizuojamą alternatyvą su idealiausiai geriausia S_0 . Toliau pateikiama lygtis, naudojama alternatyviausiam naudingumo laipsniui K_i apskaičiuoti:

$$K_i = \frac{S_i}{S_0}, \quad i = \overline{0, m}, \quad (2.15)$$

čia S_i ir S_0 – optimalumo rodiklio vertės, gautos iš (2.14) lygties.

Apskaičiuotos reikšmės K_i yra intervale $[0; 1]$ ir išdėstyti vis didesne seka, kuri yra pageidaujama pirmenybės tvarka.

COPRAS metodas

COPRAS metodas (Kaklauskas, 1999) taikomas atliekant skaičiavimus keturiais etapais:

1 etapas. Sudaroma įvertinta normalizuota sprendimų matrica D . Šio etapo tikslas – iš lyginamų rodiklių gauti bedimensius (normalizuotus) įvertintus dydžius. Kai žinomi bedimensiai įvertinti dydžiai, galima palyginti visus skirtingų matavimo vienetų rodiklius. Tam taikoma tokia formulė:

$$d_{ij} = \frac{x_{ij} \cdot q_i}{\sum_{j=1}^n x_{ij}}, \quad i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}, \quad (2.16)$$

čia x_{ij} – i kriterijaus reikšmė j sprendimo variantu; m – kriterijų skaičius; n – lyginamų variantų skaičius; q_i – i kriterijaus reikšmingumas.

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

$$q_i = \sum_{j=1}^n d_{ij}, \quad i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}. \quad (2.17)$$

Kitaip sakant, nagrinėjamo kriterijaus reikšmingumo q_i reikšmė proporcingai paskirstoma visiems alternatyviems variantams a_j , atsižvelgiant į jų reikšmes x_{ij} .

2 etapas. Apskaičiuojamos j variantą apibūdinančių minimizuojančių (jų mažesnė reikšmė yra geresnė, pavyzdžiui, pastato kaina, sklypo kaina) S_{-j} ir maksimizuojančių (jų didesnė reikšmė yra geresnė, pavyzdžiui, pastato komfortiškas, estetika) S_{+j} įvertintų normalizuotų rodiklių sumos. Jos apskaičiuojamos pagal formulę:

$$S_{+j} = \sum_{i=1}^m d_{+ij}; \quad S_{-j} = \sum_{i=1}^m d_{-ij}, \quad i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}. \quad (2.18)$$

Taip dar kartą galima patikrinti atliktų skaičiavimų teisingumą.

3 etapas. Lyginamų variantų santykinis reikšmingumas (efektyvumas) nustatomas remiantis juos apibūdinančiomis teigiamomis (projekto „pliusais“) S_{+j} ir neigiamomis (projekto „minusais“) S_{-j} savybėmis. Kiekvieno projekto a_j santykinis reikšmingumas Q_j nustatomas pagal formulę:

$$Q_j = S_{+j} + \frac{S_{-min} \cdot \sum_{j=1}^n S_{-j}}{S_{-j} \cdot \sum_{j=1}^n \frac{S_{-min}}{S_{-j}}}, \quad j = \overline{1, n}. \quad (2.19)$$

4 etapas. Nustatomas projektų prioritetiškumas. Juo didesnis Q_j , tuo didesnis projekto efektyvumas (prioritetiškumas).

Išanalizavus anksčiau pateiktą metodą galima padaryti išvadą, kad juo remiantis gana paprasta įvertinti, paskui ir išrinkti racionaliausius projektus, aiškiai matant šio proceso fizinę prasmę. Bet to, juo remiantis suformuotas apibendrintas (redukuotas) kriterijus Q_j tiesiogiai ir proporcingai priklauso nuo lyginamų kriterijų reikšmių x_{ij} ir reikšmingumų q_i santykinės įtakos galutiniam rezultatui.

ARAS ir COPRAS metodų skaičiavimo analizė aprašyta F priede.

2.3. BIM taikymo poveikio vertinimas statinio projektavimo, statybos ir naudojimo etapuose

2.3.1. BIM taikymo poveikio klasifikavimas pagal statybos projektų etapų veiklas

Ankstesniuose skyriuose buvo apžvelgtos su BIM taikymų susijusios galimybės, BIM technologijų ir priemonių teikiama nauda ir suklasifikuoti BIM įgalintojai, kuriuos galima būtų taikyti vertinant statinio sprendinių tvarumą. BIM technologijos ir kiti BIM įgalintojai gali būti taikomi skirtinguose statybos projekto etapuose siekiant konkrečių nustatytų tikslų, sprendžiant atskirų etapų uždavinius. Derinant įmanomas BIM priemones galima pasiekti tam tikrą efektą projekte, tačiau šių priemonių „įsisavinimas“ susijęs su konkrečiomis investicijomis.

Kai kurie BIM rezultatai yra natūralūs projektavimo ir statybos proceso dariniai ir juos galima gauti „nemokama“. Kiti nemažai kainuoja ir turi būti suderinti su turimomis technologijomis ir turi būti įvertinta tokių investicijų nauda. Kiekvieno konkretaus BIM taikymo atveju formuojamas tam tikrų, susijusių su konkrečiu rezultatu (pateiktimi) priemonių rinkinys, kurį paruošti ir pritaikyti reikalingos tam tikros pastangos ir laikas. Pavyzdžiui, parenkamos konkrečios priemonės statybos darbams koordinuoti, tokios kaip integruoto bendradarbiavimo aplinka (CDE), techninės priemonės (nuotolinio stebėjimo kameros, išmanieji šaltiniai, susietos programinės įrangos ir pan.), rengiamos organizacinės priemonės,

dokumentų ir formų rinkiniai. Atitinkamas BIM technologijų efektyvumą užtikrinantys priemonių ir technologijų rinkiniai parenkami visoms projekto įgyvendinimo veikloms pagal projekto metu ketinamus įgyvendinti BIM taikymo atvejus.

Kiekvienas papildomas reikalingas rezultatas susijęs su konkrečiu BIM taikymo būdu ir reikalauja vis daugiau pastangų modeliui tvarkyti. Todėl visi projekto dalyviai, pradedant užsakovu, turi nuspręsti, kokie BIM taikymo būdai ir BIM rezultatai BIM projekto tikslams įgyvendinti yra svarbiausi ir įmanomi bei pasiekiami su turimomis BIM galimybėmis. Priešingu atveju BIM metodologijos taikymas vietoje siūlomos naudos atneš projektui žalą ir laiko rezervai pavirs laiko nuostoliais, kaštų ekonomija pavirs papildomomis išlaidomis, o kokybės ir efektyvumo gerinimo tikslai liks neįgyvendinti.

Reikia turėti omenyje, kad netgi esant aukštam BIM galimybių lygiui, projekto komanda turi įvertinti, kad BIM taikymo būdų įgyvendinimas reikalauja papildomų resursų, o bet kokie pertekliniai duomenys BIM modelyje apsunkina reikiamos informacijos tvarkymą. Todėl BIM tikslus reikia pasirinkti ir BIM naudas vertinti atsargiai, o prieš įrašant BIM taikymo atvejus ir būdus į užsakovo informacijos reikalavimus (EIR) ir BIM projekto įgyvendinimo planą (PIP), visada užduoti šiuos klausimus:

- Kokia bus iš to nauda projektui (projekto komandai)?
- Kam ir kodėl reikės šios informacijos?
- Kokie nustatyti reikalavimai informacijai?

Kiekvieno BIM taikymo atvejo ir lydinčio jį BIM taikymo būdo arba jų rinkinio naudos ir rizikos kaina turėtų būti analizuojama kiekvienu konkrečiu atveju. Todėl, apibrėžusi tikslus ir pasirinkusi BIM taikymo būdus, projekto komanda turi nustatyti atitinkamas užduotis, kurias ji norėtų ir galėtų vykdyti naudodama BIM, kitaip tariant, įvertinti BIM taikymo būdų galimybes.

D priedas – BIM taikymo naudų sistema pagal projekto etapų veiklas – buvo sudarytas ekspertų komandos, kurią sudarė 10 mokslinių ekspertų. Sudaryti 21 pagrindinės naudos efektai, kiekvienas naudos efektas suskaidytas į papunkčius. Pirmuoju etapu kiekvienai BIM naudai nustatyta BIM efekto apraška ir ištakos, antruoju etapu nustatyti BIM naudos rodikliai, su kuriais susiję BIM taikymo efektai, trečiame etape nustatyta, kokiuose projektų etapuose pasireiškia BIM naudos.

Vienas iš nustatytų BIM taikymo efektų – geresnė projektinių sprendimų priėmimo aplinka (2.1 lentelė), detalizuotas aprašant 7 BIM taikymo efektus, kurie pasireiškia skirtingose projekto etapuose ir matuojami apskaičiuojant skirtingus rodiklius, pvz., 1.1. – geresnis kontekstinės situacijos suvokimas – didina efektyvumą, gerina kokybę, 1.5. – geresni modifikacijų ir variantų atrankos būdai – mažina laiką ir didina efektyvumą, 1.7. – geresnė aplinka sprendimų priėmimui ir rezultatų pasiekimui – mažina išteklius, didina efektyvumą ir gerina kokybę. Ši BIM nauda (efektas) pasireiškia planavimo, projektavimo ir statybos etapuose.

2.1 lentelė. BIM taikymo efektas – geresnė projektinių sprendimų priėmimo aplinka**Table 2.1.** Better design decision-making environment as an effect of BIM application

Nr.	BIM nauda (efektas)	BIM efekto apraiškos ir ištakos	PROJEKTO ETAPAS			
			PLANAVIMAS	PROJEKTAVIMAS	STATYBA	NAUDOJIMAS
1	Geresnė projektinių sprendimų priėmimo aplinka	3D objektinis parametris modeliavimas kartu su automatizavimo priemonėmis gerina projektinių sprendimų paieškos ir priėmimo aplinką, didina jų vertinimo ir atrankos darbo procesų efektyvumą	x	x	x	
1.1	Geresnis kontekstinės situacijos suvokimas	Esamos realybės modeliavimas gerina kontekstinės situacijos suvokimą ir paruošia pagrindą kokybiškiems projektiniams sprendiniams priimti	x	x	x	
1.2	Geresnė projektinių sprendimų paieška, vertinimas ir atranka (vizualiniais metodais)	3D objektinio modeliavimo ir vizualizavimo priemonės įgalina geriau ir efektyviau atlikti projektinių sprendimų paiešką, vertinimą ir atranką	x	x		
1.3	Geresnė projektinių sprendimų paieška, vertinimas ir atranka (analizės metodais)	Efektyvi projektinių sprendimų paieška ir vertinimas gali būti papildyti sąsajomis su inžinerinės analizės (CAE) sistemomis	x	x		
1.4	Geresnis priimamų sprendinių suvokimas ir įvertinimas	3D objektinis modeliavimas taikomas kartu su virtualiosios realybės modeliavimo priemonėmis (mišri realybė) įgalina geriau suvokti ir įvertinti priimamus sprendinius	x	x		
1.5	Geresni modifikacijų ir variantų atrankos būdai	Projektinių sprendimų paieška vykdoma kur kas efektyviau modifikacijų ir variantų atrankos būdu išnaudojant 3D modelio ir jo objektų parametrines savybes.	x	x		

2.1 lentelės pabaiga

Nr.	BIM nauda (efektas)	BIM efekto apraiškos ir ištakos	PROJEKTO ETAPAS			
			PLANAVIMAS	PROJEKTAVIMAS	STATYBA	NAUDOJIMAS
1.6	Geresnis 3D modeliavimo procesas	Parametrinių objektų ir standartinių komponentų vidinių ir išorinių bibliotekų naudojimas leidžia labai paspartinti ir efektyvinti 3D modeliavimo procesą	x	x		
1.7	Geresnė aplinka sprendimams priimti ir rezultatams pasiekti	Projektavimo būdų ir metodų automatizavimo galimybės mažina žemo efektyvumo ir imlaus laikui rankinio darbo sąnaudas, atlaisvinant projekto komandos laiką realioms projektavimo užduotims atlikti – sprendimams priimti ir rezultatams pasiekti.	x	x		

Ne visi BIM naudos efektai vienodai svarbūs visuose statinio projekto etapuose. Kaip pavyzdys – geresnis rizikų valdymas (2.2 lentelė), detalizuotas aprašant septynis BIM taikymo efektus, kurie pasireiškia tik projektavimo ir statybos statinio projekto etapuose. Šis BIM taikymo efektas matuojamas apskaičiuojant du rodiklius, kaip pvz., 18.1 – mažesni netikslų, klaidingų sprendinių priėmimo rizikos faktoriai – didina efektyvumą ir gerina kokybę. 18.3 – duomenų nesutapimo ir neatitikimo dėl klaidų ir kolizijų rizikų suvaldymas – didina efektyvumą ir gerina kokybę.

2.2 lentelė. BIM taikymo efektas - geresnis rizikų valdymas.

Table 2.2. Better risk management as an effect of BIM application

18	Geresnis rizikų valdymas	3D objektinis parametrinis modeliavimas integruotas su skaitine analize, imitacinis modeliavimas (simuliacijos), vizualizavimas ir kiti BIM taikymo būdai mažina klaidingų sprendimų priėmimo tikimybę ir jų pasekmių riziką		x		
18.1	Mažesni netikslų, klaidingų sprendinių priėmimo rizikos faktoriai	3D objektinis parametrinis modeliavimas integruotas su skaitine analize, imitacinis modeliavimas (simuliacijos), vizualizavimas ir kiti BIM taikymo būdai leidžia tiksliai įvertinti norimus priimti sprendinius, virtualiai juos ištestuoti, imituoti ir patikrinti jų įgyvendinimo scenarijus pamatyti ir suvokti jų galimus trūkumus ir neatitikimus, kas mažina klaidingų sprendinių priėmimo rizikos faktorių		x		

2.2 lentelės pabaiga

18.2	Mažesnė mechaninių klaidų tikimybė visuose projekto dokumentų grupėse	3D objektinio modeliavimo, imitacinio modeliavimo, vizualizavimo, skaitinės analizės ir kitų BIM taikymo būdų rezultatų (pateikčių) suderintas ir koordinuotas sukūrimas mažina mechaninių klaidų tikimybę ir jų atsiradimo rizikas visuose projekto dokumentų grupėse	x	x		
18.3	Duomenų nesutapimo ir neatitikimo dėl klaidų ir kolizijų rizikų suvaldymas	Automatizuotas konfliktų ir kolizijų (klaidų ir neatitikimų) aptikimas ir kontrolė leidžia suvaldyti duomenų nesutapimo ir neatitikimo rizikas informacijos modeliuose bei jų pateiktyse (skirtingose projekto dokumentų grupėse) per jų asociatyvius ryšius su modeliu	x			
18.4	Duomenų neatitikimo standartams, taisyklėms ir reikalavimams rizikų suvaldymas	Automatizuota nustatytų standartų, taisyklių ir reikalavimų patikra leidžia suvaldyti duomenų neatitikties rizikas standartams, taisyklėms ir reikalavimams informacijos modeliuose bei skirtingose informacijos modelių pateiktyse ir projekto dokumentų grupėse per jų asociatyvius ryšius su modeliu	x			
18.5	Duomenų nesutapimo ir neatitikimo dėl nekoordinuotų pakeitimų rizikų suvaldymas	Suderintas ir koordinuotas modelio pakeitimų atlikimas ir valdymas per modelio objektų parametrinius ryšius, taip pat jų rezultatų atvaizdavimas modelio pateiktyse ir projekto dokumentų grupėse per jų asociatyvius ryšius su modeliu mažina klaidų tikimybę ir jų atsiradimo rizikas	x			
18.7	Netinkamo bendravimo pasekmių – klaidų ir neatitikimų rizikų suvaldymas	Taikant informacijos modeliavimą projektavimo komandos gali atlikti daugiau darbo su mažesnių žmonių skaičiumi; mažesnė projektavimo komanda reiškia paprastesnį valdymą, mažesnė netinkamo bendravimo pasekmių – klaidų ir neatitikimų riziką.	x			

Kai kurie BIM taikymo naudos efektai gali būti apskaičiuojami taikant visus 5 skirtingus rodiklius. Kaip pavyzdys – duomenų valdymo galimybių išplėtimas per integravimą su kitomis informacinėmis sistemomis (2.3 lentelė), detalizuotas aprašant 10 BIM taikymo efektų, kurie pasireiškia visuose projekto etapuose – planavimo, projektavimo, statybos ir naudojimo. Ši BIM nauda matuojama apskaičiuojant skirtingus rodiklius, kaip pvz., 21.6. – efektyvesnė pramonės objekto techninės – mažina laiką, kaštus ir išteklius bei didina efektyvumą, 21.1 – geresnis projektinių sprendinių supratimas, pagrįstumas ir patikimumas – didina efektyvumą ir gerina kokybę.

2.3 lentelė. BIM taikymo efektas – duomenų valdymo galimybių išplėtimas integruojant su kitomis informacinėmis sistemomis

Table 2.3. Extension of data management capabilities through integration with other information systems as an effect of BIM application

21	Duomenų valdymo galimybių išplėtimas integruojant su kitomis informacinėmis sistemomis	Projekto ir turto informacijos modelių integravimas su kitais informacijos šalteliais ir sistemomis (GIS, BMS, SCADA, ERP ir kt.) leidžia išplėsti BIM galimybes iki duomenų modelio sąvokos, o tai suteikia galimybes realiuoju laiku palaikyti turto ir jo infrastruktūros veiklas	x	x	x	x
21.1	Geresnis projektinių sprendinių supratimas, pagrįstumas ir patikimumas	Integravimas su skaitinės analizės CAE (<i>Computer Aided Engineering</i>) sistemomis praplečia projekto ir turto (objekto) informacijos modelio galimybes iki jo visumos, kaip inžinierinės sistemos ar atskirų jo komponentų elgsenos analizės veikiant apkrovai ar kitiems aplinkos poveikiams, o tai leidžia efektyviai pagerinti supratimą apie projektinius sprendimus, pagerinti jų pagrįstumą ir patikimumą		x		
21.2	Geresnis sprendimų supratimas, pagrįstumas, gerinantis projektų įgyvendinimą, turto operacijas ir priežiūrą	Integravimas su geografinėmis informacinėmis GIS (<i>Geographic Information System</i>) sistemomis praplečia projekto ir turto (objekto) informacijos modelio galimybes iki supančios aplinkos mastelio, o tai leidžia efektyviai pagerinti supratimą apie projektus, atsižvelgiant į jų geografinę vietą ir aplinką, leidžia priimti labiau pagrįstus sprendimus, siekiant pagerinti projektų įgyvendinimą, turto operacijas ir priežiūrą	x	x		x
21.3	Geresnė turto naudojimo procesų priežiūra, sprendimų patikimumas ir kokybė	Integravimas su turto eksploatacinio valdymo APM (<i>Asset Performance Management</i>) sistemomis didina turto naudojimo priežiūros procesų valdymo efektyvumą, gerina jų sprendimų patikimumą				x
21.4	Efektyvesnė turto naudojimo ir priežiūros stebėseną bei valdymas	Integravimas su pastatų ūkio valdymo FM (<i>Facility Management</i>) sistemomis didina turto naudojimo stebėsenos ir priežiūros procesų valdymo efektyvumą, gerina jų sprendimų patikimumą ir kokybę.				x
21.5	Efektyvesnis inžinierinių sistemų priežiūros valdymas ir kontrolė	Integravimas su pastatų valdymo sistemomis BMS (<i>Building Management System</i>) leidžia organizuoti duomenų gavimą, apdorojimą ir atvaizdavimą, siekiant automatizuotu būdu vykdyti eksploatuojamo pastato inžinierinių sistemų priežiūros valdymą bei efektyviai organizuoti jų techninės priežiūros kontrolę				x

2.3 lentelės pabaiga

21.6	Efektyvesnė pramonės objekto techninės priežiūros kontrolė	Integravimas su priežiūros kontrolės ir duomenų surinkimo bei paskirstymo valdymo sistemomis SCADA/DMS (<i>Supervisory Control and Data Acquisition/Distribution Management System</i>) leidžia organizuoti duomenų gavimą, apdorojimą ir atvaizdavimą, kad automatizuotu būdu vykdyti technologinių procesų priežiūros valdymą ir efektyviai organizuoti valdomo pramoninio objekto techninės priežiūros kontrolę				x
21.7	Geresnis pavojų ir rizikų nustatymas, stebėjimas ir kontrolė	Integravimas su saugumo valdymo sistemomis SMS (<i>Safety Management System</i>) suteikia sistemingą būdą nuolat nustatyti ir stebėti pavojus bei kontroliuoti rizikas, užtikrinant, šios rizikos kontrolės veiksmingumą ir patikimumą	x			x
21.8	Efektyvesnis įmonės valdymas	Turto informacijos modelio duomenų apjungimas su verslo valdymo sistemomis ERP (<i>Enterprise Resource Planning</i>) leidžia skaitmenizuoti įmonės valdymą, efektyviai valdyti įmonių išteklius, organizuoti ir analizuoti verslo procesus				
21.9	Efektyvesni projektų valdymo sprendimai	Integravimas su projektų valdymo PM (<i>Project Management</i>), sutarčių valdymo CM (<i>Contract Management</i>), tiekimo grandinės valdymo SCM (<i>Supply Chain Management</i>), grafikų ir paskyrimų S&A (<i>Scheduling and Appointments</i>), pirkimų valdymo (<i>Procurement Management</i>) ir kitomis dokumentų valdymo sistemomis leidžia efektyviai pagerinti projektų valdymo sprendimus	x	x	x	x
21.10	Geresni ir efektyvesni verslo procesų valdymo sprendimai	Integravimas su korporatyvaus valdymo, rizikų valdymo ir atitikties standartams valdymo GRC (<i>Governance, Risk Management and Compliance</i>), verslo procesų valdymo ir modeliavimo BPM (<i>Business Process Management/Modeling</i>), klientų valdymo CRM (<i>Client Resource Management</i>) ir kitomis dokumentų ir verslo valdymo sistemomis leidžia efektyviai pagerinti verslo procesų valdymo sprendimus.	x	x	x	x

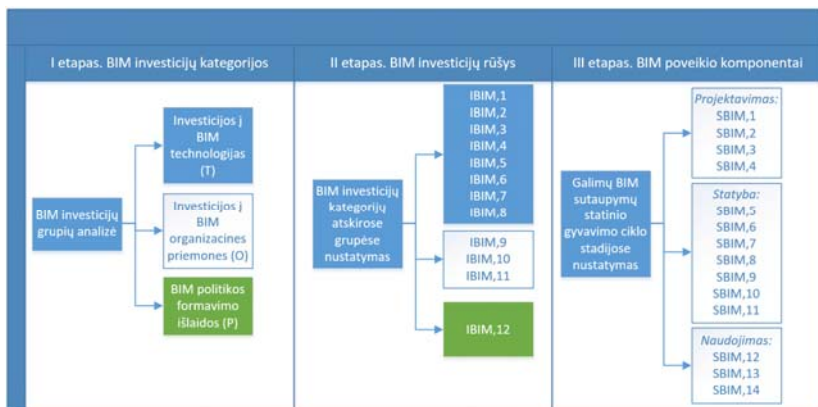
2.4. BIM taikymo poveikio vertinimo metodai organizacijos projektuose

Šiame skyriuje pateikti BIM taikymo poveikio organizacijai ir jos vykdomiems projektams vertinimo rodiklių skaičiavimo būdai. Rodikliai padeda įvertinti organizacijos naudą įdiegus BIM metodologiją ir taikant ją statinio projektavimo, statybos ir naudojimo etapuose. Šie rodikliai gali būti aktualūs organizacijoms, ekonominės, socialinės infrastruktūros įmonėms.

Šiame skyriuje pateiktoje metodikoje pagrindinis dėmesys skiriamas su BIM susijusių investicijų ir kiekybinės naudos struktūrizavimui ir aprašymui naudojant matematines išraiškas. Parenkant metodus investicijoms ir naudai vertinti vadovaujamasi literatūros analize ir ekspertų vertinimais. Investicijų, susijusių su BIM pritaikymu ir naudojimu statybų įmonėje, kategorijos pasirinktos remiantis literatūros analize ir išvadamis darytomis, vykdant tyrimus pasirinktuose objektuose, aprašytose trečiame skyriuje. Naudodami 3 pakopų Delfų metodą, ekspertai nustatė baigtinį skaičių investicijų kategorijų, susijusių su BIM technologijų diegimu ir taikymu, apibrėžė investavimo galimybes (objektus) kiekvienoje atskiroje kategorijoje. Remdamasis literatūros analize, autorius pasiūlė rodiklių rinkinį, skirtą įvertinti BIM taikymo poveikį atskiriems statybos projekto etapams. Galiausiai autorius pasiūlė matematines išraiškas atskiriems rodikliams apskaičiuoti.

Metodika buvo sukurta atliekant šiuos veiksmus:

- 1 žingsnis. Ekspertų grupės sudarymas.
 - 2 žingsnis. Ekspertų komanda sukūrė daugybę investicijų kategorijų, susijusių su BIM pritaikymu ir naudojimu (1-asis „Delphi“ proceso žingsnis).
 - 3 žingsnis. Ekspertų komanda sukūrė svarbiausių investavimo variantų rinkinį kiekvienoje atskiroje kategorijoje (2-asis „Delphi“ proceso žingsnis).
 - 4 žingsnis. Ekspertų komanda nustatė racionalų rodiklių rinkinį, kad įvertintų galimą BIM diegimo ir taikymo poveikį (3-iasis „Delphi“ proceso žingsnis).
 - 5 žingsnis. Autorius pasiūlė matematines išraiškas apskaičiuoti investavimo galimybes ir galimą BIM diegimo ir taikymo poveikį.
- 3.18 skyriuje, 3.13 paveiksle pavaizduoti ekspertų vertinimo rezultatai atskirais Delfų proceso žingsniais.



2.4 pav. BIM taikymo poveikio metodikos rengimo etapai
(sukurta autoriaus)

Fig. 2.4. Development stages of the methodology for BIM application effect
(elaborated by the author)

Investicijų į BIM metodologiją grąža. Šis rodiklis yra investicijų į BIM grąžos rodiklis. Rodiklis padeda įvertinti, kaip efektyviai naudojamos į BIM investuotos lėšos. Rodiklis informatyvus, kai stebima jo dinamika vertinant kasmetines išlaidas BIM priemonėms ir naudas taikant jas. Rodiklį gali skaičiuoti visi tiekimo grandinės dalyviai (užsakovas, projektuotojas, rangovai, subrangovai). Investicijų į BIM metodologiją grąža, tenkanti vienam projektui, gali būti skaičiuojama taikant šią matematinę išraišką:

$$IG_{BIM} = \frac{S_{BIM} - (\frac{I_{BIM}}{n_{BIMpr}})}{(\frac{I_{BIM}}{n_{BIMpr}})} \times 100, \quad (2.20)$$

čia S_{BIM} – BIM taikymo efektas pinigine išraiška. Kumuliatyvinis dydis nustatomas vertinant sutaupymus ir/arba išlaidas dėl BIM taikymo tenkančius vienam projektui, Eur;

$$S_{BIM} = \sum_{i=1}^n S_{BIM,i}, \quad (2.21)$$

čia i – i -tasis BIM taikymo efektas; $S_{BIM,i}$ – i -toji sutaupymų / išlaidų dėl BIM taikymo komponentė analizuojamame projekte, EUR; n – visos pasiektos BIM naudos (taikymo efektai) analizuojamame projekte; I_{BIM} – investicijos į BIM technologijų diegimą, Eur; n_{BIMpr} – organizacijos įgyvendinti BIM projektai (nuo BIM diegimo momento); (I_{BIM}/n_{BIMpr}) – vienam projektui tenkanti BIM investicijų dalis;

$$I_{BIM} = \sum_{j=1}^k I_{BIM,j}, \quad (2.22)$$

čia j – j -oji investicijų komponentė, Eur; k – visos BIM investicijų rūšys (materialios ir nematerialios, pvz., BIM programinė įranga, licencijos, mokymai, IT palaikymas, dokumentai ir kt.).

BIM investicijų kategorijos ir rūšys. Investicijos į BIM technologijas gali būti materialios ir nematerialios, apima investicijas į BIM techninę ir programinę įrangą, programinės įrangos licencijų atnaujinimo išlaidas, BIM kompetencijų tobulinimą (mokymai), su BIM diegimu įmonėje susijusias išlaidas IT ūkiui, su IT ūkio priežiūra susijusias einamąsias išlaidas, su BIM diegimu įmonėje susijusias dokumentų rengimo išlaidas, naujų darbo vietų kūrimo ir išlaikymo išlaidas, išlaidas konsultacinėms paslaugoms (jeigu yra poreikis, pvz., BIM dokumentams (EIR, PIP, OIR, BIM protokolas) rengti). 2.4 lentelėje pateiktos kai kurios investicijų į BIM technologijas rūšys.

Investicijos į BIM technologijas sąlygiškai skirstomos į tris kategorijas: 1) investicijos į BIM technologijas; 2) investicijos į BIM organizacines priemones; 3) BIM politikos formavimo išlaidos.

Visos investicijos į BIM gali būti apibrėžtos taikant šią matematinę išraišką:

$$I_{BIM} = \sum_{j=1}^n I_{BIM,j}, \quad (2.23)$$

čia I_{BIM} – investicijos į BIM technologijas, Eur; $I_{BIM,j}$ – j -toji BIM investicijų komponentė, Eur; n – visos BIM investicijų rūšys (investicijos į BIM technologijas, investicijos į BIM organizacines priemones ir BIM politikos formavimo išlaidos).

2.4 lentelė. Investicijų į BIM technologijas kategorijos ir rūšys (sukurta autoriaus)

Table 2.4. Categories and types of investment in BIM working methods (elaborated by the author)

BIM investicijų rodiklis	Rodiklio pavadinimas
Investicijos į BIM technologijas	
$I_{BIM,1}$	Investicijos į BIM programinę įrangą (licencijų įsigijimas)
$I_{BIM,2}$	Investicijos į BIM programinės įrangos techninį palaikymą (kasmetiniai atskaitymai: licencijų atnaujinimas, įrangos atstovų konsultacijos/priežiūra)
$I_{BIM,3}$	Investicijos į BIM darbo vietos techninę įrangą (aparatinę įrangą: kompiuteriai, darbo stotys, mobilieji įrenginiai (planšetės, mobilieji telefonai, išmanieji šalmi, kt.))
$I_{BIM,4}$	Investicijos į IT infrastruktūrą (serveriai ir kompiuterių tinklai: įsigijimas, pritaikymas, modernizavimas)
$I_{BIM,5}$	IT ūkio priežiūros ir techninio palaikymo išlaidos (IT administratorius)
$I_{BIM,6}$	Investicijos į komercinę bendrosios duomenų aplinkos (CDE) programinę įrangą ir infrastruktūrą (įsigijimas ir adaptavimas)
$I_{BIM,7}$	Investicijos į kitą techninę ir programinę įrangą, naudojamą BIM projektuose (fotoaparatai, lazeriniai skaneriai, dronai, VR technika, specializuotų BIM projektų koordinacinių centrų įrengimas pan.) (įsigijimas ir adaptavimas)
Investicijos į BIM organizacines priemones	
$I_{BIM,8}$	Išlaidos BIM specialistų mokymams (projektui tenkanti išlaidų dalis)
$I_{BIM,9}$	Investicijos (BIM) vadovo/koordinatoriaus darbo vietų apmokėjimui (projektui tenkanti dalis)
$I_{BIM,10}$	Su BIM taikymu projekte susijusių dokumentų (EIR, PIP, BEP, BIM protokolas, TIDP, MIDP, pan.) rengimo ir atnaujinimo išlaidos (projektui tenkanti išlaidų dalis)
$I_{BIM,11}$	Investicijoms į BIM įrangą tenkanti mokesčių dalis

2.4 lentelės pabaiga

BIM investicijų rodiklis	Rodiklio pavadinimas
BIM politikos formavimo išlaidos	
$I_{BIM,12}$	Su BIM diegimu įmonėje susijusios strategijos formavimo išlaidos, tame tarpe standartų ir kitos dokumentacijos įsigijimo ir adaptavimo/rengimo išlaidos (projektui tenkanti išlaidų dalis)

Toliau pateiktos matematinės išraiškos šioms investicijų rūšims į BIM technologijas:

- investicijos į BIM technologijas: $I_{BIM,1} - I_{BIM,7}$;
- investicijos į BIM organizacines priemones: $I_{BIM,8} - I_{BIM,11}$;
- BIM politikos formavimo išlaidos: $I_{BIM,12}$.

Investicijos į BIM programinę įrangą ($I_{BIM,1}$). Investicijos į BIM programinę įrangą priskiriamos BIM technologijų investicijų rūšiai. Taikant BIM technologijas, reikalinga speciali programinė įranga. Programinei įrangai įsigyti reikalingos tiesioginės investicijos – programinės įrangos licencijų įsigijimas. Investicijos į BIM programinę įrangą gali būti apibrėžtos taikant šią matematinę išraišką:

$$I_{BIM,1} = \sum_{j=1}^n I_{1j} \times k_{p_i}, \quad (2.24)$$

čia I_{1j} – išlaidos BIM programinei įrangai (tiesioginės investicijos: licencijų įsigijimas). Vertinama vienam BIM projektui tenkanti išlaidų dalis;

$$I_{1j} = f(I_{L1,p}; I_{L2,p}; I_{Ln,p}),$$

j – j -oji investicijų į BIM programinę įrangą komponentė, Eur; n – n -toji išlaidų komponentė, tenkanti vienam projektui, Eur; $I_{L1,p}$, $I_{L2,p}$ – išlaidos BIM programinių įrangų licencijoms įsigyti, Eur; $I_{Ln,p}$ – išlaidos n -tosios BIM programinės įrangos licencijai, Eur; k_{p_i} – projektui tenkanti j -osios BIM investicijų komponentės dalis, matuojama vieneto dalimi. k_{p_i} nustatomas dalijant išlaidas po lygiai visiems vykdytiems BIM projektams. Pavyzdžiui, jeigu po įrangos įsigijimo įvykdyti du projektai, tuomet $k_{p_i} = 0,5$, jeigu trys projektai, $k_{p_i} = 0,33$ ir t. t.

Investicijos į BIM programinės įrangos techninį palaikymą ($I_{BIM,2}$). Investicijos į BIM programinės įrangos techninį palaikymą priskiriamos BIM technologijų investicijų rūšiai. Naudojant BIM programinę įrangą reikalingos investicijos į įrangos atnaujinimą ir techninį palaikymą. Programinei įrangai palaikyti reikalingi kasmetiniai atskaitymai, kurie gali būti programų versijų atnaujinimas, licenciniai mokesčiai ir programinės įrangos tiekėjų ir jų atstovų konsultacijos ir priežiūra. Investicijos į BIM programinės įrangos palaikymą gali būti apibrėžtos taikant šią matematinę išraišką:

$$I_{BIM,2} = \sum_{j=1}^n I_{2j} \times k_{p_i}, \quad (2.25)$$

čia I_{2j} – einamaisiais metais patirtos išlaidos už BIM programinės įrangos techninį palaikymą (kasmetiniai atskaitymai: licencijų atnaujinimas, įrangos atstovų konsultacijos/priežiūra). Vertinama vienam BIM projektui tenkanti išlaidų dalis.

$$I_{2j} = f(I_{LA1,p}; I_{LA2,p}; I_{LAN,p}; I_{K1,p}; I_{K2,p}; I_{Kn,p}; I_{AA1,p}; I_{AA2,p}; I_{AAn,p}),$$

j – j -oji investicijų į BIM programinę įrangą komponentė, Eur; n – n -toji išlaidų komponentė tenkanti vienam projektui, Eur; $I_{LA1,p}$, $I_{LA2,p}$ – išlaidos BIM programinių įrangų licencijoms atnaujinti, Eur; $I_{LAN,p}$ – išlaidos n -tosios BIM programinės įrangos licencijai atnaujinti, Eur; $I_{K1,p}$, $I_{K2,p}$ – išlaidos BIM programinių įrangų atstovų konsultacijoms/priežiūrai, Eur; $I_{Kn,p}$ – išlaidos n -tosios BIM programinės įrangos atstovų konsultacijoms/priežiūrai, Eur; $I_{AA1,p}$, $I_{AA2,p}$ – išlaidos BIM programinių įrangų amortizaciniais atskaitymams, Eur; $I_{AAn,p}$ – išlaidos n -tosios BIM programinės įrangos amortizaciniais atskaitymams, Eur; k_{p_i} – projektui tenkanti j -osios BIM investicijų komponentės dalis, vieneto dalis. k_{p_i} nustatomas dalijant išlaidas po lygiai visiems einamaisiais metais vykdytiems projektams. Pavyzdžiui, jeigu einamaisiais metais vykdyti du BIM projektai, tuomet $k_{p_i} = 0,5$, jeigu trys BIM projektai, $k_{p_i} = 0,33$ ir t. t.

Investicijos į BIM darbo vietos techninę įrangą ($I_{BIM,3}$). Investicijos į BIM darbo vietos techninę įrangą priskiriamos BIM technologijų investicijų rūšiai. Dirbti su BIM programine įranga galima įsigijus specialią techninę įrangą. Dirbti su BIM programine įranga reikalingos tiesioginės išlaidos už BIM darbo vietos techninę įrangą, kurią gali sudaryti aparatinė įrangą (stacionarus ir nešiojamieji kompiuteriai), mobilieji įrenginiai (planšetės, mobilieji telefonai, kt.). Investicijos į BIM techninės įrangos palaikymą gali būti apibrėžtos taikant šią matematinę išraišką:

$$I_{BIM,3} = \sum_{j=1}^n I_{3j} \times k_{p_i}, \quad (2.26)$$

čia I_{3j} – išlaidos į BIM darbo vietos techninę įrangą (aparatinė įrangą (kompiuteriai), mobilieji įrenginiai (planšetės, mobilieji telefonai, išmanieji šalmi, kt.). Vertinama vienam BIM projektui tenkanti išlaidų dalis.

$$I_{3j} = f(I_{A1,p}; I_{A2,p}; I_{An,p}; I_{M1,p}; I_{M2,p}; I_{Mn,p}),$$

čia j – j -oji investicijų į BIM darbo vietos techninę įrangą komponentė, Eur; n – n -toji išlaidų komponentė, tenkanti vienam projektui, Eur; $I_{A1,p}$, $I_{A2,p}$ – išlaidos

BIM aparatinės įrangos (kompiuteriams ir darbo stotims) rūšims, Eur; $I_{A|n,p}$ – išlaidos n -tosios BIM aparatinės įrangos rūšiai, Eur; $I_{M|1,p}$, $I_{M|2,p}$ – išlaidos BIM mobiliesiems įrenginiams (planšetės, mobilieji telefonai, išmanieji šalmi, kt.), Eur; $I_{M|n,p}$ – išlaidos n -tajam BIM mobiliajam įrengimui, Eur; k_{p_i} – projektui tenkanti j -osios BIM investicijų komponentės dalis, vieneto dalis. k_{p_i} nustatomas dalijant išlaidas po lygiai visiems vykdytiems BIM projektams. Pavyzdžiui, jeigu po įrangos įsigijimo įvykdyti du projektai, tuomet $k_{p_i} = 0,5$, jeigu trys projektai, $k_{p_i} = 0,33$ ir t. t.

Investicijos į IT infrastruktūrą ($I_{BIM,4}$). Investicijos į IT infrastruktūrą priskiriamos BIM technologijų investicijų rūšiai. BIM techninei ir programinei įrangai palaikyti reikalingos investicijos į IT infrastruktūrą. Einamaisiais metais patirtos išlaidos į IT infrastruktūrą gali sudaryti serveriai ir kompiuterių tinklų įranga (įsigijimas, pritaikymas, modernizavimas). Investicijos į IT infrastruktūrą gali būti apibūdintos taikant šią matematinę išraišką:

$$I_{BIM,4} = \sum_{j=1}^n I_{4j} \times k_{p_i}, \quad (2.27)$$

čia I_{4j} – einamaisiais metais patirtos išlaidos į IT infrastruktūrą (serveriai ir kompiuterių tinklų įranga – įsigijimas, pritaikymas, modernizavimas). Vertinama vienam BIM projektui tenkanti šių išlaidų dalis.

$$I_{4j} = f(I_{IT1,p}; I_{IT2,p}; I_{ITn,p}),$$

j – j -oji investicijų į IT infrastruktūrą komponentė, Eur; n – n -toji išlaidų komponentė, tenkanti vienam projektui, Eur; $I_{IT1,p}$, $I_{IT2,p}$ – išlaidos IT infrastruktūros rūšims (serveriai ir kompiuterių tinklai – įsigijimas, pritaikymas, modernizavimas), Eur; $I_{ITn,p}$ – išlaidos n -tosios IT infrastruktūros komponentei, Eur; k_{p_i} – projektui tenkanti j -osios BIM investicijų komponentės dalis, vieneto dalis. k_{p_i} nustatomas dalijant išlaidas po lygiai visiems einamaisiais metais vykdytiems projektams. Pavyzdžiui, jeigu einamaisiais metais vykdyti du BIM projektai, tuomet $k_{p_i} = 0,5$, jeigu trys BIM projektai, $k_{p_i} = 0,33$ ir t. t.

IT ūkio priežiūros ir techninio palaikymo išlaidos ($I_{BIM,5}$). IT ūkio priežiūros ir techninio palaikymo išlaidos priskiriamos BIM technologijų investicijų rūšiai. BIM techninei ir programinei įrangai bei IT infrastruktūrai palaikyti reikalingos investicijos. Einamaisiais metais patirtos IT ūkio priežiūros ir techninio palaikymo išlaidas gali sudaryti IT administratoriaus darbo vietos arba IT ūkį aptarnaujančios įmonės išlaidos. Vertinama vienam BIM projektui tenkanti šių išlaidų dalis. Investicijos į IT ūkio priežiūrą ir techninį palaikymą gali būti apibūdintos taikant šią matematinę išraišką:

$$I_{BIM,5} = \sum_{j=1}^n I_{5j} \times k_{p_i}, \quad (2.28)$$

čia I_{5j} – einamaisiais metais patirtos IT ūkio priežiūros ir techninio palaikymo išlaidos (IT administratoriaus darbo vietos arba IT ūkį aptarnaujančios įmonės išlaidos). Vertinama vienam BIM projektui tenkanti šių išlaidų dalis.

$$I_{5j} = f(I_{ITA1,p}; I_{ITA2,p}; I_{ITAn,p}),$$

j – j -oji investicijų IT ūkio priežiūros ir techninio palaikymo išlaidų komponentė, Eur; n – n -toji išlaidų komponentė, tenkanti vienam projektui, Eur; $I_{ITA1,p}$, $I_{ITA2,p}$ – išlaidos IT ūkio priežiūrai ir techniniam palaikymui, Eur; $I_{ITAn,p}$ – išlaidos n -tosios IT ūkio priežiūros ir techninio palaikymo komponentei, Eur; k_{p_i} – projektui tenkanti j -osios BIM investicijų komponentės dalis, vieneto dalis. k_{p_i} nustatomas dalijant išlaidas po lygiai visiems einamaisiais metais vykdytiems projektams. Pavyzdžiui, jeigu einamaisiais metais vykdyti du BIM projektai, tuomet $k_{p_i} = 0,5$, jeigu trys BIM projektai, $k_{p_i} = 0,33$ ir t. t.

Investicijos į komercinę bendrosios duomenų aplinkos (CDE), projektų valdymo, klientų valdymo ir kitą procesų organizavimo programinę įrangą ir infrastruktūrą (įsigijimas ir adaptavimas) ($I_{BIM,6}$). Investicijos į projekto / įmonės procesų organizavimo ir palaikymo (komercinę bendrosios duomenų aplinkos (CDE), projektų valdymo, klientų valdymo ir kitą procesų organizavimo) programinę įrangą ir infrastruktūrą priskiriamos BIM technologijų investicijų rūšiai. Tai investicijos į komercinę bendrosios duomenų aplinkos (CDE), projektų valdymo, klientų valdymo ir kitą procesų organizavimo programinės įrangos įsigijimą ir adaptavimą arba jos sukūrimą ir pritaikymą. Investicijos į komercinę bendrosios duomenų aplinkos (CDE) programinę įrangą ir infrastruktūrą gali būti apibrėžtos taikant šią matematinę išraišką:

$$I_{BIM,6} = \sum_{j=1}^n I_{6j} \times k_{p_i}, \quad (2.29)$$

čia I_{6j} – investicijos į projekto / įmonės procesų organizavimo ir palaikymo (komercinę bendrosios duomenų aplinkos (CDE), projektų valdymo, klientų valdymo ir kitą procesų organizavimo) programinę įrangą ir infrastruktūrą (įsigijimas ir adaptavimas). Vertinama vienam BIM projektui tenkanti šių išlaidų dalis.

$$I_{6j} = f(I_{CDE1,p}; I_{CDE2,p}; I_{CDEn,p}),$$

j – j -oji investicijų į CDE komponentė, Eur; n – n -toji išlaidų komponentė, tenkanti vienam projektui, Eur; $I_{CDE1,p}$, $I_{CDE2,p}$ – išlaidos projekto / įmonės procesų organizavimo ir palaikymo (komercinės bendrosios duomenų aplinkos (CDE), projektų valdymo, klientų valdymo ir kitą procesų organizavimo) programinei

įrangai ir infrastruktūrai įsigyti ir prižiūrėti, Eur; $I_{CDE,n,p}$ – išlaidos n -tajai projekto / įmonės procesų organizavimo ir palaikymo (komercinės bendrosios duomenų aplinkos (CDE), projektų valdymo, klientų valdymo ir kitą procesų organizavimo) komponentei, Eur; k_{p_i} – projektui tenkanti j -osios BIM investicijų komponentės dalis, vieneto dalis. k_{p_i} nustatomas dalijant išlaidas po lygiai visiems po įrangos įsigijimo vykdytiems projektams, įskaitant ir einamaisiais metais vykdomus projektus. Pavyzdžiui, jeigu po įrangos įsigijimo vykdyti du BIM projektai, tuomet $k_{p_i} = 0,5$, jeigu trys BIM projektai, $k_{p_i} = 0,33$ ir t. t.

Investicijos į kitą techninę ir programinę įrangą naudojamą BIM projektuose ($I_{BIM,7}$). Investicijos į kitą techninę ir programinę įrangą naudojamą BIM projektuose priskiriamos BIM technologijų investicijų rūšiai. Investicijos į kitą techninę ir programinę įrangą, naudojamą BIM projektuose, gali būti fotoaparatus, lazerinių ir dronų, VR/AR technikos, specializuotų BIM projektų koordinacinių centrų įrengimas, įsigijimas ir adaptavimas. Investicijos į kitą techninę ir programinę įrangą, naudojamą BIM projektuose, gali būti apibrėžtos taikant šią matematinę išraišką:

$$I_{BIM,7} = \sum_{j=1}^n I_{7j} \times k_{p_i}, \quad (2.30)$$

čia I_{7j} – investicijos į kitą techninę ir programinę įrangą, naudojamą BIM projektuose (fotoaparatus, lazerinių skanerius, dronų, VR technikos, specializuotų BIM projektų koordinacinių centrų įrengimas, įsigijimas ir adaptavimas). Vertinama vienam BIM projektui tenkanti kitų techninės ir programinės įrangos rūšių įsigijimo ir adaptavimo išlaidų dalis.

$$I_{7j} = f(I_{TP1,p}; I_{TP2,p}; I_{TPn,p}),$$

j – j -oji investicijų į kitą techninę ir programinę įrangą komponentė, Eur; n – n -toji išlaidų komponentė, tenkanti vienam projektui, Eur; $I_{TP1,p}$, $I_{TP2,p}$ – išlaidos kitoms techninės ir programinės įrangos rūšims įsigyti ir prižiūrėti, Eur; $I_{TPn,p}$ – išlaidos n -tajai techninės ir programinės įrangos komponentei, Eur; k_{p_i} – projektui tenkanti j -osios BIM investicijų komponentės dalis, vieneto dalis. k_{p_i} nustatomas dalijant išlaidas po lygiai visiems po įrangos įsigijimo vykdytiems projektams, įskaitant ir einamaisiais metais vykdomus projektus. Pavyzdžiui, jeigu po įrangos įsigijimo vykdyti du BIM projektai, tuomet $k_{p_i} = 0,5$, jeigu trys BIM projektai, $k_{p_i} = 0,33$ ir t. t.

Išlaidos BIM kompetencijų tobulinimui ($I_{BIM,8}$). Investicijos į BIM kompetencijų tobulinimą priskiriamos BIM organizacinių priemonių investicijų rūšiai. BIM kompetencijų tobulinimo išlaidos yra susijusios su BIM kompetencijoms tobulinti skirtomis (einamųjų metų visų mokymų kaina, sertifikavimo išlaidos, su

mokymais ir sertifikavimų susijusių kelionių išlaidos, kitos su mokymais susijusios išlaidos) išlaidomis. BIM kompetencijoms tobulinti skirtos išlaidos gali būti apibrėžtos taikant šią matematinę išraišką:

$$I_{BIM,8} = \sum_{j=1}^n I_{8j} \times k_{p_i}, \quad (2.31)$$

čia I_{8j} – einamaisiais metais patirtos išlaidos apmokant išlaidas specialistų BIM kompetencijoms tobulinti (einamųjų metų visų mokymų kaina, sertifikavimo išlaidos, su mokymais ir sertifikavimų susijusių kelionių išlaidos, kitos su mokymais susijusios išlaidos). Vertinama vienam BIM projektui tenkanti išlaidų dalis.

$$I_{8j} = f(I_{M1,p}; I_{M2,p}; I_{M3,p}; I_{Mn,p}),$$

j – j -oji specialistų BIM kompetencijų tobulinimo išlaidų komponentė, Eur; n – n -toji išlaidų komponentė, tenkanti vienam projektui, Eur; $I_{M1,p}; I_{M2,p}; I_{M3,p}$ – išlaidos specialistų einamųjų metų visiems mokymams ($I_{M1,p}$), sertifikavimui ($I_{M2,p}$), su mokymais ir sertifikavimais susijusios kelionių išlaidos ($I_{M3,p}$), Eur; $I_{Mn,p}$ – kitos su mokymais susijusios išlaidos, Eur; k_{p_i} – projektui tenkanti j -osios BIM investicijų komponentės dalis, vieneto dalis; k_{p_i} – projektui tenkanti j -osios BIM investicijų komponentės dalis, vieneto dalis. k_{p_i} gali būti nustatomas dviem būdais:

1. Nustatant tikslią darbo laiko apskaitoje užfiksuotą kiekvienam po mokymų vykdytam projektui skirtą darbo laiko dalį. Pavyzdžiui, gali būti nustatyta, kad BIM specialistas po mokymų dirbo dviejuose projektuose, tačiau vienam projektui skyrė 60 % viso darbo laiko (0,6 etato), o kitam – tik 40 % (0,4 etato), tuomet $k_{p_1} = 0,6$, o $k_{p_2} = 0,4$.

2. Dalijant darbo laiką po lygiai visiems po mokymų vykdytiems projektams. Pavyzdžiui, jeigu BIM specialistas po mokymų dirbo dviejuose projektuose, tuomet $k_{p_i} = 0,5$, jeigu trijuose projektuose, $k_{p_i} = 0,33$ ir t. t.

Informacijos (BIM) vadovo / koordinatoriaus, informacijos valdytojo darbo vietų apmokėjimas ($I_{BIM,9}$). Investicijos į informacijos (BIM) vadovo / koordinatoriaus, informacijos valdytojo darbo vietas priskiriamos BIM organizacinių priemonių investicijų rūšiai. Informacijos (BIM) vadovo / koordinatoriaus, informacijos valdytojo darbo vietų išlaidos susijusios su BIM specialistų darbo užmokesčiui (visa darbo vietos kaina, įskaitant papildomas išlaidas, jeigu tokios numatytos, pvz., apgyvendinimo išlaidos, papildomas sveikatos draudimas, automobilio pirkimo / panaudos išlaidos, kitos su darbo apmokėjimu susijusiomis išlaidomis. BIM vadovo / koordinatoriaus, informacijos valdytojo darbo vietos išlaidos gali būti apibrėžtos taikant šią matematinę išraišką:

$$I_{BIM,9} = \sum_{j=1}^n I_{9j} \times k_{p_i}, \quad (2.32)$$

čia I_{9j} – einamaisiais metais patirtos išlaidos apmokant BIM specialistų darbo vietų išlaidas (darbo užmokestis, mokesčiai, kitos darbo vietos sukūrimo išlaidos). Vertinama vienam BIM projektui tenkanti išlaidų dalis.

$$I_{9j} = f(I_{DU1,p}; I_{DU2,p}; I_{DUn,p}),$$

j – j -oji investicijų į BIM specialistų darbo vietų komponentė, Eur; n – n -toji išlaidų komponentė, tenkanti vienam projektui, Eur; $I_{DU1,p}$, $I_{DU2,p}$ – išlaidos BIM specialistų darbo užmokesčiui (visa darbo vietos kaina, įskaitant papildomas išlaidas, jeigu tokios numatytos, pvz., išlaidos apgyvendinimui, papildomas sveikatos draudimas, automobilio pirkimo / panaudos išlaidos, kitos su darbo apmokėjimu susijusios išlaidos), Eur; $I_{n,p}$ – kitos $I_{DU1,p}$ ir $I_{DU2,p}$ išlaidų komponentėse neįvertintos su BIM specialistų darbo vietų sukūrimu susijusios išlaidos, Eur. k_{p_i} – projektui tenkanti j -osios BIM investicijų komponentės dalis, vieneto dalis. k_{p_i} gali būti nustatomas dviem būdais:

1. Nustatant tikslią darbo laiko apskaitoje užfiksuotą kiekvienam einamaisiais metais vykdytam projektui skirtą darbo laiko dalį. Pavyzdžiui, gali būti nustatyta, kad BIM specialistas einamaisiais metais dirbo dviejuose projektuose, tačiau vienam projektui skyrė 60 % viso darbo laiko (0,6 etato), o kitam – tik 40 % (0,4 etato), tuomet $k_{p_1} = 0,6$, o $k_{p_2} = 0,4$.

2. Dalijant darbo laiką po lygiai visiems einamaisiais metais vykdytiems projektams. Pavyzdžiui, jeigu BIM specialistas einamaisiais metais dirba dviejuose projektuose, tuomet $k_{p_i} = 0,5$, jeigu trijose projektuose, $k_{p_i} = 0,33$ ir t. t.

Įvesties duomenys:

- BIM specialisto darbo užmokestis (visa darbo vietos kaina).
- Išlaidos BIM specialisto apgyvendinimui.
- BIM specialisto papildomas sveikatos draudimas.
- BIM specialisto automobilio pirkimo / panaudos išlaidos.
- Kitos su BIM specialisto darbo apmokėjimu susijusios išlaidos.
- Kitos su BIM specialisto darbo vieta susijusios išlaidos.

Su BIM taikymu projekte susijusių dokumentų (EIR, PIP, BEP, BIM protokolas, TIDP, MIDP ir pan.) rengimo, įsigijimo ir adaptavimo išlaidos ($I_{BIM,10}$). Investicijos, susijusios su BIM taikymo projekte susijusių dokumentų rengimu, priskiriamos BIM organizacinių priemonių investicijų rūšiai. BIM taikymo projekte susijusių dokumentų (EIR, PIP, BEP, BIM protokolas, TIDP, MIDP ir pan.) rengimo, įsigijimo ir adaptavimo išlaidos yra susijusios su minėtų dokumentų parengimo sąnaudomis. Gali būti vertinamas atitinkamo specialisto darbo užmokestis paruošti dokumentą arba dokumento įsigijimo vienetinė kaina. Dokumentacijos rengimo išlaidos gali būti apibrėžtos taikant šią matematinę išraišką:

$$I_{BIM,10} = \sum_{j=1}^n I_{10j}, \quad (2.33)$$

čia I_{10j} – su BIM taikymu projekte susijusių dokumentų (EIR, PIP, BEP, BIM protokolas, TIDP, MIDP ir pan.) rengimo išlaidos. Vertinama vienam BIM projektui tenkanti dokumentų rengimo išlaidų dalis.

$$I_{7j} = f(I_{D1,p}; I_{D2,p}; I_{Dn,p}),$$

j – j -oji išlaidų dokumentų rengimui komponentė, Eur; n – n -toji išlaidų komponentė, Eur; $I_{D1,p}$, $I_{D2,p}$ – išlaidos su BIM taikymu projektuose susijusių dokumentų rengimui, Eur; $I_{Dn,p}$ – išlaidos n -tajam dokumentui, Eur.

Kitos su investicijų į BIM organizacinėmis priemonėmis susijusios išlaidos (nepriskirtos kitoms išlaidoms). ($I_{BIM,11}$). Šioje išlaidų grupėje gali būti vertinamos kitos su investicijų į BIM organizacinėmis priemonėmis susijusios išlaidos (nepriskirtos kitoms išlaidoms):

$$I_{BIM,11} = \sum_{j=1}^n I_{11j} \times k_{p_i}, \quad (2.34)$$

čia I_{11j} – kitos su investicijų į BIM organizacinėmis priemonėmis susijusios išlaidos (nepriskirtos kitoms išlaidoms). Vertinama vienam BIM projektui tenkanti mokesčių dalis.

j – j -oji išlaidų komponentė, Eur; n – n -toji išlaidų komponentė, Eur; k_{p_i} – projektui tenkanti j -oji išlaidų dalis, vieneto dalis. k_{p_i} nustatomas dalijant išlaidas po lygiai visiems po išlaidų patyrimo vykdytiems projektams, įskaitant ir einamaisiais metais vykdomus projektus. Pavyzdžiui, jeigu po išlaidų patyrimo vykdyti du BIM projektai, tuomet $k_{p_i} = 0,5$, jeigu trys BIM projektai, $k_{p_i} = 0,33$ ir t. t.

Su BIM diegimu įmonėje susijusios išlaidos ir dokumentacijos įsigijimo ir adaptavimo / rengimo išlaidos ($I_{BIM,12}$). Diegiant BIM technologijas organizacijoje rengiami dokumentai, apibrėžiantys įmonės BIM politiką ir strategiją, nustatantys darbo standartus BIM projektuose, BIM naudojimo vadovai, metodikos, taisyklės, rekomendacijos, techninės specifikacijos ir kiti BIM dokumentai. Su BIM diegimu įmonėje susijusios dokumentacijos išlaidos gali būti apibrėžtos taikant šią matematinę išraišką:

$$I_{BIM,11} = \sum_{j=1}^n I_{12j} \times k_{p_i}, \quad (2.35)$$

čia I_{12j} – dokumentų, susijusių su BIM diegimu įmonėje (įmonės BIM politika / strategija; įmonės BIM standartai; reikalavimai; techninės specifikacijos; BIM

naudojimo vadovai; metodikos; taisyklės; rekomendacijos; BIM mokymų programos; kiti BIM dokumentai) įsigijimo ir adaptavimo / rengimo išlaidos. Vertinama vienam BIM projektui tenkanti šių išlaidų dalis.

$$I_{12j} = f(I_{DOK1,p}; I_{DOK2,p}; I_{DOKn,p}),$$

čia j – j -oji investicijų į BIM dokumentus komponentė, Eur; n – n -toji išlaidų komponentė, tenkanti vienam projektui, Eur; $I_{DOK1,p}$, $I_{DOK2,p}$ – išlaidos BIM dokumentų rūšims įsigyti ir adaptuoti/rengti, Eur; $I_{DOKn,p}$ – išlaidos n -tojo dokumentui įsigyti / adaptuoti / rengti, Eur; k_{p_i} – projektui tenkanti j -osios BIM investicijų komponentės dalis, vieneto dalis. k_{p_i} nustatomas dalijant išlaidas po lygiai visiems po dokumentų parengimo / įsigijimo / adaptavimo vykdytiems projektams, įskaitant ir einamaisiais metais vykdomus projektus. Pavyzdžiui, jeigu po dokumentų parengimo / įsigijimo / adaptavimo vykdyti du BIM projektai, tuomet $k_{p_i} = 0,5$, jeigu trys BIM projektai, $k_{p_i} = 0,33$ ir t. t.

2.5 lentelė. Duomenų apie investicijas į BIM technologijas lentelės pavyzdys (sukurta autoriaus)

Table 2.5. Example of a table for gathering data on BIM investments (elaborated by the author)

	Investicijos į BIM technologijas	<i>Suma</i>
I1	Investicijos į BIM programinę įrangą (licencijų įsigijimas)	<i>Įrašyti sumą</i>
I2	Investicijos į BIM programinės įrangos techninį palaikymą (kasmetiniai atskaitymai: licencijų atnaujinimas, įrangos atstovų konsultacijos / priežiūra)	<i>Įrašyti sumą</i>
I3	Investicijos į BIM darbo vietos techninę įrangą (aparatinė įranga: kompiuteriai, darbo stotys, mobilieji įrenginiai (planšetės, mobilieji telefonai, išmanieji šalmi, kt.))	<i>Įrašyti sumą</i>
I4	Investicijos į IT infrastruktūrą (serveriai ir kompiuterių tinklai – įsigijimas, pritaikymas, modernizavimas)	<i>Įrašyti sumą</i>
I5	IT ūkio priežiūros ir techninio palaikymo išlaidos (IT administratorius)	<i>Įrašyti sumą</i>
I6	Investicijos į komercinę bendrosios duomenų aplinkos (CDE) programinę įrangą ir infrastruktūrą (įsigijimas ir adaptavimas)	<i>Įrašyti sumą</i>

2.5 lentelės pabaiga

	Investicijos į BIM technologijas	Suma
17	Investicijos į kitą techninę ir programinę įrangą, naudojamą BIM projektuose (fotoaparatai, lazeriniai skaneriai, dronai, VR technika, specializuotų BIM projektų koordinacinių centrų įrengimas, pan.) (įsigijimas ir adaptavimas)	<i>Įrašyti sumą</i>
	Investicijos į BIM organizacines priemones	Suma
18	Išlaidos BIM specialistų mokymams (projektui tenkanti išlaidų dalis)	<i>Įrašyti sumą</i>
19	Investicijos (BIM) vadovo / koordinatoriaus darbo vietoms apmokėti (projektui tenkanti dalis)	<i>Įrašyti sumą</i>
110	Su BIM taikymu projekte susijusių dokumentų (EIR, PIP, BEP, BIM protokolai, TIDP, MIDP, pan.) rengimo ir atnaujinimo išlaidos (projektui tenkanti išlaidų dalis)	<i>Įrašyti sumą</i>
111	Kitos su investicijų į BIM organizacinėmis priemonėmis susijusios išlaidos (neprikirtos kitoms išlaidoms)	<i>Įrašyti sumą</i>
	Investicijos į BIM organizacines priemones	Suma
112	Su BIM diegimu įmonėje susijusios strategijos formavimo išlaidos, taip pat standartų ir kitos dokumentacijos įsigijimo ir adaptavimo / rengimo išlaidos (projektui tenkanti išlaidų dalis)	<i>Įrašyti sumą</i>

2.6 lentelė. Investicijų į BIM programinę įrangą lentelės pavyzdys (sukurta autoriaus)**Table 2.6.** Example of BIM software investment table (elaborated by the author)

Metai		
Eil. Nr.	BIM programinės įrangos licencijos	Licencijos kaina, Eur
1	Įrašyti BIM programinės įrangos pavadinimą	<i>Įrašyti sumą</i>
2	Įrašyti BIM programinės įrangos pavadinimą	<i>Įrašyti sumą</i>
3	Įrašyti BIM programinės įrangos pavadinimą	<i>Įrašyti sumą</i>
4	Įrašyti BIM programinės įrangos pavadinimą	<i>Įrašyti sumą</i>
n	Įrašyti BIM programinės įrangos pavadinimą	<i>Įrašyti sumą</i>
	SUM:	Suma
Įrašyti vykdomų projektų dalį su šiomis licencijomis		<i>Įrašyti dalį</i>
Investicijos į BIM programinę įrangą		Suma

Kitos autoriaus parengtos duomenų apie investicijas surinkimo lentelės pateiktos E priede.

Sutaupymai dėl BIM taikymo. Šioje dalyje pateikiamos matematinės išraiškos BIM taikymo efektui (sutaupymams) apskaičiuoti.

BIM taikymo efektas, pinigine išraiška tenkantis vienam projektui, gali būti apskaičiuojamas taikant šią matematinę išraišką:

$$S_{BIM} = \sum_{i=1}^n S_{BIM,i}, \quad (2.36)$$

čia $S_{BIM,i}$ – i -toji sutaupymų dėl BIM taikymo komponentė analizuojamame projekte, EUR; i – i -tasis BIM taikymo efektas; n – visos pasiektos BIM naudos (taikymo efektai) analizuojamame projekte.

BIM efekto rodikliai (galimi sutaupymai dėl BIM taikymo) pateikti 2.7 lentelėje.

2.7 lentelė. Galimi sutaupymai dėl BIM taikymo (sukurta autoriaus)

Table 2.7. Potential savings from a BIM application (elaborated by the author)

BIM efekto rodiklis	Rodiklis pavadinimas	Projekto etapas*
$S_{BIM,1}$	Sutaupyto projektavimo laiko vertė dėl proceso automatizavimo	P
$S_{BIM,2}$	Užklausų dėl projekto informacijos tikslinimo sumažėjimo vertė	P
$S_{BIM,3}$	Projekto dokumentų rengimo išlaidų sumažėjimo vertė	P
$S_{BIM,4}$	Valdymo išlaidų sumažėjimo vertė	S
$S_{BIM,5}$	Sutaupymai dėl tiksliau nustatytų kainų vykdant pirkimus projekte	S
$S_{BIM,6}$	Statybos aikštelės valdymo išlaidų sumažėjimo vertė	S
$S_{BIM,7}$	Sutaupyto statybos laiko vertė	S
$S_{BIM,8}$	Sutaupymų dėl sumažėjusių papildomų (nenumatytų) darbų apimčių vertė	S
$S_{BIM,9}$	Sutaupymų dėl sumažėjusių pakartotinai atliekamų darbų (defektų taisymo) vertė	S
$S_{BIM,10}$	Sutaupymų dėl rizikų (nelaimingų atsitikimų) sumažėjimo statybos aikštelėje vertė	S
$S_{BIM,11}$	Turto priežiūros ir valdymo išlaidų sumažėjimo vertė (apibendrintas rodiklis **)	N

* P – projektavimo etapas; S – statybos etapas; N – naudojimo etapas.

** Rodiklis apima visas galimas naudas dėl BIM taikymo turto priežiūros ir valdymo etape.

Sutaupyto projektavimo laiko vertė dėl proceso automatizavimo ($S_{BIM,1}$). Sutaupyto laiko vertė skaičiuojama vertinant projektuotojų darbo laiko trukmės sumažėjimą dėl BIM naudojimo projektuojant (suma visų proceso dalyvių sutaupytų dienų), laiko sutaupymą dauginant iš vidutinio dienos darbo užmokesčio. Rodiklis gali būti naudojamas sutaupyto laiko vertei vertinti kiekvienos veikos projektavimo stadijoje. Šio rodiklio reikšmė gali būti ir neigiama tose projektuose, kuriuose BIM metodologija tik pradėta taikyti. Teigiamas pokytis pasireišk, kai BIM metodologija bus taikoma platesniu mastu ir organizacija pasieks aukštą BIM brandos lygį. Rekomenduojama taikyti agreguotą rodiklį, vertinant darbų trukmių pokyčius atskiruose statinio projektavimo etapuose. Nustatoma sutaupymų vertė eurai taikant šią išraišką:

$$S_{BIM,1} = T_p \times D \times L_p, \quad (2.37)$$

čia D – vidutinis projektuotojų mėnesio darbo užmokestis su netiesioginėmis išlaidomis (Eur/mėn.); T_p – projektavimo trukmė (mėn.); L_p – apskaičiuotas projektavimo trukmės sumažėjimo palyginimo su planuota trukme santykinis dydis. Nustatomas lyginant atliktų projektavimo ar statybos darbų faktinį laiką su planuotu. Skaičiuojant rodiklį vertinamos projekto, vykdomo pagal BIM metodologiją, atskirų etapų trukmės. Rodiklį galima skaičiuoti pasirinktiems etapams.

$$L_p = \left(\sum_{i=1}^n \frac{T_{pl}^i - T_{fakt}^i}{T_{pl}^i} \right) / n, \quad (2.38)$$

čia T_{pl}^i – planuota statinio projektavimo ir statybos etapų $x_1, x_2, \dots, x_n$ trukmė; T_{fakt}^i – faktinė statinio projektavimo ir statybos etapų $x_1, x_2, \dots, x_n$ trukmė; i – projekto projektavimo darbų etapas; n – etapų skaičius.

Paklausimų dėl projekto informacijos tikslinimo sumažėjimo vertė ($S_{BIM,2}$). Šiuo rodikliu vertinama tikslaus skaitmenizuotų duomenų perdavimo laiko vertė. Skaičiuojama laiko sąnaudų pokyčio vertė koreguojant, tikslinant, papildant ar teikiant kitą projekto informaciją pagal paklausimus. Įvertinamas paklausimų skirtumas palyginus su ankstesniais arba analogiškais projektais, kuriuose netaikomi BIM technologijos (toliau – lyginamasis projektas) ir vidutinis darbuotojo, atsakančio į paklausimus, darbo valandos įkainis. Dauginama iš paklausimų skaičiaus pokyčio santykinio dydžio:

$$S_{BIM,2} = L_i \times T_p \times D_i \times N_p, \quad (2.39)$$

čia $S_{BIM,2}$ – laiko sąnaudų sutaupymo vertė dėl užklausų sumažėjimo; L_i – laiko, skirto vienam paklausimui, vidurkis vertinant visus paklausimus per mėnesį, val./mėn. (nustatomas ekspertiniu vertinimu, duomenys apie paklausimus surenkant apklausus projekto dalyvius); T_p – projektavimo trukmė (mėn.); D_i – į paklausimus atsakančio specialisto darbo įkainis Eur/val. (darbo įkainių vidurkis);

N_p – paklausimų dėl projekto informacijos tikslinimo sumažėjimo palyginimo su paklausimų skaičiumi lyginamajame projekte santykinis dydis. Rodiklis skaičiuojamas taikant šią formulę:

$$N_p = \left(\sum_{i=1}^n \frac{N_{p,a} - N_{p,BIM}}{N_{p,a}} \right) / n, \quad (2.40)$$

čia $N_{p,a}$ – paklausimai dėl projekto informacijos tikslinimo lyginamajame projekte (netaikant BIM) per metus, vnt.; $N_{p,BIM}$ – paklausimai dėl projekto informacijos tikslinimo projekte, vykdytame taikant BIM darbo metodus per metus, vnt.; i – projekto projektavimo darbų etapas; n – etapų skaičius.

$S_{BIM,2}$ rodiklis gali būti pritaikytas nustatant paklausimų dėl projekto informacijos tikslinimo sumažėjimo vertę, vykdant viešųjų pirkimų procedūras BIM projektų konkursuose.

Projekto dokumentų rengimo išlaidų sumažėjimo vertė ($S_{BIM,3}$). Skaičiuojama sutaupymų vertė dėl projekto dokumentų spausdinimo išlaidų sumažėjimo, lyginant su analogiškais projektais, kuriuose dokumentai pateikti netaikyti BIM skaitmenizuotos informacijos pateikimo būdai (toliau – lyginamasis projektas). Nustatoma sutaupymų vertė eurais taikant šią išraišką:

$$S_{BIM,3} = P_s \times T_{ps} \times R, \quad (2.41)$$

čia P_s – spausdinimo išlaidos (Eur/mėn.). Vidutinė išlaidų vertė nustatoma tiriant kelis projektus per nustatytą laikotarpį; T_{ps} – projektavimo ir statybos trukmė (mėn.); R – apskaičiuotas spausdinimo išlaidų sutaupymo palyginimo su spausdinimo išlaidomis projektuose, vykdomuose netaikius BIM technologijų, santykinis dydis. Rodiklis įvertina projekto dokumentų spausdinimo išlaidų sumažėjimo pokytį, taikant skaitmenines technologijas, palyginti su analogiškais ankstesnių laikotarpių projektais, taikant įprastinius dokumentų pateikimo būdus. Rodiklis skaičiuojamas taikant šią formulę:

$$R = \left(\sum_{i=1}^n \frac{K_a - K_{BIM}}{K_a} \right) / n, \quad (2.42)$$

čia K_a – projekto dokumentų spausdinimo išlaidų vidurkis lyginamuosiuose projektuose, vykdomuose netaikius BIM technologijų (išlaidos, tenkančios vienam projektui per mėnesį); K_{BIM} – projekto dokumentų spausdinimo išlaidos projektuose, kuriuose taikomos BIM technologijos; i – projekto projektavimo / statybos darbų etapas; n – etapų skaičius.

Valdymo išlaidų sumažėjimo vertė ($S_{BIM,4}$). Šiuo rodikliu skaičiuojama sutaupyto valdymo laiko sąnaudų vertė, kai organizacijos, vykdydamos projektus, taiko BIM technologijas. Valdymo išlaidas sudaro ne projekto personalo ir aukščiausios valdymo grandies vadovų konkrečiam projektui skirtas darbo laiko

sąnaudų vertė. Duomenys kaupiami įmonės buhalterinės apskaitos dokumentuose. Skaičiuojant rodiklį vertinamos šios personalo grupės sutaupyto darbo laiko sąnaudos.

$$S_{BIM,4} = P_v \times T_{p/s} \times R_v, \quad (2.43)$$

čia P_v – ne projekto personalo ir aukščiausios valdymo grandies vadovų projektui valdyti skirto darbo užmokesčio išlaidų vidurkis (Eur/mėn.). Vidutinė išlaidų vertė nustatoma tiriant kelis projektus per nustatytą laikotarpį; $T_{p/s}$ – projektavimo ir statybos trukmė (mėn.); R_v – valdymo išlaidų sumažėjimo BIM projektuose palyginimo su valdymo išlaidomis lyginamuosiuose projektuose santykinis dydis. Dėl tiksliau aprašytų procesų, procedūrų, paskirstytų atsakomybių, aprašytų pareigybės nedubliuojami organizaciniai darbai, sumažėja valdymo ir administracinės sąnaudos. Skaičiuojamas valdymo laiko sąnaudų pokytis (sumažėjimas) dėl procesų, procedūrų, paskirstytų atsakomybių reglamentavimo taikant BIM technologijas. Lyginama su ankstesniais laikotarpiais, kai vykdomų projektų administravimas vykdytas tradiciniu būdu ir netaikyta BIM metodologija. Rodiklis skaičiuojamas taikant šią išraišką:

$$R_v = \left(\sum_{i=1}^n \frac{Ad_a - Ad_{BIM}}{Ad_a} \right) / n, \quad (2.44)$$

čia Ad_a – praėjusių laikotarpių valdymo sąnaudos lyginamuosiuose analogiškuose projektuose, kuriuose netaikytos BIM technologijos (Eur/mėn.); Ad_{BIM} – projektų valdymo sąnaudos, kai organizacijoje pradėta taikyti BIM metodologija (Eur/mėn.); i – projekto projektavimo / statybos darbų etapas; n – etapų skaičius.

Sutaupymai dėl tiksliau nustatytų kainų vykdant pirkimus projekte ($S_{BIM,5}$). Rodiklis įvertina faktinį prekių ir paslaugų (darbų) pirkimo kainų skirtumą projekte, vykdomame pagal BIM metodologiją, palyginti su planuotomis atitinkamų prekių ir paslaugų (darbų) pirkimo sąnaudomis. Rodiklis nustatomas stebint BIM projektus ir lyginant jų pirkimų rodiklius su tradiciniu būdu vykdomais projektais. Nustatyta vertė turi būti perskaičiuojama taikant diskonto normą. Tuomet rodiklio vertė nustatoma skaičiuojant faktinės pirkimų kainos sumažėjimo dabartinę vertę:

$$S_{BIM,5} = \frac{R_p * K}{(1 + i)^n}, \quad (2.45)$$

čia R_p – pirkimų kainos pokyčio santykinis dydis. Skaičiuojant šį rodiklį sumuojamos visos faktinės projekto, vykdomo taikant BIM metodologiją, pirkimų (prekių ir paslaugų) sąnaudos. Šios sąnaudos lyginamos su analogiškų projektų, kuriuose netaikoma BIM metodologija, prekių ir paslaugų kainomis; K – statybos darbų kaina, Eur; i – diskonto norma; n – periodas;

$$R_p = \frac{P_a - P_{BIM}}{P_a}, \quad (2.46)$$

čia P_{BIM} – projekto, vykdomo taikant BIM metodologiją, atitinkamo statybos darbų etapo išlaidos (statybinių medžiagų, konstrukcijų, įrankių, mechanizmų pirkimų arba nuomos kaina, rangos darbų ir paslaugų pirkimų kaina) perskaičiuota vienam m^2 naudingojo ploto:

$$P_{PIF} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + P_n}{A_{BIM}}, \quad (2.47)$$

čia A_{BIM} – objekto projektuojamo ir statomo taikant BIM metodologiją, naudingasis plotas, m^2 ; P_a – analogiško projekto atitinkamo statybos darbų etapo išlaidos (statybinių medžiagų, konstrukcijų, įrankių, mechanizmų pirkimų arba nuomos kaina, rangos darbų ir paslaugų pirkimų kaina), perskaičiuota vienam m^2 naudingojo ploto:

$$P_a = (P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n) / A_l, \quad (2.48)$$

čia A_l – lyginamojo objekto naudingas plotas, m^2 .

Rekomenduojama taikyti šį rodiklį vertinant tik tipinius pasikartojančius darbus atitinkamuose statinio statybos etapuose, pavyzdžiui, statinio konstrukcija, tokios pat reikšmės ir charakteristikų kelio ruožai ir pan. Rodiklis gali būti patikslintas pasiekus aukštesnį BIM brandos lygį.

Statybos aikštelės valdymo išlaidų sumažėjimo vertė ($S_{BIM,6}$). Šiuo rodikliu skaičiuojama statybos aikštelės valdymo sąnaudų sumažėjimo pinigine vertė. Įvertinami statybos valdymo personalo sutaupyto laiko valandiniai įkainiai.

$$S_{BIM,6} = V \times E \times Z \times F, \quad (2.49)$$

čia V – statybos darbų kaina (Eur); E – rangovo statybietės išlaidos (%) nustatomos iš sąmatos, vadovaujantis bendraisiais ekonominiais normatyvais (9 % arba 12 %); Z – statybietės valdymo išlaidų dalis visuose statybietės išlaidose (40 %); F – statybos aikštelės valdymo sutaupymo santykinis dydis. Šiuo rodikliu įvertinamas procentinis statybos aikštelės valdymo laiko sąnaudų sutaupymas dėl organizacinių, priežiūros, konsultavimo darbų sumažėjimo, palyginus valdymo sąnaudas su projektais, kuriuose netaikoma BIM metodologija:

$$F = \left(\sum_{i=1}^n \frac{VS_a - VS_{BIM}}{VS_a} \right) / n, \quad (2.50)$$

čia VS_a – statybos aikštelės valdymo sąnaudos, lygintinuose analogiškuose projektuose, kuriuose netaikyta BIM metodologija; VS_{BIM} – statybos aikštelės valdymo sąnaudos projekte, kuriame taikoma BIM metodologija; i – lyginamasis projektas; n – projektų skaičius.

Aikštelės valdymo sąnaudų sumažėjimo efektas skaičiuojamas įgyvendinus projektą. Šis rodiklis nustatomas vieną kartą ir gali būti taikomas kaip statistinis,

apskaičiuojant kitų susijusių rodiklių vertes. Rodiklis gali būti patikslintas pasiekus aukštesnį BIM brandos lygį.

Sutaupyto statybos laiko vertė ($S_{BIM,7}$). Rodiklis skaičiuojamas, jeigu nustatoma laiko sąnaudų mažėjimo tendencija. Rekomenduojama taikyti agreguotą rodiklį vertinant darbų trukmių pokyčius atskiruose statinio statybos etapuose. Sutaupyto laiko vertė skaičiuojama vertinant laiko sutaupymus dėl BIM metodologijos taikymo visame statinio statybos cikle (suma visų proceso dalyvių sutaupytų dienų) ir dauginant iš vidutinių išlaidų statybos projekto komandos darbo užmokesčiui (per mėn.):

$$S_{BIM,7} = D \times L_s \times C_s, \quad (2.51)$$

čia D – vidutinis statybos projekto komandos nario mėnesio darbo užmokestis su netiesioginėmis išlaidomis (Eur/mėn.); C_s – statybos trukmė (mėn.); L_s – apskaičiuotas statybos trukmės sumažėjimo santykinis dydis. Lyginamas atliktų darbų faktinis laikas su planuotu. Rodiklį galima skaičiuoti pasirinktiems etapams.

$$L_s = \left(\sum_{i=1}^n \frac{T_{pli} - T_{faki}}{T_{pli}} \right) / n. \quad (2.52)$$

čia T_{pli} – planuota statybos trukmė; T_{faki} – faktinė statybos trukmė; i – lyginamasis projektas; n – projektų skaičius.

Sutaupymų dėl sumažėjusių papildomų (nenumatytų) darbų apimčių vertė ($S_{BIM,8}$). Pinigine išraiška įvertinami sutaupymai dėl BIM projekte nenumatytų papildomų darbų sumažėjimo. Papildomų nenumatytų darbų poreikis atsiranda dėl projekto netikslumų arba papildomų užsakovo reikalavimų. Lyginama su analogiškais projektais, kuriuose netaikoma BIM metodologija.

$$S_{BIM,8} = V \times k \times L_d, \quad (2.53)$$

čia V – statybos darbų kaina, Eur; k – papildomų (nenumatytų) darbų dalis statybos darbų kainoje (vidutinė vertė), nustatoma atliekant statybos projekto rodiklių stebėseną; L_d – sutaupymų dėl sumažintų papildomų nenumatytų darbų apimčių santykinis dydis. Šiuo rodikliu įvertinamas projekto metu atliekamų nenumatytų darbų procentinis pokytis, lyginant vykdomą projektą, kuriame taikoma BIM metodologija su analogišku projektu (-ais), kuriuose BIM metodologija netaikyta. Abiejų rūšių projektuose įvertinamos atliekamų nenumatytų darbų apimtys:

$$L_d = \left(\sum_{i=1}^n \frac{DP_a - DP_{BIM}}{DP_a} \right) / n. \quad (2.54)$$

čia DP_a – atliekamų nenumatytų darbų apimtys lygintinuose analogiškuose projektuose, kuriuose netaikyta BIM metodologija; DP_{BIM} – atliekamų nenumatytų

darbų apimtys projekte, kuriame taikoma BIM metodologija; i – lyginamasis projektas; n – projektų skaičius.

Sutaupymų dėl sumažėjusių pakartotinai atliekamų darbų (defektų taisymo) vertė ($S_{BIM,9}$). Pakartotini darbai atliekami dėl nekokybiškai atliktų statybos darbų, klaidingai parinktų statybos procesų technologijų, avarių ir kitų priežasčių. Šiuo rodikliu įvertinami sutaupymai dėl nustatyto mažesnio pakartotinai atliekamų darbų skaičiaus, kai taikant BIM metodologiją parenkami racionalūs technologiniai statybos darbų vykdymo, aikštelės procesų organizavimo ir kiti statybos proceso sprendiniai, lyginant su analogiškais ankstesnio laikotarpio projektais, vykdytais netaikant BIM metodologijos ir technologijų:

$$S_{BIM,9} = V \times k \times R_p, \quad (2.55)$$

čia V – statybos darbų kaina, Eur; k – defektų taisymo darbų dalis statybos darbų kainoje (vidutinė vertė), nustatoma atliekant statybos projekto rodiklių stebėseną; R_p – sumažintų pakartotinai atliekamų darbų apimčių santykinis dydis. Skaičiuojamas vidutinis defektų taisymo darbų kainų pokytis, lyginant su analogiškuose projektuose, kuriuose netaikyta BIM metodologija, defektų taisymo darbų kainomis.

$$R_p = \left(\sum_{i=1}^n \frac{PD_p - PD_{BIM}}{PD_p} \right) / n, \quad (2.56)$$

čia PD_p – defektų taisymo darbų apimtys projektuose, vykdomuose netaikant BIM metodologijos, Eur; PD_{BIM} – defektų taisymo darbų apimtys projektuose, vykdomuose taikant BIM metodologiją, Eur; i – lyginamasis projektas / projekto etapas; n – projektų / projekto etapų skaičius.

Sutaupymų dėl rizikų (nelaimingų atsitikimų) sumažėjimo statybos aikštelėje vertė ($S_{BIM,10}$). Šiuo rodikliu vertinami sutaupymai dėl mažesnio nelaimingų atsitikimų, traumų statybvietėje skaičiaus vykstant BIM projektą. Gali būti lyginama su analogiškais arba ankstesnių laikotarpių projektais, vykdytais netaikant BIM metodologijos ir technologijų:

$$S_{BIM,10} = V \times k \times M, \quad (2.57)$$

čia V – statybos darbų kaina, Eur; k – išmokų vertės dėl nelaimingų atsitikimų santykinė dalis statybos darbų kainoje (vidutinė vertė), nustatoma atliekant statybos projekto rodiklių stebėseną; M – sutaupymų dėl rizikų sumažėjimo santykinis dydis. Skaičiuojamas vidutinis išmokų dėl nelaimingų atsitikimų, traumų statybvietėje (nedarbingumo išmokos, baudos) pokytis įgyvendinant projektą, kuriame taikyta BIM metodologija, palyginus su analogiškais projektais, kuriuose netaikyta BIM metodologija:

$$M = \left(\sum_{i=1}^n \frac{I_a - I_{BIM}}{I_a} \right) / n, \quad (2.58)$$

čia I_a – išmokų vertė dėl nelaimingų atsitikimų, įvykusių projektuose, vykdomuose netaikius BIM metodologijos, Eur; I_{BIM} – išmokų vertė dėl nelaimingų atsitikimų projekte, vykdytame pagal BIM metodologiją, Eur; i – lyginamasis projektas / projekto etapas; n – projektų / projekto etapų skaičius.

Turto priežiūros ir valdymo išlaidų sumažėjimo vertė ($S_{BIM,11}$). Šiuo rodikliu skaičiuojama sutaupyto valdymo laiko sąnaudų vertė, kai turto valdytojas taiko BIM metodologiją. Vertinamos turto priežiūros ir valdymo personalo sutaupyto darbo laiko sąnaudos. Sutaupytas valandų skaičius dauginamas iš personalo darbo valandos į kainio. Šį rodiklį taip pat galima skaičiuoti vertinant turto priežiūros ir valdymo išlaidas taikant ir netaikant BIM metodologiją:

$$S_{BIM,11} = (V + P) \times R_v \times C, \quad (2.59)$$

čia V – turto valdymo išlaidos (Eur/mėn.). Valdymo išlaidas sudaro tiesiogiai už statinio priežiūrą atsakingo personalo ir aukščiausios valdymo grandies atstovų statiniui valdyti skirto darbo laiko išlaidos. Duomenys kaupiami įmonės buhalterinės apskaitos dokumentuose; P – statinio priežiūros išlaidos (Eur/mėn.). Priežiūros išlaidas sudaro statinio einamųjų apžiūrų, remontų ir kitos tiesiogiai su statinio priežiūra susijusios išlaidos, kaip priežiūrą atliekančio personalo darbo užmokestis, išlaidos įrangai, transportui ir pan. Duomenys kaupiami įmonės buhalterinės apskaitos dokumentuose; C – statinio naudojimo trukmė (mėn.); R_v – apskaičiuotas priežiūros ir valdymo išlaidų sutaupymo santykinis dydis. Skaičiuojamas sąnaudų pokytis dėl BIM metodologijos taikymo. Lyginama su ankstesniais laikotarpiais, kai priežiūra ir valdymas vykdytas tradiciniu būdu ir netaikyta BIM metodologija.

$$R_v = \left(\sum_{i=1}^n \frac{Ad_a - Ad_{BIM}}{Ad_a} \right) / n, \quad (2.60)$$

čia Ad_a – praėjusių laikotarpių turto priežiūros ir valdymo sąnaudos lygintinuose analogiškuose objektuose, kuriuose netaikyta BIM metodologija, Eur; Ad_{BIM} – turto priežiūros ir valdymo sąnaudos objektuose, kuriuose organizacija taiko BIM metodologiją, Eur; i – lyginamasis objektas; n – objektų skaičius.

2.5. Antrojo skyriaus išvados

1. Tvaraus statinio kūrimas prasideda nuo ankstyvojo projektavimo etapo, kai dar nėra tikslų projektinių sprendinių. Tokiomis aplinkybėmis statinio sprendinių tvarumo vertinimas yra apsunkintas ir sprendimų priėmėjas gali remtis nedidelio patikimumo duomenimis ir vertinimo rodiklių skaičiumi. Ištyrus įvairius tvarumo vertinimo principus, pasiūlyta remtis keliais kiekybiniais rodikliais keturiose tvarumo vertinimo kategorijose: konstrukciniais, ekonominiais, technologiniais ir aplinkosauginiais. Renkant duomenis ankstyvojoje pastato projektavimo stadijoje kyla iššūkiai dėl vertinti naudojamų duomenų tikslumo ir vertinimo rezultatų patikimumo. Šiai problemai spręsti pasiūlyta taikyti statinio informacinio modeliavimo įrankius ir derinti juos su daugiakriteriais alternatyvų vertinimo metodais.
2. Disertacijoje pasiūlytas koncepcinis modelis išsiskiria tuo, kad padeda kompleksiskai spręsti skirtingus uždavinius ankstyvojoje statinio projektavimo stadijoje derinant tvarumo principų taikymą, daugiakriterius sprendimų paramos ir BIM technologijų metodais.
3. Pasiūlytas investicijų į BIM technologijas vertinimo rodiklių rinkinys leis kiekybiškai įvertinti galimas BIM investicijas. Šis rinkinys sudarytas iš 12 rodiklių, visapusiškai apibūdinančių galimas išlaidas diegiant ir taikant BIM technologijas statybos įmonėse. Šie rodikliai pagal išlaidų kategorijas suskirstyti į 3 grupes: 1) investicijos į BIM technologijas; 2) investicijos į BIM organizacines priemones; 3) BIM politikos formavimo išlaidos.
4. Atliekant BIM technologijų taikymo poveikio vertinimą, rodiklių pasirinkimas priklauso nuo projektavimo ir /ar statybos įmonės BIM brandos lygio ir įmonės taikomų BIM įgalintojų. Skirtingo BIM brandos lygio ir įmonės planuojamų taikyti BIM įgalintojų poveikiui nustatyti reikalingas atskiras didelio masto tyrimas įtraukiant statybos sektoriaus organizacijas. Siekiant tikslesnių rezultatų, rekomenduojama įtraukti didesnę skaičių skirtingo tipo organizacijų.

Koncepcinio modelio pritaikymas tvaraus statinio sprendimams modeliuoti ir BIM technologijų poveikiui vertinti

Šiame skyriuje aprašytų atvejų tyrimo tikslas – patikrinti siūlomo modelio praktinio taikymo galimybes tvaraus statinio sprendimams modeliuoti realiaame projekte, atskleisti BIM technologijų naudas modeliuojant tvaraus pastato racionalius sprendimus bei pritaikyti realiaame projekte koncepcinį modelį BIM technologijų poveikiui vertinti. Tvaraus statinio sprendimams modeliuoti realaus projekto uždavinyje nagrinėjami tik konstrukciniai sprendiniai. Skyriaus tematika paskelbti du autoriaus straipsniai (Vilutiene et al., 2020; Vilutienė et al., 2021).

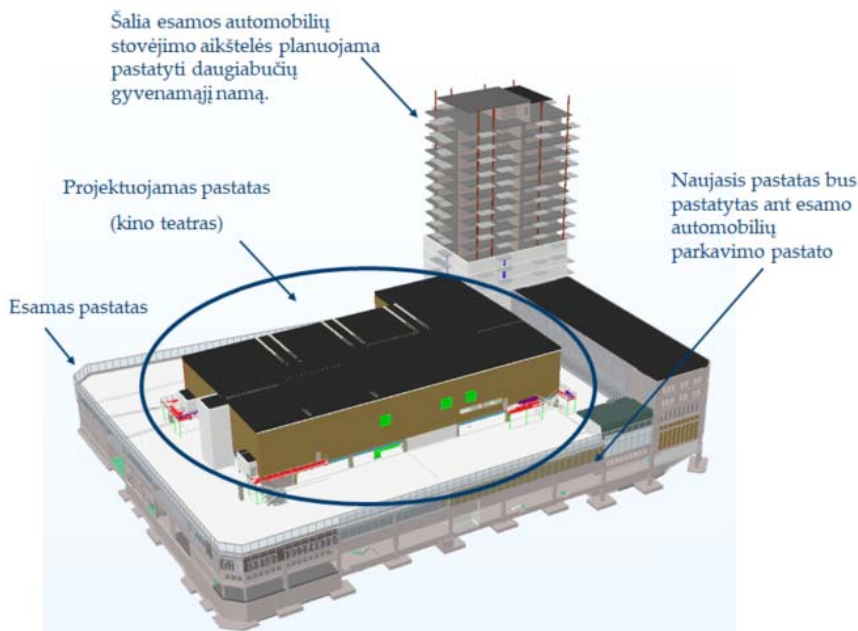
3.1. Pastato sprendinių tvarumo vertinimas integruotai taikant BIM technologijas

Antrame skyriuje pasiūlytas modelis iliustruojamas pasirenkant konkretų uždavinį – konstrukcinių sprendinių, pastato laikančiųjų konstrukcijų parinkimas atsižvelgiant į tvarumo aspektus.

3.1.1. Tiriamojo objekto aprašymas

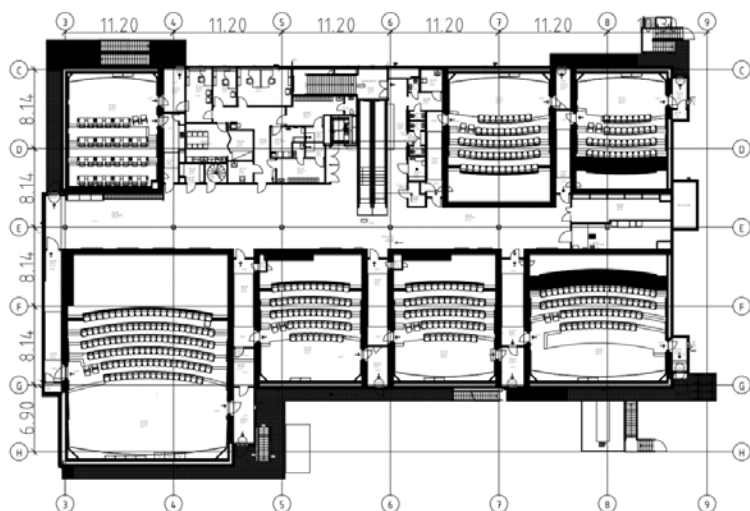
Šiame skyrelyje pateikto atvejo tyrimo tikslas – patikrinti siūlomo modelio praktinio taikymo galimybes tvaraus statinio sprendimams modeliuoti.

Šio tyrimo objektas – komercinės paskirties pastatas, pritaikytas kultūrinei paskirčiai (kino teatras). Suprojektuotame pastate yra aštuonios kino salės. Projekte numatyta, kad pastato konstrukcijos bus montuojamos ant esamo daugiaaukščio automobilių garažo (3.1 pav.). Atstumai tarp naujojo pastato ašių yra 11,2 m (3.2 pav.). Esamo pastato aukštis yra 9,5 m, o naujojo – 15,5 m. Bendras pastato aukštis – 25 m (3.3 pav.). Rekonstruojamo pastato laikančiųjų konstrukcijų išdėstymą riboja esamo pastato laikančiųjų konstrukcijų išdėstymas. Naujos laikančiosios konstrukcijos gali būti montuojamos tik esamų automobilių parkavimo pastato ašių sankirtoje. Kitaip tariant, naujai įrengtos kolonos turi būti virš automobilių stovėjimo pastato kolonų. Priešingu atveju esamo pastato konstrukcijos gali neatlaikyti lenkimo momento, kuris gali atsirasti dėl koncentruotų jėgų veikimo. Be to, projektuojamo pastato konstrukcijų masė yra ribota. Jei konstrukcijų svoris yra per didelis, automobilio stovėjimo pastato pamatai gali neatlaikyti ir atsirasti pavojingų sėdimų vietų arba deformuotis esamas pamatas.

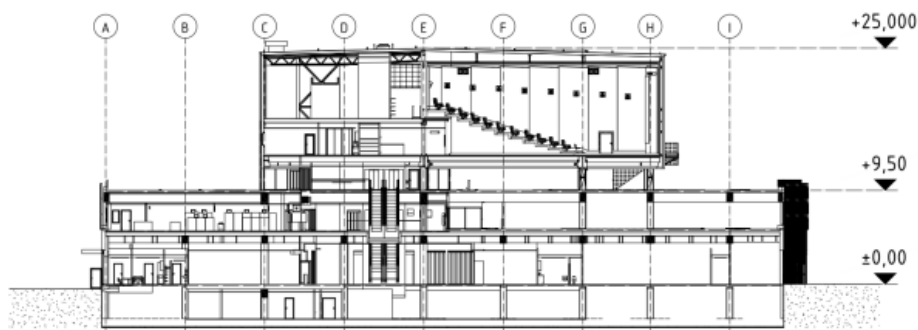


3.1 pav. Tiriamojo pastato konstrukcinis modelis

Fig. 3.1. Structural model of the research building



3.2 pav. Tiriamojo pastato statomo aukšto planas
Fig. 3.2. Floor plan of the research building under construction



3.3 pav. Tiriamojo pastato skersinis pjūvis
Fig. 3.3. Cross section of the research building

Tokiu atveju pastatas gali net sugriūti. Naujo pastato laukiami dideli tarpatai. Todėl tai daro didelę įtaką konstrukcijų pasirinkimui. Šalia esamos automobilių stovėjimo aikštelės planuojama pastatyti daugiabutį namą. Tačiau į tai nebuvo atsižvelgta, nes tyrimo objektui daugiabučio namo statyba įtakos neturės.

Formuodamas projektavimo užduotį užsakovas nurodė, kad statomas pastatas turi atitikti kultūros pastatams keliamus architektūrinius reikalavimus. Pastato

paskirtis – kino teatras, todėl kuriant alternatyvas svarbu nemažinti patalpų erdvės. Siekiant užtikrinti šią sąlygą, formuojant alternatyvas turi būti tikrinamas patalpų ploto ir tūrio rodikliai, kurie turi likti nekintami.

3.1.2. Alternatyvių konstrukcinių sprendinių aprašymas

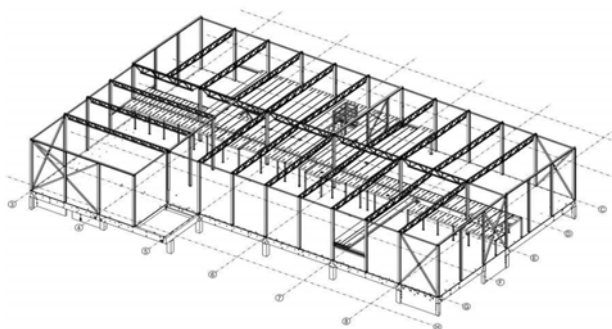
Vertinimui suformuoti šie alternatyvūs konstrukciniai sprendimai:

- A1 alternatyva. Pastato karkasas iš gelžbetoninių surenkamųjų elementų su metaliniais atraminiais elementais (3.4a pav.).
- A2 alternatyva. Surenkamieji gelžbetoniniai elementai (3.4b pav.).
- A3 alternatyva. Pastato karkasas iš monolitinio gelžbetonio (3.4c pav.).

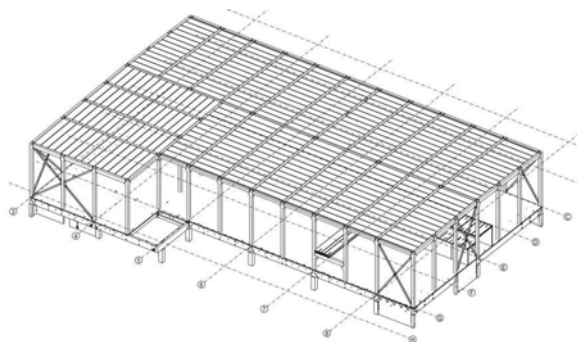
Pirmosios pastato alternatyvos laikančioji konstrukcija yra karkasas iš gelžbetoninių surenkamųjų elementų su metaliniais atraminiais elementais (3.4a pav.). Gelžbetoniniai ir metaliniai elementai, pagaminti gamyklose ir gabenami į statybų aikštelę. Elementai transportuojami nuosekliai, atsižvelgiant į montavimo procesą. Šis sprendimas išsprendžia sandėliavimo statybvietyje problemą. Kadangi nagrinėjamas objektas yra naujai pastatytas kino teatras, sumontuotas esamoje automobilių stovėjimo aikštelėje, nebus galimybės laikinai laikyti konstrukcinius elementus. Todėl geriausia konstrukcijas montuoti tiesiai iš transporto priemonės. Norint pagreitinoti pastato karkaso montavimą, konstrukcijos daromos varžtinės, o ne suvirinamosios. Stogo danga montuojama ant santvarų, kad pastate atsirastų didelės erdvės. Tokiu būdu perdengiamas daugiau nei 16 m tarpatramis.

Antroji laikančiosios konstrukcijos alternatyva yra surenkamųjų gelžbetoninių elementų rėmas (3.4b pav.). Kaip ir pirmuoju atveju, pagaminti gelžbetonio elementai iš gamyklos gabenami tiesiai į statybų aikštelę. Elementai gabenami pagal montavimo procesą. Stogo konstrukcija montuojama naudojant iš anksto įtemptus gelžbetoninius gaminius. Surenkamosios betoninės tuščiavidurių 6 m ilgio stogo plokštės dedamos ant apverstų T sijų. Tokiu būdu įveikiamas daugiau nei 16 m tarpas.

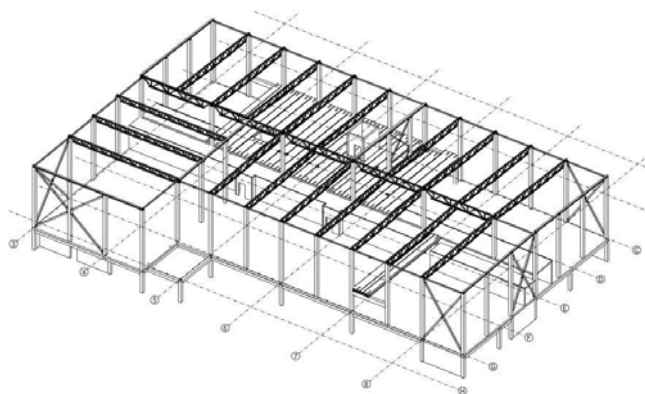
Trečioji laikančiosios konstrukcijos alternatyva yra monolitinis gelžbetoninis rėmas (3.2c pav.). Statramsčiai, bokšteliai, medinės sijos, fanera ir kiti elementai, reikalingi plokštėms betonuoti, į statybvietyje pristatomi kranu. Darbuotojai rankomis montuoja plokščių klojinius. Statybvietyje darbuotojai taip pat suriša armatūros rėmus. Betonas iš betono maišyklės pumpuojamas į klojinį. Klojiniai, naudojami sienoms ir kolonomis formuoti, montuojami naudojant kraną. Norint sukurti dideles pastato erdves, stogo konstrukcija montuojama ant santvarų. Tokiu būdu įveikiamas daugiau nei 16 m tarpatramis.



a)



b)



c)

3.4 pav. Tiriamojo pastato alternatyvūs konstrukciniai sprendimai:

a) alternatyvus A1; b) alternatyva A2; c) alternatyva A3.

Fig. 3.4. Alternative design solutions for the researched building: a) alternative A1; b) alternative A2; and c) Alternative A3

Šiame tyrime daromos šios prielaidos:

- Bendras statomo pastato svoris neturi viršyti apskaičiuoto leistinojo, nes jis bus pastatytas ant esamos automobilių stovėjimo aikštelės.
- Pastatas turi atitikti kultūros pastatams keliamus architektūrinius reikalavimus. Pastato paskirtis – kino teatras, todėl kuriant alternatyvas svarbu nemažinti patalpų erdvės. Siekiant užtikrinti šią sąlygą, rodiklių sąrašas turi būti nurodytas patalpų plotas ir tūris. Šis rodiklis nebuvo naudojamas atliekant galutinį vertinimą, nes atvejo analizės pastato projektuotojai užtikrino beveik vienodas visų alternatyvų vertes.
- Poveikio aplinkai vertinimas atliekamas tik gamybos etape. Mažos detalės ir elementai (vinys, elektrodai ir kt.) nebuvo įvertinti atliekant medžiagų kiekio analizę.

3.1.3. Rodiklių sistema alternatyvoms vertinti

Kaip buvo minėta 3.1.2 skirsnyje, šiame tyrime naudojamos tvarumo kategorijos apima aplinkos, ekonomines, technologines kategorijas. Alternatyvių konstrukcinių sprendinių tvarumo vertinimo rodiklių rinkinys pateiktas 3.1 lentelėje.

3.1 lentelė. Pasiūlyta rodiklių sistema statinio sprendinių tvarumui vertinti – atvejo analizės dalis (sukurta autoriaus)

Table 3.1. Proposed system of indicators for assessing the sustainability of building solutions, a part of a case study (elaborated by the author)

Rodiklių grupės		Mato vnt.
Konstrukciniai rodikliai		
R1	Bendrasis patalpų plotas (pastatams)	m ²
R2	Konstrukcijų svoris	t
R3	Didžiausia apkrova, didžiausio apkrovimo zonoje	kN
Ekonominiai rodikliai		
R4	Statybos darbų kaina	Eur
R5	Medžiagų kaina	Eur
Technologiniai rodikliai		
R6	Žmonių darbo sąnaudos	žm. val.
R7	Mašinų darbo sąnaudos	maš. val.
Aplinkosauginiai rodikliai		
R8	Energijos sąnaudos pastato statybai naudojamų medžiagų gamybai	MJ
R9	Visuotinio atšilimo potencialas (GPW) medžiagų gamybos etape	kg CO ₂ ekv./vnt.
R10	Ozono sluoksnio mažėjimą sukeliančių dujų emisijos (CFC-11) medžiagų gamybos etape	kg CFC-11 eq

Pasiūlyta rodiklių sistema apima ne baigtinį rodiklių, kuriuos galima būtų pasirinkti statinio sprendinių tvarumo vertinimui, skaičių. Sprendimų priėmėjas, atsižvelgdamas į statinio tipą, paskirtį ir veiklos jame keliamus tikslus, pasiūlytą rodiklių sistemą gali pakoreguoti išimdamas netinkamus arba papildydamas trūkstamais rodikliais. Pavyzdžiui, projektuojant inžinerinės infrastruktūros objektus (tiltą, kelią, viaduką, kt.) bus neaktualus rodiklis „bendras patalpų plotas“. Vietoj jo galima įtraukti kitus socialinės svarbos rodiklius, pavyzdžiui, rodiklį, vertinantį susisiekimo galimybes arba galimybes naudotis socialine infrastruktūra.

Kituose poskyriuose pateikiama konstrukcinių alternatyvų parametrų analizė ir rodiklių reikšmių apskaičiavimas.

3.1.4. Konstrukcinių sprendinių parametrinė analizė

Ekspertų grupę sudarė kvalifikuoti statybos profesionalai ir buvo nustatyti rodiklių svoriai. Daugiakriteriai pagalbos metodai SAW, ARAS ir COPRAS naudojami alternatyvoms vertinti ir racionaliems parinkti. Tarpiniai ir galutiniai rezultatai buvo analizuojami sisteminant ir grafiškai atvaizduojant apskaičiuotus duomenis. Įrankiai, metodai ir informacijos šrautai, skirti analizuoti realių atvejų kūrimą, pa-vaizduoti 3.5 paveiksle.



3.5 pav. Informacijos srautas analizuojant tiriamąjį objektą
Fig 3.5. Information flow when analyzing the research object

Modeliavimo įrankiai. Naudojantis programine įranga „Autodesk Robot Structural Analysis“ buvo išanalizuotos ir apskaičiuotos tikrojo atvejo kūrimo struktūros ir gautos apkrovos bei apskaičiuoti elementai. Pastato BIM modelis

buvo sukurtas naudojant struktūrinę BIM programinę įrangą „Tekla Structures“. Ši programinė įranga gali sudaryti visų elementų kiekių sąrašus. Naudojant šią funkciją, buvo tiksliai apskaičiuoti kiekiai (vienetai), tūriai (m^3), plotai (m^2) ir svoriai (t). Ekonominiai skaičiavimai atlikti naudojant išlaidų apskaičiavimo programinę įrangą „ProSama 5G“. Naudojant šią programą buvo sukurtas naujas kompleksas (K001) su trimis naujais objektais (gelžbetoniniai surenkamieji elementai su metaliniais guolių elementais, surenkamieji gelžbetoniniai guolių elementai ir monolitinis gelžbetonis) ir trimis sąmatomis („GB-Metal“, „GB surenkamieji „Monolitas“). Naudotų surenkamųjų konstrukcinių elementų kainos buvo nurodytos (UAB „Sistela“) kainoraštyje. Energijos suvartojimas ir poveikio aplinkai parametrai nustatyti taikant programinės įrangos paketą „SimaPro“.

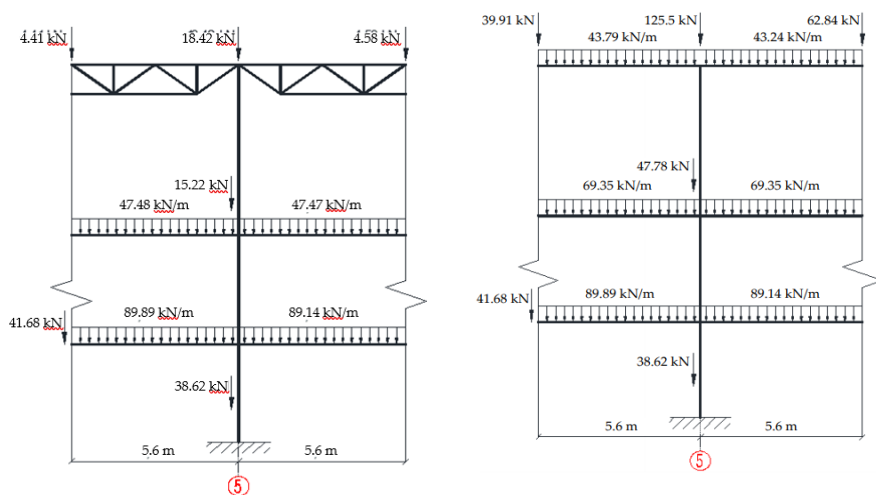
Fizikinių parametų apskaičiavimas. Naudojant „Tekla Structures“ programinę įrangą, imituotos pastato laikančiųjų konstrukcijų alternatyvos. Padedant „Tekla Structures“ buvo sugeneruoti visų elementų kiekių žiniaraščiai. Naudojant šią funkciją, buvo tiksliai įvertinti elementų kiekiai, tūriai ir masės. Kiekiai apibendrinti 3.2 lentelėje. Gelžbetonio elementų skaičius yra didžiausias A2 alternatyvos atveju ir sudaro 777 vnt. Atitinkamai šioje alternatyvoje apskaičiuotas tūris bei svoris, tūris A2 alternatyvos gelžbetonio elementų 45,36 proc. didenis už A1 ir 14,44 proc. didesnis nei A3. Elementų svoris A2 alternatyvos 45,37 proc. didesnis nei A1 ir 14,42 proc. didesnis nei A3.

3.2 lentelė. Alternatyvių konstrukcinių sprendimų fiziniai parametrai

Table 3.2. Physical parameters of alternative design solutions

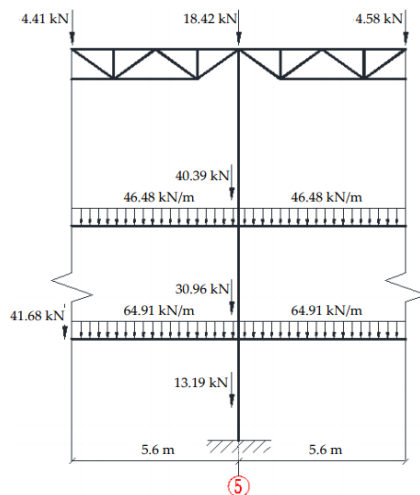
Medžiagos tipas	Elementų skaičius			Elementų tūris, m^3			Elementų svoris, t		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3	A1	A2	A3
Gelžbetonis	262	777	237	730	1336	1143	1825	3341	2859
Metalinių konstrukcijų plienas	902	519	181	16	1	5	126	7	37

Naudojant rėmo elementų masę, buvo apskaičiuota kolonų apkrova didžiausios apkrovos srityje. Didžiausia apkrova tenka kolonom, susikertančioms 5-E ašyse. Apkrovos diagramos ir apskaičiuotos apkrovos, pavaizduotos 3.6 paveiksle.



a) Apskaičiuota apkrova 1657 kN

b) Apskaičiuota apkrova 2623 kN



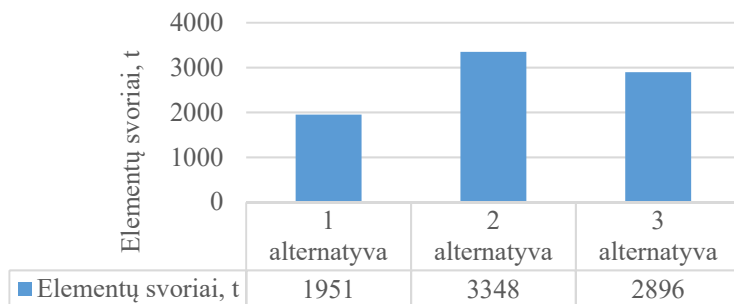
c) Apskaičiuota apkrova 1360 kN

3.6 pav. Apskaičiuotos vienos kolonos apkrovos maksimalioje apkrovos srityje:

- a) 1 alternatyva – pastato karkasas iš gelžbetoninių surenkamųjų elementų su metaliniais atraminiais elementais); b) 2 alternatyva – surenkamasis gelžbetoninis rėmas;
- c) 3 alternatyva – pastato karkasas iš monolitinio gelžbetonio

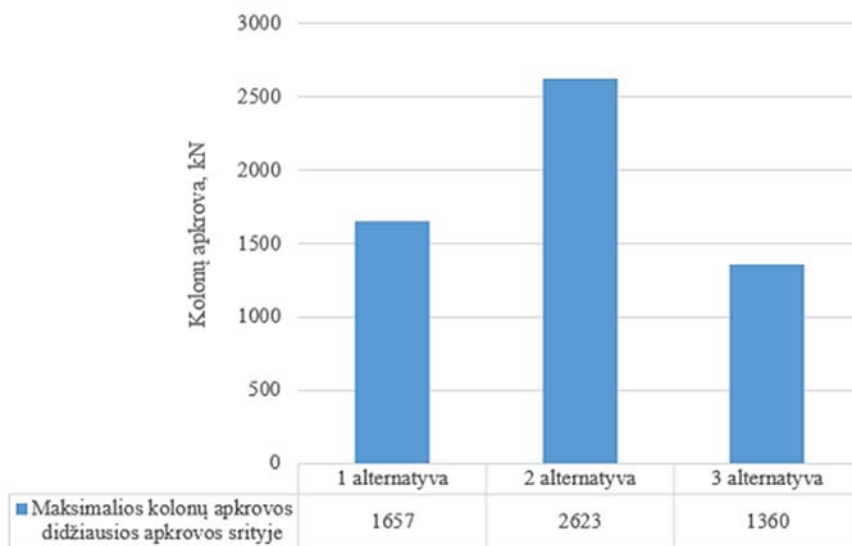
Fig. 3.6. Calculated loads of one column in the maximum load range: a) Alternative 1 – a building frame made of reinforced concrete prefabricated elements with metal support elements; b) Option 2 – prefabricated reinforced concrete frame; c) Alternative 3 – building frame made of monolithic reinforced concrete

Vertinant visą konstrukcijų svorį, pastato masė yra pirmoji alternatyva, kuri yra 42 % mažesnė, palyginti su antrąja, ir 33 % mažesnė, palyginti su trečiąja alternatyva (3.7 pav.).



3.7 pav. Alternatyvių laikančiųjų konstrukcijų svorių palyginimas, t
Fig. 3.7. Comparison of weights of alternative load-bearing structures, t

Apkrova maksimalioje apkrovos srityje pagal trečiąją alternatyvą yra 18 % mažesnė, palyginti su pirmąja, ir 48 % mažesnė, palyginti su antrąja (3.8 pav.).

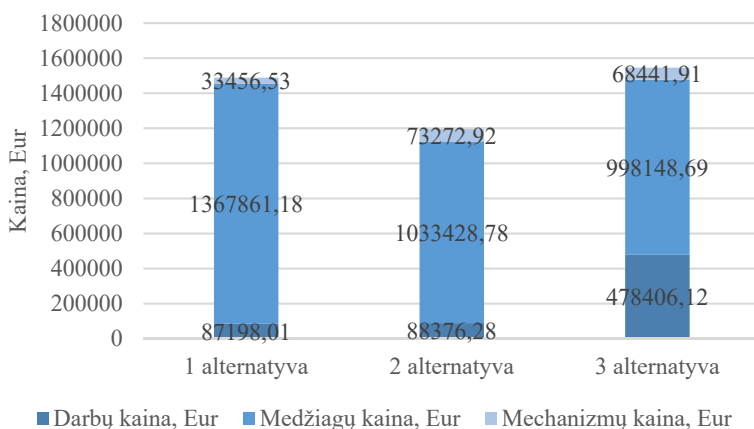


3.8 pav. Maksimalių kolonų apkrovos didžiausio apkrovos srityje palyginimas, kN
Fig. 3.8. Comparison of maximum column loads in the maximum load range, kN

3.1.5. Ekonominių rodiklių apskaičiavimas

Šiame skyriuje pateikiami alternatyvių konstrukcinių sprendimų išlaidų įvertinimai. Būtinai pradiniai duomenys – konstrukcinių elementų (vienetų) kiekiai, tūriai (m^3), plotai (m^2) ir svoriai (t) – apskaičiuojami naudojant „Tekla Structures“ programinę įrangą. Ekonominiai skaičiavimai atlikti naudojant išlaidų apskaičiavimo programinę įrangą „ProSama 5G“. Išlaidos buvo suskirstytos į tris kategorijas: darbų, medžiagų ir mechanizmų sąnaudos.

3.9 paveiksle pavaizduotas palyginimas rodo, kad pirmojoje alternatyvoje darbo kaina yra mažiausia, t. y. 1,3 % mažesnė, palyginti su antrąja, ir 82 % mažesnė, palyginti su trečiąja alternatyva. Statybinės medžiagos yra pigiausios pagal trečią alternatyvą, t. y. 27 % pigesnės, palyginti su pirmąja, ir apie 3 % pigesnės, palyginti su antrąja. Mechanizmų kaina yra mažiausia pagal pirmąją alternatyvą (a) var.), t. y. maždaug 54 % mažesnė, palyginti su antrąja (b) var.), ir 51% mažesnė, palyginti su trečiąja (c) var.). Bendra pastato karkaso montavimo kaina yra mažiausia antrai alternatyvai, jis yra pigesnis 20 %, palyginti su pirmąja alternatyva, ir 23 %, palyginti su trečiąja alternatyva.



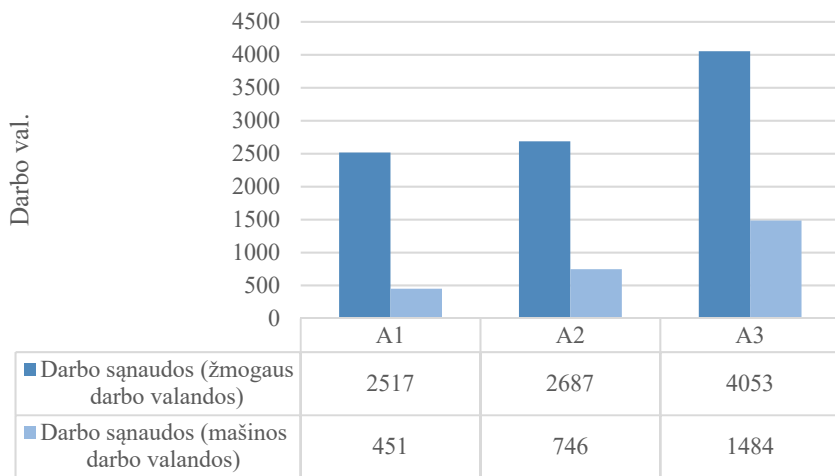
3.9 pav. Pastato karkaso montavimo išlaidų palyginimas

Fig 3.9. Comparison of building frame installation costs

3.1.6. Technologinių rodiklių apskaičiavimas

Šio tyrimo technologiniai rodikliai, išreikšti žmonių ir mašinų darbo kiekiu tam tikram darbo vienetui atlikti. Šiame tyrime statybos darbams naudojome nacionalinius norminius asmens ir mašinos valandos tarifus. Visų alternatyvų darbo laikas, išreikštas darbo valandomis ir darbo valandomis, apskaičiuojamas padauginus normines vertes iš bendros darbo apimtys.

3.10 paveiksle pavaizduotų darbo sumų palyginimas rodo, kad trečiajai alternatyvai reikalingi didžiausi, o pirmajai – mažiausiai. Pirmosios alternatyvos reikalingi žmogaus darbo kiekiai (žmogaus valandos) yra 6 % mažesni, palyginti su antruoju, ir apie 80 % mažesni, palyginti su trečiuoju. Reikalingi mašinos darbo kiekiai (mašinos valandos) taip pat yra mažiausi pagal pirmąją alternatyvą, t. y. maždaug 40 % mažesni, palyginti su antruoju, ir apie 40 % mažesni, palyginti su trečiąja alternatyva. Darbų sumos naudojamos statybos procesų trukmei įvertinti. Todėl vertinant gautus rezultatus daroma išvada, kad trečiosios alternatyvos statybos laikas būtų didžiausias.



3.10 pav. Technologinių parametrų palyginimas
Fig 3.10. Comparison of technological parameters

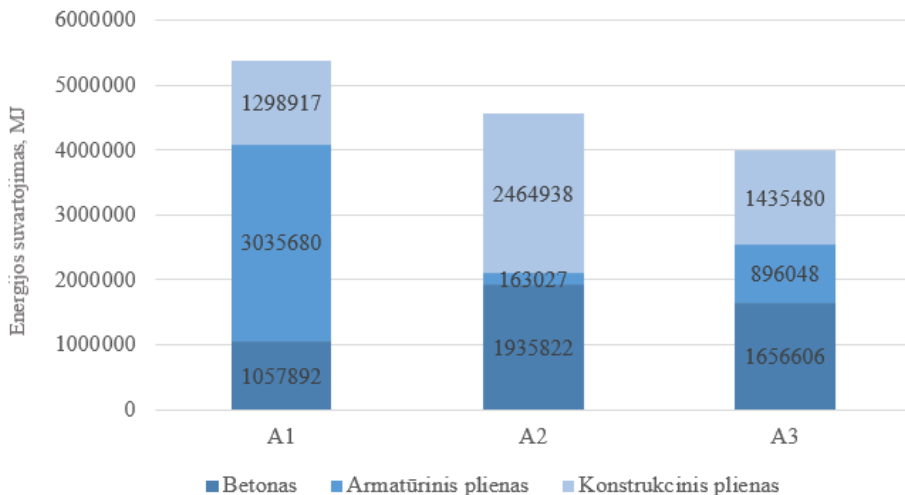
3.1.7. Poveikio aplinkai rodiklių apskaičiavimas

Poveikio aplinkai vertinimas buvo atliktas medžiagų gamybos etape. Kiekvienai alternatyvai nustatomos trys poveikio kategorijos: pirminės energijos poreikis (PE), globalinio atšilimo (GW) potencialas ir ozono sluoksnio išsekvojimas. Tyrime analizuojama pirminė energija, vartojama statybinių medžiagų gamybai, CO₂ emisija, prisidedanti prie visuotinio atšilimo, ir ozoną ardantių dujų emisija. Šiems skaičiavimams atlikti reikalingi duomenys gaunami iš „SimaPro“ programinės įrangos duomenų bazės.

Palyginus energiją, reikalingą statybinėms medžiagoms gaminti, pavaizduotą 3.11 paveiksle, matyti, kad mažiausiai sutvirtinančio plieno, reikalingo pirmajai alternatyvai, energijos, reikalingos šiai medžiagai pagaminti, yra mažiausia, t. y.

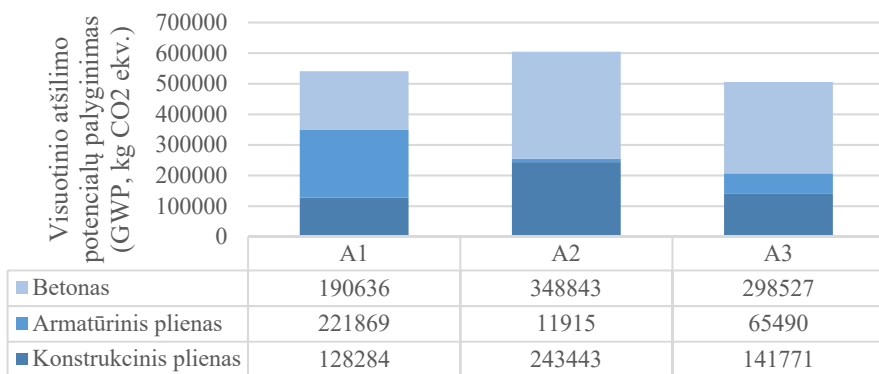
47 % mažesnė, palyginti su antrąja, ir 10 % mažesnė, palyginti su trečiąja alternatyva. Metalinių konstrukcijų plienui gaminti reikalinga energija yra mažiausia antroje alternatyvoje, t. y. 95 % mažiau, palyginti su pirmąja, ir 82 % mažiau, palyginti su trečiąja. Lyginant visas sumas, trečiąjai alternatyvai reikia mažiausiai energijos, 26 % mažiau, palyginti su pirmąja, ir 13 % mažiau, palyginti su antrąja. Visuotinio atšilimo išmetamųjų teršalų atveju (3.12 pav.) pirmąjai alternatyvai reikalingas mažiausias armatūrinio plieno kiekis, todėl šios alternatyvos CO₂ kiekis yra mažiausias, t. y. 47 % mažesnis, palyginti su antrąja, ir 10 % mažesnis, palyginti su trečiąja alternatyva. Gaminant konstrukcinį plieną išmetamo CO₂ kiekis yra mažiausias antroje alternatyvoje, t. y. 95 % mažiau, palyginti su pirmąja, ir 82 % mažiau, palyginti su trečiąja alternatyva. Pirmuoju atveju betono poveikis didėjančiam globalinio atšilimo potencialui yra mažiausias, t. y. 45 % mažiau, palyginti su antruoju, ir 36 % mažiau, palyginti su trečiuoju. Lyginant visas sumas, sukurta trečioji alternatyva mažiausiai CO₂, 7 % mažiau, palyginti su pirmuoju, ir 17 % mažiau, palyginti su antruoju.

3.12 lentelėje pavaizduoto ozono sluoksnio ardymo potencialo palyginimas rodo, kad mažiausias betono kiekis reikalingas pirmąjai alternatyvai, todėl ozoną ardančių medžiagų emisija yra mažiausia šiai alternatyvai, t. y. 45 % mažesnė, palyginti su antrąja, ir 36 % mažesnė, palyginti su trečiąja alternatyva. Struktūrinis plienas yra mažiausias antroje alternatyvoje, dėl kurios šiai alternatyvai mažiau išmetama ozoną ardančių medžiagų. Armatūros plieno ozono sluoksnio ardymo galimybės yra panašios visoms alternatyvoms.



3.11 pav. Energijos suvartojimo medžiagų gamybai palyginimas, MJ

Fig 3.11. Comparison of energy consumption for the production of materials, MJ



3.12 pav. Visuotinio atšilimo potencialų palyginimas (GWP, kg CO₂ ekv.)

Fig. 3.12. Comparison of global warming potentials (GWP, kg CO₂ eq.)

3.3 lentelė. Ozono sluoksnio ardymo potencialo palyginimas pagal alternatyvas

Table 3.3. Comparison of the ozone depletion potential by alternatives

Alternatyvos	Armatūros plienas	Metaliųjų konstrukcijų plienas	Betonas
A1	$2,04 \times 10^{-5}$	$9,73 \times 10^{-3}$	$5,57 \times 10^{-3}$
A2	$3,87 \times 10^{-5}$	$5,22 \times 10^{-4}$	$1,02 \times 10^{-2}$
A3	$2,26 \times 10^{-5}$	$2,87 \times 10^{-3}$	$8,72 \times 10^{-3}$

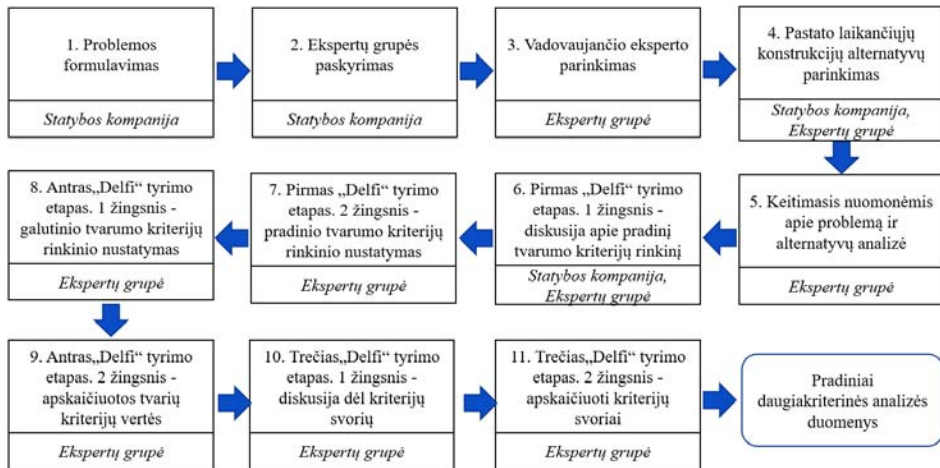
3.1.8. Ekspertų nuomonės tyrimas Delfų metodu

Siekiant pasirinkti pagrindinius rodiklius, atmesti mažiau svarbius rodiklius ir įvertinti rodiklių svorį, pritaikytas Delfų metodas. Delfų tyrimas apima daugiapakopę procedūrą, užtikrinant anonimiškumą, grįžtamąjį ryšį ir nepriklausomą ekspertų nuomonę.

Delfų metodu grįstas ekspertų nuomonės tyrimas yra iteracinis procesas, jis remiasi principu, kad struktūruotos ekspertų grupės sprendimai yra tikslesni, nei vertinant individualiai ar nestrukūruotai. Delfų metodas buvo taikomas daugelyje profesinių sričių, tokių kaip turto valdymas (Zavadskas, Turskis et al., 2017), kelių inžinerija (Radziszewski et al., 2016), sveikatos priežiūra (Kirschbaum et al., 2019), energetika (Rikonen et al., 2019), gamyba (Singh & Bhanot, 2020) ir švietimas (Al-araibi et al., 2019).

Delfų tyrimas buvo atliktas trimis etapais (3.13 pav.). Pirmą, ekspertų grupę pasirinko moderatorių – ekspertą, turintį Delfų metodo taikymo patirtį. Delfų tyrimo metu ekspertai apsikeitė nuomonėmis ir kiekvienas savarankiškai pateikė moderatoriui įvertinimus. Ekspertai turėjo užduotį nuspręsti dėl rodiklių rinkinio,

kuris turėtų būti tinkamas ir universalus taikyti kitais atvejais. Į komisiją buvo atrinkta dešimt patyrusių ir išmanančių specialistų iš statybos įmonių ir akademi-
nių institucijų (3.4 lentelė).



3.13 pav. Tyrimui pritaikyto Delfi metodo etapai
Fig. 3.13. Replication of the Delphi technique applied to the study

3.4 lentelė. Ekspertų charakteristikos

Table 2.3. Expert characteristics

Ekspertai *	Išsilavinimas	Įdarbinimo vieta ir pareigos	Patirtis (metai)
Ekspertas 1	Aukštasis	Statybos kompanija, statybos inžinierius	6
Ekspertas 2	Aukštasis	Statybos kompanija, projektų vadovas	10
Ekspertas 3	Aukštasis	Statybos kompanija, skyriaus vadovas	9
Ekspertas 4	Aukštasis	Statybos kompanija, statybos inžinierius	5
Ekspertas 5	Aukštasis	Statybos kompanija, projektų vadovas	33
Ekspertas 6	Aukštasis	Statybos kompanija, statybos inžinierius	5
Ekspertas 7	Aukštasis	Statybos kompanija, statybos inžinierius	5
Ekspertas 8	Aukštasis	Universitetas, doc. dr.	15
Ekspertas 9	Aukštasis	Universitetas, doc. dr.	10
Ekspertas 10	Aukštasis	Universitetas, doc. dr.	10

* Konfidencialumo priežastims nenurodomi ekspertų ir įmonės pavadinimai.

Reikalauta, kad ekspertai turėtų žinių ir patirties statybos inžinerijos srityje, dalyvautų tarptautiniuose projektuose ir konsultuotų statybų sektoriuje. Vertinimo proceso metu pagrindiniai atrankos rodikliai buvo tai, kad kandidatai turėjo turėti magistro kvalifikacinį laipsnį arba aukštesnį ir penkerių ar daugiau metų patirtį statybos inžinerijos srityje.

Pirmajame etape ekspertų buvo paprašyta peržiūrėti su objektu susijusius tvarumo rodiklius, atmesti mažiau aktualius ir tada nuspręsti dėl pradinio tvarumo rodiklių rinkinio tinkamumo statinio konstrukcinių alternatyvų tvarumo vertinimui. Antrajame etape ekspertų buvo paprašyta sudaryti galutinį tvarumo rodiklių sąrašą ir pateikti įžvalgų apie lyginamąją rodiklių analizę. Trečiajame etape ekspertų buvo paprašyta nuspręsti dėl rodiklių, reikalingų daugiakriterėms alternatyvoms vertinti, svorio. Kai ekspertai paskyrė rodiklių svorius, buvo tikrinamas ekspertų nuomonių suderinamumas. Eksperto vertinimo rezultatai buvo apibendrinti apskaičiuojant vertinimų vidurkį.

Ekspertams nustačius rodiklių svorį, alternatyvos buvo suranguotos taikant daugiakriterės analizės metodus.

3.1.9. Alternatyvių konstrukcinių sprendinių daugiakriterė analizė

Pradiniai daugiakriterės analizės duomenys, pavaizduoti 3.5 lentelėje, buvo gauti iš skaičiavimo analizės, aprašytos 3.5.1–3.5.4 skirsniuose.

3.5 lentelė. Pradiniai daugiakriterės analizės duomenys

Table 3.5. Initial data from a multi-criteria analysis

Rodikliai	Kryptis	A1	A2	A3	Rodiklių svoris
<i>Fiziniai rodikliai</i>					
Bendras plotas, m ²	max	2862	2851	2853	–
1. Konstrukcijų svoris, t	min	1951	3348	2896	0,112
2. Maksimali kolonų apkrova didžiausios apkrovos srityje, kN	min	1657	2623	1360	0,093
<i>Ekonominiai rodikliai</i>					
3. Darbo išlaidos, Eur	min	144 785	193 979	656 218	0,098
4. Medžiagų išlaidos, Eur	min	1 641 433	1 240 115	1 197 778	0,109
<i>Technologiniai rodikliai</i>					
5. Darbo suma, žm. valandos	min	2517	2687	12,159	0,102
6. Darbo suma, mašinų valandos	min	451	746	1487	0,076

3.5 lentelės pabaiga

Rodikliai	Kryptis	A1	A2	A3	Rodiklių svoris
<i>Aplinkos apsaugos rodikliai</i>					
7. Energijos sąnaudos medžiagų gamybai, MJ	min	5,392,186	4,563,411	5,990,901	0,130
8. Visuotinio atšilimo potencialas (GPW), kg CO ₂ ekv./vnt.	min	540,789	604,201	505,788	0,142
9. Šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimas (CFC-11), kg CFC-11 eq	min	0,0153	0,0108	0,0116	0,138

Rodiklis „Bendras plotas“ vertės yra beveik vienodos visoms alternatyvoms. Todėl šį rodiklį ekspertai pašalino iš pradinės duomenų matricos, parengtos daugiakriterių analizei.

Išanalizavus pradinius duomenis, pateiktus 3.5 skirsnyje, parodomas įvairus alternatyvų veikimas. Pavyzdžiui, pagal sąnaudų rodiklį laimi antroji alternatyva, palyginti su kitomis. Tačiau vertinant aplinkosauginį veiksmingumą ši alternatyva prarandama. Tik ekspertų nuomone pagrįstas alternatyvų vertinimas ir eiliškumas gali būti netikslus, todėl turi būti patikrintas. Tikrinimo tikslais buvo taikomi trys kelių rodiklių pagalbiniai sprendimų priėmimo metodai, naudojant 2.4, 2.5 ir 2.6 skirsniuose pateiktas (1)–(20) formules.

3.6–3.8 lentelėse pateikiamos normalizuotos svertinės rodiklių vertės ir tarpinių skaičiavimų, taikant SAW, ARAS ir COPRAS metodus, rezultatai. 3.10 lentelėje pateikiami apibendrinti skaičiavimų rezultatai, kurie rodo, kad pirmoji alternatyva laimi, palyginti su kita.

3.6 lentelė. Normalizuotų svertinių rodiklių vertės r_{ij} ir svertinių normalizuotų verčių rodiklis S_j (SAW metodas)

Table 3.6. Normalized weighted indicator values r_{ij} and weighted normalized values indicator S_j (SAW method)

Rodikliai	Alternatyvos		
	A1	A2	A3
r_1	0,113	0,066	0,076
r_2	0,076	0,048	0,092
r_3	0,097	0,072	0,021
r_4	0,079	0,104	0,108
r_5	0,102	0,096	0,021

3.6 lentelės pabaiga

Rodikliai	Alternatyvos		
	A1	A2	A3
r_6	0,075	0,045	0,023
r_7	0,113	0,133	0,101
r_8	0,133	0,119	0,142
r_9	0,097	0,138	0,128
S_j	0,884	0,821	0,713

3.7 lentelė. Normalizuotų svertinių rodiklių vertės $\hat{x}_{ij}$, kiekvienos alternatyvos optimalumo funkcijos S_i ir naudingumo laipsnio K_i vertės (ARAS metodas)

Table 3.7. The values of the normalized weighted indicators $\hat{x}_{ij}$, the values of the optimization function S_i of each alternative and the efficiency degree K_i (ARAS method)

Rodikliai	Alternatyvos		
	A1	A2	A3
$\hat{x}_1$	0,0501	0,0501	0,0292
$\hat{x}_2$	0,0393	0,0323	0,0204
$\hat{x}_3$	0,0493	0,0493	0,0368
$\hat{x}_4$	0,0401	0,0292	0,0387
$\hat{x}_5$	0,0476	0,0476	0,0446
$\hat{x}_6$	0,0393	0,0393	0,0238
$\hat{x}_7$	0,0510	0,0432	0,0510
$\hat{x}_8$	0,0512	0,0479	0,0429
$\hat{x}_9$	0,0523	0,0369	0,0523
S_i	0,420	0,376	0,340

3.8 lentelė. Normalizuotos svertinės kiekvienos alternatyvos rodiklių vertės S_{ij} ir santykinė svarba Q_j (COPRAS metodas)

Table 3.8. Normalized weighted values d_{ij} for each alternative indicator and relative importance Q_j (COPRAS method)

Rodikliai	Alternatyvos		
	A1	A2	A3
S_1	0,027	0,046	0,040
S_2	0,027	0,043	0,022
S_3	0,014	0,019	0,064

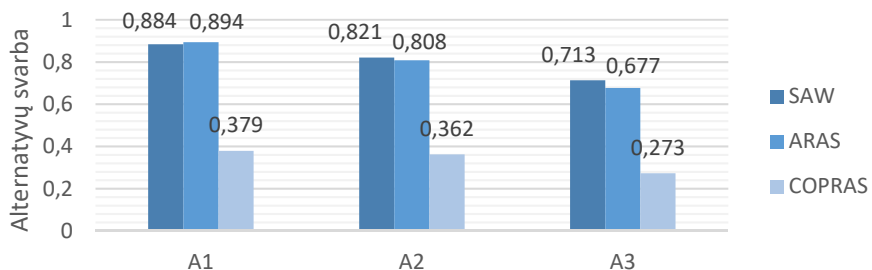
3.8 lentelės pabaiga

Rodikliai	Alternatyvos		
	A1	A2	A3
S_4	0,043	0,033	0,032
S_5	0,015	0,016	0,071
S_6	0,013	0,021	0,042
S_7	0,045	0,038	0,050
S_8	0,047	0,052	0,044
S_9	0,056	0,040	0,042
Q_j	0,379	0,362	0,273

3.9 lentelė. Daugiakriterinės analizės rezultatai**Table 3.9.** Results of a multi-criteria analysis

Metodai		A1	A2	A3
SAW rezultatas	S	0,884	0,821	0,713
SAW rangas		1	2	3
ARAS	K	0,894	0,808	0,677
ARAS rangas		1	2	3
COPRAS	Q	0,379	0,362	0,273
COPRAS rangas		1	2	3
Prioritetų rangas	R	1	2	3

Rezultatai rodo, kad SAW ir ARAS metodai suteikia panašias optimalumo funkcijų (S ir K) naudingumo laipsnių reikšmes alternatyvoms A1 ir A2 (3.14 pav.).

**3.14 pav.** Daugiakriterinės analizės rezultatų palyginimas**Fig 3.14.** Comparison of multi-criteria analysis results

Pirmuoju atveju A2 atstumas nuo A1 yra maždaug 7 %. ARAS metodo atveju A3 ir A1 rezultatai skiriasi maždaug 16 %. Pagal COPRAS metodą A3 ir A1 rezultatai skiriasi ketvirtadaliu, ir šį skirtumą galima laikyti reikšmingu. Alternatyvų racionalumo skirtumo priežastis gali būti tyrimo pradžioje padarytos prielaidos ir sprendimų priėmėjų pageidavimai, išreikšti rodikliai. Kitais atvejais, kai sprendimus priimančias asmuo nustato skirtingus tikslus, rezultatai taip pat gali skirtis.

3.1.10. Alternatyvų palyginimo rezultatų analizė

Siūlomas tvarumo analizės metodas integruoja aplinkos, technologinių ir ekonominių veiksnių analizę. Į metodą integruoti MCDA metodai, siekiant užtikrinti vertinimo patikimumą. Tyrimas atskleidė, kad ankstyvame pastato projektavimo etape alternatyvų konstrukcinių sprendimų tvarumui įvertinti yra racionalu taikant kelių rodiklių pagalbos metodus. MCDA programa leidžia investuotojui geriau įvertinti alternatyvų patrauklumą. Pagal kelių rodiklių pagalbos metodus suteikiama galimybė patobulinti sprendimų priėmimo procesą. Integruojant tris skirtingas naudingumo funkcijas, atstovaujamas taikomuose MCDA metoduose, parodome galimybes sustiprinti sprendimų priėmimo tvirtumą. Siūlomas modelis yra universalus, todėl gali būti taikomas skirtingais atvejais. Tyrimo rezultatai rodo, kad, įtraukus aplinkai nekenksmingus sprendimus, padidės projekto išlaidos. Pavyzdžiui, trečioji alternatyva yra optimali energijos vartojimo ir aplinkosaugos požiūriu, tačiau šios alternatyvos įgyvendinimo išlaidos bus 23 % didesnės nei kitų alternatyvų, o statybos darbai užtruks 79 % ilgiau nei racionalios alternatyvos.

Daugiakriterius uždavinius sprendžiant kiekybiniais daugiatiksliais metodais, atliekami deterministiniai skaičiavimai ir nevertinamas rezultatų atsitiktinumas. Skaičiuojant neatsižvelgiama į galimus pradinių duomenų netikslumus. Gautas sprendimas realybę gali atspindėti nepakankamai (Simanavičienė et al., 2011). MCDM metodais gauti rezultatai priklauso nuo kriterijų skaičiaus ir jų svorių. Galutinė prioritetų eilutė gali pasikeisti pakeitus kriterijų skaičius ir jų svorius. Norint įsitikinti, kad rezultatai yra teisingi ir gali būti praktiškai pritaikomi, būtina atlikti jautrumo analizę ir patikrinti galutinių rezultatų stabilumą reikšmingumų pokyčiui. Siekiant nustatyti, kaip kriterijų skaičius ir jų svoriai veikia rezultatus, įtraukiami papildomi kriterijai ir perskaičiuojami jų svoriai. Tirama, kaip kinta prioritetų eilė pagal rodiklių reikšmingumo reikšmių kitimą ir daroma išvada, ar skaičiavimų rezultatai yra stabilūs ir patikimi.

Įtraukiant papildomus rodiklius į sprendimų modelį, skaičiavimų rezultatai pasikeis. Pavyzdžiui, spręsto uždavinio kontekste būtų racionalu įtraukti rodiklį vertinantį statybinių atliekų (neperdirbamų) susidarymą. Tokiu atveju reikėtų perskaičiuoti rodiklių svorius.

Autoriai Marrero et al. (2021) pateikė formulę neperdirbamoms statybos ir griovimo atliekoms skaičiuoti:

$$Q_{Ri} = Q_i \times CR_i \times CC_i \times CT_i, \quad (3.1)$$

čia Q_i – medžiagos kiekis projekte, t; CR_i – pradinio elemento iššvaistytas procentas, proc.; CC_i – pradinio elemento ar gaminio vienetų perskaičiavimo į atliekų vienetus koeficientas, t, m³, kg arba vienetas; CT_i – koeficientas, kuris atsižvelgia į medžiagos i tūrio pokytį, kai ji virsta atliekomis.

Pritaikius (3.1) formulę šio tyrimo objektui – komercinės paskirties pastatui, gauti tokie rezultatai (3.10 lentelė): mažiausias neperdirbamų atliekų kiekis susidaro įgyvendinus pirmos alternatyvos sprendinius, ir yra 36,16 % mažesnis nei trečios alternatyvos ir net 45,38 % mažesnis nei antros alternatyvos.

3.10 lentelė. Statybos ir griovimo neperdirbamų atliekų kiekis

Table 3.10. Construction and demolition wastes that are not recyclable

Medžiagos tipas	Neperdirbamų atliekų kiekis Q_{Ri} , t		
Alternatyvos	A1	A2	A3
Gelžbetonis ir metalinių konstrukcijų plienas	91,25	167,05	142,95

Perskaičiavus SAW ARAS ir COPRAS metodais alternatyvas su vienodais svoriais, buvo gauti analizės rezultatai, pateikti 3.11 lentelėje. Remiantis skaičiavimo rezultatais, alternatyvų rangavimas visais trimis metodais sutampa su 3.8 lentelėje pateiktais rezultatais.

3.11 lentelė. Daugiakriterės analizės rezultatai įtraukus papildomą rodiklį

Table 3.11. Results of a multi-criteria analysis with an additional criterion

Metodai		A1	A2	A3
SAW rezultatas	S	0,904	0,774	0,674
SAW rangas		1	2	3
ARAS	K	0,914	0,760	0,639
ARAS rangas		1	2	3
COPRAS	Q	0,400	0,371	0,282
COPRAS rangas		1	2	3
Prioritetų rangas	R	1	2	3

Racionalumo reikšmių skirtumai naudotiems MCDM metodams yra SAW (2 % A1 alternatyvai, 6 % A2 alternatyvai ir 6 % A3 alternatyvai), ARAS (2 %

A1 alternatyvai, 6 % A2 alternatyvai ir 6 % A3 alternatyvai) ir COPRAS (5 % A1 alternatyvai, 2 % A2 alternatyvai ir 3 % A3 alternatyvai). Įvertinus rezultatus galima teigti, kad atsiradęs rezultatų pokytis SAW, ARAS ir COPRAS metodais prioritetinei eilutei įtakos neturės, rezultatai stabilūs reikšmingumų pokyčiui. ARAS ir COPRAS metodų skaičiavimo palyginimas aprašytas PRIEDE F.

Nurodyti tvarumo vertinimo trūkumai leido daryti išvadą, kad, norint greitai įvertinti konstrukcinių sprendinių tvarumą ankstyvaisiais projektavimo etapais, reikia greitai taikomų, paprastų ir patikimų metodų. Norint valdyti pastatų tvarumą, reikėtų apsvarstyti galimybę naudotis debesų technologijomis grįstomis BIM technologijomis, kuriose saugomi didieji duomenys. Ateityje BIM kaip perspektyvi technologija turėtų būti skatinama valdyti aplinkos tvarumą per visus statybos projekto etapus. Sprendimų priėmimo procese, pasirenkant tvarius sprendimus ankstyvame projektavimo etape, reikia taikyti papildomus metodus, kad būtų galima optimizuoti daugelio alternatyvų vertinimą. Informacijos apie pastatą modeliavimas (BIM) suteikia galimybę įvertinti skirtingas projektavimo alternatyvas konceptualiaame projekto etape. BIM taip pat padeda konstrukcijos projektuotojams lengviau pasirinkti tinkamą medžiagų tipą ankstyvojo projektavimo etape. Naudodamiesi integruotomis priemonėmis, konstrukcijų projektuotojai gali įvertinti poveikį aplinkai per visus statybos projekto etapus. Tačiau yra tam tikrų problemų, susijusių su duomenų praradimu perduodant duomenis iš vieno programinės įrangos paketo į kitą (dėl mažo programinės įrangos paketų sąveikumo). Tai yra pagrindinis apribojimas, todėl šią problemą reikia bandyti išspręsti. Atvejo analizė atskleidė, kad naujajam BIM pagrįstam požiūriui reikalingi sprendimai, leidžiantys atlikti užduotis skirtingose programinės įrangos platformose, kurios gali veikti lygiagrečiai arba nuosekliai. Būsimieji tyrimai galėtų būti sutelkti į automatinio konstrukcinių elementų pasirinkimo sprendimo formavimą, kad būtų sudarytos alternatyvios pastato laikančiosios konstrukcijos. Reikia daugiau tyrimų, daugiausia dėmesio skiriant geresnio keitimosi duomenimis tarp skirtingų programinės įrangos paketų, naudojamų vertinant kuriamus sprendinius.

3.2. BIM taikymo naudų vertinimas: atvejo tyrimas

3.2.1. Tiriamojo objekto aprašymas

Šiame skyrelyje aprašyto atvejo tyrimo tikslas atskleisti BIM technologijų naudas modeliuojant tvaraus pastato racionalius sprendimus bei pritaikyti realiaame projekte koncepcinį modelį BIM technologijų poveikiui vertinti.

Tyrimai atlikti dviem etapais:

1 etapas. Suformuluoti tyrimo tikslai ir uždaviniai, atlikta literatūros analizė, pasirinkta BIM taikymo efektyvumo vertinimo rodiklių sistema ir aprašytų rodiklių verčių nustatymo metodai.

2 etapas. Atliktas siūlomos rodiklių sistemos testavimas taikant realų statybos projektą, siekiant įvertinti taikomo BIM metodo efektyvumą.

Remiantis literatūros analize nustatyta, kad taikomi įvairūs metodai BIM naudų vertinimui, taip pat kokybiniai, kai naudos išreiškiamos verbališkai pagal nustatytas kategorijas (Succar et al., 2013, 2014), ir kiekybiniai (Kassem et al., 2020). Šio atvejo tyrime išbandyta (Succar et al., 2013, 2014) BIM naudų kokybinio metodika papildant ją dažniausiai taikomais kiekybiniais kriterijais. Tyrimo tikslas – nustatyti kokybinio vertinimo metodikos praktinį pritaikomumą. Tyrimas atskleidė, kad kokybinio vertinimo metodas neleidžia tiksliai įvertinti BIM naudas, taikant jį galimos įvairios vertinimo rezultatų interpretacijos, kurios priklauso nuo eksperto nuomonės, taip pat negaunama naudų kiekybinė vertė. Toliau pateiktas šio tyrimo aprašymas.

Atsižvelgiant į žemą organizacijos BIM brandos lygį (tyrimo momentui organizacija tik pradeda taikyti BIM projektuose) ir BIM taikymo mastą tiriamajame objekte, buvo pasirinkti BIM naudos statybos projektuose vertinimo rodikliai. Siūlomi rodikliai suskirstyti į kiekybinius ir kokybinius. Kiekybiniai rodikliai apima sąnaudų kitimą ir projekto trukmės pokytį, lyginant planuojamą ir faktinę projekto trukmę. Kokybinių rodiklių rinkinys apima BIM diegimo organizacinio masto, BIM kompetencijos detalumo lygio, BIM galimybių lygio ir BIM brandos lygio įvertinimą kaip pasiūlyta (Succar et al., 2013, 2014) metodikoje. Išsamus BIM taikymo naudų vertinimo rodiklių aprašymas pateiktas 3.12 lentelėje.

3.12 lentelė. BIM taikymo efektyvumo vertinimo rodiklių aprašymas

Table 3.12. Description of criteria for evaluating the effectiveness of BIM application

Nr.	Rodikliai	Matavimo vnt.		Apibūdinimas
1	Projekto sąnaudų pakitimas	%		$k_p = \frac{P_p - P_a}{P_p} \times 100 \%$, čia k_p – procentinis projekto išlaidų sumažinimas; P_p – planuotas projekto biudžetas; P_a – faktinis projekto biudžetas
			0	Išlaidos padidėjo
			1	Išlaidos padidėjo mažiau nei 5 %
			2	Išlaidos sumažėjo nuo 10 % iki 5 %
			3	Išlaidos sumažėjo daugiau kaip 10 %

3.12.lentelės tęsinys

Nr.	Rodikliai	Matavimo vnt.		Apibūdinimas
2	Projekto grafiko pakitimas	%		$k_t = \frac{T_p - T_a}{T_p} \times 100 \%$, čia k_t – procentinis projekto vykdymo laiko sutrumpinimas; T_p – suplanuota numatoma projekto trukmė; T_a – faktinė projekto trukmė
			0	Trukmė pailgėjo
			1	Trukmė sutrumpėjo mažiau nei 5 %
			2	Trukmė sumažėjo nuo 10 iki to 5 %
			3	Trukmė sumažėjo daugiau nei 10 %
3	Organizacinis BIM diegimo mastas	taškai		BIM metodika taikoma:
			0	(0) – BIM metodika netaikoma;
			1	(1) projekto lygis – tik dalinis BIM įgyvendinimas paskirstymui tarp vidinių projekto dalyvių;
			2	(2) padalinio lygis – tik dalinis BIM diegimas vidiniam informacijos valdymui įmonės padalinyje;
			3	(3) organizacijos lygis – BIM diegimas paskirstant tarp viso projekto dalyvių (įskaitant išorines įmones)
4	BIM kompetencijos detalumo lygis	taškai		BIM metodika taikoma:
			0	(0) galimybių studijos lygiu nustatyti ir išanalizuoti pradinės galimas alternatyvas, kad būtų pasiektas projekto ar (ir) kliento pradinis tikslas / uždaviniai;
			1	(1) vertinimo lygmeniu nustatyti efektyviausius sprendimus, atitinkančius apibrėžtą projektą ar (ir) kliento pradinius tikslus;
			2	(2) viso projekto metu aukšto lygio kompetencija rengiantis atestacijai ir kompetencijų patvirtinimas;
			3	(3) profesionalaus taikymo ir ekspertų vertinimo lygiu
5	BIM galimybių lygis	taškai		Taikoma BIM metodika:
			0	(0) BIM metodika netaikoma;
			1	(1) tik vidinėje projekto aplinkoje;
			2	(2) bendradarbiaujant su kitais projekto dalyviais (subrangovais, tiekėjais, gamintojais);
			3	(3) integruotoje duomenų sąveikos su kitomis duomenų bazėmis aplinkoje („WebBIM“)
6	BIM brandos lygis	taškai		BIM metodika, taikoma:
			0	(0) BIM netaikomas. Informacijos koordinavimas vyksta 2D brėžinių palyginimo principais.
			1	(1) Izoliuotasis BIM. Informacijos koordinavimas vyksta išgautų iš 3D modelio 2D elektroninių vaizdų ir/ arba brėžinių susiejimo principais. Būdingi ir kiti 1 BIM brandos lygio požymiai.

3.12.lentelės pabaiga

Nr.	Rodikliai	Matavimo vnt.		Apibūdinimas
			2	(2) Koordinuotasis BIM. Informacijos koordinavimas vyksta BIM modelių (paskirstytų pagal užduotis) susiejimo principais. Būdingi ir kiti 2 BIM brandos lygio požymiai.
			3	(3) Integruotasis BIM. Informacijos koordinavimas vyksta per integruotą (bendrą) statomo ar pastatyto turto duomenų modelį. Būdingi ir kiti 3 BIM brandos lygio požymiai.

3.2.2. BIM taikymo naudų vertinimo metodo pritaikymas tiriamajam objektui

Siūlomos rodiklių sistemos testavimui atvejo analizės projektas „Žalgirio 135“ Vilniuje (Lietuva) įgyvendintas taikant pasirinktą BIM metodą. Projektą sudaro trys pastatai: vienas verslo centras ir du gyvenamieji namai (3.15 pav.).



a)



b)

3.15 pav. Pastatų, pavaizduotų naudojant „BIMsight“ programinę įrangą

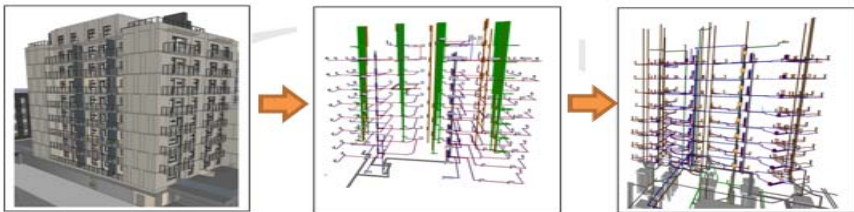
a) architektūrinis modelis ir b) reali situacija

Fig. 3.15. Buildings depicted using BIMsight software

a) architectural model and b) real situation

Bendras pastatų plotas yra 15 391 m², biurų plotas – 8400 m², o gyvenamųjų namų plotas – 6374 m². BIM metodika analizuojamame projekte buvo taikoma projektavimo ir statybos etapuose. Rengiant techninį projektą, projekto komandoje dalyvavo trys konstrukcijų inžinieriai ir vienas projekto vadovas. Rengiant išsamų objekto projektą inžinierių skaičius išaugo iki penkių.

Naudojant „BIMsight“ programinę įrangą buvo sukurti 3D modeliai architektūros, vandens / kanalizacijos ir ŠVOK projekto dalims. 3.16 paveiksle pavaizduotas 3D pastato B modelis. Klientas atliko dalinį integruoto modelio patikrinimą ir akivaizdžios klaidos buvo ištaisytos. Sisteminis modelio patikrinimas nebuvo atliktas.



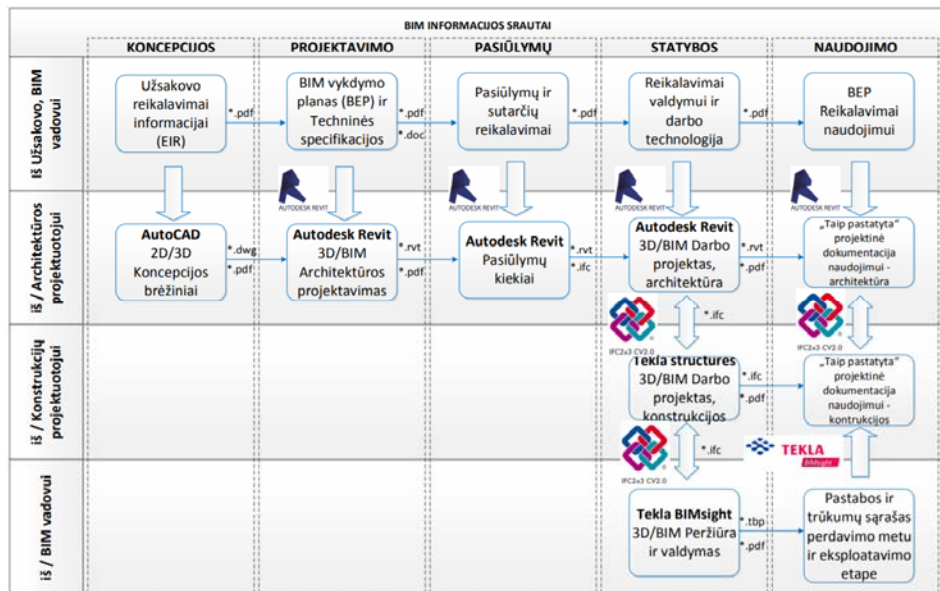
3.16 pav. B pastato ŠVOK, VN sistemų ir architektūrinis modeliai
Fig. 3.16. Building B HVAC, MS systems, and architectural models

Programinės įrangos produktai, duomenų mainų formatai ir duomenų vartotojai skirtinguose projekto etapuose pavaizduoti 3.17 paveiksle. Konceptijos etape projekto dalyviai naudojo .pdf ir .dwg formatus, kad perduotų informaciją projektavimo stadijai, o dizaineriai „AutoCAD“ programinę įrangą 3D konceptualiems brėžiniams parengti. Projektavimo etape keitimosi informacija .pdf, .doc ir .rvt formatai buvo naudojami informacijai perduoti į konkurso etapą. Rengdami 3D architektūrinius brėžinius, dizaineriai naudojo programinę įrangą „Autodesk REVIT“. Konkurso etape keitimosi duomenimis .pdf, .rvt ir .ifc formatai naudojami informacijai perkelti į statybos etapą. Statybos metu .pdf, .rvt, .ifc ir .tbp duomenų formatai buvo naudojami keičiantis duomenimis tarp projekto dalyvių ir perduodant informaciją į perdavimo etapą. Statybos metu naudojama „Autodesk REVIT“, „Tekla Structures“ ir „Tekla BIMsight“ programinė įranga. Perdavimo etape naudota „Autodesk REVIT“ programinė įranga (3.14 pav.).

Nors BIM metodo įgyvendinimas turėjo akivaizdžią naudą ir leido sutaupyti biudžetą, analizuojant procesus paaiškėjo, kad projekto komanda turėjo išspręsti kai kuriuos iššūkius keliančius klausimus.

Rengdamas projektinį projektą užsakovas padarė daug pakeitimų. Dėl to buvo pavėluota parengti darbo projektą ir pakilo planuojama projekto kaina. BIM

metodas leido atskleisti projektinių sprendimų neatitikimus, pvz., neteisingai suprojektuotas aukštis D pastato išėjime, sprendinių trūkumas įstiklintiems fasadiniams langams montuoti C pastate.



3.17 pav. Informacijos srautai ir duomenų formatai informacijai perduoti

Fig. 3.17. Information flows and data formats for the transmission of information

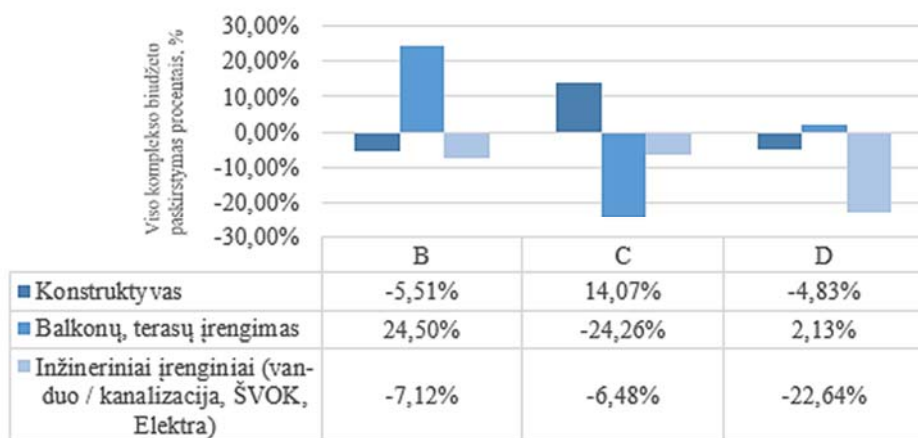
Projekto sąnaudų analizė. Galimos rizikos įvertinimas projektavimo etape, kruopštus darbų sąmatų rengimas ir panašaus darbo patirtis kituose projektuose buvo pagrindinės planuojamo biudžeto mažinimo statybose priežastys. Planuojamų biudžetų padidėjimo priežastys buvo projekto sprendimo pakeitimas statybos etape, kuris turėjo įtakos biudžeto padidėjimui, ir neteisingas darbų įvertinimas projektavimo etape. B, C ir D pastatų planuojamo ir faktinio biudžeto sumažinimas ar padidėjimas buvo apskaičiuotas kaip planuoto ir faktinio biudžeto procentinis skirtumas (žr. 3.13 lentelę).

D ir B pastatų biudžeto padidėjimo priežastys buvo pakeisti balkonų projektavimo sprendimais statybų etape. C pastato biudžeto padidėjimo priežastys buvo neteisingas antstato statybos sąnaudų įvertinimas. 3.18 paveiksle parodyta, kad antstato statybos darbų kaina buvo mažesnė nei planuota B ir D pastato dalims, t. y. atitinkamai 5,51 % ir 4,83 %, o C dalies statybos kaina padidėjo 14,07 %. Balkonų ir terasų įrengimo biudžetas buvo sutaupyta 24,26 % C pastato daliai, o B ir D pastatų biudžetas padidėjo atitinkamai 24,5 % ir 2,13 %.

3.13 lentelė. Planuojamo ir faktinio biudžeto pokyčiai**Table 3.13.** Changes in planned and actual budgets

Statybos darbų pavadinimas	Pastatai		
	D	C	B
Konstruktyvo įrengimas	4,83 % sumažėjo	14,07 % padidėjo	5,51 % sumažėjo
Balkonų, terasų įrengimas	2,13 % padidėjo	24,26 % sumažėjo	24,50 % padidėjo
Inžineriniai įrenginiai (vanduo / kanalizacija, ŠVOK, elektra)	22,64 % sumažėjo	6,48 % sumažėjo	7,12 % sumažėjo

Vidinių inžinerijos darbų kaina buvo mažesnė, nei planuota visiems trimis pastatams, atitinkamai B pastato faktinės išlaidos sumažėjo 7,12 %, C pastatui – 6,48 %, D pastatui – 22,64 %.

**3.18 pav.** Bendras planuoto ir galutinio viso komplekso biudžeto paskirstymas procentais**Fig 3.18.** Total percentage distribution of the planned and final budget of the whole complex

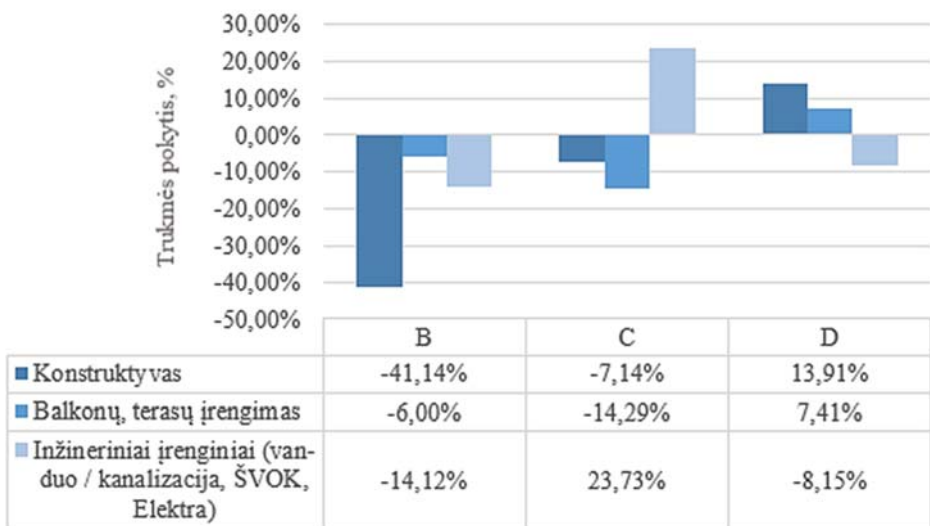
Projekto trukmės pokytis, apskaičiuotas kaip planuojamos ir faktinės B, C ir D pastatų statybos trukmės pokytis (3.14 lentelė). Pavyzdžiui, B ir C pastato dalių antstato statybos darbų trukmė sutrumpėjo atitinkamai 41,14 % ir 7,14 %, o D pastato dalies antstato statybos darbų trukmė pailgėjo 13,9 % (3.19 pav.). Pagrindinė planuojamos trukmės padidėjimo priežastis buvo projektavimo sprendimų pakeitimas statybos etape, kuris turėjo įtakos planuojamos tvarkaraščio trukmės

padidėjimui. Panašaus darbo patirtis kituose projektuose, galimos rizikos įvertinimas ir laiko rezervų įtraukimas buvo pagrindinės planuojamos trukmės statybos metu sumažėjimo priežastys.

3.14 lentelė. Planuojamos ir faktinės trukmės pokyčiai

Table 3.14. Changes in planned and actual duration

Statybos darbų pavadinimas	Pastatai		
	D	C	B
Konstruktyvo įrengimas	13,91 % padidėjo	7,14 % padidėjo	41,14 % sumažėjo
Balkonų, terasų įrengimas	7,41 % padidėjo	14,29 % sumažėjo	6,0 % sumažėjo
Inžineriniai įrenginiai (vanduo / kanalizacija, ŠVOK, elektra)	8,15 % sumažėjo	23,73 % padidėjo	14,12 % sumažėjo



3.19 pav. Bendras planuojamos ir galutinės viso komplekso trukmės pasiskirstymas procentais

Fig 3.19. Total percentage distribution of the planned and final duration of the whole complex

Organizacinis BIM diegimo mastas buvo nustatytas įvertinant BIM metodikos įgyvendinimo lygį statybų įmonėje. Pirmasis lygis nurodo situaciją, kai BIM metodika įgyvendinama tik projekto lygiu, t. y. BIM naudojama tik modeliams

paskirstyti tarp projekto dalyvių. Antrasis lygis nurodo situaciją, kai BIM metodika įdiegta vidaus informacijai valdyti įmonės padalinyje. Trečiasis lygis nurodo situaciją, kai organizacijos lygmeniu įdiegta BIM metodika – viso projekto dalyvių (įskaitant išorines įmones) taikoma BIM metodika. Nagrinėjant atvejo analizės projektą, BIM metodika buvo taikoma daugiausia projektavimo procese, kuriame dalyvavo kliento atstovai. Viso projekto dalyviai, įskaitant ir išorines įmones, taikė BIM metodiką atvejų analizės projekte. Situacija susijusi su trečiuoju BIM diegimo organizacinio masto lygiu (3) pagal siūlomą vertinimo modelį.

BIM kompetencijos detalumo lygis buvo nustatytas įvertinus BIM metodikos taikymo projekte ir įmonėje kompetencijos lygį. Pirmoji įmonė įvertino galimybes naudoti BIM kaip įmanomą alternatyvą, leidžiančią pasiekti projekto ar kliento tikslus. Antruoju lygmeniu įmonė taiko BIM metodiką ir vertina efektyviausius alternatyvius sprendimus, atitinkančius apibrėžtus projekto ar (ir) kliento tikslus. Trečiuoju lygmeniu įmonė įvertina galimybę naudoti BIM kaip aukšto lygio kompetenciją sertifikavimui. Ketvirtuoju lygmeniu įmonė profesionaliai naudoja BIM ir vertina projekto naudą ekspertų lygiu. Analizuojant atvejo analizės projektą, BIM metodika buvo naudojama galimybių studijos lygmeniu (0) pagal siūlomą vertinimo modelį. BIM įrankiai buvo naudojami peržiūroms, prieigai prie statomų objektų duomenų, galimų klaidų ir projekto koregavimų peržiūrai. Iš 3D modelio gauta informacija buvo naudojama rengiant konkursą.

BIM galimybės vertinamos trimis lygmenimis. Pirma, paprasčiausias lygmuo, kai BIM metodika taikoma tik vidaus projekto reikmėms. Antruoju lygmeniu BIM metodika buvo naudojama viso projekto dalyviams bendradarbiauti (įskaitant išorines įmones, tokias kaip subrangovai, tiekėjai ir kt.). Trečiuoju lygmeniu – BIM metodikos, pagrįstos bendro duomenų aplinkos valdymo principais, taikymas, kai duomenų mainai užtikrinami tarp visų projekto dalyvių, naudojant BIM pagrįstas duomenų bazines. Nagrinėjant atvejo analizės projektą, informacijos mainai tarp klientų atstovų (statybų komandos ir projektuotojų) buvo organizuoti naudojant vieną serverį, taip užtikrinant visos svarbios informacijos saugojimą vienoje vietoje. Subrangovai negavo 3D modelio. Jie statybvietėje naudojo popierinius brėžinius. Apibūdinta situacija susijusi su pirmuoju BIM galimybių lygmeniu (1) pagal siūlomą vertinimo modelį.

BIM brandos lygmuo buvo nustatytas įvertinus keitimąsi informacija tarp projekto dalyvių. Brandos lygmens neįmanoma įvertinti, jei projekto dalyviai duomenims perduoti naudoja popieriaus tipo dokumentus su žemu automatizavimo lygiu. Žemiausias brandos lygis reiškia situaciją, kai projekto komanda naudoja elektroniniais dokumentais (2D ir 3D) ir vietinių aplankų sistema. Šiek tiek aukštesnis brandos lygmuo nurodo situaciją, kai projekto komanda naudoja elektroniniais dokumentais (2D ir 3D) ir bendra duomenų bazę / biblioteką. Aukš-

čiausias brandos lygmuo reiškia situaciją, kai projekto komanda naudojami elektroniniais dokumentais (nD) integruotoje BIM pagrįstoje sistemoje ir užtikrina informacijos valdymą pagal reikalavimus, pagrįstus bendrais duomenų aplinkos principais. Nagrinėjant atvejo analizės projektą, architektūriniai ir kiti inžineriniai 3D modeliai buvo iš dalies papildyti informacija. Siekiant užtikrinti sklandų projektavimo duomenų perdavimą per visą technologinę gamybos grandinę tarp objekto realizavimo etapų, visi dokumentai buvo perduodama „rankomis“, t. y. projekto bylos buvo perkeltos fiziškai. Piešiniai ir kiti projektavimo dokumentai taip pat buvo dalijamasi elektroniniu paštu. Naudojami penki skirtingi duomenų formatai. Apibūdinta situacija nurodo pirmąjį BIM brandos organizacinės skalės lygmenį (1) pagal siūlomą vertinimo modelį.

3.15 lentelė. BIM naudojimo efektyvumo vertinimo rezultatai

Table 3.15. Results of the BIM efficiency assessment

Rodikliai	Projekto sąnaudų pakeitimas				Projekto grafiko pakeitimas				Organizacinis BIM diegimo mastas				BIM kompetencijos detalumo lygmuo				BIM galimybių lygmuo				BIM brandos lygmuo			
taškai	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3
Pastatas B		✓				✓				✓				✓				✓				✓		
Pastatas C	✓				✓					✓				✓				✓				✓		
Pastatas D			✓		✓					✓				✓				✓				✓		

3.2.3. BIM taikymo vertinimo rezultatų analizė

Siekiant įvertinti BIM taikymo poveikį statybos projekte, remiantis ekspertų žiniomis buvo pasiūlyti kokybiniai ir kiekybiniai vertinimo rodikliai. Rodiklių sistema apima laiko ir išlaidų svyravimų įvertinimą, organizacinį BIM diegimo mastą, BIM kompetencijos detalumo lygį, BIM galimybių lygį, BIM brandos lygį. Kokybiniams rodikliams nustatyti buvo pasiūlyti vertinimo metodai.

Atvejų analizės rezultatai rodo, kad, rengdami techninio projekto dokumentus, projekto rengėjai susidūrė su tam tikrais iššūkiais, rengiant projektą buvo atlikta daug užsakovo inicijuotų pakeitimų. Nustatyta, kad BIM technologijų taikymas padėjo sumažinti statybos proceso rizikas: šiek tiek pagerėjo keitimasis duomenimis, sumažėjo projekto trukmė ir išlaidos. Tyrimas taip pat atskleidė, kad naujausiuose moksliniuose straipsniuose trūksta vienos sistemos ar rodiklių sąrašo, kuris būtų tinkamas įvertinti BIM taikymo efektą.

Racionalų BIM technologijos pritaikymą galima rasti derinant siūlomus rodiklius su daugiakriteriais sprendimų priėmimo metodais. BIM taikymo poveikio vertinimo metodai gali padėti pasirinkti priimtinus investavimo scenarijus į BIM

metodologija pagrįstus projektus ir sudaryti prielaidas valdyti BIM diegimo pažangą.

Gavus nagrinėjamo atvejo analizės BIM taikymo efekto rezultatus ir juos palyginus su kitų autorių rezultatais pagal atliktą A priedo lentelės analizę, galima daryti išvadą, jog pasiekta BIM taikymo efekto nauda laiko ir pinigų sutaupymų atžvilgiu panaši į deklaruotą kituose šaltiniuose. Panašaus pastatų tipo atveju Wang et al. (2016) fiksavo panašius sutaupymus vykdant santechnikos (9 %) ir šildymo bei vėdinimo darbus (14 %). Azhar et al. (2011) nurodė, jog statant „Savannah State University“ pavyko sutaupyti 16,63 % nuo planuoto biudžeto. Nagrinėtas Lietuvoje atvejo projektas parodė, kad nors tam tikrų iššūkių ir buvo, tačiau BIM taikymo efektyvumo nauda buvo užfiksuota: pavyzdžiui, B ir C pastato dalių statybos darbų trukmė sutrumpėjo atitinkamai 41,14 % ir 7,14 %, antstatų statybos darbų kaina buvo mažesnė, nei planuota B ir D pastato dalims, t. y. atitinkamai 5,51 % ir 4,83 %.

BIM taikymo naudų vertinimo tyrimas parodė, kad kokybinio vertinimo metodas neleidžia tiksliai įvertinti BIM naudas, taikant jį galimos įvairios vertinimo rezultatų interpretacijos, kurios priklauso nuo eksperto nuomonės, taip pat negaunama naudų kiekybinė vertė.

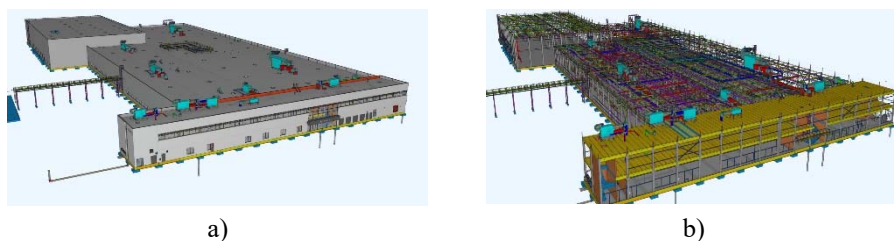
3.3. BIM naudų vertinimo skaičiuoklės aprobavimas

3.3.1. Objekto aprašymas

Nauja gamykla pastatyta Klaipėdos LEZ teritorijoje, 4,959 ha ploto sklype. Projekte (3.20 pav.) buvo numatyta gamybos ir pramonės paskirties pastatas su administracinėmis patalpomis. Projektuojamas pastatas yra dviejų aukštų, 15,5 m aukščio, jo plotas – beveik 20 tūkst. kv. m. Yra palikta galimybė išplėsti gamybos patalpas šiaurės vakarų ir pietryčių kryptimis. Sklype išilgai Pramonės gatvės suprojektuota 155 vietų lengvųjų automobilių stovėjimo aikštelė. Suprojektuotos gamyklos teritoriją numatyta aptverti 1,80 m aukščio, sekcijine, virinto tinklo tvora, nepažeidžiant sklypo ribos.

Šiam projektui vykdyti buvo taikytas „Build-to-suit“ modelis, kai užsakovui suteikiama galimybė nuomotis specialiai jo individualiems poreikiams suprojektuotas, pastatytas ir pritaikytas patalpas.

Siekiant surinkti duomenis apie projektą, remiantis autoriaus sukurta skaičiuokle (E priedas), buvo parengtas klausimynas, kurį užpildė objekto generalinis rangovas UAB „YIT Lietuva“. Pirminiai duomenys buvo renkami taip pat organizuojant interviu ir susitikimus su šios organizacijos atstovais. Iš viso įvyko 10 susitikimų. Bendra informacija apie objektą pateikta 3.16 lentelėje.



3.20 pav. „Rehau“ gamyklos modelis (modelio vizualizacijos gautos iš rangovo):

a) architektūrinis modelis ir b) inžinerinių dalių modelis

Fig. 3.20. “Rehau” factory model (model visualizations received from the contractor):

a) architectural model and b) engineering parts model

3.16 lentelė. Tiriamojo objekto „Rehau“ gamykla pagrindiniai rodikliai

Table 3.16. The main indicators of the “Rehau” plant

Bendroji informacija	
Projekto adresas – Pramonės g. 35A, Klaipėda	
Projektavimo etapo pradžia ir pabaiga (TP+DP) – nuo 2020 m. 4 mėn. iki 2021 m. 9 mėn.	
Statybos etapo pradžia ir pabaiga – nuo 2020 m. 12 mėn. iki 2021 m. 11 mėn.	
Eksploatavimo pradžios data – 2021 m. 12 mėn.	
Užsakovas – UAB INDEV	
Projektuotojai – UAB „Bendrieji statybų projektai“	
Generalinis rangovas – UAB „YIT Lietuva“	
Rodiklio pavadinimas	Kiekis
Sklypo plotas, m ²	49 590
Bendras plotas, m ²	19 275
Gamybos patalpos, m ²	12 179
Sandėlis, m ²	4617
Techninės patalpos, m ²	1164
Administracinės patalpos, m ²	1035
Rūsys, m ²	279
Aukštų skaičius, a	2
Aukštingumas, m	14,5
Automobilių statymo vietos, vnt.:	
Lengvųjų, vnt.	155
Sunkiasvorių, vnt.	10
Pastato energinė klasė	A+
BREEAM sertifikatas	VERY GOOD

Klausimyną sudarė 61 klausimas. Dalis klausimų buvo susiję su bendra informacija apie organizaciją ir jos vykdomus projektus. Sisteminant informaciją buvo nustatyta, kad organizacija ribotai viešina organizacijos ir projekto finansinius rodiklius. Organizacijai jautri informacija buvo pateikta kaip reikšmių vidurkiai arba intervalai. Pavyzdžiui, buvo pateiktas BIM specialistų vidutinis darbo užmokestis, išlaidos BIM metodologijai ir technologijoms (reikšmių intervalas). Siekiant įvertinti organizacijos BIM brandą klausimyne buvo paprašyta pažymėti BIM taikymo būdus, kuriuos organizacija taiko savo vykdomuose projektuose. Klausimyno su atsakymais fragmentas pateiktas 3.17 lentelėje.

3.17 lentelė. Klausimyno su atsakymais fragmentas

Table 3.17. Excerpt from a questionnaire with answers

Klausimas	Atsakymas
Ar jūsų organizacija turi patirties dirbant su BIM metodologija?	Taip
Jūsų organizacija BIM metodologiją taiko?	Projektavimo procese; statybos procese
Kiek praėjusiais metais jūsų įvykdytų projektų buvo naudojant BIM metodologiją?	2
Kiek praėjusiais metais jūsų įvykdytų projektų buvo naudojant BIM metodologiją?	15
Kokius BIM taikymo būdus savo projektuose taikote?	Ekonominiai/kiekių ir kainos skaičiavimai; esamų sąlygų modeliavimas; projekto etapų planavimas; sklypo analizė; funkcinis, tūrinis, planinis vertinimas; projekto vizualizavimas ir peržiūra; projektavimas / modeliavimas; energinė analizė; tvarumo vertinimas; konstrukcijų analizė ir projektavimas; apšvietimo analizė; inžinerinių sistemų analizė; 3D koordinavimas; statybvietės planavimas (statybvietės planas); statybos technologijos (technologinės schemos) ir montavimo eigos simuliacija; statybos procesų modeliavimas ir valdymas; skaitmeninė gamyba; statybos darbų techninė priežiūra; energijos sąnaudų analizė;

3.17 lentelės pabaiga

Klausimas	Atsakymas
Kokio tipo statybos projektus jūsų organizacija vykdo/vykds?	Gyvenamieji namai/daugiabučiai; komercinės paskirties/biurai; kelių projektai; infrastruktūros projektai (inžineriniai tinklai, susisiekimo komunikacijos); valstybinės reikšmės objektų statyba ir įrengimas
Ar galite nurodyti, kiek BIM projektų vykdėte (rengėte projektą ir/arba vykdėte statybą) 2021 m.?	15
Ar galite nurodyti, kiek BIM projektų planuojate vykdyti (rengti projektą ir/arba vykdyti statybą) šiais 2022 m.?	24
Ar galite nurodyti, kiek BIM projektų vykdėte (rengėte projektą ir/arba vykdėte statybą) 2020 m.?	22
Pastato paskirtis	Gamybos paskirties
Viso projekto trukmė	21 mėn.
Projektavimo trukmė	16 mėn.
Statybos trukmė	11 mėn.

3.3.2. BIM naudos ir sąnaudų analizė

BIM naudos ir sąnaudų analizė atlikta analizuojant organizacijos investicijas į BIM technologijas ir darbo metodus (sąnaudas) ir sutaupymus dėl BIM taikymo projektuose (naudas). Investicijoms ir sutaupymams vertinti buvo panaudotos matematinės išraiškos, pateiktos 2 skyriuje. Duomenys, naudoti skaičiavimams, buvo gauti iš užpildytų klausimynų. Rezultatai pateikti formuojant tris galimus scenarijus atsižvelgiant į klausimynuose pateiktus reikšmių intervalus.

3.18 lentelėje pateikti skaičiavimai pesimistinio scenarijaus BIM ekonomiam poveikiui projektui vertinti, 3.19 lentelėje pateikti skaičiavimai optimistinio scenarijaus BIM ekonomiam poveikiui projektui vertinti, 3.20 lentelėje pateikti skaičiavimai realiai tikėtino scenarijaus BIM ekonomiam poveikiui projektui vertinti.

3.18 lentelė. BIM naudos ir sąnaudų analizės rezultatai (pesimistinis scenarijus)**Table 3.18.** Economic impact of the BIM on the project (the pessimistic scenario)

BIM metodologijos išlaidų dalis nuo projekto biudžeto	100 000–300 000 Eur
BIM metodologijos sutaupymų dalis nuo projekto biudžeto	100 000–300 000 Eur
Sumažintų papildomų nenumatytų darbų vertė taikant BIM	50 000–100 000 Eur
Sutaupyto laiko vertė valdymui taikant BIM	178 Eur
Sumažintų dokumentų rengimo išlaidų vertė taikant BIM	1428 Eur
Sumažėjusi pirkimų suma nuo viso projekto taikant BIM	100 000–300 000 Eur
Sutaupytas projektavimo laikas (sutaupytas laikas projektavimo etape priimant sprendimus) taikant BIM	2142–2857 Eur
Sutaupytas projektavimo laikas (sutaupytas laikas projektavimo etape vykdam procesus) taikant BIM	1428–2142 Eur
Sutaupyto statybos laiko vertė taikant BIM	2000 Eur
Iš viso sutaupyta:	257 176–708 605 Eur
Naudos ir sąnaudų rodiklis:	2,57–2,36

3.19 lentelė. BIM naudos ir sąnaudų kaštų analizės rezultatai (optimistinis scenarijus)**Table 3.19.** Economic impact of the BIM on the project (the optimistic scenario)

BIM metodologijos išlaidų dalis nuo projekto biudžeto	200 000–600 000 Eur
BIM metodologijos sutaupymų dalis nuo projekto biudžeto	200 000–600 000 Eur
Sumažintų papildomų nenumatytų darbų vertė taikant BIM	100 000–200 000 Eur
Sutaupyto laiko vertė valdymui taikant BIM	238 Eur
Sumažintų dokumentų rengimo išlaidų vertė taikant BIM	1904 Eur
Sumažėjusi pirkimų suma nuo viso projekto taikant BIM	200 000–600 000 Eur
Sutaupytas projektavimo laikas (sutaupytas laikas projektavimo etape priimant sprendimus) taikant BIM	2857–3809 Eur
Sutaupytas projektavimo laikas (sutaupytas laikas projektavimo etape vykdam procesus) taikant BIM	1904–2857 Eur
Sutaupyto statybos laiko vertė taikant BIM	2666 Eur
Iš viso sutaupymai:	709 569–1 411 474 Eur
Naudos ir sąnaudų rodiklis:	3,54 –2,35

3.20 lentelė. BIM naudos ir sąnaudų analizės rezultatai (realiai tikėtinas scenarijus)**Table 3.20.** Economic impact of the BIM on the project (the realistic scenario)

BIM metodologijos išlaidų dalis nuo projekto biudžeto	200 000–400 000 Eur
BIM metodologijos sutaupymų dalis nuo projekto biudžeto	200 000–400 000 Eur
Sumažintų papildomų nenumatytų darbų vertė taikant BIM	75 000–125 000 Eur
Sutaupyto laiko vertė valdymui taikant BIM	208 Eur
Sumažintų dokumentų rengimo išlaidų vertė taikant BIM	1666 Eur
Sumažėjusi pirkimų suma nuo viso projekto taikant BIM	200 000–400 000 Eur
Sutaupytas projektavimo laikas (sutaupytas laikas projektavimo etape priimant sprendimus) taikant BIM	2499–3333 Eur

3.20 lentelės pabaiga

Sutaupyta projektavimo laikas (sutaupyta laikas projektavimo etape vykdamas procesus) taikant BIM	1785–2380 Eur
Sutaupyto statybos laiko vertė taikant BIM	2166 Eur
Iš viso sutaupymai:	483 324–934 753 Eur
Naudos ir sąnaudų rodiklis:	2,41–2,33

3.3.3. BIM naudų vertinimo skaičiuoklės rezultatų analizė

Atvejo analizės rezultatai parodė, kad rangovui taikant BIM metodologiją pavyko sutaupyti laiko projektavimo ir statybos metu. Rangovas taip pat nurodė, kad jam pavyko sutaupyti laiko projektavimo etape priimant sprendimus ir vykdamas procesus, pavyko sumažinti dokumentų rengimo ir valdymo išlaidas, taikant BIM metodologiją pavyko tiksliau nustatyti kainas vykdamas pirkimus, sumažinti statybos trukmę, sumažinti papildomų (nenumatytų) darbų apimtį.

Diskusijų metu su organizacijos ekspertais paaiškėjo, kad tikslinga skaidyti rodiklį – sutaupyta projektavimo laikas į dvi dalis, pateikiant rezultatus kaip sutaupyta laiką projektavimo etape priimant sprendimus ir sutaupyta laiką projektavimo etape vykdamas procesus. Atsižvelgiant į tai, pasiūlyta BIM taikymo metodika buvo pakoreguota ir rodiklio *Sutaupyto projektavimo laiko vertė dėl proceso automatizavimo* ($S_{BIM,1}$) aprašymas buvo papildytas.

Pritaikius 2 skyriuje pateiktas formules BIM naudoms vertinti buvo apskaičiuotos investicijų ir sutaupymų reikšmės optimistiniame, pesimistiniame ir realiai tikėtiniame atvejais. Nustatyta, kad naudos ir sąnaudų rodiklis svyruoja nuo 2,57 iki 2,36 pesimistinio scenarijaus, nuo 3,54 iki 2,35 optimistinio ir nuo 2,41 iki 2,33 realiai tikėtino scenarijaus atveju.

Tyrimo metu taip pat nustatyta, kad iš viso sutaupymai dėl BIM taikymo sudarė pesimistinio scenarijaus atveju nuo 257 176 iki 708 605 Eur, optimistinio scenarijaus atveju nuo 709 569 iki 1 411 474 Eur ir realiai tikėtino scenarijaus atveju nuo 483 324 iki 934 753 Eur.

Rangovas, dalyvavęs šiame tyrime, konstatavo, kad pasiūlytas BIM naudų vertinimo įrankis yra naudingas. Taip pat pabrėžia, kad, norint išnaudoti šio įrankio galimybes, organizacijoms būtina sistemingai rinkti ir kaupti BIM projektų duomenis. Dėl to, kad anksčiau organizacija nekaupė BIM naudoms vertinti reikalingų duomenų, pasiūlytos skaičiuoklės taikymas buvo ribotas. Pavyzdžiui, organizacija tyrimui negalėjo pateikti duomenų apie užklausas dėl projekto informacijos tikslinimo, statistikos apie statybos aikštelės valdymo išlaidas, defektų taisymo duomenų. Dėl to taikant skaičiuoklę skaičiavimuose nebuvo atsižvelgta į minėtus rodiklius.

3.4. Rinkos dalyvių pasirengimas taikyti BIM statybos projektuose

Statybos įmonių skaitmeninės transformacijos vizija turi tris dimensijas, tokias kaip (Nikmehr et al., 2021):

- Efektyvi statyba skirta statybos procesui paspartinti ir efektyvumui didinti. Tai galima pasiekti sutelkiant dėmesį į tokias perspektyvas, kaip statyba iš surenkamųjų elementų, dirbtinio intelekto (AR), BIM taikymas, taupi (LEAN) statyba, procesų standartizavimas, projektavimo užduočių automatizavimas.
- Vartotojo duomenimis pagrįsta sukurta aplinka daugiausia dėmesio skiria tikrų, patikimų duomenų rinkimui, pavyzdžiui, naudojant daiktų interneto (IoT) sistemas. Ši vizija reikalauja naudoti didelius duomenis, daiktų internetu pagrįstą turto valdymą, virtualiosios realybės (VR) ir 3D projektavimą, dirbtinio intelekto turto priežiūrai naudojimą, daiktų internetu pagrįstą energijos vartojimo vertinimą, tvarumo analizę.
- Verte grįstas projektavimas orientuotas į įvairių skaitmeninių projekto duomenų analizę, alternatyvų modeliavimą ir projekto sprendinių keitimą, kad jis atitiktų užsakovų reikalavimus.

Siekiant įvertinti pastatų informacijos modeliavimo (BIM) taikymo mastą tarp pagrindinių suinteresuotųjų šalių bei jų požiūrį į BIM naudojimo pranašumus, kliūtis ir galimybes, buvo atliktos dvi apklauso: užsakovų (viešojo turto valdytojų) apklausa bei viešosios administracijos, specialistų (inžinierių / architektų), technikų (montuotojų / prižiūrėtojų), nuomininkų / savininkų / pastatų administratorių. Buvo tiriama požiūris ir suvokimas apie BIM naudojimą. Šioje apklausoje dalyvavo 25 organizacijos. Šio tyrimo tikslas – įvertinti pastatų informacijos modeliavimo (BIM) kaip įrankio ir energijos efektyvumo taikymo proceso įgyvendinimą tarp pagrindinių suinteresuotųjų šalių, siekiant suprasti dabartinį BIM naudojimą, BIM naudojimo pranašumus, BIM naudojimo kliūtis, taip pat galimą panaudojimą ateityje. Apklausos rezultatai padėjo nustatyti esamą situaciją Lietuvoje ir papildyti apžvalginę dalį pirminiais duomenimis. Apklausų rezultatai pateikti C priede.

67 % atsakymų, gautų iš savivaldybių atstovų, liko 33 % atsakymų, gautų iš kitų viešųjų įstaigų, pavyzdžiui, bendrovių, veikiančių kaip pastatų administratoriai ar pastatų valdytojai. Dauguma respondentų (42 %) eina inžinierių pareigas, 21 % eina vadovaujančiasias pareigas, mažiausiai respondentų nurodė dirbantys advokatais, projektų vadovais, architektais. Dauguma respondentų dirba savo kompetencijos srityje ilgiau nei 5 metus (1 pav.). Dažniausiai įgyvendinami projektai, kurių vertė neviršija milijono eurų (2 pav.), apima gyvenamuosius (25 proc.) ir infrastruktūros (32 proc.) projektus.

Apklaustos įmonės ir organizacijos naudoja ar valdo daugiausia valstybei priklausančius pastatus (3 pav.). Remiantis jų atsakymais, dabartiniai duomenys apie pastatus (ar jų dalis) yra vidutiniškai tikslūs (38 %) arba labai netikslūs (28 %) (4 pav.).

Daugiau nei pusė apklaustų įmonių ir organizacijų (56 %) nei veiklos, nei valdymo grupėse neturi asmens, atsakingo už pastato ir jo komponentų archyvuotų duomenų priežiūrą ir atnaujinimą (5 pav.). Tik 11 % apklaustų įmonių ir organizacijų duomenims tvarkyti ir analizuoti naudoja BIM įrankius ir metodiką. Nors dauguma respondentų (44 proc.) šiuo metu nenaudoja BIM įrankių tvarkdami duomenis, kai kurie išreiškė norą naudoti (6 proc.) ir mano, kad tai yra gera idėja naudoti ateityje (39 proc.) (6 pav.). Tiek pat respondentų teigė, kad yra labai didelė tikimybė, kad jų įmonė / organizacija ateityje naudos BIM (9 %) ir kad BIM visai nenaudos (9 %) (7 pav.). Tačiau dauguma respondentų (55 proc.) mano, kad jų įmonė / organizacija ateityje naudos BIM. Tik keturios organizacijos naudoja BIM, trys iš jų naudoja BIM įrankius analizuodamos modelius, tačiau nekuria savo modelių, o viena iš jų kuria ir analizuoja informacinius pastatus (8 pav.).

Nors dauguma respondentų (64 proc.) teigė žinantys apie BIM metodą (9 pav.), 83 proc. jų nėra girdėję apie Statybos operacijų pastatų informacijos mainų standartą (COBie) (10 pav.). Pusė respondentų mano, kad diegimo išlaidos, susijusios su BIM (pvz., techninės įrangos, programinės įrangos ir darbuotojų mokymu), yra didesnės už BIM teikiamą naudą (11 pav.). Nepaisant minėto fakto, dauguma jų mano, kad BIM įgyvendinimas duoda specifinę naudą. Pvz., 80 proc. mano, kad BIM įgyvendinimas padidina produktyvumą (12 pav.). Visi respondentai mano, kad plačiai pritaikius BIM bus lengviau sumažinti išlaidas ir klaidų skaičių (13 pav.). Dauguma respondentų (80 proc.) mano, kad sėkmingai pritaikius BIM, tikimasi naujo bendradarbiavimo ir keitimosi informacija būdo (14 pav.).

Kaip BIM diegimo kliūtis respondentai minėjo:

- Žinių trūkumas iš esmės suprantant BIM pranašumus.
- Įgyvendinimo išlaidos (programinės ir techninės įrangos atnaujinimas, BIM specialistų mokymas).
- Užsakovai (viešojo turto valdytojai) nesuvokia BIM vertės.
- Užsakovai (viešojo turto valdytojai) nereikalauja naudoti BIM; tai nėra reikalinga statybų procese.

Respondentai taip pat pastebėjo, kad ministerijų (atsakingų už pastatų energijos vartojimo efektyvumą) įsakymai, kuriuose privaloma naudoti BIM su energijos vartojimo efektyvumu susijusiuose projektuose, paskatins jį greičiau priimti organizacijose. Nepaisant to, dauguma respondentų numato, kad įmonės ir organizacijos gali atsilikti, jei nepakankamai greitai įsisavins BIM.

Buvo tiriamas požiūris ir suvokimas apie BIM naudojimą tvarkant duomenis. Analizuotos keturios tikslinės grupės, atsižvelgiant į jų vaidmenį statant procesus,

t. y. viešojo turto valdytojai, specialistai (inžinieriai / architektai), technikai (montuotojai), prižiūrėtojai, nuomininkai / savininkai / pastato administratorius. Šiame darbe pateikiami dviejų grupių tyrimo (specialistų ir viešojo administravimo institucijų, įskaitant nuomininkus, savininkus ir pastatų administratorius) rezultatai. Šioje apklausoje dalyvavo 84 organizacijos.

Pirmajame daugelio diskusijų etape ekspertai pasirinko konkrečius socialinių, asmeninių ir valdymo įgūdžių rinkinius, taip pat profesines kompetencijas, susijusias su BIM. Šie rinkiniai buvo įtraukti į apklausą ir išdalyti tikslinių grupių atstovams iš kiekvienos projekte dalyvavusios bendruomenės.

67 % viešojo administravimo institucijų, nuomininkų / savininkų / pastatų administratorių grupuoja atsakymus iš savivaldybių atstovų, o likę 33 % atsakymų, gautų iš kitų viešųjų įstaigų, pavyzdžiui, bendrovių, veikiančių kaip pastatų administratoriai ar pastatų valdytojai. Dauguma respondentų iš viešojo administravimo institucijų, nuomininkų / savininkų / pastatų administratorių grupės (42 %) užima inžinieriaus pareigas, 21 % eina vadovaujančiąsias pareigas, mažiausiai respondentų nurodė dirbantys advokatais, projektų vadovais, architektais ir statybos vadovais. Dauguma respondentų iš profesionalų grupės (26 %) užima projekto dalies / projekto vadovo pareigas, 22 % užima dizainerio pareigas, mažiausiai respondentų nurodė, kad dirba statybos vadovais, projekto vadovais, BIM specialistais, BIM vadovais, techniniais prižiūrėtojais.

Dauguma viešojo administravimo institucijų, nuomininkų / savininkų / pastatų administratorių savo kompetencijos srityje dirba daugiau nei 10–20 metų (žr. 1 pav.). Dažniausiai įgyvendinami projektai, kurių vertė siekia 50 000 tūkst. eurų (žr. 2 pav.), apima gyvenamuosius (25 proc.) ir infrastruktūros (32 proc.) projektus. Dauguma iš savo srityje daugiau nei 5–10 metų dirbančių specialistų grupės.

Kalbinta viešojo administravimo grupė, nuomininkai / savininkai / pastatų administratoriai naudoja ar valdo daugiausia valstybei priklausančius pastatus, profesionalai naudoja ar valdo daugiausia tiek valstybinius, tiek privačius (žr. 3 pav.). Remiantis jų atsakymais, dabartiniai duomenys apie pastatus (ar jų dalis) yra vidutiniškai tikslūs (38 %) arba labai netikslūs (28 %) (žr. 4 pav.).

Daugiau nei pusė apklaustų įmonių ir organizacijų (54 proc. viešojo administravimo institucijų ir 73 proc. specialistų) nei operacinėse, nei valdymo grupėse neturi asmens, kuris būtų atsakingas už pastato ir jo archyvuotų duomenų priežiūrą ir atnaujinimą. komponentai (žr. 5 paveikslą).

Tik 11 % apklaustų viešojo administravimo institucijų naudoja duomenų tvarkymo ir analizės BIM įrankius ir metodiką. Nors dauguma respondentų (44 %) šiuo metu nenaudoja BIM įrankių tvarkydami duomenis, kai kurie išreiškė norą naudoti (6 %) ir liko manantys, kad tai yra gera idėja naudoti ateityje (39 %) (žr. 6 pav.). Teik pat respondentų atsakė, kad yra labai didelė tikimybė, kad jų organizacija ateityje naudos BIM (48 proc.) ir kad visai nenaudos BIM (4 proc.)

(7 pav.). Dauguma organizacijų naudoja BIM įrankius tik analizuodami modelius, tačiau patys nesukuria savo modelių (žr. 8 pav.).

Nors dauguma respondentų (74 proc.) pareiškė, kad žino apie BIM metodologiją (žr. 9 pav.), 81 proc. jų nėra girdėję apie pastato operacijų informacijos mainus (COBie) (žr. 10 pav.). Pusė respondentų mano, kad diegimo išlaidos, susijusios su BIM (pvz., techninės įrangos, programinės įrangos ir darbuotojų mokymai), yra didesnės už BIM teikiamą naudą (žr. 11 pav.). Nepaisant minėto fakto, dauguma jų mano, kad BIM įgyvendinimas duoda specifinę naudą. Pavyzdžiui, 80 proc. mano, kad BIM įgyvendinimas padidina produktyvumą (žr. 12 pav.). Visi respondentai mano, kad plačiai pritaikius BIM bus lengviau sumažinti išlaidas ir klaidų skaičių (žr. 13 pav.). Dauguma respondentų (80 proc.) mano, kad sėkmingai pritaikius BIM, tikimasi naujo bendradarbiavimo ir keitimosi informacija būdo (žr. 14 pav.).

Respondentai taip pat pažymėjo BIM diegimo kliūtis. Kaip pagrindinės kliūtys paminėtos:

- Žinių trūkumai iš esmės suprantant BIM privalumus.
- Diegimo išlaidos (įskaitant programinės įrangos atnaujinimą, darbuotojų mokymą).
- Klientai nereikalauja naudoti BIM dėl to, kad klientai nesuvokia BIM vertės, ir todėl, kad tai nėra reikalinga statybų procese.

Respondentai pažymėjo, kad, norint sumažinti žinių spragas, reikalingi praktiniai mokymai. Be to, daugiau nei 80 % respondentų pažymėjo, kad BIM kompetencijų atestavimas bus naudingas statybos sektoriaus atstovams. Respondentai taip pat pastebėjo, kad ministerijų užsakymai, kuriuose privaloma naudoti BIM su energijos vartojimo efektyvumu susijusiuose projektuose, paskatins jį greičiau priimti organizacijose. Nepaisant to, dauguma respondentų numato, kad įmonės ir organizacijos liks už nugaros ir stengsis išgyventi, jei nepakankamai greitai įsisavins BIM.

Apklauskos rezultatai atskleidė, kad, nepaisant didelių su BIM susijusių diegimo išlaidų, dauguma klientų ir specialistų mano, kad įgyvendinant BIM gaunama specifinė nauda, pvz., padidėja darbo našumas. Visi respondentai mano, kad plačiai pritaikius BIM, bus lengviau sumažinti išlaidas ir klaidas. Dauguma respondentų mano, kad sėkmingai pritaikius BIM, tikimasi naujo bendradarbiavimo ir keitimosi informacija būdo.

Apklauskos atskleidė, kad tyrimai BIM žinių ir įgūdžių tema yra svarbi sritis, patvirtinanti efektyvaus BIM duomenų tvarkymo svarbą. Yra dar daug iššūkių integruojant skirtingas informacijos valdymo technologijas, trūksta klasifikavimo įrankių ir kt.

Atlikus literatūros šaltinių analizę nustatyta, kad rinkoje jau egzistuoja priemonių ir įgūdžių, reikalingų sėkmingam BIM technologijų taikymui, nors yra

įvairių iššūkių, susijusių su skirtingų disciplinų žinių ir programinės įrangos veikimo integravimu. Taip pat labai svarbiam projekto dalyviui – užsakovui (turto valdytojui) – vis dar trūksta žinių ir įgūdžių, reikalingų sėkmingam BIM projekto valdymui. Nustatyta, kad atsiranda poreikis standartizuoti BIM darbo praktiką ir ją aprašyti, nes taikant BIM metodologiją intensyvėja bendradarbiavimas tarp skirtingų disciplinų, pasikeičia darbo metodai. Nors yra daugybė BIM vadovų ir standartų, apžvelgtų šaltinių autoriai pažymi, kad darbo metodų standartizacija dar yra menka.

3.5. Trečiojo skyriaus išvados

1. Disertacijoje pasiūlytas modelis ir rodiklių sistema aprobuoti realiam statybos projekte parenkant statinio tvarius konstrukcinius sprendinius, integruotai taikant BIM įrankius ir MCDM metodus. Pasiūlyto modelio išskirtinumas yra jo lankstumas ir pritaikomumas. Į modelį integruoti MCDA metodai ir BIM įrankiai užtikrina, kad vertinimas būtų patikimas. Pasiūlytas koncepcinis modelis gali būti tikslinamas, atsižvelgiant į projektuojamo pastato tipą, naudojimo paskirtį ir užsakovo tikslus. Taip pat šį modelį galima taikyti viso pastato ir atskirų jo sprendinių tvarumui vertinti.
2. Disertacijoje pasiūlytos BIM investicijų ir BIM taikymo poveikio vertinimo rodiklių sistemos gali būti taikomos BIM technologijų taikymo projektuose poveikiui vertinti ir siekiant išmatuoti pasiekimus, nustatyti problemines sritis, laiku pastebėti ir pašalinti kylančias problemas. Sistema sujungia investicijų į BIM technologijas vertinimą ir BIM poveikio (efekto) vertinimą. Modelio aprašyme pateiktos matematinės išraiškos BIM technologijų poveikiui statybos projekte vertinti. Naudojant BIM naudų vertinimo sistemos modelį galima atlikti BIM poveikio vertinimą atskiruose projektuose ir organizacijos lygmeniu. Metodika pritaikyta realiam statybos projekte, adaptuojant ją šio projekto poreikiams.
3. Išbandžius sukurtą BIM naudų vertinimo skaičiuoklės prototipą nustatyta, kad jos pagalba organizacija gali atlikti BIM naudos ir sąnaudų analizę. Taip pat organizacija gali susisteminti duomenis apie investicijas į BIM technologijas ir darbo metodus (sąnaudas) bei sutaupymus dėl BIM taikymo projektuose.
4. Atliekant investicijų į BIM technologijas vertinimą taikomų rodiklių pasirinkimas priklauso nuo projektavimo ir /ar statybos įmonės BIM

brandos lygio ir įmonės taikomų BIM įgalintojų. Pasiūlyti BIM poveikio vertinimo metodai geriausiai būtų aprobuoti aukščiausio BIM brandos lygio projektavimo ir statybos organizacijose, tačiau šiuo metu Lietuvoje dar tik kuriama BIM technologijas reglamentuojančių dokumentų sistema. BIM technologijos ir darbo metodai taikomi, tačiau sunku įvertinti jų brandą, nes nėra patvirtintos BIM brandos vertinimo metodikos. BIM brandos lygio ir įmonės planuojamų taikyti BIM įgalintojų poveikiui investicijoms įvertinti reikalingas atskiras tyrimas, įtraukiant statybos sektoriaus organizacijas. Siekiant tikslesnių rezultatų, rekomenduojama įtraukti didesnę skaičių skirtingo tipo organizacijų.

Bendrosios išvados

1. Įsigaliojus prievolei viešųjų statinių statybai taikyti informacinį modeliavimą, užsakovai savo sprendimus turi priimti atsižvelgdami į naujus su BIM taikymo prievole susijusius reikalavimus ir derinti juos su tvarios plėtros uždaviniais. Prisitaikant prie rinkoje vykstančių pokyčių projektavimo ir statybos įmonės turi keisti darbo metodus, adaptuoti organizacinius procesus. Šie pokyčiai reikalauja investicijų ir naujų žinių naudojimo. Tačiau, kaip atskleidė disertacijos rengimo metu atlikti tyrimai, statybos organizacijoms ir turto valdytojams trūksta žinių ir priemonių, kurios palengvintų BIM technologijų diegimą ir taikymą. Taip pat atliktų mokslinių tyrimų apžvalgos rezultatai atskleidė, kad šiuo metu nėra metodų, kurie įgalintų BIM taikymo poveikio organizacijos veiklai vertinimą. Atliepiant nustatytų tyrimų poreikį disertacijoje pasiūlyti keli nauji rezultatai.

2. Atliktų mokslinių tyrimų analizės rezultatai atskleidė, kad BIM taikymo poveikio organizacijos veiklai vertinimo, įtraukiant tvarumo aspektus, tyrimams trūksta sisteminio požiūrio. Atsižvelgiant į BIM metodologijos pagrindų vykdymą statybos projektų daugialypiškumą ir į tai, kad sprendimų priėmėjai (užsakovas, projekto vystytojas, projektuotojas) statybos projekto etapuose turi spręsti daugiakriterius uždavinius, derindami juos su tvarios plėtros siekiais, disertacijoje pasiūlytas originalus koncepcinis modelis BIM technologijų poveikiui vertinti ir tvaraus statinio racionaliems sprendimams modeliuoti. Šiam tikslui taip pat pasiū-

lyta originali statinio projekto sprendinių tvarumo vertinimo 10-ies rodiklių sistema, kurią galima taikyti ankstyvojoje statinio projektavimo stadijoje. Sukurtas koncepcinis modelis integruoja aplinkos, technologinius ir ekonominius rodiklius, daugiakriterius sprendimų bei statinio informacinio modeliavimo metodus. Pasiūlytas koncepcinis modelis gali palengvinti tvaraus statinio kūrimo sprendinių modeliavimą integruotai taikant tvarumo rodiklius, daugiakriterius sprendimus ir BIM technologijas.

3. Pasiūlytas modelis ir 10-ies rodiklių sistema aprobuoti realiame statybos projekte parenkant statinio tvarius konstrukcinius sprendinius integruotai taikant BIM įrankius ir MCDM metodus. Pasiūlyto modelio išskirtinumas yra jo lankstumas ir pritaikomumas. Į modelį integruoti MCDA metodai ir BIM įrankiai užtikrina, kad vertinimas būtų patikimas. Pasiūlytas koncepcinis modelis gali būti tikslinamas, atsižvelgiant į projektuojamo pastato tipą, naudojimo paskirtį ir užsakovo tikslus. Taip pat šį modelį galima taikyti viso pastato ir atskirų jo sprendinių tvarumui vertinti.

4. Išnagrinėjus tris konstrukcines alternatyvas nustatyta, kad tvarumo požiūriu racionali alternatyva yra A1, kai pastato karkasas projektuojamas iš gelžbetoninių surenkamųjų elementų su metaliniais atraminiais elementais. Visuotinio atšilimo išmetamųjų teršalų analizės atveju pirmajai alternatyvai reikalingas mažiausias armatūrinio plieno kiekis, todėl šios alternatyvos CO₂ kiekis yra mažiausias, t. y. 47 % mažesnis, palyginti su antrąja ir 10 % mažesnis, palyginti su trečiąja alternatyva. Įgyvendinus pirmos alternatyvos sprendinius susidaro mažiausias neperdirbamų atliekų kiekis, t. y. 36,16 % mažesnis nei trečios alternatyvos ir net 45,38 % mažesnis nei antros alternatyvos. Šis rezultatas patvirtina ir kitų autorių (Jaillon et al., 2009, Begum et al., 2010, Mah et al., 2018, Lu et al., 2021) atliktų tyrimų išvadas dėl surenkamosios gamybos potencialo mažinti susidarančių atliekų kiekį. Tyrimo rezultatai taip pat rodo, kad, įtraukus aplinkai nekenksmingus sprendimus, padidėja projekto išlaidos. Pavyzdžiui, trečioji alternatyva yra optimali energijos vartojimo požiūriu, tačiau šios alternatyvos įgyvendinimo išlaidos yra 23 % didesnės nei kitų alternatyvų, o statybos darbai užtruks 79 % ilgiau nei racionalios alternatyvos.

5. Pagal projekto etapus, BIM taikymo atvejus ir būdus suklasifikuotos 122 galimos BIM taikymo naudos. Sukurta BIM taikymo poveikio vertinimo rodiklių sistema gali būti taikoma BIM technologijų taikymo projektuose poveikiui vertinti ir siekiant išmatuoti pasiekimus, nustatyti problemines sritis, laiku pastebėti ir pašalinti kylančias problemas. Sistema sujungia investicijų į BIM technologijas vertinimą ir BIM poveikio (efekto) vertinimą. Modelio aprašyme pateiktos matematinės išraiškos BIM technologijų poveikiui statybos projekte vertinti. Naudojant BIM naudų vertinimo sistemos modelį galima atlikti BIM poveikio vertinimą atskiruose projektuose ir organizacijos lygmeniu. Metodika yra pritaikyta realiame statybos projekte, adaptuojant ją šio projekto poreikiams.

6. Pritaikius 2 skyriuje pateiktas formules BIM naudoms vertinti buvo atliktas atvejo tyrimas ir BIM projektui paskaičiuotos investicijų ir sutaupymų reikšmės optimistiniam, pesimistiniam ir realiai tikėtinam atvejams. Organizacijai jautri informacija buvo pateikta kaip reikšmių vidurkiai arba intervalai, todėl ir rezultatuose buvo gautos intervalinės reikšmės. Pesimistinio scenarijaus atvejo naudos ir sąnaudų rodiklio reikšmė svyruoja nuo 2,57 iki 2,36, optimistinio – nuo 3,54 iki 2,35 ir realiai tikėtino – nuo 2,41 iki 2,33. Tyrimo metu taip pat nustatyta, kad dėl BIM taikymo projektavimo ir statybos etapuose galima sutaupyti pesimistinio scenarijaus atveju nuo 257 176 iki 708 605 Eur, optimistinio – nuo 709 569 iki 1 411 474 Eur ir realiai tikėtino – nuo 483 324 iki 934 753 Eur.

7. Atliekant investicijų į BIM technologijas vertinimą, taikomų rodiklių pasirinkimas priklausys nuo projektavimo ir /ar statybos įmonės BIM brandos lygio ir įmonės taikomų BIM įgalintojų. Pasiūlyta 11 matematinių išraiškų investicijoms į BIM metodologiją įvertinti. BIM poveikio vertinimo metodai geriausiai būtų aprobuoti aukščiausio BIM brandos lygio projektavimo ir statybos organizacijose, tačiau šiuo metu Lietuvoje dar tik kuriama BIM technologijas reglamentuojančių dokumentų sistema. BIM technologijos ir darbo metodai taikomi, tačiau sunku įvertinti jų brandą, nes nėra patvirtintos BIM brandos vertinimo metodikos. BIM brandos lygio ir įmonės planuojamų taikyti BIM įgalintojų poveikiui investicijoms įvertinti reikalingas atskiras tyrimas, įtraukiant statybos sektoriaus organizacijas. Pasiūlytas metodas buvo išbandytas vienos organizacijos projekte, tačiau, siekiant tikslesnių rezultatų, rekomenduojama įtraukti didesnį skaičių skirtingo tipo organizacijų.

8. Rinkos dalyvių apklausa (25-ių organizacijų), atlikta disertacijos rengimo metu, siekiant įvertinti pasirengimą taikyti BIM, atskleidė, kad turto valdytojams trūksta žinių ir priemonių, kurios palengvintų BIM technologijų diegimą ir taikymą. Siekiant užpildyti spragą, siūloma sukurti BIM žinių bazę, kuri būtų skirta užsakovui/ turto valdytojui diegiančiam ir/ar taikančiam BIM technologijas. Žinių bazėje pateikiama informacija galėtų padėti taip pat ir kitiems projekto dalyviams spręsti įvairius uždavinius kai projekte taikomos BIM technologijos.

9. Tyrimo rezultatai naudingi ne tik užsakovui / turto valdytojui, bet ir visiems projekto dalyviams sprendžiant įvairius uždavinius kai statybos projekte taikomos BIM technologijos. Konceptinio modelio praktinis taikymas padėtų išvengti subjektyvių ir neracionalių sprendimų, padėtų identifikuoti didesnį efektą turinčius ir mažiau investicijų reikalaujančius BIM technologijų įgalintojus. Platesniam konceptinio modelio praktiniam naudojimui turėtų būti tęsiami moksliniai tyrimai ir sukurta programinė įranga modelyje pasiūlytų BIM poveikio vertinimo metodams taikymui ir rezultatams gauti.

Literatūra ir šaltiniai

Abanda, F. H., & Byers, L. (2016). An investigation of the impact of building orientation on energy consumption in a domestic building using emerging BIM (Building Information Modelling). *Energy*, 97, 517–527. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.12.135>

Abanda, F. H., Tah, J. H. M., & Cheung, F. K. T. (2017). BIM in off-site manufacturing for buildings. *Journal of Building Engineering*, 14(October), 89–102. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2017.10.002>

Ahmad, S., Wong, K. Y., Tseng, M. L., & Wong, W. P. (2018). Sustainable product design and development: A review of tools, applications and research prospects. *Resources, Conservation and Recycling*, 132, 49–61. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.01.020>

Akanbi, L. A., Oyedele, L. O., Akinade, O. O., Ajayi, A. O., Davila Delgado, M., Bilal, M., & Bello, S. A. (2018). Salvaging building materials in a circular economy: A BIM-based whole-life performance estimator. *Resources, Conservation and Recycling*, 129(November), 175–186. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.026>

Akbarnezhad, A., Ong, K. C. G., & Chandra, L. R. (2014). Economic and environmental assessment of deconstruction strategies using building information modeling. *Automation in Construction*, 37, 131–144. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.017>

Akinade, O. O., Oyedele, L. O., Bilal, M., Ajayi, S. O., Owolabi, H. A., Alaka, H. A., & Bello, S. A. (2015). Waste minimisation through deconstruction: A BIM based Deconstructability Assessment Score (BIM-DAS). *Resources, Conservation and Recycling*, 105, 167–176. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.10.018>

- Al-araibi, A. A. M., Mahrin, M. N. bin, & Yusoff, R. C. M. (2019). Technological aspect factors of E-learning readiness in higher education institutions: Delphi technique. *Education and Information Technologies*, 24(1), 567–590. <https://doi.org/10.1007/s10639-018-9780-9>
- Al Hattab, M., & Hamzeh, F. (2013). Information flow comparison between traditional and BIM-based projects in the design phase. 21st Annual Conference of the International Group for Lean Construction 2013, IGLC 2013, May 2014, 80–89. <https://doi.org/10.13140/rg.2.1.2362.5766>
- Arayici, & Aouad, G. (2011). Building information modelling (BIM) for construction lifecycle management. *Construction and Building: Design, Materials, and Techniques*, March, 99–117.
- Arayici, Y., Coates, P., Koskela, L., Kagioglou, M., Usher, C., & Reilly, K. O. (2011). Technology adoption in the BIM implementation for lean architectural practice Automation in Construction Technology adoption in the BIM implementation for lean architectural practice. *Automation in Construction*, March, 4–11. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.09.016>
- Ashworth, S., Tucker, M., & Druhmman, C. K. (2019). Critical success factors for facility management employer's information requirements (EIR) for BIM. *Facilities*, 37(1–2), 103–118. <https://doi.org/10.1108/F-02-2018-0027>
- Autodesk. (2016). White Paper Return on Investment with Autodesk Revit Investment or Cost. Autodesk. [Accessed January 2016], 27, 11. <http://usa.autodesk.com/revit/white-papers/>
- Azhar, S., Brown, J. W., & Sattineni, A. (2010). A case study of building performance analyses using building information modeling. 2010 - 27th International Symposium on *Automation and Robotics in Construction*, ISARC 2010, June 2018, 213–222. <https://doi.org/10.22260/isarc2010/0023>
- Balali, A., Valipour, A., Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2020). Multi-criteria ranking of green materials according to the goals of sustainable development. *Sustainability* (Switzerland), 12(22), 1–18. <https://doi.org/10.3390/su12229482>
- Banihashemi, S. A., Khalilzadeh, M., Zavadskas, E. K., & Antucheviciene, J. (2021). Investigating the environmental impacts of construction projects in time-cost trade-off project scheduling problems with cocoso multi-criteria decision-making method. *Sustainability* (Switzerland), 13(19). <https://doi.org/10.3390/su131910922>
- Banihashemi, S., Tabadkani, A., & Hosseini, M. R. (2018). Integration of parametric design into modular coordination: A construction waste reduction workflow. *Automation in Construction*, 88(December 2017), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.12.026>
- Barlish, K., & Sullivan, K. (2012). How to measure the benefits of BIM - A case study approach. *Automation in Construction*, 24, 149–159. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.02.008>
- Begum, R. A., Satari, S. K., & Pereira, J. J. (2010). Waste generation and recycling: Comparison of conventional and industrialized building systems. *American Journal of Environmental Sciences*, 6(4), 383–388. <https://doi.org/10.3844/ajessp.2010.383.388>

- Biancardo, S. A., Capano, A., de Oliveira, S. G., & Tibaut, A. (2020). Integration of BIM and procedural modeling tools for road design. *Infrastructures*, 5(4), 1–15. <https://doi.org/10.3390/infrastructures5040037>
- Biolek, V., & Hanák, T. (2019). LCC estimation model: A construction material perspective. *Buildings*, 9(8). <https://doi.org/10.3390/buildings9080182>
- Bojic, M., Yik, F., Wan, K., & Burnett, J. (2002). In uence of envelope and partition characteristics on the space cooling of high-rise residential buildings in Hong Kong. 37, 347–355.
- Boton, C., & Forgues, D. (2018). Practices and Processes in BIM Projects: An Exploratory Case Study. *Advances in Civil Engineering*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/7259659>
- Bradley, A., Li, H., Lark, R., & Dunn, S. (2016). BIM for infrastructure: An overall review and constructor perspective. *Automation in Construction*, 71, 139–152. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.08.019>
- Buckley, B., & Logan, K. (2017). SmartMarket Report The Business Value of BIM for Infrastructure. In International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives (Vol. 42, Issue 4W4).
- buildingSMART Australasia. (2012). National Building Information Modelling initiative. A Report for the Department of Industry, Innovation, Science, Research and Tertiary Education, 1(June), 64. http://buildingsmart.org.au/wp-content/uploads/2014/03/NationalBIMInitiativeReport_6June2012.pdf
- Burgan, B. A., & Sansom, M. R. (2006). Sustainable steel construction. *Journal of Constructional Steel Research*, 62(11), 1178–1183. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2006.06.029>
- CA17133: Implementing nature based solutions for creating a resourceful circular city. (n.d.).
- Caetano, I., & Leitão, A. (2019). Integration of an algorithmic BIM approach in a traditional architecture studio. *Journal of Computational Design and Engineering*, 6(3), 327–336. <https://doi.org/10.1016/j.jcde.2018.11.004>
- Caldas, L. G., & Norford, L. K. (2002). A design optimization tool based on a genetic algorithm. *Automation in Construction*, 11(2), 173–184. [https://doi.org/10.1016/S0926-5805\(00\)00096-0](https://doi.org/10.1016/S0926-5805(00)00096-0)
- Casady, C. B., Eriksson, K., Levitt, R. E., & Scott, W. R. (2020). (Re)defining public-private partnerships (PPPs) in the new public governance (NPG) paradigm: an institutional maturity perspective. *Public Management Review*, 22(2), 161–183. <https://doi.org/10.1080/14719037.2019.1577909>
- Castro, A. B., & Alvarado, R. G. (2017). BIM-Integration of solar thermal systems in early housing design. *Revista de La Construccion*, 16(2), 323–338. <https://doi.org/10.7764/RDLC.16.2.323>
- Cavka, H. B., Staub-French, S., & Poirier, E. A. (2017). Developing owner information requirements for BIM-enabled project delivery and asset management. *Automation in Construction*, 83(September 2016), 169–183. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.08.006>

- Chan, D. W. M., Olawumi, T. O., & Ho, A. M. L. (2019). Perceived benefits of and barriers to Building Information Modelling (BIM) implementation in construction: The case of Hong Kong. *Journal of Building Engineering*, 25(August 2018), 100764. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.100764>
- Chang, Y. F., & Shih, S. G. (2013). BIM-based computer-aided architectural design. *Computer-Aided Design and Applications*, 10(1), 97–109. <https://doi.org/10.3722/cadaps.2013.97-109>
- Chen, J., Jiang, L., Wang, W., Wang, P., Li, X., Ren, H., & Wang, Y. (2021). Microporous and Mesoporous Materials Facile construction of highly porous carbon materials derived from porous aromatic frameworks for greenhouse gas adsorption and separation. 326(August). <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2021.111385>
- Chen, L., & Pan, W. (2016). BIM-aided variable fuzzy multi-criteria decision making of low-carbon building measures selection. *Sustainable Cities and Society*, 27, 222–232. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.04.008>
- Chong, H. Y., & Wang, X. (2016). The outlook of building information modeling for sustainable development. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 18(6), 1877–1887. <https://doi.org/10.1007/s10098-016-1170-7>
- Curpek, J. (2019). Energy & Buildings A transparent insulation façade enhanced with a selective absorber: A cooling energy load and validated building energy performance prediction model. 183, 266–282. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.10.032>
- Dalacker, V., & Hopf, H. (1974). Thermische isomerisierungen, V die pyrolyse von 1 - methyl - 2 - Äthynyl - cyclopropan. *Tetrahedron Letters*, 15(1), 15–18. [https://doi.org/10.1016/S0040-4039\(01\)82124-9](https://doi.org/10.1016/S0040-4039(01)82124-9)
- Damidavičius, J., Burinskienė, M., & Ušpalytė-vitkūnienė, R. (2019). A monitoring system for sustainable urban mobility plans. *Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 14(2), 158–177. <https://doi.org/10.7250/bjrbe.2019-14.438>
- Dasović, B., Galić, M., & Klanšek, U. (2019). Active BIM approach to optimize work facilities and tower crane locations on construction sites with repetitive operations. *Buildings*, 9(1). <https://doi.org/10.3390/buildings9010021>
- Davies, K., Wilkinson, S., & McMeel, D. (2017). A review of specialist role definitions in bim guides and standards. *Journal of Information Technology in Construction*, 22(September), 185–203.
- Ding, L. Y., Zhong, B. T., Wu, S., & Luo, H. B. (2016). Construction risk knowledge management in BIM using ontology and semantic web technology. *Safety Science*, 87, 202–213. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.04.008>
- Dipasquale, C., Fedrizzi, R., Bellini, A., Gustafsson, M., Ochs, F., & Bales, C. (2019). Database of energy, environmental and economic indicators of renovation packages for European residential buildings. *Energy and Buildings*, 203. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109427>
- Eadie, R., Browne, M., Odeyinka, H., McKeown, C., & McNiff, S. (2013). BIM implementation throughout the UK construction project lifecycle: An analysis. *Automation in Construction*, 36, 145–151. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.09.001>

Elaheh, J., Vadiee, A., & Johansson, P. (2019). Achieving a Trade-Off Construction Solution Using BIM, an Optimization Algorithm, and a Multi-Criteria Decision-Making Method. 1–14.

Elonen, S., & Artto, K. A. (2003). Problems in managing internal development projects in multi-project environments. *International Journal of Project Management*, 21(6), 395–402. [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(02\)00097-2](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(02)00097-2)

Ercsey, Z. (2022). Building Geometry as a Variable in Energy , Comfort , and Environmental Design Optimization — A Review from the.

Estephan, J., Gan Chowdhury, A., Elawady, A., & Erwin, J. (2021). Dependence of internal pressure in low-rise buildings on aerodynamic parameters, defect features and background leakage. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 219(August), 104822. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2021.104822>

EUBIM Task Group. (2016). Handbook for the introduction of Building Information Modelling by the European Public Sector. EU BIM Task Group, 84.

EUBIM Task Group. (2021). Calculating Costs and Benefits for the use of Building Information Modelling in Public tenders Methodology Handbook.

Europos komisija. (2013). KOMISIJOS REKOMENDACIJA 2013 m. balandžio 9 d. dėl produktų ir organizacijų gyvavimo ciklo aplinkosauginio veiksmingumo matavimo ir pranešimo apie jį bendrų metodų taikymo. 2010, 210. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013H0179&from=LT>

Fantilli, A. P., & Chiaia, B. (2013). Eco-mechanical performances of cement-based materials: An application to self-consolidating concrete. *Construction and Building Materials*, 40, 189–196. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.09.075>

Feria, M., & Amado, M. (2019). Architectural design: Sustainability in the decision-making process. *Buildings*, 9(5). <https://doi.org/10.3390/buildings9050135>

Forbes, L. H., & Ahmed, S. M. (2010). Modern Construction. In Modern Construction. <https://doi.org/10.1201/b10260>

Fountain, J., & Langar, S. (2018). Building Information Modeling (BIM) outsourcing among general contractors. *Automation in Construction*, 95(August), 107–117. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.06.009>

Gathercole, M., & Thurairajah, N. (2014). The influence of BIM on the responsibilities and skills of a project delivery team. International Conference on Construction in a Changing World, 818–832. <http://www.cib2014.org/>

Geronimo, C., Vergara, S. E., Chamberlin, C., & Fingerman, K. (2022). Overlooked emissions: Influence of environmental variables on greenhouse gas generation from woody biomass storage. *Fuel*, 319(March), 123839. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.123839>

Gerrish, T., Ruikar, K., Cook, M., Johnson, M., Phillip, M., & Lowry, C. (2017). BIM application to building energy performance visualisation and management: Challenges and potential. *Energy & Buildings*, 144, 218–228. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.03.032>

- Ghaffarianhoseini, A., Tookey, J., Ghaffarianhoseini, A., Naismith, N., Azhar, S., Efimova, O., & Raahemifar, K. (2017). Building Information Modelling (BIM) uptake: Clear benefits, understanding its implementation, risks and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75(September 2016), 1046–1053. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.083>
- Ghodoosi, F., Bagchi, A., Hosseini, M. R., Vilutienė, T., & Zeynalian, M. (2021). ENHANCEMENT OF BID DECISION-MAKING IN CONSTRUCTION PROJECTS : A RELIABILITY ANALYSIS APPROACH. 27(3), 149–161.
- Giama, E. (2022). Review on ventilation systems for building applications in terms of energy efficiency and environmental impact assessment. *Energies*, 15(1), 1–14. <https://doi.org/10.3390/en15010098>
- Gorgolewski, M., Grindley, P. C., & Probert, S. D. (1996). Energy-Efficient Renovation of High-Rise Housing. *Applied Energy*, 53(4), 365–382. [https://doi.org/10.1016/0306-2619\(95\)00067-4](https://doi.org/10.1016/0306-2619(95)00067-4)
- Gransberg, D. D. (2020). Cost of Owning and Operating Construction Equipment. July 2006, 18–38.
- Habibzadeh, H., Kaptan, C., Soyata, T., Kantarci, B., & Boukerche, A. (2019). Smart City System Design. *ACM Computing Surveys*, 52(2), 1–38. <https://doi.org/10.1145/3309545>
- Hadzaman, N. A. H., Takim, R., & Nawawi, A. H. (2015). Building Information Modelling (BIM): the impact of project attributes towards clients' demand in BIM-based project. *Building Information Modelling (BIM) in Design, Construction and Operations*, 1(September), 59–69. <https://doi.org/10.2495/bim150061>
- Hannan, M. A., Abdulla Al Mamun, M., Hussain, A., Basri, H., & Begum, R. A. (2015). A review on technologies and their usage in solid waste monitoring and management systems: Issues and challenges. *Waste Management*, 43, 509–523. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.05.033>
- Haruna, A., Shafiq, N., & Montasir, O. A. (2021). Building information modelling application for developing sustainable building (Multi criteria decision making approach). *Ain Shams Engineering Journal*, 12(1), 293–302. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.06.006>
- Holden, E., Linnerud, K., & Banister, D. (2014). Sustainable development: Our Common Future revisited. *Global Environmental Change*, 26(1), 130–139. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.04.006>
- Hong, S. H., Lee, S. K., Kim, I. H., & Yu, J. H. (2019). Acceptance model for mobile Building Information Modeling (BIM). *Applied Sciences* (Switzerland), 9(18). <https://doi.org/10.3390/app9183668>
- Hou, S., Li, H., & Rezgui, Y. (2015a). Ontology-based approach for structural design considering low embodied energy and carbon. *Energy and Buildings*, 102(2015), 75–90. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.04.051>
- Hou, S., Li, H., & Rezgui, Y. (2015b). Ontology-based approach for structural design considering low embodied energy and carbon. *Energy and Buildings*, 102, 75–90. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.04.051>

- Huang, M., Zhang, X., Ren, R., Liao, H., Zavadskas, E. K., & Antuchevičienė, J. (2020). Energy-Saving Building Program Evaluation With an Integrated Method Under Linguistic Environment. *Journal of Civil Engineering and Management*, 26(5), 447–458. <https://doi.org/10.3846/jcem.2020.12647>
- Iodice, S., Garbarino, E., Cerreta, M., & Tonini, D. (2021). Sustainability assessment of Construction and Demolition Waste management applied to an Italian case. *Waste Management*, 128, 83–98. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.04.031>
- Ishizaka, A., & Siraj, S. (2018). Are multi-criteria decision-making tools useful? An experimental comparative study of three methods. *European Journal of Operational Research*, 264(2), 462–471. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.05.041>
- Jaillon, L., Poon, C. S., & Chiang, Y. H. (2009). Quantifying the waste reduction potential of using prefabrication in building construction in Hong Kong. *Waste Management*, 29(1), 309–320. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.02.015>
- Jalaei, F., Jalaei, F., & Mohammadi, S. (2020). An integrated BIM-LEED application to automate sustainable design assessment framework at the conceptual stage of building projects. *Sustainable Cities and Society*, 53. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101979>
- Jalaei, F., & Irade, A. (2015). Integrating building information modeling (BIM) and LEED system at the conceptual design stage of sustainable buildings. *Sustainable Cities and Society*, 18, 95–107. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2015.06.007>
- Jang, S., & Lee, G. (2018). Process, productivity, and economic analyses of BIM-based multi-trade prefabrication—A case study. *Automation in Construction*, 89(January), 86–98. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.12.035>
- Jato-Espino, D., Castillo-Lopez, E., Rodriguez-Hernandez, J., & Canteras-Jordana, J. C. (2014). A review of application of multi-criteria decision making methods in construction. *Automation in Construction*, 45, 151–162. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.05.013>
- Jie, P., Zhang, F., Fang, Z., Wang, H., & Zhao, Y. (2018). Optimizing the insulation thickness of walls and roofs of existing buildings based on primary energy consumption, global cost and pollutant emissions. *Energy*, 159, 1132–1147. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.06.179>
- Jordan-Palomar, I., Tzortzopoulos, P., García-Valdecabres, J., & Pellicer, E. (2018). Jordan-Palomar, I., Tzortzopoulos, P., García-Valdecabres, J., & Pellicer, E. (2018). Protocol to Manage Heritage-Building Interventions Using Heritage Building Information Modelling (HBIM). *Sustainability*, 10(4), 908. <https://doi.org/10.3390/su10030908>
- Kaklauskas, Artūras. (1999). Pastato gyvavimo proceso daugiakriterinių sprendimų sistema.
- Kaklauskas, Artūras, Zavadskas, E. K., Binkyte-Veliene, A., Kuzminskė, A., Cerkaszkas, J., Cerkaszkienė, A., & Valaitienė, R. (2020). Multiple criteria evaluation of the EU country sustainable construction industry lifecycles. *Applied Sciences* (Switzerland), 10(11). <https://doi.org/10.3390/app10113733>
- Kaklauskas, Artūras, Zavadskas, E. K., Schuller, B., Lepkova, N., Dzemyda, G., Sliogerienė, J., & Kurasova, O. (2020). Customized ViNeRs method for video neuro-

- advertising of green housing. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(7), 1–28. <https://doi.org/10.3390/ijerph17072244>
- Karimimoshaver, M., & Shahrak, M. S. (2022). The effect of height and orientation of buildings on thermal comfort. *Sustainable Cities and Society*, 79(October 2021), 103720. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103720>
- Kassem, M., Abd Raoff, N. L., & Ouahrani, D. (2018). Identifying and analyzing BIM specialist roles using a competency-based approach. July, 1044–1051. <https://doi.org/10.3311/ccc2018-135>
- Kassem, M., Li, J., Kumar, B., Malleson, A., Gibbs, D. J., Kelly, G., & Watson, R. (2020). Building Information Modelling: Evaluating Tools for Maturity and Benefits Measurement. February.
- Keshavarz-Ghorabae, M., Amiri, M., Hashemi-Tabatabaei, M., Zavadskas, E. K., & Kaklauskas, A. (2020). A new decision-making approach based on fermatean fuzzy sets and waspas for green construction supplier evaluation. *Mathematics*, 8(12), 1–24. <https://doi.org/10.3390/math8122202>
- Khan, A. (2019). Creation of Formula to Predict Time and Cost Benefit by Using 5D BIM Rather than Traditional Method of Construction. *Advancements in Civil Engineering & Technology*, 3(1). <https://doi.org/10.31031/acet.2019.03.000552>
- Kim, S., Whang, S. W., Kim, G. H., & Shin, Y. (2015). Comparative study on the construction cost including carbon emission cost for masonry walls. *Energy and Buildings*, 96, 187–192. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.03.025>
- Kirschbaum, M., Barnett, T., & Cross, M. (2019). Q sample construction: A novel approach incorporating a Delphi technique to explore opinions about codeine dependence. *BMC Medical Research Methodology*, 19(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/s12874-019-0741-9>
- Kongboon, R., Gheewala, S. H., & Sampattagul, S. (2022). Greenhouse gas emissions inventory data acquisition and analytics for low carbon cities. *Journal of Cleaner Production*, 343(February), 130711. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130711>
- Krishankumar, R., Mishra, A. R., Ravichandran, K. S., Peng, X., Zavadskas, E. K., Cavallaro, F., & Mardani, A. (2020). A group decision framework for renewable energy source selection under interval-valued probabilistic linguistic term set. *Energies*, 13(4). <https://doi.org/10.3390/en13040986>
- Krystallis, I., Papadonikolaki, E., Locatelli, G., & Iuorio, O. (2019). Towards a methodology for quantifying the benefits of BIM. Proceedings of the 2019 European Conference on Computing in Construction, 1, 19–24. <https://doi.org/10.35490/ec3.2019.138>
- Lamnatou, C., Baig, H., Chemisana, D., & Mallick, T. K. (2016). Environmental assessment of a building-integrated linear dielectric-based concentrating photovoltaic according to multiple life-cycle indicators. *Journal of Cleaner Production*, 131, 773–784. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.094>

- Lapinskienė, V. (2019). Pastatų energinio funkcionalumo vertinimas integruotame pastato projektavime. In Pastatų energinio funkcionalumo vertinimas integruotame pastato projektavime (Issue T 002). <https://doi.org/10.20334/2019-029-m>
- Lescauskiene, I., Bausys, R., Zavadskas, E. K., & Juodagalviene, B. (2020). Vasma weighting: Survey-based criteria weighting methodology that combines entropy and waspas-svns to reflect the psychometric features of the vas scales. *Symmetry*, 12(10), 1–20. <https://doi.org/10.3390/sym12101641>
- Levin, H., & Ecology, B. (2016). Indoor environment and sustainable buildings. June 2014.
- Ley, T., & Albert, D. (2003). Identifying employee competencies in dynamic work domains: Methodological considerations and a case study. *Journal of Universal Computer Science*, 9(12), 1500–1518.
- Li, P., Zheng, S., Si, H., & Xu, K. (2019). Critical Challenges for BIM Adoption in Small and Medium-Sized Enterprises: Evidence from China. *Advances in Civil Engineering*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/9482350>
- Li, S., & Chen, Y. (2021). Internal benchmarking of higher education buildings using the floor-area percentages of different space usages. *Energy and Buildings*, 231, 110574. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110574>
- Li, Z., Shen, G. Q., & Alshawi, M. (2014). Measuring the impact of prefabrication on construction waste reduction: An empirical study in China. *Resources, Conservation and Recycling*, 91, 27–39. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.07.013>
- Lietuvos standartizacijos departamento biuletenis 2015 m. nr. 5. (2017). 5, 1–68.
- Liu, S., Xie, B., Tivendal, L., & Liu, C. (2016). Critical Barriers to BIM Implementation in the AEC Industry Critical Barriers to BIM Implementation in the AEC Industry. November 2015. <https://doi.org/10.5539/ijms.v7n6p162>
- Love, P. E. D., Liu, J., Matthews, J., Sing, C. P., & Smith, J. (2015). Future proofing PPPs: Life-cycle performance measurement and Building Information Modelling. *Automation in Construction*, 56, 26–35. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.04.008>
- Lu, Q., Won, J., & Cheng, J. C. P. (2016). A financial decision making framework for construction projects based on 5D Building Information Modeling (BIM). *International Journal of Project Management*, 34(1), 3–21. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2015.09.004>
- Lu, W., Lee, W. M. W., Xue, F., & Xu, J. (2021). Revisiting the effects of prefabrication on construction waste minimization: A quantitative study using bigger data. *Resources, Conservation and Recycling*, 170(February), 105579. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105579>
- M. B. Barison, and E. T. S. (2011). Copyright ASCE 2011 Computing in Civil Engineering 2011 Copyright ASCE 2011 Computing in Civil Engineering 2011. 194–201.
- Maghsoodi, A. I., Soudian, S., Martínez, L., Herrera-Viedma, E., & Zavadskas, E. K. (2020). A phase change material selection using the interval-valued target-based BWM-CoCoMULTIMOORA approach: A case-study on interior building applications. *Applied Soft Computing Journal*, 95, 106508. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106508>

- Mah, C. M., Fujiwara, T., & Ho, C. S. (2018). Environmental impacts of construction and demolition waste management alternatives. *Chemical Engineering Transactions*, 63(2001), 343–348. <https://doi.org/10.3303/CET1863058>
- Mahamadu, A. M., Mahdjoubi, L., Booth, C., Manu, P., & Manu, E. (2019). Building information modelling (BIM) capability and delivery success on construction projects. *Construction Innovation*, 19(2), 170–192. <https://doi.org/10.1108/CI-03-2018-0016>
- Mahdiraji, H. A., Zavadskas, E. K., Skare, M., Kafshgar, F. Z. R., & Arab, A. (2020). Evaluating strategies for implementing industry 4.0: a hybrid expert oriented approach of B.W.M. and interval valued intuitionistic fuzzy T.O.D.I.M. *Economic Research-Ekonomska Istrazivanja*, 33(1), 1600–1620. <https://doi.org/10.1080/1331677X.2020.1753090>
- Manziona, L., Wyse, M., Sacks, R., BERlo, L. van, & Melhado, S. B. (2011). Key Performance Indicators To Analyze and Improve Management of Information Flow in the Bim Design Process. Proceedings of the CIB W78-W102 2011: International Conference –Sophia Antipolis, France, 26-28 October, October, xx–xx. <http://itc.scix.net/cgi-bin/works/Show?w78-2011-Paper-5>
- Mardiana-Idayu, A., & Riffat, S. B. (2012). Review on heat recovery technologies for building applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(2), 1241–1255. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.09.026>
- Marrero, M., Puerto, M., Rivero-Camacho, C., Freire-Guerrero, A., & Solís-Guzmán, J. (2017). Assessing the economic impact and ecological footprint of construction and demolition waste during the urbanization of rural land. *Resources, Conservation and Recycling*, 117, 160–174. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.10.020>
- Marrero, M., Rivero-camacho, C., Martínez-rocamora, A., Alba-rodríguez, M. D., & Solís-guzmán, J. (2021). Life cycle assessment of industrial building construction and recovery potential . Case studies in Seville. 1–21.
- Marzouk, M., & Abdelakder, E. M. (2020). *Decision Science Letters*. 9, 1–20. <https://doi.org/10.5267/j.dsl.2019.9.002>
- Maslesa, E., Jensen, P. A., & Birkved, M. (2018). Indicators for quantifying environmental building performance: A systematic literature review. *Journal of Building Engineering*, 19(March), 552–560. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.06.006>
- McArthur, J. J. (2015). A Building Information Management (BIM) Framework and Supporting Case Study for Existing Building Operations, Maintenance and Sustainability. *Procedia Engineering*, 118, 1104–1111. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.450>
- Messner, J., Anumba, C., Dubler, C., Goodman, S., Kasprzak, C., Kreider, R., Leicht, R., Saluja, C., & Zikic, N. (2011). BIM Project Execution Planning Guide - Version 2.1. BuildingSMART Alliance, 1–135.
- Miettinen, R., & Paavola, S. (2018). Reconceptualizing object construction: the dynamics of Building Information Modelling in construction design. *Information Systems Journal*, 28(3), 516–531. <https://doi.org/10.1111/isj.12125>

- Migilinskas, D., Popov, V., Juocevicius, V., & Ustinovichius, L. (2013). The benefits, obstacles and problems of practical bim implementation. *Procedia Engineering*, 57(December), 767–774. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.04.097>
- Miller, D., & Doh, J. H. (2015). Incorporating sustainable development principles into building design: A review from a structural perspective including case study. *Structural Design of Tall and Special Buildings*, 24(6), 421–439. <https://doi.org/10.1002/tal.1172>
- Moradchelleh, A. (2011). Construction design zoning of the territory of Iran and climatic modeling of civil buildings space. *Journal of King Saud University - Science*, 23(4), 355–369. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2010.07.024>
- Nawi, M. N. M., Lee, A., Azman, M. N. A., & Kamar, K. A. M. (2014). Fragmentation issue in Malaysian industrialised building system (IBS) projects. *Journal of Engineering Science and Technology*, 9(1), 97–106.
- Negash, Y. T., Hassan, A. M., Tseng, M. L., Wu, K. J., & Ali, M. H. (2021). Sustainable construction and demolition waste management in Somaliland: Regulatory barriers lead to technical and environmental barriers. *Journal of Cleaner Production*, 297, 126717. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126717>
- Nielsen, A. N., Jensen, R. L., Larsen, T. S., & Nissen, S. B. (2016). Early stage decision support for sustainable building renovation e A review. *Building and Environment*, 103, 165–181. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.04.009>
- Nikmehr, B., Hosseini, M. R., Martek, I., Zavadskas, E. K., & Antucheviciene, J. (2021). Digitalization as a strategic means of achieving sustainable efficiencies in construction management: A critical review. *Sustainability (Switzerland)*, 13(9), 1–12. <https://doi.org/10.3390/su13095040>
- Oda, J., Akimoto, K., Tomoda, T., Nagashima, M., Wada, K., & Sano, F. (2012). International comparisons of energy efficiency in power, steel, and cement industries. *Energy Policy*, 44, 118–129. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.01.024>
- Oh, M., Lee, J., Hong, S. W., & Jeong, Y. (2015). Integrated system for BIM-based collaborative design. *Automation in Construction*, 58, 196–206. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.07.015>
- Olbina, S., & Elliott, J. W. (2019). Contributing Project Characteristics and Realized Benefits of Successful BIM Implementation: A Comparison of Complex and Simple Buildings. 1–19.
- Park, J., Asce, S. M., Kim, K., Cho, Y. K., & Asce, A. M. (2016). Framework of Automated Construction-Safety Monitoring Using Cloud-Enabled BIM and BLE Mobile Tracking Sensors Framework of Automated Construction-Safety Monitoring Using Cloud- Enabled BIM and BLE Mobile Tracking Sensors. August. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001223](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001223)
- Park, Kim, H. J., Park, H. T., Goh, J. H., & Pedro, A. (2017). BIM-based idea bank for managing value engineering ideas. *International Journal of Project Management*, 35(4), 699–713. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2016.09.015>
- Parkhomey, I., Boiko, J., Tsopa, N., Zeniv, I., & Eromenko, O. (2020). Assessment of quality indicators of the automatic control system influence of accident interference.

- Telkomnika (Telecommunication Computing Electronics and Control), 18(4), 2070–2079. <https://doi.org/10.12928/TELKOMNIKA.v18i4.15601>
- Pavlik, Z., Žumár, J., Medved, I., & Cerný, R. (2012). Water Vapor Adsorption in Porous Building Materials: Experimental Measurement and Theoretical Analysis. 939–954. <https://doi.org/10.1007/s11242-011-9884-9>
- Plouffe, S., Lanoie, P., Berneman, C., & Vernier, M. F. (2011). Economic benefits tied to ecodesign. *Journal of Cleaner Production*, 19(6–7), 573–579. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.12.003>
- Podvezko, V. (2011). The comparative analysis of MCDA methods SAW and COPRAS. *Engineering Economics*, 22(2), 134–146. <https://doi.org/10.5755/j01.ee.22.2.310>
- Podvezko, V., Zavadskas, E. K., & Podviesko, A. (2020). An extension of the new objective weight assessment methods CILOS and IDOCRIW to fuzzy MCDM. *Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research*, 54(2), 59–75. <https://doi.org/10.24818/18423264/54.2.20.04>
- Poirier, E. A., Staub-French, S., & Forgues, D. (2015). Measuring the impact of BIM on labor productivity in a small specialty contracting enterprise through action-research. *Automation in Construction*, 58, 74–84. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.07.002>
- Pricewaterhouse Coopers. (2018). BIM level 2 benefits measurement - application of PwC's BIM level 2 benefits measurement methodology to public sector capital assets. March, 67. www.pwc.co.uk
- Qian, A. Y. (2012). Benefits and Roi of Bim for Multi-Disciplinary Project Management. 988(March), 1–45.
- Quader, M. A., Ahmed, S., Raja Ghazilla, R. A., Ahmed, S., & Dahari, M. (2016). Evaluation of criteria for CO2 capture and storage in the iron and steel industry using the 2-tuple DEMATEL technique. *Journal of Cleaner Production*, 120, 207–220. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.10.056>
- Radziszewski, P., Nazarko, J., Vilutiene, T., Dębkowska, K., Ejdyś, J., Gudanowska, A., Halicka, K., Kilon, J., Kononiuk, A., Kowalski, K. J., Król, J. B., Nazarko, Ł., & Sarnowski, M. (2016). Future trends in road pavement technologies development in the context of environmental protection. *Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 11(2), 160–168. <https://doi.org/10.3846/bjrbe.2016.19>
- Rafiei, M. H., & Adeli, H. (2016). Sustainability in highrise building design and construction. *Structural Design of Tall and Special Buildings*, 25(13), 643–658. <https://doi.org/10.1002/tal.1276>
- Rahman, R. A., Alsafouri, S., Tang, P., & Ayer, S. K. (2016). Comparing Building Information Modeling Skills of Project Managers and BIM Managers Based on Social Media Analysis. *Procedia Engineering*, 145, 812–819. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.106>
- Rahmani, M., Zarrinmehr, S., Bergin, M., & Yan, W. (2015). BPOpt: A framework for BIM-based performance optimization. *Energy and Buildings*, 108, 401–412. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.09.011>

- Reizgevičius, M. (2018). BIM technologijų efektyvumo daugiapakopis vertinimas. In BIM technologijų efektyvumo daugiapakopis vertinimas. <https://doi.org/10.20334/2362-m>
- Reizgevičius, M., Ustinovičius, L., Cibulskienė, D., Kutut, V., & Nazarko, L. (2018). Promoting Sustainability through Investment in Building Information Modeling (BIM) Technologies : A Design Company Perspective. February. <https://doi.org/10.3390/su10030600>
- Rikkonen, P., Tapio, P., & Rintamäki, H. (2019). Visions for small-scale renewable energy production on Finnish farms – A Delphi study on the opportunities for new business. *Energy Policy*, 129(March), 939–948. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.03.004>
- Scherer, R. J., & Katranuschkov, P. (2018). BIMification: How to create and use BIM for retrofitting. *Advanced Engineering Informatics*, 38(November 2017), 54–66. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2018.05.007>
- Semenas, R., Bausys, R., & Zavadskas, E. K. (2021). A Novel Environment Exploration Strategy by m-generalised q-neutrosophic WASPAS. *Studies in Informatics and Control*, 30(3), 19–28. <https://doi.org/10.24846/v30i3y202102>
- Shehata, M. E., & El-gohary, K. M. (2012). Towards improving construction labor productivity and projects ' performance. *Alexandria Engineering Journal*, 50(4), 321–330. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2012.02.001>
- Shen, L. Y., Song, S. C., Hao, J. L., & Tam, V. W. Y. (2008). Collaboration Among Project Participants Towards Sustainable Construction-A Hong Kong Study. In *The Open Construction and Building Technology Journal* (Vol. 2).
- Shen, L. yin, Tam, V. W. Y., Tam, L., & Ji, Y. bo. (2010). Project feasibility study: the key to successful implementation of sustainable and socially responsible construction management practice. *Journal of Cleaner Production*, 18(3), 254–259. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.10.014>
- Shi, Q., Zuo, J., Huang, R., Huang, J., & Pullen, S. (2013). Identifying the critical factors for green construction - An empirical study in China. *Habitat International*, 40, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2013.01.003>
- Shi, X., & Li, X. (2019). A symbiosis-based life cycle management approach for sustainable resource flows of industrial ecosystem. *Journal of Cleaner Production*, 226, 324–335. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.030>
- Shin, M. H., Lee, H. K., & Kim, H. Y. (2018). Benefit-Cost analysis of Building Information Modeling (BIM) in a Railway Site. *Sustainability (Switzerland)*, 10(11), 1–10. <https://doi.org/10.3390/su10114303>
- Siksnyte-Butkiene, I., Zavadskas, E. K., Dalia, S., & Streimikiene, D. (2020). the Assessment of Renewable Energy Technologies in a Household : A Review. *Energies*, 13(Mcdm), 1164. <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/5/1164>
- Singh, R., & Bhanot, N. (2020). An integrated DEMATEL-MMDE-ISM based approach for analysing the barriers of IoT implementation in the manufacturing industry.

International Journal of Production Research, 58(8), 2454–2476.
<https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1675915>

Singh, V., Gu, N., & Wang, X. (2011). A theoretical framework of a BIM-based multi-disciplinary collaboration platform. *Automation in Construction*, 20(2), 134–144.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.09.011>

Smith, P. (2014). BIM implementation - Global strategies. *Procedia Engineering*, 85, 482–492. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.10.575>

Son, J., & Ock, J. (2016). A Study on Measurement Method of BIM ROI in Architectural Design Firm. *Korean Journal of Computational Design and Engineering*, 21(3), 267–280.
<https://doi.org/10.7315/cde.2016.267>

Staub-French, S., Fischer, M., Kunz, J., & Paulson, B. (2003). A generic feature-driven activity-based cost estimation process. *Advanced Engineering Informatics*, 17(1), 23–39.
[https://doi.org/10.1016/S1474-0346\(03\)00017-X](https://doi.org/10.1016/S1474-0346(03)00017-X)

Succar, B., Kassem, M., Succar, B., and D. N., Kassem, M., Iqbal, N., Kelly, G., Lockley, S., Dawood, N., BuildingSMART, Boton, C., Kubicki, S., Ahmad, M. A., Demian, P., & Price, A. D. F. (2014). The Five Components of BIM Performance Measurement. *Building Design*, 19(September), 287–300.
<https://doi.org/10.13140/2.1.3357.1521>

Succar, B., & Sher, W. (2014). A Competency Knowledge-Base for BIM Learning. *Australasian Journal of Construction Economics and Building - Conference Series*, 2(2), 1. <https://doi.org/10.5130/ajceb-cs.v2i2.3883>

Succar, B., Sher, W., & Williams, A. (2012). Measuring BIM performance: Five metrics. *Architectural Engineering and Design Management*, 8(2), 120–142.
<https://doi.org/10.1080/17452007.2012.659506>

Succar, B., Sher, W., & Williams, A. (2013). An integrated approach to BIM competency assessment, acquisition and application. *Automation in Construction*, 35, 174–189.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.05.016>

Sun, C. Y., Chen, Y. G., Wang, R. J., Lo, S. C., Yau, J. T., & Wu, Y. W. (2019). Construction cost of green building certified residence: A case study in Taiwan. *Sustainability (Switzerland)*, 11(8), 21–25. <https://doi.org/10.3390/su11082195>

Szolomicki, J., & Golasz-Szolomicka, H. (2019). Technological advances and trends in modern high-rise buildings. *Buildings*, 9(9). <https://doi.org/10.3390/buildings9090193>

Tamošaitienė, J., Khosravi, M., Cristofaro, M., Chan, D. W. M., & Sarvari, H. (2021). applied sciences Identification and Prioritization of Critical Risk Factors of Commercial and Recreational Complex Building Projects : A Delphi Study Using the TOPSIS Method. 1–24.

Tan, T., Mills, G., Papadonikolaki, E., & Liu, Z. (2021). Combining multi-criteria decision making (MCDM) methods with building information modelling (BIM): A review. *Automation in Construction*, 121(October 2020), 103451.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103451>

Tian, S. Q., Wang, K., Fan, L. W., Yu, Z. T., & Ge, J. (2019). Effects of sample length on the transient measurement results of water vapor diffusion coefficient of porous building

materials: A case study of autoclave aerated concrete (AAC) with various porosities. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 135, 209–219. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.01.124>

Tucker, M., & Masuri, M. R. A. (2018). The development of facilities management-development process (FM-DP) integration framework. *Journal of Building Engineering*, 18(March), 377–385. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.04.007>

Turskis, Z., Goranin, N., Nurusheva, A., & Boranbayev, S. (2019). Information security risk assessment in critical infrastructure: A hybrid MCDM approach. *Informatica (Netherlands)*, 30(1), 187–211. <https://doi.org/10.15388/Informatica.2019.203>

Tzeng, E., Hoffman, J., Saenko, K., & Darrell, T. (2017). Adversarial discriminative domain adaptation. *Proceedings - 30th IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR 2017, 2017-Janua*, 2962–2971. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2017.316>

Uhm, M., Lee, G., & Jeon, B. (2017). An analysis of BIM jobs and competencies based on the use of terms in the industry. *Automation in Construction*, 81(October 2016), 67–98. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.06.002>

UK BIM Framework. (2019). Information Management according to BS EN ISO 19650 - Guidance Part 1: Concepts. UK BIM Alliance, July, 42. https://web.archive.org/web/20210716122719/https://www.ukbimalliance.org/wp-content/uploads/2019/04/Information-Management-according-to-BS-EN-ISO-19650_-_Guidance-Part-1_Concepts_2ndEdition.pdf

Ustinovičius, L., Puzinas, A., Starynina, J., Vaišnoras, M., Černiavskaja, O., & Kontrimovičius, R. (2018). Challenges of BIM technology application in project planning. 10(2), 15–28. <https://doi.org/10.2478/emj-2018-0008>

Vilutiene, T., Kalibatiene, D., Hosseini, M. R., Pellicer, E., & Zavadskas, E. K. (2019). Building information modeling (BIM) for structural engineering: A bibliometric analysis of the literature. In *Advances in Civil Engineering* (Vol. 2019). Hindawi Limited. <https://doi.org/10.1155/2019/5290690>

Vilutiene, T., Migilinskas, D., & Bružas, A. (2015). Holistic Approach to Assess the Sustainability and Utility of Refurbishment Measures. *Procedia Engineering*, 122, 137–142. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.10.017>

Waghmare, Y. M., & Bhalerao, N. (2016). An Overview of Stakeholder Management in Construction Industry. *International Journal of Science Technology and Management*, 5(7), 135–142. http://www.ijstm.com/images/short_pdf/1469549210_1101ijstm.pdf

Wan, J., Wang, X., Shou, W., Chong, H. Y., & Guo, J. (2016). Building information modeling-based integration of MEP layout designs and constructability. *Automation in Construction*, 61, 134–146. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.10.003>

Wang, J., Wang, X., Shou, W., Chong, H. Y., & Guo, J. (2016). Building information modeling-based integration of MEP layout designs and constructability. *Automation in Construction*, 61, 134–146. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.10.003>

- Wang, P., Liu, Z., & Zhang, L. (2021). Sustainability of compact cities: A review of Inter-Building Effect on building energy and solar energy use. *Sustainable Cities and Society*, 72(April), 103035. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103035>
- Wang, Y., Wallace, S. W., Shen, B., & Choi, T. M. (2015). Service supply chain management: A review of operational models. In *European Journal of Operational Research* (Vol. 247, Issue 3, pp. 685–698). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.05.053>
- Weisenberger, G. (2011). Let Engineers Be Engineers. *Modern Steel Construction*, may 2011.
- Wen, Z., Liao, H., Zavadskas, E. K., & Antuchevičienė, J. (2021). Applications of fuzzy multiple criteria decision making methods in civil engineering: A state-of-the-art survey. *Journal of Civil Engineering and Management*, 27(6), 358–371. <https://doi.org/10.3846/jcem.2021.15252>
- Willem, H., Lin, Y., & Lekov, A. (2017). Review of energy efficiency and system performance of residential heat pump water heaters. *Energy and Buildings*, 143, 191–201. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.02.023>
- Won, J., & Cheng, J. C. P. (2017a). Identifying potential opportunities of building information modeling for construction and demolition waste management and minimization. *Automation in Construction*, 79, 3–18. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.02.002>
- Won, J., & Cheng, J. C. P. (2017b). Identifying potential opportunities of building information modeling for construction and demolition waste management and minimization. *Automation in Construction*, 79, 3–18. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.02.002>
- Won, J., Cheng, J. C. P., & Lee, G. (2016). Quantification of construction waste prevented by BIM-based design validation: Case studies in South Korea. *Waste Management*, 49, 170–180. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.12.026>
- Yang, J. Bin, & Chou, H. Y. (2019). Subjective benefit evaluation model for immature BIM-enabled stakeholders. *Automation in Construction*, 106(300), 102908. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102908>
- Yazdani, M., Zavadskas, E. K., Ignatius, J., & Abad, M. D. (2016). Sensitivity analysis in MADM methods: *Application of material selection*. *Engineering Economics*, 27(4), 382–391. <https://doi.org/10.5755/j01.ee.27.4.14005>
- Yepes, V., García-Segura, T., & Moreno-Jiménez, J. M. (2015). A cognitive approach for the multi-objective optimization of RC structural problems. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 15(4), 1024–1036. <https://doi.org/10.1016/j.acme.2015.05.001>
- Yuan, H. (2013). Key indicators for assessing the effectiveness of waste management in construction projects. *Ecological Indicators*, 24, 476–484. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.07.022>
- Yuan, H., Yang, Y., & Xue, X. (2019). Promoting owners' BIM adoption behaviors to achieve sustainable project management. *Sustainability (Switzerland)*, 11(14), 1–18. <https://doi.org/10.3390/su11143905>

- Zabihi, H., Habib, F., & Mirsaedie, L. (2012). Sustainability assessment criteria for building systems in Iran. *Middle East Journal of Scientific Research*, 11(10), 1346–1351. <https://doi.org/10.5829/idosi.mejsr.2012.11.10.1583>
- Zadeh, P. A., Wang, G., Cavka, H. B., Staub-French, S., & Pottinger, R. (2017). Information Quality Assessment for Facility Management. *Advanced Engineering Informatics*, 33, 181–205. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2017.06.003>
- Zadeh, P. A., Wei, L., Dee, A., Pottinger, R., & Staub-French, S. (2019). BIM-CityGML data integration for modern urban challenges. *Journal of Information Technology in Construction*, 24(March), 318–340. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2019.017>
- Zavadskas, E. K., Antucheviciene, J., Turskis, Z., & Adeli, H. (2016). Hybrid multiple-criteria decision-making methods: A review of applications in engineering. *Scientia Iranica*, 23(1), 1–20. <https://doi.org/10.24200/sci.2016.2093>
- Zavadskas, Edmundas Kazimieras, & Antucheviciene, J. (2007). Multiple criteria evaluation of rural building's regeneration alternatives. *Building and Environment*, 42(1), 436–451. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.08.001>
- Zavadskas, Edmundas Kazimieras, Cavallaro, F., Podvezko, V., Ubarte, I., & Kaklauskas, A. (2017). MCDM assessment of a healthy and safe built environment according to sustainable development principles: A practical neighborhood approach in vilnius. *Sustainability (Switzerland)*, 9(5). <https://doi.org/10.3390/su9050702>
- Zavadskas, Edmundas Kazimieras, Govindan, K., Antucheviciene, J., & Turskis, Z. (2016). Hybrid multiple criteria decision-making methods: A review of applications for sustainability issues. *Economic Research-Ekonomska Istrazivanja*, 29(1), 857–887. <https://doi.org/10.1080/1331677X.2016.1237302>
- Zavadskas, Edmundas Kazimieras, & Turskis, Z. (2010). A new additive ratio assessment (ARAS) method in multicriteria decision-making. *Technological and Economic Development of Economy*, 16(2), 159–172. <https://doi.org/10.3846/tede.2010.10>
- Zavadskas, Edmundas Kazimieras, & Turskis, Z. (2011). A new additive ratio assessment (ARAS) method in multicriteria decision - making. 8619. <https://doi.org/10.3846/tede.2010.10>
- Zavadskas, Edmundas Kazimieras, Turskis, Z., & Kildiene, S. (2014). State of art surveys of overviews on MCDM/MADM methods. *Technological and Economic Development of Economy*, 20(1), 165–179. <https://doi.org/10.3846/20294913.2014.892037>
- Zavadskas, Edmundas Kazimieras, Turskis, Z., Šliogerienė, J., & Vilutienė, T. (2021). An integrated assessment of the municipal buildings' use including sustainability criteria. *Sustainable Cities and Society*, 67(June 2020). <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102708>
- Zavadskas, Edmundas Kazimieras, Turskis, Z., Vilutienė, T., & Lepkova, N. (2017). Integrated group fuzzy multi-criteria model: Case of facilities management strategy selection. *Expert Systems with Applications*, 82, 317–331. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.03.072>
- Zhang, S., Sulankivi, K., Kiviniemi, M., Romo, I., Eastman, C. M., & Teizer, J. (2015). BIM-based fall hazard identification and prevention in construction safety planning. *Safety Science*, 72, 31–45. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2014.08.001>

- Zhang, Z., Liao, H., Al-Barakati, A., Zavadskas, E. K., & Antuchevičienė, J. (2020). Supplier selection for housing development by an integrated method with interval rough boundaries. *International Journal of Strategic Property Management*, 24(2), 269–284. <https://doi.org/10.3846/ijspm.2020.12434>
- Zhao, Liu, Z., & Mbachu, J. (2019). Optimization of the supplier selection process in prefabrication using BIM. *Buildings*, 9(10). <https://doi.org/10.3390/buildings9100222>
- Zhao, McCoy, A. P., & Bulbul, T. (2015). Building Collaborative Construction Skills through BIM-integrated Learning Building Collaborative Construction Skills through BIM-integrated Learning Environment. June 2020. <https://doi.org/10.1080/15578771.2014.986251>
- Zhao, Z. Y., Zhao, X. J., Davidson, K., & Zuo, J. (2012). A corporate social responsibility indicator system for construction enterprises. *Journal of Cleaner Production*, 29–30, 277–289. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.12.036>
- Zou, Y., Kiviniemi, A., & Jones, S. W. (2017). A review of risk management through BIM and BIM-related technologies. *Safety Science*, 97, 88–98. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.12.027>
- Zou, Y., Tuominen, L., & Guo, B. (2019). Advances in Informatics and Computing in Civil and Construction Engineering. *Advances in Informatics and Computing in Civil and Construction Engineering*, October. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-00220-6>

Autoriaus mokslinių publikacijų disertacijos tema sąrašas

Straipsniai recenzuojamuose mokslo žurnaluose

Vilutienė, T., Kiaulakis, A., Migilinskas, D. (2021). Assessing the performance of the BIM implementation process: a case study. *Revista de la Construcción. Journal of Construction*. Santiago: Pontificia Universidad Católica de Chile. ISSN 0718-915X. vol. 20, no. 1 (2021), p. 26–36. <https://doi.org/10.7764/RDLC.20.1.26>

Vilutienė, T., Kumetaitis, G., Kiaulakis, A., Kalibatas, D. (2020). Assessing the sustainability of alternative structural solutions of a building: a case study. *Buildings*. Basel: MDPI AG. ISSN 2075–5309. vol. 10, iss. 2 (2020), p. 1–25. <https://doi.org/10.3390/buildings10020036>

Vilutienė, T., Šarkienė, E., Šarka V., Kiaulakis, A. (2020). BIM application in infrastructure projects. *Baltic journal of road and bridge engineering*. Riga: Riga Technical University. ISSN 1822-427X. vol. 15, iss. 3 (2020), p. 74–92. 10.7250/bjrbe.2020-15.485

Straipsniai kituose leidiniuose

Kiaulakis, Arvydas; Vilutienė, Tatjana. Pastato projektavimo vykdymo, taikant BIM principus, įtakos statybos proceso efektyvumui analizė = The analysis of BIM based design influence on the efficiency of construction process // 19-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminė konferencija. Statyba, 2016 m.

kovo 31 d., Vilnius = Proceedings of the 19th conference for junior researchers „Science – Future of Lithuania“. Civil engineering, 31 March 2016, Vilnius, Lithuania. Vilnius: VGTU, 2016. ISBN 9786094579486. ISSN 2029-7149. p. 1–8. <http://jmk.statyba.vgtu.lt/index.php/statyba/2021>

Kiaulakis, A., Vilutienė, T. ir Migilinskas, D. (2018a). Statinio informacinio modeliavimo taikymo efektyvumo vertinimo kriterijai ir atvejo analizė. *Mokslas – Lietuvos ateitis: Statybos inžinerija – 2018 = Science – future of Lithuania: Civil engineering – 2018*. Vilnius: VGTU leidykla „Technika“. ISSN 2029-2341. vol. 10 (2018), p. 1–7. 10.3846/mla.2018.6286

Kiaulakis, A., Vilutienė, T. ir Migilinskas, D. (2018b). Statinio informacinio modeliavimo įtakos statybos projekto vykdymui vertinimas: atvejo analizė. 21-osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos „Statyba“, vykusios 2018 m. kovo 30 d. Vilniuje, straipsnių rinkinys = Proceedings of the 21th conference for junior researchers „Science – Future of Lithuania“ „Civil engineering“, 30 March 2018, Vilnius, Lithuania. Vilniaus Gedimino technikos universitetas, 2018, p. 1–4. <http://jmk.statyba.vgtu.lt/index.php/statyba/2018/paper/viewFile/21/17>

Kiaulakis, A., Vilutienė, T., & Šarka, V. (2019). Public authorities' attitude and perception regarding use of BIM for information management. *Proceedings of the 13th International Multi-Conference on Society, Cybernetics and Informatics (IMSCI 2019)*, July 6-9, 2019, Orlando, Florida, USA. International Institute of Informatics and Systemics, 2019. ISBN 9781950492121, p. 41–46. <https://www.iiis.org/CDs2019/CD2019Summer/papers/HA554MU.pdf>

Kiaulakis, A., Vilutienė, T., Šarka, V., & Šarkienė, E. (2019). Construction project stakeholders' perceptions and expectations of their roles in BIM-based collaboration. The 13th international conference „Modern building materials, structures and techniques“, 16–17 May, 2019, Vilnius, Lithuania. Vilnius: VGTU Press, 2019, p. 588–594. <https://doi.org/10.3846/mbmst.2019.036>

Summary in English

Introduction

Problem formulation

Increasing sustainability and efficiency are key challenges for the construction sector. The implementation of sustainable development goals in the construction sector is inseparable from the application of the latest technologies. The development of digital data creation and management technology based on Building Information Modeling (BIM) techniques over the last two decades has become a key tool in digitizing and automating asset creation and management processes in construction projects. Participants in construction projects must make their decisions considering the new requirements related to the obligation to apply BIM and align them with sustainable development challenges. Discussions have started on measuring investments against sustainability indicators. An analysis of various sources has shown the absence of methods to enable the assessment of the impact (benefits) of the BIM application on an organization's activities, including sustainability aspects. Research also revealed a lack of knowledge and tools for asset managers (construction project clients) to facilitate the implementation and application of BIM technologies.

The problem of the dissertation is formulated by evaluating the emerging obligations related to sustainability and digitization of processes and the multifaceted nature of BIM projects. Decision-makers (client, project developer, designer) need to address multi-objective challenges at all stages of the building, combining them with sustainable development goals.

Relevance of the thesis

An analysis of various sources has shown that the digitization of construction activities is currently undergoing intensive processes. Rapidly evolving information and communication technologies have made a breakthrough in the digitization and automation of processes in all manufacturing and industrial sectors over the past decade. These technologies have also affected the construction sector, whose digitization processes are described by a separate term “Construction 4.0,” focusing on the importance, multifaceted nature, and links of this industry segment with other industries.

The sustainability of buildings is inseparable from comprehensively assessed sustainability indicators. Sustainability indicators can only be verified by a detailed assessment of the entire life cycle of a building, which makes it difficult to achieve the sustainability goals of a building model without the application of digital technology solutions and the systematic collection of data. The ongoing changes pose challenges for market participants, especially clients and asset managers, who have not yet applied BIM technology but will be forced to adopt new working methods once the obligation enters into force. The analysis of the current situation shows that the measures exist but are not systematized and rather applied in a fragmented way; they are not linked to sustainability goals.

The results of the dissertation research allow adapting to the new requirements related to the application of BIM technologies and sustainable development goals to help reconcile the goals of different stakeholders and to meet the challenges of building design and management.

Object of the research

The object of the dissertation research is the processes of creation of sustainable building solutions, applying BIM technologies, ensuring the implementation of sustainable development goals, and assessing the impact of BIM technologies.

The aim of the thesis

The thesis aims to develop a conceptual model to evaluate the impact of BIM technologies on the development processes of sustainable building and to assess the rationality of solutions through the integrated application of BIM technologies and multi-objective decision-making methods.

Tasks of the work

To achieve the thesis aim, the following tasks are solved:

1. To carry out an analytical review of the latest research in Lithuania and abroad to determine how the sustainability of solutions in construction projects is ensured by applying BIM technologies.
2. To develop a hybrid solution model based on the application of BIM and multi-criteria decision-making methods to model the rational solutions of a sustainable building at an early stage of design (concept development). To check the possibilities of the practical application of the proposed model in a real project.

3. To create the structure of the conceptual model for the assessment of the impact of BIM technologies on the processes of sustainable building development, integrating BIM technologies and multi-criteria decision-making methods.
4. To reveal the benefits of the BIM technology in modeling rational solutions for a sustainable building. Systematize the benefits of BIM application according to the project implementation stages.

Research methodology

Analytical, numerical, and case study methods were applied in solving the tasks of the dissertation. Recent research on the application of BIM technologies has been reviewed and summarized. An empirical research method, a survey, confirmed the challenges of BIM application discussed in the literature. Based on the literature analysis, methods for evaluating the impact of BIM on various project stages have been identified and systematized.

The development of BIM models examined in case studies was performed using modeling software tools. The system of indicators for the assessment of the sustainability of building solutions was developed based on the analysis of scientific articles. The relative significance of the indicators was determined by the Delphi method. Multi-criteria decision methods SAW, ARAS, and COPRAS were applied to determine the rational alternative for building reconstruction.

Scientific novelty of the thesis

The following new results for civil engineering were obtained during the preparation of the dissertation:

1. A conceptual model for assessing the impact of BIM technologies and modeling sustainable building solutions was developed by integrating environmental, technological, and economic indicators, multi-criteria decision-making methods, and building information modeling (BIM).
2. A hybrid solution model based on the application of BIM, Delphi, and multi-criteria methods was developed, which allows assessing the sustainability of building solutions at an early stage of design (concept development).
3. The benefits of applying BIM were classified according to sustainability categories and stages of the building.
4. A calculation methodology was developed to assess the impact of BIM technologies in the design, construction, and operation phases of a building.

Practical value of the research findings

The proposed conceptual model would facilitate the modeling of sustainable building solutions through the integrated application of sustainability indicators, multi-criteria decision-making methods, and BIM technologies. The presented experimental studies in real projects show that the proposed model can be applied to the development of sustainable building solutions in the early design phase of a building and to assess the impact of BIM technologies on sustainable building development processes. The study results are useful

for all construction participants in solving various tasks when BIM technologies are applied in a project.

The research results were put into practice in these projects:

- Horizon 2020 project “Project Network for Using BIM to Increase the Energy Buildings Performance (Net-UBIEP),” 2017–2019.
- Project No. 10.1.1-ESFA-V-912-01-0029 “Development of Measures for Increasing the Efficiency of Life Cycle Processes of Public Sector Structures by Applying Building Information Modeling (BIM-LT),” 2019–2023.
- National TPP program project “Development and market testing of a prototype system for the selection of technological variants of rational passive energy efficiency measures for a sustainable building in a BIM model (BIM4NZEB-DS),” 2020–2021.

Defended statements

1. The proposed conceptual model allows assessing the alternative solutions comprehensively by an integrated analysis of environmental, technological, and economic factors. The application of multi-criteria decision-making methods in combination with BIM technologies allows a more accurate assessment of the sustainability and attractiveness of alternative solutions.
2. The hybrid solution model proposed by the author, based on the application of BIM, Delphi, and multi-criteria decision-making methods, is suitable for assessing the sustainability of building solutions at an early stage of design (concept development).
3. Using the proposed system of BIM investment and benefit evaluation indicators allows for conducting an economic assessment of BIM impacts.

Approval of the research findings

Eight scientific articles were published on the topic of the dissertation. Three articles are included in the publications of the Clarivate Analytics Web of Science database with a citation rate (Vilutienė, Kiaulakis, Migilinskas, 2021; Vilutienė, Šarkienė, Šarka, Kiaulakis, 2020; Saoud, Omran, Bassam, Vilutienė, Kiaulakis, 2017); one article was included in the publications of the Clarivate Analytics Web of Science database that does not have a citation index (Vilutienė et al., 2020), one more article was published in other international databases (Kiaulakis et al., 2018), four articles were published in other peer-reviewed scientific publications, i.e., conferences, in the reporting material (Kiaulakis et al., 2019; Kiaulakis et al., 2019; Kiaulakis et al., 2018; Kiaulakis et al., 2016).

The research results were presented at five scientific conferences in Lithuania and abroad:

- Presentation at the 13th International Multi-Conference on Society, Cybernetics and Informatics: IMSCI 2019 on the topic “Public authorities’ attitude and perception regarding the use of BIM for information management.” 8 July 2019, Orlando, USA.

- Presentation at the 13th International Conference on Modern Building Materials, Structures and Techniques on the topic “Construction project stakeholders’ perceptions and expectations of their roles in BIM-based collaboration.” 16–17 May 2019, Vilnius, Lithuania.

Structure of the dissertation

The thesis consists of an introduction, three chapters, general conclusions, a list of references, a list of scientific publications by the author on the topic of the dissertation and 6 annexes.

1. Review of the scientific literature on the application of BIM in the design and construction of sustainable buildings

The first chapter provides a general overview of the scientific literature related to the thesis topic. This chapter examines how the multifaceted nature of the sustainability concept and the complexity of BIM technologies complicate the synthesis of these two categories and limit their practical application in construction projects.

The chapter defines and discusses concepts of sustainability and building information modeling and reviews the benefits and challenges of the BIM application in construction projects. This part also examines the international experience in the application of multiple criteria decision-making methods (MCDM) in construction. The sustainability concept in the field of construction is related to the assessment of the environmental impact resulting from construction activities and the sustainability of solutions. In the literature, the impact of activities in the construction sector is associated with environmental pollution, the generation of large amounts of difficult-to-recycle waste, and the consumption of large natural resources and energy.

The construction industry aims to design and build sustainable, low-energy buildings using environmentally friendly materials and working methods that can help achieve sustainable development goals through cost-effective measures. Sustainability analysis is usually performed at the design stage when the components and elements of the structures have already been selected. When deciding on the most appropriate design alternative to creating sustainable and efficient buildings at an early design stage, the design team must assess the interdependence of the processes and apply knowledge from different disciplines in an integrated way (Jalaei et al., 2020).

Civil engineering decisions have a major impact on waste generation, water consumption, energy use, and environmental pollution. However, following the traditional approach to building design, civil engineers rarely value the environmental aspect, which has been recognized as one of the most important factors in the modern integrated building design principle. A building or structure designed using environmentally friendly materials is not necessarily sustainable. Sustainability cannot be guaranteed by environmental issues alone. The latter need to be aligned with economic and other issues (Y. Wang et al., 2015). Literature review findings revealed that applying sustainability principles to the design process can improve the sustainability of a project (L. Y. Shen et al., 2008). However, additional costs, time, a limited number of green material suppliers, and the availability of information are said to be significant barriers to sustainable development (Q. Shi

et al., 2013). In addition, the decision-making process is complicated by the diversity of structural elements of the building and the availability of sustainable materials, as well as different attitudes and needs of clients, architects, building operators, and various stakeholders (X. Shi & Li, 2019).

A sustainable building is a building that can improve the quality of life and the environment, save energy and resources, and be designed from recyclable materials reducing the ecosystem of hazardous substances that are (or may be) exposed to humans and other organisms throughout the life-cycle of the building.

Well-designed sustainable buildings can save on building maintenance costs, increase comfort, and create a healthier environment for people to live and work, provide better indoor air quality, natural daylight, and thermal comfort. Various construction activities, such as the design, construction, operation, renovation, and demolition of buildings, have a direct and indirect impact on the environmental performance of this sector. In this context, the concept of a “sustainable building” – reducing the negative impact on the environment by buildings and construction activities – has attracted the attention of stakeholders in OECD countries. Impacts can range from the use of recycled materials in construction to low-emission modes of transport and maximum energy efficiency in the building, such as improved insulation and the use of solar energy.

Clients need to address multi-objective challenges in the construction project, combining them with sustainable development goals. During the construction project, the client coordinates various stakeholder goals.

In addition, public sector customers consider the implementation of requirements related to the BIM obligation, such as the implementation of BIM technologies in public property investment projects. The first section briefly describes BIM benefits commonly cited in the literature. The literature suggests that building information modeling (BIM) can solve information reliability issues to improve asset information management. The literature recognizes BIM as a significant innovation leading the construction sector toward sustainability, and the choice of design firms to invest in BIM technologies is largely cost-effective. In particular, the design company evaluates the economic benefits and efficiency gains from the application of BIM technologies (Reizgevičius et al., 2018). The study analyzed how BIM benefits were measured in completed projects. The experience of 34 construction projects described in various scientific articles was analyzed. The results of this analysis are summarized in Annex A, Table “Analysis of the experience of foreign BIM projects.” An analysis of the experience in applying BIM in different countries revealed that BIM-related methods offer a variety of solutions that can enhance collaboration in a construction project and the quality of the results presented.

However, despite many BIM advantages, its use in customer organizations and during the operational phase of a building is still very limited. Implementing BIM in organizations is a challenge, primarily due to barriers to the asset manager’s (client’s) approach to the BIM technology. Recently, methods for measuring BIM benefits have been analyzed in the literature having the aim of justifying the positive effect of applying BIM. Annex B provides a summary of the BIM impact assessment indicators. Twenty foreign and Lithuanian sources were examined in which BIM impact assessment indicators were applied. The table provides information on the indicator used, the measurement formula for the indicator, the variables, the measured effect, and the source.

A survey was conducted to identify the current situation in Lithuania and supplement the overview with primary data. To assess the extent of the application of building information modeling (BIM) among key stakeholders and their attitudes toward the advantages, barriers, and opportunities of using BIM, two surveys were conducted: a customer survey (public property managers) and a survey of public administration, specialists (installers/maintainers), and tenants/owners/building administrators. Attitudes and perceptions about the use of BIM were explored. Twenty-five organizations participated in the survey. The results are presented in ANNEX C.

Respondents mentioned an obstacle to the BIM implementation:

- The lack of knowledge in the general understanding of BIM benefits.
- Implementation costs (software and hardware upgrades, training of BIM specialists).
- Client's (public asset manager's) failure to understand the BIM value.
- Client's (public asset manager's) failure to require the use of BIM; it is not required in the construction process.

Respondents also noted that regulations issued by ministries (responsible for energy efficiency in buildings) that make the use of BIM mandatory in energy efficiency projects encourage a faster adoption by organizations. Nevertheless, most respondents anticipate that companies and organizations may lag if they fail to absorb BIM quickly enough.

After the literature analysis, BIM application benefits mentioned in various sources were systematized according to project stages and are presented in Appendix D of the dissertation.

This section also analyzes the possibilities of using multi-criteria assessment methods to address a variety of civil engineering issues. Recently, many multi-criteria assessment methods have been developed. They are divided into two classes depending on how they combine the data: discrete MCDM or MADM and continuous MODM (multi-objective decision-making) optimization methods (Zavadskas et al., 2016). All methods require the definition of options and indicators, and most require measures (such as “weights”) to assess the relative significance of the indicators. However, the use of a single function in the decision-making process is not a sufficient condition. There is no single method that can solve all the problems. Different MCDM methods sometimes give different results (Zavadskas, Cavallaro, et al., 2017). Several MCDM methods can be used simultaneously to increase the reliability of the calculation results. To solve complex tasks having large amounts of information, more accurate results can be obtained using the hybrid MCDM method (Zavadskas et al., 2016). Recently, more researchers and practitioners have supported the use of hybrid methods because integrating different utility functions into a single decision-making model can increase the reliability and transparency of the decision-making process in real-world situations (Tzeng et al., 2017). Integrated methods typically use two or more MCDM methods or a combination of MCDM methods and other decision support methods (Yazdani et al., 2016). Multiple criteria methods help to find a rational solution but require accurate and reliable information. The BIM model can be useful in this situation and provide sufficient and reliable information and data. BIM integrates data from different disciplines and can quickly and accurately extract information from components and aid in evaluation (Staub-French et al., 2003). However, the question remains: how to integrate and use building information to facilitate decision-making.

2. A conceptual model for assessing the impact of BIM technologies and modeling sustainable building solutions

Based on the literature analysis performed in the first chapter, a complex model for assessing the impact of BIM technologies and modeling sustainable building solutions is proposed (Fig. S2.1). The conceptual model for assessing the impact of BIM technologies and modeling sustainable building solutions allows the integration of environmental, technological, and economic indicators, applying multi-criteria solutions and building information modeling methods. This model is needed for the construction project participants (especially for the client and the designer) to evaluate the rational solutions of a sustainable building by integrating BIM technologies and working methods at an early design stage.

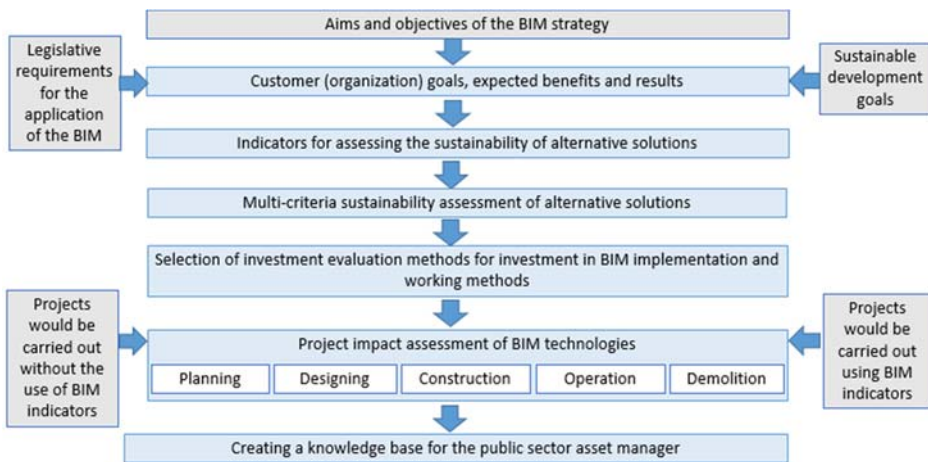


Fig. S2.1. A conceptual model for assessing the impact of BIM working methods and modeling sustainable building solutions (created by the author)

The conceptual model consists of setting the goals by the client; sustainability criteria for the assessment of alternative solutions for a project; the application of multi-objective methods in assessing the sustainability of solutions; the evaluation of investments in BIM implementation and working methods; the BIM technology impact assessment through the cost–benefit analysis; the development of a knowledge base for the client.

The goals of the client are formed based on the system of goals and objectives of the BIM strategy, the legal requirements for the BIM application, and the goals of sustainable development. The objectives of the client in BIM projects are related to the determination of the scope of the BIM application (selection of the required BIM application methods and technologies), the planned benefits, and the impact of the application of BIM technologies. At the same time, the client must decide on the criteria and methods for making decisions in the project, such as assessing the sustainability of alternative solutions. Organizations need to know that deploying and applying BIM technologies and methods requires investments. The model presents methods for assessing the impact of the BIM

application. This will help organizations make informed decisions about BIM applications and technologies.

The hybrid solution model proposed for the sustainability analysis (Fig. S2.2) includes the analysis of multiple factors. An analysis of the literature revealed that in the early stages of building design, it is rational to use multi-criteria decision evaluation methods to assess the sustainability of alternative building solutions. MCDA allows the investor to better assess the attractiveness of multiple alternatives. The evaluation of alternatives using multi-criteria methods offers an opportunity to increase the reliability of the decisions made.

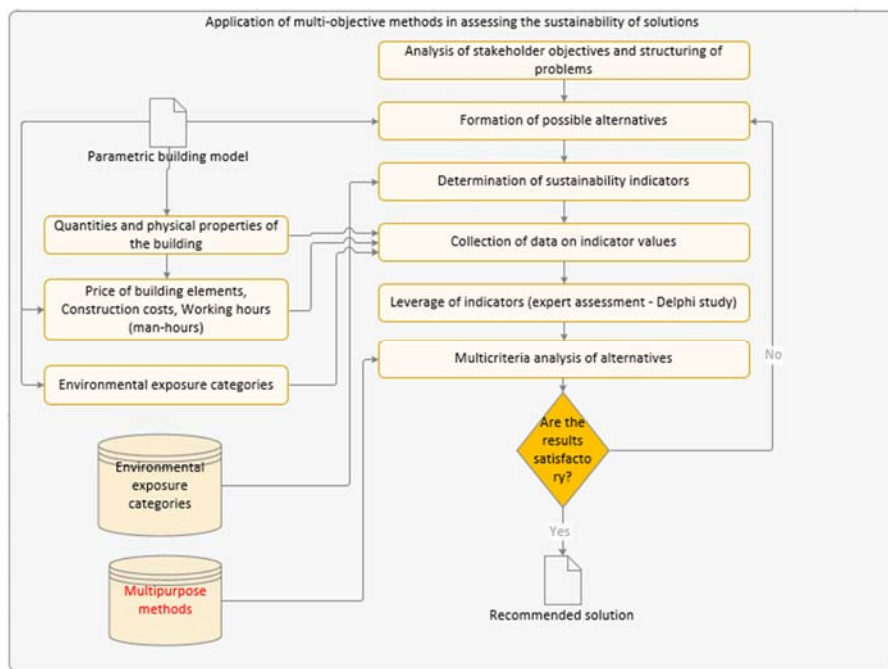


Fig. S2.2. A hybrid solution model based on BIM, multicriteria methods, and Delphi technique (created by the author)

Sustainability assessment of alternative building design solutions was performed using multi-objective methods and a solution model based on the application of BIM technologies. The solution model is implemented in the following stages:

Stage 1. A BIM model of the building is developed, and possible alternatives are formed.

Stage 2. Based on the literature analysis, the original system of indicators is selected for assessing the sustainability of building structural solutions.

Stage 3. The indicators are evaluated by experts using the three-step Delphi method.

Stage 4. Calculation of Indicators of alternative design solutions are calculated, the analysis of alternative construction technologies is made, economic indicators (costs) in

the implementation of alternative design solutions are determined, and environmental indicators are calculated.

Stage 5. Multi-objective approaches SAW, ARAS, and COPRAS are applied to compare alternative design solutions using selected sustainability assessment indicators. This step also includes an analysis of the results.

A case study was performed and described (Chapter 3) to test the practical application of the proposed model. The aim of the case study presented in this section is to test the feasibility of the proposed model for modeling sustainable building solutions.

3. Application of the conceptual model for modeling sustainable building solutions and assessing the impact of BIM technologies

The aim of the case study described in this chapter is to test the practical application of the proposed model to model sustainable building solutions in a real project, to reveal the benefits of BIM technologies in modeling rational solutions for a sustainable building, and to apply a conceptual model in the assessment of the impact made by BIM technologies. To model the solutions of a sustainable building, only construction solutions are considered in the real project task.

The model proposed in the second chapter is illustrated by choosing a specific task, i.e., selecting structural solutions and building load-bearing structures considering the aspects of sustainability.

Although the building consists of many components, the possibilities of integrating BIM technology and multi-criteria analysis in this study were illustrated by applying the proposed model to assess and select building load-bearing structures at an early stage of building design. Three types of load-bearing structures were considered in the case study:

- supporting structures of the building frame made of reinforced concrete prefabricated elements and metal structures;
- prefabricated reinforced concrete load-bearing structures,
- load-bearing structures of the building frame made of monolithic reinforced concrete.

The object of this study is a commercial building adapted for cultural purposes (cinema). The designed building has eight cinemas. The project envisages that the building structures will be installed on the existing multi-story car garage (Fig. S3.1). The distances between the axes of the new building are 11.2 m. The height of the existing building is 9.5 m, and that of the new building is 15.5 m. The total height of the building is 25 m. The layout of the load-bearing structures of the reconstructed building is limited by the layout of the load-bearing structures of the existing building. New load-bearing structures can only be installed at the intersection of the axles of the existing car park building. In other words, the newly installed columns must be above the columns of the parking building. Otherwise, the structures of the existing building may not be able to withstand the bending moment that may result from the application of concentrated forces. In addition, the structural mass of the projected building is limited. If the weight of the structures is too high, the foundations of the car park may not withstand dangerous seating or deform the existing foundation. In this case, the building may even collapse. Large spans are expected in the new building. Therefore, it has a significant impact on the choice of constructions. It is

planned to build an apartment building next to the existing parking lot. However, this was not considered as the object of the investigation would not be affected by the construction of the apartment building.

When forming the task for the design, the client stated that the building under construction must meet the architectural requirements for cultural buildings. The purpose of the building is a cinema, so it is important not to reduce the space when creating alternatives. To ensure this condition, the indicators of the area and volume of the premises must be checked when formulating alternatives, which must remain unchanged.

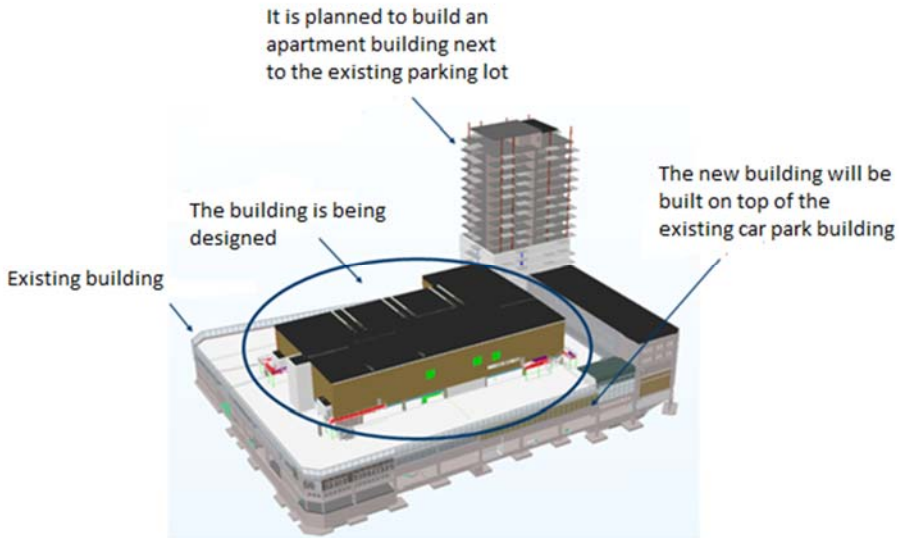


Fig. S3.1. Structural model of the research building

The following alternative design solutions have been developed for evaluation:

Alternative A1. The frame of the building is made of reinforced concrete prefabricated elements with metal support elements.

Alternative A2. Prefabricated reinforced concrete elements.

Alternative A3. The frame of the building is made of monolithic reinforced concrete.

The following assumptions are made in this study:

- The total weight of the building under construction must not exceed the calculated permissible weight, as it will be built on an existing car park.
- The building must meet the architectural requirements for cultural buildings. The purpose of the building is a cinema, so it is important not to reduce the space when creating alternatives. To ensure this condition, the list of indicators must indicate the area and volume of the premises. This indicator was not used in the final assessment, as the designers of the case study building ensured almost equal values for all alternatives.

- The environmental impact assessment is carried out only at the material production stage. Small parts and elements (nails, electrodes, etc.) were not evaluated in the material content analysis.

As mentioned in 3.1.2., the sustainability categories used in this study include environmental, economic, and technological categories. A set of indicators for assessing the sustainability of alternative design solutions is provided in Section 3.1.3. Proposed system of indicators includes the cost of construction work, the price of materials, human work extents (person hours), machine work extents (meachine hours), energy consumption for production of building materials (MJ), Global Warming Potential (GPW) at the material production stage (kg CO₂ eq), ozone-depleting gases (CFC-11) at the production stage (kg CFC-11 eq), wight of structures, and other.

The proposed system of indicators includes a non-finite number of indicators that could be selected to assess the sustainability of static solutions. The decision-maker may adjust the proposed system of indicators by removing inappropriate or missing ones, considering the type of the building, the purpose, and the objectives of the activity.

The analysis of the parameters of structural alternatives and the calculation of indicator values are provided in a separate subsection in Part 2. The results show that the SAW and ARAS methods give similar values of the efficiency levels of the optimality functions (S and K) for alternatives A1 and A2 (Fig. S3.2). In the first case, the distance between A2 from A1 is about 7%. For the ARAS method, the results for A3 and A1 differ by approximately 16%. According to the COPRAS method, the results for A3 and A1 differ by a quarter, and this difference can be considered significant. The reason for the difference in the rationality of the alternatives may be the assumptions made at the beginning of the study and the preferences of the decision-makers expressed in the indicators. In other cases, where decision-makers set different goals, the results may also differ.

The study results also show that the inclusion of environmentally friendly solutions increases the project's cost. For example, the third option is optimal in terms of energy consumption and environmental protection, but the cost of implementing this option would be 23% higher than other options, and the construction work would take 79% longer than the rational alternative. The study revealed that in the early stages of building design, it is rational to use multi-criteria decision methods to assess the sustainability of alternative design solutions. The MCDA aproach allows the investor to better assess the attractiveness of alternatives. By integrating the three different utility functions represented in the applied MCDA methods, the potential is demonstrated to enhance the decision-making robustness. The proposed model is universal and can be applied in different cases.

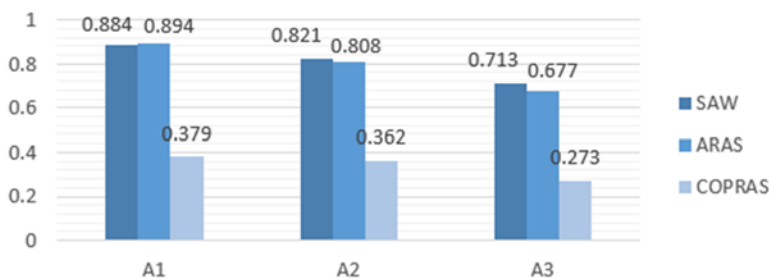


Fig S3.2. Comparison of multi-criteria analysis results

The results obtained by MCDM methods depend on the number of criteria and their weights. The final order of priorities may change as the number of criteria, and their weights change. To ensure that the results are correct and can be applied in practice, it is necessary to perform a sensitivity analysis and verify the stability of the final results to the change insignificance. Additional criteria are added, and their weights are recalculated to determine how the number of criteria and their weights affect the results. It examines how the order of priorities changes according to the change in the significance values of the indicators and concludes whether the results of the calculations are stable and reliable.

Adding additional indicators to the decision model would change the results of the calculations. For example, in the context of the task at hand, it would be rational to include an indicator measuring the generation of (non-recyclable) construction waste. In this case, the weights of the indicators should be recalculated.

Based on the calculation results, the ranking of alternatives in all three methods is the same. The differences in rationality values for the MCDM methods used are SAW (2% for Alternative A1, 6% for Alternative A2, and 6% for Alternative A3), ARAS (2% for Alternative A1, 6% for Alternative A2, and 6% for Alternative A3), and COPRAS (5% for Alternative A1) alternative, 2% for alternative A2 and 3% for alternative A3). The evaluation of the results allows stating that the resulting change in the results of the SAW, ARAS, and COPRAS methods will not affect the priority order, and the results are stable for the change insignificance.

Case study revealed that selecting sustainable solutions at an early stage of design requires additional methods to optimize the evaluation of many alternatives. BIM provides an opportunity to evaluate different design alternatives at the conceptual stage of a project. BIM also makes it easier for structural designers to choose suitable materials at the early design stage. Using integrated tools, structural designers can assess the environmental impact throughout the construction project. However, there are some problems with data loss when transferring data from one software package to another (due to the low interoperability of software packages). This is a major limitation and should be addressed. The case study revealed that the new BIM-based approach requires solutions that allow tasks to be performed on different software platforms that can run in parallel or sequentially. More research is needed, focusing on better data exchange between the different software packages used to evaluate the developed solutions.

The third section also presents a case study that describes the testing of the calculator for the BIM cost–benefit assessment developed by the author. The calculator was prepared by applying the methods described in the second chapter of the dissertation to estimate BIM investments and potential savings. The proposed approach for the BIM cost–benefit assessment was applied using case study project (Fig. S3.3.). The data for the calculations were collected through a questionnaire completed by the organization during the design and construction phases of the analyzed project.

BIM cost–benefit analysis was performed by analyzing the organization's investment in the BIM technology and work methods (costs) and savings due to the application of BIM in projects (benefits). Mathematical expressions presented in the second section were used to estimate investments and savings. Data used for calculations were obtained from completed questionnaires. The results are presented in the form of three possible scenarios according to the ranges of values given in the questionnaires.

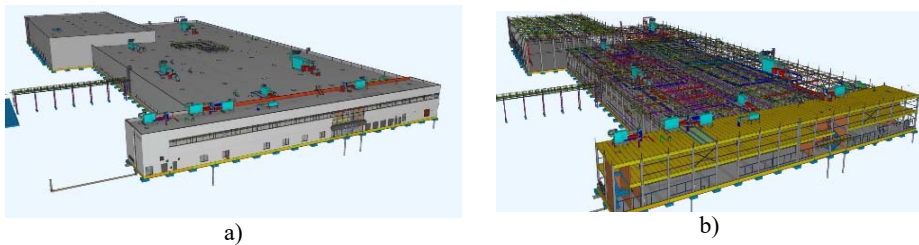


Fig. S3.3. “Rehau” factory model (model visualizations received from the contractor):
a) architectural model and b) engineering parts model parts model

The case study results showed that the BIM methodology saved the contractors some time during the design and construction stages. The contractor also indicated saved time in the design phase in decision-making and design processes, reduced documentation and management costs, more accurately set prices during procurement, reduced construction time and reduced additional (unforeseen) work. The contractor experts who participated in this study found that the BIM benefit assessment tool proposed by the author is useful. They also emphasized the need for organizations to systematically collect and store data on BIM projects to take advantage of this tool.

General conclusions

1. Once the obligation to apply building information modeling to the construction of public buildings enters into force, contracting authorities will take their decisions in the light of the new requirements to apply BIM and adapt projects to the sustainable development objectives. To adapt to the changes taking place in the market, design and construction companies must change their working methods and adapt their organizational processes. These changes require investments and the use of new knowledge. However, as research conducted during the preparation of the dissertation has shown, construction organizations and property managers lack the knowledge and tools to facilitate the implementation and application of BIM technologies. The results of the research review also revealed the absence of methods to assess the BIM impact on an organization’s performance. In response to the need for the identified research, the dissertation proposed several new results.

2. The results of the conducted research analysis revealed a lack of a systematic approach to assessing the impact of the BIM application on the activities of the organization by including sustainability aspects. Given the multiplicity of construction projects based on the BIM methodology and the fact that decision-makers (the customer, the project developer, and the designer) must address multi-criteria tasks in construction projects together with sustainable development goals, the dissertation proposes an original conceptual model for assessing the impact of BIM technologies and sustainable goals in modeling of the rational building decisions. An original system of ten indicators for the sustainability assessment of building design solutions was also proposed for this purpose, which can be applied at an early stage of building design. The developed conceptual model integrates

environmental, technological, and economic indicators, multi-criteria solutions, and building information modeling methods. The proposed conceptual model can facilitate the modeling of sustainable building solutions through the integrated application of sustainability indicators, multi-criteria solutions, and BIM technologies.

3. The proposed model and the system of ten indicators were approved in a construction project by selecting sustainable construction solutions for the building using integrated BIM tools and MCDM methods. The uniqueness of the proposed model is its flexibility and adaptability. MCDA methods and BIM tools integrated into the model ensure that the assessment is reliable. The proposed conceptual model can be revised depending on the type of the designed building, the use purpose, and the client's goals. This model can also be used to assess the sustainability of the building solutions.

4. After examining the three construction alternatives, it has been found that the rational alternative from the point of view of sustainability is A1, when the building frame is designed from reinforced concrete prefabricated elements with metal support elements. In the case of global warming emissions analysis, the first alternative requires the lowest amount of reinforcing steel, so this option has the lowest CO₂ content, i. y. 47% lower compared to the second and 10% lower compared to the third alternative. The implementation of the solutions of the first alternative results in the lowest amount of non-recyclable waste, i. y. 36.16% lower than the third alternative and even 45.38% lower than the second alternative. This result also confirms the findings of other studies (Jaillon et al., 2009; Begum et al., 2010; Mah et al., 2018; Lu et al., 2021) on the potential of prefabricated production to reduce waste. The results of the study also show that the inclusion of environmentally friendly solutions increases the cost of the project. For example, the third option is optimal in terms of energy consumption, but the cost of implementing this option is 23% higher than other options, and construction work will take 79% longer than the rational alternative.

5. One-hundred-and-twenty-two potential BIM application benefits were classified according to the project life stages, BIM application cases, and methods. The developed system of impact assessment indicators for the BIM application can be used to assess the impact of the BIM technologies in projects. The system combines the assessment of investments in BIM technologies with the assessment of the BIM impact. The model's description provides mathematical expressions for evaluating the impact of BIM technologies in a construction project and at the organizational level. The methodology is applied in an actual construction project, adapting it to the available data of this project. The proposed method was tested in a single organization, but it is recommended to involve many different types of organizations for more accurate results.

6. Applying the formulas in Chapter 2 to assess the benefits of BIM, a case study was carried out and the investment and savings values for the BIM project were calculated for optimistic, pessimistic and realistic cases. Organization-sensitive information was presented as means or ranges of values, so non-standard values were obtained in the results. The benefits and costs of the pessimistic scenario range from 2.57 to 2.36, the optimistic from 3.54 to 2.35 and the realistic from 2.41 to 2.33. The study also found that the application of BIM in the design and construction stages could save between € 257,176 and € 708,605 in the pessimistic scenario, from € 709,569 to € 1,411,474 in the optimistic scenario and from € 483,324 to € 934,753 in the realistic scenario.

7. The choice of indicators to assess investments into BIM technologies will depend on the level of maturity of the design and/or construction company, BIM, and the BIM enablers used by the company. BIM impact assessment methods would be best approved in design and construction organizations with the highest level of BIM maturity. BIM technologies and working methods are applied recently in many organizations, but their maturity is difficult to assess due to the lack of approved BIM maturity assessment methodologies. A separate study involving construction organizations is needed to assess the level of BIM maturity. A larger number of different types of organizations is recommended for more accurate results.

8. A survey of market participants (25 organizations) assessing their readiness to apply BIM in construction projects was made. The results revealed that asset managers lacked the knowledge and tools to facilitate the implementation and application of BIM technologies. To fill the gap, it is feasible to create a BIM knowledge base for the client/asset manager implementing and/or applying BIM technologies. The information contained in the knowledge base could help other participants in the project life stages to solve various tasks when applying BIM technologies in the construction project.

9. The research results are useful not only for the client/asset manager but also for all participants of the project's life stages in solving various tasks when BIM technologies are applied in the construction project. The practical application of the conceptual model would help to avoid subjective and irrational decisions and would help to identify the more efficient and less investment-intensive enablers of BIM technologies. For a wider practical use of the conceptual model, research should be continued, and software should be developed to apply the BIM impact assessment methods proposed in the model and obtain the results.

Priedai

- A priedas.** Užsienio šalių BIM projektų patirties analizė
- B priedas.** Nagrinėtuose šaltiniuose taikomi BIM poveikio vertinimo rodikliai
- C priedas.** Rinkos dalyvių pasirengimas taikyti BIM statinio statybos projektuose
- D priedas.** BIM taikymo naudų klasifikavimas pagal statybos projekto etapų veiklas
- E priedas.** BIM naudų vertinimo skaičiuoklės prototipas
- F priedas.** ARAS ir COPRAS metodų skaičiavimo palyginimas

A priedas. Užsienio šalių BIM projektų patirties analizė

A1 lentelė. Užsienio šalių BIM projektų patirties analizė
Table A1. Analysis of experience of foreign BIM projects

Šaltinis	Projektas arba objekto pavadinimas	Taikymo sritis	Tiriamieji rodikliai	Užfiksuotas taikymo efektas	Apribojimai ir sunkumai
(Sacks et al., 2010)	„Rosewood“	Projektavimas	Našumas	Padidėjo 57 %	Duomenų mainų sunkumai
(J. Wang et al., 2016)	Kontrolės centras	Projektavimas ir statyba	Pinigai	Sutaupė 201,133 tūkst. US\$;	1. Duomenų kokybė žema; 2. Nuokrypio ataskaita abstrakti
(Azhar et al., 2007)	„Aquarium Hilton Garden Inn“	Projektavimas	1. Laikas; 2. Pinigai	1. Sutaupyta 1143 h; 2. 600,00 tūkst. Dol. sutaupyta	Neatitikimai tarp architektų ir inžinierių
(Azhar et al., 2007)	„Savannah State University“	Projektavimas	Pinigai	1995000 tūkst. Dol. sutaupyta	Neatitikimai tarp architektų ir inžinierių
(Azhar et al., 2007)	„The Mansion on Peachtree“	Projektavimas	Pinigai	15000 tūkst. Dol. sutaupyta	1. Neatsilikti nuo grafiko; 2. Sumažinti perdarymą
(Azhar et al., 2007)	„Emory Psychology building“	Projektavimas	Pinigai	35000 tūkst. Dol. sutaupyta	1. Lengai sumažinti; 2. Sumažintas pastato aukštis.
(Rahmani Asl et al., 2015)	„Stanford University Solar Decathlon 2013 house project“	Projektavimas	Energijos suvartojimas	Sumažėjo	1. Daug kombinacijų; 2. Optimizavimo procesas užtruko.
(Oh et al., 2015)	„A 5-story hospital building“	Projektavimas	Informacijos praradimas	78,8 % informacijos prarasta	1. Duomenų praradimas; 2. Prastas darbo efektyvumas.
(R. Davies & Harty, 2013)	„Hospital construction project“	Statyba	Darbo kokybė	Pagerėjo	Darbų mastas ir reikalingos pastangos.

A1 lentelės tęsinys

(Lee et al., 2012)	„Six high and medium rise buildings“	Investicijos	Investicijų grąža	43 % padidėjo	Sunkiai aptinkamos klaidos.
(Poirier et al., 2015)	„7 aukštų komercinis pastatas“	Projektavimas	Darbo našumas	Padidėjo 75 %	Duomenų trūkumas
(H. Li et al., 2008)	70 a. administracinis	Projektavimas	Statybos proceso rizikos	Sumažėjo	Planuotojams sunku įsivaizduoti darbo vietas
(Q. Lu et al., 2016)	„Keturių aukštų pastatas“	Statyba	Pelnas	Padidėjo	Tvarkaraštis pakeistas
(Abanda & Byers, 2016)	„Nedidelis šeimyninis namas“	Projektavimas	Energijos išlaidos	Gali sutaupyti iki £878 per šildymo sezoną	Nežinoma modeliavimo programinė įranga
(Irizarry et al., 2013)	„Slaugos mokykla“	Statyba	Ištekliai	Sumažėjo	Neįtrauktas automatizuotas išteklių stebėjimas ir vieta
(S. Zhang et al., 2013)	„Keturių aukštų pastatas“	Projektavimas	Saugos tikrinimo modulis	100 % efektyvus	Mažai dėmesio saugai
(McArthur, 2015)	„Ryerson University“	Projektavimas	Informacijos perdavimas	Greitas	Naudojimas neapibrėžtumo rodiklis
(Jalaei & Jade, 2015)	Gyvenamųjų namų kompleksas	Projektavimas	Medžiagų kainos	Sumažėjo	Kiekių susiję su vidaus aplinkos kokybės kriterijais
(Love et al., 2015)	Gyvenamųjų namai ir ligoninė	Projektavimas	Projekto išlaidos	3 % sumažėjo	Ribota informacinio modelio ir modeliavimo platforma
(Akbarnezhad et al., 2014)	14 aukštų pastatas	Statyba	Medžiagų pakartotinis panaudojimas	20-38 % padidėjo	Papildomos išlaidos
(Barazzetti et al., 2015)	Pilis „Masegra“	Projektavimas	Laikas ir tyrimų kaina	Mažesnė	Automatizuotų metodų taikymas
(W. Lu et al., 2014)	Gyvenamosios paskirties namai	Projektavimas	Kaina	6,92 % sumažėjo	Išlaidas / naudą BIM yra sunku atskirti ir įvertinti.

A1 lentelės tęsinys

(S. Zhang et al., 2015)	Kelių aukštų namas	Projektavimas ir statyba	Galimų pavojų nustatymas	Efektyvus	Modeliavimo funkcijų trūkumas
(S. Zhang et al., 2015)	„Clínica Universidad de Navarra“	Projektavimas	Suvarotos energijos	Apie 30%	Staigus žlugimas programos
(Azhar et al., 2010)	„DPR Headquarters“	Projektavimas ir statyba	Energijos suvartojimas	Iki 12580 kwh per metus mažesnis	Trūkstantys grandys apdorojant duomenis
(Sacks et al., 2010)	„Trys gelžbetoniniai pastatų projektai“	Projektavimas	Produktyvumas	Padidėja nuo 15% iki 41%	Sunku nustatyti projekto vertę
(Pricewaterhouse Coopers, 2018)	DoH: 39 Victoria Street office refurbishment	Projektavimas, statyba ir naudojimas	Pinigai	Projektavimo stadijoje sutaupė 6.3 proc. Statybos stadijoje sutaupė – 15.3 proc., naudojimo stadijoje sutaupė – 12.5 proc.	Kai kuriais atvejais komercinių požūrių neskelbtini duomenys nebuvo visiškai prieinami išsamiai analizei ir buvo pateikti tik aukšto lygio įvertiniai.
(Pricewaterhouse Coopers, 2018)	Foss Barrier Upgrade	Projektavimas, statyba ir naudojimas	Pinigai	Projektavimo stadijoje sutaupė 36 proc. Statybos stadijoje sutaupė – 1.6 proc., naudojimo stadijoje sutaupė – 60,7 proc. Klaidų aptikime sutaupė 1,8 proc.	Kai kuriais atvejais komercinių požūrių neskelbtini duomenys nebuvo visiškai prieinami išsamiai analizei ir buvo pateikti tik aukšto lygio įvertiniai.
(Eldeep et al., 2021)	Dammam University	Projektavimas	Pakeitimai	Naudojant BIM modelį buvo išvengta daugiau kaip 80 proc. pakeitimų	-
(Chaumont-olive et al., 2009)	Nanjing Forestry University campus in Nanjing, China	Projektavimas	Energijos suvartojimas	Sumažintas bendras energijos suvartojimas 22%	-

A1 lentelės pabaiga

(Guo et al., 2021)	School building in Wuhan	Projektavimas	Energijos suvartojimas	Sumažintas bendras energijos suvartojimas 11,4 %	-
(Guerra et al., 2020)	Institucinis pastatas Teksase	Naudojimo stadija	Atliekų pakartotinis panaudojimas	40,4 t buvo pakartotinai panaudota atliekų	-
(Zhuang et al., 2021)	Mokyklos pastatas, esantis Nankino mieste, Jiangsu provincijoje, Kinijoje	Naudojimas	Energijos sutaupymas	Sumažėjo 0,7 mln. CNY	-
(R. Davies & Harty, 2013)	Dvi didelės miesto centro ligoninės UK	Statyba	Laikas	Naudojant BIM metodologiją sumažėjo projekto laikas	-

B priedas. Nagrinėtuose šaltiniuose taikomi BIM poveikio vertinimo rodikliai

B1 lentelė. Pagal tvarumo kategorijas ir statinio projektavimo, statybos ir naudojimo stadijas suklasifikuotos BIM taikymo naujos

Table B1. The benefits of applying BIM are classified according to the sustainability categories and the design, construction and operation stages of the building

Šaltinis	Rodiklis	Formulė	Vertinamieji kintamieji	Matuojamas poveikis
(Autodesk, 2016)	ROI	$ROI = \frac{(B - (\frac{B}{1+E}) \cdot (12-C))}{A + (B \cdot C \cdot D)}$	A – investicijos į techninę ir programinę įrangą; B – mėnesinės darbo sąnaudos; C – mokymams skirtas laikas; D – našumo sumažėjimas mokymų metu (%); E – našumo padidėjimas po mokymų (%)	Investicijų į BIM technologijas grąžą diegimo stadijoje
(Succar et al., 2014)	BIM brandos indeksas (BIM Maturity Index)	Naudojamos aprašomojo vertinimo skalės ir atskirų lygių vertinimas balais	Organizational Scale (BIM taikymo organizacijoje lygis); BIM Competency Granularity Levels (BIM kompetencijos detalumo lygiai); Capability Stages (BIM įgalintojų stadijos); Maturity Level (BIM brandos lygiai)	Penki BIM komponentai suteikia galimybę organizacijoms įvertinti ir pagerinti savo veiklą taikant BIM
(Manziona et al., 2011)	Veiksmų BIM serveryje efektyvumo rodiklis	$AR = \frac{(\sum_{l=t1}^{t2} \sum_{k=1}^{nAI, k})}{(t2 - t1)}$	nAI – veiksmų BIM serveryje; k – veiksmų BIM serveryje rūšis (revizijos, patikros); t2-t1 – vertinamasis periodas	Matuoja informacijos perdavimo greitį per periodą
(Manziona et al., 2011)	BIM modelio versijos informacijos paketo išsamumas	$PSMt = \frac{Pst}{\sum_{l=1}^{nAI} nAI}$ $PSt = \sum_{l=1}^{nAI} nAI, v$	nAI, v – informacijos objektų priklausantių atributų, kuriems priskirtos reikšmės, skaičius; nIO – viso informacijos pakete esančių informacinių objektų skaičius; PSt – informacijos paketo dydis tam tikroje BIM modelio versijoje	Kiekybiškai įvertina informacijos paketų išsamumo lygį BIM modelio versijose
(Manziona et al., 2011)	Turimų, bet nepanaudotų informacijos paketų skaičius	$WIP(t) = \sum_{j=1}^{n=IPj} (t - Tupj) \cdot PSUj$	(t-Tupj) – laikas, per kurį informacijos paketas pasižymi serveryje ir laukia, kol jį atsisieš arba peržiūrės suinteresuotas vartotojas; Tupj – laiko momentas, kai paketas j buvo įkeltas; PSj – informacijos paketo dydis; Uj = 1, jei paketą j peržiūrėjo arba atsisiumė komandos narys k, Uj = 0, jei ne	Matuoja vėlavimus tarp informacijos įkėlimo ir atsisiumimo

B1 lentelės tęsinys

(Manziona et al., 2011)	Perduodamos informacijos paketo dydis	$BSI = \sum_{i=1}^{nIP} \sum_{j=1}^{nAI} nAI$	$RW = \sum_{i=1}^{nIO} \left[\frac{nAI}{PST - PST - 1 + nAI} \right]$	nIP – informacijos paketų skaičius paketų grupėje; nAI – informacijos objektų skaičius kiekvienoje modelio versijoje; nIO – viso pakete esančių informacinių objektų skaičius	Informacijos kiekis, kurį konkretus komandos narys sukauptų įvedimo į BIM modelį
(Manziona et al., 2011)	Perdarinėjimų skaičius			nAI – informacijos atributai, kurių reikšmės buvo pakeistos laiko tarpe tarp T ir T-1; PST – informacijos paketo dydis tam tikroje BIM modelio versijoje (lyginamos skirtingos modelio versijos)	Projekto taisymai, perdarinėjimai
(Forbes & Ahmed, 2010)	Statybos užbaigtumas (%)	(faktinė trukmė / sutartinė trukmė) * 100%		Skirtingų veiklų / darbų faktinės trukmės; Skirtingų veiklų / darbų planuotos trukmė	Nustato užbaigimo procentą kiekvienai veiklos rūšiai
(Forbes & Ahmed, 2010)	Sąnaudų santykis (%)	(faktinės išlaidos / prognozuotos išlaidos) * 100%		Statybos valdymo ar administravimo veiklos faktinės išlaidos; Statybos valdymo ar administravimo veiklos prognozuotos išlaidos	Vertinamas sąnaudų patyrimas vertinant statybos valdymo ar administravimo veiklą
(Barlish & Sullivan, 2012)	Projektavimo išlaidos (%)	(3D modelio rengimo išlaidos be BIM / 3D modelio rengimo išlaidos su BIM) * 100%		3D modelio rengimo išlaidos be BIM; 3D modelio rengimo išlaidos su BIM	Nustato procentinį kainos santykį su BIM 3D modelio kūrimu ir be BIM
(Barlish & Sullivan, 2012)	Rangovų išlaidos (%)	(Statybų rangovo išlaidos be BIM / Statybų rangovo išlaidos su BIM) * 100%		Statybų rangovo išlaidos be BIM; Statybų rangovo išlaidos su BIM	Nustato procentinį kainos santykį rangovų išlaidų ir visų išlaidų be BIM modelio kūrimo
(Barlish & Sullivan, 2012)	Projektavimo + rangos išlaidos (%)	(Projektavimo + rangos išlaidos be BIM / Projektavimo + rangos išlaidos su BIM) * 100%		Projektavimo + rangos išlaidos be BIM; Projektavimo + rangos išlaidos su BIM	Nustato procentinį kainos santykį tarp projektavimo + rangos išlaidos ir visų išlaidų be BIM modelio kūrimo

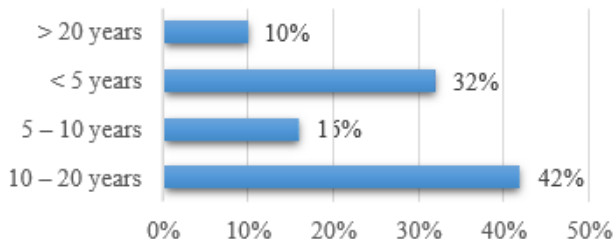
B1 lentelės tęsinys

(Qian, 2012)	P pinigų srautai	$Cash\ Flow\ (CF)\ in\ year\ k$ $= (\Delta I)i0 - \Delta c - (n_{3DK} - n_{3DK} - I)(C_{3D}) - (n_{3DK})(m_{3D}) - n_{2DK}(m_{2D}) - [(n_{ak})(L_{ak}) + (n_{mek})(L_{me}) + (n_{sek})(L_{se}) + (n_{pmk})(L_{pm}) + (n_{qsk})(L_{qs})] + (S_p)$ $\Delta c = (1 - 0.025P_k)(C_0)$ $n_{3DK} = (n_{ak} + n_{sek} + n_{mek} + n_{pmk} + n_{qsk}) / (P_k)$ $n_{2DK} = (n_{ak} + n_{sek} + n_{mek} + n_{pmk} + n_{qsk}) / (1 - P_k)$ $S_p = (1.085)(Y) \cdot (0.025)(P_k)(C_0)$	<i>K – metų skaičius po pradinių investicijų į BIM diegimą;</i> <i>ΔI – prognozuojamas pajamų augimas metais k/ einamosios pajamos;</i> <i>i0 – dabartinės metinės viso projekto pajamos;</i> <i>Δc – pakoreguotos metinės pridėtinės išlaidos;</i> <i>C0 – dabartinės metinės pridėtinės išlaidos;</i> <i>Pk – projektų, kuriuose naudojamas BIM, procentas; 0 ≤ Pk ≤ 1</i> <i>n3DK – BIM darbo vietų skaičius;</i> <i>n2DK – įprastų darbo vietų su BIM galimybėmis skaičius;</i> <i>C3D – BIM darbo vietos investicinės išlaidos (įskaitant techninę, programinę įrangą ir mokymus);</i> <i>m3D – metinės vienos BIM darbo vietos priežiūros išlaidos;</i> <i>m2D – metinės vienos normalios darbo vietos be BIM galimybių priežiūros išlaidos;</i> <i>nak – architektų/projektuotojų skaičius k metais;</i> <i>nme – M&E inžinierių skaičius k metais;</i> <i>nse – statybos inžinierių skaičius k metais;</i> <i>npm – projektų vadovų skaičius k metais;</i> <i>nqs – techninių prižiūrėtojų skaičius k metais;</i> <i>La – vidutinis metinis atlyginimas už architektūros darbus;</i> <i>Lme – vidutinis metinis atlyginimas už M&E inžinerinius darbus;</i> <i>Lse – statybos inžinieriaus vidutinis metinis atlyginimas;</i> <i>Lpm – vidutinis metinis atlyginimas už projektų valdymo darbus;</i> <i>Lqs – techninių prižiūrėtojų vidutinis metinis atlyginimas;</i> <i>S_p – sutaupymai dėl didėjančio produktyvumo ir patirties;</i> <i>Y – padidėjo specialistų poreikis, palyginus su praeitais metais</i>	<i>Nustato metinį finansinį BIM diegimo poveikį ir susijusį disipiravimo laikotarpį</i>
--------------	------------------	--	--	--

B1 lentelės pabaiga

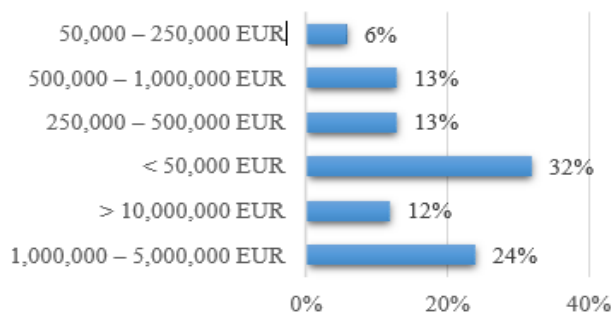
(Son & Ock, 2016)	ROI	$ROI = \frac{\text{Return} - \text{Investment}}{\text{Investment}}$ $ROI = \frac{(IDR + ROC + RSC) - (HWC + SWC + LC)}{(HWC + SWC + LC)}$ $\text{Return} = IDR + ROC + RSC$ $\text{Investment} = HWC + SWC + LC$	IDR – pajamų dėl užsakymų projektavimo darbams padidėjimas; ROC – sumažėjusios išorės paslaugų išlaidos; RSC – sutaupymai dėl grafiko terminų užtikrinimo; HWC – išlaidos aparatinei įrangai; SWC – išlaidos programinei įrangai; LC – išlaidos mokymams C – apmokymų trukmė (mėn.); E – produktyvumo padidėjimas (kartais); B – mėnesinis darbo užmokestis (eurais); F – tiesioginis projektavimo darbas (kartais); G – įmonės darbų specifškumas (kartais); A – programinės įrangos kaina; C – apmokymų trukmė; B – mėnesinis darbo užmokestis; D – produktyvumo sumažėjimas dėl mokymų	Investicijų grąža projektavimo etape (nauda projektavimo įmonei įdiegus BIM)
(Reizgevičius, 2018)	ROI MR	$\frac{(0I2 - C) \cdot (1 + E) + (B \cdot F \cdot G) - (A + (C \cdot B \cdot D))}{A + (C \cdot B \cdot D)}$	Laiko sutaupymai projekto rengimo etape; Laiko sutaupymai statybos etape; Laiko sutaupymai statinio perdavimo naudojimui etape; Kaštai turto valdymo etape; Rekonstrukcijos kaštai	Investicijų grąža projektavimo etape
(Pricewaterhouse Coopers, 2018)	Sutaupymų vertės (eur)	Projektavimo laiko taupymo vertė Statybos laiko taupymo vertė Objekto atidavimo naudojimui laiko taupymo vertė Kaštų taupymai turto valdymo etape Kaštų taupymai rekonstruojant pastatą $\frac{(42M \times 100) + ((100 - 10) \times 20M)}{10}$ $\frac{(176\text{Days} \times 10) + ((100 - 10) \times 120\text{Days})}{10}$	Įvairių tipų sutaupymai dėl BIM taikymo ir sutaupymų vertės	
(Khan, 2019)	Naudos-kaštų analizė		Faktinės ir planuotos projekto etapų trukmės; Faktinis ir planuotas projekto biudžetas	Faktinio ir planuoto projekto laiko skirtumas atskirose projekto stadijose
(EUBIM Task Group, 2021)	Naudos-kaštų analizė	- Naudos-kaštų rodiklis (CBA) - Grynoji dabartinė vertė (NPV)	Pirkimų konkurso išankstinio vertinimo etapo sąnaudų padidėjimas; BIM modeliavimo veiklos kaina; Projektui skirta investicijų į techninės įrangos atnaujinimą dalis	Įvairių tipų sutaupymai ir kaštai

C priedas. Rinkos dalyvių pasirengimas taikyti BIM statinio statybos projektuose



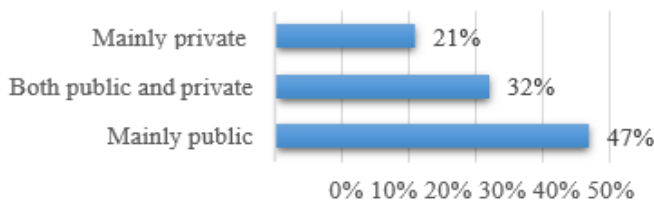
C1 pav. Atsakymų į klausimą „Kiek metų dirbate profesionalu įmonėje / organizacijoje?“ pasiskirstymas

Fig. C1. Distribution of answers to the question “How many years have you worked as a professional in a company / organization?”



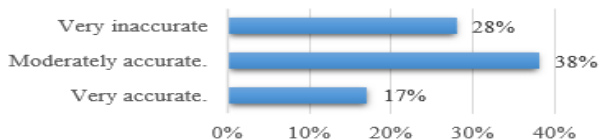
C2 pav. Atsakymų pasiskirstymas į klausimą „Tipinis projektų verčių diapazonas“

Fig. C2. Distribution of answers to the question “Typical range of project values”



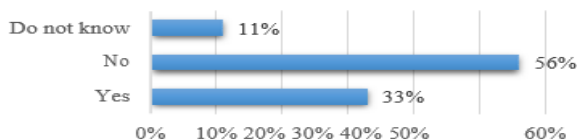
C3 pav. Atsakymų į klausimą „Kokį pastatų nuosavybės tipą naudoja įmonė / organizacija?“ pasiskirstymas

Fig. C3. Distribution of answers to the question “What type of building ownership does the company / organization use?”



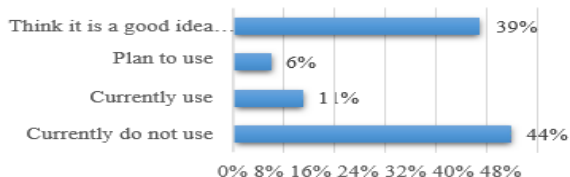
C4 pav. Atsakymų į klausimą „Kiek tikslūs yra organizacijos valdomų / valdomų / naudojamų pastatų (pastatų dalių) duomenys?“ Pasiskirstymas.

Fig. C4. Distribution of answers to the question “How accurate is the data of the buildings (parts of buildings) managed / managed / used by the organization?”.



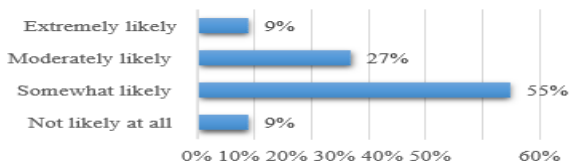
C5 pav. Atsakymų pasiskirstymas į klausimą „Ar įmonė / organizacija turi asmenį operacijos ar valdymo grupėse, skirta atnaujinti ir prižiūrėti archyvuotus duomenis?“

Fig. C5. Distribution of answers to the question “Does the company / organization have a person in the operations or management groups to update and maintain the archived data?”



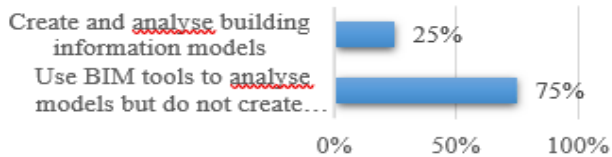
C6 pav. Atsakymų pasiskirstymas į klausimą „Ar įmonė / organizacija šiuo metu naudoja BIM duomenų tvarkymui?“

Fig. C6. Distribution of answers to the question “Does the company / organization currently use BIM for data processing?”



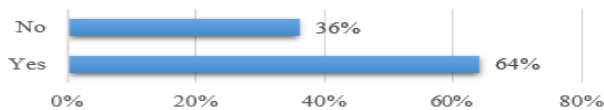
C7 pav. Atsakymų pasiskirstymas į klausimą „Jei įmonė / organizacija šiuo metu nenaudoja BIM, kiek tikėtina, kad jų įmonė / organizacija ateityje naudos BIM?“

Fig. C7. Distribution of answers to the question “If the company / organization does not currently use BIM, how likely is it that their company / organization will use BIM in the future?”



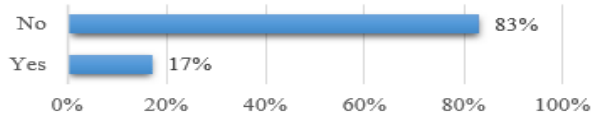
C8 pav. Atsakymų pasiskirstymas į klausimą „Kokiu lygiu jūsų įmonė / organizacija naudoja BIM?“

Fig. C8. Distribution of answers to the question “To what extent does your company / organization use BIM?”



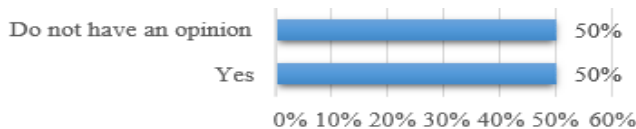
C9 pav. Atsakymų pasiskirstymas į klausimą „Jei įmonė / organizacija neturėjo patirties su BIM, ar žinote apie BIM metodą?“

Fig. C9. Distribution of answers to the question “If the company / organization did not have experience with BIM, do you know about the BIM method?”



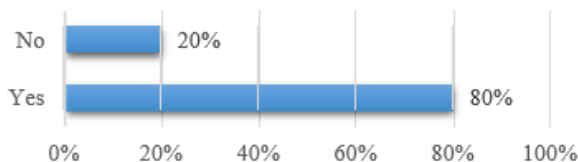
C10 pav. Atsakymų pasiskirstymas į klausimą „Ar įmonė / organizacija girdėjo apie COBie (informacijos mainai apie statybos operacijų pastatą)?“

Fig. C10. Distribution of answers to the question “Has the company / organization heard about COBie (information exchange about the construction operations building)?”



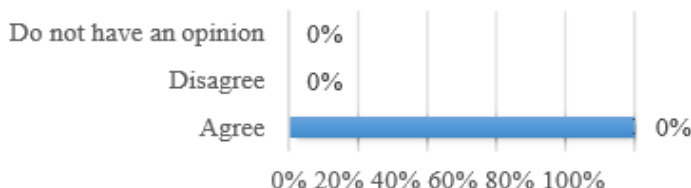
C11 pav. Atsakymų pasiskirstymas į klausimą „Ar įmonė / organizacija mano, kad su BIM susijusios įgyvendinimo išlaidos (pvz., Techninės, programinės įrangos ir darbuotojų mokymai) nusveria BIM naudą?“

Fig. C11. Distribution of answers to the question “Does the company / organization consider that the implementation costs related to BIM (eg hardware, software and staff training) outweigh the benefits of BIM?”



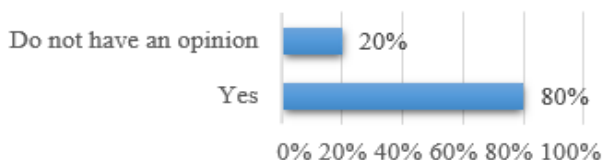
C12 pav. Atsakymų pasiskirstymas į klausimą „Ar įmonė / organizacija mano, kad BIM įgyvendinimas padidina našumą?“

Fig. C12. Distribution of answers to the question “Does the company / organization think that the implementation of BIM increases productivity?”



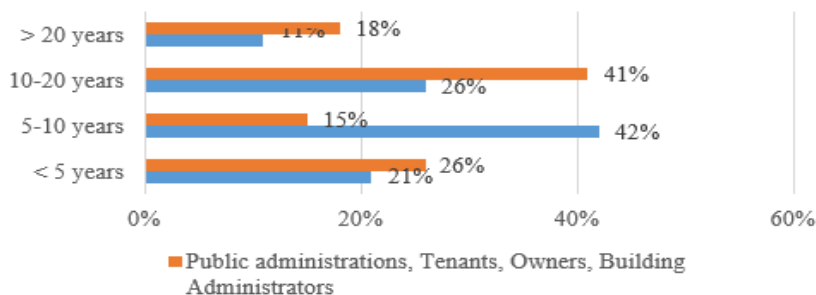
C13 pav. Atsakymų į klausimą pasiskirstymas „Bendra nuomonė yra ta, kad plačiai pritaikius BIM, bus lengviau sumažinti išlaidas ir klaidų skaičių. Ar įmonė / organizacija sutinka ar nesutinka su šiuo teiginiu?“

Fig. C13. Distribution of answers to the question “The general opinion is that the widespread application of BIM will reduce costs and errors. Does the company / organization agree or disagree with this statement?”



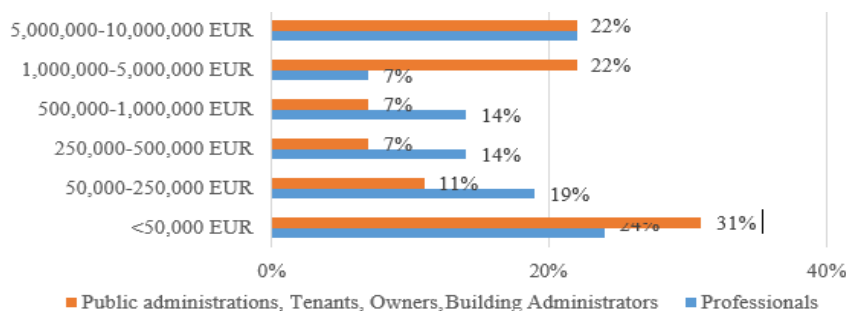
C14 pav. Atsakymų į klausimą pasiskirstymas „Sėkmingai pritaikius BIM, tikimasi naujo bendradarbiavimo ir keitimosi informacija būdo. Iš įmonės / organizacijos patirties ar, jūsų nuomone, ar tai bus galima pasiekti?“

Fig. C14. Distribution of answers to the question “Following the successful application of the BIM, a new way of cooperating and exchanging information is expected. From the experience of the company / organization or do you think this will be achievable?”



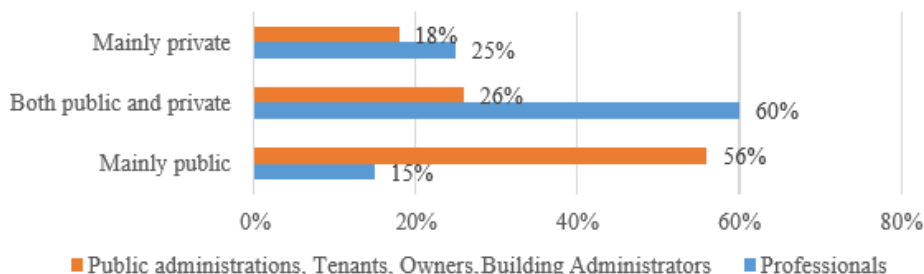
C1 pav. Atsakymų pasiskirstymas į klausimą „Kiek metų dirbate profesionalu įmonėje / organizacijoje?“

Fig. C1. Distribution of answers to the question “How many years have you worked as a professional in a company / organization?”



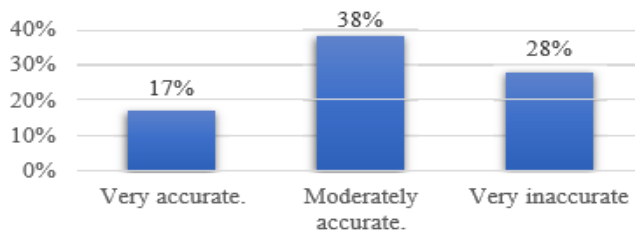
C2 pav. Atsakymų pasiskirstymas į klausimą „Kuo tipišką projekto vertės diapazonas užsiima įmonė / organizacija?“

Fig. C2. Distribution of answers to the question “What is the typical value range of the project for the company / organization?”



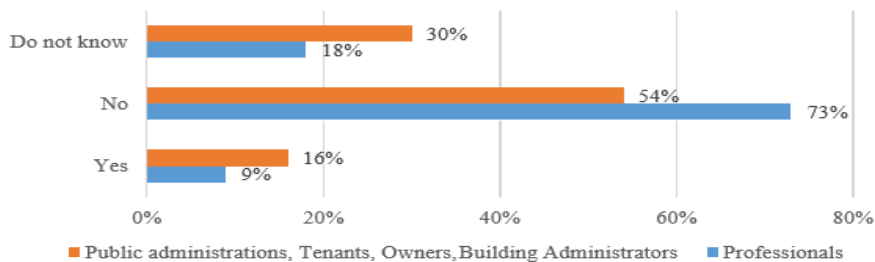
C3 pav. Atsakymų pasiskirstymas į klausimą „Kokių pastatų nuosavybės tipą naudoja įmonė / organizacija?“

Fig. C3. Distribution of answers to the question “What type of building ownership does the company / organization use?”



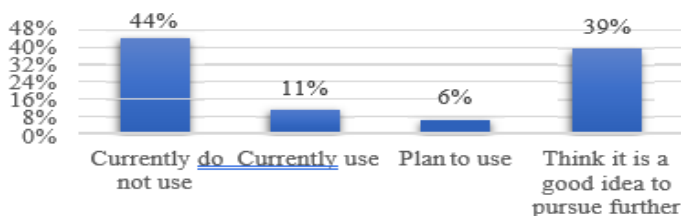
C4 pav. Atsakymų pasiskirstymas į klausimą „Kiek tikslūs yra organizacijos valdomų / valdomų / naudojamų pastatų (pastatų dalių) duomenys?“ (viešojo administravimo institucijų, nuomininkų / savininkų / pastatų administratorių atsakymai)

Fig. C4. Distribution of answers to the question “How accurate is the data of the buildings (parts of buildings) managed / managed / used by the organization?” (Answers of public administration institutions, tenants / owners / building administrators)



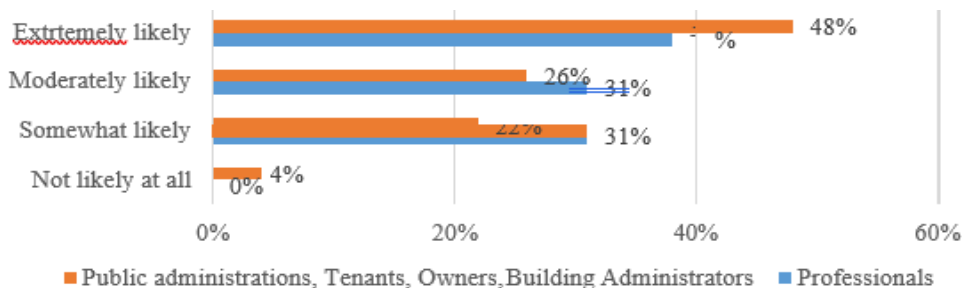
C5 pav. Atsakymų pasiskirstymas į klausimą „Ar įmonė / organizacija turi asmenį operacijos ar valdymo grupėse, skirta atnaujinti ir prižiūrėti archyvuotus duomenis?“

Fig. C5. Distribution of answers to the question “Does the company / organization have a person in the operations or management groups to update and maintain the archived data?”



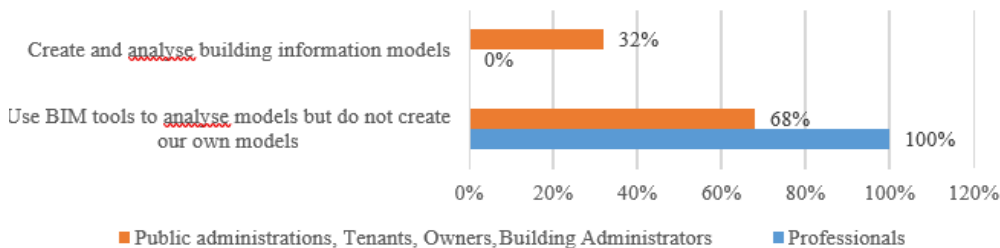
C6 pav. Atsakymų pasiskirstymas į klausimą „Ar įmonė / organizacija šiuo metu naudoja BIM duomenų tvarkymui?“ (viešojo administravimo institucijų, nuomininkų / savininkų / pastatų administratorių atsakymai)

Fig. C6. Distribution of answers to the question “Does the company / organization currently use BIM for data processing?”. (answers from public administrations, tenants / owners / building administrators)



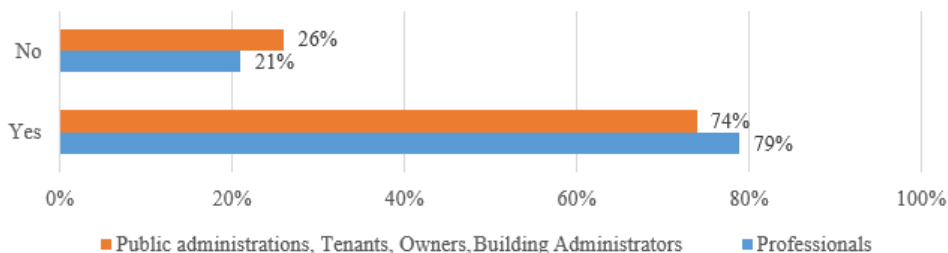
C7 pav. Atsakymų pasiskirstymas į klausimą „Jei įmonė / organizacija šiuo metu nenaudoja BIM, kiek tikėtina, kad jų įmonė / organizacija ateityje naudos BIM?“

Fig. C7. Distribution of answers to the question “If the company / organization does not currently use BIM, how likely is it that their company / organization will use BIM in the future?”



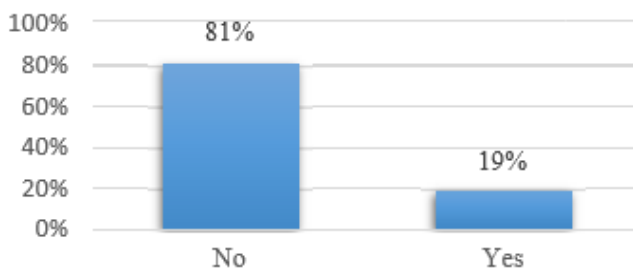
C8 pav. Atsakymų pasiskirstymas į klausimą „Kokiu lygiu jūsų įmonė / organizacija naudoja BIM?“

Fig. C8. Distribution of answers to the question “To what extent does your company / organization use BIM?”



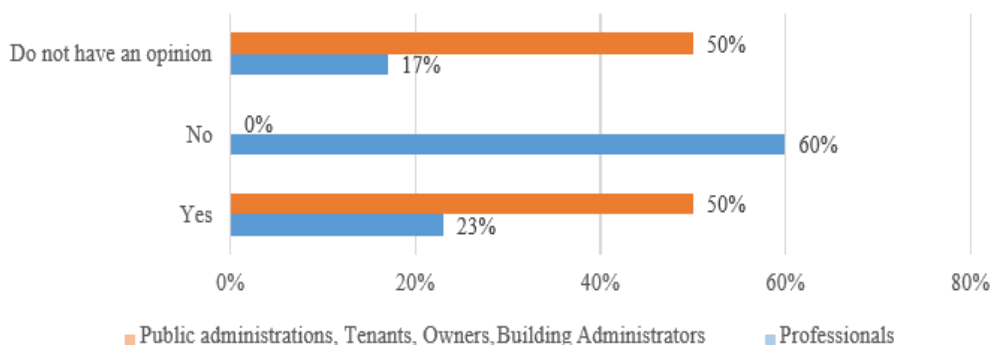
C9 pav. Atsakymų pasiskirstymas į klausimą „Jei įmonė / organizacija neturėjo patirties su BIM, ar žinote apie BIM metodą?“

Fig. C9. Distribution of answers to the question “If the company / organization did not have experience with BIM, do you know about the BIM method?”



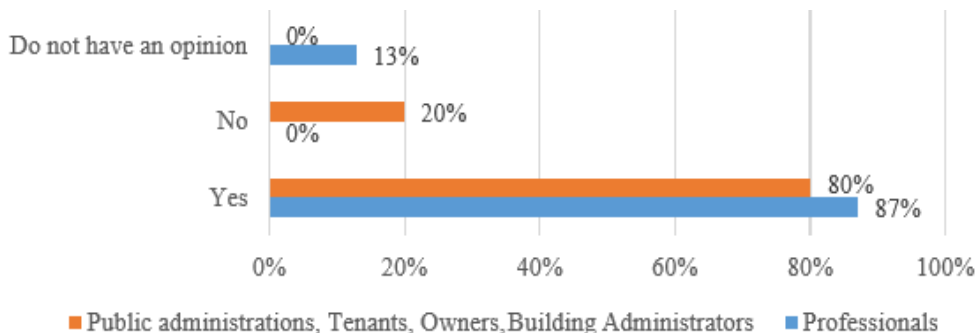
C10 pav. Atsakymų pasiskirstymas į klausimą „Ar įmonė / organizacija girdėjo apie COBie (pastato operacijų informacijos mainus)?“ (viešojo administravimo institucijų, nuomininkų / savininkų / pastatų administratorių atsakymai)

Fig. C10. Distribution of answers to the question “Has the company / organization heard about COBie (exchange of information on building operations)?” (Answers from public administrations, tenants / owners / building administrators)



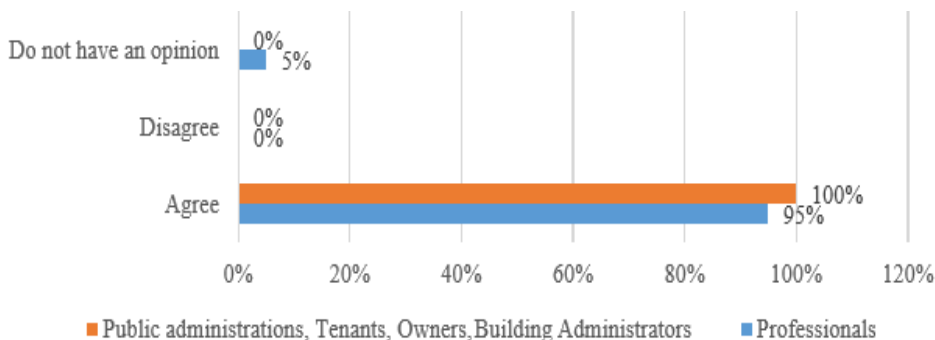
C11 pav. Atsakymų pasiskirstymas į klausimą „Ar įmonė / organizacija mano, kad su BIM susijusios įgyvendinimo išlaidos (pvz., Techninės, programinės įrangos ir darbuotojų mokymai) nusveria BIM naudą?“

Fig. C11. Distribution of answers to the question “Does the company / organization consider that the implementation costs related to BIM (eg hardware, software and staff training) outweigh the benefits of BIM?”



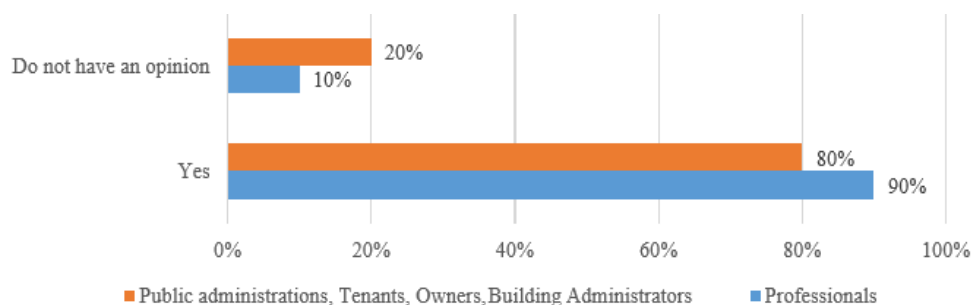
C12 pav. Atsakymų pasiskirstymas į klausimą „Ar įmonė / organizacija mano, kad BIM įgyvendinimas padidina našumą?“

Fig. C12. Distribution of answers to the question “Does the company / organization think that the implementation of BIM increases productivity?”



C13 pav. Atsakymų į klausimą pasiskirstymas „Bendra nuomonė yra ta, kad plačiai pritaikius BIM, bus lengviau sumažinti išlaidas ir klaidų skaičių. Ar įmonė / organizacija sutinka ar nesutinka su šiuo teiginiu?“

Fig. C13. Distribution of answers to the question “The general opinion is that the widespread application of BIM will reduce costs and errors. Does the company / organization agree or disagree with this statement?”



C14 pav. Atsakymų į klausimą pasiskirstymas „Sėkmingai pritaikius BIM, tikimasi naujo bendradarbiavimo ir keitimosi informacija būdo. Iš įmonės / organizacijos patirties ar, jūsų nuomone, ar tai bus galima pasiekti?“

Fig. C14. Distribution of answers to the question “Following the successful application of the BIM, a new way of cooperating and exchanging information is expected. From the experience of the company / organization or do you think this will be achievable?”

D priedas. BIM taikymo naudų klasifikavimas pagal statybos projekto etapų veiklas

D1 lentelė. Pagal tvarumo kategorijas ir statinio projektavimo, statybos ir naudojimo stadijas suklasifikuotos BIM taikymo naudos

Table D1. The benefits of applying BIM are classified according to the sustainability categories and the design, construction and operation stages of the building

Nr.	BIM nauda (efektas)	BIM efekto apraiškos ir ištakos	STATINIO PROJEKTO ETAPAS			
			PLANAVIMAS	PROJEKTAVIMAS	STATYBA	NAUDOJIMAS
1	Geresnė projektinių sprendimų priėmimo aplinka.	3D objektinis parametris modelioavimas kartu su automatizavimo priemonėmis gerina projektinių sprendimų paieškos ir priėmimo aplinką ir didina jų vertinimo ir atrankos darbo procesų efektyvumą.	x	x	x	
1.1	Geresnis kontekstinės situacijos suvokimas	Esamos realybės modeliavimas gerina kontekstinės situacijos suvokimą ir paruošia pagrindą kokybiškiems projektiniams sprendiniams priimti.	x	x	x	
1.2	Geresnė projektinių sprendimų paieška, vertinimas ir atranka (vizualiniais metodais)	3D objekto modelioavimas ir vizualizavimo priemonės įgalina geriau ir efektyviau atlikti projektinių sprendimų paiešką, vertinimą ir atranką.	x	x		
1.3	Geresnė projektinių sprendimų paieška, vertinimas ir atranka (analizės metodais)	Projektinių sprendimų efektyvi paieška ir vertinimas gali būti papildyti sąsajomis su inžinerinės analizės (CAE) sistemomis.	x	x		
1.4	Geresnis priimamų sprendimų suvokimas ir įvertinimas	3D objekto modelioavimas taikomas kartu su virtualios realybės modeliavimo priemonėmis (mišri realybė) įgalina geriau suvokti ir įvertinti priimamus sprendinius.	x	x		
1.5	Geresni modifikacijų ir variantų atrankos būdai	Projektinių sprendimų paieška vykdoma žymiai efektyviau modifikacijų ir variantų atrankos būdu išnaudojant 3D modelio ir jo objektų parametrines savybes.	x	x		
1.6	Geresnis 3D modeliavimo procesas	Parametrinių objektų ir standartinių komponentų vidinių ir išorinių bibliotekų panaudojimas leidžia žymiai paspartinti ir efektyvinti 3D modeliavimo procesą.	x	x		
1.7	Geresnė aplinka sprendimų priėmimui ir rezultatų pasiekimui	Projektavimo būdų ir metodų automatizavimo galimybės mažina žemo efektyvumo ir ilmaus laikui rankinio darbo sąnaudas, atlaisvinant projekto komandos laiką realių projektavimo užduočių atlikimui - sprendimų priėmimui ir rezultatų pasiekimui.	x	x		

D1 lentelės tęsinys

2	Geresnė sprendimų priėmimo ir valdymo aplinka	3D/4D/5D objektinis imitacinis modeliavimas (simuliacijos) kartu su sprendimų paramos metodais gerina organizacinių technologinių sprendimų paieškos ir priėmimo aplinką, didina jų vertinimo ir atrankos darbo procesų efektyvumą.		x	x	
2.1	Geresni sprendiniai gamybai	3D modelio gilus detalizavimo lygis leidžia geriau paruošti sprendinius gamybai.		x	x	
2.2	Geresnė organizacinių technologinių sprendimų paieška, vertinimas ir atranka	Organizacinių technologinių sprendimų paieška, vertinimas ir atranka gali būti efektyviai atliekami imitacinio modeliavimo priemonėmis, kompleksiskai vertinant inžinerinius, technologinius bei ekonominius faktorius, kartu su laiko planavimo ir kaštų vertinimo (4D/5D modeliavimo) priemonėmis.		x	x	
2.3	Operatyvesnė sprendimų paieška, vertinimas ir atranka (statybos procese)	Statybos ir gamybos procesų operatyvi sprendimų paieška, vertinimas ir atranka jų vykdymo eigoje gali būti atliekama pagal imitacinio modeliavimo (simuliacijos) priemonėmis sukurtus ir patikrintus scenarijus, lygiagrečiai taikant laiko, išteklių planavimo ir sąnaudų vertinimo bei apskaitos (4D/5D modeliavimo) priemones.			x	
3	Geresnė turto valdymo sprendimų priėmimo ir vykdymo aplinka	3D/4D/5D/6D/7D objektinis imitacinis modeliavimas (simuliacijos) kartu su sprendimų paramos metodais gerina turto valdymo sprendimų paieškos ir priėmimo aplinką, didina jų vertinimo ir atrankos darbo procesų efektyvumą.	x			x
3.1	Geresnė turto valdymo sprendimų paieška, vertinimas ir jų vykdymo kontrolė	Turto valdymo sprendimų paieška, vertinimas ir jų vykdymo kontrolė gali būti efektyviai atliekami turto informacijos modelio situacijų statinio ir dinaminio modeliavimo pagrindu, kompleksiskai vertinant turto naudojimo bei techninės priežiūros modeliavimo užduotis kartu su laiko bei kaštų planavimo ir apskaitos elementais (4D/5D/6D modeliavimas).				x
3.2	Geresnis turto valdymo sprendimų pasekmių prognozavimas	Turto valdymo sprendimų pasekmių prognozavimas gali būti efektyviai atliekamas turto informacijos modelio nuspėjamosios analizės ir jo situacijų statinio ir dinaminio modeliavimo priemonėmis kartu su tvarumo analizės, skaitinės analizės, nelaimių prevencijos modeliavimo elementais (3D/4D/6D/7D modeliavimas).	x			x
4	Geresnis sprendimų pagrįstumas ir patikimumas	Visi projektiniai sprendiniai gali būti detalai ištestuoti, patikrinti, verifikuoti ir patvirtinti 3D informacinio modeliavimo, imitacinio modeliavimo (simuliacijos), skaitinės analizės, matematinio modeliavimo ir kt. priemonėmis kas didina jų pagrįstumą ir patikimumą (kokybę).	x	x	x	x
4.1	Geresnis analize paremtų sprendimų pagrįstumas ir patikimumas	Išplėstinės skaitinės analizės priemonės leidžia patikrinti ir pagrįsti inžinerinius sprendinius virtualaus bandymo ir simuliacijos priemonėmis.		x	x	

D1 lentelės tęsinys

4.2	Geresnis kiekių ir kainos analizė paremtų inžinerinių ir technologinių sprendimų parinkimas	Kiekių ir kainos analizė leidžia verifikuoti ir pasirinkti inžinerinius ir technologinius sprendinius pagal ekonominius rodiklius.		x	x	x
4.3	Geresnis imitaciniu modeliavimu paremtų statybos būdo sprendimų parinkimas	Imitacinis modeliavimas (simuliavimas) įgalina išanalizuoti ir pasirinkti racionalių ir efektyvų statybos būdą.		x	x	
4.4	Geresnis imitaciniu modeliavimu paremtų statybos ir turto valdymo operacijų sprendimų parinkimas	Imitacinis modeliavimas (simuliavimas) įgalina efektyviai sekti ir kontroliuoti statybos ir turto valdymo procesus.			x	x
4.5	Geresnis variantų palyginimu paremtų sprendimų pagrįstumas ir patikimumas	Sprendinių variantų lyginamoji analizė leidžia iš daugelio sprendinių pasirinkti geresnius pagal nustatytus rodiklius (daugiakriterė analizė).	x	x	x	x
5	Aiškesnis ir tikslesnis sprendimų rezultatų atvaizdavimas	BIM taikymo būdų rezultatai (pateiktys) gali tiksliai, aiškiai ir vienareikšmiai atvaizduoti priimtus sprendinius, užtikrinant modelio duomenų ir jo pateiktųjų vieningumą ir išsimumą per jų asociatyvius ryšius.	x	x	x	
5.1	Geresnis modelio informacijos pateikimas	Grafinio vizualizavimo galimybės leidžia išsamiai, detalai ir realistiškai pateikti ir pristatyti modeliavimo ir skaitinės analizės rezultatus statiniais ir dinaminiais vaizdais.	x	x	x	
5.2	Geresni ir aiškesni skaitinės analizės rezultatai	Skaitinės analizės rezultatai gali realistiškai imituoti aplinkos poveikius objektams ir atvaizduoti jų pasekmes.	x	x		
5.3	Geresnis aktualios modelio informacijos atvaizdavimas (kiekiai)	Kiekiai nustatomi objektyviai ir tiksliai, atvaizduojant realią modelio situaciją atitinkančią aktualios modelio informacijos išsamumo ir detalumo lygį.	x	x	x	
5.4	Geresnis aktualios modelio informacijos atvaizdavimas (brėžiniai)	Brėžiniai atvaizduoja realią modelio situaciją atitinkančią modelio aktualios informacijos išsamumo ir detalumo lygį.	x	x	x	
5.5	Geresnis rezultatų pateikimas gamybai	Gilus detalizavimo lygis leidžia geriau parengti modeliavimo rezultatus gamybai, tame tarpe skaitmeninei gamybai.		x	x	
5.6	Geresnė kuriamos aplinkos poveikio patirtis	Išplėstosios realybės modeliavimo galimybės (virtualaus pasaulio imitavimas arba realaus su virtualiu pasauliu sujungimo pasekmė) leidžia vartotojui patirti kuriamos arba mišrios aplinkos poveikį, kurioje fiziniai ir skaitmeniniai objektai egzistuoja ir sąveikauja realiu laiku.	x	x	x	
6	Greitesnis ir efektyvesnis projektinių užduočių atlikimas	3D objektinis parametris modelioavimas ir jo darbo būdų automatizavimo galimybės įgalina greičiau ir efektyviau atlikti projekto operacijas ir informacijos sukūrimo procesus.	x	x		
6.1	Greitesnis ir efektyvesnis informacijos sukūrimo procesas	Parametrinio objektinio modeliavimo priemonės kartu su operacijų automatizavimo įrankiais efektyviai paspartina informacijos sukūrimo procesą.	x	x		

D1 lentelės tęsinys

6.2	Greitesnis ir efektyvesnis projektavimo užduočių atlikimas	Projektavimo būdų ir metodų automatizavimo galimybės mažina žemo efektyvumo ir imlaus laikui rankinio darbo sąnaudas, atlaisvinant projekto komandos laiką realių projektavimo užduočių atlikimui - sprendimų priėmimui ir rezultatų išgavimui, tokiu būdu paspartinant projekto vykdymą.	x	x		
6.3	Greitesnis ir efektyvesnis projektavimo operacijų vykdymas	Projektavimo būdų ir metodų automatizavimo galimybės įgalina greičiau ir efektyviau atlikti operacijas susijusias projekto užduočių atlikimui, ypač pakartotinių užduočių atlikimui, tokių, kaip objektų išdėstymas pagal taisykles, perkėlimas, kopijavimas, atkartojimas ir pan.	x	x		
6.4	Greitesnė ir efektyvesnė rezultatų patikra, neatitikimų ir klaidų paieška	Projektavimo būdų ir metodų automatizavimo galimybės įgalina greičiau ir efektyviau atlikti projekto informacijos ir rezultatų atitikimo standartams patikrą, neatitikimų ir klaidų paiešką.		x		
6.5	Greitesnė ir efektyvesnė modelio pakeitimų kontrolė bei valdymas	Projektavimo būdų ir metodų automatizavimo galimybės įgalina greičiau ir efektyviau atlikti modelio modifikavimą, atnaujinimą, pakeitimų kontrolę bei valdymą.	x	x	x	
7	Greitesnis ir efektyvesnis rezultatų ir pateikčių sukūrimas ir paskelbimas	3D objektinis parametrinis modeliavimas ir jo darbo būdų automatizavimo galimybės įgalina greičiau ir efektyviau atlikti rezultatų ir pateikčių sukūrimo ir paskelbimo procesus.	x	x	x	
7.1	Suderintas ir koordinuotas projekto dokumentacijos sukūrimas ir paskelbimas	3D objektinio modeliavimo, imitacinio modeliavimo, vizualizavimo, skaitinės analizės ir kitų BIM taikymo būdų rezultatų (pateikčių) suderintas ir koordinuotas sukūrimas paspartina projekto dokumentacijos sukūrimo ir paskelbimo procesus.	x	x		
7.2	Operatyvus aktualios informacijos gavimas ir pateikimas	Projektavimo rezultatai ir modelio pateiktys gali būti kuriami taupant laiką ir išteklius suderintu būdu projektavimo darbų eigoje lygiagrečiai projektavimo procesui vadovaujantis nuosaikaus pakankamumo principu.	x	x		
7.3	Greitesnis ir efektyvesnis projekto dokumentacijos sukūrimas ir paskelbimas	Projektavimo rezultatų ir modelio pateikčių generavimo automatizavimo galimybės efektyviai paspartina projekto dokumentacijos sukūrimo ir paskelbimo procesus.	x	x		
7.4	Greitesnis ir efektyvesnis projektinių sprendimų realizavimas	Projektinių sprendimų realizavimo efektyvumas ir sparta gali būti padidinta integravimo su gamybos paruošimo (CAM) sistemomis, kuris leidžia atsisakyti (dalinai atsisakyti) imlaus laiko sąnaudų požiūriu gamybinės darbo dokumentacijos paruošimo.		x	x	
8	Greitesnis ir efektyvesnis pakeitimų valdymas	3D objektinis parametrinis modeliavimas leidžia suderintu būdu centralizuotai atlikti ir valdyti visus pakeitimus modelyje, o rezultatų (pateikčių) asociatyvūs ryšiai su modeliu leidžia greitai ir tiksliai atlikti šiuos pakeitimus visuose projekto dokumentų grupėse.	x	x		

D1 lentelės tęsinys

8.1	Suderintas ir koordinuotas modelio pakeitimų atlikimas	Modelio pakeitimai atliekami suderintu ir koordinuotu būdu išnaudojant modelio objektų parametrines savybes ir jų parametrinius ryšius su kitais objektais.	x	x		
8.2	Suderintas ir koordinuotas pakeitimų valdymas modelyje ir jo pateiktyse	Pakeitimai automatizuotu būdu gali būti propaguojami visame projekte - modelyje ir jo pateiktyse suderintu ir koordinuotu būdu.	x	x		
8.3	Greitesnis ir efektyvesnis kiekį žiniaraščių atnaujinimas	Greitas ir tikslus kiekų žiniaraščių atnaujinimas atliekamas suderintu ir koordinuotu būdų per jų asociatyvius ryšius su modeliu.	x	x	x	
8.4	Greitesnis ir efektyvesnis 2D vaizdų ir brėžinių atnaujinimas	Greitas ir tikslus 2D vaizdų ir brėžinių atnaujinimas atliekamas suderintu ir koordinuotu būdų per jų asociatyvius ryšius su modeliu.	x	x	x	
8.5	Greitesnis ir efektyvesnis kalendorinių grafikų atnaujinimas	Greitas ir tikslus kalendorinių grafikų atnaujinimas atliekamas suderintu ir koordinuotu būdų per jų asociatyvius ryšius su modeliu.		x	x	
8.6	Greitesnis ir efektyvesnis ekonominių skaičiavimų (sąmatų) atnaujinimas	Greitas ir tikslus ekonominių skaičiavimų (sąmatų) atnaujinimas atliekamas suderintu ir koordinuotu būdų per jų asociatyvius ryšius su modeliu.		x	x	
8.7	Greitesnis ir efektyvesnis projekto duomenų atnaujinimas	Greitas ir tikslus kitų duomenų masių išreikštų vizualine, tekstone, lentelių ir kitų projekto dokumentų pateikimo forma atnaujinimas atliekamas suderintu ir koordinuotu būdų per jų asociatyvius ryšius su modeliu.	x	x	x	
9	Geresnė klaidų ir neatitikimų aptikimas ir kontrolė	3D objektinis modeliavimas mažina klaidų ir neatitikimų tikimybę bei leidžia automatizuotu būdu palyginti skirtingų modelių arba skirtingų modelio versijų grafinę ir negrafinę informaciją ir efektyviai aptikti bei kontroliuoti jų neatitikimus ir skirtumus.		x	x	
9.1	Geresnis konfliktų ir kolizijų aptikimas ir kontrolė modelyje	Automatizuotas konfliktų ir kolizijų (klaidų ir neatitikimų) aptikimas ir kontrolė įgalina suvaldyti duomenų nesutapymo ir neatitikimo rizikas informacijos modeliuose.		x	x	
9.2	Geresnis konfliktų ir kolizijų aptikimas ir kontrolė pateiktyse	Automatizuotas konfliktų ir kolizijų (klaidų ir neatitikimų) aptikimas ir kontrolė modeliuose įgalina suvaldyti duomenų nesutapymo ir neatitikimo rizikas skirtingose projekto dokumentų grupėse per jų asociatyvius ryšius su modeliu.		x	x	
9.3	Geresnė taisyklių ir normų reikalavimų patikra modeliuose	Automatizuota standartų, taisyklių ir normų reikalavimų patikra įgalina suvaldyti duomenų neatitikimo rizikas standartams, taisyklėms ir normų reikalavimams informacijos modeliuose.		x	x	
9.4	Geresnė taisyklių ir reikalavimų patikra pateiktyse	Automatizuota nustatytų standartų, taisyklių ir reikalavimų patikra leidžia suvaldyti duomenų neatitikimo rizikas standartams, taisyklėms ir reikalavimams informacijos modeliuose bei skirtingose informacijos modelių pateiktyse ir projekto dokumentų grupėse per jų asociatyvius ryšius su modeliu.		x	x	

D1 lentelės tęsinys

10	Projekto informacijos vientisumo ir tęstinumo nauda	Jungtinis (vientisas arba susietas) informacijos modelis yra bendras rengimo objektas visiems projekto dalyviams, vieningas projekto grafinės ir aprašomosios informacijos šaltinis visoms projekto dalims ir vystymo etapams.	x	x	x	x
10.1	Projekto informacijos kompleksinio panaudojimo nauda projektavimo stadijoje	Jungtinis (susietas) informacijos modelis projektavimo etape įgalina kompleksiskai įvertinti projektą, kaip atskirų dalių visumą, užtikrinti jų tarpusavio techninį suderinamumą, parinkti technologinius įgyvendino scenarijus bei įvertinti jų trukmę bei kaštus.	x	x	x	
10.2	Projekto informacijos kompleksinio panaudojimo nauda statybos procese	Projektinis informacijos modelis papildant jį aktualia išpildomąja informaciją ir naujais duomenimis apie statomą objektą naudojamas statybų procesų planavimui ir valdymui bei atlikimo kontrolei.		x	x	
10.3	Projekto informacijos kompleksinio panaudojimo turto valdymo operacijoms	Projektinis informacijos modelis papildytas išpildomąja informacija ir aktualia eksploatacine informacija transformuojamas į turto informacijos modelį naudojamas turto valdymo operacijoms naudojimo ir techninės priežiūros, konversijos ir likvidavimo etapuose.		x	x	x
10.4	Informacijos modelio pateiktųjų kompleksinio panaudojimo nauda visuose projekto stadijose	Projekto ar turto modelyje esanti informacija gali būti gauta ir išskleista iš jo bet kuriuo laiko momentu tinkama naudotojui struktūruotų duomenų formatais ir dokumentų forma: brėžinių, kiekių žiniaraščių, specifikacijų, ataskaitų, sąmatų ir kt.	x	x	x	x
11	Projekto informacijos paskirstymo ir nedubliavimo nauda	Paskirstyto ir susieto (federalizuoto) informacijos modelių darbo koncepcija ir jų suderinto koordinavimo metodai įgalina vystyti projekto informaciją be dubliavimų ir pasikartojimų kas leidžia ženkliai padidinti darbo našumą ir efektyvumą.	x	x		
11.1	Projekto informacijos paskirstymo ir nedubliavimo nauda darbo našumui	Modelis paskirstytas tarp projekto disciplinų, o užduotys priskiriamos disciplinų viduje tokiu būdu kiekvienas projekto dalyvis vysto savo dalykinės srities (priskirtos užduoties) informacijos dalį, neatkartojant kitų dalių informacijos, bet dirbant jų kontekste informacijos susiejimo principu, kas leidžia ženkliai padidinti darbo našumą.	x	x		
11.2	Projekto informacijos paskirstymo ir nedubliavimo nauda išteklių ekonomijai ir laiko taupymui	Projektavimo procesai skirtingose projekto dalyse ir disciplinose vystomi lygiagrečiai, projekto dalys nelaukia viena kitos, kas leidžia tolygiau paskirstyti ir efektyviai išnaudoti projektavimo resursus ir taupyti projekto laiką.	x	x		
11.3	Projekto informacijos paskirstymo ir nedubliavimo nauda atsakomybių reguliavimui	Kiekvienas projekto dalyvis yra atsakingas tik už savo dalykinės srities informacijos sukūrimą, tuo tarpu atskyrų disciplinų ir projekto dalių informacija konsoliduojama jungtiniame (susietame) modelyje, kas leidžia efektyviai koordinuoti ir valdyti atsakomybes už bendrą ir asmeninį indėlį į projekto rezultatus	x	x		

D1 lentelės tęsinys

12	Informacijos pakartotinio panaudojimo nauda	Statinio informacinis modeliavimas leidžia kaupti ir saugoti pakartotiniam naudojimui modelio sprendinius ir jų pateikčių standartus bei šablonus; duomenys gali būti pakartotinai naudojami be pakeitimų arba pritaikomi naujiems sprendiniams.	x	x	x	x
12.1	Mažesnė pakartotinio darbo operacijų apimtis taupo laiką bei išteklius, didina darbo našumą	Efektyvus parametrinių objektų ir standartinių komponentų vidinių ir išorinių bibliotekų panaudojimas leidžia sumažinti pakartotinio darbo operacijas, kas spartina projektavimo procesus, taupo laiką bei išteklius ir didina darbo našumą	x	x	x	
12.2	Informacijos modelio naudojimas daugkartiniam pateikčių sukūrimui, duomenų išskleidimui	Projekto informacijos modelis gali būti pakartotinai naudojamas daugkartiniam pateikčių sukūrimui, duomenų išskleidimui, kiekybinių rodiklių vertinimui, kas taupo laiką, kaštus bei išteklius.	x	x	x	
12.3	Projekto informacijos pakartotinas panaudojimas visuose statinio projekto etapuose	Projekto informacijos modelio elementai, sukurti projektavimo stadijoje, toliau dalyvauja statant, eksploatuojant, rekonstruojant, modernizuojant ir likviduojant statinį. Modelio elementai išlieka interaktyviai prieinami informacijos peržiūrai per jiems priskirtą ir atnaujinamą duomenų bazę, kas leidžia kaupti ir naudoti žinias apie šiuos modelio elementus per visus statybos projekto etapus.	x	x	x	x
13	Geresnis procesų koordinavimas ir valdymas	Projekto informacinio modelio pagrindu kuriama vieninga projekto administravimo ir valdymo sistema, kuri leidžia suderinti technologinius projektavimo proceso etapus, sinchronizuoti ir koordinuoti projektavimo proceso dalyvių veiksmus, saugoti projektą ir jo kūrimo istoriją vieningoje duomenų bazėje, kas leidžia efektyviai valdyti ir koordinuoti projektavimo, statybos ir turto eksploatacijos procesus.	x	x	x	x
13.1	Geresnis projekto informacijos koordinavimas ir valdymas	BIM technologijos leidžia sukurti tikrovišką, didelio tikslumo ir našumo, nuoseklų ir vientisą arba susietą statinio informacijos modelį, kuris padeda kompleksškai koordinuoti ir valdyti informaciją apie objektą projektavimo, statybos ir naudojimo etapuose.	x	x		
13.2	Geresnis projekto rezultatų ir pateikčių koordinavimas ir valdymas	Visa informacija nuolat kaupiama ir konsoliduojama jungtiniame (susietame) modelyje, kuris tampa vieningu vystymo objektų ir vieningu rezultatų ir pateikčių šaltiniu visiems projekto dalyviams visuose projekto etapuose.	x	x		
13.3	Geresnis projektavimo procesų koordinavimas	Projektavimo procesai skirtingose projekto disciplinose ir dalyse vystomi lygiagrečiai, informacija kuriamą paskirstytuose projekto modeliuose, ja nuolat apsiekiama per jungtinį (susietą) modelį nustatant grįžtamąjį ryšį ir tokiu būdu efektyviai koordinuojant projektavimo procesus.		x		
13.4	Racionalus projektavimo procesų eigos planavimas ir valdymas	Modelio informacijos detalumo (išvystymo, apibrėžtumo) lygis didinamas palaipsniui pagal projekto vystymo progresiją, kai naujieji duomenys tampa žinomi ir pasiekiami, kas leidžia racionaliai planuoti, ir valdyti projektavimo procesų eigą.		x		

D1 lentelės tęsinys

13.6	Geresnis statybos procesų planavimas, koordinavimas ir valdymas	Statybos ir gamybos procesų planavimas, koordinacija, valdymas bei jų vykdymo kontrolė gali būti efektyviai vykdomi, taikant projekcinio informacijos modelio imitacinio modeliavimo (simuliavimo) priemonėmis kartu su laiko planavimo ir išlaidų apskaitos (4D/5D modeliavimo) priemonėmis.			x	
13.7	Geresnis turto valdymo procesų planavimas, koordinavimas ir valdymas	Turto valdymo procesų planavimas, koordinacija, valdymas bei jų vykdymo kontrolė gali būti atliekami situacijų statinio ir dinaminio imitacinio modeliavimo (simuliavimo) priemonėmis turto informacijos modelio pagrindu, kompleksiskai atliekant turto naudojimo ir techninės priežiūros modeliavimo užduotis kartu su laiko bei sąnaudų planavimo ir apskaitos (4D/5D/6D modeliavimo) komponentais.				x
14	Geresnė komunikacija, bendradarbiavimas	Statinio informaciniai modeliai turi bendrą standartizuotą duomenų struktūrą, kuri užtikrina prieigą prie modelių informacijos visiems projekto dalyviams ir sudaro sąlygas jų komunikacijai ir bendradarbiavimui visuose statinio projekto etapuose.	x	x	x	x
14.1	Geresnis ir efektyvesnis projekto komandos bendradarbiavimas	Dalydamiesi projekto informacijos modelio duomenimis ir rezultatais projektavimo komanda turi galimybę efektyviai bendradarbiauti tarpusavyje kuriant, atnaujinant ir skelbiant projekto informaciją.	x	x	x	
14.2	Geresnis ir efektyvesnis bendradarbiavimas su užsakovu (statytoju)	Dalydamiesi projekto informacijos modelio duomenimis ir rezultatais projektavimo komanda turi galimybę efektyviai bendradarbiauti su užsakovu (statytoju) arba potencialiu užsakovu aiškiai ir kokybiškai pristatant jam projekto sprendinius (paslaugas).	x	x	x	x
14.3	Geresnis ir efektyvesnis bendradarbiavimas su rangovais, gamintojais, tiekėjais	Dalydamiesi informacijos modelio duomenimis projektavimo komanda turi galimybę efektyviai bendradarbiauti su rangovais, gamintojais, tiekėjais, atidžiai kontroliuodami techninius ir technologinius sprendinius.		x	x	
14.4	Geresnis ir efektyvesnis bendradarbiavimas su turto valdytoju	Dalydamiesi informacijos modelio duomenimis ir rezultatais statytojas (projektavimo komanda) turi galimybę efektyviai bendradarbiauti su turto valdytojų (operatoriumi) kokybiškai pateikiant ir perduodant (parduodant) jam pastatytą turtą.		x		x
14.5	Geresnis ir efektyvesnis bendradarbiavimas su turto naudotojais	Dalydamiesi turto informacijos modelio duomenimis turto valdytojai (operatoriai) turi galimybę efektyviai bendradarbiauti su naudotojais, techniniais prižiūrėtojais, paslaugų teikėjais atidžiai kontroliuodami valdomo turto informaciją.				x
15	Geresnis laiko planavimas, apskaita ir kontrolė	3D informacinio modelio elementai ir jų kiekiai susieti su procesų įvykiais užfiksuotais kalendoriniuose grafikuose ir užduočių tvarkaraščiuose leidžia suformuoti laiko dimensijos (4D) informacijos modelį kuriuo galima imituoti (simuliuoti) bet kokias su projektuojamo, statomo ar valdomo objekto susietas operacijas.		x	x	x

D1 lentelės tęsinys

15.1	Geresnis statybos procesų laiko planavimas, rengiant darbų technologijos projektą	3D modelio elementų susiejimas su laiko planavimo grafikai įgalina automatizuotą būdu sudaryti kalendorinius statybos darbų grafikus ir/arba užduočių tvarkaraščius, atlikti jų analizę ir optimizavimą priklausomai nuo pasirinkto statybos metodo ar taikomų technologijų procesu eigos simuliacijos (imitacinio modeliavimo) priemonėmis.		x	x	
15.2	Geresnė statybos procesų vykdymo priežiūra ir valdymas per laiko apskaitą ir susijusių pakeitimų valdymą	3D modelio elementų susiejimas su laiko planavimo grafikai įgalina atlikti 4D statybos procesų vykdymo priežiūrą ir valdymą, atliekant procesų eigos kontrolę, laiko bei išteklių apskaitą ir susijusių su šiais faktoriais pakeitimų valdymą procesu eigos simuliacijos (imitacinio modeliavimo) priemonėmis pagal numatytus projekte ir aktualius statybos pažangos duomenis.			x	
15.3	Geresnis turto naudojimo ir priežiūros procesų priežiūra ir valdymas per laiko apskaitą ir planavimą	3D turto informacijos modelio elementų susiejimas su priežiūros veiklų planais, integruojant juos kartu į 6D eksploatacinės informacijos modelį leidžia efektyviai planuoti naudojamo ar valdomo turto priežiūrą, organizuoti ir tvarkyti turto priežiūros veiklas, pagal priežiūros grafikus planuoti techninės priežiūros užduotis ir kontroliuoti jų atlikimą, automatizuotu būdu teikti ataskaitas.				x
16	Geresnis kaštų planavimas, apskaita ir kontrolė	Medžiagų, gaminių ir išteklių kainos bei sąmatiniai įverčiai sujungti su parametriniais 3D informacinio modelio objektais ir jų kiekiais, leidžia suformuoti finansinį ekonominį informacijos modelį (5D) bet kuriame laiko pjūvyje pagal bet kokį užduotą finansinį rodiklį arba jų grupę, kas leidžia geriau ir tiksliau atlikti kaštų (išlaidų) planavimo, apskaitos ir kontrolės operacijas visuose statinio projekto etapuose.	x	x	x	x
16.1	Geresnis reikiamo detalumo statybos darbų sąmatos formavimas	Sujungus procesų laiko juostoje suplanuotą ir valdomą 3D objektinį modelį su ekonominiais rodikliais galima atlikti reikiamo detalumo statybos darbų sąmatos formavimo procedūrą bet kurioje projekto vystymo ar turto naudojimo stadijoje pagal atitinkamą projekto ar turto informacijos modelio išvystymo lygį ir valdyti finansinius srautus bet kurioje projekto vystymo ar turto naudojimo stadijoje.			x	x
16.2	Geresnė statybos procesų vykdymo priežiūra ir valdymas per laiko bei kaštų apskaitą ir susijusių pakeitimų valdymą	3D modelio elementų susiejimas su laiko planavimo grafikai įgalina atlikti 4D/5D statybos procesų vykdymo priežiūrą ir valdymą, atliekant procesų eigos kontrolę, laiko, kaštų bei išteklių apskaitą ir susijusių su šiais faktoriais pakeitimų valdymą procesu eigos simuliacijos (imitacinio modeliavimo) priemonėmis pagal numatytus projekte ir aktualius statybos pažangos duomenis.			x	

D1 lentelės tęsinys

16.3	Geresnis turto naudojimo ir priežiūros procesų priežiūra ir valdymas per kaštų apskaitą ir ekonominį planavimą	3D turto informacijos modelio elementų susiejimas su turto priežiūros veiklų planais (4D) bei jų finansiniai ir ekonominiais rodikliais (5D), integruojant juos kartu į 6D eksploatuojamo turto informacijos modelį įgalina efektyviai planuoti ir apskaičiuoti naudojamo ar valdomo turto priežiūros išlaidas, organizuoti ir tvarkyti turto priežiūros veiklas, vykdyti priežiūros išlaidų planavimą ir apskaitą, automatizuotu būdu generuoti bei teikti finansines ataskaitas.				x
17	Geresnis išteklių planavimas, apskaita bei kontrolė	Kompleksinis 3D objektinis modeliavimas, imitacinis modeliavimas (simuliacijos), siejant statinio informacijos modelį su laiko planavimo grafikais ir finansiniais ekonominiais rodikliais įgalina geriau ir tiksliau atlikti išteklių planavimo, apskaitos ir kontrolės operacijas visuose statinio projekto etapuose.	x	x	x	x
17.1	Tiksli modelio ir jo pateiktų informacija bet kurioje projekto vystymo stadijoje	Tikslūs medžiagų, gaminių, darbų kiekiai (išteklių) gali būti nustatyti ir pateikti analizei bet kurioje projekto vystymo ar turto naudojimo stadijoje pagal atitinkamą projekto ar turto informacijos modelio išvystymo lygį.	x	x	x	x
17.2	Geresnis statybos procesų laiko ir išteklių planavimas, rengiant darbų technologijos projektą	3D modelio elementų susiejimas su laiko planavimo grafikais (4D) bei išteklių (5D) apskaitą leidžia pasirinkti ir efektyviai pasirinkti statybos vykdymo metodus ir technologinių operacijų eigą, kas įgalina planuoti išteklių racionalų naudojimą, atlikti jų apskaitą bei kontrolę, valdyti jų pakeitimus ir susietas rizikas.		x	x	
17.3	Geresnė statybos procesų vykdymo priežiūra ir valdymas per laiko, kaštų bei išteklių apskaitą ir susijusių pakeitimų valdymą	3D modelio elementų susiejimas su laiko planavimo grafikais įgalina atlikti 4D/5D statybos procesų vykdymo priežiūrą ir valdymą, atliekant procesų eigos kontrolę, laiko, kaštų bei išteklių apskaitą ir susijusių su šiais faktoriais pakeitimų valdymą procesu eigos simuliacijos (imitacinio modeliavimo) priemonėmis pagal numatytus projekte ir aktualius statybos pažangos duomenis.			x	
17.4	Geresnis turto naudojimo ir priežiūros procesų priežiūra ir valdymas per išteklių apskaitą ir planavimą	3D turto informacijos modelio elementų susiejimas su turto priežiūros veiklų planais bei jų finansiniai ir ekonominiais rodikliais, integruojant juos kartu į 6D eksploatuojamo turto informacijos modelį įgalina efektyviai planuoti ir apskaičiuoti naudojamo ar valdomo turto priežiūrą, organizuoti ir tvarkyti turto priežiūros veiklas, vykdyti išteklių planavimą bei apskaitą, automatizuotu būdu generuoti ataskaitas.				x

D1 lentelės tęsinys

17.5	Efektyvesnis gamtos resursų, energijos ir kitų išteklių naudojimas	Realybės modelis kartu su 3D objekciniu projekto ar turto modelių taikant integruotas skaitinės analizės bei matematinio modeliavimo kartu su imitacinio modeliavimo (simuliavimo) bei vizualizavimo priemonėmis įgalina atlikti efektyvaus energijos vartojimo, tvarios aplinkos palaikymo situacinį modeliavimą bei analizę, taikyti perspektyvines prognozes, kas leidžia saugoti ir taupiai naudoti gamtos resursus, energiją ir kitus natūralius ar gaminamus išteklius.				x
17.6	Geresnis projektavimo komandos išteklių planavimas ir kontrolė	Taikant informacinį modeliavimą projektavimo komandos gali atlikti daugiau darbo su mažesnių žmonių kiekiu, mažesnė projektavimo komanda reiškia ne tik mažesnes išlaidas, bet ir paprastesnį su jos valdymų susietų išteklių planavimą bei kontrolę.		x		
17.7	Mažiau materialinių išteklių ir jų priežiūros sąnaudos	Statinio informacinio modeliavimo technologijos dėka procesų ir rezultatų virtualizavimo leidžia ženkliai sumažinti materialinių išteklių ir jų priežiūros (popierius, spausdinimo ir kopijavimo technikos, archyvų ploto ir t.t.) sąnaudas.		x		
18	Geresnis rizikų valdymas	3D objektinis parametrinis modeliavimas integruotas su skaitine analize, imitacinis modeliavimas (simuliavimas), vizualizavimas ir kiti BIM taikymo būdai mažina klaidingų sprendimų priėmimo tikimybę ir jų pasekmių riziką.		x		
18.1	Mažesni netiksliai, klaidingų sprendinių priėmimo rizikos faktoriai	3D objektinis parametrinis modeliavimas integruotas su skaitine analize, imitacinis modeliavimas (simuliavimas), vizualizavimas ir kiti BIM taikymo būdai leidžia tiksliai įvertinti norimus priimti sprendinius, virtualiai juos ištestuoti, imituoti ir patikrinti jų įgyvendinimo scenarijus pamatyti ir suvokti jų galimus trūkumus ir neatitikimus, kas mažina klaidingų sprendinių priėmimo rizikos faktorių.		x		
18.2	Mažesnė "mechaninių" klaidų tikimybė visuose projekto dokumentų grupėse	3D objektinio modeliavimo, imitacinio modeliavimo, vizualizavimo, skaitinės analizės ir kitų BIM taikymo būdų rezultatų (pateikčių) suderintas ir koordinuotas sukūrimas mažina "mechaninių" klaidų tikimybę ir jų atsiradimo rizikas visuose projekto dokumentų grupėse.		x	x	
18.3	Duomenų nesutapimo ir neatitikimo dėl klaidų ir kolizijų rizikų suvaldymas	Automatizuotas konfliktų ir kolizijų (klaidų ir neatitikimų) aptikimas ir kontrolė leidžia suvaldyti duomenų nesutapimo ir neatitikimo rizikas informacijos modeliuose bei jų pateiktose (skirtingose projekto dokumentų grupėse) per jų asociatyvius ryšius su modeliu.		x		
18.4	Duomenų neatitikimo standartams, taisyklėms ir reikalavimams rizikų suvaldymas	Automatizuota nustatytų standartų, taisyklių ir reikalavimų patikra leidžia suvaldyti duomenų neatitikimo rizikas standartams, taisyklėms ir reikalavimams informacijos modeliuose bei skirtingose informacijos modelių pateiktose ir projekto dokumentų grupėse per jų asociatyvius ryšius su modeliu.		x		

D1 lentelės tęsinys

18.5	Duomenų nesutapimo ir neatitikimo dėl nekoordinuotų pakeitimų rizikų suvaldymas	Suderintas ir koordinuotas modelio pakeitimų atlikimas ir valdymas per modelio objektų parametrinius ryšius, o taip pat jų rezultatų atvaizdavimas modelio pateiktyse ir projekto dokumentų grupėse per jų asociatyvius ryšius su modeliu mažina klaidų tikimybę ir jų atsiradimo rizikas.		x		
18.7	Netinkamo bendravimo pasekmių - klaidų ir neatitikimų rizikų suvaldymas	Taikant informacijos modeliavimą projektavimo komandos gali atlikti daugiau darbo su mažesnių žmonių kiekiu; mažesnė projektavimo komanda reiškia paprastesnį valdymą, mažesnė netinkamo bendravimo pasekmių - klaidų ir neatitikimų riziką.		x		
19	Geresnis situacijų valdymas ir jų prognozavimas	Realybės modelis kartu su 3D objektniu projektu ar turto modeliu taikant integruotas skaitinė analizės bei matematinio modeliavimo kartu su imitacinio modeliavimo (simuliavimo) bei vizualizavimo priemonėmis įgalina prognozuoti eksploatacines situacijas bei atlikti nuspėjimąsi situacijų valdymą.	x		x	x
19.1	Geresnis aplinkos apsaugos, sveikatos ir darbų saugos valdymas	Realybės modelis kartu su 3D objektniu projektu ar turto modeliu taikant integruotas skaitinė analizės bei matematinio modeliavimo kartu su imitacinio modeliavimo (simuliavimo) bei vizualizavimo priemonėmis įgalina atlikti aplinkos apsaugos, sveikatos ir darbų saugos (EHS - Environment, Health and Safety) situacinį modeliavimą bei analizę, taikyti perspektyvines prognozes, kas padeda geriau valdyti esamą situaciją.	x		x	x
19.2	Geresnė energijos vartojimo, tvarios aplinkos palaikymo modeliavimo analizė ir valdymas	Realybės modelis kartu su 3D objektniu projektu ar turto modeliu taikant integruotas skaitinė analizės bei matematinio modeliavimo kartu su imitacinio modeliavimo (simuliavimo) bei vizualizavimo priemonėmis įgalina atlikti efektyvaus energijos vartojimo, tvarios aplinkos palaikymo situacinį modeliavimą bei analizę, taikyti perspektyvines prognozes, kas padeda geriau valdyti esamą situaciją.				x
19.3	Geresnė avarinių situacijų ir rizikų prognozė bei valdymas	Realybės modelis kartu su 3D objektniu projektu ar turto modeliu taikant integruotas skaitinė analizės bei matematinio modeliavimo kartu su imitacinio modeliavimo (simuliavimo) bei vizualizavimo priemonėmis įgalina atlikti avarinių situacijų nuspėjimąsi prognozes ir padėti organizuoti krizinių situacijų valdymą.				x
20	Verslo sąlygų gerinimas	Statinio informacinio modeliavimo (BIM) technologijų ir darbo metodų įsisavinimas ir diegimas leidžia įmonėms iš esmės pagerinti verslo aplinką tobulinant verslo procesus įmonės viduje, didinant įmonės teikiamų paslaugų apimtį ir kokybę, tuo pačiu praplečiant įmonės galimybes ir konkurencingumą rinkoje, gerinant įmonės reklaminį ir marketinginį įvaizdį.	x	x	x	x

D1 lentelės tęsinys

20.1	Darbo efektyvumo didinimas	Darbo efektyvumo didinimas.	x	x	x	x
20.2	Verslo procesų tobulinimas	Verslo procesų tobulinimas.	x	x	x	x
20.3	Paslaugų kokybės gerinimas	Paslaugų kokybės gerinimas.	x	x	x	x
20.4	Ivaizdžio gerinimas	Ivaizdžio gerinimas.	x	x	x	x
20.5	Galimybių ir konkurencingumo didinimas	Galimybių ir konkurencingumo didinimas.	x	x	x	x
20.6	Eksporto galimybių didinimas	Eksporto galimybių didinimas.	x	x		x
21	Duomenų valdymo galimybių išplėtimas per integravimą su kitomis informacinėmis sistemomis	Projekto ir turto informacijos modelių integravimas su kitais informacijos ištekliais ir sistemomis (GIS, BMS, SCADA, ERP ir kt.) leidžia išplėsti BIM galimybes iki duomenų modelio sąvokos, kas suteikia galimybes realiu laiku palaikyti turto ir jo infrastruktūros operacijas.	x	x	x	x
21.1	Geresnis projektinių sprendinių supratimas, pagrįstumas ir patikimumas	Integravimas su skaitinės analizės CAE (Computer Aided Engineering) sistemomis praplečia projekto ir turto (objekto) informacijos modelio galimybes iki jo visumos, kaip inžinierinės sistemos ar atskirų jo komponentų elgsenos analizės veikiant apkrovai ar kitiems aplinkos poveikiams, kas leidžia efektyviai pagerinti supratimą apie projektinius sprendimus, pagerinti jų pagrįstumą ir patikimumą.		x		
21.2	Geresnis sprendimų supratimas, pagrįstumas, gerinantis projektų įgyvendinimą, turto operacijas ir priežiūrą	Integravimas su geografinėmis informacinėmis GIS (Geografic Information System) sistemomis praplečia projekto ir turto (objekto) informacijos modelio galimybes iki supančios aplinkos mastelio, kas leidžia efektyviai pagerinti supratimą apie projektus atsižvelgiant į jų geografinę vietą ir aplinką, leidžia priimti labiau pagrįstus sprendimus, kad pagerinti projektų įgyvendinimą ir turto operacijas ir priežiūrą.	x	x		x
21.3	Geresnė turto naudojimo procesų priežiūra, sprendimų patikimumas ir kokybė	Integravimas su turto eksploatacinio valdymo APM (Asset Performance Management) sistemomis didina turto naudojimo priežiūros procesų valdymo efektyvumą, gerina jų sprendimų patikimumą.				x
21.4	Efektyvesnė turto naudojimo ir priežiūros stebėseną bei valdymas	Integravimas su pastatų ūkio valdymo FM (Facility Management) sistemomis didina turto naudojimo stebėsenos ir priežiūros procesų valdymo efektyvumą, gerina jų sprendimų patikimumą ir kokybę.				x
21.5	Efektyvesnis inžinerinių sistemų priežiūros valdymas ir kontrolė	Integravimas su pastatų valdymo sistemomis BMS (Building Management System) leidžia organizuoti duomenų gavimą, apdorojimą ir atvaizdavimą, kad automatizuotu būdu vykdyti eksploatuojamo pastato inžinerinių sistemų priežiūros valdymą ir efektyviai organizuoti jų techninės priežiūros kontrolę.				x

D1 lentelės pabaiga

21.6	Efektyvesnė pramonės objekto techninės priežiūros kontrolė	Integravimas su priežiūros kontrolės ir duomenų surinkimo bei paskirstymo valdymo sistemomis SCADA/DMS (Supervisory Control and Data Acquisition/Distribution Management System) leidžia organizuoti duomenų gavimą, apdorojimą ir atvaizdavimą, kad automatizuotu būdu vykdyti technologinių procesų priežiūros valdymą ir efektyviai organizuoti valdomo pramoninio objekto techninės priežiūros kontrolę.				x
21.7	Geresnis pavojų ir rizikų nustatymas, stebėjimas ir kontrolė	Integravimas su saugumo valdymo sistemomis SMS (Safety Management System) suteikia sistemingą būdą nuolat nustatyti ir stebėti pavojus bei kontroliuoti rizikas, tuo pačiu užtikrinant, šios rizikos kontrolės veiksmingumą ir patikimumą.	x			x
21.8	Efektyvesnis įmonės valdymas	Turto informacijos modelio duomenų apjungimas su verslo valdymo sistemomis ERP (Enterprise Resource Planning) leidžia skaitmenizuoti įmonės valdymą, efektyviai valdyti įmonių išteklius, organizuoti ir analizuoti verslo procesus.	x			x
21.9	Efektyvesni projektų valdymo sprendimai	Integravimas su projektų valdymo PM (Project Management), sutarčių valdymo CM (Contract Management), tiekimo grandinės valdymo SCM (Supply Chain Management), grafikų ir paskyrimų S&A (Scheduling and Appointments), pirkimų valdymo (Procurement Management) ir kitomis dokumentų valdymo sistemomis leidžia efektyviai pagerinti projektų valdymo sprendimus.	x	x	x	x
21.10	Geresni ir efektyvesni verslo procesų valdymo sprendimai	Integravimas su korporatyvaus valdymo, rizikų valdymo ir atitikties standartams valdymo GRC (Governance, Risk Management and Compliance), verslo procesų valdymo ir modeliavimo BPM (Business Process Management/Modeling), klientų valdymo CRM (Client Resource Management) ir kitomis dokumentų ir verslo valdymo sistemomis leidžia efektyviai pagerinti verslo procesų valdymo sprendimus.	x	x	x	x

E priedas. BIM naudų vertinimo skaičiuoklės prototipas



Nuoroda:

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1n5Fioo8D9DMuJqUHu6TwWOR1TQ32bbiC/edit?usp=sharing&ouid=111106509830203489700&rtpof=true&sd=true>

F priedas. ARAS ir COPRAS metodų skaičiavimo palyginimas

F1 lentelė. ARAS ir COPRAS metodų skaičiavimo palyginimas
Table F1. Comparison of calculation of ARAS and COPRAS methods

COPRAS	ARAS																																																																																																																
Ta pati matrica naudojama abiejuose metoduose (tik stulpeliai-eilutės (i-j) abiejuose metoduose sukeisti vietomis).																																																																																																																	
<table><tr><th colspan="2">Quantitative information pertinent to projects</th></tr><tr><th>Criteria describing qualitative indices of a building</th><th>Scale: 1-5 1-5 units</th></tr><tr><td>X_1</td><td>z_1 q_1 m_1</td></tr><tr><td>X_2</td><td>z_2 q_2 m_2</td></tr><tr><td>X_3</td><td>z_3 q_3 m_3</td></tr><tr><td>X_4</td><td>z_4 q_4 m_4</td></tr><tr><td>X_5</td><td>z_5 q_5 m_5</td></tr><tr><td>X_6</td><td>z_6 q_6 m_6</td></tr><tr><td>X_7</td><td>z_7 q_7 m_7</td></tr><tr><td>X_8</td><td>z_8 q_8 m_8</td></tr><tr><td>X_9</td><td>z_9 q_9 m_9</td></tr><tr><td>X_{10}</td><td>z_{10} q_{10} m_{10}</td></tr><tr><td colspan="2">The sums of weighted normalized maximizing (minimizing) indices of the project</td></tr><tr><td>S_1</td><td>S_1</td></tr><tr><td>S_2</td><td>S_2</td></tr><tr><td>S_3</td><td>S_3</td></tr><tr><td>S_4</td><td>S_4</td></tr><tr><td>S_5</td><td>S_5</td></tr><tr><td>S_6</td><td>S_6</td></tr><tr><td>S_7</td><td>S_7</td></tr><tr><td>S_8</td><td>S_8</td></tr><tr><td>S_9</td><td>S_9</td></tr><tr><td>S_{10}</td><td>S_{10}</td></tr><tr><td colspan="2">The sums of weighted normalized minimizing (maximizing) indices of the project</td></tr><tr><td>Q_1</td><td>Q_1</td></tr><tr><td>Q_2</td><td>Q_2</td></tr><tr><td>Q_3</td><td>Q_3</td></tr><tr><td>Q_4</td><td>Q_4</td></tr><tr><td>Q_5</td><td>Q_5</td></tr><tr><td>Q_6</td><td>Q_6</td></tr><tr><td>Q_7</td><td>Q_7</td></tr><tr><td>Q_8</td><td>Q_8</td></tr><tr><td>Q_9</td><td>Q_9</td></tr><tr><td>Q_{10}</td><td>Q_{10}</td></tr><tr><td colspan="2">Priority of the project</td></tr><tr><td>P_1</td><td>P_1</td></tr><tr><td>P_2</td><td>P_2</td></tr><tr><td>P_3</td><td>P_3</td></tr><tr><td>P_4</td><td>P_4</td></tr><tr><td>P_5</td><td>P_5</td></tr><tr><td>P_6</td><td>P_6</td></tr><tr><td>P_7</td><td>P_7</td></tr><tr><td>P_8</td><td>P_8</td></tr><tr><td>P_9</td><td>P_9</td></tr><tr><td>P_{10}</td><td>P_{10}</td></tr><tr><td colspan="2">Quality degree of the project (%)</td></tr><tr><td>N_1</td><td>N_1</td></tr><tr><td>N_2</td><td>N_2</td></tr><tr><td>N_3</td><td>N_3</td></tr><tr><td>N_4</td><td>N_4</td></tr><tr><td>N_5</td><td>N_5</td></tr><tr><td>N_6</td><td>N_6</td></tr><tr><td>N_7</td><td>N_7</td></tr><tr><td>N_8</td><td>N_8</td></tr><tr><td>N_9</td><td>N_9</td></tr><tr><td>N_{10}</td><td>N_{10}</td></tr></table> $\bar{X} = \begin{bmatrix} \bar{x}_{01} & \dots & \bar{x}_{0j} & \dots & \bar{x}_{0n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \bar{x}_{i1} & \dots & \bar{x}_{ij} & \dots & \bar{x}_{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \bar{x}_{m1} & \dots & \bar{x}_{mj} & \dots & \bar{x}_{mn} \end{bmatrix}; \quad i = \overline{0, m}; \quad j = \overline{1, n}. \quad (3)$	Quantitative information pertinent to projects		Criteria describing qualitative indices of a building	Scale: 1-5 1-5 units	X_1	z_1 q_1 m_1	X_2	z_2 q_2 m_2	X_3	z_3 q_3 m_3	X_4	z_4 q_4 m_4	X_5	z_5 q_5 m_5	X_6	z_6 q_6 m_6	X_7	z_7 q_7 m_7	X_8	z_8 q_8 m_8	X_9	z_9 q_9 m_9	X_{10}	z_{10} q_{10} m_{10}	The sums of weighted normalized maximizing (minimizing) indices of the project		S_1	S_1	S_2	S_2	S_3	S_3	S_4	S_4	S_5	S_5	S_6	S_6	S_7	S_7	S_8	S_8	S_9	S_9	S_{10}	S_{10}	The sums of weighted normalized minimizing (maximizing) indices of the project		Q_1	Q_1	Q_2	Q_2	Q_3	Q_3	Q_4	Q_4	Q_5	Q_5	Q_6	Q_6	Q_7	Q_7	Q_8	Q_8	Q_9	Q_9	Q_{10}	Q_{10}	Priority of the project		P_1	P_1	P_2	P_2	P_3	P_3	P_4	P_4	P_5	P_5	P_6	P_6	P_7	P_7	P_8	P_8	P_9	P_9	P_{10}	P_{10}	Quality degree of the project (%)		N_1	N_1	N_2	N_2	N_3	N_3	N_4	N_4	N_5	N_5	N_6	N_6	N_7	N_7	N_8	N_8	N_9	N_9	N_{10}	N_{10}	COPRAS pirmame etape skaičiuojami normalizuoti pasverti dydžiai dauginant iš svorio q (formulė 2.10). Šis veiksmas ARAS metode išskaidytas į kelis etapus ir pateiktas formulėse 4-8. Tos pačios formulės naudojamos abiejuose metoduose (i-j abiejuose metoduose sukeisti vietomis).
Quantitative information pertinent to projects																																																																																																																	
Criteria describing qualitative indices of a building	Scale: 1-5 1-5 units																																																																																																																
X_1	z_1 q_1 m_1																																																																																																																
X_2	z_2 q_2 m_2																																																																																																																
X_3	z_3 q_3 m_3																																																																																																																
X_4	z_4 q_4 m_4																																																																																																																
X_5	z_5 q_5 m_5																																																																																																																
X_6	z_6 q_6 m_6																																																																																																																
X_7	z_7 q_7 m_7																																																																																																																
X_8	z_8 q_8 m_8																																																																																																																
X_9	z_9 q_9 m_9																																																																																																																
X_{10}	z_{10} q_{10} m_{10}																																																																																																																
The sums of weighted normalized maximizing (minimizing) indices of the project																																																																																																																	
S_1	S_1																																																																																																																
S_2	S_2																																																																																																																
S_3	S_3																																																																																																																
S_4	S_4																																																																																																																
S_5	S_5																																																																																																																
S_6	S_6																																																																																																																
S_7	S_7																																																																																																																
S_8	S_8																																																																																																																
S_9	S_9																																																																																																																
S_{10}	S_{10}																																																																																																																
The sums of weighted normalized minimizing (maximizing) indices of the project																																																																																																																	
Q_1	Q_1																																																																																																																
Q_2	Q_2																																																																																																																
Q_3	Q_3																																																																																																																
Q_4	Q_4																																																																																																																
Q_5	Q_5																																																																																																																
Q_6	Q_6																																																																																																																
Q_7	Q_7																																																																																																																
Q_8	Q_8																																																																																																																
Q_9	Q_9																																																																																																																
Q_{10}	Q_{10}																																																																																																																
Priority of the project																																																																																																																	
P_1	P_1																																																																																																																
P_2	P_2																																																																																																																
P_3	P_3																																																																																																																
P_4	P_4																																																																																																																
P_5	P_5																																																																																																																
P_6	P_6																																																																																																																
P_7	P_7																																																																																																																
P_8	P_8																																																																																																																
P_9	P_9																																																																																																																
P_{10}	P_{10}																																																																																																																
Quality degree of the project (%)																																																																																																																	
N_1	N_1																																																																																																																
N_2	N_2																																																																																																																
N_3	N_3																																																																																																																
N_4	N_4																																																																																																																
N_5	N_5																																																																																																																
N_6	N_6																																																																																																																
N_7	N_7																																																																																																																
N_8	N_8																																																																																																																
N_9	N_9																																																																																																																
N_{10}	N_{10}																																																																																																																

F1 lentelės tęsinys

Stage 1. The weighted normalized decision making matrix D is formed. The purpose of this stage is to receive dimensionless weighted values from the comparative indexes. When the dimensionless values of the indexes are known, all criteria, originally having different dimensions, can be compared. The following formula is used for this purpose [15]: $d_{ij} = \frac{x_{ij} \cdot q_i}{\sum_{j=1}^n x_{ij}}, \quad i=1, m; \quad j=1, n \quad (2.10)$ where x_{ij} - the value of the i-th criterion in the j-th alternative of a solution; m - the number of criteria; n - the number of the alternatives compared; q_i - significance of i-th criterion.	The criteria, whose preferable values are maxima, are normalized as follows: $\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=0}^m x_{ij}}. \quad (4)$ The criteria, whose preferable values are minima, are normalized by applying two-stage procedure: $x_{ij} = \frac{1}{x_{ij}}; \quad \bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=0}^m x_{ij}}. \quad (5)$ $\sum_{j=1}^n w_j = 1. \quad (6)$ $\hat{X} = \begin{bmatrix} \hat{x}_{01} & \dots & \hat{x}_{0j} & \dots & \hat{x}_{0n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{x}_{i1} & \dots & \hat{x}_{ij} & \dots & \hat{x}_{in} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{x}_{m1} & \dots & \hat{x}_{mj} & \dots & \hat{x}_{mn} \end{bmatrix}; \quad i=0, m; \quad j=1, n. \quad (7)$ Normalized-weighted values of all the criteria are calculated as follows: $\hat{x}_{ij} = \bar{x}_{ij} w_j; \quad i=0, m, \quad (8)$ where w_j is the weight (importance) of the j criterion and $\bar{x}_{ij}$ is the normalized rating of the j criterion.
---	--

F1 lentelės tęsinys

Šiuose metoduose taip pat skiriasi optimalios alternatyvos nustatymo būdai, COPRAS formulėje lyginamų variantų santykinis reikšmingumas (efektyvumas) nustatomas remiantis juos apibūdinančiomis teigiamomis (projekto “plusais”) S_{+j} ir neigiamomis (projekto “minusais”) S_{-j} savybėmis (formulė 2.19), o ARAS metode sumuojant rodiklių normalizuotas svertines vertes (formulė 9). ARAS 9 formulė integruoja COPRAS 2.12 formulės S_{+j} ir S_{-j} dydžius, t.y. $S_i = S_{+j} + S_{-j}$.	Stage 2. The sums of weighted normalized indexes describing the j-th version are calculated. The versions are described by minimizing indexes S_{-j} and maximizing indexes S_{+j}. The lower value of minimizing indexes is better (price of the plot and building, etc.). The greater value of maximizing indexes is better (comfortability and aesthetics of the building, etc.). The sums are calculated according to the formula [88]: $S_{+j} = \sum_{i=1}^m d_{+ij}; \quad S_{-j} = \sum_{i=1}^m d_{-ij}, \quad i=1, m; j=1, n, \quad (2.12)$ a Relative significance Q_j of each project a_j is found according to the formula [115]: $Q_j = S_{+j} + \frac{S_{-\min} \cdot \sum_{j=1}^n S_{-j}}{\sum_{j=1}^n S_{-\min} S_{-j}}, \quad j=1, n, \quad (2.14)$ Stage 4. Priority determination of projects. The greater is the Q_j the higher is the efficiency (priority) of the project [88]. The following task is determining values of optimality function: $S_i = \sum_{j=1}^n \hat{x}_{ij}; \quad i = 0, m, \quad (9)$ where S_i is the value of optimality function of i alternative.
--	---

F1 lenteles pabaiga

Relative significance Q_j of each project a_j is found according to the formula [115]: $Q_j = S_{+j} + \frac{S_{-min} \cdot \sum_{j=1}^n S_{-j}}{S_{-j} \cdot \sum_{j=1}^n S_{-min}}, \quad j = 1, n. \quad (2.14)$ Stage 4. Priority determination of projects. The greater is the Q_j the higher is the efficiency (priority) of the project [88].	
Stage 1. The formula used for the calculation of property a_j utility degree N_j is given below [88]: $N_j = \left(Q_j : Q_{max} \right) \cdot 100\% \quad (2.15)$ here Q_j and Q_{max} are the significances of the property obtained from the equation 2.14.	Identiska formulē, tik skiriasi % (*100%)daugiklis: The degree of the alternative utility is determined by a comparison of the variant, which is analysed, with the ideally best one S_0. The equation used for the calculation of the utility degree K_i of an alternative a_i is given below: $K_i = \frac{S_i}{S_0}, \quad i = 0, m, \quad (10)$ where S_i and S_0 are the optimality criterion values, obtained from Eq. (9).

Arvydas KIAULAKIS

TVARIŲ STATINIO SPRENDINIŲ MODELIAVIMAS
TAIKANT BIM TECHNOLOGIJAS

Daktaro disertacija

Technologijos mokslai,
Statybos inžinerija (T 002)

MODELING OF SUSTAINABLE BUILDING SOLUTIONS
USING BIM TECHNOLOGIES

Doctoral Dissertation

Technological Sciences,
Civil Engineering (T 002)

Lietuvių kalbos redaktorė Rita Malikėnienė
Anglų kalbos redaktorė Jūratė Griškėnaitė

2022 06 03. 18,0 sp. I. Tiražas 20 egz.
Leidinio el. versija <https://doi.org/10.20334/2022-031-M>
Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Saulėtekio al. 11, 10223 Vilnius
Spausdino UAB „Ciklonas“,
Žirmūnų g. 68, 09124 Vilnius