

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Jolanta TAMOŠAITIENĖ

DAUGIATIKSLIS VALDYMO SPRENDIMŲ VERTINIMAS STATYBOS PLANAVIMO ETAPE

DAKTARO DISERTACIJA

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI,
STATYBOS INŽINERIJA (02T)



Vilnius LEIDYKLA
TECHNIKA 2009

Disertacija rengta 2004–2009 metais Vilniaus Gedimino technikos universitete.

Mokslinis vadovas

prof. habil. dr. Edmundas Kazimieras ZAVADSKAS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, statybos inžinerija – 02T).

<http://leidykla.vgtu.lt>

VG TU leidyklos TECHNIKA 1625-M mokslo literatūros knyga

ISBN 978-9955-28-433-8

© VG TU leidykla TECHNIKA, 2009

© Jolanta Tamošaitienė, 2009

Autoriaus el. paštas: jolanta.tamosaitiene@st.vgtu.lt

VILNIUS GEDIMINAS TECHNICAL UNIVERSITY

Jolanta TAMOŠAITIENĖ

**THE MULTI-ATTRIBUTE ASSESSMENT
OF MANAGEMENT DECISIONS
AT THE STAGE OF CONSTRUCTION
PLANNING**

DOCTORAL DISSERTATION

TECHNOLOGICAL SCIENCES,
CIVIL ENGINEERING (02T)



Vilnius LEIDYKLA
TECHNIKA 2009

Doctoral dissertation was prepared at Vilnius Gediminas Technical University in 2004–2009.

Scientific Supervisor

Prof Dr Habil Edmundas Kazimieras ZAVADSKAS (Vilnius Gediminas Technical University, Technological Sciences, Civil Engineering – 02T).

Reziumė

Disertacijoje nagrinėjami statybos valdymo sprendimai statybos planavimo etape, pagrindinis tyrimo objektas – valdymo sprendimų priėmimas. Pagrindinis disertacijos tikslas – sukurti metodiką ir algoritmus sprendimams priimti. Naujas TOPSIS „grey“ ir sukurtas daugiatikslis vertinimo metodas COPRAS-G, lošimų teorija panaudoti statybos planavimo uždaviniams spręsti. Remiantis tradiciniais daugiatikslinio vertinimo metodais TOPSIS, COPRAS, sukurtu COPRAS-G ir nauju TOPSIS „grey“ patikrintas metodų veiksmingumas ir efektyvumas su rodiklių reikšmėmis, apibrėžiamomis intervalu, lošimų teorijos taisyklėmis, priimant valdymo sprendimus statybos procesų planavimo etape.

Disertaciją sudaro įvadas, penki skyriai ir rezultatų apibendrinimas.

Darbe sprendžiami šie pagrindiniai uždaviniai: statybos objektų rizikos įvertinimas, statybos rangovo, rangovo rizikos įvertinimas, statybos projektų vadovo ir planuojamų pastato techninių, konstrukcinių sprendimų vertinimas. Pirmasis uždavinys suformuluotas atsižvelgiant į statybos objektų rizikingumą. Antrasis, trečiasis ir ketvirtasis siejami su didžiausia atsakomybe sėkminga objekto statyba. Penktasis uždavinys skirtas planuojamų konstrukcijų – sienų vertinimui.

Įvadiniamame skyriuje nagrinėjamas problemos aktualumas, formuluojamas darbo tikslas bei uždaviniai, aprašomas mokslinis darbo naujumas, pristatomi autorės pranešimai ir publikacijos disertacijos struktūra.

Pirmajame skyriuje pateikta literatūros ir statybos valdymo sprendžiamų problemų apžvalga. Skyriaus pabaigoje formuluojamos išvados ir konkretnami disertacijos uždaviniai.

Antrajame skyriuje pateikti tradicinių, naujo bei sukurto daugiatikslinio vertinimo metodų sprendimo algoritmai ir matematiniai aprašymai.

Trečiajame, ketvirtajame, penktajame skyriuose pateikti išspręsti statybos valdymo uždaviniai statybos planavimo etape.

Disertacijos tema perskaityti 9 pranešimai Lietuvos bei kitų šalių konferencijose ir paskelbta 14 mokslinių straipsnių: trys – mokslo žurnaluose, įtrauktuose į *Thomson ISI* sąrašą, *Web of Science* duomenų bazėse: Zavadskas *et al.* 2008a; 2008g; 2008h; penki – konferencijų darbų leidiniuose, įtrauktuose į *Thomson ISI Proceedings* duomenų bazę: Tamošaitienė *et al.* 2008; Zavadskas *et al.* 2008b; Zavadskas *et al.* 2008c; Ustinovičius *et al.* 2007; Zavadskas *et al.* 2007b; du – recenzuojamame tarptautiniame konferencijos straipsnių rinkinyje: Zavadskas *et al.* 2008f; 2008i; keturi – kitose tarptautinių ir respublikinių konferencijų medžiagose: Tamošaitienė 2008; Migilinskas, Tamošaitienė 2007; Zavadskas *et al.* 2007a; Tamošaitienė 2005.

Abstract

The dissertation discusses construction management processes at the stage of construction planning. The main aim of the dissertation is to create a methodology and algorithms for the solution taking at the stage of construction planning. To check the efficiency and the effectiveness of the methods of taking management solutions during the process of construction planning using traditional multi-attribute assessment methods TOPSIS, COPRAS, created COPRAS-G method, and a new TOPSIS “grey” method, also the Game Theory.

The dissertation is composed of the introduction, five chapters and the summary of the results.

The dissertation analyzes several main tasks: the estimation of the risk of construction objects, choosing a construction contractor, estimation of the risk of a contractor, choosing a construction project manager and choosing partition walls construction. The first task was formulated according to the riskiness of construction objects. The second, third and the fourth tasks are associated with the biggest responsibility and the successful implementation of a construction project. The fifth task was set to assessment external wall constructions.

Introductory chapter discusses the actuality of the problem, there are set the aim and the tasks of the research, described the scientific novelty of the research, author's reports and publications are presented, as well as the structure of the dissertation. The first chapter presents the overview of the literature. It gives the survey of the construction management problems that are being solved. At the end of the chapter there are formulated conclusions and the tasks of dissertation are concretized. The second chapter gives the derivational algorithms and mathematical description of traditional, new and created multipurpose assessment methods. The third, fourth and the fifth chapters give solvable tasks of construction management on the stage of construction planning.

On the topic of the dissertation there were read 9 reports of Lithuanian and foreign conferences and 14 public scientific articles. Three of them were published in scientific journal, that are included into Thomson ISI list in *The Web of Science* data basis: Zavadskas *et al.* 2008a; 2008g; 2008h; five of them are in conference work editions that are available in the Thomson ISI Proceedings data basis Tamošaitienė *et al.* 2008; Zavadskas *et al.* 2008b; Zavadskas *et al.* 2008c; Ustinovičius *et al.* 2007; Zavadskas *et al.* 2007b; two of them – in reviewed international conference sources Zavadskas *et al.* 2008f; 2008i; other four – in other sources from international and state conferences Tamošaitienė 2008; Migilinskas, Tamošaitienė 2007; Zavadskas *et al.* 2007a; Tamošaitienė 2005.

Žymėjimai

Simboliai

$\otimes x$ – rodiklio reikšmė apibrėžta intervalu (Deng 1982).

Santrumpos

AHP (*Analytic Hierarchy Process*) daugiatislio vertinimo metodas – analitinės hierarchijos procesas;

BIM (*Building Information Modeling*) – nauja perspektyvi technologija reiškianti kūrimą, vertinimą, valdymą, pakeičiamumą, daugkartinį pritaikymą;

COPRAS (*COmplex PROportional ASsessment of alternatives*) – pagrįstas kiekybiniais matavimais, kompleksinį proporcingumą vertinantis daugiatislio vertinimo metodas (Zavadskas, Kaklauskas 1996);

LINMAP (*Linear Programming Techniques for Multidimensional Analysis of Preference*) – pagrįstas kiekybiniais matavimais daugiatislio vertinimo metodas (Srinivasan, Shocker 1973);

MADM (*Multi-Attribute Decision Making*) – daugiatislio vertinimo metodai (Zadeh 1965);

MCDM (*Multi-Criteria Decision Making*) – bendroju atveju vadinami daugiatisliais sprendimų priėmimo metodai skirstomi į daugiaobjekčius ir daugiatislius sprendimų priėmimo metodus;

MODM (*Multi-Objective Decision Making*) – daugiaobjekčiai sprendimų priėmimo metodai;

MOORA (*Multi-Objective Optimization on basis of Ratio Analysis*) – racionalumo daugiaobjektis optimizavimo metodas;

SAW (*Simple Additive Weighting*) – paprastas suminio pasvėrimo metodas (Churchman, Ackoff 1954);

TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) – variantų racionalumo idealiojo taško artumo nustatymo daugiatikslio vertinimo metodas (Hwang, Yoon 1981);

CPM (*Critical Path Method*) – kritinio kelio metodas. Taikomas planavimo problemoms spręsti, kai įvairių darbų atlikimo trukmė tiksliai žinoma;

PERT (*Program Evaluation and Review Technique*) – programos (ar projekto) vertinimas ir analizė.

Paiškinimai

Pastatai – tai (gyvenamieji, pramoniniai, komerciniai, biurai, sveikatos apsaugos, švietimo, poilsio, žemės ūkio ir kiti) ir inžineriniai statiniai ar mišrios rūšies statiniai (su inžineriniais statiniais sujungti pastatai), taip pat statinių priestatai, antstatai ir jų dalys, įrenginių, technologinių inžinerinių sistemų ir statinio inžinerinių sistemų statybinės konstrukcijos.

Turinys

IVADAS	1
Tiriamoji problema.....	1
Darbo aktualumas.....	2
Tyrimų objektas.....	2
Darbo tikslas.....	2
Darbo uždaviniai	3
Tyrimų metodika	3
Darbo mokslinis naujumas ir jo reikšmė	3
Darbo rezultatų praktinė reikšmė	4
Ginamieji teiginiai	4
Darbo rezultatų aprobavimas.....	4
Disertacijos struktūra.....	5
1. STATYBOS PLANAVIMO SPRENDIMAI IR VALDYMAS	7
1.1. Sprendimų sistema statyboje	7
1.1.1. Darnus pastato gyvavimo ciklas.....	10
1.1.2. Valdymo procesas	12
1.2. Pastato statybos planavimas	13
1.2.1. Pastato statybos trukmė.....	17
1.2.2. Pastato statybos vertė	21
1.2.3. Pastatų statybos kokybė	24
1.3. Informacijos rūšys	25
1.4. Intervalų sistemų teorija ir jos taikymas.....	30
1.5. Skyriaus išvados	31

2. TRADICINIAI IR SIŪLOMI VERTINIMO METODAI	33
2.1. Daugiatikslio vertinimo metodų ir modelių klasifikavimas.....	33
2.2. Daugiatikslių vertinimo metodų taikymas.....	37
2.2.1. Daugiatikslio vertinimo metodo TOPSIS taikymas	38
2.2.2. Daugiatikslio vertinimo metodo COPRAS taikymas	39
2.2.3. Lošimų teorija ir jos taikymas.....	40
2.3. Sprendimų priėmimo metodų rodiklių sistemos.....	41
2.3.1. Rodiklių sistemų sudarymo prielaidos	41
2.3.2. Rodiklių reikšmingumų nustatymo metodai	43
2.4. Tradiciniai daugiatiskslio vertinimo metodai.....	45
2.4.1. Lošimų teorijos Hodgeso ir Lehmano taisyklė.....	46
2.4.2. TOPSIS metodas	47
2.4.3. COPRAS metodas.....	49
2.5. Sprendimų priėmimas taikant rodiklius su reikšmėmis, apibrėžtomis skaičių intervale	52
2.6. Siūloami nauji daugiatiskslio vertinimo metodai.....	53
2.6.1. TOPSIS „grey“ metodas su rodiklių reikšmėmis apibrėžtomis intervalu	53
2.6.2. COPRAS-G metodas su rodiklių reikšmėmis, apibrėžtomis intervalu	56
2.7. Uždavinių sprendimas daugiatisksliais vertinimo metodais.....	59
2.8. Skyriaus išvados	61
3. RIZIKOS VERTINIMAS STATYBOS OBJEKTUOSE	63
3.1. Rizikos vertinimas statyboje.....	63
3.2. Bendros rizikos statybos objektuose vertinimas daugiatiskslio vertinimo metodais	69
3.2.1. Statybos objektų bendros rizikos vertinimas taikant daugiatiskslio vertinimo TOPSIS metodą su minimaliomis rodiklių reikšmėmis	70
3.2.2. Statybos objektų bendros rizikos vertinimas taikant daugiatiskslio vertinimo TOPSIS metodą su maksimaliomis rodiklių reikšmėmis	75
3.2.3. Bendros rizikos vertinimas taikant daugiatiskslio vertinimo TOPSIS „grey“ metodą	78
3.2.4. Bendros rizikos statybos objektuose vertinimas taikant daugiatiskslio vertinimo COPRAS metodą su minimaliomis reikšmėmis	82
3.2.5. Bendros rizikos vertinimas taikant daugiatiskslio vertinimo COPRAS metodą su maksimaliomis reikšmėmis	83
3.2.6. Bendros rizikos vertinimas taikant daugiatiskslio vertinimo COPRAS-G metodą.....	84
3.3. Gautų rezultatų rizikos vertinimo statybos objektuose sintezė	87
3.4. Skyriaus išvados	90

4. STATYBOS PROCESAI SUINTERESUOTOS GRUPĖS	91
4.1. Suinteresuotos grupės statybos procesuose	91
4.2. Statybos rangovo parinkimas, taikant COPRAS ir COPRAS-G metodus.....	93
4.3. Statybos rangovo rizikos vertinimas taikant lošimų teoriją.....	95
4.4. Statybos projektų vadovo parinkimas COPRAS ir COPRAS-G metodais.....	98
4.4.1. Statybos projektų vadovo savybių tyrimas	98
4.4.2. Statybos projektų vadovų vertinimo metodai.....	104
4.4.3. Statybos projektų vadovo parinkimas COPRAS ir COPRAS-G metodais.....	109
4.5. Skaičiavimo rezultatų palyginimas.....	111
4.6. Skyriaus išvados	112
5. PASTATO KONSTRUKCINIŲ, TECHNINIŲ SPRENDIMŲ VERTINIMAS PLANAVIMO ETAPE.....	115
5.1. Planuojami konstrukciniai, techniniai sprendimai.....	115
5.2. Išorės sienų atitvarinių konstrukcijų vertinimas	116
5.3. Sienų konstrukcijų parinkimas COPRAS-G metodu.....	118
5.4. Skyriaus išvados	120
BENDROSIOS IŠVADOS.....	121
LITERATŪRA IR ŠALTINIAI.....	123
JOLANTOS TAMOŠAITIENĖS PUBLIKACIJOS DISERTACIJOS TEMA ...	139
PRIEDAI.....	141
A priedas. Statybos objektų rizikos įvertinimo rodiklių reikšmingumų ir reikšmių nustatymas	142
B priedas. Statybos rangovo parinkimo rodiklių reikšmingumų ir reikšmių nustatymas	143
C priedas. Statybos rangovo rizikos įvertinimo rodiklių reikšmingumų ir reikšmių nustatymas.....	144
D priedas. Projektų vadovo rodiklių reikšmingumų ir reikšmių nustatymas.....	145
E priedas. Sienų atitvarinių konstrukcijų parinkimo rodiklių reikšmingumų ir reikšmių nustatymas.....	146
F priedas. Rodiklių reikšmingumų skaičiavimas	147

Contents

INTRODUCTION	1
Topicaly of the problem	1
Aim and tasks of the research	2
The object of the research	2
The aim of work	2
The goals of the research	3
Methodology of the research	3
Scientific novelty of the research	3
Practical value of the research	4
Defined propositions	4
Research results aprobaton	4
Structure of dissertation	5
 1. CONSTRUCTION PROJECTS AND DECISION MAKING	 7
1.1. Decision taking in costruction	7
1.1.1. Lifetime period of a sustainable building	10
1.1.2. The cycle of construction processes management	12
1.2. Building's construction planning	13
1.2.1. The period of construction	17
1.2.2. The worth of construction	21
1.2.3. The quality of construction	24
1.3. Types of information	25
1.4. The grey system theory and its application	30
1.5. The conclusions of the chapter	31

2. TRADITIONAL AND TENDER ASSESSMENT METHODS	33
2.1. Classification of the multi-attribute methods	33
2.2. Applying of the multi-attribute methods	37
2.2.1. Applying of the multi-attribute method COPRAS	38
2.2.2. Applying of the multi-attribute method TOPSIS	39
2.2.3. Applying of the Game Theory	40
2.3. Decision making attribute system	41
2.3.1. Premise of the making attribute system	41
2.3.2. The methods of the rate attribute weight	43
2.4. Traditional multi-attribute decision making methods	45
2.4.1. Game Theory Hodges' o-Lehman' o rule	46
2.4.2. Multi-attribute decision making method COPRAS	47
2.4.3. Multi-attribute decision making method TOPSIS	49
2.5. Decision making with values determinet at intervals	52
2.6. Multi-attribute decision making method with values determinet at intervals....	53
2.6.1. Multi-attribute decision making method TOPSIS „grey“	53
2.6.2. Multi-attribute decision making method COPRAS-G	56
2.7. The model to solve of the assessment model	59
2.8. The conclusions of the chapter	61
 3. EVALUATION OF RISK OF CONSTRUCTION OBJECTS	 63
3.1. Risk evaluation in construction	63
3.2. The evaluation of general risk in construction objects applying multipurpose evaluation methods.	69
3.2.1. Overall risk assessment in construction objects by multi-attribute decision making method TOPSIS, with minimal attribute values	70
3.2.2. Overall risk assessment in construction objects by multi-attribute decision making method TOPSIS, with maximal attribute values	75
3.2.3. Overall risk assessment in construction objects by multi-attribute decision making TOPSIS „grey“ method	78
3.2.4. Overall risk assessment in construction objects by multi-attribute decision making method COPRAS, with minimal attribute values	82
3.2.5. Overall risk assessment in construction objects by multi-attribute decision making method COPRAS, with maximal attribute values	83
3.2.6. Overall risk assessment in construction objects by multi-attribute decision making method COPRAS-G	84
3.3. The synthesis of the results gained from the risk evaluation in construction processes	87
3.4. The conclusions of the chapter	90

4. INTEREST GROUPS IN CONSTRUCTION PROCESSES	91
4.1. Interest groups in construction processes	91
4.2. Contractor selection applying COPRAS and COPRAS-G methods	93
4.3. Contractor's risk assessment applying Game Theory	95
4.4. Project's manager selection applying COPRAS and COPRAS-G methods	98
4.4.1. Research of the main attributes of projects' manager	98
4.4.2. The assessment methods of the projects' manager.....	104
4.4.3. Project's manager selection applying COPRAS and COPRAS-G methods	109
4.5. General results comparison	111
4.6. The conclusions of the chapter	112
5. CONSTRUCTIONAL TECHNICAL DECISION MAKING ASSESSMENT	115
5.1. Constructional technical derivations	115
5.2. The assessment of external walls enclosing structures	116
5.3. The assessment of external walls applying COPRAS-G method	118
5.3. The conclusions of the chapter	120
GENERAL CONCLUSIONS AND SUGGESTIONS	121
LITERATURE	123
THE LIST OF JOLANTA TAMOŠAITIENĖ PUBLICATIONS ON THE TOPIC OF THE DISSERTATION	139
ANNEXES	141
Annex A. Questionnaire for determination attributes weight and values for overall risk in construction objects	142
Annex B. Questionnaire for determination attributes weight and values for assessment general contractor in construction objects	143
Annex C. Questionnaire for determination attributes weight and values for general contractor risk assessment.....	144
Annex D. Questionnaire for determination attributes weight and values for project's manager selection in construction objects.....	145
Annex E. Questionnaire for determination attributes weight and values for external walls assessment	146
Annex F. Calculation of the attribute weight	147

[vadas

Tiriamoji problema

Viena iš svarbiausių pramonės šakų – statyba. Racionalus statybos proceso parinkimas, planavimas ir valdymas lemia tai, koks bus sukurtas pastatas. Valdymo sprendimų matematinių modelių sukūrimas, siekiant gauti geriausius ekonominius rodiklius, šiuo metu tampa racionalios statybos pagrindu. Modeliavimas ypač svarbus, nes kiekviena statyba unikali dėl statybos procesų ir sąlygų unikalumo. Tokie modeliai labai reikalingi inžinieriams, planuotojams, organizatoriams ir įvairaus lygio vadovams, o ypač tiems, kurie nėra anksčiau susidūrę su analogiškėmis situacijomis. Darbas skirtas teoriniam statybos procesų modeliavimui ir jo taikymui statybos valdymo sprendimams vertinti statybos planavimo etape. Disertacijoje nagrinėjami pagrindai ir modeliai gali būti sėkmingai pritaikyti ir kituose pastato gyvavimo proceso etapuose. Tik sėkmingai bendradarbiaujant pastato gyvavimo proceso suinteresuotoms grupėms galima kalbėti apie sklandų statybos planavimo procesą ir projektų vykdymą. Priešingu atveju statybos valdymo procesas yra nesklandus, kyla daug nereikalingų, trikdančių statybos procesą ginčų, darbai užsitęsia. Toks valdymo procesas gali būti neefektyvių sprendimų priėmimo, defektų, o kartu ir didžiulių finansinių bei moralinių nuostolių priežastis.

Suinteresuotų grupių interesai, priimant valdymo, techninius ar kito pobūdžio sprendimus planavimo etape yra neraiškiai apibrėžti, o turima informacija nėra iki galo tiksli ir yra tam tikruose skirtinguose intervaluose.

Darbo aktualumas

Statybos srityje svarbiausias yra statybos planavimo etapas. Šiame etape planuojami valdymo, techniniai ir kiti sprendimai, kurie vėlesniuose statybos procesų etapuose tampa tarpiniais arba galutiniais rezultatais. Visų statybos procesų etapų rezultatas – sukurta nauja vertė: pastatytas, suremontuotas, rekonstruotas numatytos paskirties inžinerinis pastatas. Tačiau sprendimai, numatyti planavimo etape, dažniausiai neatitinka galutinių rezultatų, o siekiami tikslai ne visuomet pasiekiami racionaliausiu būdu. Taip atsitinka dažniausiai dėl informacijos trūkumo, kai susiduriama su neapibrėžtomis situacijomis. Sprendžiami uždaviniai neapsiriboja keletu rodiklių, o racionalius sprendimus priimantiems asmenims, turintiems išsilavinimą, kvalifikaciją, nebeužtenka turimų žinių tiksliai suplanuoti visus statybos procesus. Planavimo etape turima informacija nėra iki galo tiksli. Todėl statybos valdymo uždaviniams spręsti būtina ieškoti naujų būdų ir uždavinių sprendimo metodų.

Tyrimų objektas

Racionalių valdymo sprendimų priėmimas statybos planavimo etape, taikant tradicinius daugiatiskslio vertinimo metodus TOPSIS, COPRAS, sukurta COPRAS-G ir naują TOPSIS „grey“ bei lošimų teoriją.

Darbo tikslas

Parengti racionalų, pagrįstą daugiatiskslio vertinimo metodais su rodiklių reikšmėmis, apibrėžtomis intervalu, valdymo sprendimų priėmimo modelį, naudotiną statybos planavimo etape.

Remiantis intervalų sistemų teorija, sukurti naują daugiatiskslio vertinimo metodą COPRAS-G, pritaikytą uždaviniams spręsti su rodiklių reikšmėmis, apibrėžiamomis intervalu.

Darbo uždaviniai

Darbo tikslui pasiekti reikia išspręsti šiuos uždavinius:

1. Išanalizuoti, apžvelgti ir sudaryti uždavinių modelius svarbiausiems statybos procesų valdymo uždaviniams, sprendžiamiems planavimo etape.
2. Ištirti intervalų sistemų teorijos galimybes ir pritaikyti rodiklių reikšmes, apibrėžiamas intervalu, daugiatikslio vertinimo metodams TOPSIS ir COPRAS.
3. Sukurti naują daugiatikslio vertinimo metodą COPRAS-G su rodiklių reikšmėmis, apibrėžiamomis intervalu.
4. Remiantis tradiciniais daugiatikslio vertinimo metodais TOPSIS, COPRAS, sukurtu COPRAS-G ir nauju TOPSIS „grey“ su rodiklių reikšmėmis, apibrėžiamomis intervalu, lošimų teorijos taisyklėmis patikrinti metodų veiksmingumą, priimant valdymo sprendimus statybos procesų planavimo etape.

Tyrimų metodika

Atliekant tyrimus disertacijoje taikoma intervalų sistemų teorija, lošimų teorija ir daugiatikslio vertinimo metodai, sintezė, rezultatų palyginimas, modeliavimas ir ekspertinis vertinimas.

Darbo mokslinis naujumas ir jo reikšmė

Rengiant disertaciją buvo gauti šie statybos inžinerijos mokslui nauji rezultatai:

1. Tyrimai rodo, kad mokslinėje literatūroje statybos procesų tema nagrinėjama gana menkai išsigilinant į kiekvieną atvejų sprendžiamą siaurą problemą. Tačiau statybos procesų valdymo tema nenagrinėjama kompleksiskai. Sukurti statybos valdymo sprendimų vertinimo planavimo etape sprendimų modeliai.
2. Pateikiami priimami valdymo sprendimai, įvertinantys informacijos neapibrėžtumą taikant intervalų sistemų teoriją.
3. Disertacijoje pateikiami valdymo sprendimams priimti taikomi tradiciniai TOPSIS, COPRAS daugiatikslio vertinimo metodai bei lošimų teorija. Pasiūlyta statybos procesų valdymo uždavinius spręsti nauju daugiatikslio vertinimo TOPSIS „grey“ ir sukurtu daugiatikslio vertinimo

COPRAS-G metodu, rodiklių reikšmių neapibrėžtumą išreiškiant intervalu.

Darbo rezultatų praktinė reikšmė

Statybos procesų valdymo uždavinių modeliai gali būti taikomi sprendimų priėmimui statybos planavimo etape. Tradiciniai daugiatikslio vertinimo metodai TOPSIS, COPRAS, sukurtas COPRAS-G ir naujas TOPSIS „grey“ gali būti naudojami įvairiems statybos valdymo ir kitiems uždaviniams spręsti planavimo etape. Strateginiams uždaviniams taikytina lošimų teorija.

Ginamieji teiginiai

1. Daugiatikslio valdymo sprendimų vertinimas statybos planavimo etape.
2. Tradiciniais daugiatikslio vertinimo metodais TOPSIS, COPRAS, sukurtu COPRAS-G ir nauju TOPSIS „grey“ sprendimų priėmimas sprendžiant uždavinius su rodiklių reikšmėmis, apibrėžiamomis intervalu, statybos planavimo etape.

Darbo rezultatų apibavimas

Disertacijos tema yra išspausdinta 14 mokslinių straipsnių: trys – mokslo žurnaluose, įtrauktuose į *Thomson ISI WOS DB*: Zavadskas *et al.* 2008a; 2008g; 2008h; penki – konferencijų darbų leidiniuose, įtrauktuose į *Thomson ISI Proceedings* duomenų bazę: Tamošaitienė *et al.* 2008; Zavadskas *et al.* 2008b; Zavadskas *et al.* 2008c; Ustinovičius *et al.* 2007; Zavadskas *et al.* 2007b; du – recenzuojamame tarptautiniame konferencijos straipsnių rinkinyje: Zavadskas *et al.* 2008f; 2008i; keturi – kitose tarptautinių ir respublikinių konferencijų medžiagose Tamošaitienė 2008; Migilinskas, Tamošaitienė 2007; Zavadskas *et al.* 2007a; Tamošaitienė 2005.

Disertacijoje atliktų tyrimų rezultatai buvo paskelbti devyniose mokslinėse konferencijose Lietuvoje ir užsienyje:

25-asis pasaulinis simpoziumas „*Automatic and Robotic in Construction, ISARC'2008*“ 2008 m. Vilniuje;

9-oji tarptautinė konferencija „*Modern building materials, structures and techniques*“ 2007 m. Vilniuje;

Tarptautinė konferencija „*EURO Mini Conference „Continuous Optimization and Knowledge – Based Technologies, EurOPT’2008“*“ 2008 m. Nidoje.

Tarptautinis Vokietijos, Lietuvos ir Lenkijos kolokviumas 2007 m. Kolobrzege, Lenkijoje.

Tarptautinė konferencija „*8-th International Conference Reliability and Statistics in Transportation and Communication, RelStat’8“* 2008 m. Rygoje.

7-oji tarptautinė konferencija „*Environmental Engineering, ENVIRO’2008“* May 22–23, 2008 m. Vilniuje.

Jaunųjų mokslininkų konferencijose „*Lietuva be mokslo – Lietuva be ateities“* 2005, 2007, 2008 m. Vilniuje.

Disertacijos struktūra

Disertaciją sudaro įvadas, penki skyriai ir rezultatų apibendrinimas.

Darbo apimtis – 164 puslapiai, įskaitant priedus, tekste panaudotos 59 numeruotos formulės, 50 paveikslų ir 30 lentelių. Rašant disertaciją buvo naudotasi 241 literatūros šaltiniu.

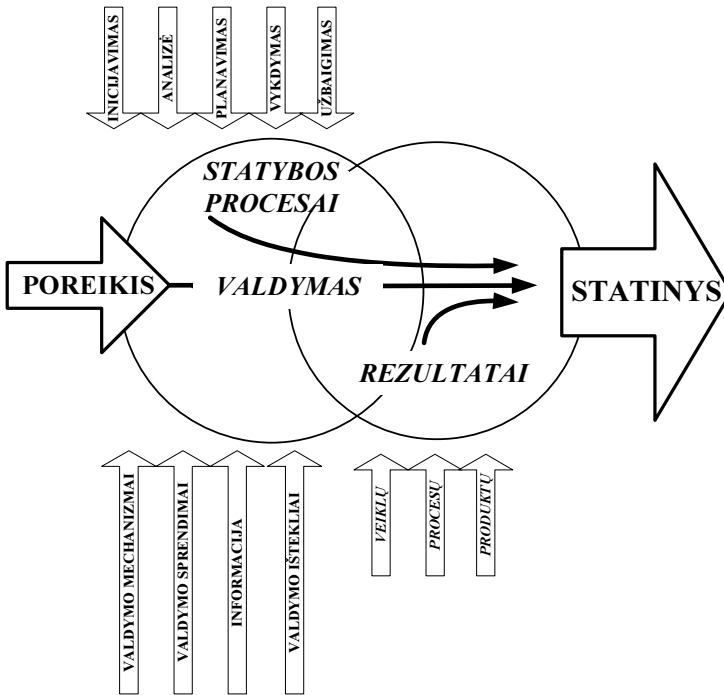
Statybos planavimo sprendimai ir valdymas

Skyriuje pateikta statybos procesų planavimo ir valdymo sprendimų apžvalga. Iš viso pastato gyvavimo ciklo išskiriamas pagrindinis planavimo etapas. Jame sprendžiami uždaviniai yra svarbūs tuo, kad numatyti sprendimai ateityje bus realizuojami praktinėje aplinkoje. Todėl svarbu užtikrinti priimamų sprendimų kokybę statybos planavimo etape.

1.1. Sprendimų sistema statyboje

Pastato statybą kaip sistemą apibūdina sutvarkytų elementų visuma, turinti procesams būdingų savybių, kurių neturi pavieniai jos elementai (Antanavičius *et al.* 1993). Sistemoms būdingi pokyčiai, tad jos dažniausiai vadinamos dinamiškomis. Dinamiškos sistemos, sugebančios tikslingai veikti, yra susireguliuojančios. Statybos sistemą sudaro pastatas ir procesų valdymas:

1. Pastatas – tam tikromis savybėmis pasižymintis statybos proceso produktas.
2. Procesų valdymas – tam tikrų darbų atlikimas, siekiant gauti nustatytus reikalavimus atitinkantį rezultatą – pastatytą pastatą.



1.1 pav. Tikso siekimo procesas

Fig. 1.1. Resulting process

Statyba kaip sistema aptarta daugelyje mokslinių darbų. Įvairių mokslinių tyrimų pagrindu buvo sudarytas sprendimų sistemos tikslo siekimo procesas (1.1 pav.). Statyba, priskiriama materialinės gamybos sričiai, susijusi su kitomis pramonės sritimis. Statybos procesams tiekiamos reikalingos medžiagos, mechanizmai ir kiti ištekliai. Statybos produkcija – pastatyti pastatai – naudojama visoje kitose pramonės srityse. Todėl statyba yra atvira sistema, tačiau sąveikaujant su kitomis šakomis apsunkinamas statybos procesų valdymas. Statybos procesus sudarantiems elementams būdingas neapibrėžtumas, nes statybos procesai unikalūs.

Statybos srities veiklos rezultatas – nejudamoji produkcija (išskyrus kai kurių pastatų rūšis). Pastatui sukurti reikalinga daug ir įvairių tam tikrų sąvybių bei kitų specifinių sąlygų, o sėkmingam statybos įgyvendinimui reikalingas valdymas. Pagrindiniai valdymo elementai yra:

- valdymo mechanizmai;
- valdymo sprendimai;
- informacija;
- valdymo ištekliai.

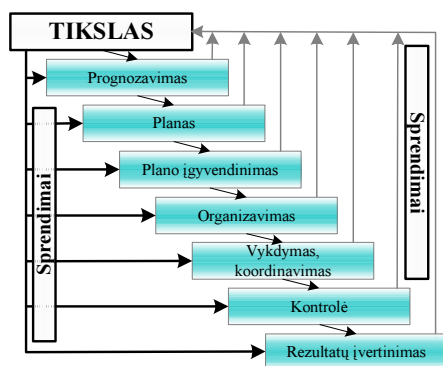
Valdymo mechanizmas – vadovaudamosi atitinkamais principais, valdymo funkcijas atliekančios suinteresuotos grupės. Valdymui reikalingos priemonės gali būti įvairios, dažniausios tai komunikacijos priemonės, įvairi programinė įranga, įvairūs matavimo prietaisai, taip pat administracijos biurai ir laikini pastatai, biurų įranga, kompiuteriai. Valdymo mechanizmo procesus atlieka darbuotojai, vykdydami valdymo funkcijas. Jie rengia ir priima valdymo sprendimus.

Valdymo sprendimai – tai valdymo proceso produkcija. Jais remiantis veikiamas ir keičiamas norima kryptimi valdymo objektas. Vienaame statybos etape priimami valdymo sprendimai, kitame statybos procesų etape jie tampa ištekliais. Sprendimai – tiesiogiai susiję su atitinkamos produkcijos atsiradimu.

Informacija – tai valdymo proceso pagrindas. Ja remiantis priimami visi valdymo, organizavimo, technologijos parinkimo sprendimai. Informacija – pagrindinis valdymo proceso išteklis.

Valdymo ištekliai skiriami į dvi grupes: aktyvius ir pasyviuos.

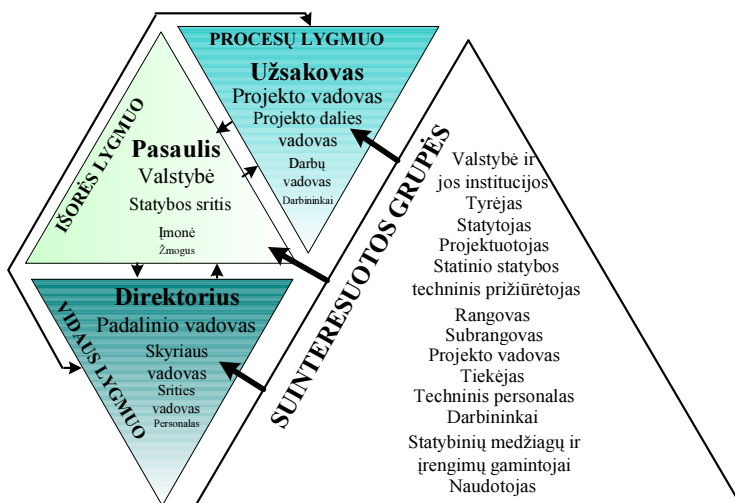
Visapusiškai vertinti reiktų ne tik statybos procesų mikro-, mezo- ir makroaplinką, bet ir pastato statybos etapus. Pagrindiniai pastato statybos tikslo siekimo etapai buvo nustatyti tiriant literatūros šaltinius ir iš 5 metų autorės praktinės patirties statybų versle (1.2 pav.). Pastato statybos planavimo etape gali būti naudojama daugybė priemonių, metodų ir informacijos (Zavadskas *et al.* 2008c), tačiau galutinį sprendimą priima sprendimų priėmėjas. Sprendimai priimami šia seka: prognozuojant; planuojant; formuluojant problemas; galimas alternatyvas; parenkant geriausią alternatyvą; suteikiant sprendimui įgyvendinti reikalingus išteklius. Sprendimus statyboje tyrė Zavadskas (1987), įmonių ekonomikoje sprendimus tyrė Lydeka ir Drilingas (2001), projektų valdymo – Neverauskas *et al.* (2007).



1.2 pav. Pastato statybos tikslo siekimo etapai

Fig. 1.2. The stages of the aim reaching process in construction

Pagal literatūros šaltinius sprendimai priimami visuose statybos procesų etapuose: vykdymo ir koordinavimo etape, kai reikia sprendimus koreguoti. Priimamų sprendimų rezultatai vertinami pasibaigus statybos procesui. Priimant sprendimus pastato statybos etapuose dalyvauja įvairios suinteresuotos grupės. 1.3 paveiksle autorė pateikia susistemintą statybos suinteresuotų grupių schemą. Įvairiuose statybos lygmenyse pateiktų dalyvių sąrašas nėra baigtinis. Visada išlieka situacijų pasikeitimo tikimybė, kai lygmenys pasipildo naujais suinteresuotais dalyviais.



1.3 pav. Suinteresuotos statybų sektoriaus grupės

Fig. 1.3. Construction sector interest groups

Jų sprendimai, priimti vienuose pastato statybos etapuose, tampa ištekliais vėliau priimamiems sprendimams. Todėl sprendimų suinteresuotų grupių įtaka tampa dar svarbesnė.

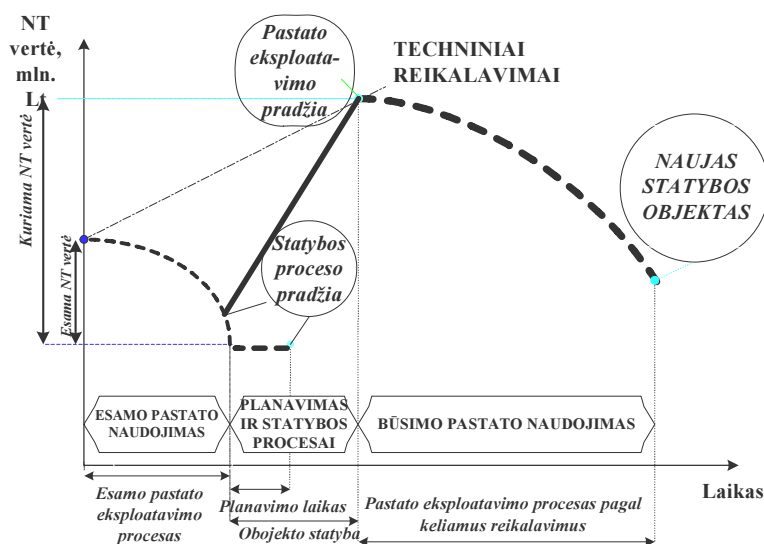
1.1.1. Darnus pastato gyvavimo ciklas

Darnos sąvoka nagrinėjama daugelyje mokslinių darbų: darnaus miesto aspektus tyrė Šaparauskas (2004), Viteikienė (2008); visuomeninių pastatų atnaujinimą darnos principais nagrinėjo Mickaitytė (2008); palankią gyventi mus supančią aplinką tyrė Naimavičienė (2008). Pastato gyvavimo ciklo aspektu žinių kompetenciją priimant sprendimus tyrė Boddy *et al.* (2007), Asif *et al.* (2007). Banaitienė *et al.* (2008) vertino pastato gyvavimo ciklą; optimalių pastato gyvavimo ciklo išlaidų nustatymą nagrinėjo Hong *et al.* (2007); pastato gyvavimo ciklo išlaidų minimizavimą pavieniams pastatams nagrinėjo Hasan *et al.* (2008);

gyvavimo ciklo perspektyvas darnių medžiagų parinkimui pastatams Šri Lankoje nagrinėjo Abeyesundara *et al.* (2009). Darnius daugiatakslio apsisprendimo metodus pastatų gyvavimo ciklui modeliuoti tyrė Turskis (2009). Remdamasi apžvelgtais šaltiniais ir moksliniai tyrimais, 1.4 paveiksle autorė pateikia tyrimais paremtą darnaus pastato gyvavimo ciklo modelį.

Darnaus vertinimo tikslas turi būti keliamas taip pat pastatų eksploatavimo procesuose (Reichelt *et al.* 2008; Lepkova, Vilutienė, 2008).

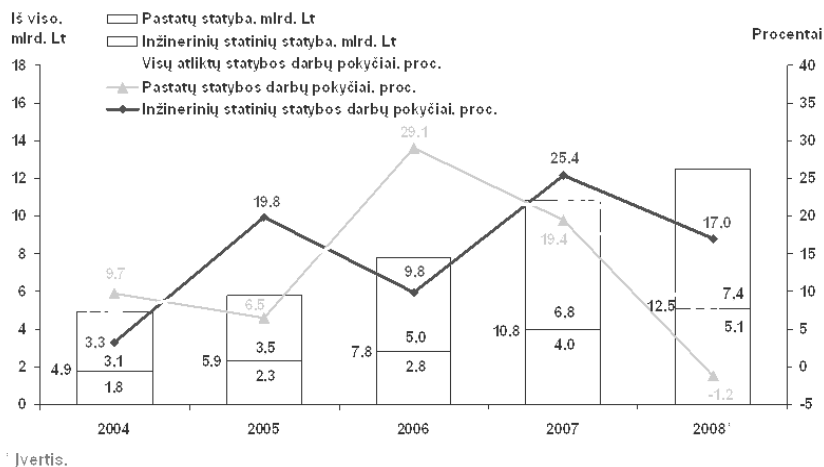
Statybos temos aktualumą rodo išduotų leidimų statyti skaičius (1.5 pav.).



1.4 pav. Pastato statybos (rekonstrukcijos) gyvavimo ciklas

Fig. 1.4. The cycle of a building lifetime

Lietuvoje išduotų leidimų statyti naujus gyvenamuosius ir negyvenamuosius pastatus 2005 m. buvo 5894, 2006 m. – 7843, 2007 m. – 9198 (Statistikos departamentas 2009). Skirtumas tarp išduotų leidimų naujiems gyvenamiesiems ir negyvenamiesiems pastatams statyti bei pastatytų pastatų skaičius rodo statybų mastą: 2005 m. jis buvo 1874; 2006 m. – 3431, o 2007 m. – 3554. Šalies teritorijoje 2004–2008 m. atlikti statybos darbai taip pat rodo, kad statybos sektoriui būtina ieškoti ne tik naujų statybų finansavimo šaltinių, tačiau ir naujų efektyvių sprendimų geresniems rezultatams pasiekti.



1.5 pav. Išduotų leidimų statyti naujus gyvenamuosius pastatus skaičių dinamika Lietuvoje 2004–2008 m. (Statistikos departamentas 2009)

Fig. 1.5. The dynamics of the numbers of premission to construct new residential houses in Lithuania in 2004–2008 (Department of Statistics 2009)

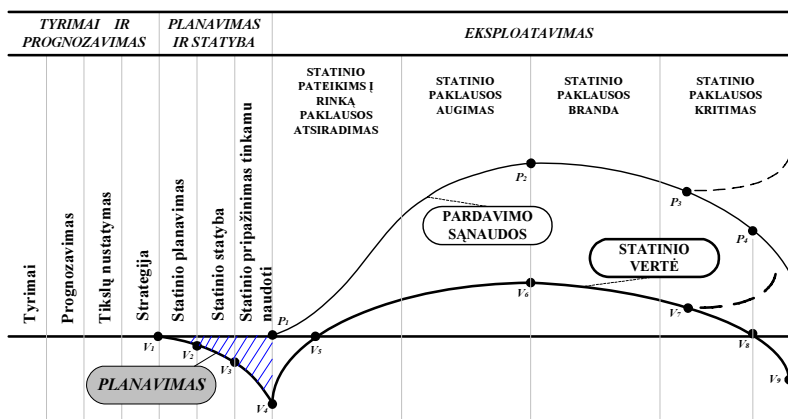
1.1.2. Valdymo procesas

Valdymo procesus sudaro tikslas, išreikštas norimais rezultatais (1.1 pav.), pabaiga – faktiškai gautais rezultatais (Antanavičius *et al.* 1993).

Darnumo principai gali būti taikomi statybos valdymo uždaviniuose.

Valdymo objekte išskiriami tokie pagrindiniai aspektai: socialinis, techninis, ekonominis, moralinis, fizinis, kultūrinis, rizikos. Valdančioji sistemos dalis realizuoja valdymo procesus. Įvairių šalių mokslininkai išskiria skirtingus valdymo procesus skirtingose srityse: statybos valdyme ir ekonomikoje juos nagrinėjo Hopfenbeck (1993); statybos organizacinį valdymą tyrė Antanavičius *et al.* (1993), Banaitienė, Banaitis (2006); statybos organizavimo valdymo procesus tyrė Zavadskas *et al.* (2001); organizacinius projektus nagrinėjo Būda, Chmieleuskas (2006); informacinių technologijų valdymą nagrinėjo Laučius, Vasilecas (2007); tarptautinius ir Europos Sąjungos paramos Lietuvai projektus tyrė Neve-rauskas *et al.* (2007).

Pastatytas pastatas tampa preke, kuri taip pat vertinama prekių rinkos aspektu. Pastato kaip prekės gyvavimo ciklas rinkoje vaizduojamas 1.6 paveiksle. Nuo paprastų prekių sąvybių šios skiriasi savo kaina ir prekės naudojimo trukme. Toks pastato vertinimas gali būti taikomas vertinant pastato išorinio vaizdo ir pastato funkcionalumo naujovių aspektais.



P_1 – pastato pateikimo į rinką atskaitos taškas.

P_2 – pastato rinkos prisotinimo atskaitos taškas. Apyvarta pradeda mažėti.

P_3 – pakartotinis pastato apyvartos pakilimas, pvz., naujai atsirandantys poreikiai.

P_4 – apyvartos taškas, po kurio daugiau nepasiekiamas didesnis pelnas.

V_1 – pastato novatoriškumo pradžia.

V_2 – pastato planavimo, statybos pabaiga ir pastato eksploatavimo pradžia.

V_3 – pastato gamybos pabaiga ir pastato pateikimo į rinką paruošiamieji darbai.

V_4 – inovacijų etapo pabaiga. Išlaidų dydis inovacijų etapo pabaigoje.

V_5 – pastato sąnaudų padengimo atskaitos taškas.

V_6 – maksimalaus pelno atskaitos taškas, esant maksimaliai apyvartai. Pelno kreivės lūžio taškas.

V_7 – pelno padidėjimas iš naujo didėjant apyvartai.

V_8 – atskaitos taškas, nuo kurio pastatas tampa nuostolingas.

V_9 – nuostoliai, kurie susidaro esant mažesnei apyvartai ir didesnėms išlaidoms.

1.6 pav. Pastato kaip prekės gyvavimo ciklas rinkoje

Fig. 1.6. The cycle of the lifetime of a building as a product of market

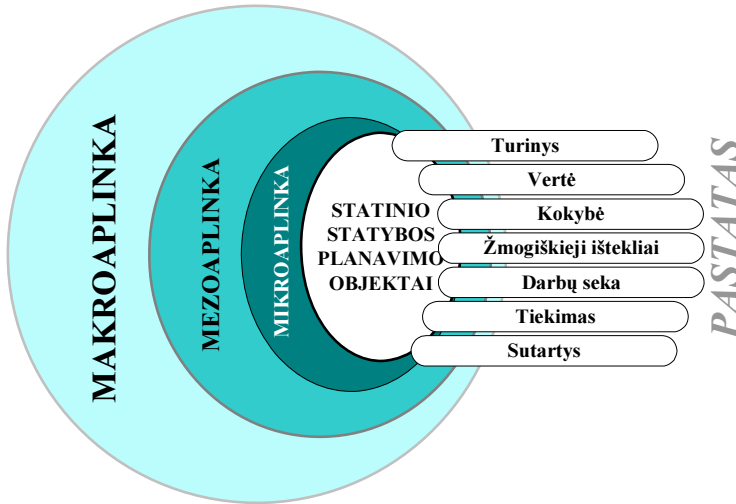
1.2. Pastato statybos planavimas

Planavimas – nenutrūkstamas procesas, kuriuo siekiama rasti geriausią veiksmų eigą, rasti tinkamiausias priemones bei būdus, tinkančius statybos procesų problemai spręsti. Planuojant nusakomi tikslų pasiekimo būdai. Šis procesas apima visą pastato statybą nuo inicijavimo iki pastato pripažinimo tinkamu naudoti. Jo tikslas – numatyti būtinų veiksmų ir darbų kompleksą, sudaryti laiko grafiką, apskaičiuoti būtinų išteklių poreikį, taip pat numatyti bendrą pastato vertę. Literatūros šaltiniuose išskirti planavimo etape sprendžiami uždaviniai pateikti 1.7 paveiksle.

Planavimas statybos procese naudingas, nes:

1. Mažina riziką.
2. Formuluoja aiškų tikslų supratimą.

3. Nustato procesų atlikimo standartus.
4. Sudaro darbų atlikimo seką.
5. Numato tinkamas kontrolės procedūras.
6. Numato trumpiausią laiką mažiausiomis pastangomis pasiekiant geriausius rezultatus.



1.7 pav. Pastato statybos planavimo objektai

Fig. 1.7. The objects of a building construction planning

Statybos planavimo procesų sistemą kaip statybos šakos sudėtinę dalį veikia visi statybos procesų efektyvumą lemiantys veiksniai (Navon 2007). Aplinką, kurioje vyksta sprendimų priėmimas, galima suskirstyti į tokias grupes:

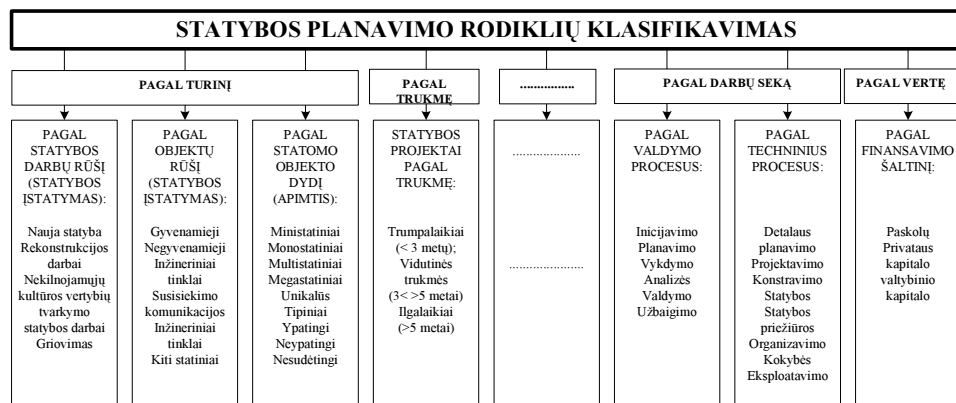
- mikro-;
- mezo-;
- makro-.

Prie mikrolygmens kintamųjų priskiriami statybos vidaus procesai, tai: sutarčių tipai, statybos finansavimas; rangovinių įmonių vidaus valdymo būdai ir t.t. Mikroaplinkos uždavinius savo moksliniuose darbuose sprendė Lietuvos mokslininkai Malinauskas (1994), Zavadskas, Kaklauskas (1996), Kaklauskas (1996), Ambrasas (1997), Zavadskas *et al.* (1998), Ginevičius (2000), Banaitis (2000), Kvederytė *et al.* (2000), Malienė (2000), Zavadskas *et al.* (2001a, 2001b), Malinauskas, Petrašenko (2001), Kaklauskas, Zavadskas (2002a), Lepkova (2003) ir kiti. Prie mezolygmens kintamųjų priskiriami: žemės sklypų, pastatų, projektavimo, statybos ir eksploatavimo darbų kainos, vietovės infrastruktūros, projektavimo, statybos, eksploatavimo, pastatų ūkio valdymo procesai. Sėkmės rodiklius

nagrinėjo Atkinson (1999), problemas statybos objektuose tyrė Tamošaitienė (2005), statybos valdymą nagrinėjo Banaitienė, Banaitis (2006), Būda, Chmieleuskas (2006). Šaparauskas, Turskis (2006) tyrė darną, Migilinskas, Tamošaitienė (2007) tyrė statybos planavimo automatizuotų modelių ekonominį efektyvumą, Tamošaitienė (2008) nagrinėjo statybos procesų rodiklius. Makroaplinkos rodiklius formuoja valstybė, socialiniai, kultūriniai, fiziniai ir ekonominiai veiksniai. Jie ypač svarbūs didelių pastatų statybai, kur analizuojama daug problemų ir gaunami reikšmingi rezultatai. Ilgesnės trukmės pastatų statyba taip pat reikalauja daugybės išteklių.

Visos šios aplinkos veiksnių grupės sudaro bendrą sistemą, kuri veikia pastato gyvavimo ciklo procesus. Tiriami pastato gyvavimo ciklo procesai gali būti skirti pastatų planavimo, statybos ir eksploatavimo procesų efektyvumui didinti. Bendri sprendimai, priimti planavimo etape, daro poveikį ir bendram pastato gyvavimo ciklui. Išorinę aplinką sudaro elementai, esantys už pastato kūrimo etapų ribų, tačiau svarbūs jo įgyvendinimui. Jie gali daryti tiesioginį arba netiesioginį poveikį pastato atsiradimui. Pastato atsiradimo procesą galime laikyti atvira sistema, nes statomas pastatas sąveikauja su jį supančia aplinka. Bendri sprendimai – darni ir kryptinga pastatų statybos sistema, susidedanti iš tarpusavyje susijusių elementų.

Norint gauti kuo tikslesnius rezultatus, vertinant ir sprendžiant uždavinius tikslinga naudoti kuo daugiau rodiklių. Statyba planuojama pagal įvairius statomą pastatą nusakančius rodiklius. Rodikliai nustatyti tiriant ir sisteminant įvairius literatūros šaltinius ir kitus mokslinius bei praktinius darbus, kuriais remiantis suklasifikuoti statybos procesų rodikliai (1.8 pav.).



1.8 pav. Statybos procesų rodiklių klasifikavimas

Fig. 1.8. The classification of construction processes rates

Kadangi pastato statybą nusako daugybė sąlygų ir rodiklių, todėl pastato statyba yra unikali ir negali būti identiška atkartojama. Neįmanoma sukurti kito ir tokio- mis pačiomis sąlygomis statomo pastato. Tipiniai pastatai arba jų dalys gali būti atkurti tik atitinkamai prisitaikius prie naujų sąlygų. Pagal statomo pastato dydį bei apimtį ir tam tikras būsimos veiklos funkcijas pastatai gali būti skirstomi į:

- monopastatus – atskirus, nepriklausomus;
- multipastatus – pastatų kompleksai, susidedantys iš tarpusavyje susijusių monopastatų;
- megapastatus – tikslinių regionų vystymo programų, apimančių keletą mono- ir multipastatų.

Išskiriami trijų tipų pastatų statybos procesų ribojimai:

1. Technologiniai – nusakomi darbų seka, kurios turi būti laikomasi atliekant užduotis.

2. Išteklių – nusakomi lygiaverčių išteklių stoka.

3. Fiziniai – sutarties ar darbinės aplinkos sąlygos. Pavyzdžiui, ribotas statybos biudžetas, kitų išteklių trūkumas, statomo pastato vieta ir t. t.

Sudaryta rodiklių sistema turi būti vertinama atsižvelgiant į išorės, procesų ir vidaus aplinkas.

Pagrindiniai pastato statybos etapai (1.9 pav.):

inicijavimo etapas – idėjų generavimas ir jų atranka, formalus statybos pradžios pripažinimas;

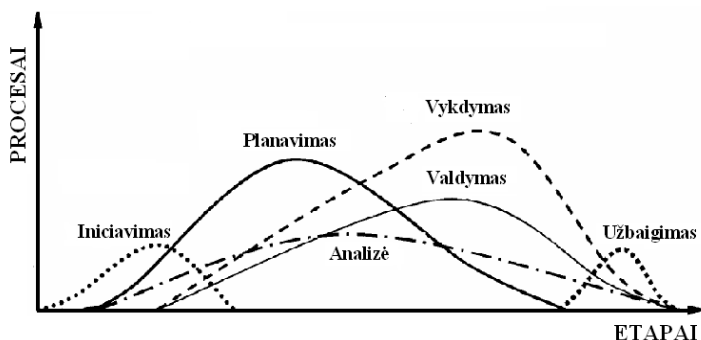
planavimo etapas – statybos plano parengimas;

vykdymo etapas – statyba, darbuotojų ir kitų išteklių valdymas vykdant planus;

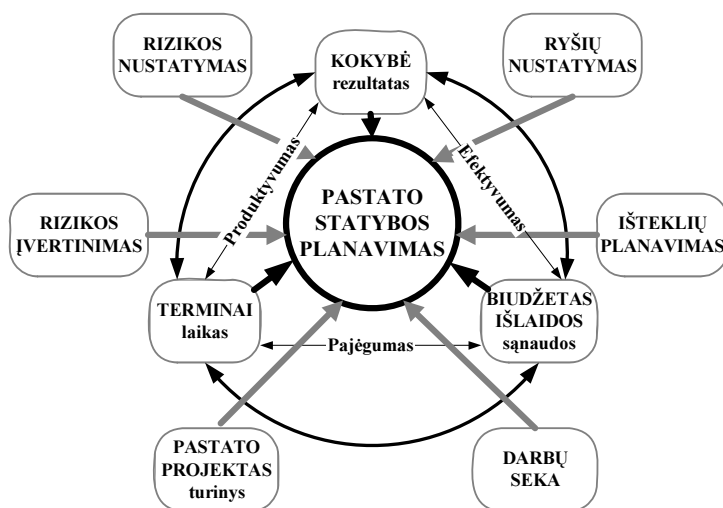
analizės etapas – įgyvendinimo eigos stebėjimas ir vertinimas;

valdymo procesai – koregavimo veiklų nustatymas, vykdymas, nepalankių veiklų pašalinimas;

pabaigos etapas – formalus užbaigimas, rezultatų įvertinimas.



1.9 pav. Pastato statybos įgyvendinimo etapai (Laučius, Vasilecas 2007)
Fig. 1.9. The stages of building process realization (Laučius, Vasilecas, 2007)



1.10 pav. Pagrindiniai pastato statybos planavimo uždaviniai

Fig. 1.10. The main tasks of building construction planning

Pastato statybos planavimo uždaviniai pateikti 1.10 paveiksle.

Priimami sprendimai gali būti sprendžiami vertinant kartu arba atskirai mikro-, mezo- ir makroaplinką. Tačiau visi sprendimai priimami koncentruojantis į galutinį rezultatą ir pagrindinį tikslą – pastatytą, rekonstruotą ar suremontuotą pastatą.

Tai gyvenamieji namai, pramonės, transporto, žemės ūkio, komercijos, sveikatos apsaugos, švietimo, mokslo, kultūros, sporto, valstybės valdžios institucijų, visuomeninių organizacijų ir kiti pastatai, taip pat tiltai, viadukai, pėsčiųjų perėjos, tuneliai, vandentiekio bokštai, rezervuarai, hidrotechnikos įrenginiai, vandens ir nuotekų valymo įrenginiai, pylimai, atraminės sienutės, keliai, gatvės, aikštės, inžineriniai tinklai. Tolesniems tyrimams pasirenkami naujos statybos gyvenamųjų ir negyvenamųjų pastatų statybos valdymo procesai planavimo etape.

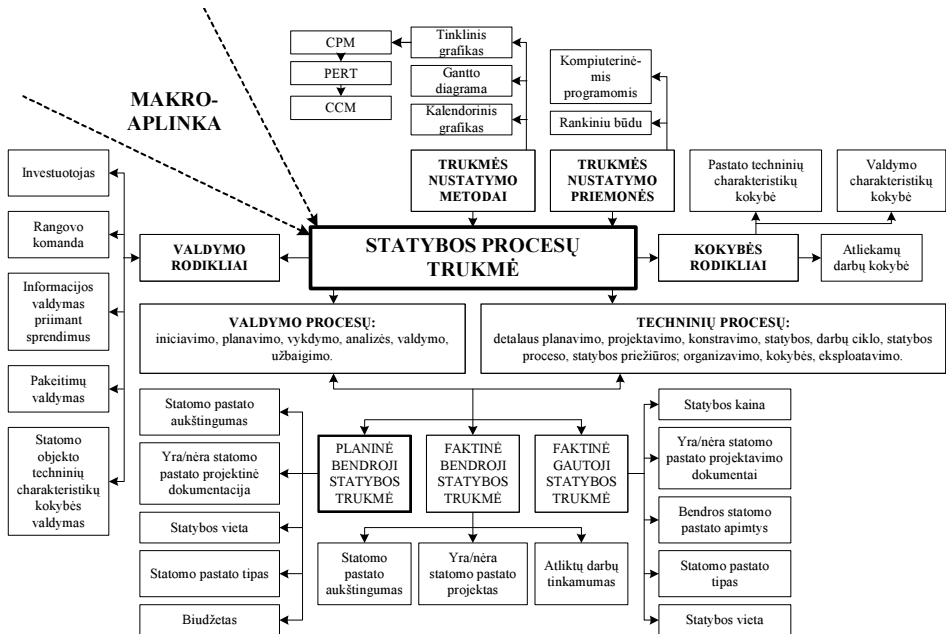
1.2.1. Pastato statybos trukmė

Vienas pagrindinių rodiklių pastato statyboje – trukmė. Tai laikas, nusakantis trukmę, kol bus gautas rezultatas – pastatas. Stochastinį trukmės vertinimą tyrė Cho (2009). Sprendžiant pastato statybos uždavinių trukmę reikia įvertinti dėl to, kad šis rodiklis yra dinaminio pobūdžio, o trukmės nustatymo metodai imitacinio pobūdžio: tinkliniai ir kiti grafiniai planai. Statybos procesų planavimas priklauso ir nuo veikiančios aplinkos: makro-, mezo- ir mikrolygmens. Pateiktas pastato statybos trukmės nustatymo modelis, sudarytas remiantis literatūros šaltiniais ir

autorės patirtimi statybos verslo statybos planavimo etape, schema pavaizduotas 1.11 paveiksle.

Planuojant pastato statybos trukmę turi būti tenkinamos šios sąlygos:

- būtina vykdyti užsakovo pageidavimus;
- neviršyti pastato statybai skirtų lėšų;
- užbaigti pastato statybą sutartyje numatytu laiku.



1.11 pav. Statybos procesų trukmės nustatymo modelis

Fig. 1.11. The model for estimating the terms of construction processes

Tarptautinė projektų valdymo asociacija (*IPMA*) nustatė, kad racionalus valdymas leidžia sutrumpinti pastato statybos trukmę vidutiniškai 20–30 %, išlaidas – 10–15 %. Todėl statybos procese turi būti detalūs statybos atitinkami planai ir grafikai, kuriuose būtų fiksuota darbų pradžia ir pabaiga, atsiskaitymo terminai. Esant tokiai planavimo sistemai turi būti:

- užtikrinama, kad numatyta statybos vertė bus tokia pat, kai bus atlikti darbai;
- personalui parengtas detalus darbų atlikimo grafikas;
- rengiami detalūs darbo planai prieš tai vertinant esamą situaciją;
- prognozuojami finansiniai ištekliai;
- operatyviai reaguojama į pakeitimus, norint išvengti neigiamų pasekmių ir t. t.

Detalūs statybos planai – darbų grafikai apima keturis pagrindinius etapus:

1. Sudaroma darbų eiliškumo seka.

2. Vertinama rizika. Jos tikslas – gresiančių pavojų nustatymas.

3. Išteklių planavimas – išteklių paskirstymas pritaikant prie tam tikrų apribojimų.

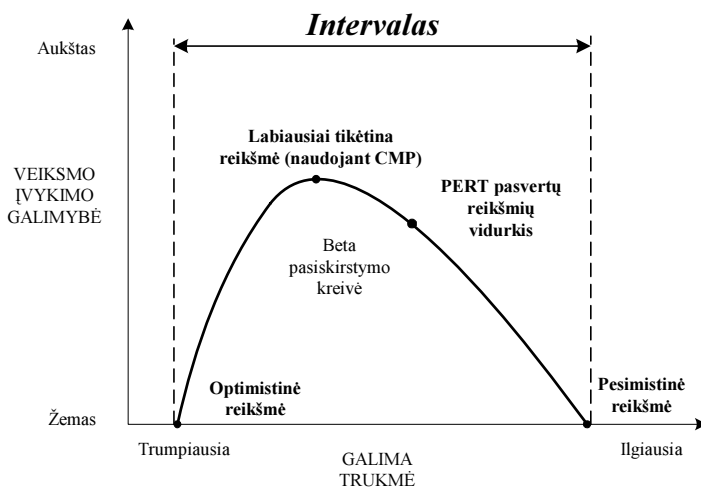
4. Trukmės grafikų sudarymas planuojant laiką kiekvienam statybos etapui ir atliekamiems darbams. Kiekvienam darbui nustatomas darbų atlikimo terminas.

Planuojant statybos trukmę labai svarbu žinoti atliekamų veiksmų seką. Darbų pradžią planuoti tik atlikus visus reikalingus paruošiamuosius darbus, atliekama veikla turi turėti nustatytą tikslią darbų pradžią ir pabaigą. Visi veiksmai turi būti orientuoti į tikslą – pastatytą pastatą ar kitą inžinerinį objektą.

Pastato statybos trukmės nustatymo būdai ir priemonės pateikti 1.11 paveiksle.

Kritinio kelio metodas *CPM* (*Critical Path Method*) taikomas planavimo problemoms spręsti, kai įvairių darbų atlikimo trukmė tiksliai žinoma. Tik sutrumpinus kritinį kelią galima paspartinti statybą. Taigi kritinis kelias rodo tas veiklas, kurioms reikia papildomų išteklių planavimui pagreitinti.

PERT (*Program Evaluation and Review Technique*) metodas taikomas, kai trūksta reikiamos informacijos apie darbų trukmę. Tačiau sprendimų priėmėjas, priimdamas galutinį sprendimą, remiasi apskaičiuota trumpiausia, ilgiausia arba labiausiai tikėtina reikšme. Tokiu atveju taikomi tikimybiniai ekspertiniai metodai, dažniausiai tikimybinis beta pasiskirstymas (1.12 pav.).



1.12 pav. PERT metodo *beta* pasiskirstymo kreivė (Moderis, Filipsas 1971)

Fig. 1.12. The curve of PERT method Beta Distribution (Moderis, Filipsas 1971)

Trukmės nustatymas pagal optimistinę ir pesimistinę reikšmes Lietuvoje žinomas jau nuo 1971 metų (Moderis, Filipsas 1971). Tai sudato tam tikrą statybos procesų trukmę, kuri įgyvendinama tam tikru laiko intervalu.

PERT metodu laukiama darbo atlikimo trukmė (T_l) nustatoma pagal formulę:

$$T_l = (T_{\min} + 4T_{l.t.} + T_{\max})/6, \quad (1.1)$$

čia: $T_{\min}$ – minimali galima darbo atlikimo trukmė; $T_{l.t.}$ – labiausiai tikėtina darbo trukmė; $T_{\max}$ – maksimali priimtina darbo trukmė. Tinklinė pastato statybos diagrama sudaroma analogiškai *CPM*.

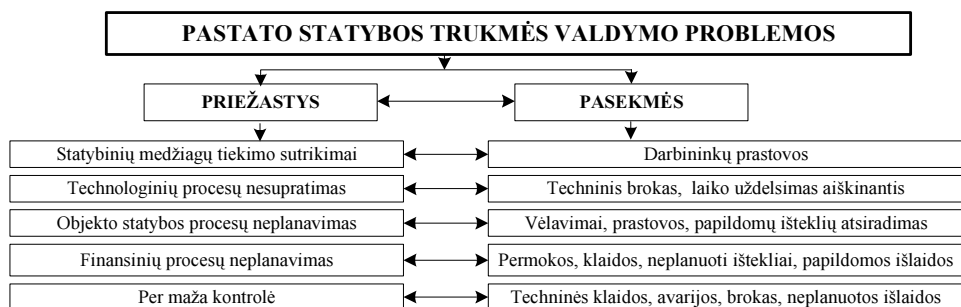
Nustatant trukmę *PERT* metodu darbų atlikimo trukmės vertinimai yra gana subjektyvūs ir priklauso nuo vertintojo. Jei vertintojas nėra patyręs, tai skaičiai dažniausiai yra tik spėjimas. Net jei vertintojas yra patyręs, vis tiek vertinimai gali būti šališki. Todėl pasirinkus optimistinį ir tikėtiną pesimistinį vertinimus, pasiskirstymo funkcija gali skirtis nuo *PERT* taikomos *beta* pasiskirstymo funkcijos. Trukmei planuoti gali būti taikoma ir intervalų sistemų teorija.

Pasiskirstymo funkcija *beta*, prognozuojama *PERT*, bendroji pastato statybos trukmė gali būti neadekvati, nes prognozuojamas kritinis kelias gali pasikeisti.

Kritinės grandinės metodas apribojimų fiksavimo metodas *CCM (Theory of Constraints TOC)*. Jis sudarytas iš 5 etapų:

1. Sistemos apribojimų nustatymas.
2. Maksimaliai efektyvaus sistemos apribojimų naudojimo sprendimo priėmimas.
3. Sistemos veiklos organizavimas pagal priimtą sprendimą.
4. Sistemos apribojimų sumažinimas.
5. Jeigu koks nors apribojimas pašalintas, pereiti prie 1 punkto.

Suplanuotų statybos procesų grafikų įgyvendinimas sutrinka dėl tam tikrų priežasčių (1.13 pav.).



1.13 pav. Pastato statybos suplanuotos trukmės valdymo problemos

Fig. 1.13. The problems of the planned construction term management

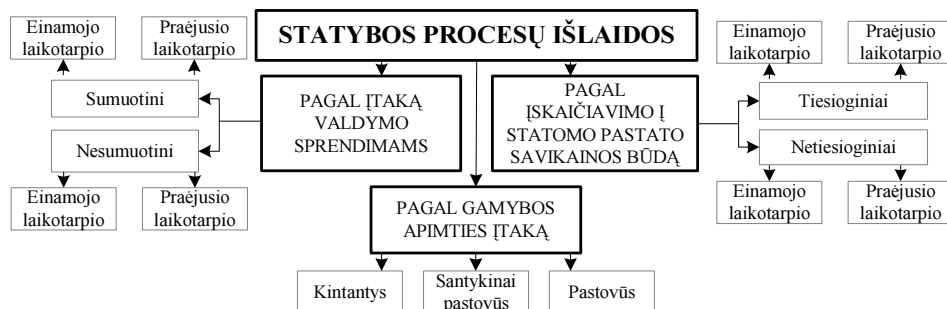
Numatyta trukmė dažniausiai prailgėja dėl:

1. Vėlavimų – numatyti darbai nepradedami ir baigiami nenumatytu laiku.
2. Sutrikdymų – kai sutrikdomas numatytos trukmės grafiko realizavimas.

Sutrikdymai sukelia papildomų išlaidų ir nuostolių, kurie dažniausiai atsiranda dėl veikiančių suinteresuotų grupių sprendimų kaltės.

1.2.2. Pastato statybos vertė

Kainos nustatymo principus tarptautiniuose statybos projektuose tyrė Dikmen *et al.* (2007); dangoraižių statybos išlaidas tyrė Chou, O'Connor (2007); statybos kainos nustatymo koncepciją tyrė Cheng *et al.* (2009). Bendrą statybos kainos sudėtį veikiantys elementai pateikti 1.14 paveiksle.



1.14 pav. Statybos išlaidų ir sąnaudų klasifikavimas
Fig. 1.14. The classification of construction outlay and expenses

Statybos kaina formuojama keliais etapais:

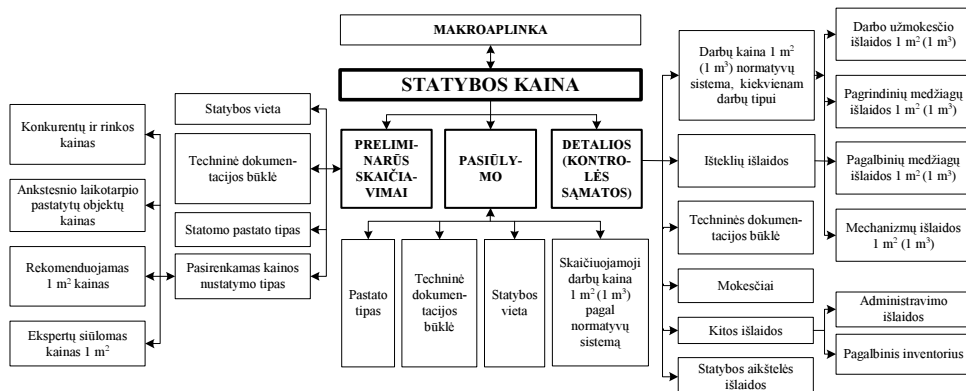
1. Preliminariais arba normatyviniais sustambintais skaičiavimais (Sustambinti statybos darbų kainų apskaičiavimai 2008; Pastatų statybos skaičiuojamųjų kainų palyginamieji ekonominiai rodikliai 2008).

2. Sutartinė arba darbų pasiūlymo kaina (priklausomai nuo rangovo ir užsakovų sutarties) nustatoma analizuojant rinką, apklausiant kitus rangovus, remiantis vienetiniais darbo įkainiais (Statybos resursų skaičiuojamosios rinkos kainos 2008; Pastatų statybos skaičiuojamųjų kainų palyginamieji ekonominiai rodikliai 2008).

3. Detalios sąmatos arba sutartinės atliekamų statybos darbų kainos skaičiavimas (Statybos resursų skaičiuojamosios rinkos kainos 2008).

Bendruoju atveju visos išlaidos ir sąnaudos, susijusios su pastatų statyba, pa-vaizduotos 1.15 paveiksle. Autorės pateikta schema sudaryta remiantis apibendrinus mokslinius tyrimus šioje srityje, Aplinkos ministerijos ir UAB „Sistela“ kainų skaičiavimo rekomendacijomis.

Išlaidų kontrolės uždavinys – numatyti faktiškas statybos išlaidas; nustatyti, kiek faktiškos išlaidos skiriasi nuo planuotų išlaidų; išsiaiškinti veiksnus, turinčius neigiamą įtaką statybos išlaidoms ir kitiems finansiniams rodikliams. Koreguoti statybos biudžetą atsižvelgiant į statybos pokyčius; patvirtinti patikslintą biudžetą.



1.15 pav. Statybos kainos nustatymo modelis

Fig. 1.15. Construction price estimation model

Statybos pagrindinių rodiklių vertės ir trukmės tiesioginės priklausomybė kiekvienu atveju yra skirtinga, išreikšta optimistinėmis ir pesimistinėmis rodiklių reikšmėmis. Rodiklių reikšmių dydis kiekvienu atveju skirtingas. Tai lemia nagrinėjamų rodiklių specifika. Jie gali būti ir teigiami, ir neigiami arba neutralūs tam tikrai suinteresuotai grupei.

Pagal įskaičiavimo į statomo pastato kainą išlaidos gali būti:

- Tiesioginės: išteklių ir įrenginių išlaidos (naudojamų statybos procesuose).
- Netiesioginės: netiesiogiai susijusios su atliekamais darbais išlaidos.

Pagal įtaką valdymo sprendimams:

- Sumuojami.
- Nesumuojami.

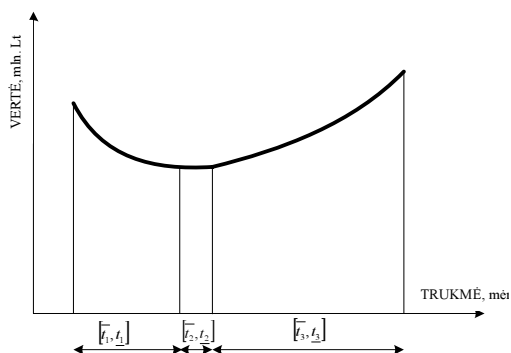
Pagal gamybos apimties įtaką:

- Kintami.
- Pastovūs.
- Santykinai pastovūs.

Visuose kainos, išlaidų ir sąnaudų pastato statybos etapuose planuotas piniginių lėšų kiekis skiriasi nuo suplanuotų. Šis skirtumas išreikštas tam tikru intervalu. Todėl kainos planavimo etape iš anksto tikslinga kainos rodiklį vertinti intervalu.

Išlaidų kontrolės uždavinys – numatyti faktiškas statybos išlaidas; nustatyti, kiek faktiškos išlaidos skiriasi nuo planuotų išlaidų; išsiaiškinti veiksnius, turinčius neigiamą įtaką statybos išlaidoms ir kitiems finansiniams rodikliams. Koreguoti statybos biudžetą atsižvelgiant į statybos pokyčius; patvirtinti patikslintą biudžetą.

Autorės pateiktų statybos pagrindinių rodiklių vertės ir trukmės tiesioginės priklausomybės sąryšiai iliustruojami 1.16 paveiksle (Zavadskas *et al.* 2001).



1.16 pav. Pastato statybos vertės priklausomybė nuo statybos trukmės (rodiklių grafinė interpretacija intervale) (Zavadskas *et al.* 2001)

Fig. 16. The dependence of building construction worth from building term (the graphical interpretation of rates at the interval) (Zavadskas *et al.* 2001)

Rodiklių reikšmių dydis kiekvienu atveju skirtingas. Tai lemia nagrinėjamų rodiklių specifika. Jie gali būti ir teigiami, ir neigiami arba neutralūs tam tikrai suinteresuotai grupei. Išlaidų kontrolė gali būti vertinama šiais pagrindiniais rodikliais:

1. *Darbo jėgos* – kai vertinamos išlaidos faktinių žmogaus darbo valandų kiekvienam darbui atlikti ir reali sugaištų valandų apskaita. Gali būti vertinama pagal pasirinktą kalendoriaus apskaitą. Ši apskaita turėtų parodyti specialias sąlygas, taip pagrindžiant nenumatytų darbų atlikimą.
2. *Medžiagų kontrolė* atliekama įvairiais lygiais. Pirmiausia faktinis medžiagų užsakymas lyginamas su numatytu medžiagų kiekiu sąmatose. Antra, įsigijus tam tikras medžiagas tikrinami gavimo dokumentai ir pagal įmonės vidaus procedūras priduodamos į sandėlį. Taip medžiagos tampa rangovo materialiu turtu. Trečiojo laipsnio kontrolė atliekama lyginant suplanuotus ir faktiškai panaudotus medžiagų kiekius. Paskutinis kontrolės lygis vykdomas finansiniame skyriuje. Pirkimo dokumentuose nurodytos kainos lyginamos su numatytomis. Numatyti kiekiai sąskaitose lyginami su pristatymo važtaraščiais.
3. *Mechanizmų* – mašinos darbo valandų skaičius, reikalingas kiekvienam darbui atlikti. Jis nustatomas iš laiko kortelių. Įrangos prietaisų naudojimo kontroliavimas naudingas nustatant prietaiso atsipirkimo kainą.
4. *Subrangovų kontrolė* apima kainos, kokybės, saugumo, trukmės pasikeitimus.
5. *Pridėtinių išlaidų kontrolė* susijusi su valdymo procesais.

Visos išvardintos išlaidos formuoja bendrą statybos vertę. Kadangi statybos metu valdomi dideli piniginių lėšų srautai, juos būtina planuoti ir kontroliuoti.

Biudžetai gali būti sudaromi kiekvienam statybos etapui arba bendri. Nustatyti biudžetus kiekvienam statybos etapui yra naudinga, nes tai leidžia kontroliuoti ir prognozuoti pastato statybos procesų įgyvendinimą. Statybos dalyviai pagal sudarytą biudžetą priima sprendimus. Suplanuoti sprendimai atskiruose statybos etapuose tampa kitų procesų atskaitos tašku.

Pasikeitimai gali būti skirstomi į turinčius arba į neturinčius pasekmių. Dėl anksčiau išvardintų priežasčių pirminiame etape trukmės rodiklis turi būti vertinamas tam tikrame trukmę nusakančiame intervale.

1.2.3. Pastatų statybos kokybė

Vienas iš pagrindinių pastatams keliamų reikalavimų yra kokybė (Mora 2007). Kokybės valdymo sistemą sudaro:

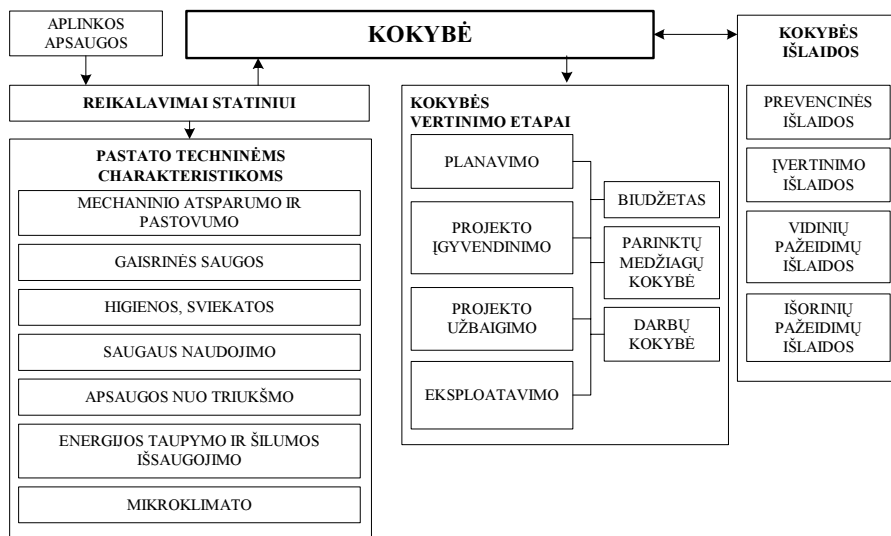
- planavimas;
- koregavimas;
- užtikrinimas;
- kontrolė.

Kokybės charakteristikos turi būti kontroliuojamos visų statybos procesų metu (Boukamp, Akinci 2007): tai statybos proceso rezultatų stebėjimas ir patikra, atitiktis nustatytiems standartams ir kt. Bendroju atveju kokybės kontrolė nustatoma tokiais rodikliais: darbų rezultatais, kokybės planu, operacinėmis konstantomis ir veiksmų sekomis (Laučius, Vasilecas 2007). Bendras statybos kokybės vertinimo modelis sudarytas remiantis autorės praktine patirtimi ir literatūros šaltinių apžvalga, pateikta 1.17 paveiksle.

Statybos procesų kokybę lemia:

- *informacija*: metodai, procesai, darbų organizavimo schemas, kontrolinės žinios, tarnybiniai nurodymai kt. rodikliai;
- *techninės priemonės*: įrankiai, įranga, matavimo, kontrolės prietaisai, mašinos, medžiagos ir t. t.
- *valdymas*: statybos priežiūra, rangovo ir subrangovų valdymas, sprendimų priėmimas ir kt.

Dažniausiai pasirinkus aukštesnį kokybės lygį, kyla statybos procesų kaina, tai didina sukuriama produkto vertę ir gali ilgėti statybos trukmė. Pastatų kokybę dažniausiai vertina ekspertai.



1.17 pav. Pastatų ir statybos kokybės vertinimo modelis

Fig. 1.17. The model of building and construction quality estimation

Ekspertų vertinimai dažniausiai paremti įvairiausių prietaisų atliktais matavimais ir skaičiavimais. Kokybės procesus nusakančių duomenų reikšmės nusakomos atitinkamomis reikšmėmis, kurios taip pat gali būti išreiškiamos tam tikruose intervaluose (Zavadskas *et al.* 2008c).

1.3. Informacijos rūšys

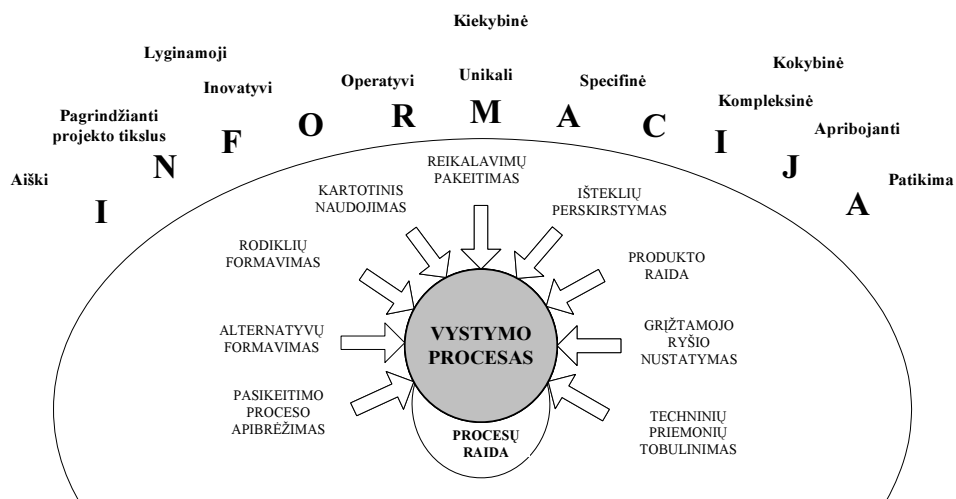
Be informacijos, kaip ir kitų rūšių išteklių, neįmanomi jokie gamybos, taip pat ir statybos procesai. Priimamų visų sprendimų pagrindas – informacija. Keliant didesnius reikalavimus pastato statybos procesų efektyvumui, keliami didesni reikalavimai ir informacijai.

Sprendžiant bet kokią uždavinį ar priimant bet kokio lygmens sprendimą reikalingos žinios arba, kitaip tariant, informacija. Informacija – žinios, kurios surinktos, remiantis specialistų patirtimi, pagrįstos esama situacija rinkoje, vyraujančiomis tendencijomis. Turima informacija turi atsakyti į daugelį klausimų ir pagrįsti atsakymus (Liao *et al.* 2009). Informacija – žinios apie faktus, įvykius, daiktus, procesus, sąvokas ir kitus objektus, kurios tam tikrame kontekste turi kokią nors prasmę. Informacija turi didelę reikšmę priimant sprendimus, kurie taip pat skatina vystymosi procesus mokslo, technikos ir kitose srityse. Žinių valdymą nagrinėjo Pollalis ir Dimitriou (2008), informacijos kokybę – Michnik ir Lo (2009). Informacijos naudingumą gali lemti detalumas, aiškumas, išsamumas,

patikimumas, kokybė (Michnik, Lo 2009) ir kitos savybės (Zavadskas *et al.* 1999; Banaitis, Banaitienė 2006). Informacija naudojama labai įvairiai. Tai priklauso nuo informacijos reikšmės ir trukmės, per kurią informacija nepraranda savo vertės. Informacija, susijusi su pastato statybos procese dalyvaujančiomis suinteresuotomis grupėmis, reglamentuojama normatyviniais aktais (Keršulienė 2008). Informaciją galima naudoti labai daug kartų. Naudojama ji nepraranda kokybės, dirbant su ja nustatomos klaidos. Kai kuriais atvejais turimą informaciją sunku gauti ir panaudoti dėl šių priežasčių:

1. Nuolatinio informacijos kitimo.
2. Aplinkybių kaitos, vykstant statybos procesams, informacija dažnai nesuderinama su planuojamais rezultatais.
3. Vidutinėse ir mažose įmonėse gali būti sudėtinga kaupti atliktų darbų rezultatų istoriją.
4. Sukaupiti duomenys gali būti nepatikimi.

Remiantis apžvelgta literatūra apibendrintos informacijos rūšys ir savybės bendrame vystymosi procese pavaizduotos 1.18 paveiksle. Nepriklausomai nuo pastato statybos etapo, informacija yra neatsiejama ir būtina statybos procesų dalis. Išskirtinis dėmesys skiriamas pastato statybos planavimo etapui. Šiame etape priimti sprendimai turi didžiausią reikšmę visiems kitiems etapams. Informacijos judėjimą statybos etapuose nagrinėjo Zavadskas *et al.* (2001).



1.18 pav. Informacijos savybės vystymosi procese
Fig. 1.18. The information quality in the development process

Vertinant turimą informaciją turi būti atsižvelgta į:

- operacijų kartojimosi kiekį ir vietą;
- darbų vietą ir prieinamumą prie informacijos;
- statybos sudėtingumą;
- žinių sistemą ir įgūdžius;
- darbų apimtis;
- kokybės reikalavimus;
- sąlygas;
- kainas ir išlaidas.

Vertinant pastatą dažniausiai vadovaujamas pastatyto pastato 1 m² kaina, kurią sudaro šie pagrindiniai elementai:

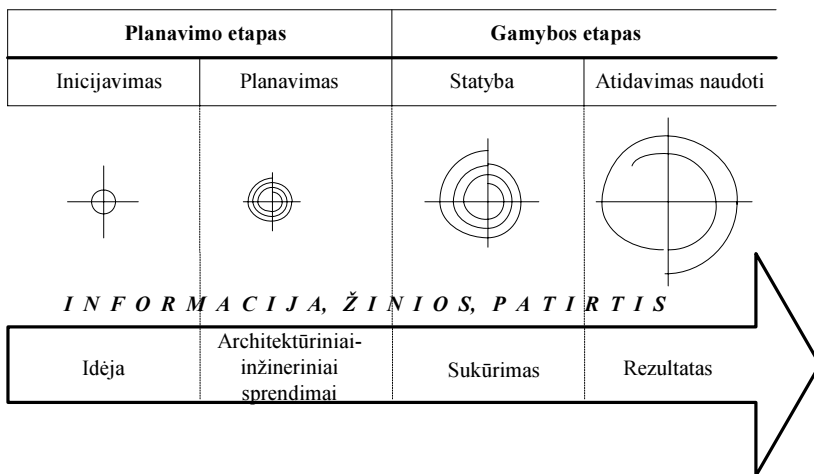
1. Išteklių sąnaudos: darbo jėga, medžiagos, mechanizmai.
2. Įranga (jei tokia yra).
3. Administravimo ir kt. papildomos išlaidos.
4. Pelnas.
5. Mokesčiai.

Vertinant rangovų ar tiekėjų pasiūlymą dažniausiai vertinama pasirinkto elemento vieneto kaina. Vertinama pagal iš anksto sudarytą rodiklių sistemą, naudojant lyginamąją informaciją. Pavyzdžiui, samdant subrangovą mūro darbams, siūlomoji kaina turi būti lyginama su kitų subrangovų siūlymais. Svarbus ir kokybės rodiklis, t. y. pageidaujama, kad subrangovų siūlymų skaičius būtų kuo didesnis, taip pat rangovų siūlymai turi atitikti statybos darbams, įmonei ir kt. kokybės keliamus reikalavimus. Informacijos tikslas – taikant sprendimų priėmimo metodus priimti naudingus ir kokybiškus sprendimus.

Sprendimai statybos srityje yra skirtingi. Priklausomai nuo statybos etapo sprendimui priimti reikalinga atitinkama informacija. Informacijos statybos produkcijos kūrimo etapuose schema, sudaryta pritaikius bendrą informacijos judėjimą įvairiose srityse, vaizduoja 1.19 paveikslas (Project Management knowledge 2001). Informacijos kitimas turi ekonominių pasekmių. Kiekvienas kitimas – tai ne tik sąnaudos naujai informacijai gauti, bet ir tam tikros dalies neapibrėžtumo pašalinimas, o kartu ir didesnė tikimybė priimti geriausią sprendimą.

Neapibrėžtumus ir informaciją savo darbuose tyrė Ustinovičius *et al.* (2007).

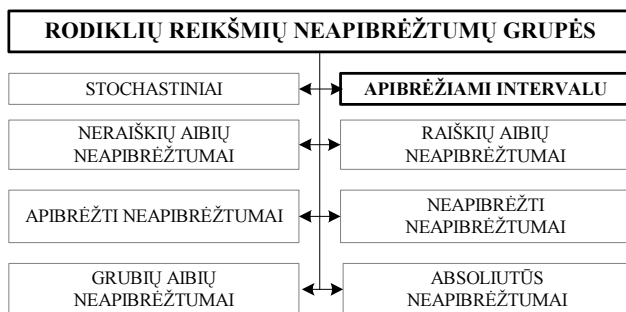
Uždavinių sprendimui taikant daugiatislo vertinimo metodus, reikalinga informacija apie rodiklių reikšmingumus (Zavadskas 1987; Zavadskas, Kaklauskas 1996). Alternatyvų prioriteto eilę galima sudaryti kompensaciniais ir nekompensaciniais metodais (Zavadskas 1987; Zavadskas, Kaklauskas 1996; Zavadskas *et al.* 1989; Zavadskas, Peldschus 1990).



1.19 pav. Informacija statybos produkcijos kūrimo etapuose

Fig. 1.19. The information in the construction development process

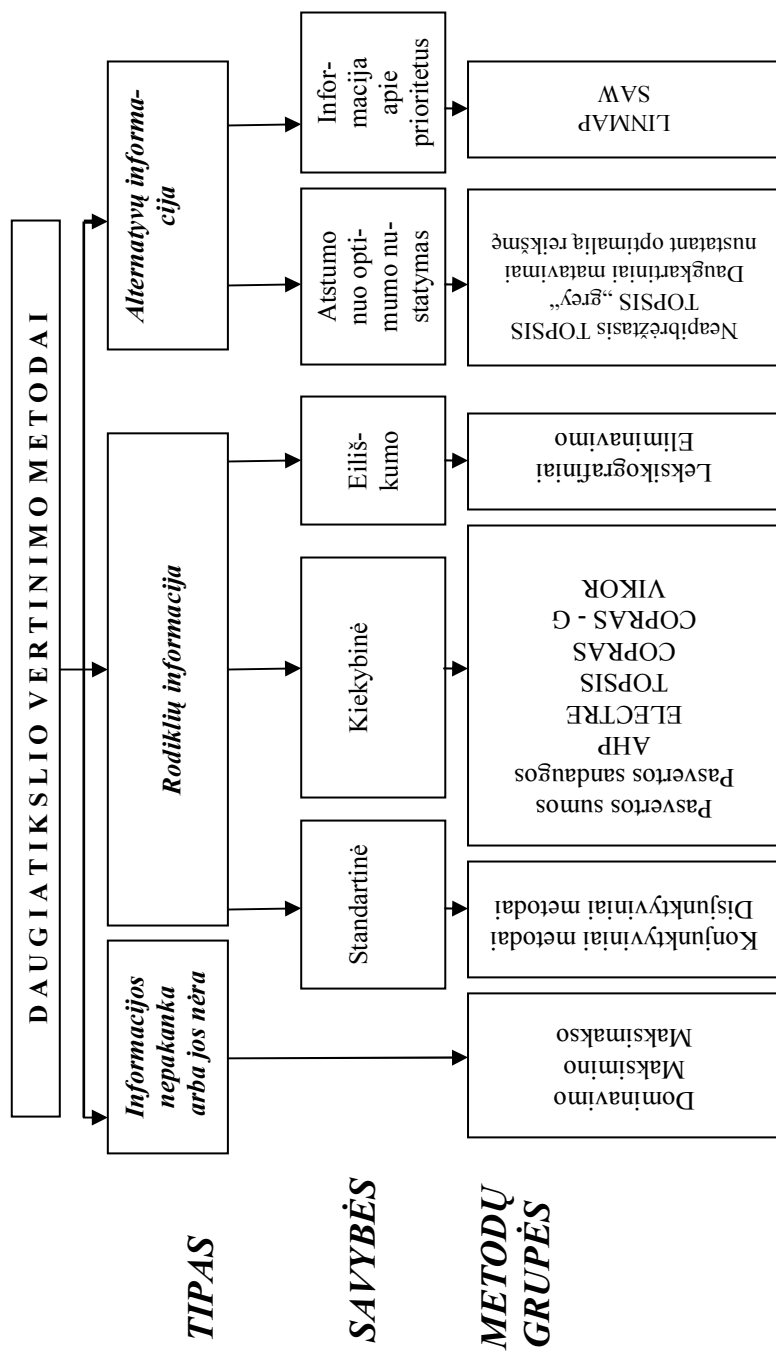
Taikant kompensacinius metodus, pablogėjus vienai tikslo funkcijai, sumažėjimas kompensuojamas gerinant kitas rodiklių tikslo funkcijas. Nekompensaciniuose metoduose kiekviena tikslo funkcija yra atskirta, t. y. jos negalima kompensuoti kita tikslo funkcija. Apžvelgtų šaltinių pagrindu pateiktos rodiklių reikšmių neapibrėžtumų grupės pateiktos 1.20 paveiksle.



1.20 pav. Rodiklių reikšmių neapibrėžtumų grupės (rūšys)

Fig. 1.20. Rate value group by uncertainty type

Skirtingi mokslininkai įvairiai klasifikuoja metodus. Bendruoju atveju visi metodai gali būti klasifikuojami pagal informacijos rūšis. 1.21 paveiksle pateikta naujais metodais papildyta klasifikacija (Zavadskas 1987; Zavadskas, Kaklauskas 1996). Sprendžiant uždavinius, naudojama tam tikra informacija turi turėti savo struktūrą ir patikimumo lygį.



1.21 pav. Daugiatikslio vertinimo metodų klasifikacija pagal informacijos rūšis

Fig. 1.21. The classification of multipurpose assessment methods according to the types of information

Dažniausiai naudojama skaitmeninė informacija, tačiau kartais tenka naudoti ir sekas arba vieną ir kitą tuo pačiu metu. Pagal pradinės informacijos tipą uždaviniui spręsti parenkamas daugiatikslis vertinimo metodas.

Uždavinių tikslas pasiekiamas naudojant turimas rodiklių reikšmes su skirtingomis dimensijomis ir skirtingais rodiklių reikšmingumais. Tai nagrinėjo Zavadskas, Vilutienė (2006). Rodiklius su skirtingomis optimizavimo kryptimis nagrinėjo Kendall (1970), Kaklauskas *et al.* (2006), Viteikienė, Zavadskas (2007). Ateityje, statybos procesams didelę reikšmę turės naujų technologijų taikymas. Pavyzdžiui, informacijos apie pastatą modeliavimo procesas (BIM – *Building Information Modeling*). Tai nauja perespektyvi technologija. BIM išreiškia naują informacinių technologijų (IT – *Information Technologies*) ir kompiuterinio projektavimo erą (CAD – *Computer – Aided Design*). Procesas BIM reiškia kūrimą, vertinimą, valdymą, pakeičiamumą, daugkartinį pritaikymą ir dalyvavimą pastato gyvavimo ciklo procese (Lee *et al.* 2008; Ham *et al.* 2008; Mihindu, Arayici 2008).

1.4. Intervalų sistemų teorija ir jos taikymas

Intervalų sistemų teorijos pradininkas – J. L. Deng (Deng 1982, 1988). Šios teorijos pagrindas – rodikliai, elementai ir sprendiniai, aprašyti skaičių intervalu. Šios sistemų teorijos pagrindas – rodiklių reikšmės – apibrėžiamos intervalu.

1982 m. sukurta (Deng 1982, 1989) intervalų sistemų teorija įvardijo 4 informacijos rūšis (Lin *et al.* 2004), kai:

- elementų informacija aprašyta intervalais;
- informacijos struktūra išreikšta intervale;
- informacijos ribos yra intervalai;
- informacijos funkcijos ir *eiga* išreikšta intervalu.

Kaip naudojamos informacijos reikšmės, pateikta 1.1 lentelėje.

Šią teoriją savo darbuose plėtojo ne tik kūrėjas Deng (1988; 1989), bet ir kiti mokslininkai: Chen, Tzeng (2004); Yang *et al.* (2007b); Quan *et al.* (2008); Lin *et al.* (2008).

Liu, Lin (2006) pateikė detalų šios teorijos aprašymą, Kuo *et al.* (2008) nagrinėjo sprendimų priėmimo problemas taikydami intervalų sistemų teoriją.

Intervalų sistemų teorija buvo sėkmingai taikoma sprendžiant uždavinius įvairiausiose srityse: Liang (1999) nagrinėjo hidroelektrinių statybos galimybes; Lin, Lee (2007) vertino šalies ekonomikos pajėgumus; Li ir Liao (2007) siūlė sprendimų paramos sistemas dinaminės rizikos tyrimams; Wenbin *et al.* (2002) tyrė pastatų šiluminius procesus; Li *et al.* (2007) rinko tiekėjus; Yang ir Hung (2007) sprendė projektavimo problemas; Lin *et al.* (2007) sudarė dinaminį modelį

1.1. lentelė. Informacijos aprašymo būdai (Liu *et al.* 2006)
Table 1.1. The ways of recording information (Liu *et al.* 2006)

Informacija	Žinoma	Nepilna	Nežinoma
Matematinė reikšmių išraiška	$\underline{x} = \bar{x}$	$[\underline{x}, \bar{x}]$	$\underline{x} \rightarrow \infty, \bar{x} \rightarrow \infty$
Procesas	Senas	Senas pakeičiamas nauju	Naujas
Savybės	Tvarkinga	Sudėtinga	Netvarkinga
Metodika	Teigiama	Pereinama	Neigiama
Nuostatos	Rimtumas	Tolerancija	Piktnaudžiavimas
Išvados	Vienintelis sprendimas	Daugkartinis sprendimas	Rezultato nėra

Shih *et al.* (2007) ir Shih (2008) tyrė daugiatislio vertinimo metodų vystymosi galimybes naudojant intervalų sistemas, Chunlin *et al.* (2008) nagrinėjo intervalų sistemų pritaikymą informacijai perduoti intelektualiais sensoriais; Shen *et al.* (2009) intervalų sistemas pritaikė duomenų apsaugai, Lin *et al.* (2009) intervalais aprašytų sprendinių tyrimus pritaikė praktiniams, techniniams modeliavimo uždaviniais.

1.5. Skyriaus išvados

1. Remiantis literatūros šaltiniais nustatyta, kad pastato gyvavimo cikle svarbiausias – statybos procesų planavimo etapas. Planuojant užsakovo poreikiai, įgyvendinti per tam tikrą laiką, vėliau tampa rezultatais.
2. Remiantis Statistikos departamento duomenimis išduotų leidimų Lietuvoje skaičius naujų pastatų statybai 2008 m. išaugo 1,9 karto, lyginant su 2005 m.
3. Planavimo uždaviniai sprendžiami pagal iš anksto sudarytas rodiklių sistemas, kurios vertinamos makro-, mezo- ir mikroaplinkose. Keliamus uždavinius sudaro daug tikslų, kurie aprašomi kiekybiniais, kokybiniais ir kitokio pobūdžio rodikliais. Sprendimų priėmimas, kai yra daug sudėtingų rodiklių, atitinka problemų sprendimus daugiatislio vertinimo metodais.
4. Literatūros šaltiniai rodo, kad priimami įvairūs statybos, valdymo sprendimai, kurių pagrindinis šaltinis – informacija, žinios ir patirtis. Informacijos buvimas ar nebuvimas, jos judėjimas ir pasiekiamumas tarp suinteresuotų statybos projekto grupių yra tiesiogiai susijęs su būsimu arba jau pasiektu statybos rezultatu – pastatytu pastatu. Priklausomai nuo statybos etapo, reikalingas skirtingas informacijos kiekis.

5. Literatūros šaltiniuose aptinkamos įvairios rodiklių reikšmių neapibrėžtumų grupės. O daugelis sprendimų priimami statybos planavimo etape, turint neišsamią informaciją arba tam tikromis neapibrėžtomis situacijomis. Todėl planuojant ir valdant statybos procesus, sprendžiami uždaviniai, kai turima informacija yra tik tam tikruose intervaluose. Intervalo charakteristikos tiesiogiai priklauso nuo sprendžiamo uždavinio ir jį aprašančių rodiklių pobūdžio. Statybos planavimo uždaviniams spręsti pasirinkta intervalų sistemų teorija. Ji plačiai taikyta įvairiose srityse, tačiau netaikyta statybos uždaviniams spręsti.
6. Norint pritaikyti intervalų sistemų teoriją statybos procesų planavimo uždaviniams spręsti, pirmiausia turi būti sukurti nauji daugiatislo vertinimo metodai skaičiavimams su rodiklių reikšmėmis, apibrėžtomis intervalu.
7. Siekiant racionalaus sprendimų priėmimo būtina sudaryti detalias statybos procesus aprašančias rodiklių sistemas, nustatyti ryšius tarp jų ir sudaryti spęstinių planavimo uždavinių sprendimo algoritmus bei parinkti sprendimo metodus.

Tradiciniai ir siūlomi vertinimo metodai

Skyriuje pateikiami tradicinių TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) ir COPRAS (*COmplex PROportional ASsessment of alternatives*) daugiatiskslio vertinimo sprendimų priėmimo metodų sprendimo algoritmai ir matematiniai aprašymai. Taip pat pateikiami naujo daugiatiskslio vertinimo metodo TOPSIS „grey“ ir autorės kartu su bendraautoriais sukurto daugiatiskslio vertinimo COPRAS-G metodo (Zavadskas *et al.* 2008a) matematiniai aprašymai. Minėti daugiatiskslio vertinimo metodai sukurti remiantis intervalų sistemų teorija, su rodiklių reikšmėmis apibrėžtomis intervalu. Skyriuje taip pat pateikiamas lošimų teorijos, uždavinių sprendimo algoritmas bei matematinis aprašymas.

2.1. Daugiatiskslio vertinimo metodų ir modelių klasifikavimas

Mokslinėje literatūroje daugelis pateiktų vykdomų mokslinių tyrimų statybos srityje atlikti taikant kiekybinius arba statistinius tyrimų metodus. Tačiau problemoms spręsti nepakanka vien tradicinių metodų, nes statybos procesų efektyvumui didinti reikalingi nauji kiekybiniai ir kokybiniai sprendimų būdai, kurie būtų taikomi statybos planavimo etape.

Statybos procese dalyvauja skirtingos suinteresuotos grupės, turinčios skirtingų tikslų. Sprendžiami sudėtingi uždaviniai, nes sprendimo priėmimo procesą veikia skirtingi makro-, mezo- ir mikroaplinkos veiksniai. Sprendžiant statybos procesų planavimo uždavinius, reikia susieti kiekybinių ir kokybinių rodiklių vertinimą, suderinti skirtingus tikslus. Tokius uždavinius tikslinga spręsti daugiatikslio vertinimo metodais, visapusiškai aprašančiais pagrindinį tikslą – problemos sprendimą.

Pagrindinis tikslas – gauti problemos sprendimą, įvertinant kintančios aplinkos poveikį. Šiuo metu sukurta nemažai sprendimo priėmimo metodų, kurie bendruoju atveju vadinami daugiatiksliais sprendimų priėmimo metodais (angl. *Multi-Criteria Decision Making*). MCDM metodai skirstomi į daugiaobjekčius sprendimų priėmimo metodus (angl. *Multi-Objective Decision Making*) ir daugiatikslius sprendimų priėmimo metodus (angl. *Multi-Attribute Decision Making, MADM*) (Zadeh 1965). Daugiaobjekčiai sprendimų priėmimo metodai MODM sukurti problemoms nagrinėti nuolatinėje sprendimų erdvėje. MADM koncentruoja optimalią alternatyvą diskrečiose sprendimų erdvėse, kur optimali alternatyva pasirenkama iš anksto sudarant nustatytą alternatyvų rinkinį.

Pasaulyje esama daug daugiatikslio vertinimo metodų. Nėra nė vieno tinkamo visiems atvejams metodo. Tinkamo metodo parinkimas tam tikrai problemai spręsti yra svarbus uždavinys. Daugiatikslių metodų taikymo galimybės konkrečiam uždaviniui nagrinėjamos remiantis daugeliu požymių (Zavadskas, Kaklauskas 1996). Požymiai gali būti paprasti, vidutiniški ar sudėtingi. Pasirenkant metodus tiriamą:

- metodu išspręstų konkretaus pobūdžio uždavinių skaičius;
- vertinamų alternatyvų didžiausias galimas skaičius;
- didžiausias galimas rodiklių skaičius, kuriais apibūdinamos alternatyvos;
- informacija apie sprendimą priimančių specialistų nuomonę;
- gautų rezultatų patikimumo tyrimo galimybės;
- naujiems žmonėms apmokyti skirtas laikas;
- uždavinio sprendimo laikas.

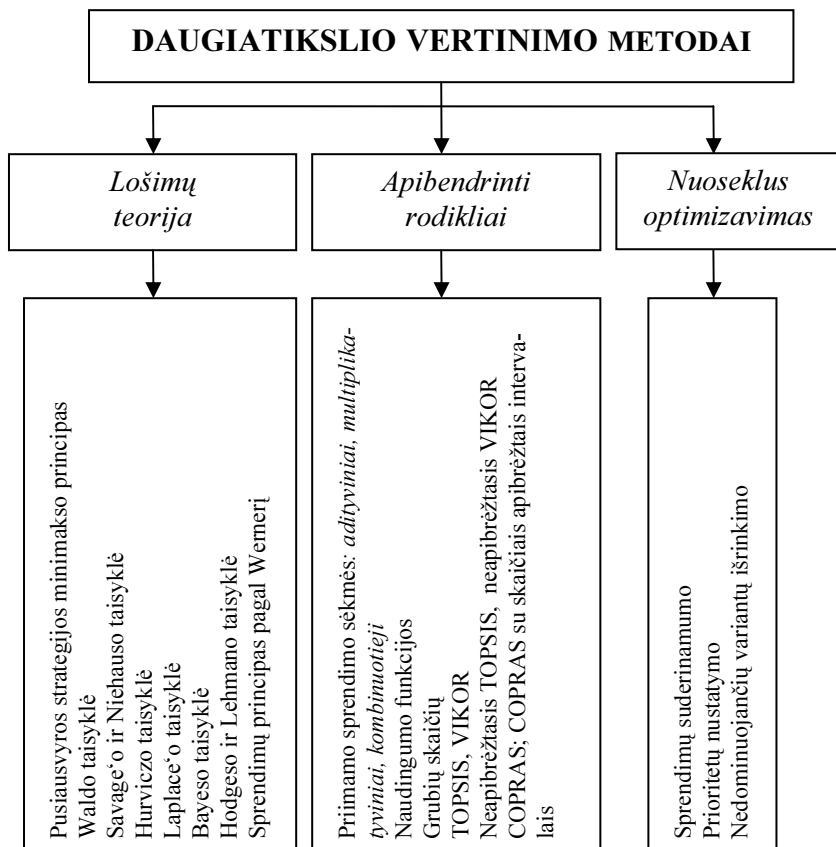
Triantaphyllou (2000) išskyrė dvi teorines kryptis daugiatikslio vertinimo sprendimų priėmimo srityje:

1. Daugiatikslius sprendimų priėmimo modelius, kur siekiamas tikslas – nustatyti kompromisinį sprendimą, kuriuo galima sukurti daug pagrindinio modelio arba metodo modifikacijų.

2. Sprendžiant uždavinius su baigtinių sprendimo alternatyvų skaičiumi. Čia modeliui kurti taikoma diskrečioji matematika. Šiuo atveju nekeliamas tikslas – nustatyti optimalų sprendimą. Daugelio šios krypties metodų tikslai – lyginamųjų alternatyvų prioritetų eilės. Nagrinėjama, kiek alternatyvos geresnės viena už kitą. Siekiamas sprendimo rezultatas – optimali sprendimo alternatyvos sąveika tarp esamų sprendimo alternatyvų.

Tokie modeliai dažnai naudojami praktikoje. Taip pat yra sukurta keletas metodų, tačiau sunku nustatyti jų kokybę ir įvertinti geriausią. Abiem atvejais galutinį sprendimą priima žmogus – sprendimo priėmėjas, pasirinkdamas vieną iš galimų. Zavadskas ir Kaklauskas (1996) skirtingiems tikslams suderinti ir variantų prioritetų eilei sudaryti sukūrė daugiatikslio kompleksinio proporcingo vertinimo metodą COPRAS. Šiuo metodu sudaroma variantų prioritetų eilutė. Nustatoma, kiek vienas variantas yra geresnis už kitą.

Daugiatiksliai vertinimo metodai pasižymi įvairiomis charakteristikomis, todėl galimi skirtingi metodų klasifikavimo būdai. Pagal pradinių duomenų tipą išskiriami deterministiniai, stochastiniai, neraiškių aibių teorijos metodai (Triantaphyllou 2000), taip pat MCDM metodų deriniai. Gali būti taikomi stochastiniai, neapibrėžtų rodiklių reikšmių arba rodiklių reikšmių, išreikštų intervale, metodai. MCDM metodų klasifikacija pateikiama 2.1 paveiksle.



2.1 pav. Daugiatikslio sprendimų vertinimo metodų klasifikacija
Fig. 2.1. The classification of multipurpose derivation assessment methods

Pagal turimą informaciją metodai klasifikuojami į:

- Pagrįstus kiekybiniais matavimais – variantų racionalumo nustatymas artumu idealiajam taškui metodas TOPSIS (angl. *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) (Hwang, Yoon 1981; Zavadskas *et al.* 2006); paprastas suminio pasvėrimo metodas SAW (angl. *Simple Additive Weighting*) (Churchman, Ackoff 1954; MacCrimon 1968); tiesinio programavimo technikos tinkamumas daugiadimensiams tyrimams LINMAP (*Linear Programming Techniques for Multidimensional Analysis of Preference*) (Srinivasan, Shocker 1973); kompromisinis rangavimo metodas VIKOR (*The Compromise Ranking Method*) (Oprić 1998); racionalumo daugiaobjektis optimizavimo metodas MOORA (*Multi-Objective Optimization on basis of Ratio Analysis*) (Brauers, Zavadskas 2006; Kalibatas, Turskis 2008). Šiai metodų grupei taip pat priskiriamas kompleksinio proporcingumo įvertinimo metodas COPRAS (*COmplex PROportional ASsessment of alternatives*) (Zavadskas, Kaklauskas 1996; Kaklauskas *et al.* 2006; Zavadskas *et al.* 2007a). Kompleksinio proporcingumo įvertinimo metodas esant neapibrėžtumui „fuzzy“ COPRAS (*Fuzzy method COmplex PROportional ASsessment of alternatives*) (Zavadskas, Antuchevičienė 2007); grubias aibes (angl. *Rough sets*) tyrė Pawlak *et al.* (1986), Slowinski (1993), Slowinski, Stefanowski (1996), Greco *et al.* (2008a), Greco *et al.* (2008b), Slowinski (2009).

- Pagrįsti kokybiniais matavimais, netaikant perėjimo prie kiekybinių kintamųjų verbalinės analizės metodai (Larichev, 1996).

- Neraiškių aibių metodus (Zadeh 1965, Zimmermann 1996).

- Lyginamosios preferencijos metodus, porinio alternatyvų lyginimo, taikant specialius sutikimo ir nesutikimo indeksus. Šiai grupei priklauso ELECTRE (*Elimination and Choice Translating Reality*)– eliminavimo ir alternatyvų metodas bei jo modifikacijos (Roy 1996), PROMETHEE metodas ir jo modifikacijos (Brans *et al.* 1984.)

Lošimų teorija taikoma sprendimams, kai nėra jokios informacijos apie rodiklius (Peldschus, Zavadskas 2005). Lošimų teoriją sudaro šios taisyklės: pusiausvyros strategijos MinMakso principas (Muschik 1975, Jehiel 1998; Novikova 2002), Waldo taisyklė, Savageo ir Niehauso taisyklė (Savage 1951), Hurwiczo taisyklė (Hurwicz 1951), Laplace'o taisyklė, Bayeso taisyklė (Arrow 1949), Hodgeso ir Lehmano taisyklė (Hodges & Lehmann 1952) sprendimai pagal Wernerį (Werner 1971).

2.2. Daugiatikslių vertinimo metodų taikymas

Sprendžiant statybos procesų planavimo problemas ir ieškant statybos procesų efektyvumo didinimo galimybių, daugiatiksliis statybos planavimo procesus veikiančių rodiklių tyrimas leidžia išspręsti šiuos uždavinius, derinant statybos užsakovo poreikius su planuojamais ekonominiais, kokybiniais, technologiniais, techniniais ir kitais sprendimais. Statybos valdymo procesas yra susijęs su jame dalyvaujančių suinteresuotų grupių skirtingų tikslų suderinimo problema. Skirtingus tikslus suderinti ir variantų racionalumą pagrįsti galima pasirinkus daugiatikslių vertinimo metodus.

Goicoechea *et al.* (1982) pateikė įvairius daugiatikslio sprendimų priėmimo priėmimo metodus: naudingumo įvertinimo (Keeney, Raifa 1976), kompromisinių programavimo (Yu 1992), galimų nuostolių išvengimo (Goicoechea 1982) ir kitus. E. K. Zavadskas savo darbuose (Zavadskas, Kaklauskas 1996; Zavadskas *et al.* 2001a; Zavadskas, Ustinovičius 2001, Zavadskas *et al.* 2001b; Zavadskas *et al.* 1989; Zavadskas; Peldschus 1990; Zavadskas 1991) tyrė ir pritaikė statyboje daugiatikslio vertinimo metodus: lošimų teorijos rodiklius (Waldo, Savage'o ir Niehauso, Hurviczo 1951), apibendrintus rodiklius (adityvinius, vidutinės svertinės priimamo sprendimo sėkmės, kombinuotuosius, naudingumo funkcijos, artumo idealiajam taškui), nuoseklaus optimizavimo metodus (sprendimų suderinamumo, prioritetų nustatymo, nedominuojančių variantų išrinkimo) ir sintezės metodus.

Klasikiniai daugiatikslio vertinimo metodai, reikšmingumo, naudingumo ir vertės nustatymo metodai pradėti taikyti 1896 m. Pareto (Pareto 1971). Šie metodai buvo susiję su ekonomikos uždavinių sprendimu. Daugiatikslio vertinimo metodai pradėti taikyti nuo 1960 m. 1980 m. tirtas daugiatikslio vertinimo metodų priėmimas esant prieštarangiems tikslams hierarchinėje sistemoje (Seo 1981). Buvo atlikta kiekybinė daugiatikslė organizacijos teorinio tyrimo analizė, kurioje sprendimų priėmimo problema siejama su skirtingais kelių individų ar grupių interesais. NAGRINĖTOS suinteresuotų grupių interesų ir tikslų derinimo bei optimalaus sprendimo priėmimo problemos (Tanino *et al.* 1981). Esant šimtams galimų variantų ir apribojimų daugiatikslio vertinimo metodais galima efektyviau spręsti uždavinius (Zanakis 1981). Prieštarungus tikslus daugiatikslio vertinimo sprendimų priėmimo sistemose tyrė įvairių šalių mokslininkai Keeney, Raiffa (1976), Keeney (1982), Keeney, von Winterfeldt (2001). Buvo pateiktos teoremos daugiatikslėms naudingumo ir reikšmingumo funkcijoms nustatyti (Keeney, Raiffa 1976), sprendimų priėmimo aksiomos ir etapai (Keeney, von Winterfeldt 2001). Taip pat pasiūlytas atsargumo principas sprendimų rizikai vertinti.

Saaty nagrinėjo konfliktinių tikslų sprendimo daugiatikslio vertinimo modelių problemas (Saaty 1990, 1994). Jis pasiūlė kelis sprendimo priėmimo modelius su

neapibrėžta informacija politinėms, ekonominėms situacijoms (Saaty 2003). Taikydamas AHP metodą Saaty sprendė matavimo problemas neapibrėžtumo sąlygų uždaviniuose (Saaty *et al.* 2003). Zimmermann tyrė neraiškių aibių teorijos rodiklius apibūdinančią informaciją (Zimmermann 2000). Taip pat susistemino neapibrėžtumą apibūdinančias charakteristikas, skirstė informaciją į tipus ir pritaikė skirtingas matavimo skales.

Daugiatikslio sprendimų priėmimo problemas skirtingais metais klasifikavo šie autoriai: Hwang, Yoon (1981); Zavadskas (1987); Triantaphyllou (2000); Figueira *et al.* (2005); Kaklauskas *et al.* (2005); Peldschus, Zavadskas (2005); Antuchevičienė *et al.* (2006); Turskis *et al.* (2006); Zagorskas, Turskis (2006); Zavadskas *et al.* (2006); Zavadskas, Antuchevičienė (2007); Banaitiene *et al.* (2008); Ginevičius (2008); Zavadskas *et al.* (2008a).

Daugiatikslio vertinimo metodai taikomi daugelyje sričių, tačiau daugiatikslio vertinimo sritis iki galo neišvystyta, o taikomi metodai nėra idealūs. Lyginant skirtingus daugiatikslio vertinimo metodus gauta, kad geriausio metodo nėra (Triantaphyllou 2000).

2.2.1. Daugiatikslio vertinimo metodo TOPSIS taikymas

Hwang ir Yoon (1981) sukūrė variantų prioritetiškumo nustatymo metodą, kur optimali alternatyva turi mažiausią atstumą nuo idealaus sprendimo ir didžiausią atstumą nuo idealiai blogiausio sprendimo. Daugiatikslio vertinimo metodas TOPSIS yra patogus sprendimų priėmėjui rodiklių naudojimu. Kiekvienas rodiklis turi reikšmingumą. TOPSIS metodas taip pat taikomas esant dideliame rodiklių skaičiui (Yoon 1987), nors jis nėra plačiai taikomas, taikant kitus daugiatikslio vertinimo metodus (Zanakis *et al.* 1998). TOPSIS neapibrėžtumo sąlygomis nagrinėjo Wang *et al.* (2006). Quan *et al.* (2008) aprašė nepibrėžtumo sritis. Alternatyvų įvertinimą TOPSIS metodu (TOPSIS fuzzy) neapibrėžtumo aplinkoje nagrinėjo Antuchevičienė (2005a, 2005b). Sprendimų priėmimo plėtrą TOPSIS metodo grupei nagrinėjo Shih *et al.* (2007).

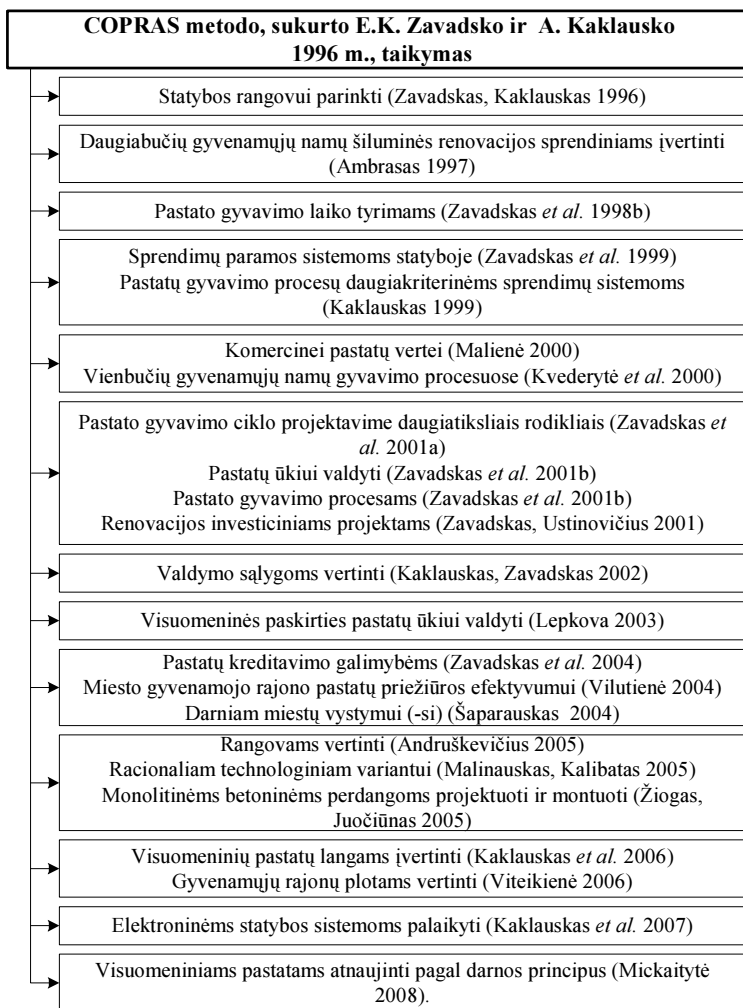
TOPSIS metodas buvo taikytas gamybos procesams parinkti (Chau, Parkan 1995), įmonėms palyginti (Deng *et al.* 2000), sprendimų priėmimo modelis – robotams parinkti (Parkan, Wu 1999); Feng, Wang vertino avialinijas, greitkelius (Feng, Wang 2000, 2001), rinko gyvenamąją vietą (Chu 2002), Pi (2005) vertino tiekėjus.

TOPSIS metodo reikšmių aprašymo intervalais galimybes tyrė Zhanga *et al.* (2004), Chen, Tzeng (2004). Yang *et al.* (2007a) tyrė MADM metodus su dinaminėmis funkcijomis problemoms nustatyti ir vertinant alternatyvų reikšmes, išreikštas intervale. Kartu su bendraautoriais Lin aprašė TOPSIS „grey“ metodą, kuriuo remiantis rodiklių reikšmės išreikštos intervalais (Lin *et al.* 2008). Taikant TOPSIS metodą su rodikliais, aprašytais intervalu, buvo planuojama hidroelekt-

rinių statyba (Liang 1999), nustatomi pastatų šiluminiai procesai (Wenbin *et al.* 2002). Nwogugu (2006) tyrė sprendimų priėmimo riziką ir koperatyvų valdymą, Lin *et al.* (2008) rinko rangovą. Zavadskas *et al.* (2008a) tyrė pastatų sienų konstrukcijų variantų parinkimą.

2.2.2. Daugiatikslio vertinimo metodo COPRAS taikymas

COPRAS metodas taikytas sprendžiant statybos srities uždavinius (2.2 pav.): vertinant rangovus; daugiabučių gyvenamųjų namų šiluminės renovacijos sprendimus (Ambrasas 1997); modeliuojant pastato gyvavimo laiką (Zavadskas *et al.* 1998a); taikant sprendimų paramos statyboje sistemas (Zavadskas *et al.* 1999); sudarant pastato gyvavimo proceso daugiatikslio vertinimo sistemą (Kaklauskas 1999); nustatant komercinę pastatų vertę (Malienė 2000); tiriant vienbučių gyvenamųjų namų gyvavimo procesus (Kvederytė *et al.* 2000); rengiant daugiavariančius projektus ir tiriant pastato gyvavimo ciklo daugiatiksliame vertinime (Zavadskas *et al.* 2001a); valdant pastatų ūkį (Zavadskas *et al.* 2001b); tiriant pastato gyvavimo procesus (Zavadskas *et al.* 2001b); tiriant renovacijos investicinius projektus (Zavadskas, Ustinovičius 2001); taikant valdymo uždaviniams spręsti (Kaklauskas, Zavadskas 2002b); valdant visuomeninės paskirties pastatų ūkį (Lepkova 2003); tiriant pastatų statybos kreditavimo galimybes (Zavadskas *et al.* 2004); didinant pastatų priežiūros efektyvumą (Vilutienė 2004); darnaus miesto vystymo (-si) daugiatikslei selektonovacijai (Šaparauskas 2004); vertinant rangovus (Andruškevičius 2005); renkant racionalius technologinius variantus (Malinauskas, Kalibatas 2005); monolitines betonines perdangas (Žiogas, Juočius 2005); apleistų pastatų racionaliam naudojimui modeliuoti (Antuchevičienė 2005b); visuomeninių pastatų langams įvertinti (Kaklauskas *et al.* 2006); gyvenamiesiems rajonams vertinti (Viteikienė 2006); kaimo pastatų atnaujinimo alternatyvoms parinkti (Zavadskas, Antuchevičienė 2007); tiriant kelių projektavimo sprendimus (Zavadskas *et al.* 2007a); vertinant Vilniaus miesto darniosios plėtros gyvenamuosius rajonus (Viteikienė, Zavadskas 2007); eksploatuojant elektronines statybos sistemas (Kaklauskas *et al.* 2007); atnaujinant visuomeninius pastatus pagal darnos principus (Mickaitytė 2008).

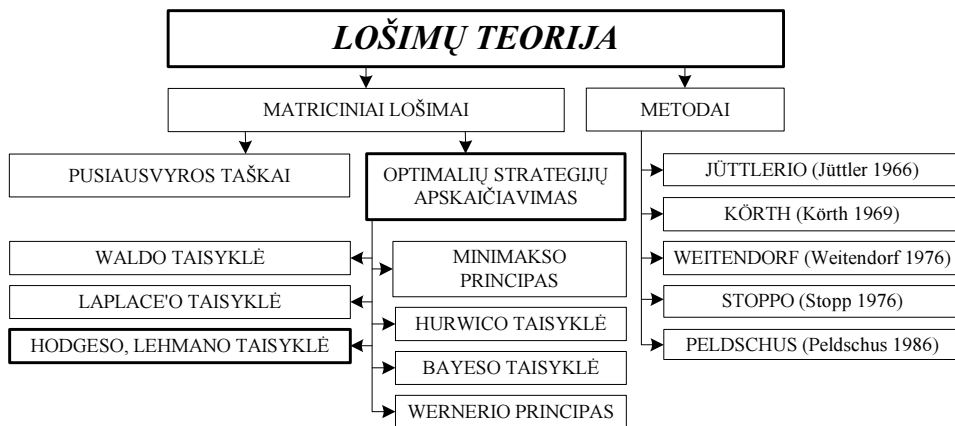


2.2 pav. COPRAS metodo taikymas 1996–2008 m.

Fig. 2.2. COPRAS method application 1996–2008

2.2.3. Lošimų teorija ir jos taikymas

Lošimų teoriją kūrė daugelis mokslininkų: Hodges ir Lehmann (1952), Jüttler (1966), Körth (1969), Muschik (1975), Weitendorf (1976), Stopp (1976), Peldschus (2008), Zavadskas, Turskis (2008). Taikant šios teorijos metodus ir taisykles buvo sprendžiamos įvairios problemos (Zavadskas *et al.* 2004) (2.3 pav.).



2.3 pav. Lošimų teorijos klasifikavimas

Fig. 2.3. The classification of Game Theory

Lošimų teorijos metodais statybos technologijos ir vadybos uždavinius sprendė Zavadskas *et al.* (2004). Fang *et al.* (2006) rinko sprendimus optimaliai strategijai nustatyti. Ginevičius, Krivka (2008) tyrė rinką. Lošimų teorijos taikymo galimybes neapibrėžtoms situacijoms tyrė Peldschus (2008).

2.3. Sprendimų priėmimo metodų rodiklių sistemos

Prieš sudarant statybos procesų uždavinių sprendimo modelius, pirmiausia sudaromos uždavinius apibūdinančios rodiklių sistemos. Sprendžiami uždaviniai gali būti aprašomi keliomis rodiklių sistemomis.

2.3.1. Rodiklių sistemų sudarymo prielaidos

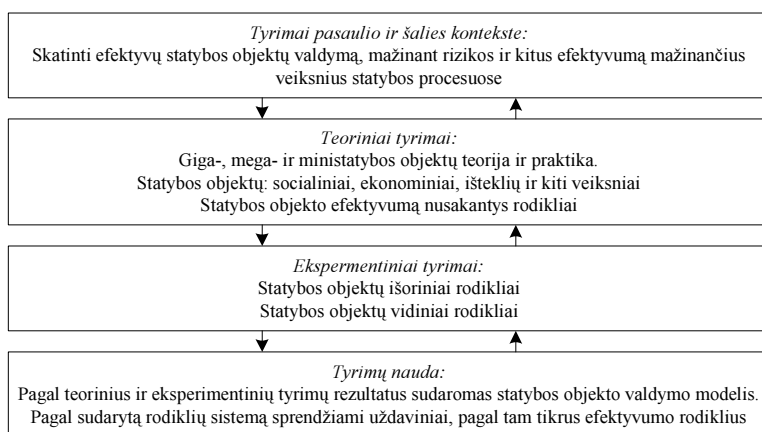
Rodiklių sistemos sudarymas – sudėtingas uždavinys, kurį reikia išsamiai tirti. Pirmiausia reikia apsvarstyti daugelį rodiklių, kurių kiekvienas turi savo reikšmę ir sprendinį. Kuo daugiau rodiklių, tuo daugiau informacijos ir tiksliau galime siekti būsimų rezultatų. Tam būtina reikalingos vadybos, inžinerinės ir kitos žinios bei patirtis. Svarbi tikslų hierarchija, kurios tikslas – nustatyti svarbiausius ir ne tokius svarbius tikslus. Siekiant antrinių tikslų, pirmiausia turi būti tenkinama pirminių svarbiausių tikslų sąlyga. Remiantis tikslo analize, nustatomi modelio tikslai. Privaloma sąlyga – turimi duomenys atitinką formuojamą uždavinį. Taip pat duomenys turi būti patikimi. Rodiklių sistemos sudarymo modelis pavaizduotas 2.4 paveiksle.

Sudaryta rodiklių sistema turi atsakyti į klausimus: kokių ir kiek rodiklių reikia (Burinskienė 2000). Rekomenduojama: pasirinkti matuojamus rodiklius, t. y. išreiškiamus skaičiais, procentais, koeficientais; pasirinkti rodiklius, kurių duomenys skelbiami viešai, t. y. žinoma duomenų rinkimo metodologija, vartotos sąvokos ir apibrėžimai. Esama įvairių rodiklių rinkinių ir sekų:

- daug paprastų rodiklių;
- keli sudėtiniai rodikliai;
- sudėtinių ir paprastų rodiklių deriniai.

Rodiklių sekos gali būti grupuojamos į:

- pagrindines;
- susijusias tarpusavyje.



2.4 pav. Rodiklių sistemos sudarymo modelis

Fig. 2.4. The model of the creation of the attribute system

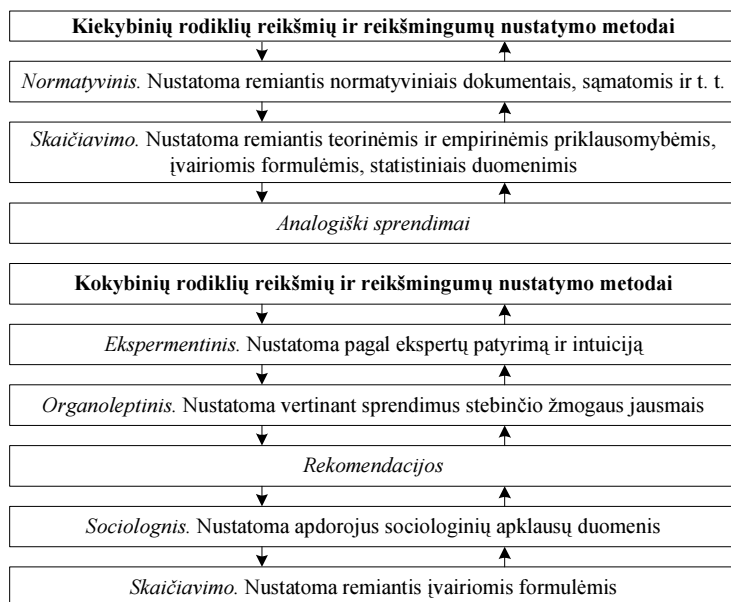
Pagrindiniai pastato ir statybos procesų valdymo rodikliai yra išoriniai: ekonominiai, socialiniai, aplinkos, fiziniai; projekto (architekto, rangovo, tiekėjo) parinkimas, statybos organizavimas ir išteklių valdymas; vidiniai įvardijami tokie kaip įmonės išteklių valdymas. Susijusių kategorijai priklausytų socialiniai-ekonominiai, socialiniai-aplankos. Jie gali būti skiriami į:

- prognozuojamus, kurie teikia tiesioginę informaciją apie ateities būseną ir su ja susijusių socialinių ir ekonominių bei aplinkos rodiklių pokyčius;
- retrospektyvinius, kurie teikia informaciją apie egzistuojančių rodiklių efektyvumą arba rodo raidos tendencijas.

2.3.2. Rodiklių reikšmingumų nustatymo metodai

Statybos valdymo procesą apibūdinančių rodiklių reikšmių ir reikšmingumų nustatymo metodai (2.5 pav.) skirstomi į dvi grupes (Zavadskas, Kaklauskas 1996):

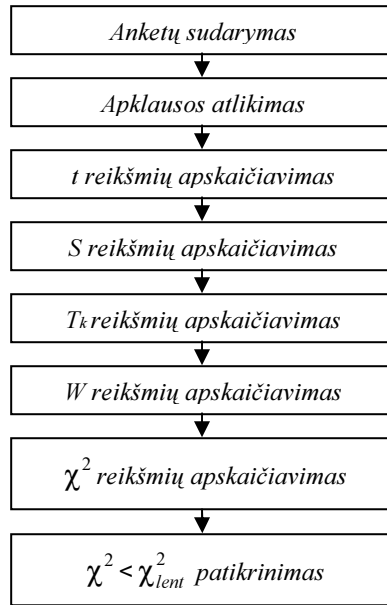
- metodai, kuriuos taikant rodiklius galima išreikšti pinigais. Tokie rodikliai vadinami kiekybiniais arba techniniais-ekonominiais rodikliais;
- metodai, kuriuos taikant rodiklius negalima išreikšti pinigais. Tokie rodikliai vadinami kokybinėmis charakteristikomis.



2.5 pav. Rodiklių reikšmių ir reikšmingumų nustatymo metodai
(Zavadskas, Kaklauskas 1996)

Fig. 2.5. The establish method the value of attribute (Zavadskas, Kaklauskas 1996)

Nustatant kokybinių rodiklių reikšmingumus dažniausiai taikomas ekspertinio vertinimo metodas. Ekspertinio vertinimo teoriniai aspektai ir praktinis taikymas plačiai tirti daugelio mokslininkų darbuose (Arditi, Gunaydin 1998; Fishburn 1970; Kaklauskas 1996; Keeney, Raiffa 1976; Rosmuller, Beroggi 2004; Zavadskas, Kaklauskas 1996), todėl čia pateikiamas tik darbe taikyto metodo aprašymas. Apklausus ekspertus, gauti vertinimų rinkiniai



2.6 pav. Ekspertinio vertinimo metodo etapai (Zavadskas 1987)
Fig. 2.6. The stages of experimental estimation (Zavadskas 1987)

apdorojami statistiškai. Ekspertinio vertinimo metodo etapai pateikti 2.6 paveiksle. Vidutinė rodiklių vertinimo reikšmė $\bar{t}_j$ apskaičiuojama pagal formulę (Zavadskas, Kaklauskas 1996):

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

čia: t_{jk} – k eksperto atliktas j rodiklio įvertinimas; r – ekspertų skaičius.

Rodiklio reikšmingumas apskaičiuojamas rodiklių vidurkių sumą dalijant iš kiekvieno rodiklio vidutinės įvertinimo reikšmės:

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

Visų rodiklių reikšmingumų suma turi būti lygi vienetui: $\sum_{j=1}^n \frac{\sum_{j=1}^n \bar{t}_j}{\bar{t}_j} = 1,0$.

Tuomet nustatomas ekspertų nuomonės patikimumas. Jis išreiškiamas *ekspertų nuomonių konkordacijos koeficientu*, apibūdinančiu individualių nuomonių sutapimo laipsnį:

$$W = \frac{12S}{r^2(n^3 - n) - r \sum_{k=1}^r T_k}, \quad W \in [0; 1] \quad (2.3)$$

čia: S – kiekvieno rodiklio vertinimo rezultatų nuokrypių kvadratų suma; $T_k - k$ susijusių rangų rodiklis; k – ekspertų skaičius; n – vertinamų rodiklių skaičius. Šio koeficiento reikšmė turi artėti prie vieneto.

Kiekvieno rodiklio įvertinimo rezultatų nuokrypių kvadratų suma apskaičiuojama taip:

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

čia $t_{kj} - k$ eksperto j rodikliui priskiriamas rangas.

Konkordacijos koeficiento reikšmingumas nustatomas pagal formulę:

$$\chi^2 = \frac{12S}{n(n+1) - \frac{1}{1-n} \sum_{k=1}^r t_k}. \quad (2.5)$$

Ši reikšmė turi būti didesne negu χ_{lent}^2 , kuri priklauso nuo laisvės laipsnių skaičiaus bei pasirinkto reikšmingumo lygio, tuomet laikoma, kad ekspertų nuomonės suderintos. Priešingu atveju, kai $\chi^2 < \chi_{lent}^2$, teigiama, kad ekspertų nuomonės nesuderintos.

2.4. Tradiciniai daugiatislo vertinimo metodai

Statybos procesų uždaviniams spręsti buvo pasirinkti daugiatislo vertinimo metodai, kuriuos taikant naudojama kiekybinė informacija apie rodiklius. Statybos valdymo srityje ir susiduriama su dideliu kiekiu neapibrėžtų situacijų, todėl uždaviniams spręsti taip pat taikomi lošimų teorijos metodai (Zavadskas *et al.* 2004).

Daugiatikslio sprendimų priėmimo metodai turi būti lyginami pagal tokius pagrindinius rodiklius: skaičiavimo rezultatų pastovumą, darbo sąnaudas, reikalingas uždaviniui išspręsti ir metodų suprantamumą.

Pagal sudarytus statybos planavimo modelius suformuluoti statybos procesų uždaviniai. Naudojant matricose esančius pradinius duomenis aptariami ir atlie-

kami skaičiavimai, komentuojami gaunami rezultatai. Skaičiavimo rezultatų patovumui nustatyti reikia didelio pradinų duomenų tikslumo, todėl matricos X rodiklių tikslumas padidintas iki trijų reikšminių skaitmenų. Taip pat laikomasi prielaidos, kad rodiklių reikšmingumas yra absoliučiai tikslus.

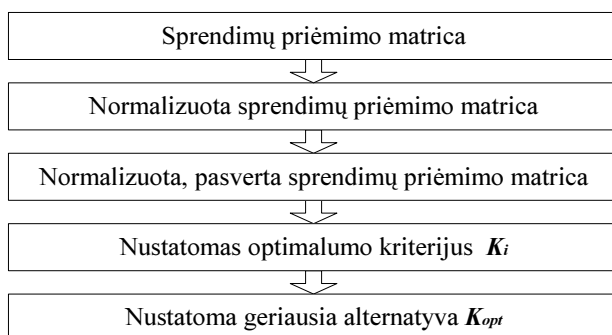
Toliau darbe aprašyti metodų sprendimo algoritmai, skaičiavimo metodikos ir metodai. Darbe naudojami šie daugiatislio vertinimo metodai:

- lošimų teorijos, matricinių lošimų Hodgeso ir Lehmano taisyklė (Hodges Lehmann 1952);
- variantų racionalumo nustatymas pagal artumą idealiajam taškui, metodas TOPSIS (Hwang, Yoon 1981; Zavadskas 1986);
- daugiatislio vertinimo metodas COPRAS (Zavadskas, Kaklauskas 1996);
- intervalų sistemų teorija (Deng 1982, 1989);
- daugiatislio vertinimo metodas TOPSIS „grey“ (Lin *et al.* 2008);
- sukurtas naujas daugiatislio vertinimo metodas COPRAS-G (Zavadskas *et al.* 2008a).

2.4.1. Lošimų teorijos Hodgeso ir Lehmano taisyklė

Bendras lošimų teorijos metodo sprendimo priėmimo algoritmas pateiktas 2.7 paveiksle (Tamošaitienė *et al.* 2008). Vienas iš lošimų teorijos pritaikymo krypčių – optimalių strategijų nustatymas. Optimalioms strategijoms nustatyti taikomas minimakso principas bei Savage'o ir Niehauso taisyklė (Savage 1951), Hurwiczo taisyklė (Hurwicz 1951) ir Hodgeso ir Lehmano taisyklė (Hodges, Lehmann 1952). Uždaviniams spręsti pasirinktas linijinis duomenų normalizavimas (Weitendorf 1976).

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij} - \min_j x_{ij}}{\max_j x_{ij} - \min_j x_{ij}}, \text{ kai optimalumo rodiklis } \max_j, \quad (2.6)$$



1.7 pav. Sprendimų priėmimo algoritmas taikant Hodgeso ir Lehmano taisyklę
Fig. 2.7. The algorithm of taking derivation according to Hodges and Lehman rule

$$\overline{x_{ij}} = \frac{\max_j x_{ij} - x_{ij}}{\max_j x_{ij} - \min_j x_{ij}}, \text{ kai optimalumo rodiklis } \min_j x_j. \quad (2.7)$$

Taikydami Hodgeso ir Lehmano taisyklę (Hodges, Lehmann 1952) atsižvelgiame į strategijų tikimybes, išreikštas parametru λ :

$$K_i = \lambda \sum_{j=1}^n q_j x_{ij} + (1 - \lambda) \min_j \overline{x_{ij}}, \quad (2.8)$$

čia: K_i – optimalumo rodiklis; λ – rizikos faktorius; q_j – rodiklio reikšmingumas.

$$K_{opt} = \max_i K_i, \quad (2.9)$$

K_{opt} – geriausia alternatyva.

2.4.2. TOPSIS metodas

Hwang ir Yoon (1981) sukūrė variantų prioritetiškumo nustatymo metodą, kur optimali alternatyva turi mažiausią atstumą nuo idealaus sprendinio ir didžiausią atstumą nuo idealiai blogiausio sprendinio. Šis metodas vadinamas variantų racionalumo nustatymu artumo idealiajam taškui TOPSIS. Metodo sprendimo algoritmas ir matematinis aprašas pateikiamas 2.8 paveiksle.

TOPSIS metodas buvo taikytas įvairių uždavinių sprendimui (Zavadskas *et al.* 2007b; Zavadskas *et al.* 2008i).

Tarkime, kad kiekvieno rodiklio reikšmės nuolat didėja arba nuolat mažėja. Tada galima nustatyti idealiai geriausią sprendimą, kuris yra sudarytas iš geriausių rodiklių reikšmių, ir idealiai blogiausią sprendimą, kuris yra sudarytas iš blogiausių rodiklių reikšmių. TOPSIS metodo sprendimo algoritmą sudaro šie etapai:

1. Sudaroma sprendimų matrica X_{ij} :

$$X_{ij} = \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ \dots \\ a_m \end{matrix} \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}, \quad (2.10)$$

čia: a_i – lyginamosios alternatyvos ($i = 1, \overline{m}$); x_j – efektyvumo rodikliai ($j = 1, \overline{n}$); x_{ij} – efektyvumo rodiklių reikšmės, $j = 1, \overline{n}$; $i = 1, \overline{m}$.



1.8 pav. TOPSIS metodo algoritmas

Fig. 2.8. The algorithm of TOPSIS method

2. Pagal formulę (2.11) gaunama normalizuotoji matrica $\bar{X}$, kurios visos efektyvumo reikšmės – bedimensiniai dydžiai:

$$\bar{X} = [\bar{x}_{ij}] = \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ \dots \\ a_m \end{matrix} \begin{bmatrix} \bar{x}_{11} & \bar{x}_{12} & \dots & \bar{x}_{1n} \\ \bar{x}_{21} & \bar{x}_{22} & \dots & \bar{x}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \bar{x}_{m1} & \bar{x}_{m2} & \dots & \bar{x}_{mn} \end{bmatrix}. \quad (2.12)$$

3. Sudaroma pasverta normalizuotoji matrica $\hat{X}^*$. Jei yra žinomi efektyvumo rodiklių reikšmingumai, tai matrica $\bar{X}^*$ apskaičiuojama pagal formulę:

$$\hat{X} = \bar{X} \cdot q_j, \quad (2.13)$$

jei reikšmingumai nežinomi, tada $\hat{X} = \bar{X}$.

4. Idealiai geriausia alternatyva nustatoma pagal šią formulę:

$$A_i^+ = \{[(\max_i \hat{r}_{ij} | j \in J), (\min_i \hat{r}_{ij} | j \in J')]/i = \overline{1, m}\} = \{r_1^+, r_2^+, \dots, r_n^+\}, \quad (2.14)$$

čia: J – rodiklių, kurių didesnės reikšmės yra geresnės, indeksų aibė; J' – rodiklių, kurių mažesnės reikšmės yra geresnės, indeksų aibė.

5. Idealiai blogiausia alternatyva nustatoma pagal formulę:

$$A_i^- = \{[(\min_i \hat{r}_{ij} | j \in J), (\max_i \hat{r}_{ij} | j \in J')] / i = \overline{1, m}\} = \{r_1^-, r_2^-, \dots, r_n^-\}. \quad (2.15)$$

6. Atstumas tarp lyginamosios i -tojo ir idealiai geriausios alternatyvos L_i^+ varianto nustatomas pagal formulę:

$$L_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (\hat{r}_{ij} - r_j^+)^2}; i = \overline{1, m}. \quad (2.16)$$

7. Atstumas tarp lyginamosios i -tojo ir idealiai blogiausios alternatyvos L_i^- – pagal formulę:

$$L_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (\hat{r}_{ij} - r_j^-)^2}; i = \overline{1, m}. \quad (2.17)$$

8. Nustatomas kiekvienos i -tosios alternatyvos santykinis atstumas iki idealaus:

$$C_i = \frac{R_i}{P_i + R_i}; i = \overline{1, m}, \text{ kai } C_i \in [0; 1]. \quad (2.18)$$

Kuo C_i reikšmė artimesnė vienetui, alternatyva geresnė, t. y. racionali alternatyva bus ta, kurios C reikšmė yra didžiausia.

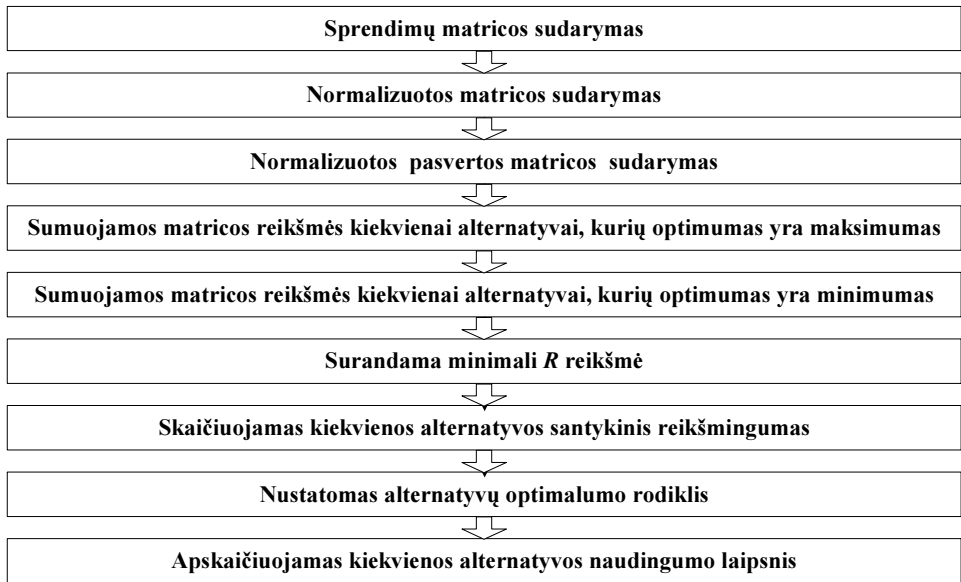
9. Nustatomas racionalumo indeksas Z_T :

$$Z_T = \frac{C_i}{\max C_i}. \quad (2.19)$$

10. Pagal racionalumo indekso Z_T reikšmes sudaroma prioritetų eilutė.

2.4.3. COPRAS metodas

COPRAS metodo (Zavadskas, Kaklauskas 1996) uždavinių sprendimo algoritmą sudaro šie etapai (2.9 pav.):



2.9 pav. COPRAS metodo sprendimo algoritmas

Fig. 2.9. COPRAS method derivation algorithm

1. Sudaroma sprendimų priėmimo matrica:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix}, \quad j = \overline{1, n}, \quad i = \overline{1, m}, \quad (2.20)$$

čia: n – alternatyvų skaičius; m – rodiklių skaičius.

2. Reikšmės normalizuojamos taikant formulę (2.21) x_{ij} ir sudaroma normalizuota sprendimų priėmimo matrica $\bar{X}$:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{j=1}^n x_{ij}}; \quad j = \overline{1, n}; \quad i = \overline{1, m}, \quad (2.21)$$

čia: j – alternatyvos numeris; i – rodiklio numeris.

2. Dauginant normalizuotas reikšmes iš atitinkamų rodiklių reikšmingumų pagal formulę (2.22) sudaroma pasverta normalizuota sprendimų matrica $\hat{X}$:

$$\hat{x}_{ij} = \bar{x}_{ij} \cdot q_j, \quad (2.22)$$

čia: j – rodiklio numeris, q_j – j -tojo rodiklio reikšmingumas.

3. Skaičiuojamos kiekvienos pasvertos normalizuotos sprendimų priėmimo matricos eilutės (alternatyvos) reikšmės, kurių optimizavimo kryptis maksimumas, sumos:

$$P_j = \sum_{i=1}^k \hat{x}_{ij}, \quad (2.23)$$

čia: k – rodiklių, kurių optimizavimo kryptis maksimumas, skaičius.

4. Skaičiuojamos kiekvienos pasvertos normalizuotos sprendimų priėmimo matricos eilutės (alternatyvos) reikšmių, kurių optimizavimo kryptis minimumas, sumos:

$$R_j = \sum_{i=k+1}^m \hat{x}_{ij}, \text{ čia } i = \overline{k, m}, \quad (2.24)$$

čia: k – rodiklių, kurių optimizavimo kryptis yra minimumas, skaičius.

5. Surandama minimali R_j reikšmė:

$$R_{\min} = \min_j R_j. \quad (2.25)$$

6. Skaičiuojamas kiekvienos alternatyvos santykinis reikšmingumas:

$$Q_j = P_j + \frac{R_{\min} \sum_{j=1}^n R_j}{R_j \sum_{j=1}^n \frac{R_{\min}}{R_j}}. \quad (2.26)$$

Formulė (2.26) pakeičiama į (2.27):

$$Q_j = P_j + \frac{\sum_{j=1}^n R_j}{R_j \sum_{j=1}^n \frac{1}{R_j}}. \quad (2.27)$$

7. Optimalumo rodiklis apskaičiuojamas pagal (2.28) formulę:

$$K = \max_j Q_j, \quad j = \overline{1, n}. \quad (2.28)$$

9. Pagal formulę (2.29) apskaičiuojamas kiekvienos alternatyvos naudingumo laipsnis:

$$N_j = \frac{Q_j}{Q_{\max}} 100 \%. \quad (2.29)$$

čia Q_j ir $Q_{\max}$ – alternatyvos reikšmė, apskaičiuojama pagal (2.27) formulę.

10. Sudaroma alternatyvų prioritetų eilutė.

2.5. Sprendimų priėmimas taikant rodiklius su reikšmėmis, apibrėžtomis skaičių intervale

Deng (1982) sukūrė intervalų sistemų teoriją, taikydamas sprendimų priėmimo duomenų skaitines reikšmes, apibrėžtas intervale. Deng (1988) pateikė sprendimų priėmimo sistemų intervalų teoriją. Anot Deng, veiksmai su rodiklių reikšmėmis matematiškai gali būti užrašomi taip:

$$\otimes x = [\underline{x}, \bar{x}] = \{x \mid \underline{x} \leq x \leq \bar{x}, \underline{x} \& \bar{x} \in R\}. \quad (2.30)$$

Skaičius $\otimes x$ gali būti apibrėžiamas skirtinguose intervaluose (žemiausia riba – $\underline{x}$, aukščiausia riba – $\bar{x}$):

1. Kai $\underline{x} \rightarrow \infty$ ir $\bar{x} \rightarrow \infty$, tai $\otimes x$ vadinamas neapibrėžtuoju skaičiumi, t. y. skaičius neišreiškia jokios informacijos.
2. Kai $\underline{x} = \bar{x}$, tai $\otimes x$ vadinamas sveikuoju skaičiumi, t. y. skaičius išreiškia tikslią informaciją.
3. Kai $\otimes x = [\underline{x}, \bar{x}]$, tuomet $\otimes x$ vadinamas skaičiumi intervale, kai informacijos trūksta arba dėl jos abejojama.

Pavyzdžiui, turime rodiklių x ir y reikšmes, tuomet $x = (x_1, x_2, x_3)$ ir $y = (y_1, y_2, y_3)$. Tada Euklidinėje erdvėje atstumas gali būti apskaičiuojamas taip:

$$d(x, y) = \sqrt{\frac{1}{3}[(x_1 - y_1)^2 + (x_2 - y_2)^2 + (x_3 - y_3)^2]}. \quad (2.31)$$

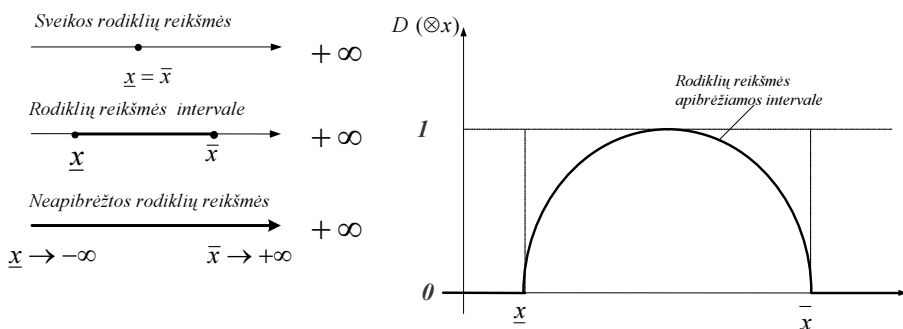
Skaičių x ir y reikšmės gali būti aprašomos taip: $\otimes x = [\underline{x}, \bar{x}]$ ir $\otimes y = [\underline{y}, \bar{y}]$, ir Euklidinėje erdvėje atstumas tarp $\otimes x$ ir $\otimes y$ apskaičiuojamas pagal formulę (2.32):

$$d(\otimes x, \otimes y) = \sqrt{\frac{1}{2}[(\underline{x} - \underline{y})^2 + (\bar{x} - \bar{y})^2]}. \quad (2.32)$$

Minkovskio erdvėje atstumo funkcija tarp $\otimes x$ ir $\otimes y$ gali būti išreikšta taip:

$$d(\otimes x, \otimes y) = \sqrt[p]{\frac{1}{2} d(\otimes x, \otimes y)} = \sqrt[p]{\frac{1}{2} \sum_{j=1}^m q_j \left[\left| \underline{x}_j - \underline{y}_j \right|^p + \left| \bar{x}_j - \bar{y}_j \right|^p \right]}. \quad (2.33)$$

Reikšmių grafinis vaizdas pateiktas 2.10 paveiksle.



2.10 pav. Rodiklių reikšmių išraiška intervale (Liu, Lin 2006)

Fig. 2.10. The graphical expression of attribute uncertainty (Liu, Lin 2006)

Intervalais aprašomas rodiklių reikšmės galima skaičiuoti esant neapibrėžtumams. Remiantis šia teorija suteikiamos galimybės priimamiems sprendimams gerinti.

2.6. Siūlomi nauji daugiatislio vertinimo metodai

Intervalų sistemos teorijos sujungimas su daugiatislio vertinimo metodais suteiktų galimybę pasirinkti efektyvesnius sprendimus. Tam reikia sudaryti naujus daugiatislio vertinimo metodų sprendimų algoritmus ir juos matematiškai aprašyti.

2.6.1. TOPSIS „grey“ metodas su rodiklių reikšmėmis apibrėžtomis intervalu

Pateikiamas daugiatislio vertinimo metodo TOPSIS „grey“ (Lin *et al.* 2008) matematinis aprašymas taikant rodiklių reikšmes, išreikštas intervalu. Šis

metodas buvo autorės taikytas įvairiems uždaviniams spręsti (Zavadskas *et al.* 2008i). Pirmiausia sudaroma sprendimų priėmimo matrica X :

$$X^k = \begin{bmatrix} \otimes x_{11}^k & \otimes x_{12}^k & \dots & \otimes x_{1m}^k \\ \otimes x_{21}^k & \otimes x_{22}^k & \dots & \otimes x_{2m}^k \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \otimes x_{n1}^k & \otimes x_{n2}^k & \dots & \otimes x_{nm}^k \end{bmatrix}, \quad (2.34)$$

čia $\otimes x_{ij}^k$ – intervale apibrėžto skaičiaus reikšmė; i -tosios alternatyvos, j -tojo stulpelio reikšmės; k , $k = (1, \dots, K)$ $[\otimes x_{i1}^k, \otimes x_{i2}^k, \dots, \otimes x_{im}^k]$ – intervale išreikštų skaičių eilutė, alternatyvos i -tojo skaičiaus, primamo sprendimo k .

1-as žingsnis. Normalizuotos matricos sudarymas, kai alternatyvų rodiklių reikšmės apibrėžtos intervalu. Sudarant normalizuotą sprendimų matricą, taikomas tiesinis normalizavimo būdas (Chang 2000). Rodiklių reikšmės gali būti dviejų tipų:

- kai jų reikšmės didžiausios;
- kai jų reikšmės mažiausios.

Blogiausios reikšmės gali būti normalizuojamos pagal (2.35) formulę:

$$\otimes r_{ij}^k = \frac{\otimes x_{ij}^k}{\max(\underline{x}_{ij}^k)} = \left(\frac{\underline{x}_{ij}^k}{\max(\underline{x}_{ij}^k)}, \frac{-\underline{x}_{ij}^k}{\max(\underline{x}_{ij}^k)} \right). \quad (2.35)$$

Geriausios reikšmės išraiška gali būti normalizuojamos pagal (2.36) formulę:

$$\otimes r_{ij}^k = -\frac{\otimes x_{ij}^k}{\min(\underline{x}_{ij}^k)} + 2 = \left(\frac{-\underline{x}_{ij}^k}{\min(\underline{x}_{ij}^k)} + 2, \frac{-\underline{x}_{ij}^k}{\min(\underline{x}_{ij}^k)} + 2 \right). \quad (2.36)$$

2-as žingsnis. Idealiai geriausių ir idealiai blogiausių alternatyvų reikšmių nustatymas sprendiniams. Idealiai geriausia alternatyva A^{k+} ir idealiai blogiausia alternatyva A^{k-} iš priimamų sprendimų aibės k gali būti aprašomos pagal formules (2.37) ir (2.38):

$$A^{k+} = \{(\max_i r_{ij}^k | j \in J), (\min_i r_{ij}^k | j \in J') | i \in n\} = [r_1^{k+}, r_2^{k+}, \dots, r_m^{k+}]; \quad (2.37)$$

$$A^{k-} = \{(\min_i r_{ij}^k | j \in J), (\max_i r_{ij}^k | j \in J') | i \in n\} = [r_1^{k-}, r_2^{k-}, \dots, r_m^{k-}]. \quad (2.38)$$

3-ias žingsnis. Nustatomos skaičiuojamos grupės d_i^{*+} ir d_i^{*-} teigiamų ir neigiamų idealiųjų alternatyvų reikšmės.

Priimamo sprendimo kintamojo k , idealiai teigiamos alternatyvos d_i^{k+} ir idealiai neigiamos alternatyvos d_i^{k-} reikšmės išreiškiamos Minkowskio atstumu ir apskaičiuojamos pagal (2.39) ir (2.40) formules:

$$d_i^{k+} = \left\{ \frac{1}{2} \sum_{j=1}^m q_j \left[\left| r_j^{k+} - \underline{r}_{ij}^k \right|^p + \left| r_j^{k+} - \overline{r}_{ij}^k \right|^p \right] \right\}^{1/p} \quad (2.39)$$

ir

$$d_i^{k-} = \left\{ \frac{1}{2} \sum_{j=1}^m q_j \left[\left| r_j^{k-} - \underline{r}_{ij}^k \right|^p + \left| r_j^{k-} - \overline{r}_{ij}^k \right|^p \right] \right\}^{1/p}. \quad (2.40)$$

Formulėse (2.39) ir (2.40) $p \geq 1$, q_j – rodiklio reikšmingumas, kuris gali būti nustatomas subjektyviai arba hierarchiniu analitiniu procesu (AHP). Jeigu imame $p = 2$, tuomet pagal Euklido funkcijos atstumą rodiklių reikšmės išreiškiamos formulėmis (2.41) ir (2.42):

$$d_i^{k+} = \sqrt{\frac{1}{2} \sum_{j=1}^m q_j \left[\left| r_j^{k+} - \underline{r}_{ij}^k \right|^2 + \left| r_j^{k+} - \overline{r}_{ij}^k \right|^2 \right]} \quad (2.41)$$

ir

$$d_i^{k-} = \sqrt{\frac{1}{2} \sum_{j=1}^m q_j \left[\left| r_j^{k-} - \underline{r}_{ij}^k \right|^2 + \left| r_j^{k-} - \overline{r}_{ij}^k \right|^2 \right]}. \quad (2.42)$$

4-as žingsnis. Rodiklių reikšmių skaičiavimas grupei. Kiekvienos alternatyvos sujungimas į grupę bus atliktas taikant $\otimes$ operaciją kiekvienai priimamo sprendimo reikšmei. Tuomet d_i^{*+} , d_i^{*-} teigiamos ir neigiamos alternatyvos atitinkamai išreiškiamos taip:

$$d_i^{*+} = d_i^{1+} \otimes \dots \otimes d_i^{K+} \text{ alternatyvoms } i \quad (2.43)$$

ir

$$d_i^{*-} = d_i^{1-} \otimes \dots \otimes d_i^{K-} \text{ alternatyvoms } i. \quad (2.44)$$

Normalizavimą galima atlikti keliais būdais: vidurkio geometrinio, vidurkio aritmetinio, taip pat galima jų modifikacija. Šiuo žingsniu pasirenkame vidurkio aritmetinį būdą, tuomet kiekvienos grupės alternatyvos bus:

$$d_i^{*+} = \left(\prod_{k=1}^K d_i^{k+} \right)^{1/K}, \text{ alternatyvai } i \quad (2.45)$$

ir

$$d_i^{*-} = \left(\prod_{k=1}^K d_i^{k-} \right)^{1/K}. \quad (2.46)$$

5-as žingsnis. Apskaičiuojamas alternatyvos atstumas C_i^{*+} nuo idealiai teigiamos alternatyvos. Santykinis atstumas iki idealiojo taško atitinkamam artumui i -tajai alternatyvai, atitinkamai grupės idealiajai alternatyvai gali būti išreikštas (2.47) formule:

$$C_i^{*+} = \frac{d_i^{*-}}{d_i^{*+} + d_i^{*-}}, \quad (2.47)$$

čia $0 \leq C_i^{*+} \leq 1$.

5-as žingsnis. Pagal apskaičiuotas C_i^{*+} reikšmes sudaroma reikšmių prioritetų eilutė.

2.6.2. COPRAS-G metodas su rodiklių reikšmėmis, apibrėžto- mis intervalu

E. K. Zavadskas ir kt. (Zavadskas *et al.* 2008a; Zavadskas *et al.* 2008b; Zavadskas *et al.* 2008i; Zavadskas *et al.* 2008f; Zavadskas *et al.* 2007d) pristatė pagrindines COPRAS-G metodo idėjas. Šio metodo sprendimų priėmimo pagrindas intervalų sistemų teorija paremtas rodiklių reikšmių vertinimas. COPRAS-G metodo skaičiavimo algoritmą sudaro šie etapai:

1. Pagal rodiklių reikšmes sudaroma sprendimų priėmimo matrica $\otimes X$.
2. Sudaroma sprendimų priėmimo matrica $\otimes X$:

$$\otimes X = \begin{bmatrix} \otimes x_{11} & \otimes x_{12} & \dots & \otimes x_{1m} \\ \otimes x_{21} & \otimes x_{22} & \dots & \otimes x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \otimes x_{n1} & \otimes x_{n2} & \dots & \otimes x_{nm} \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} [w_{11}; b_{11}] & [w_{12}; b_{12}] & \dots & [w_{1m}; b_{1m}] \\ [w_{21}; b_{21}] & [w_{22}; b_{22}] & \dots & [w_{2m}; b_{2m}] \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ [w_{n1}; b_{n1}] & [w_{n2}; b_{n2}] & \dots & [w_{nm}; b_{nm}] \end{bmatrix}, \quad j = \overline{1, n}; \quad i = \overline{1, m}, \quad (2.48)$$

čia $\otimes x_{ij}$ yra rodiklio w_{ij} (mažiausia reikšmė) ir b_{ij} (didžiausia reikšmė). Reikšmės išreikštos mažiausia ir didžiausia riba.

3. Nustatomos rodiklių reikšmingumų q_j reikšmės.

4. Sudaroma normalizuota sprendimų priėmimo matrica $\otimes X$, kurios rodiklių reikšmės yra išreikštos intervalu $[w_{ij}; b_{ij}]$:

$$\begin{aligned}\overline{w_{ij}} &= \frac{w_{ij}}{\frac{1}{2} \left(\sum_{j=1}^n w_{ij} + \sum_{j=1}^n b_{ij} \right)} = \frac{2w_{ij}}{\sum_{j=1}^n w_{ij} + \sum_{j=1}^n b_{ij}}; \\ \overline{b_{ij}} &= \frac{b_{ij}}{\frac{1}{2} \left(\sum_{j=1}^n w_{ij} + \sum_{j=1}^n b_{ij} \right)} = \frac{2b_{ij}}{\sum_{j=1}^n (w_{ij} + b_{ij})}.\end{aligned}\quad (2.49)$$

(2.49) formulėje w_{ij} yra mažiausia sprendimų priėmimo alternatyvos i , j -tojo rodiklio reikšmė; b_{ij} – didžiausia sprendimų priėmimo alternatyvos i , j -tojo rodiklio reikšmė; m – rodiklių skaičius; n – lyginamų alternatyvų skaičius.

Sprendimų priėmimo matrica normalizuojama pagal šią formulę:

$$\begin{aligned}\otimes \overline{X} &= \begin{bmatrix} \otimes \overline{x}_{11} & \otimes \overline{x}_{12} & \dots & \otimes \overline{x}_{1m} \\ \otimes \overline{x}_{21} & \otimes \overline{x}_{22} & \dots & \otimes \overline{x}_{2m} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \otimes \overline{x}_{n1} & \otimes \overline{x}_{n2} & \dots & \otimes \overline{x}_{nm} \end{bmatrix} = \\ &= \begin{bmatrix} [\overline{w}_{11}; \overline{b}_{11}] & [\overline{w}_{12}; \overline{b}_{12}] & \dots & [\overline{w}_{1m}; \overline{b}_{1m}] \\ [\overline{w}_{21}; \overline{b}_{21}] & [\overline{w}_{22}; \overline{b}_{22}] & \dots & [\overline{w}_{2m}; \overline{b}_{2m}] \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ [\overline{w}_{n1}; \overline{b}_{n1}] & [\overline{w}_{n2}; \overline{b}_{n2}] & \dots & [\overline{w}_{nm}; \overline{b}_{nm}] \end{bmatrix}.\end{aligned}\quad (2.50)$$

5. Pagal formulę (2.51) sudaroma normalizuotoji ir pasverta sprendimų priėmimo matrica $\otimes \hat{X}$, kur $\otimes \hat{x}_{ij}$ pasvertos ir normalizuotosios rodiklių reikšmės yra apskaičiuotos pagal formulę:

$$\otimes \hat{x}_{ij} = \otimes \overline{x}_{ij} \cdot q_j; \quad \hat{w}_{ij} = \overline{w}_{ij} \cdot q_j; \quad \hat{b}_{ij} = \overline{b}_{ij} \cdot q_j. \quad (2.51)$$

formulėje (2.51), q_j yra j -tojo rodiklio reikšmingumas.

Tuomet sprendimų priėmimo matrica normalizuojama pagal (2.52) formulę:

$$\otimes \hat{X} = \begin{bmatrix} \otimes \hat{x}_{11} & \otimes \hat{x}_{12} & \dots & \otimes \hat{x}_{1m} \\ \otimes \hat{x}_{21} & \otimes \hat{x}_{22} & \dots & \otimes \hat{x}_{2m} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \otimes \hat{x}_{n1} & \otimes \hat{x}_{n2} & \dots & \otimes \hat{x}_{nm} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [\hat{w}_{11}; \hat{b}_{11}] & [\hat{w}_{12}; \hat{b}_{12}] & \dots & [\hat{w}_{1m}; \hat{b}_{1m}] \\ [\hat{w}_{21}; \hat{b}_{21}] & [\hat{w}_{22}; \hat{b}_{22}] & \dots & [\hat{w}_{2m}; \hat{b}_{2m}] \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ [\hat{w}_{n1}; \hat{b}_{n1}] & [\hat{w}_{n2}; \hat{b}_{n2}] & \dots & [\hat{w}_{nm}; \hat{b}_{nm}] \end{bmatrix}. \quad (2.52)$$

6. Sumuojamos kiekvienos alternatyvos sprendimų priėmimo matricos reikšmės, kurių optimumas yra maksimumas P_j pagal (2.53) formulę:

$$P_j = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^k (\hat{w}_{ij} + \hat{b}_{ij}). \quad (2.53)$$

7. Sumuojamos sprendimų priėmimo matricos reikšmės kiekvienai alternatyvai, kurių optimizavimo kryptis minimumas R_j :

$$R_j = \frac{1}{2} \sum_{i=\bar{k}+1}^m (\hat{w}_{ij} + \hat{b}_{ij}); \quad i = \bar{k}, \bar{m}, \quad (2.54)$$

$(m - k)$ – rodiklių skaičius, kuris yra minimumo krypties.

8. Randama minimali R_j reikšmė:

$$R_{\min} = \min_j R_j; \quad j = \overline{j, m}. \quad (2.55)$$

9. Skaičiuojamas kiekvienos alternatyvos santykinis reikšmingumas Q_j :

$$Q_j = P_j + \frac{\sum_{j=1}^n R_j}{R_j \sum_{j=1}^n \frac{1}{R_j}}. \quad (2.56)$$

10. Nustatomas optimalumo rodiklis K :

$$K = \max_j Q_j; \quad j = \overline{1, n}. \quad (2.57)$$

11. Apskaičiuojamas kiekvienos alternatyvos naudingumo laipsnis:

$$N_j = \frac{Q_j}{Q_{\max}} 100 \%, \quad (2.58)$$

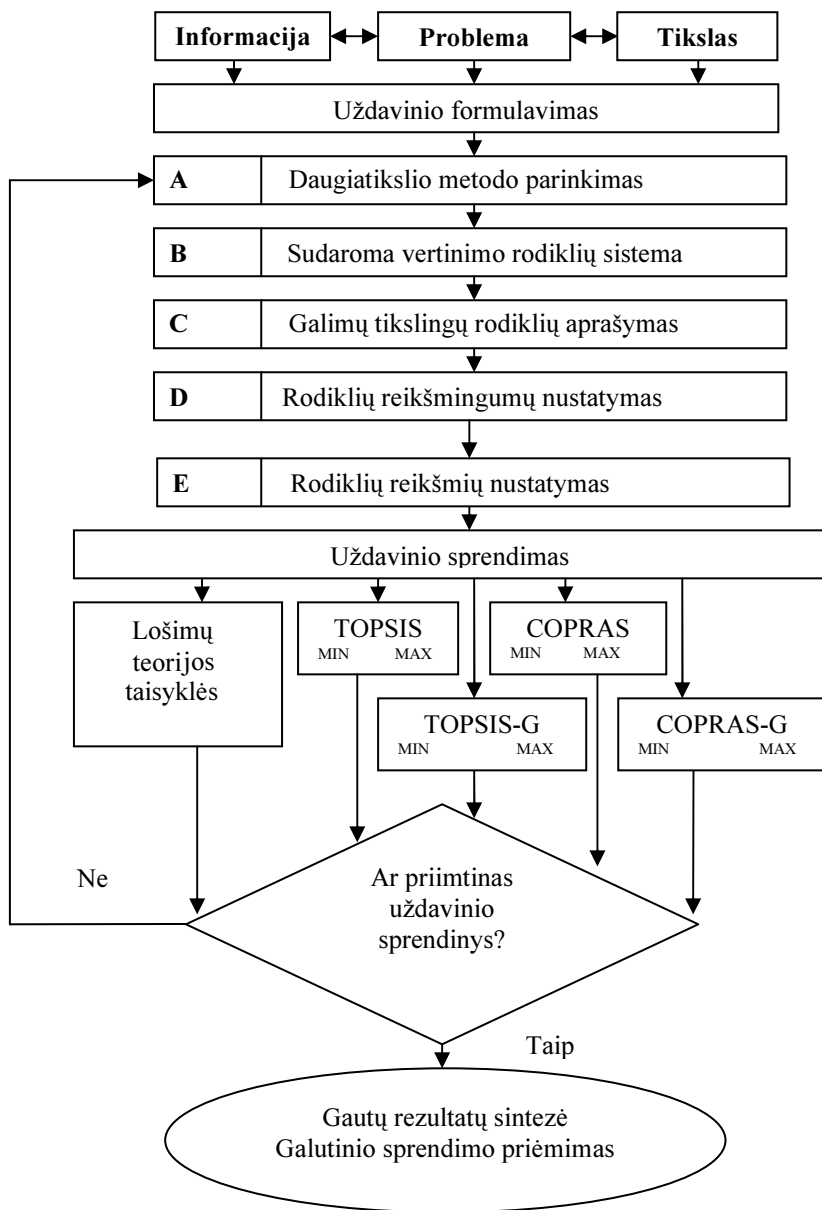
čia Q_j ir $Q_{\max}$ – kiekvienos alternatyvos santykinis reikšmingumas, apskaičiuotas iš (2.56) formulės.

12. Pagal apskaičiuotą kiekvienos alternatyvos naudingumo laipsnio reikšmę sudaroma vertinamų alternatyvų prioriteto eilutė.

2.7. Uždavinių sprendimas daugiatiksliais vertinimo metodais

Disertacijoje taikomi daugiatikslinio vertinimo sprendimų priėmimo metodai pavaizduoti 2.11 paveiksle.

A etape uždaviniui spręsti parenkamas daugiatikslinio vertinimo metodas, B etape sudaroma uždavinio vertinimo rodiklių sistema, etape C aprašomi galimi tikslingi rodikliai. Vertinimas skiriasi priklausomai nuo sprendžiamos problemos poreikio, tipo arba uždavinių, kurie yra sprendžiami. D etape sprendimus priimančias asmuo pareiškia savo nuomonę atitinkamų rodiklių svarbos atžvilgiu bei nurodo vieną būdą, kuriuo bus taikomi pagrindiniai rodiklių reikšmingumai. Jie neturi aiškiai apibrėžtos ekonominės reikšmės sprendimų priėmimo procese, tačiau jų naudojimas suteikia galimybę modeliuoti faktinius sprendimų priėmimo rodiklius. Etape E nustatomos konkretaus uždavinio alternatyvų rodiklių reikšmės. Alternatyvos gali būti kuriamos ir jų tinkamumas tikrinamas, naudojant matematinius, fizikinius metodus ir (arba) eksperimentais, paremtomis sistemomis. Apribojimai laikomi aukščiausio prioriteto tikslais, kuriuos būtina patenkinti alternatyvų kūrimo procese. Alternatyvų kūrimas gali tapti labai sudėtingu procesu, nes nėra jokios visuotinai priimtų procedūros ar modelio, ir jokia matematinė procedūra negali pakeisti žmogiškojo kūrybingumo veiksnio, kuriant ir vertinant alternatyvas. Sukūrus ir įvertinus alternatyvas, galima taikyti pasirinktus daugiatikslinio vertinimo metodus. Taikant daugiatikslinio vertinimo metodus, atskirų rodiklių reikšmės gali būti normalizuojamos skirtingais normalizavimo metodais (Zavadskas *et al.* 2007c; Zavadskas, Turskis 2008). Išsprendus uždavinį tikrinama ar gautas rezultatas teisingas. Sprendžiant uždavinį keliais daugiatikslinio vertinimo metodais būtina atlikti gautų rezultatų sintezę.



2.11 pav. Sprendimų priėmimo etapai

Fig. 2.11. The stages of decision making

2.8. Skyriaus išvados

1. Kadangi valdant statybos objektus keliama daug tikslų, iš daugiatikslio vertinimo metodų apžvalgos išskiriami tinkamiausi statybos valdymo uždaviniams spręsti kokybinę informaciją naudojančios MADM grupės tradiciniai daugiatikslio vertinimo TOPSIS ir COPRAS metodai.
2. Remdamasi pateiktais daugiatikslio vertinimo TOPSIS, COPRAS metodų sprendimų algoritmais ir intervalų sistemos teorija, autorė kartu su bendraautoriais sukūrė daugiatikslio vertinimo metodą COPRAS-G (Zavadskas *et al.* 2008a).
3. Skyriuje pateiktas naujo daugiatikslio vertinimo metodo TOPSIS „grey“ sprendimo algoritmas, kuris, kaip ir anksčiau paminėti metodai, bus taikomi statybos valdymo uždaviniais išspręsti.
4. Pateiktas lošimų teorijos sprendimo algoritmas taikomas strategijos parinkimui statybos valdymo uždaviniais spręsti.

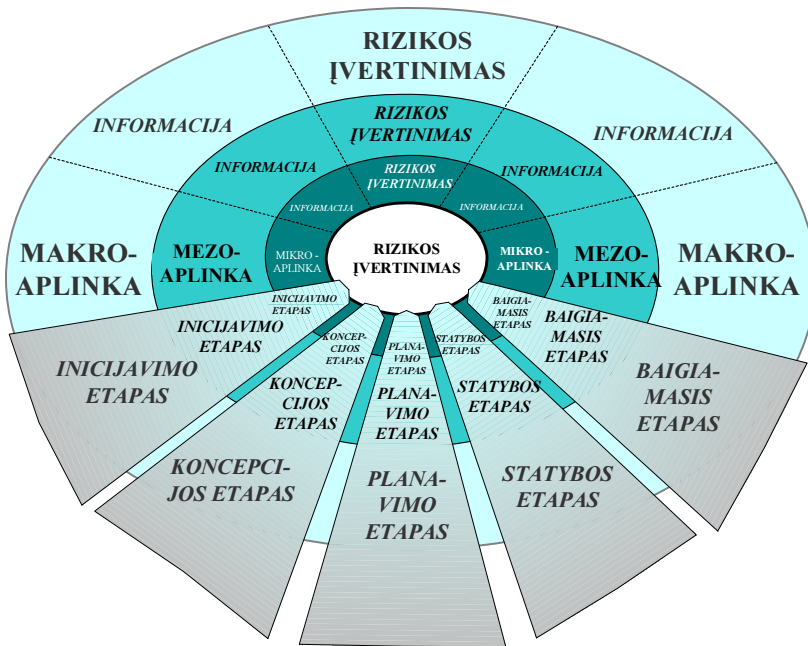
Rizikos vertinimas statybos objektuose

Šiame skyriuje pateikiamas statybos išorės, procesų ir vidinės rizikos įvertinimo modelis. Statybos objektų rizika vertinama daugiatikslio vertinimo metodais TOPSIS, TOPSIS „grey“, COPRAS ir COPRAS-G. Rizikos vertinimo tema autorė kartu su bendraautoriais paskelbė 3 publikacijas: vieną recenzuojamame žurnale (Zavadskas *et al.* 2008g) ir dvi publikacijas recenzuojamų konferencijų straipsnių rinkiniuose (Tamošaitienė *et al.* 2008; Zavadskas *et al.* 2008i).

3.1. Rizikos vertinimas statyboje

Statybos verslas yra rizikingas. Statybų riziką savo darbuose tyrė įvairių šalių mokslininkai: Schieg (2007), Ševčenko *et al.* (2008), Tamošaitienė *et al.* (2008); Zavadskas *et al.* (2008i) ir kt. Visas rizikas, esančias statybų sektoriuje, pagal veikimo aplinką galima sugrupuoti taip (3.1 pav.):

Išorės riziką – priklausančią nuo išorinių veiksnių, tačiau galinčią tiesiogiai veikti statybos procesus.



3.1 pav. Rizikos įvertinimas pastato gyvavimo aplinkoje
Fig. 3.1. The assessment of risk in building lifecycle environment

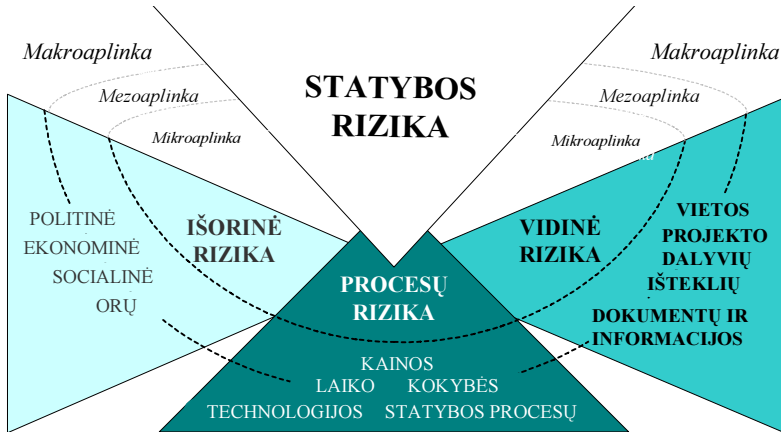
Procesų rizika yra susijusi su pastato statyba, nustatytais jos terminais, verte ir kokybe.

Vidinė rizika susijusi su įmonę veikiančiais procesais, pvz., išteklių valdymu ir kt.

Pagrindinis statybos procesų rizikos valdymo tikslas ir laukiamas vertinimo rezultatas – rizikos mažinimas ir išteklių taupymas. Pastato gyvavimo ciklo rizikos valdymą tyrė Dikmen *et al.* (2008). Riziką savo darbuose aptarė daugelis autorių: Lyons, Skitmore (2004), Rogov (2006), Dikmen *et al.* (2007), Hsueh *et al.* (2007), Schieg (2007), Zou *et al.* (2007), Han *et al.* (2008), Rutkauskas (2008), Shevchenko *et al.* (2008), Suhobokov (2008) ir Zavadskas *et al.* (2008a). Hsueh *et al.* (2007) pristatė Kinijos statybos įmonių rizikos vertinimo modelį; Han *et al.* (2008) tyrė tarptautinių projektų rizikos valdymą. Ilgalaiķių rizikos valdymą tyrė Lee *et al.* (2009). Nie *et al.* (2009) tyrė sprendimus ir duomenų reikšmes statybos procesuose.

Rizikos valdymas apima tris pakopas (3.2 pav.):

- rizikos šaltinių nustatymą;
- rizikos tyrimus, nustatant neapibrėžtumo dydžius;
- rizikos kontrolę, kai pagal nustatytas rizikos sritis ir vertes sudaromas kontrolės planas.



3.2 pav. Statybos rizikos įvertinimas

Fig. 3.2. Construction risk assessment

Rizikos nustatymas – svarbus vertinimo ir kompetencijos rodiklis (Rutkauskas, 2008; Zayed *et al.* 2008). Šiame etape nustatomi potencialūs rizikos šaltiniai. Visa statybų rizika gali būti suskirstyta į: išorinę, procesų ir vidinę. Išorės rizika apima išorės aplinkos veiksnius. Vidaus rizika daugiausia susijusi su statybos valdymo funkcijomis. Procesų riziką apima suinteresuotų grupių vykdomi veiksmai. Rizikos nustatymo procedūras statybos sutartyse tyrė Hassanein ir Afify (2007). Albert *et al.* (2008) tyrė rizikos vertinimo galimybes. El-Sayegh (2008) tyrė rizikos vertinimą ir pasiskirstymą. Han *et al.* (2008) tyrė internetinių sistemų integravimo galimybes. Gao (2009) tyrė strategijų su rizika taikymą. Graves ir Ringuest (2009) tyrė dominuojančius neapibrėžtų alternatyvų rodiklius. Lahdelma *et al.* (2009) tyrė sprendimų priėmimo ir rizikos vertinimo neapibrėžtumus.

Rizika įvertinama tuomet, kai nustatoma įvykio tikimybė įvykti. Jo pagrindu nustatomas rizikos poveikis objektui.

Rizikos kontrolės etapas galimas tuomet, kai turima detali informacija. Rizikos kontrolei tirti reikalinga informacija iš įvairių statybos etapų. Rizikos kontrolės procesus tyrė Han *et al.* (2008). Rizikos kontrolė nustatoma planu, eliminuojančiu rizikos šaltinius ir darančius įtaką statybos procesams. Rizikas galima nukreipti arba sumažinti šiomis priemonėmis: verslo draudimu, prisiėmimu sau, sujungimu ir diversifikavimu.

Rizikos įvertinimo modelis pavaizduotas 3.3 paveiksle. Pateikto rizikos įvertinimo modelio tikslas – nustatyti riziką ir diversifikuoti atitinkamai pagal sprendimų priėmėjo pasirinktą strategiją.

Rizika turi būti vertinama šiais pagrindiniais aspektais:

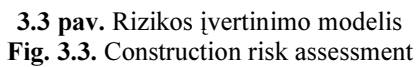


Fig. 3.3. Construction risk assessment

1. Išorės rizika (aplinkos rodikliai):

a) *politinė*. Teisinės ir valdymo sistemos reguliavimo pasikeitimai (Li, Liao 2007);

b) *ekonominė*. Nepastovumas šalies ekonomikoje veikia gamybos aplinką. Infliacija gali sudaryti reikšmingą riziką. Lietuvos ekonomikos aktyvumą statybų sektoriuje tyrė Tvaronavičienė, Grybaitė (2007);

c) *socialinė rizika*. Tai politinėje ir socialinėje erdvėje veikiančių suinteresuotų grupių interesų susikirtimai. Finansinę, socialinę ir ekonomikos raidą tyrė Ginevičius *et al.* (2008);

d) *orų rizikai* priskiriamos ekstremalios ir neįprastos oro sąlygos, kuriomis dirba rangovas. Ši rizika priklauso nuo atliekamų darbų vietos ir statyboje naudojamų technologijų. Šią riziką vertina pats rangovas.

2. Procesų rizika (statybos procesų rodikliai):

a) *laiko rizika*. Laiko stoka dažnai paveikia ir kitus techninius sprendimus. Vien pagal statybos apimtis negalima vertinti viso pastato statybos procesų. Net ir nesudėtingų pastatų statyba gali būti rizikinga dėl kitų sudėtinių veiksnių: sudėtingos statybos technologijos, statybos vietos sąlygų, per trumpo įgyvendinimo laiko ir t. t. Statybos procesų įgyvendinimas labai sudėtingas tada, kai jie turi būti įgyvendinami per labai trumpą laiką. Esant neribotai statybos trukmei, siekiant efektyviau panaudoti išteklius, reikia aktyviai valdyti statybos procesus. Laiko rizika gali išaugti, kai trūksta statybos procesams reikalingų komandos narių. Darnos trūkumas yra vienas didžiausių trukdžių, todėl siekiant tikslų būtina numatyti priemones trūkumams šalinti. Laiko rizika pasireiškia atliekant statybos darbus ir laikantis technologinių statybos procesų;

b) *išlaidų rizika*. Visos idėjos, kurioms įgyvendinti reikia daugiau išlaidų, nei leidžia įmonės galimybės, sudaro tam tikrą riziką įgyvendinamiems statybos procesams. Tarptautinėje statybų rinkoje įvardijama valiutos pokyčio rizika, kuri veikia išlaidas. Dažnai užsakovas pageidauja fiksuotų ir pastovių darbų ar medžiagų kainų. Ilgos trukmės statybose atsiranda darbo užmokesčio ir kitų sanau-dų kainų rizika (Zavadskas *et al.* 2008e). Šias rizikas veikia kintanti šalies situa-cija. Išlaidų rizika taip pat atsiranda dėl numatytu laiku nepasirašytų sutarčių su subrangovais ar tiekėjais. Visas rizikas galima mažinti pasirašant atitinkamas sutartis. Statybos vertė – svarbiausia derybose tarp rangovo ir užsakovo. Sutar-tyse, tarp rangovo ir užsakovo, dažnai pasitaiko atvirkštinių atvejų, kai vietoj išlaidų, mažinančių riziką, rangovas prisiima papildomą riziką. Labiausiai papli-tę baudų už terminų nesilaikymą atvejai;

c) *kokybės rizika*. Kokybę apibūdina statybos procesų valdymo, atliktų darbų arba gauto rezultato kokybės vertinimas. Nekokybiškai atlikti darbai yra svarbiausias rodiklis, vertinant statybos procesų riziką. Taisant nekokybiškai atliktus darbus uždelsiamas laikas, ir tai kainuoja. Tokios išlaidos kai kuriais atvejais

gali viršyti ir sutarties sumą. Netinkami valdymo sprendimai ir netinkama darbų kokybė kainuoja, ir tam reikia daug laiko;

d) *statybos rizika*. Šią riziką sudaro netinkami pastato konstrukciniai sprendimai ir neatitikimai projektinėje dokumentacijoje;

d) *technologijų rizika*. Ši rizikos rūšis apima projektuotojų klaidas, netinkamą technologijų ir technologinių sprendimų taikymą, netinkamą išteklių naudojimą bei valdymą.

3. Vidinė rizika (vidaus rodikliai):

a) *išteklių rizika*. Medžiagų ir kitų išteklių rizika yra svarbiausia vertinant vidaus rizikos rodiklius statybos objektuose;

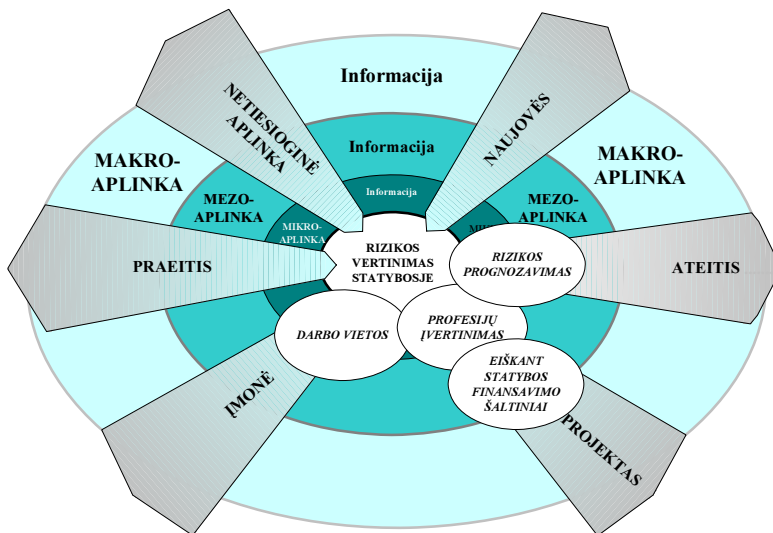
b) *procesų dalyvių rizika*. Ši rizika siejama su procesų komandos dalyviais, daro įtaką pastato kokybei ir kitiems rodikliams. Procesų komandos rizika gali būti aprašoma dalyvių žinių, bendradarbiavimo, motyvacijos, komunikavimo tarp proceso dalyvių rodikliais. Kai kurie iš jų pateikiami toliau:

- *užsakovo rizika* aprašoma rizikos rodikliais tvirtinant pastato projektą, parenkant ir kontroliuojant rangovą, subrangovus ar tiekėjus. Užsakovo įtaką išorės aplinkai tyrė Mitkus, Šostak (2008);
- *architektūros sprendimų rizika*. Architektūros sprendimai dažnai būna nesuderinti su konstrukciniais arba statybos technologiniais sprendimais. Šis nesuderinamumas dažniausiai sprendžiamas ieškant alternatyvių sprendimo būdų pagal esamą situaciją. Ši rizika visuomet susijusi su tam tikromis išlaidomis;
- *rangovo rizika*. Šis aspektas svarbus tuo, kad kituose statybos etapuose padarytų klaidų taisymas ir atsakomybė kartais tenka rangovui. Todėl svarbu, kad visi keliami reikalavimai būtų laiku pastebėti ir priimami atitinkami sprendimai visuose statybos etapuose;
- *tiekejo rizika* susijusi su jo gaminama ir tiekiamą statybos medžiagų ar įrangos produkcija, jos kokybe ir garantiniais reikalavimais;
- *statybos projekto komandos rizika* susijusi su priimamais sprendimais. Dirbdama komanda tiria verslo aktyvumą ir nustato galimus rizikos veiksnius (Gunstone 2003; Li, Liao, 2007; Li *et al.* 2007). Didžiausią rizikos dalis komandoje tenka jos pastato statybos vadovui (Zavadskas *et al.* 2008a);

c) *statybos vietos rizika*. Statybos vietos rizika nusakome iš anksto parengtame darbo vietos saugos priemonių plane.

4. *Dokumentų ir informacijos rizika* apima neatitikimus ir klaidas dokumentacijoje, aplaidumą teisinėje ir komunikavimo sistemoje. Pakeitimai arba derinimai, delsiami sprendimai yra rizikos rodikliai. Bendravimas yra labai svarbus visuose statybos procesų etapuose net ir pasibaigus statybos darbams. Didžiausia šios rizikos dalis tenka rangovams.

Rizika statybos procesuose turėtų būti vertinama makro-, mezo- ir mikroaplinkose bei visuose pastato statybos etapuose. Rizikos vertinimo būdas ir apimtis, vertinimo rodikliai priklauso nuo vertinamo statybos etapo. Praktikoje statybų rizika vertinama ir dokumentais. Fiksuojama tik keletas atvejų (3.4 pav.): pirmu atveju, prašant paskolos iš banko statybos finansavimui, riziką vertina bankas; antru, draudžiant statybos aikštelę ir rangovo atliekamus darbus, riziką vertina draudimo bendrovė; trečiu, vertinant darbuotojų, dirbančių statybos įmonėje, pareigybių riziką. Šiuo atveju vertinama darbus atliekanti įmonė.



3.4 pav. Rizikos vertinimas statybos sektoriuje
Fig. 3.4. Risk assessment in construction sector

Mažinant statybos valdymo ir pastato statybos riziką būtina vertinti ir bendrą ir detalai kiekvieno statybos etapo riziką.

3.2. Bendros rizikos statybos objektuose vertinimas daugiatislio vertinimo metodais

Statybos projektų rizikai vertinti pasirinkti 5 nesudėtingi statybos objektai. Šie objektai yra skirtingos architektūros, konstrukcijų, statybos technologijų, architektūrinių sprendimų, skirtingo aukštingumo ir skirtingose Vilniaus miesto vietose statomi pastatai. Pagal sudarytą rodiklių sistemą statybos objektus įvertino trys ekspertai. Vertinimo duomenys pateikti pradinėje sprendimų priėmimo matricoje X , kuri pateikta 3.1 lentelėje. Čia q_j yra rodiklių reikšmingumai, o alternatyvos (šiuo atveju vertinami statybos objektai), žymimos $v_1, \dots, v_5$.

Rodiklių reikšmingumams nustatyti taikomas ekspertinis metodas (Zavadskas 1987). Rodiklių reikšmingumų reikšmės nustatytos apklausiant ekspertus. Apklauso anketa pateikta A priede. Kiekvienas rodiklis buvo vertinamas nuo 1 iki 13, čia reikšmė 13 reiškia „labai svarbu“, o reikšmė 1 – „nesvarbu“. Rodiklių reikšmingumų reikšmių nustatymas pateiktas F priedo 1 dalyje. 3.1 lentelėje pateikti rodiklių reikšmingumai ir rodiklių pradinės reikšmės. 3.1 poskyryje aprašyti rodikliai, pagal statybos objektų rizikos sritis žymimi $\otimes x_1, \otimes x_2, \dots, \otimes x_n$:

1. Išorinei rizikai vertinti:

- $\otimes x_1$ – politinės,
- $\otimes x_2$ – ekonominės,
- $\otimes x_3$ – socialinės,
- $\otimes x_4$ – orų.

2. Procesų rizikai vertinti:

- $\otimes x_5$ – laiko,
- $\otimes x_6$ – išlaidų,
- $\otimes x_7$ – kokybės,
- $\otimes x_8$ – technologijų,
- $\otimes x_9$ – statybos.

3. Vidinei rizikai verti:

- $\otimes x_{10}$ – išlaidų,
- $\otimes x_{11}$ – statybos dalyvių,
- $\otimes x_{12}$ – vietos,
- $\otimes x_{13}$ – dokumentų ir komunikavimo.

Kiekvienas ekspertas rodiklių reikšmes vertina skaičių intervalu. Visa rizika turi būti mažinama, todėl visi riziką įvertinantys rodikliai yra minimizuojami.

3.2.1. Statybos objektų bendros rizikos vertinimas taikant daugiatikslio vertinimo TOPSIS metodą su minimaliomis rodiklių reikšmėmis

Daugiatikslio vertinimo TOPSIS skaičiavimo algoritmas ir matematinis aprašymas pateiktas 2.3.2 skirsnyje (Zavadskas *et al.* 2008i). Uždavinio formuluotė ir pradiniai duomenys aprašyti 3.2. skirsnyje. Uždavinys sprendžiamas dviem atvejais, kai nagrinėjamos rodiklių intervalų reikšmės yra didžiausios ir žemiausios ribos. Pradiniai duomenys abiem nagrinėjamais atvejais pateikti 3.1 lentelėje.

3.1 lentelė. Pradinių duomenų rodiklių reikšmės rizikai įvertinti**Table 3.1.** Initial decision making matrix of risk assessment

Rodiklis		1 ekspertas					
		Rodiklio reikšmingumas q_j	v_1	v_2	v_3	v_4	
$\otimes x_1$	$[\underline{x}_1; \bar{x}_1]$	min 0,05	[6,0; 7,0]	[6,5; 7,5]	[5,0; 5,5]	[6,0; 6,5]	
$\otimes x_2$	$[\underline{x}_2; \bar{x}_2]$	min 0,09	[6,0; 6,5]	[7,0; 7,5]	[5,0; 6,0]	[6,0; 7,0]	
$\otimes x_3$	$[\underline{x}_3; \bar{x}_3]$	min 0,06	[6,0; 6,5]	[5,0; 5,5]	[4,0; 5,0]	[5,5; 6,0]	
$\otimes x_4$	$[\underline{x}_4; \bar{x}_4]$	min 0,04	[4,5; 5,5]	[5,0; 6,5]	[5,5; 7,5]	[6,0; 6,5]	
$\otimes x_5$	$[\underline{x}_5; \bar{x}_5]$	min 0,09	[8,0; 8,5]	[8,5; 9,0]	[6,0; 6,5]	[7,0; 8,5]	
$\otimes x_6$	$[\underline{x}_6; \bar{x}_6]$	min 0,11	[7,0; 7,5]	[8,0; 8,5]	[4,5; 5,0]	[8,0; 8,5]	
$\otimes x_7$	$[\underline{x}_7; \bar{x}_7]$	min 0,12	[5,0; 5,5]	[6,0; 6,5]	[5,5; 7,0]	[4,0; 6,0]	
$\otimes x_8$	$[\underline{x}_8; \bar{x}_8]$	min 0,07	[2,0; 4,0]	[5,0; 6,5]	[4,5; 5,5]	[4,0; 6,5]	
$\otimes x_9$	$[\underline{x}_9; \bar{x}_9]$	min 0,09	[8,0; 9,0]	[7,5; 8,0]	[7,0; 8,5]	[5,0; 7,5]	
$\otimes x_{10}$	$[\underline{x}_{10}; \bar{x}_{10}]$	min 0,06	[7,0; 7,5]	[6,0; 7,5]	[5,0; 6,5]	[5,0; 6,5]	
$\otimes x_{11}$	$[\underline{x}_{11}; \bar{x}_{11}]$	min 0,11	[5,0; 6,5]	[7,0; 8,0]	[5,5; 6,0]	[6,0; 7,5]	
$\otimes x_{12}$	$[\underline{x}_{12}; \bar{x}_{12}]$	min 0,04	[7,0; 7,5]	[4,0; 5,5]	[6,0; 6,5]	[5,0; 6,0]	
$\otimes x_{13}$	$[\underline{x}_{13}; \bar{x}_{13}]$	min 0,07	[5,0; 6,0]	[3,0; 4,5]	[6,0; 7,0]	[6,0; 6,5]	

3.1 lentelės tęsinys 1
Continue 1 of the Table 3.1.

2 ekspertas			
v_1	v_2	v_3	v_4
[7,0; 8,0]	[7,5; 8,0]	[6,5; 8,5]	[7,0; 8,0]
[7,0; 8,5]	[7,5; 8,5]	[6,0; 7,0]	[6,5; 7,0]
[8,0; 8,5]	[6,5; 7,5]	[5,5; 6,5]	[8,0; 8,5]
[4,0; 5,0]	[4,5; 5,0]	[6,5; 7,0]	[6,5; 7,5]
[4,0; 5,0]	[6,0; 6,5]	[7,0; 7,5]	[5,0; 7,0]
[6,0; 6,5]	[7,0; 7,5]	[5,0; 5,5]	[7,5; 8,0]
[4,5; 5,5]	[5,5; 7,5]	[7,5; 8,0]	[5,0; 6,5]
[4,0; 5,5]	[4,0; 6,0]	[4,0; 5,5]	[3,5; 5,0]
[7,0; 8,5]	[6,5; 7,0]	[7,5; 9,0]	[6,0; 7,0]
[4,5; 6,5]	[7,5; 8,0]	[6,5; 7,5]	[7,0; 8,0]
[4,0; 5,0]	[7,0; 7,5]	[5,0; 5,5]	[6,5; 7,0]
[5,0; 5,5]	[7,0; 8,0]	[7,0; 7,5]	[8,0; 8,5]
[4,0; 5,0]	[4,5; 5,0]	[6,5; 7,5]	[4,5; 5,0]

3.1 lentelės tęsinys 2
Continue 2 of the Table 3.1.

3 ekspertas			
v_1	v_2	v_3	v_4
[7,5; 8,5]	[6,0; 8,0]	[6,5; 8,0]	[7,5; 9,0]
[6,5; 8,0]	[4,0; 5,5]	[5,5; 6,0]	[7,0; 7,5]
[7,0; 8,5]	[7,0; 8,0]	[5,5; 6,5]	[5,5; 6,5]
[4,5; 5,0]	[5,5; 6,0]	[5,5; 7,0]	[8,0; 8,5]
[6,5; 7,0]	[6,0; 7,0]	[5,5; 6,5]	[6,0; 7,0]
[8,0; 9,0]	[7,0; 8,0]	[5,0; 6,0]	[7,5; 8,5]
[7,0; 7,5]	[4,0; 5,0]	[6,5; 7,5]	[6,0; 7,0]
[4,0; 4,5]	[5,5; 6,5]	[3,5; 6,0]	[6,0; 5,0]
[6,0; 8,0]	[7,0; 7,5]	[6,5; 7,0]	[7,0; 7,5]
[5,0; 6,0]	[7,5; 8,0]	[6,5; 8,0]	[7,0; 7,5]
[5,0; 6,0]	[6,5; 7,0]	[6,0; 6,5]	[6,5; 7,0]
[7,0; 8,0]	[5,0; 6,0]	[6,5; 7,0]	[6,0; 6,5]
[4,0; 5,0]	[4,5; 5,5]	[5,0; 5,5]	[7,0; 7,5]

Minimalios reikšmės atitinkamai intervale pradinių duomenų lentelėje žymimos $\underline{x}_{ij}$, o maksimalios reikšmės – $\bar{x}_{ij}$.

Pirmu etapu sprendžiamas bendros rizikos vertinimo uždavinys, kai rodiklių reikšmės minimalios. Iš pradinių duomenų lentelės rizikai vertinti su minimaliomis reikšmėmis naudojamos $\underline{x}_{ij}$ pradinių duomenų reikšmės. Pagal (2.11), (2.12) ir (2.13) formules sudaroma normalizuota ir pasverta sprendimų priėmimo matrica. Sprendimų matrica su normalizuotomis minimaliomis reikšmėmis pateikti 3.2 lentelėje.

Pagal formules (2.14) ir (2.15) nustatomos kiekvieno eksperto vertinimų idealiai geriausios ir idealiai blogiausios alternatyvos:

$$A_1^+ = [0,014; 0,026; 0,018; 0,011; 0,026; 0,032; 0,035; 0,021; 0,026; 0,018; 0,033; 0,013; 0,020];$$

$$A_1^- = [0,011; 0,019; 0,012; 0,009; 0,018; 0,019; 0,023; 0,014; 0,016; 0,013; 0,023; 0,007; 0,013].$$

$$A_2^+ = [0,013; 0,025; 0,017; 0,012; 0,029; 0,032; 0,040; 0,018; 0,025; 0,018; 0,034; 0,012; 0,023];$$

$$A_2^- = [0,012; 0,020; 0,012; 0,007; 0,016; 0,022; 0,024; 0,016; 0,022; 0,011; 0,020; 0,007; 0,014];$$

$$A_3^+ = [0,014; 0,027; 0,017; 0,014; 0,024; 0,032; 0,036; 0,022; 0,024; 0,017; 0,030; 0,011; 0,024];$$

$$A_3^- = [0,011; 0,016; 0,012; 0,008; 0,021; 0,020; 0,020; 0,013; 0,020; 0,012; 0,023; 0,011; 0,014].$$

Apskaičiuojami atstumai tarp lyginamo i -tojo ir idealiai geriausio varianto, naudojant (2.16) formulę:

$$L_1^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{13} (\hat{r}_i - r_1^+)^2 + \dots + (\hat{r}_{13} - r_{13}^+)^2} = \sqrt{(0,013 - 0,014)^2 + \dots + (0,016 - 0,020)^2} = 0,0145;$$

$$L_1^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{13} (\hat{r}_i - r_1^-)^2 + \dots + (\hat{r}_{13} - r_{13}^-)^2} = \sqrt{(0,013 - 0,011)^2 + \dots + (0,016 - 0,013)^2} = 0,0202.$$

3.2 lentelė. Normalizuotos ir pasvertos pradinių duomenų sprendimų priėmimo rodiklių reikšmės rizikai įvertinti su minimaliomis reikšmėmis

Table 3.2. Normalized and wieghted initial decion making matrix of risk assessment with minimal values

Statybos objektų rizika	Rodiklis	Rodiklio reikšmingumas q_j							
		1 ekspertas				v_1	v_2	v_3	v_4
Išorinė	<i>Politinė</i>	$\otimes x_1$	$[\underline{x}_1; \bar{x}_1]$	min	0,05	0,013	0,014	0,010	0,012
	<i>Ekonominė</i>	$\otimes x_2$	$[\underline{x}_2; \bar{x}_2]$	min	0,09	0,022	0,025	0,020	0,023
	<i>Socialinė</i>	$\otimes x_3$	$[\underline{x}_3; \bar{x}_3]$	min	0,06	0,017	0,014	0,013	0,016
	<i>Orų</i>	$\otimes x_4$	$[\underline{x}_4; \bar{x}_4]$	min	0,04	0,008	0,010	0,012	0,010
Procesų	<i>Laiko</i>	$\otimes x_5$	$[\underline{x}_5; \bar{x}_5]$	min	0,09	0,024	0,025	0,018	0,024
	<i>Išlaidų</i>	$\otimes x_6$	$[\underline{x}_6; \bar{x}_6]$	min	0,11	0,028	0,032	0,019	0,032
	<i>Kokybės</i>	$\otimes x_7$	$[\underline{x}_7; \bar{x}_7]$	min	0,12	0,026	0,031	0,034	0,029
	<i>Technologijų</i>	$\otimes x_8$	$[\underline{x}_8; \bar{x}_8]$	min	0,07	0,012	0,020	0,017	0,020
	<i>Statybos</i>	$\otimes x_9$	$[\underline{x}_9; \bar{x}_9]$	min	0,09	0,025	0,022	0,023	0,020
Vidaus	<i>Ištekliai</i>	$\otimes x_{10}$	$[\underline{x}_{10}; \bar{x}_{10}]$	min	0,06	0,017	0,016	0,014	0,014
	<i>Statybos dalyvių</i>	$\otimes x_{11}$	$[\underline{x}_{11}; \bar{x}_{11}]$	min	0,11	0,026	0,031	0,024	0,029
	<i>Vietos</i>	$\otimes x_{12}$	$[\underline{x}_{12}; \bar{x}_{12}]$	min	0,04	0,012	0,009	0,010	0,009
	<i>Dokumentų ir komunikavimo</i>	$\otimes x_{13}$	$[\underline{x}_{13}; \bar{x}_{13}]$	min	0,07	0,018	0,013	0,020	0,019

3.2 lentelės tęsinys 1
Continue 1 of the Table 3.2.

Rodiklis Rodiklio reikšmingumas q_j				2 ekspertas				3 ekspertas			
				v_1	v_2	v_3	v_4	v_1	v_2	v_3	v_4
$\otimes x_1$	$[x_1; \bar{x}_1]$	min	0,05	0,012	0,012	0,013	0,012	0,013	0,012	0,012	0,013
$\otimes x_2$	$[x_2; \bar{x}_2]$	min	0,09	0,024	0,025	0,021	0,021	0,025	0,019	0,020	0,025
$\otimes x_3$	$[x_3; \bar{x}_3]$	min	0,06	0,016	0,015	0,013	0,016	0,017	0,016	0,013	0,013
$\otimes x_4$	$[x_4; \bar{x}_4]$	min	0,04	0,008	0,008	0,011	0,012	0,008	0,009	0,011	0,013
$\otimes x_5$	$[x_5; \bar{x}_5]$	min	0,09	0,017	0,023	0,026	0,024	0,023	0,024	0,021	0,023
$\otimes x_6$	$[x_6; \bar{x}_6]$	min	0,11	0,026	0,030	0,022	0,032	0,031	0,028	0,021	0,030
$\otimes x_7$	$[x_7; \bar{x}_7]$	min	0,12	0,024	0,033	0,035	0,028	0,033	0,022	0,033	0,031
$\otimes x_8$	$[x_8; \bar{x}_8]$	min	0,07	0,018	0,019	0,018	0,016	0,014	0,021	0,019	0,016
$\otimes x_9$	$[x_9; \bar{x}_9]$	min	0,09	0,024	0,020	0,026	0,020	0,024	0,023	0,021	0,023
$\otimes x_{10}$	$[x_{10}; \bar{x}_{10}]$	min	0,06	0,013	0,016	0,015	0,016	0,012	0,017	0,016	0,015
$\otimes x_{11}$	$[x_{11}; \bar{x}_{11}]$	min	0,11	0,022	0,033	0,024	0,031	0,025	0,029	0,027	0,029
$\otimes x_{12}$	$[x_{12}; \bar{x}_{12}]$	min	0,04	0,007	0,011	0,010	0,012	0,012	0,009	0,010	0,009
$\otimes x_{13}$	$[x_{13}; \bar{x}_{13}]$	min	0,07	0,016	0,016	0,023	0,016	0,015	0,016	0,016	0,022

Analogiškai apskaičiuojamos L_2^+ , L_2^- ir L_3^+ , L_3^- reikšmės, skaičiavimų rezultatai pateikti 3.3 lentelėje.

3.3 lentelė. Apskaičiuotos idealiai geriausios L_i^+ ir idealiai blogiausios L_i^- reikšmės ir santykiniai atstumai iki idealaus

Table 3.3 Calculation the best distance of ideal L_i^+ and the bad distance L_i^- values to ideal solution

Objekto Nr.	Apskaičiuotos idealiai geriausios L_i^+ ir idealiai blogiausios L_i^- reikšmės						Santykiniis atstumas iki idealaus
	L_1^+	L_1^-	L_2^+	L_2^-	L_3^+	L_3^-	
v_1	0,0145	0,0202	0,2258	0,0084	0,2059	0,0213	0,237
v_2	0,0103	0,0256	0,2255	0,0210	0,2001	0,0156	0,290
v_3	0,0210	0,0157	0,2305	0,0197	0,2078	0,0168	0,194
v_4	0,0185	0,0157	0,2291	0,0201	0,1980	0,0217	0,213

Toliau pagal (2.18) formulę apskaičiuojamas kiekvieno eksperto, kiekvieno i -tojo varianto santykinis atstumas iki idealaus sprendinio:

$$C_{11} = \frac{0,0202}{0,0145 + 0,0202} = 0,582; \quad C_{12} = \frac{0,0084}{0,2285 + 0,0084} = 0,035;$$

$$C_{13} = \frac{0,0213}{0,2059 + 0,0213} = 0,094.$$

Analogiškai apskaičiuojamos kitų objektų C_i reikšmės: $C_{21} = 0,713$; $C_{22} = 0,085$; $C_{23} = 0,072$; $C_{31} = 0,427$; $C_{32} = 0,079$; $C_{33} = 0,075$; $C_{14} = 0,458$; $C_{24} = 0,081$; $C_{34} = 0,099$.

Bendras kiekvieno i -tojo varianto santykinis atstumas iki idealaus $C_i = (0,582 + 0,035 + 0,094)/3 = 0,237$. Skaičiavimų rezultatai pateikti 3.3 lentelėje.

Pagal formulę (2.19) apskaičiuojamas racionalumo indeksas:

$$Z_{T1} = \frac{C_1}{\max C_1} = 0,817.$$

Analogiškai pirmajam apskaičiuojami kitų alternatyvų racionalumo indeksai $Z_{T2} = 1,000$; $Z_{T2} = 0,667$; $Z_{T3} = 0,733$. Pagal apskaičiuotus rezultatus sudaroma bendros statybos objektų rizikos su minimaliomis reikšmėmis prioritetų eilutė: $v_2 \succ v_1 \succ v_4 \succ v_3$. Pagal šią prioritetų eilę pirmiausia reiktų rinkti variantą v_2 .

3.2.2. Statybos objektų bendros rizikos vertinimas taikant daugiakriterio vertinimo TOPSIS metodą su maksimaliomis rodiklių reikšmėmis

Antru etapu sprendžiamas bendros rizikos vertinimo uždavinys, kai rodiklių reikšmės maksimalios. Iš pradinių duomenų lentelės rizikai vertinti su minimaliomis reikšmėmis naudojamos $\bar{x}_{ij}$ pradinių duomenų reikšmės. Pagal (2.11) (2.12) ir (2.13) formules sudaroma normalizuota ir pasverta sprendimų priėmimo matrica. Sprendimų matrica su normalizuotomis minimaliomis reikšmėmis pateikti 3.4 lentelėje.

Pagal formules (2.14) ir (2.15) nustatomos kiekvieno eksperto vertinimų idealiai geriausios ir idealiai blogiausios alternatyvos:

$$A_1^+ = [0,014; 0,025; 0,017; 0,012; 0,025; 0,032; 0,034; 0,020; 0,025; 0,017; 0,026; 0,012; 0,018];$$

$$A_1^- = [0,010; 0,020; 0,013; 0,010; 0,018; 0,019; 0,026; 0,012; 0,020; 0,014; 0,024; 0,009; 0,013];$$

$$A_2^+ = [0,013; 0,025; 0,016; 0,012; 0,026; 0,032; 0,035; 0,019; 0,026; 0,016; 0,033; 0,012; 0,023];$$

$$A_2^- = [0,012; 0,021; 0,013; 0,008; 0,017; 0,022; 0,024; 0,016; 0,020; 0,013; 0,022; 0,007; 0,016];$$

$$A_3^+ = [0,013; 0,025; 0,017; 0,013; 0,024; 0,031; 0,033; 0,021; 0,024; 0,017; 0,029; 0,012; 0,022];$$

$$A_3^- = [0,012; 0,019; 0,013; 0,008; 0,021; 0,021; 0,022; 0,014; 0,021; 0,012; 0,025; 0,009; 0,015].$$

Apskaičiuojami atstumai tarp lyginamo i -tojo ir idealiai geriausio varianto, naudojant (2.16) formulę:

$$L_1^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{13} (\hat{r}_1 - r_1^+)^2 + \dots + (\hat{r}_{13} - r_{13}^+)^2} = \sqrt{(0,013 - 0,014)^2 + \dots + (0,018 - 0,018)^2} = 0,0210;$$

$$L_1^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{13} (\hat{r}_1 - r_1^-)^2 + \dots + (\hat{r}_{13} - r_{13}^-)^2} = \sqrt{(0,013 - 0,010)^2 + \dots + (0,018 - 0,013)^2} = 0,0137.$$

3.4 lentelė. Normalizuotos ir pasvertos pradinų duomenų sprendimų priėmimo rodiklių reikšmės rizikai įvertinti TOPSIS metodu su maksimaliomis rodiklių reikšmėmis

Table 3.4. Normalized and wighted initial decion making matrix for risk assessment by TOPSIS method with minimal values

Statybos objektų rizika	Rodiklis	Rodiklio reikšmingumas q_j				1 ekspertas			
						v_1	v_2	v_3	v_4
Išorinė	<i>Politinė</i>	$\otimes x_1$	$[\underline{x}_1; \bar{x}_1]$	min	0,05	0,013	0,014	0,011	0,013
	<i>Ekonominė</i>	$\otimes x_2$	$[\underline{x}_2; \bar{x}_2]$	min	0,09	0,023	0,026	0,019	0,023
	<i>Socialinė</i>	$\otimes x_3$	$[\underline{x}_3; \bar{x}_3]$	min	0,06	0,018	0,015	0,012	0,016
	<i>Orų</i>	$\otimes x_4$	$[\underline{x}_4; \bar{x}_4]$	min	0,04	0,009	0,010	0,010	0,011
Procesų	<i>Laiko</i>	$\otimes x_5$	$[\underline{x}_5; \bar{x}_5]$	min	0,09	0,024	0,026	0,018	0,021
	<i>Išlaidų</i>	$\otimes x_6$	$[\underline{x}_6; \bar{x}_6]$	min	0,11	0,030	0,032	0,019	0,030
	<i>Kokybės</i>	$\otimes x_7$	$[\underline{x}_7; \bar{x}_7]$	min	0,12	0,029	0,035	0,032	0,023
	<i>Technologijų</i>	$\otimes x_8$	$[\underline{x}_8; \bar{x}_8]$	min	0,07	0,014	0,021	0,019	0,016
	<i>Statybos</i>	$\otimes x_9$	$[\underline{x}_9; \bar{x}_9]$	min	0,09	0,026	0,025	0,023	0,016
Vidaus	<i>Ištekliai</i>	$\otimes x_{10}$	$[\underline{x}_{10}; \bar{x}_{10}]$	min	0,06	0,018	0,015	0,013	0,015
	<i>Statybos dalyvių</i>	$\otimes x_{11}$	$[\underline{x}_{11}; \bar{x}_{11}]$	min	0,11	0,023	0,033	0,026	0,028
	<i>Vietos</i>	$\otimes x_{12}$	$[\underline{x}_{12}; \bar{x}_{12}]$	min	0,04	0,013	0,007	0,011	0,009
	<i>Dokumentų ir komunikavimo</i>	$\otimes x_{13}$	$[\underline{x}_{13}; \bar{x}_{13}]$	min	0,07	0,016	0,013	0,021	0,020

3.4 lentelės. tęsinys 1
Continue 1 of the Table 3.4.

Rodiklis				2 ekspertas				3 ekspertas			
Rodiklio reikšmingumas q_j				v_1	v_2	v_3	v_4	v_1	v_2	v_3	v_4
$\otimes x_1$	$[\underline{x}_1; \bar{x}_1]$	min	0,05	0,013	0,013	0,012	0,013	0,014	0,011	0,012	0,014
$\otimes x_2$	$[\underline{x}_2; \bar{x}_2]$	min	0,09	0,023	0,025	0,020	0,022	0,025	0,016	0,022	0,027
$\otimes x_3$	$[\underline{x}_3; \bar{x}_3]$	min	0,06	0,017	0,014	0,012	0,017	0,017	0,017	0,012	0,013
$\otimes x_4$	$[\underline{x}_4; \bar{x}_4]$	min	0,04	0,007	0,008	0,012	0,012	0,008	0,009	0,009	0,014
$\otimes x_5$	$[\underline{x}_5; \bar{x}_5]$	min	0,09	0,016	0,025	0,029	0,020	0,024	0,023	0,021	0,023
$\otimes x_6$	$[\underline{x}_6; \bar{x}_6]$	min	0,11	0,026	0,030	0,022	0,032	0,032	0,028	0,020	0,030
$\otimes x_7$	$[\underline{x}_7; \bar{x}_7]$	min	0,12	0,024	0,029	0,040	0,027	0,036	0,020	0,033	0,031
$\otimes x_8$	$[\underline{x}_8; \bar{x}_8]$	min	0,07	0,018	0,018	0,018	0,016	0,015	0,020	0,013	0,022
$\otimes x_9$	$[\underline{x}_9; \bar{x}_9]$	min	0,09	0,023	0,022	0,025	0,020	0,020	0,024	0,022	0,024
$\otimes x_{10}$	$[\underline{x}_{10}; \bar{x}_{10}]$	min	0,06	0,011	0,018	0,015	0,016	0,012	0,017	0,015	0,016
$\otimes x_{11}$	$[\underline{x}_{11}; \bar{x}_{11}]$	min	0,11	0,020	0,034	0,024	0,032	0,023	0,030	0,028	0,030
$\otimes x_{12}$	$[\underline{x}_{12}; \bar{x}_{12}]$	min	0,04	0,007	0,010	0,010	0,012	0,011	0,008	0,011	0,010
$\otimes x_{13}$	$[\underline{x}_{13}; \bar{x}_{13}]$	min	0,07	0,014	0,016	0,023	0,016	0,014	0,015	0,017	0,024

Analogiškai apskaičiuojamos L_2^+ , L_2^- ir L_3^+ , L_3^- reikšmės. Skaičiavimų rezultatai pateikti 3.5 lentelėje.

3.5 lentelė. Apskaičiuotos idealiai geriausios L_i^+ ir idealiai blogiausios L_i^- reikšmės ir santykiniai atstumai iki idealaus

Table 3.5 Calculation the best distance of ideal L_i^+ and the bad distance L_i^- values to ideal solution

Objekto Nr.	Apskaičiuotos idealiai geriausios L_i^+ ir idealiai blogiausios L_i^- reikšmės						Santykiniis atstumas iki idealaus C_i
	L_1^+	L_1^-	L_2^+	L_2^-	L_3^+	L_3^-	
v_1	0,0210	0,0137	0,2280	0,0080	0,2251	0,0178	0,167
v_2	0,0144	0,0191	0,2253	0,0188	0,2349	0,0126	0,232
v_3	0,0287	0,0128	0,2305	0,0176	0,2291	0,0136	0,145
v_4	0,0261	0,0163	0,2288	0,0171	0,2227	0,0177	0,176

Apskaičiuojamas kiekvienos alternatyvos santykinis atstumas iki idealios C_i :

$$C_{11} = \frac{0,0210}{0,0210 + 0,0210} = 0,394; \quad C_{13} = \frac{0,0178}{0,2251 + 0,0178} = 0,073.$$

$$C_{12} = \frac{0,0080}{0,2280 + 0,0080} = 0,034;$$

Analogiškai apskaičiuojamos kitų objektų C_i reikšmės: $C_{21} = 0,569$; $C_{22} = 0,077$; $C_{23} = 0,051$; $C_{31} = 0,309$; $C_{32} = 0,071$; $C_{33} = 0,056$; $C_{14} = 0,384$; $C_{24} = 0,070$; $C_{34} = 0,074$.

Bendras kiekvieno i -tojo varianto santykinis atstumas iki idealaus $C_1 = (0,394 + 0,034 + 0,073)/3 = 0,167$. Skaičiavimų rezultatai pateikti 3.5 lentelėje.

Pagal formulę (2.19) apskaičiuojamas vertinamų alternatyvų racionalumo indeksas:

$$Z_{T1} = \frac{C_1}{\max C_i} = \frac{0,167}{0,232} = 0,719.$$

Analogiškai apskaičiuojami kitų objektų racionalumo indeksai $Z_{T2} = 1,000$; $Z_{T2} = 0,625$; $Z_{T3} = 0,756$. Pagal apskaičiuotus rezultatus sudaroma bendros objektų rizikos su minimaliomis reikšmėmis prioritetų eilutė: $v_2 \succ v_1 \succ v_4 \succ v_3$.

3.2.3. Bendros rizikos vertinimas taikant daugiatikslio vertinimo TOPSIS „grey“ metodą

Vertinimo uždaviniui spręsti naudojami pradiniai duomenys, pateikti 3.1 lentelėje. Pagal formules (2.34), (2.35) ir (2.36) sudaroma normalizuota ir pasverta $\otimes \hat{X}$ matrica (3.6 lentelė). Iš 3.6 lentelės nustatomos kiekvieno eksperto vertinimų idealiai geriausių ir idealiai blogiausių alternatyvų reikšmės:

$$A_1^+ = [1,0; 1,0; 1,0; 1,0; 1,0; 1,0; 1,0; 1,0; 1,0; 1,0; 1,0; 1,0; 1,0];$$

$$A_1^- = [0,50; 0,50; 0,38; 0,56; 0,50; 0,11; 0,25; 0,14; 0,20; 0,40; 0,40; 0,13; 0,25];$$

$$A_2^+ = [1,0; 1,0; 1,0; 1,0; 1,0; 0,90; 1,0; 1,0; 0,92; 1,0; 1,0; 1,0; 1,0];$$

$$A_2^- = [0,69; 0,58; 0,45; 0,13; 0,13; 0,40; 0,22; 0,29; 0,50; 0,22; 0,13; 0,30; 0,13];$$

$$A_3^+ = [1,0; 1,0; 1,0; 1,0; 1,0; 0,90; 1,0; 1,0; 0,92; 1,0; 1,0; 1,0; 1,0];$$

$$A_3^- = [0,50; 0,13; 0,30; 0,11; 0,64; 0,20; 0,13; 0,14; 0,67; 0,30; 0,60; 0,40; 0,13].$$

Tuomet nustatomi pasverti Minkowskio atstumai tarp kiekvieno objekto geriausios objekto alternatyvos A_i^{1+} , d_i^{1+} ir blogiausios objekto alternatyvos A_i^{1-} , d_i^{1-} , apskaičiuojamos pagal (2.41) ir (2.42) formules:

$$d_1^{1+} = \left\{ \frac{1}{2} (0,05) \left((1-0,8)^2 + (1-0,6)^2 \right) + (0,09) \left((1-0,8)^2 + (1-0,7)^2 \right) + \dots \right. \\ \left. (0,07) \left((1-0,75)^2 + (1-0,5)^2 \right) \right\}^{1/2} = 0,45 \text{ ir} \\ d_1^{1-} = \left\{ \frac{1}{2} (0,05) \left((0,5-0,8)^2 + (0,5-0,6)^2 \right) + (0,09) \left((0,5-0,8)^2 + (0,5-0,7)^2 \right) + \dots \right. \\ \left. (0,07) \left((0,25-0,75)^2 + (0,25-0,5)^2 \right) \right\}^{1/2} = 0,51.$$

3.6 lentelė. Normalizuotos pradinių duomenų sprendimų priėmimo rodiklių reikšmės rizikai įvertinti TOPSIS „grey“ metodu

Table 3.6. Normalized and wighted initial decion making matrix for risk assessment by TOPSIS „grey“ method

Rodiklis				I ekspertas			
Rodiklio reikšmingumas q_j				v_1	v_2	v_3	v_4
$\otimes x_1$	$[\underline{x}_1; \bar{x}_1]$	min	0,05	[0,80; 0,60]	[0,92; 0,50]	[1,00; 0,90]	[0,80; 0,70]
$\otimes x_2$	$[\underline{x}_2; \bar{x}_2]$	min	0,09	[0,80; 0,70]	[0,60; 0,50]	[1,00; 0,80]	[0,80; 0,60]
$\otimes x_3$	$[\underline{x}_3; \bar{x}_3]$	min	0,06	[0,50; 0,38]	[0,75; 0,63]	[1,00; 0,75]	[0,63; 0,50]
$\otimes x_4$	$[\underline{x}_4; \bar{x}_4]$	min	0,04	[1,00; 0,78]	[0,89; 0,56]	[0,78; 0,73]	[0,67; 0,78]
$\otimes x_5$	$[\underline{x}_5; \bar{x}_5]$	min	0,09	[0,67; 0,58]	[0,58; 0,50]	[1,00; 0,92]	[0,83; 0,58]
$\otimes x_6$	$[\underline{x}_6; \bar{x}_6]$	min	0,11	[0,44; 0,33]	[0,33; 0,11]	[1,00; 0,89]	[0,44; 0,11]
$\otimes x_7$	$[\underline{x}_7; \bar{x}_7]$	min	0,12	[0,75; 0,63]	[0,50; 0,38]	[0,63; 0,25]	[1,00; 0,50]
$\otimes x_8$	$[\underline{x}_8; \bar{x}_8]$	min	0,07	[1,00; 0,86]	[0,57; 0,14]	[0,71; 0,43]	[0,86; 0,14]
$\otimes x_9$	$[\underline{x}_9; \bar{x}_9]$	min	0,09	[0,40; 0,20]	[0,50; 0,40]	[0,60; 0,30]	[1,00; 0,50]
$\otimes x_{10}$	$[\underline{x}_{10}; \bar{x}_{10}]$	min	0,06	[0,60; 0,40]	[0,80; 0,50]	[1,00; 0,70]	[0,80; 0,70]
$\otimes x_{11}$	$[\underline{x}_{11}; \bar{x}_{11}]$	min	0,11	[1,00; 0,70]	[0,60; 0,40]	[0,90; 0,80]	[0,80; 0,50]
$\otimes x_{12}$	$[\underline{x}_{12}; \bar{x}_{12}]$	min	0,04	[0,25; 0,13]	[1,00; 0,63]	[0,50; 0,38]	[0,86; 0,50]
$\otimes x_{13}$	$[\underline{x}_{13}; \bar{x}_{13}]$	min	0,07	[0,75; 0,50]	[1,00; 0,88]	[0,38; 0,25]	[0,50; 0,38]

3.6 lentelės tęsinys 1
Continue 1 of the Table 3.6

2 ekspertas		3 ekspertas						
Rodikliai	v_1	v_2	v_3	v_4	v_1	v_2	v_3	v_4
$\otimes x_1$	[0,92; 0,77]	[0,85; 0,92]	[1,00; 0,69]	[0,92; 0,77]	[0,75; 0,58]	[1,00; 0,67]	[0,92; 0,67]	[0,75; 0,50]
$\otimes x_2$	[0,83; 0,67]	[0,75; 0,58]	[1,00; 0,83]	[0,92; 0,83]	[0,38; 0,13]	[1,00; 0,63]	[0,63; 0,50]	[0,25; 0,13]
$\otimes x_3$	[0,55; 0,45]	[0,82; 0,64]	[1,00; 0,82]	[0,55; 0,45]	[0,60; 0,30]	[0,60; 0,40]	[1,00; 0,70]	[0,90; 0,70]
$\otimes x_4$	[1,00; 0,75]	[0,88; 0,75]	[0,38; 0,25]	[0,38; 0,13]	[1,00; 0,89]	[0,78; 0,67]	[0,78; 0,44]	[0,22; 0,11]
$\otimes x_5$	[1,00; 0,75]	[0,50; 0,38]	[0,25; 0,13]	[0,75; 0,25]	[0,82; 0,73]	[0,91; 0,64]	[1,00; 0,82]	[0,91; 0,73]
$\otimes x_6$	[0,80; 0,70]	[0,60; 0,50]	[0,55; 0,90]	[0,50; 0,40]	[0,40; 0,20]	[0,60; 0,40]	[1,00; 0,80]	[0,50; 0,30]
$\otimes x_7$	[1,00; 0,78]	[0,78; 0,33]	[0,33; 0,22]	[0,89; 0,56]	[0,25; 0,13]	[1,00; 0,75]	[0,38; 0,13]	[0,50; 0,25]
$\otimes x_8$	[0,86; 0,43]	[0,86; 0,29]	[0,86; 0,43]	[1,00; 0,57]	[0,86; 0,71]	[0,43; 0,14]	[1,00; 0,29]	[0,29; 0,57]
$\otimes x_9$	[0,83; 0,58]	[0,92; 0,83]	[0,75; 0,50]	[0,80; 0,82]	[1,00; 0,67]	[0,83; 0,75]	[0,92; 0,83]	[0,83; 0,75]
$\otimes x_{10}$	[1,00; 0,56]	[0,33; 0,22]	[0,56; 0,33]	[0,44; 0,22]	[1,00; 0,80]	[0,50; 0,30]	[0,70; 0,40]	[0,60; 0,50]
$\otimes x_{11}$	[1,00; 0,75]	[0,25; 0,13]	[0,75; 0,63]	[0,38; 0,25]	[1,00; 0,80]	[0,70; 0,60]	[0,80; 0,70]	[0,70; 0,60]
$\otimes x_{12}$	[1,00; 0,90]	[0,60; 0,40]	[0,60; 0,50]	[0,40; 0,30]	[0,60; 0,40]	[1,00; 0,80]	[0,70; 0,60]	[0,80; 0,70]
$\otimes x_{13}$	[1,00; 0,75]	[0,88; 0,75]	[0,38; 0,13]	[0,88; 0,75]	[1,00; 0,75]	[0,88; 0,63]	[0,75; 0,63]	[0,25; 0,13]

Analogiškai apskaičiuojama kiekviena d_i^{k+} ir d_i^{k-} reikšmė. Atitinkamai apskaičiuojamos kitų ekspertų (kai $k = 1 \sim 3$) d_i^{k+} ir d_i^{k-} reikšmės. Skaičiavimų rezultatai pateikti 3.7 lentelėje. Toliau pagal formules (2.45) ir (2.46) apskaičiuojamos bendros d_i^{*+} ir d_i^{*-} visų ekspertų d_i^{*+} ir d_i^{*-} reikšmės:

$$d_1^{*+} = \left(\prod_{k=1}^3 d_1^{k+} \right)^{1/3} = (0,449 \cdot 0,489 \cdot 0,513)^{1/3} = 0,484 \text{ ir}$$

$$d_1^{*-} = \left(\prod_{k=1}^3 d_1^{k-} \right)^{1/3} = (0,510 \cdot 0,637 \cdot 0,385)^{1/3} = 0,511.$$

Analogiškai apskaičiuojamos kitos d_i^{*+} ir d_i^{*-} reikšmės. Galiausiai pagal formulę (2.47) apskaičiuojama kiekvieno objekto C_i^{*+} reikšmė. Pavyzdyje pateikiami pirmojo objekto C_1^{*+} reikšmės skaičiavimai:

$$C_1^{*+} = \frac{d_1^{*-}}{d_1^{*+} + d_1^{*-}} = \frac{0,511}{0,484 + 0,511} = 0,514;$$

$$C_2^{*+} = \frac{d_2^{*-}}{d_2^{*+} + d_2^{*-}} = \frac{0,548}{0,548 + 0,548} = 0,395.$$

Analogiškai apskaičiuojamos kiekvieno objekto C_2^{*+} , C_3^{*+} ir C_4^{*+} reikšmės. Skaičiavimo rezultatai pateikti 3.8 lentelėje.

3.7 lentelė. Statybos objektų rizikos vertinimo rezultatai TOPSIS „grey“ metodu
Table 3.7. Risk assessment results of construction objects according TOPSIS “grey” method

Objektai	1 ekspertas		2 ekspertas		3 ekspertas		Vidurkis		C_i^{*+}
	d_i^{1+}	d_i^{1-}	d_i^{2+}	d_i^{2-}	d_i^{3+}	d_i^{3-}	d_i^{*+}	d_i^{*-}	
v_1	0,449	0,510	0,489	0,637	0,513	0,385	0,484	0,511	0,514
v_2	0,532	0,307	0,725	0,318	0,387	0,448	0,548	0,358	0,395
v_3	0,379	0,447	0,503	0,402	0,393	0,421	0,425	0,423	0,499
v_4	0,496	0,438	0,493	0,555	0,520	0,224	0,503	0,406	0,446

Pagal skaičiavimų rezultatus sudaroma bendros rizikos vertinimo prioritetų eilutė: $v_1 \succ v_3 \succ v_4 \succ v_2$. Skaičiavimo rezultatai rodo, kad mažiausiai rizikingas objektas 1, o rizikingiausias – objektas 2.

3.2.4. Bendros rizikos statybos objektuose vertinimas taikant daugiatislio vertinimo COPRAS metodą su minimaliomis reikšmėmis

Vertinant bendrą statybos objektų riziką COPRAS metodu naudojama metodika, aprašyta 2.3.3 skirsnyje. Rodiklių reikšmingumų reikšmės nustatytos apklausiant ekspertus. Apklausos anketa pateikta A priede. Rodiklių reikšmingumų reikšmių nustatymas pateiktas F priedo 1 dalyje. Uždavinio rodiklių reikšmingumai pradiniai duomenys pateikti 3.1 lentelėje.

Sprendžiamas bendros rizikos vertinimo uždavinys, kai rodiklių reikšmės minimalios. Minimalios reikšmės atitinkamai intervale pradinių duomenų lentelėje žymimos b_{ij} . Normalizuota ir pasverta sprendimų priėmimo matrica su normalizuotomis minimaliomis reikšmėmis apskaičiuota pagal (2.21) ir (2.22) formules ir pateikta 3.2 lentelėje.

Kadangi vertinant riziką visi rodikliai minimizuojami, tuomet $P_j = 0$.

Pagal formulę (2.24) skaičiuojamos kiekvieno eksperto vertinimų, kiekvienos pasvertos normalizuotos sprendimų priėmimo matricos eilutės (alternatyvos) reikšmės, kurių optimizavimo kryptis minimumas:

$$R_1 = 0,013 + 0,022 + 0,017 + \dots + 0,026 + 0,012 + 0,018 = 0,247.$$

Kitos apskaičiuotos reikšmės ir skaičiavimo rezultatai pateikti 3.8 lentelėje.

Tarp skaičiavimo rezultatų randama minimali R_j reikšmė. Pagal formulę (2.27) skaičiuojamas kiekvienos alternatyvos santykinis reikšmingumas Q :

$$Q_{11} = 0 + \frac{1}{0,247 \frac{1}{1}} = 4,051.$$

Analogiškai apskaičiuojamos kitos Q reikšmės.

3.8 lentelė. Skaičiavimo rezultatai vertinant minimalias alternatyvų reikšmės COPRAS metodu

Table 3.8. Results of construction objects risk assessment according to COPRAS method with minimal values

Objektas	Eilutės reikšmių suma			Santykinis reikšmingumas			Optimalumo rodiklis	Naudingumo laipsnis	Rangas
	R_1	R_2	R_3	Q_1	Q_2	Q_3	K	N	
v_1	0,247	0,228	0,252	4,051	4,393	3,968	4,393	100,00	1
v_2	0,262	0,260	0,245	3,812	3,849	4,089	4,089	93,08	3
v_3	0,233	0,257	0,241	4,285	3,898	4,151	4,285	97,55	2
v_4	0,257	0,256	0,263	3,884	3,906	3,809	3,906	88,90	4

Nustatomas optimalumo rodiklis K kiekvienai alternatyvai ir apskaičiuojamas kiekvienos alternatyvos naudingumo laipsnis N . Visi skaičiavimo rezultatai pateikti 3.8 lentelėje.

Pagal alternatyvų rangus sudaroma prioriteto eilutė: $v_1 \succ v_3 \succ v_2 \succ v_4$. Geriausia alternatyva yra pirmoji, o blogiausia – ketvirtoji.

3.2.5. Bendros rizikos vertinimas taikant daugiatikslio vertinimo COPRAS metodą su maksimaliomis reikšmėmis

Vertinant bendrą statybos objektų riziką COPRAS metodu pradiniai duomenys ir rodiklių reikšmingumai pateikti 3.1 lentelėje. Skaičiuoti taikoma metodika aprašyta 2 skyriaus 3.3 poskyryje.

Sprendžiamas bendros rizikos vertinimo uždavinys, kai rodiklių reikšmės maksimalios. Maksimalios reikšmės atitinkamai intervale pradinių duomenų lentelėje žymimos w_{ij} . Normalizuota ir pasverta sprendimų priėmimo matrica su normalizuotomis maksimaliomis reikšmėmis apskaičiuota pagal (2.21) ir (2.22) formules ir pateikta 3.4 lentelėje.

Kadangi vertinant riziką visi rodikliai minimizuojami, tuomet $P_j = 0$.

Pagal formulę (2.24) skaičiuojamos kiekvieno eksperto vertinimų, kiekvienos pasvertos normalizuotos sprendimų priėmimo matricos eilutės (alternatyvos) reikšmės, kurių optimizavimo kryptis minimumas:

$$R_1 = 0,013 + 0,023 + 0,018 + \dots + 0,023 + 0,013 + 0,016 = 0,255.$$

Skaičiavimo rezultatai pateikti 3.9 lentelėje. Tarp skaičiavimo rezultatų randa minimali R_j reikšmė.

3.9 lentelė. Skaičiavimo rezultatai vertinant maksimalias alternatyvų reikšmes COPRAS metodu

Table 3.9. Results of construction objects risk assessment according to COPRAS method with maximal values

Objektas	Eilutės reikšmių suma			Santykinis reikšmingumas			Optimalumo rodiklis	Naudingumo laipsnis	Rangas
	R_1	R_2	R_3	Q_1	Q_2	Q_3	K	N_j	
v_1	0,255	0,2200	0,251	3,919	4,546	3,990	4,546	100,00	1
v_2	0,270	0,2629	0,239	3,701	3,804	4,190	4,190	92,17	3
v_3	0,233	0,2622	0,234	4,294	3,814	4,275	4,294	94,46	2
v_4	0,242	0,2549	0,277	4,137	3,923	3,613	4,137	91,00	4

Pagal formulę (2.27) skaičiuojamas kiekvienos alternatyvos santykinis reikšmingumas Q .

$$Q_{11} = 0 + \frac{1}{0,255 \cdot \frac{1}{1}} = 3,919.$$

Analogiškai apskaičiuojamos kitos Q reikšmės. Nustatomas optimalumo rodiklis K ir apskaičiuojamas kiekvienos alternatyvos naudingumo laipsnis N . Visi skaičiavimo rezultatai pateikti 3.9 lentelėje. Pagal alternatyvų rangus sudaroma prioriteto eilutė: $v_1 \succ v_3 \succ v_2 \succ v_4$. Geriausia alternatyva v_1 , o blogiausia – v_4 .

3.2.6. Bendros rizikos vertinimas taikant daugiatikslio vertinimo COPRAS-G metodą

Sprendžiamas statybos objektų bendros rizikos vertinimo uždavinys, kai rodiklių reikšmės apibrėžtos intervalu. Normalizuota ir pasverta sprendimų priėmimo matrica su normalizuotomis reikšmėmis apskaičiuota pagal (2.48), (2.49), (2.50), (2.51) formules ir pateikta 3.10 lentelėje.

Kadangi vertinant riziką visi rodikliai minimizuojami, tuomet $P_j = 0$.

Pagal formulę (2.54) skaičiuojamos kiekvieno eksperto vertinimų, kiekvienos pasvertos normalizuotos sprendimų priėmimo matricos eilutės (alternatyvos) reikšmės, kurių optimizavimo kryptis minimumas:

$$R_1 = \frac{1}{2}(0,012 + 0,014) + (0,021 + 0,023) + \dots + (0,012 + 0,013) + (0,015 + 0,018) = 0,255.$$

Analogiškai apskaičiuojamos kitos R_j reikšmės.

Tarp skaičiavimo rezultatų nustatoma minimali R_j reikšmė. Pagal formulę (2.55) skaičiuojamas kiekvienos alternatyvos santykinis reikšmingumas Q .

$$Q_{11} = 0 + \frac{1}{0,251 \cdot \frac{1}{1}} = 3,990.$$

Analogiškai apskaičiuojamos kitos Q reikšmės. Skaičiavimų rezultatai pateikti 3.11 lentelėje. Pagal (2.57) formulę nustatomas kiekvieno eksperto vertinimų, optimalumo rodiklis K ir apskaičiuojamas kiekvienos alternatyvos naudingumo laipsnis N . Visi skaičiavimo rezultatai pateikti 3.11 lentelėje.

Pagal alternatyvų rangus sudaroma prioriteto eilutė: $v_1 \succ v_3 \succ v_2 \succ v_4$. Geriausia alternatyva yra v_1 , o blogiausia – v_4 .

$$Q_{11} = 0 + \frac{1}{0,251 \cdot \frac{1}{1}} = 3,990.$$

Analogiškai apskaičiuojamos kitos Q reikšmės. Skaičiavimų rezultatai pateikti 3.11 lentelėje.

Pagal (2.57) formulę nustatomas kiekvieno eksperto vertinimų, optimalumo rodiklis K ir apskaičiuojamas kiekvienos alternatyvos naudingumo laipsnis N . Visi skaičiavimo rezultatai pateikti 3.11 lentelėje.

3.10 lentelė. Normalizuotos pradinių duomenų sprendimų priėmimo rodiklių reikšmės rizikai įvertinti COPRAS-G metodu

Table 3.10. Normalized initial decision making matrix according to COPRAS-G method

Statybos objektų rizika	Rodiklis	1 ekspertas				
		v_1	v_2	v_3	v_4	
Išorinė	Politinė	$[w_1; b_1]$	[0.012; 0.014]	[0.013; 0.015]	[0.010; 0.011]	[0.012; 0.013]
	Ekonominė	$[w_2; b_2]$	[0.021; 0.023]	[0.025; 0.026]	[0.018; 0.021]	[0.021; 0.025]
	Socialinė	$[w_3; b_3]$	[0.017; 0.018]	[0.014; 0.015]	[0.011; 0.014]	[0.015; 0.017]
	Orų	$[w_4; b_4]$	[0.008; 0.009]	[0.009; 0.011]	[0.009; 0.013]	[0.010; 0.011]
Procesų	Laiko	$[w_5; b_5]$	[0.023; 0.025]	[0.025; 0.026]	[0.017; 0.019]	[0.020; 0.025]
	Išlaidų	$[w_6; b_6]$	[0.028; 0.030]	[0.030; 0.034]	[0.018; 0.020]	[0.028; 0.034]
	Kokybės	$[w_7; b_7]$	[0.026; 0.029]	[0.032; 0.034]	[0.029; 0.037]	[0.021; 0.032]
	Technologijų	$[w_8; b_8]$	[0.012; 0.014]	[0.018; 0.023]	[0.016; 0.019]	[0.014; 0.023]
	Statybos	$[w_9; b_9]$	[0.024; 0.027]	[0.022; 0.024]	[0.021; 0.025]	[0.015; 0.022]
Vidaus	Ištekliai	$[w_{10}; b_{10}]$	[0.016; 0.018]	[0.014; 0.017]	[0.011; 0.015]	[0.014; 0.015]
	Statybos dalyvių	$[w_{11}; b_{11}]$	[0.021; 0.028]	[0.030; 0.034]	[0.023; 0.026]	[0.026; 0.032]
	Vietos	$[w_{12}; b_{12}]$	[0.012; 0.013]	[0.007; 0.009]	[0.010; 0.011]	[0.008; 0.010]
	Dokumentų ir komunikavimo	$[w_{13}; b_{13}]$	[0.015; 0.018]	[0.012; 0.014]	[0.020; 0.022]	[0.018; 0.020]

3.10 lentelės tęsinys 1
Continue 1 of the Table 3.10

Rodiklis	2 ekspertas				3 ekspertas			
	v_1	v_2	v_3	v_4	v_1	v_2	v_3	v_4
$[w_1; h_1]$	[0.012; 0.013]	[0.012; 0.013]	[0.011; 0.014]	[0.012; 0.013]	[0.012; 0.014]	[0.010; 0.013]	[0.011; 0.013]	[0.012; 0.015]
$[w_2; h_2]$	[0.022; 0.025]	[0.023; 0.027]	[0.019; 0.022]	[0.020; 0.022]	[0.024; 0.027]	[0.015; 0.020]	[0.020; 0.022]	[0.025; 0.027]
$[w_3; h_3]$	[0.016; 0.017]	[0.013; 0.015]	[0.011; 0.013]	[0.016; 0.017]	[0.016; 0.019]	[0.016; 0.018]	[0.011; 0.014]	[0.012; 0.014]
$[w_4; h_4]$	[0.007; 0.009]	[0.008; 0.009]	[0.011; 0.012]	[0.011; 0.013]	[0.007; 0.008]	[0.009; 0.010]	[0.009; 0.011]	[0.013; 0.014]
$[w_5; h_5]$	[0.015; 0.019]	[0.023; 0.024]	[0.026; 0.028]	[0.019; 0.026]	[0.023; 0.024]	[0.021; 0.026]	[0.019; 0.023]	[0.021; 0.024]
$[w_6; h_6]$	[0.025; 0.027]	[0.029; 0.031]	[0.021; 0.023]	[0.031; 0.033]	[0.030; 0.034]	[0.026; 0.030]	[0.019; 0.022]	[0.028; 0.032]
$[w_7; h_7]$	[0.022; 0.026]	[0.026; 0.036]	[0.036; 0.038]	[0.024; 0.031]	[0.033; 0.036]	[0.019; 0.024]	[0.031; 0.036]	[0.029; 0.033]
$[w_8; h_8]$	[0.015; 0.021]	[0.015; 0.022]	[0.015; 0.021]	[0.013; 0.019]	[0.014; 0.015]	[0.019; 0.022]	[0.012; 0.020]	[0.020; 0.017]
$[w_9; h_9]$	[0.022; 0.026]	[0.020; 0.022]	[0.023; 0.028]	[0.018; 0.022]	[0.019; 0.025]	[0.022; 0.024]	[0.021; 0.022]	[0.022; 0.024]
$[w_{10}; h_{10}]$	[0.010; 0.014]	[0.016; 0.017]	[0.014; 0.016]	[0.015; 0.017]	[0.011; 0.013]	[0.016; 0.018]	[0.014; 0.017]	[0.015; 0.016]
$[w_{11}; h_{11}]$	[0.019; 0.023]	[0.032; 0.035]	[0.023; 0.025]	[0.030; 0.032]	[0.022; 0.026]	[0.028; 0.030]	[0.026; 0.028]	[0.028; 0.030]
$[w_{12}; h_{12}]$	[0.007; 0.008]	[0.010; 0.011]	[0.010; 0.011]	[0.011; 0.012]	[0.011; 0.012]	[0.008; 0.009]	[0.011; 0.016]	[0.009; 0.010]
$[w_{13}; h_{13}]$	[0.013; 0.017]	[0.015; 0.017]	[0.022; 0.025]	[0.015; 0.017]	[0.013; 0.016]	[0.014; 0.018]	[0.016; 0.018]	[0.022; 0.024]

3.11 lentelė Skaiciavimo rezultatai įvertinant alternatyvų reikšmes apskaičiuotas COPRAS-G metodu

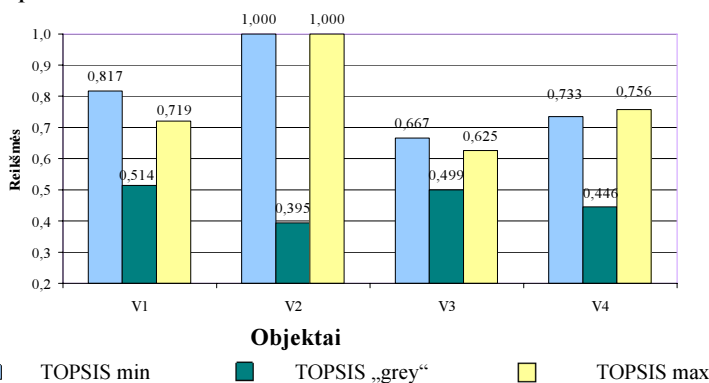
Table 3.11. Results of construction objects risk assessment according to COPRAS-G method

Objektas	Eilutės reikšmių suma			Santykinis reikšmingumas			Optimalumo rodiklis	Naudingumo laipsnis	Rangas
	R_1	R_2	R_3	Q_1	Q_2	Q_3	K	N_j	
v_1	0,251	0,224	0,251	3,990	4,463	3,979	4,463	100,00	1
v_2	0,266	0,261	0,242	3,760	3,827	4,135	4,135	92,64	3
v_3	0,233	0,259	0,238	4,290	3,860	4,207	4,290	96,11	2
v_4	0,250	0,256	0,269	3,994	3,912	3,715	3,994	89,49	4

Pagal alternatyvų rangus sudaroma prioriteto eilutė: $v_1 \succ v_3 \succ v_2 \succ v_4$. Geriausia alternatyva yra v_1 , o blogiausia – v_4 .

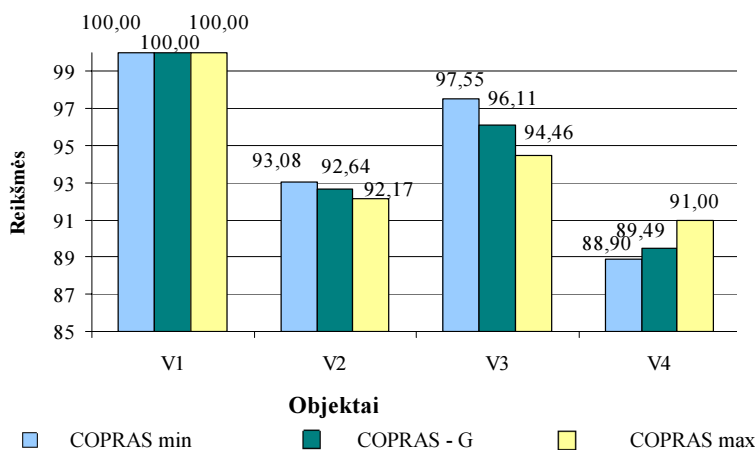
3.3. Gautų rezultatų rizikos vertinimo statybos objektuose sintezė

Sprendžiant uždavinį skirtingais metodais gaunami panašūs, tačiau ne visai vienodi rezultatai. Gauti skaičiavimų rezultatai, atlikti daugiatislio vertinimo COPRAS-G, metodu tikslesni 5–15 proc. už rezultatus, gautus skaičiuojant uždavinį tradiciniu COPRAS metodu, vertinant minimalias rodiklių reikšmes, ir 5–17 proc. vertinant maksimalias rodiklių reikšmes. Gauti rezultatai grafiškai pavaizduoti 3.5 paveiksle.



3.5 pav. Grafinės gautų rezultatų reikšmės įvertinus statybos objektų riziką TOPSIS ir TOPSIS „grey“ metodu

Fig. 3.5. Graphical chart of risk assessment rezultas according to TOPSIS and TOPSIS „grey“ methods



3.6 pav. Grafinės gautų rezultatų reikšmės įvertinus rizika statybos objektuose COPRAS ir COPRAS-G metodais

Fig. 3.6. Graphical chart of risk assessment results according to COPRAS and COPRAS-G methods

Statybos objektų rizikos vertinimo rezultatams palyginti naudojami vidurkio (Hwang, Yoon 1981), Borda (Borda 1781) ir Copeland (Fishburn 1971; Erlandson 1978) metodai (Ustinovichius *et al.* 2007). Rizikos uždaviniams palyginti taikoma L. Ustinovičiaus ir E. K. Zavadsko (2004) aprašyta metodika. Rezultatams lyginti sudaroma sprendimų priėmimo matrica iš įvardytais metodais suskaičiuotų prioritetų eilučių, surašytų stulpeliais. Sudaroma matricą Y . Visi matricos Y stulpeliai sudaryti iš variantų prioritetų eilutės, skaičiuotos atitinkamu metodu, o papildomas stulpelis sudarytas iš narių, gautų sudėjus variantų racionalumo skaitines reikšmes ir padalijus jas iš taikytų metodų skaičiaus (3.12 lentelė).

3.12 lentelė. Palyginimo rezultatai taikant vidurkio metodą

Table 3.12. Comparison solution results according average method

Objektai	Metodai						Vidurkiai	Bendras rangas
	COPRAS min	COPRAS max	COPRAS-G	TOPSIS min	TOPSIS max	TOPSIS grey		
	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6		
v_1	1	1	1	2	2	1	1,33	1
v_2	3	3	3	1	1	4	2,50	3
v_3	2	2	2	4	4	2	1,60	2
v_4	4	4	4	3	3	3	3,50	4

Pagal gautus rezultatus sudaroma galutinė prioriteto rangų eilutė. Čia matricos Y paskutinio stulpelio mažiausią reikšmę turinti alternatyva yra racionaliausia: Objektas 4 > Objektas 2 > Objektas 3 > Objektas 1.

Lyginant variantų racionalumo poras, sudaroma matrica Z . Čia 1 reiškia, kad variantas, kurio eilutėje jis yra, yra racionalesnis už variantą, kurio stulpelyje jis yra. 0 reiškia, kad variantas nėra racionalesnis arba jų racionalumas vienodas (3.13 lentelė).

3.13 lentelė. Palyginimo rezultatai taikant Borda, Copeland metodus

Table 3.13. Comparison solution results according average method

Objektai	v_1	v_2	v_3	v_4	$\sum^P$
v_1	-	1	1	1	3
v_2	0	-	0	1	1
v_3	0	1	-	1	2
v_4	0	0	0	-	0
$\sum^N$	0	2	1	3	

Paskutinis matricos stulpelis gaunamas sumuojant kiekvieno varianto santykinio racionalumo reikšmes. Paskutinė matricos Z eilutė gaunama sumuojant vertikaliai. Taikant Borda metodą vertinami matricos Z paskutinio stulpelio nariai. Racionaliausia reikšmė – didžiausia. Gauta prioritėtų eilutė: Objektas 1 > Objektas 3 > Objektas 2 > Objektas 4. Taikant Copeland metodą racionali variantas parenkamas iš racionalumo sumos atėmus skaičių paskutinėje eilutėje. Geriausia reikšmė didžiausia. Gauta prioritėtų eilutė: Objektas 1 > Objektas 3 > Objektas 2 > Objektas 4.

3.14 lentelė. Daugiatikslio vertinimo metodų lyginimas

Table 3.14 Calculating comparison of multi-attribute decision making methods

Metodai	Algoritmas	Matematinis aprašymas	Uždavinio formulavimas	Darbo sąnaudų sprendžiant pirmą kartą	Metodų suprantamumas
<i>TOPSIS</i>	nesudėtingas	nesudėtingas	nesudėtingas	nedidelės	aiškus
<i>TOPSIS grey</i>	sudėtingas	sudėtingas	sudėtingas	didelės	suprantamas
<i>COPRAS</i>	paprastas	nesudėtingas	paprastas	nedidelės	aiškus
<i>COPRAS-G</i>	nesudėtingas	sudėtingas	sudėtingas	didelės	suprantamas

3.14 lentelėje pateiktas daugiatislijo vertinimo metodų palyginimas rodo, kad nauji metodai sudėtingesni nei tradiciniai. Pritaikius kompiuterines technologijas tiek tradiciniai, tiek naujas ir sukurtas metodai galėtų būti taikomi praktiniams uždaviniams spręsti, priimant sprendimus.

3.4. Skyriaus išvados

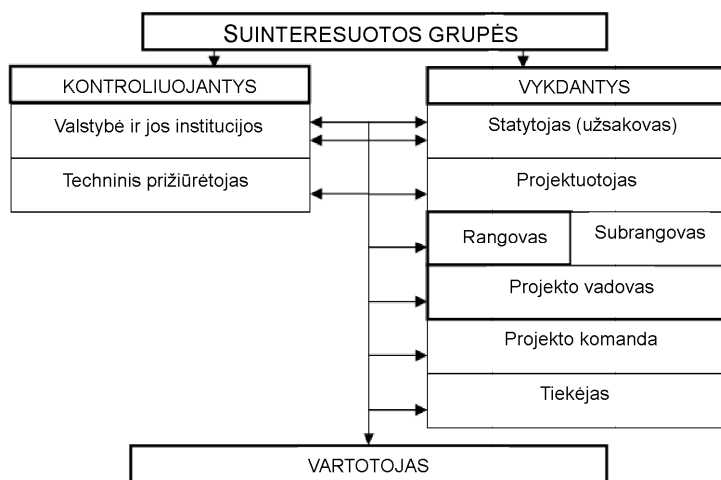
1. Atlikus literatūros šaltinių apžvalgą, sudaryta rodiklių sistema bendrai statybos objektų rizikai įvertinti. Ekspertų vertinimo rezultatai parodė, kad procesų rizika statybos objektuose yra 2 kartus svarbesnė nei išorinė ir 1,7 karto svarbesnė nei vidinė rizika. Procesų rizikos rodikliai pagal svarbą gali būti įvardijami tokiu eiliškumu: kainos, kokybės, laiko rizikos. Vertinant vidaus riziką rizikingiausias yra statybos dalyvių vertinimo rodiklis, o pastato statybos planavimo etape svarbiausias sprendimas – parinkti rangovą ar subrangovą.
2. Bendros statybos objektų rizikos vertinimo uždavinys sprendžiamas remiantis 2 skyriuje pateikta metodika. Uždaviniai tradiciniais daugiatikslio vertinimo metodais sprendžiami atskirai su minimaliomis bei maksimaliomis ekspertų vertinimo reikšmėmis. Sprendžiant bendros rizikos vertinimo uždavinį skaičiavimais tikrinamas sukurto COPRAS-G ir naujo TOPSIS „grey“ daugiatikslio vertinimo metodų efektyvumas. Gauti rezultatai rodo, kad nauju ir sukurto daugiatikslio vertinimo metodais skaičiavimų rezultatai 5–17 proc. skiriasi, nei apskaičiavus tradiciniais daugiatikslio vertinimo TOPSIS ir COPRAS metodais.

Statybos procesais suinteresuotos grupės

Statybos procesai negali būti įgyvendinti be suinteresuotų grupių. Nuo dalyvaujančių suinteresuotų grupių interesų įgyvendinimo priklauso sėkminga pastato statyba. Skyriuje aprašomi pagrindiniai sprendžiami statybos valdymo uždaviniai: statybos rangovo ir statybos vadovo parinkimas. Uždaviniai sprendžiami taikant tradicinius ir naujus daugiatikslio vertinimo metodus. Skyriuje nagrinėjama tema autorė kartu su bendraautoriais yra paskelbusi 2 publikacijas recenzuojamuose mokslo žurnaluose: Zavadskas *et al.* (2008g); Zavadskas *et al.* (2008h); dviejų tarptautinių konferencijų recenzuojame strapsnių rinkinyje: Tamošaitienė *et al.* (2008); Zavadskas *et al.* (2008f); vienos tarptautinės konferencijos nerecenzuojamoje medžiagoje Zavadskas *et al.* (2007b).

4.1. Suinteresuotos grupės statybos procesuose

LR statybos įstatyme minimi šie statybos proceso dalyviai: statytojas (užsakovas); projektuotojas; statybos rangovas; pastato statybos techninis prižiūrėtojas; statybos medžiagų bei statybos gaminių tiekėjas.



4.1 pav. Suinteresuotos grupės statybos sektoriuje

Fig. 4.1. Interest groups in the construction sector

Bendra visų statybos procesais suinteresuotų grupių schema pateikta 1.6 paveiksle. Suinteresuotos grupės gali būti skiriamos į: vykdančias ir kontroliuojančias (4.1 pav.).

Statytojas (užsakovas) – fizinis arba juridinis asmuo, kuris investuoja kapitalą į statybą ir kartu atlieka užsakovo funkcijas (ar jas perduoda kitam fiziniam arba juridiniam asmeniui).

Projektuotojas – juridinis asmuo – Lietuvos Respublikos įstatymų nustatyta tvarka įregistruota įmonė, kurios įstatuose numatyta pastatų projektavimo veikla; fizinis asmuo, juridinio asmens teisių neturinti įmonė – individuali (personalinė), ūkinė bendrija, nustatyta tvarka įsigiję patentą šiai veiklai; statybos mokslo įstaigos ir aukštųjų mokyklų statybos profilio padaliniai; užsienio valstybės projektavimo firma.

Rangovas – juridinis asmuo – Lietuvos Respublikos įstatymų nustatyta tvarka įregistruota įmonė, kurios įstatuose numatyta statybos veikla; fizinis asmuo, juridinio asmens teisių neturinti įmonė – individuali (personalinė), ūkinė bendrija, nustatyta tvarka įsigiję patentą šiai veiklai; užsienio valstybės statybos firma (Statybos įstatymas).

Statybos vadovas – tai fizinis ar juridinis asmuo, kuriam užsakovas ir investuotojas perduoda teisę.

Sėkmingas statybos procesas priklauso nuo statybos rangovo veiksmų. Lietuvoje statybos darbų konkursai organizuojami pagal Viešųjų pirkimų įstatyme numatytą tvarką. Parenkant rangovą vertinami šie rodikliai: statybos rangovo teikiamas pasiūlymas, techniniai, finansiniai, kita svarbi informacija apie rango-

vus (Yang *et al.* 2007b; Arslan *et al.* 2008; Turskis 2008). Įvairius rangovų parinkimo variantus tyrė ir praktikoje taikė įvairių šalių mokslininkai (Luu, Sher 2006; Dikmen *et al.* 2007; Egemen ir Mohamed 2008). Dikmen *et al.* (2008). Zavadskas *et al.* (2008g) aprašė rangovo parinkimo uždavinio modelį su diskrečiomis rangovus aprašančių rodiklių reikšmėmis.

4.2. Statybos rangovo parinkimas, taikant COPRAS ir COPRAS-G metodus

Sprendžiamas rangovo parinkimo uždavinys 9 aukštų gyvenamas namas su administracinėmis patalpomis. Konkursui pateikti 5 pasiūlymai.

Pradiniai skaičiavimo rodiklių duomenys nustatyti remiantis ekspertų apklausa (B priedas). Pagrindiniai atrinkti statybos rangovo vertinimo rodikliai yra:

x_1 – atliekamų darbų kokybės standartų atitikimas (balai);

x_2 – rangovo pateikiamų finansinių rodiklių vertinimas (balai);

x_3 – pasiūlymo vertinimas (balai);

x_4 – partnerių atsiliepimai (balai).

Rodiklių reikšmingumą reikšmėms nustatyti buvo apklausti 15 ekspertų. Rodiklių reikšmingumai įvertinti ekspertiniu metodu (Zavadskas 1987). Rodiklių reikšmingumą nustatymas pateiktas F priedo 2 dalyje. Uždavinio rodiklių reikšmingumai ir pradiniai duomenų reikšmės pateiktos 4.1 lentelėje. Uždaviniui spręsti naudojama 2.5.3 ir 2.7.2 skirsniuose aprašyta metodika.

4.1 lentelė. Pradinių duomenų matrica rangovui įvertinti

Table. 4.1. Initial decision making matrix for contractor assessment

Rangovas	Rodikliai							
	Kokybės standartai (balai)		Finansinis vertinimas (balai)		Pasiūlymas (balai)		Partnerių atsiliepimai (balai)	
Rodiklių optimizavimo kryptis	max		max		max		min	
Rodiklių reikšmingumai q_j	0,15		0,40		0,20		0,25	
	$\otimes x_1$		$\otimes x_2$		$\otimes x_3$		$\otimes x_4$	
	w_1	b_1	w_2	b_2	w_3	b_3	w_4	b_4
1	85	64	55	50	80	60	80	75
2	81	57	56	52	76	62	75	70
3	78	61	58	55	61	53	80	70
4	93	59	62	54	72	55	90	80
5	89	63	68	61	63	54	75	65

4.2 lentelė. Pasverta ir normalizuota sprendimų priėmimo matrica COPRAS ir COPRAS-G metodais statybos rangovų parinkimui

Table 4.2. Weighted and normalized decision making matrix to COPRAS and COPRAS-G methods

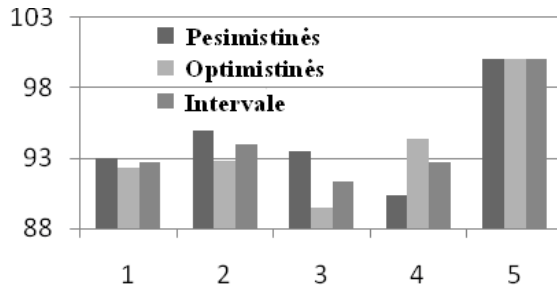
Rangovas	COPRAS-min				COPRAS-max			
	$\hat{x}_1$	$\hat{x}_2$	$\hat{x}_3$	$\hat{x}_4$	$\hat{x}_1$	$\hat{x}_2$	$\hat{x}_3$	$\hat{x}_4$
1	0,032	0,074	0,042	0,050	0,200	0,184	0,227	0,208
2	0,028	0,076	0,044	0,047	0,190	0,187	0,216	0,194
3	0,030	0,081	0,037	0,050	0,187	0,194	0,173	0,194
4	0,029	0,079	0,039	0,056	0,218	0,207	0,205	0,222
5	0,031	0,090	0,038	0,047	0,209	0,227	0,179	0,181

Rangovas	COPRAS-G							
	$\otimes \hat{x}_1$	$\otimes \hat{x}_2$	$\otimes \hat{x}_3$	$\otimes \hat{x}_4$	$\otimes \hat{x}_1$	$\otimes \hat{x}_2$	$\otimes \hat{x}_3$	$\otimes \hat{x}_4$
1	0,035	0,026	0,077	0,070	0,050	0,038	0,053	0,049
2	0,033	0,023	0,078	0,073	0,048	0,039	0,049	0,046
3	0,032	0,025	0,081	0,077	0,038	0,033	0,053	0,046
4	0,038	0,024	0,087	0,076	0,045	0,035	0,059	0,053
5	0,037	0,026	0,095	0,085	0,040	0,034	0,049	0,043

4.3 lentelė. Skaičiavimų rezultatai COPRAS ir COPRAS-G metodais

Table 4.3. Solution results according COPRAS and COPRAS-G methods

Rangovas	Alternatyvų santykinis reikšmingumas Q_i			Alternatyvų naudingumo laipsnis N_i			Rangai S_i		
	<i>COPRAS-min</i>	<i>COPRAS-max</i>	<i>COPRAS-G</i>	<i>COPRAS-min</i>	<i>COPRAS-max</i>	<i>COPRAS-G</i>	<i>COPRAS-min</i>	<i>COPRAS-max</i>	<i>COPRAS-G</i>
1	0,197	0,197	0,197	93,0	92,3	92,7	4	4	3=4
2	0,201	0,198	0,200	95,0	92,8	94,0	2	3	2
3	0,198	0,191	0,194	93,5	89,5	91,3	3	5	5
4	0,192	0,201	0,197	90,4	94,4	92,7	5	2	3=4
5	0,212	0,213	0,213	100	100	100	1	1	1



4.2 pav. Gautų rezultatų reikšmių grafikas
Fig. 4.2. Graphical chart solution results

Taikant skaičiavimų metodiką sprendimo rezultatai pateikti 4.3 lentelėje (S_j – nustatytas alternatyvų rangas. Didžiausia reikšmė – geriausia).

Skaičiavimų rezultatai rodo (4.2 pav.), kad pesimistinių, optimistinių ir reikšmių intervale yra skirtingi rezultatai. Vertinant optimistines rodiklių reikšmes gauta prioritetų eilutė: $A_5 \succ A_4 \succ A_2 \succ A_1 \succ A_3$, vertinant pesimistines rodiklių reikšmes gauta prioritetų eilutė: $A_5 \succ A_2 \succ A_3 \succ A_1 \succ A_4$. COPRAS-G metodu gauta prioritetų eilutė: $A_5 \succ A_2 \succ A_1 = A_4 \succ A_3$.

4.3. Statybos rangovo rizikos vertinimas taikant lošimų teoriją

Iš 4.2 poskyryje spręsto uždavinio matome, kad didžiausia rizikos dalis tenka statybos procesams. Todėl detaliam statybos rizikos vertinimui pasirinkta lošimų teorija.

Statybos rizikai įvertinti pasirinktas statybos planavimo etapas. Čia svarbiausiais ir vėlesniais statybos etapais turintis didžiausią įtaką sprendimas – statybos darbų rangovas. Rangovo rizikos vertinimas svarbus dėl vėliau rangovo priimtų sprendimų, nuo jų priklauso būsimi rezultatai. Dėl šios priežasties renkant rangovą svarbu nustatyti jo rizikos laipsnį. Sudarant rangovo rizikos rodiklių sistemą, tirti moksliniuose darbuose aptarti statybos procesus ir rangovus vertinantys rodikliai ir sudaryta rangovų rizikos vertinimo rodiklių sistema. Rodiklių sistema sudaro 8 pagrindiniai rangovai ir statybos procesus aprašantys rodikliai. Rangovai parenkami 9 aukštų administracinių ir verslo paslaugų kompleksu Vilniuje statybai. Rodiklių sistemos reikšmingumai nustatyti apklausiant ekspertus. Rodiklių reikšmingumų nustatymas pateiktas F priedo 3 dalyje. Rangovo rizikos įvertinimo rodiklių sistemą sudaro šie rodikliai:

x_1 – pasiūlymo kaina [mln. €]. Rangovas, skaičiuodamas pasiūlymo kainą, remiasi galiojančia skaičiavimo tvarka. Pasiūlymo kainoje įvertintos statybos darbų sąnaudos, statybos procesų administravimas, mokesčiai ir pelnas;

x_2 – statybos trukmė [mėn.]. Kiekvienas rangovas, planuodamas statybos terminus, privalo atsižvelgti į statybos darbams keliamus reikalavimus ir privalomus technologijos procesus. Neteisingai įvertinus trukmę kyla rizika darbų kokybei. Techninių reikalavimų nesilaikymas paveikia bendrą statybos trukmę ir darbų kokybę bei kainuoja išlaidas. Statybos darbai turi atitikti keliamus reikalavimus ir garantinius terminus;

x_3 – slepiamųjų darbų garantiniai terminai [metais] nustatyti Statybos įstatyme, tačiau rangovas turi užtikrinti, kad naudojamų medžiagų ir darbų kokybės terminas ne mažiau kaip 10 metų;

x_4 – apdailos darbų garantiniai terminai [metais]. Šis terminas, kaip ir slepiamųjų darbų, turi būti numatas ne mažesnis kaip 5 metai. Dažnai atliekant apdailos darbus pasitaiko atvejų, kai naudojamų medžiagų ir atliekamų darbų kokybė neatitinka keliamų reikalavimų. Ši rizika tenka rangovui;

x_5 – įmonės patirtis statybų sektoriuje [metais]. Tai rodiklis, rodantis rangovo įmonės aktyvumą statybos sektoriuje;

x_6 – rangovo atliktų darbų apimtys per metus [koeficientas]. Šis rodiklis rodo, kiek pats rangovas savo jėgomis atlieka tam tikrų darbų ir kokia dalis tenka subrangovams;

x_7 – bendravimas su rangovo su užsakovu [taškai]. Šis rodiklis svarbus visos statybos metu ir eksploatuojant pastatą;

x_8 – atliktų darbų kokybė įvykdytuose projektuose [taškai].

Sprendimų priėmimo algoritmas ir metodika pagal lošimų teorijos Hodgeso ir Lehmano taisyklę aptarti 2.5.1 skirsnyje.

Rangovo rizikai įvertinti buvo apklausti 10 ekspertų. Pagal ekspertų atsakymus buvo sudaryta sprendimų priėmimo pradinių duomenų lentelė (4.4 lentelė). Tarpiniai uždavinio sprendimo rezultatai pateikti 4.5 lentelėje, o gauti rangovų rizikos vertinimo rezultatai – 4.6 lentelėje.

4.4 lentelė. Pradiniai sprendimų priėmimo duomenys rangovo rizikai nustatyti
Table 4.4. Initial decision making matrix to contractor risk assessment

Alternatyvos	Rodikliai							
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8
	min	min	max	max	max	max	max	max
Rodiklių reikšmingumai q_j	0,18	0,14	0,10	0,10	0,14	0,09	0,11	0,14
A₁	5,00	26	10	5	13	0,74	8,00	9,01
A₂	5,54	23	10	10	13	0,61	7,21	9,24
A₃	4,63	30	10	2	13	0,55	8,51	8,38
A₄	5,56	22	15	10	18	0,71	9,22	8,15
A₅	5,14	24	15	2	57	0,77	7,32	8,08
A₆	4,99	28	10	5	48	0,79	8,48	7,51
A₇	4,57	29	10	2	15	0,65	7,21	7,84
A₈	5,15	27	15	5	13	0,72	7,72	7,35
A₉	5,25	19	10	5	50	0,85	8,50	8,61
A₁₀	5,31	25	10	10	56	0,72	7,36	8,45

4.5 lentelė. Pasverti ir normalizuoti sprendimų priėmimo duomenys skaičiuojant lošimų teorijos metodu

Table 4.5. Weighted and normalized decision making matrix to calculate with game theory

Alternatyvos	Rodikliai							
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8
	min	min	max	max	max	max	max	max
A₁	0,165	0,102	0,067	0,050	0,032	0,078	0,095	0,137
A₂	0,148	0,116	0,067	0,100	0,032	0,065	0,086	0,140
A₃	0,178	0,089	0,067	0,020	0,032	0,058	0,102	0,127
A₄	0,148	0,121	0,100	0,100	0,044	0,075	0,110	0,123
A₅	0,160	0,111	0,100	0,020	0,140	0,082	0,087	0,122
A₆	0,165	0,095	0,067	0,050	0,118	0,084	0,101	0,114
A₇	0,180	0,092	0,067	0,020	0,037	0,069	0,086	0,119
A₈	0,160	0,099	0,100	0,050	0,032	0,076	0,092	0,111
A₉	0,157	0,140	0,067	0,050	0,123	0,090	0,101	0,130
A₁₀	0,155	0,106	0,067	0,100	0,138	0,076	0,088	0,128

4.6 lentelė. Optimalumo rodiklių reikšmės pagal optimalumo rodiklį K_i kiekvienam rizikos laipsniui

Table 4.6. Optimal attribute value by optimal attribute K_i to each risk level

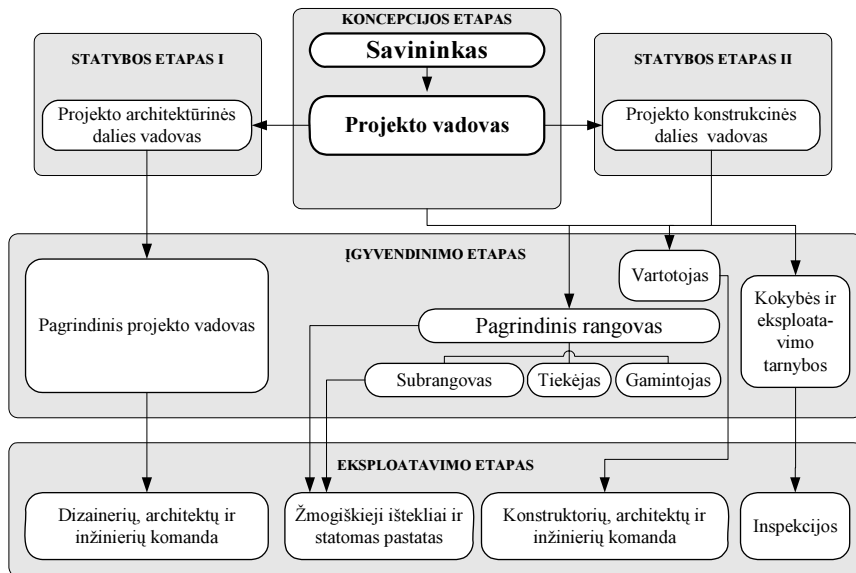
Alternatyvos	λ						
	0,000	0,167	0,333	0,500	0,667	0,833	1,000
Geriausias rezultatas	10	10	9	10	10	10	10
Geriausio rezultato reikšmės	6,830	5,832	4,800	3,844	2,846	5,832	6,830

Remiantis gautais rezultatais, pateiktais 4.6 lentelėje, galima teigti, kad 10-tojo rangovo yra rizika mažiausia (rizikos laipsnis lygus nuo 0,00 iki 0,167). Kai rizikos laipsnis 0,333 matyti, kad geriausias 9 rangovas. O didinant riziką nuo 0,500 iki 1,00, geriausia – 10 alternatyva.

4.4. Statybos projektų vadovo parinkimas COPRAS ir COPRAS-G metodais

4.4.1. Statybos projektų vadovo savybių tyrimas

Statybų verslas rizikingas ir didžiausia rizikos sėkmė priklauso nuo statybos projektų vadovo. Statybos projektų įgyvendinimo sėkmė koreliuoja su finansine statybos procesų sėkme. Statybos projekto komandos ryšys su vadovu pavaizduotas 4.3 paveiksle. Nuo projekto vadovo priimamų sprendimų priklauso visa projekto sėkmė. Collins (1998) nuomone, sėkmingas projekto vadovas pirmiausia turi turėti dvi pagrindines savybes: techninį supratimą ir lyderio savybių. Statybos projektų vadovo parinkimo uždavinius nagrinėjo daug mokslininkų. Apžvelgti literatūros šaltiniai pateikti 4.7 lentelėje. Iš literatūros apžvalgos lentelės matome svarbiausias projektų vadovų savybes, iš viso – 41, kurios grafiškai pavaizduotos 4.4 paveiksle.



4.3 pav. Projekto komandos ir projekto vadovo vaidmuo statybos procese
Fig. 4.3. Project command and project manager role in construction process

Pagrindiniai projektų vadovą aprašantys rodikliai yra: asmeninės savybės (Lorda, Brown 2001; El-Sabaa 2001), projekto valdymo savybės (Adobor 2004; Ogunlana *et al.* 2002; Tafel, Alas 2007), verslumas (Adobor 2004), patirtis (El-Sabaa 2001) ir kokybė (Ling 2003).

Statybos procesams įgyvendinti suburiama komanda, kuriai vadovauja projekto vadovas. Scott-Young, Samson (2008) nagrinėjo projekto komandos

Organizacinė valdymo struktūra – tai pareigų, teisių ir atsakomybės paskirstymo forma tarp tarpusavyje susijusių funkcinių vienetų, atliekančių konkrečius valdymo veiksmus, valdymo įtaką projekto sėkmei ir nustatė pagrindinius projekto komandos tikslus (4.5 pav.).

Pagrindiniai projektų vadovą aprašantys rodikliai yra: asmeninės savybės (Lorda, Brown 2001; El-Sabaa 2001), projekto valdymo savybės (Adobor 2004; Ogunlana *et al.* 2002; Tafel, Alas 2007), verslumas (Adobor 2004), patirtis (El-Sabaa 2001) ir kokybė (Ling 2003).

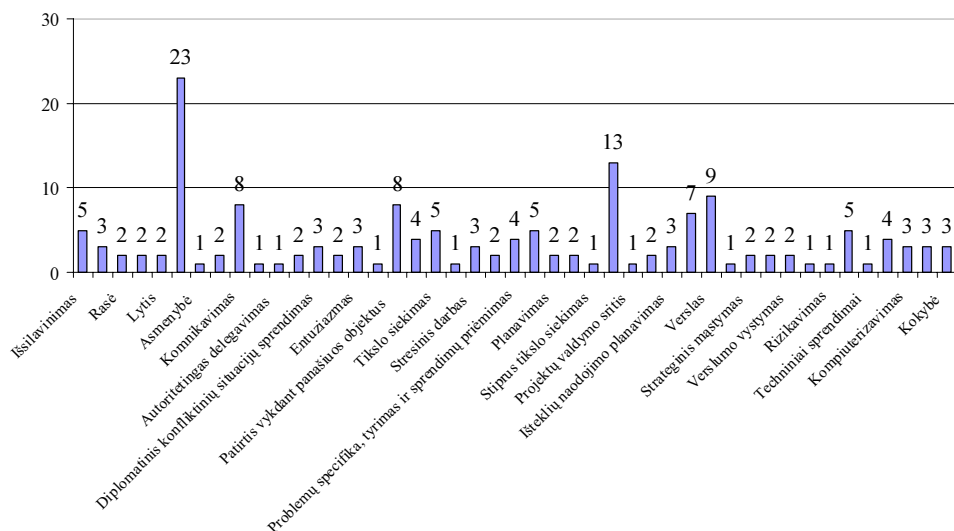
Statybos procesams įgyvendinti suburiama komanda, kuriai vadovauja projekto vadovas. Scott-Young, Samson (2008) nagrinėjo projekto komandos valdymo įtaką projekto sėkmei ir nustatė pagrindinius projekto komandos tikslus (4.5 pav.).

4.7 lentelė. Pagrindinių projekto vadovo rodiklių apžvalga

Table. 4.7. The survey of the main projects guide indexes

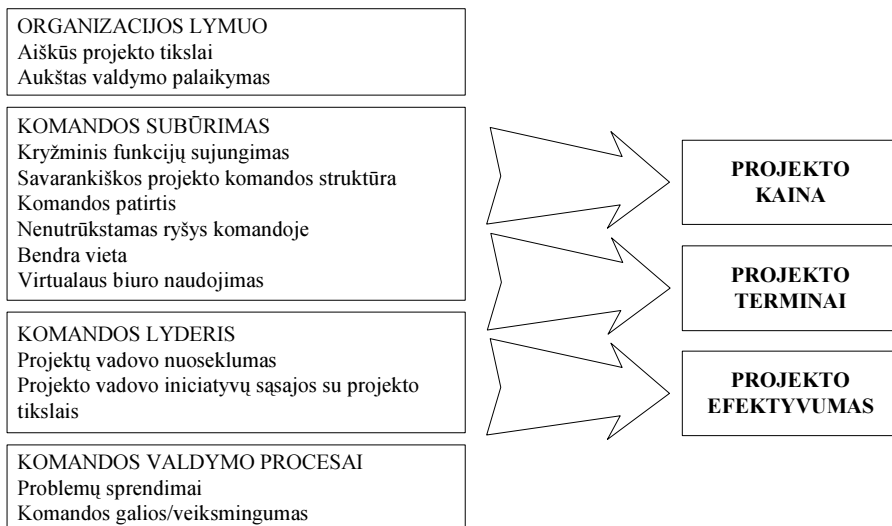
Eil. Nr.	Rodikliai	Apžvelgiami lietratūros šaltiniai												Σ
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1.	Išsilavinimas	•			•		•			•			•	5
2.	Amžius				•					•			•	3
3.	Rasė				•								•	2
4.	Šeimyninė padėtis								•				•	2
5.	Lytis											•	•	2
6.	Asmeniniai sugebėjimai													23
6.1.	Asmenybė					•								1
6.2.	Mobilumas											•	•	2
6.3.	Komunikavimas		•		•		•	•	•	•			•	8
6.4.	Situacijų atkartinimas										•			1
6.5.	Autoritetingas delegavimas										•			1
6.6.	Politinis aktyvumas											•	•	2
6.7.	Diplomatinis konfliktinių situacijų sprendimas	•							•	•				3
6.8.	Savigarba										•		•	2
6.9.	Entuziazmas									•	•		•	3
7.	Patikimumas	•												1
8.	Patirtis vykdant panašius objektus	•		•	•	•		•	•			•	•	8
9.	Požiūris			•	•			•	•					4
10.	Tikslo siekimas			•	•			•	•				•	5
11.	Dokumentų tvarkymas								•					1
12.	Stresinis darbas								•	•			•	3
13.	Atlyginimas									•			•	2
14.	Problemų specifiška, tyrimas ir sprendimų priėmimas						•	•	•		•			4
15.	Koncepciniai ir įmonių valdymo sugebėjimai													5
15.1.	Planavimas										•		•	2
15.2.	Organizavimas										•		•	2
15.3.	Stiprus tikslo siekimas										•			1
16.	Valdymas													13
16.1.	Projektų valdymo sritis												•	1
16.2.	Komandos lyderis		•						•					2
16.3.	Išteklių naudojimo planavimas		•				•			•				3
16.4.	Rengiant projektus sukauptų žinių naudojimas		•	•		•	•	•	•		•			7
17.	Verslas													9
17.1.	Marketingo sritis												•	1
17.2.	Strateginis mąstymas		•				•							2
17.3.	Vartotojų poreikių įtaka sprendimams		•				•							2
17.4.	Verslumo vystymas		•				•							2
17.5.	Tarptautinis investavimas							•						1
17.6.	Rizikavimas							•						1
18.	Techniniai sprendimai													5
18.1.	Techniniai sprendimai						•							1
18.2.	Inžinerinis išsilavinimas		•			•		•			•			4
19.	Kompiuterizavimas						•				•		•	3
20.	Kontrolė							•		•			•	3
21.	Kokybė	•					•		•					3

Šaltiniai: ¹Figueira et al. 2005; ²Collins 1998; ³Lorda, Brown 2001; ⁴Adobor 2004; ⁵Lievens et al. 2003; ⁶Sykes 1986; ⁷Haynes, Love 2004; ⁸Chen et al. 2008; ⁹El-Sabaa 2001; ¹⁰Ogunlana et al. 2002; ¹¹Ling 2003; ¹²Mustapha, Naoum 1998.



4.4 pav. Svarbiausi rodikliai parenkant statybos projekto vadovą (literatūros šaltiniuose minimų savybių skaičius)

Fig. 4.4. Main indexes in choosing projects guide (the number of qualities mentioned in the sources of literature)



4.5 pav. Pagrindiniai projekto komandos rodikliai, turintys įtaką projekto sėkmei (Scott-Young, Samson 2008)

Fig. 4.5. The main indexes of the project team that affect the project's success (Scott-Young and Samson, 2008)

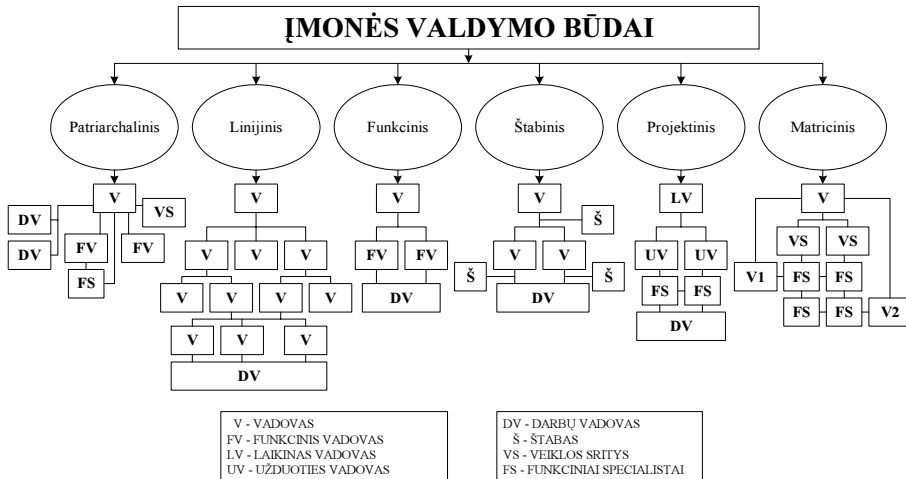
Organizacinė valdymo struktūra – tai pareigų, teisių ir atsakomybės paskirstymo forma tarp tarpusavyje susijusių funkcinį vienetų, atliekančių konkrečius valdymo veiksmus.

Valdymo struktūra turi labai didelę įtaką įmonės veiklai: ji gali skatinti įmonės veiklos plėtrą ir ją stabdyti. Įmonės struktūra turi būti tokia, kad leistų įgyvendinti veiklos strategiją. Paprastai, kintant strategijai, tenka keisti ir organizacinę valdymo sandarą.

Esant skirtingiems organizacinės valdymo sandaros tipams, įvairiai duodami sprendimų įgaliojimai, nurodymai, skiriasi jų vykdymo priežiūra ir kontrolė.

Įmonės valdymo sandaros tipai paprastai skirstomi į tradicinius valdymo tipus ir naujuosius valdymo būdus. Įmonės valdymo būdai pateikti 4.6 paveiksle.

Įmonė, kuriai būdingas patriarchalinis valdymo tipas, atitinka šeimos modelį. Įmonei vadovauja savininkas patriarchas, kuris savo nuožiūra skirsto teises ir pareigas, reikalauja iš pavaldinių besąlygiško paklusnumo. Šis tipas taikomas nedidelėje įmonėje, kurioje vienas asmuo dar sugeba atlikti visas valdymo funkcijas. Linijiniam valdymo tipui būdingas aiškus vienvaldiškumas, atsakomybės paskirstymas atskiroms valdymo dalims, aiškus pavaldumas. Kiekvieno kolektyvo priekyje yra vadovas, kuris atsiskaito aukštesniam vadovui, o pavaldiniai vykdo tik savo tiesioginio vadovo nurodymus. Linijiniai vadovai vadovauja daliniams, vykdančioms svarbiausias įmonės užduotis. Jie gali įsakinėti ir sulaukti sprendimų įgyvendinimo, vadovauja daliniams, kurie tiesiogiai atsako už kompanijos tikslų įgyvendinimą, valdo ir atsako už galutinius veiklos rezultatus, valdo ir atsako už pirminių tikslų įgyvendinimą, siejami su



4.6 pav. Įmonės valdymo būdai

Fig. 4.6. The ways of company management

pirminės valdžios šaltiniu, atsiskaito aukštesniam vadovui, o pavaldiniai vykdo tik jų nurodymus. Linijiniai vadovai yra atsakingi už žmonių, vykdančių pagrindinę organizacijos funkciją, valdymą. Kiekvienas vadovas atlieka visas valdymo funkcijas, todėl jis turi būti labai aukštos kvalifikacijos. Taikant funkcinį valdymo tipą, įmonė dalijama į padalinius, atliekančius konkrečius uždavinius ir pareigas. Čia už atskirų funkcijų vykdymą atsakingi jų vadovai. Šiuo atveju susidaro sąlygos efektyviai pasidalyti valdymo darbus, nes kiekvienas vadovas specializuojasi tam tikroje srityje (gamybos, marketingo ir kt.) ir visiškai atsako už tai srities funkcijų vykdymą.

Valdymo personalo vykdomos funkcijos susijusios su klausimais – kas, kaip, kada ir su kuo daroma arba turi būti daroma valdymo sistemoje. Skiriamos bendrosios ir specialiosios funkcijos. Bendrosios funkcijos yra:

Planavimas – veikla, kai numatomas tikslas, nesėkmės atveju alternatyvi veikla, apibrėžiamos priemonės ir būdai jam pasiekti.

Organizavimas – procesas, kurio metu parengiami, sutelkiami visi ištekliai, kurie yra numatyti planuojamiems veiksams ir uždaviniams pasiekti.

Koordinavimas – veikla, kurios metu derinamos visų proceso dalyvių pastangos pasiekti numatytą, užsibrėžtą tikslą.

Motyvacija – moralinių ir materialinių priemonių naudojimas, siekiant paskatinti darbuotojus efektyvesniam darbui.

Reguliavimas ir kontrolė – reguliavimas padeda padaryti pataisas, esant nukrypimams nuo numatytų normų, standartų, o kontrolė padeda įsitikinti, kaip faktiškai rezultatai atitinka numatytus plane.

Bendrosios funkcijos vykdomos nuosekliai ir siejamos su valdymu – pradedant gamybos plano rengimu, baigiant jo realizavimu, ir kartojamos tam tikrais periodais (ciklais). Specialiosios funkcijos siejamos su išteklių (materialiųjų, finansinių), personalo, gamybos, darbo ir darbo užmokesčio, kokybės ir pan. valdymu. Šių funkcijų klasifikavimo ir išskyrimo klausimais daug diskutuoja įvairūs specialistai, vieni net jas įvardija kaip vadybos o kiti – kaip valdymo ir pan.

Valdymo tipas efektyviausiai veikia specializuotoje organizacijoje, kurioje palyginti lengva aiškiai atskirti veiklos funkcijas – ir pagrindines, ir palaikomasias, kurios taip pat išreiškia siaurą specializuotą funkcinę veiklą. Šis valdymo tipas turi ir savų trūkumų, nes funkciniai, techniniai specialistai paprastai žiūri į visus keblumus itin siaurai, per savo funkcijas ir suvokimo apie veiklos sritį prizmę. Didžiausias šio tipo trūkumas – nėra bendros atsakomybės, nes ji išskaidoma atskiriems vadovams. Šiuo atveju darbo vykdytojas, gaudamas nurodymus iš daugelio vadovų, už savo atliekamą darbą yra atsakingas tik pats, o kas atsakingas už bendrus darbo rezultatus – neaišku. Taikant štabinį valdymo tipą, atsakomybę pavyksta suderinti su išgalėmis, nes čia linijiniams vadovams

sprendimus parengti padeda specialistai, pavyzdžiui, ekonomistai, teisininkai, rinkotyrininkai, suburti į specialius padalinius – štabus. Tačiau šiuo atveju konsultantai, turėdami didelę poveikio galią ir nebūdami atsakingi už sprendimus, gali lengvai vykdyti sau palankią politiką. Projektinio valdymo tipo sukūrimas siejamas su konkrečių uždavinių sprendimu, nes norint sparčiau parengti tokių uždavinių sprendimus, sudaromi konkretūs projektai. Tokiu atveju sukuriamas laikinasis kolektyvas, kuris, atlikęs užduotį, paleidžiamas. Paprastai laikinajame kolektyve dirbantiems specialistams nereikia vykdyti kasdienių funkcijų – jie sutelkiami tik spręsti kilusį uždavinį.

Matricinis valdymo tipas yra bene sudėtingiausias. Matricinėje įmonėje būdingi dvigubi valdžios, atskaitomybės ir skatinimo ryšiai. Žmonės turi dvigubą atsakomybę – produkto, biznio ar kito projekto, taip pat savo pagrindines veiklos funkcijas. Tokiu būdu prieinama prie savotiško kompromiso, suderinama funkcinės ir kitos veiklos specializacijų veikla. Tai iš principo skirtinga valdymo struktūra palyginti su kitomis, lyg prieštaraujanti daugeliui valdymo teorijos principų. Šis valdymo tipas leidžia skatinti darbuotojų kooperaciją, konfliktų sprendimą ir veiksmų koordinaciją, padeda priimti sprendimus, geriausius organizacijai. Be abejo, matricinis valdymo tipas, kaip ir bet kuris kitas, turi ir trūkumų. Visų pirma, efektyviam jo valdymui reikia itin kompetentingo ir autoritetingo vadovo. Dėl ryšių ir komunikacijos sudėtingumo, prioritetų neaiškumo šioje organizacinėje sandaroje veikiantys žmonės jaučia diskomfortą ir neapibrėžtumą. Jei tokia struktūra nėra organizacijos kultūros ir stiliaus dalis, susiduriama su nemažais valdymo ir psichologiniais sunkumais.

4.4.2. Statybos projektų vadovų vertinimo metodai

Personalo vertinimo praktika lėmė, kad yra sukurta daugybė įvairių vertinimo metodų. Daugelio šių metodų tikslas – išaiškinti personalo darbo trūkumus, gerinti darbo efektyvumą ir kokybę. Priklausomai nuo siekiamų tikslų, kiekvienas vadovas gali pasirinkti, kokius vertinimo metodus taikys. Todėl yra svarbu žinoti, kokių atveju kokie metodai tinka. Personalo parinkimo modelis statybos objektams įgyvendinti pateiktas 4.7 paveiksle. Visi personalo vertinimo metodai gali būti klasifikuojami pagal įvairius rodiklius.

Vertinimo metodų parinkimas. Šiuo atveju metodai yra skiriami į kokybinius (arba aprašomuosius), kompleksinius (arba tarpinius) ir kiekybinius.

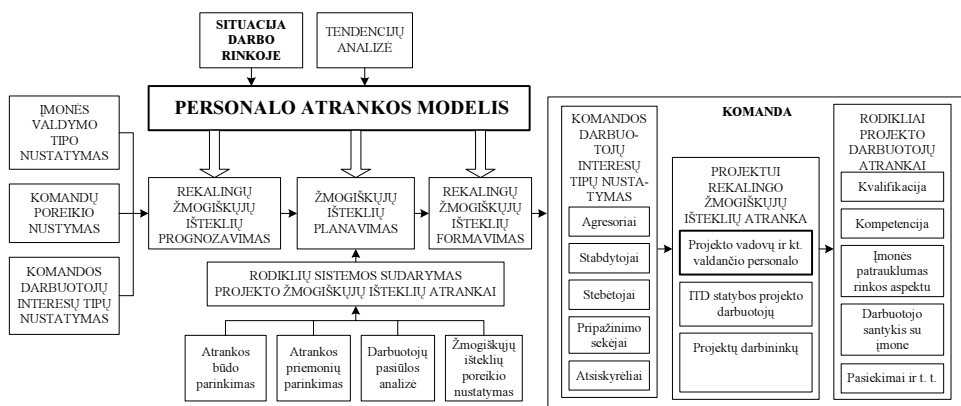
1. *Kokybiniai* remiasi laisvos charakteristikos formomis, o ne aiškiais kiekybiniais vertinimo rodikliais. Aprašomojo vertinimo metodai remiasi biografija, anketa (laisva forma arba pagal nustatytus klausimus parašyta charakteristika), sudėtingų pavedimų įvykdymo ekspertiniais vertinimais, grupine laisva forma vedama diskusija, darbuotojo faktiškų ir reikalingų

tai pareigybei užimti savybių lyginimu, įrašant tik kokybinius vertinimus: turi – neturi.

2. *Kombinuotieji* – tai metodai, kai pagal pirmines aprašomąsias charakteristikas pateikiamos kai kurių skaitmeninių vertinimų. Kombinuotų būdų grupei priklauso šie:
 - suminių rodiklių būdas, kai ekspertas nustato, ar dažnai išryškėja viena ar kita konkretaus darbuotojo savybė;
 - darbuotojų grupavimas, kai darbuotojai suskirstomi pagal nedaugelį rodiklių į labai gerus, gerus ir prastus;
 - testavimas pagal gamybinių užduočių atlikimo lygį, leidžiantis spręsti apie darbuotojo potencines galimybes praktiškai vykdyti tam tikras užduotis.
3. *Kiekybiniai* metodai padeda įvertinti konkrečias darbuotojų savybes arba atliekamų darbų sudėtingumą. Kiekybiniais metodais dažniausiai nustatomi darbuotojų arba atskirų jų savybių rangai, balų suma, koeficientai.

Vertinimo pobūdis. Pagal šį rodiklį skiriamas individualus personalo darbo vertinimas ir darbuotojų vertinimas lyginant vieną su kitu.

1. *Individualiais* personalo vertinimo metodais yra vertinama atskiro darbuotojo veikla, jo stipriosios ir silpnosios pusės. Prie šių metodų galima priskirti: vertinimo skalės, kontroliniai lapai, aprašomasis vertinimas, iš anksto aprašytų elgesio variantų įvertinimas, priverstinis pasirinkimas, vertinimas pagal tikslus.
2. *Lyginant* darbuotojus tarpusavyje lyginama jų veiklos kokybė kitų darbuotojų atžvilgiu. Šiuo atveju naudojami rangavimo, priverstinio paskirstymo, prioritetų suteikimo metodai.



4.7 pav. Įgyvendinimui reikalingo personalo atrankos modelis
Fig. 4.7. The model for selection of the staff to implement projects

Personalo vertinimo metodų paskirtis. Pagal šį rodiklį metodai skirstomi į dvi pagrindines grupes: orientuoti į praeitį ir orientuoti į ateitį.

1. *Orientuotais į praeitį* metodais vertinamas jau atliktas darbas. Vienas pagrindinių šių metodų trūkumų yra tas, kad praeityje atliktas darbas jau negali būti pataisytas. Tačiau įvertinus darbuotojų darbą galima išsiaiškinti padarytas klaidas ir nedaryti jų ateityje. Dažniausiai taikomi šie į praeitį orientuoti metodai: pažymių skalė, kontrolinis lapas, priverstinio pasirinkimo metodas, kritinių situacijų metodas, lyginamojo vertinimo metodas, iš anksto aprašytų elgesio variantų metodas, veiklos sferos apžvalgos metodas ir kt.
2. *Orientuoti į ateitį* metodai siejami su ateities veiksmais. Jais įvertinamas darbuotojo potencialas ir numatomi ateities tikslams. Prie šių metodų priskiriami savęs vertinimo, vertinimo pagal tikslus, psichologinio vertinimo metodai.

Vertinimo skalė. Tai seniausias ir dažniausias vertinimo metodas, kai vertintojas pateikia subjektyvų tam tikro darbuotojo vertinimą pagal pateiktą rodiklių sąrašą. Rodiklių vertinimo skalę sudaro pažymiai, kurie gali būti išreikšti skaičiais ar žodžiais. Dažniausiai naudojamos 3, 5 ar 10 balų skalės, kurias galima apibrėžti tokiais būdvardžiais, kaip puikus, geras, vidutinis, patenkinamas ir nepatenkinamas. Nors praktikoje naudojamos ir kitokios skalės, pvz., 100 balų skalė.

Šiuo metodu dažniausiai vertinamos arba su darbu susijusios charakteristikos, arba darbuotojo asmeninės savybės. Su darbu susijusių charakteristikų pavyzdžiu gali būti darbo kiekis ir kokybė, o asmeninių savybių – patikimumas, iniciatyva, sugebėjimai bendradarbiauti ir pan. Dažniausiai darbuotoją vertina jo tiesioginis vadovas, pasirinkdamas geriausią darbuotoją ir jo darbą atitinkantį įvertinimą. Vėliau pagal kiekvieną rodiklį gautus rezultatus sudeda ir vertina darbuotoją pagal gautą sumą. Kai kuriose įmonėse vertintojas privalo paaiškinti, pagal ką buvo vertinama. Toks paaiškinimas yra reikalingas ir net būtinas, kai vertintojas suteikia žemiausią ar aukščiausią įvertinimą. Taip yra išvengiama skuboto ir neapgalvoto vertinimo. Šis metodas gana plačiai taikomas. Jis gali būti naudojamas nustatant darbo užmokesčio dydį, sprendžiant darbuotojų ateities planus (personalo judėjimą organizacijoje), nustatant mokymosi poreikį. Kitas šio metodo privalumas tas, kad jis gana paprastas, vertintojams nereikia daug mokymo ar laiko vertinimo anketai užpildyti, be to, jis tinka dideliame darbuotojų skaičiui įvertinti. Bet pažymių skalės metodas turi ir kai kurių trūkumų. Yra nemaža tikimybė, kad vertintojas bus neobjektyvus. Todėl labai svarbu, kad vienoje organizacijoje visi vertintojai susitartų dėl vienodo vertinimo. Be to, norint vertinimo formą pritaikyti daugumai darbuotojų, į ją gali būti neįtraukti kai kurie specifiniai rodikliai, kurie kai kurių darbuotojų darbe gali būti patys svarbiausi.

Kontrolinis lapas. Taikant šį metodą, vertinimo anketoje pateikiami vertinimo rodikliai ir juos apibūdinantys žodžiai ar sąvokos. Vertintojas turi atrinkti teiginį ar žodį, geriausiai apibūdinantį darbuotojo darbą ir asmenines savybes. Jeigu kontroliniame lape yra pakankamai rodiklių, tai jis gali pateikti tikslų darbuotojo veiklos vaizdą. Šio metodo privalumas yra jo ekonomiškumas, lengvas pritaikymas, paprastas vertintojų apmokymas. Kaip trūkumus galima paminėti vertintojo šališkumą, darbuotojo asmeninių savybių, o ne darbo vertinimą.

Priverstinis paskirstymas. Šio metodo pagrindą sudaro teiginių apie darbuotojų elgesį darbe sąrašas. Šie teiginiai yra sugrupuoti taip, kad būtų lygiaverčiai, t. y. arba abu teigiami, arba abu neigiami.

Šio metodo privalumas tas, kad jis sumažina vertintojo šališkumą, yra lengvai pritaikomas ir tinka daugeliui darbų vertinti. Tačiau šis metodas riboja darbuotojo galimybę pasitaisyti. Blogiausia tai, kad vertinamas darbuotojas gali jaustis ignoruojamas, kai vienas teiginys yra priešinamas su kitais, o darbuotojui atrodo, kad abu yra svarbūs. Be to, šis metodas atima daug laiko.

Kraštutinumų metodas. Pagal šį metodą reikia, kad vertintojas apibrėžtų, koks elgesys, atliekant darbą, yra idealiai geras, o koks visiškai netinkamas. Tokie apibūdinimai vadinami kraštutinumais. Šiuos kiekvieno darbuotojo elgesio kraštutinumus nuolat fiksuoja tiesioginis vadovas visą vertinimo laikotarpį. Fiksuojant kraštutinumus aprašoma, kas konkrečiai vyksta. Pasibaigus vertinimo laikotarpiui, vertintojas pasinaudoja šiais užrašais kartu su kita informacija ir atlieka darbuotojo įvertinimą.

Šis metodas ypač naudingas dėl grįžtamojo ryšio. Pagrindinis trūkumas tas, kad vadovas dažnai neužfiksuoja kraštutinumų tuo metu, kai jie įvyksta. Be to, darbuotojai įsitikinę, kad net pasibaigus vertinimo procesui, vadovai nenori užmiršti kraštutinumų, net jei jie įvyko prieš porą mėnesių.

Iš anksto aprašytų elgesio variantų įvertinimas. Šis metodas sieja tradicinės pažymių skalės ir kraštutinumų metodų elementus. Jo pagrindas yra skalė, aprašanti specifinį darbo atlikimą įvairiais lygiais. Čia gali būti pateikti keli gero ir blogo elgesio atlikimo lygiai. Vietoj įprastų būdvardžių naudojami tokio elgesio pavyzdžiai, kurie labai palengvina įvertinimą. Vienas svarbiausių šio metodo privalumų yra tas, kad kiekvienam darbuotojui skalė taikoma atskirai, todėl yra geras grįžtamasis ryšys. Pagrindinis trūkumas – ribotas darbo atlikimo variantų skaičiaus pateikimas. Taip pat kaip ir su kraštutinumų metodu, vadovai labai nenoriai pildo užrašus per vertinimo laikotarpį.

Veiklos sferos apžvalga. Šis metodas leidžia padidinti vertinimo objektyvumą. Vertinti kviečiamas pašalinis vertintojas, kuriam tiesioginis vadovas suteikia specifinę informaciją apie savo pavaldinių darbą. Tada ekspertas atlieka vertinimą pagal jam pateiktą informaciją. Gautus rezultatus tiesioginis vadovas peržiūri, patikrina ir aptaria juos su tuo darbuotoju, kuris buvo vertinamas. Šis

metodas yra gana patikimas. Jis taip pat suteikia galimybę palyginti gautus rezultatus. Tačiau jis yra labai brangus ir daugumai įmonių labai nepraktiškas.

Darbo atlikimo patikrinimas. Kai darbų skaičius yra ribotas, galima panaudoti įvairius testus žinioms ar gebėjimams patikrinti. Tokie testai gali būti atliekami raštu arba realiu sugebėjimų parodymu. Pastabos turi būti pateikiamos iš karto, vos tik kas nors padaroma ne taip. Pagrindinis šio metodo trūkumas – parenkamų testų patikimumas ir jo naudojimo brangumas.

Lyginamasis vertinimas. Tai vertinimo metodų grupė, skirta darbuotojams tarpusavyje palyginti. Šiuos metodus tikslinga taikyti tada, kai yra sprendžiami darbo užmokesčio didinimo, pareigų paaugštinimo, apdovanojimų ar premijų klausimai, nes šie metodai parodo, kuris darbuotojas yra geriausias, o kuris blogiausias.

Rangavimas. Taikydamas rangavimo metodą vertintojas turi suskirstyti visus darbuotojus į eilę nuo geriausio iki blogiausio. Tačiau šiuo metodu nenustatoma, kiek vieni darbuotojai yra geresni arba blogesni už kitus.

Priverstinis paskirstymas. Pagal šį metodą visus darbuotojus reikia suskirstyti į tam tikras kategorijas. Dažniausiai kiekvienai kategorijai priskiriama tam tikra procentinė dalis. Jeigu naudojant rangavimą nėra žinomas santykinis skirtumas tarp darbuotojų, tai priverstinis paskirstymas padeda išvengti tendencijos visus vertinti vienodai. Tačiau gali būti, kad kai kurie darbuotojai bus įvertinti blogiau negu yra iš tikrųjų.

Taškų išdėstymas. Taikant šį metodą reikia paskirstyti tam tikrą fiksuotą taškų skaičių sąrašė esantiems darbuotojams. Šiuo atveju geresni darbuotojai gauna daugiau taškų negu prastesni. Šio metodo privalumas yra tas, kad vertintojas gali nustatyti santykinį skirtumą tarp darbuotojų.

Porinis palyginimas. Šiuo atveju vertintojas lygina kiekvieną darbuotoją su kitais darbuotojais. Vertinama gali būti tiek bendrai, tiek išskiriant atskirus vertinimo rodiklius. Įvertinimo rezultatas parodo, kiek darbuotojas buvo įvertintas geriau negu kiti.

Save vertinimas. Šis metodas naudingas, kai vertinimo tikslas – tobulinti save. Kai darbuotojai vertina save patys, yra išvengiamos gynimosi reakcijos. Šis metodas leidžia pažinti save, objektyviai įvertinti savo polinkius, motyvus, gebėjimus, padėti bei asmeninio gyvenimo ir darbo siekius.

Vertinimas pagal tikslus. Šiuo atveju tiek darbuotojas, tiek vadovas kartu sprendžia, kaip reikėtų elgtis ateityje. Idealu, kai nustatyti tikslai tenkina abi puses ir yra objektyviai įvertinami. Jei abi šios sąlygos yra užtikrinamos, tai darbuotojai lengvai motyvuojami siekti savo tikslų, nes patys dalyvauja juos nustatant. Tikslų nustatymas leidžia įvertinti ir darbuotojo ugdymo poreikį. Kadangi tikslai yra orientuoti į darbą, vertinant išvengiama asmeniškumų, o pats vertinimas atliekamas labai objektyviai.

Tačiau praktikoje susiduriama ir su sunkumais. Tikslai dažnai yra per daug ambicingi arba per maži. Dėl to, gali būti sugluminti patys darbuotojai arba darbas aplaidžiai.

Psichologinis vertinimas. Kai kurios organizacijos, ypač labai didelės, turi savo psichologą. Psichologinio vertinimo užduotis – įvertinti darbuotojo ateities potencialą, bet ne elgesį praeityje. Toks vertinimas apima išsamų interviu, psichologinius testus, diskusijas su vadovais ir kitų vertinimų apžvalgą. Psichologas atlieka intelektinių, emocinių, motyvacinių ir kitų su darbu susijusių darbuotojo charakteristikų įvertinimą. Tokie įvertinimai naudingi, kai reikia priimti sprendimus, susijusius su darbuotojų paaukštinimu, ugdymu, kvalifikacijos kėlimu.

4.4.3. Statybos projektų vadovo parinkimas COPRAS ir COPRAS-G metodais

Praktinis metodų pritaikymas pateikiamas projektų vadovų parinkimo uždavyne – 9 aukštų administracinio pastato statybai Vilniaus mieste. Taikant vertinimo skalės būdą, buvo vertinami projekto vadovo pareigoms ieškomi kandidatai. Projektų vadovo vertinimo rodiklių reikšmingumams ir rodikliams nustatyti buvo sudarytos anketos (D priedas). Remiantis užsakovo patirtimi ir statybos projektų vadovų parinkimo literatūros šaltinių apžvalga sudarytas projektų vadovo parinkimo modelis ir nustatyti svarbiausi vertinimo rodikliai:

- ⊗ x_1 – asmeninės savybės (balais);
- ⊗ x_2 – projektų valdymo savybės (balais);
- ⊗ x_3 – verslumo savybės (balais);
- ⊗ x_4 – techninės žinios (balais);
- ⊗ x_5 – kokybės savybės (balais);
- ⊗ x_6 – sprendimų priėmimo trukmė (balais).

Vertinami rodikliai turi šias optimizavimo kryptis:

$$\begin{aligned} \otimes x_1, \otimes x_2, \otimes x_3, \otimes x_4, \otimes x_5 &\xrightarrow{\text{optimizavimo kryptis}} \max; \\ \otimes x_6 &\xrightarrow{\text{optimizavimo kryptis}} \min. \end{aligned}$$

Rodiklių reikšmingumų reikšmės q_j nustatytos pagal įvairių šalių mokslininkų pateiktas metodikas (Kendall 1970; Zavadskas 1987; Turskis *et al.* 2006; Zagorskas, Turskis 2006). Rodiklių reikšmingumų nustatymas pateiktas F priedo 4-oje dalyje.

4.8 lentelė. Pradinių duomenų sprendimų priėmimo matrica su rodiklių reikšmėmis, apibrėžtomis intervalu $\otimes X$

Table 4.8. Initial decision making matrix with attribute expressed in intervals $\otimes X$

		Pradinių duomenų sprendimo matrica $\otimes X$											
Rodiklių optimizavimo kryptis		max		max		max		max		max		min	
Rodiklio reikšmingumai		0,25		0,15		0,12		0,20		0,13		0,15	
Projekto vadovai		$\otimes x_1$		$\otimes x_2$		$\otimes x_3$		$\otimes x_4$		$\otimes x_5$		$\otimes x_6$	
		$\underline{x}_1$	$\bar{x}_1$	$\underline{x}_2$	$\bar{x}_2$	$\underline{x}_3$	$\bar{x}_3$	$\underline{x}_4$	$\bar{x}_4$	$\underline{x}_5$	$\bar{x}_5$	$\bar{x}_6$	$\bar{x}_6$
p_1		50	60	40	55	10	20	50	70	50	45	30	40
p_2		70	80	60	70	40	45	60	75	70	80	70	60
p_3		60	70	55	70	30	40	70	80	55	65	40	50

Nustatytų reikšmingumų ir rodiklių reikšmės pateiktos 4.8 lentelėje. Rodiklių reikšmės nustatytos analizuojant projektų vadovų kandidatų testuose pateiktų klausimų atsakymus. Naudojant daugiatiskslio vertinimo metodą COPRAS ir COPRAS-G skaičiavimo algoritmus, pateiktus 2.5.3 ir 2.7.2 skirsniuose, gauti tarpiniai skaičiavimų rezultatai, kurie pateikti 4.9 lentelėje.

4.9 lentelė. Pasverta ir normalizuota sprendimų priėmimo matrica $\otimes \hat{X}$

Table 4.9. Weigthet and normalized decision making matrix $\otimes \hat{X}$

Projektų vadovas	COPRAS min						COPRAS max					
	$\hat{x}_1$	$\hat{x}_2$	$\hat{x}_3$	$\hat{x}_4$	$\hat{x}_5$	$\hat{x}_6$	$\hat{x}_1$	$\hat{x}_2$	$\hat{x}_3$	$\hat{x}_4$	$\hat{x}_5$	$\hat{x}_6$
p_1	0,069	0,039	0,015	0,056	0,037	0,032	0,077	0,047	0,026	0,069	0,032	0,041
p_2	0,097	0,058	0,060	0,067	0,052	0,075	0,103	0,060	0,058	0,074	0,057	0,062
p_3	0,083	0,053	0,045	0,078	0,041	0,043	0,090	0,060	0,052	0,079	0,046	0,052
Projektų vadovas	COPRAS-G $\otimes \hat{X}$											
	$\hat{\underline{x}}_1$	$\hat{\bar{x}}_1$	$\hat{\underline{x}}_2$	$\hat{\bar{x}}_2$	$\hat{\underline{x}}_3$	$\hat{\bar{x}}_3$	$\hat{\underline{x}}_4$	$\hat{\bar{x}}_4$	$\hat{\underline{x}}_5$	$\hat{\bar{x}}_5$	$\hat{\underline{x}}_6$	$\hat{\bar{x}}_6$
p_1	0,064	0,077	0,034	0,047	0,013	0,026	0,049	0,069	0,036	0,032	0,031	0,041
p_2	0,090	0,103	0,051	0,060	0,052	0,058	0,059	0,074	0,050	0,057	0,071	0,062
p_3	0,077	0,090	0,047	0,060	0,039	0,052	0,069	0,079	0,039	0,046	0,041	0,052

Galutiniai sprendimo rezultatai pateikti 4.10 lentelėje (S_j – nustatytas alternatyvų rangas. Mažiausia reikšmė – geriausia). Gauti rezultatai pateikti 4.8 paveiksle.

Skaičiavimų rezultatai rodo, kad sprendžiant uždavinį dviem atvejais: nagrinėjant pesimistines, optimistines rodiklių intervalo reikšmes, gauti skirtingi rezultatai, išskyrus geriausios alternatyvos reikšmę (100 proc.).

4.10 lentelė. Projektų vadovo parinkimo galutiniai skaičiavimų rezultatai taikant COPRAS ir COPRAS-G metodus

Table 4.10. Solution results of project manager selection according COPRAS and COPRAS-G methods

Projektų vadovas	Alternatyvų naudingumo laipsnis N_i			Rangai S_j		
	COPRAS min	COPRAS max	COPRAS-G	COPRAS min	COPRAS max	COPRAS-G
p_1	100	100	100	1	1	1
p_2	69,2	88,0	87,7	3	3	3
p_3	90,1	94,5	92,1	2	2	2

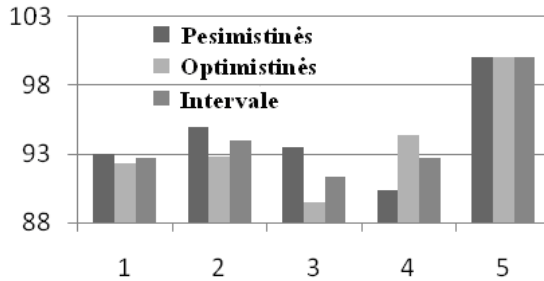
Tačiau skirtingais metodais vertinti projektų vadovo pareigoms užimti kandidatai surikiuojami ta pačia prioriteto eilute. Projektų vadovas 1 $\succ$ Projektų vadovas 3 $\succ$ Projektų vadovas 2. Administracinio 9 aukštų pastato Vilniaus mieste projekto vadovu buvo parinktas 1 alternatyva pažymėtas projektų vadovas.

4.5. Skaičiavimo rezultatų palyginimas

Renkant rangovą skirtingais daigiatikslio vertinimo metodais, gaunamos skirtingos galutinių rezultatų reikšmės. Tai negalioja tik geriausio varianto N reikšmei. Ji visais atvejais lygi 100 proc.

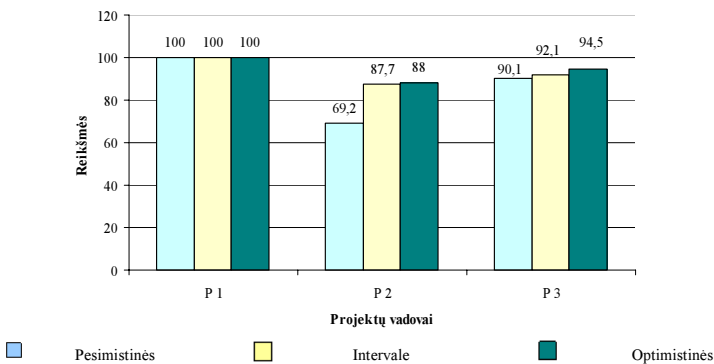
Skaičiavimų rezultatai rodo, kad pesimistinių, optimistinių ir reikšmių intervale gaunami skirtingi rezultatai. Vertinant optimistines rodiklių reikšmes gauta prioritetų eilutė: $A_5 \succ A_4 \succ A_2 \succ A_1 \succ A_3$, vertinant pesimistines rodiklių reikšmes gauta prioritetų eilutė: $A_5 \succ A_2 \succ A_3 \succ A_1 \succ A_4$, COPRAS-G metodu prioritetų eilutė: $A_5 \succ A_2 \succ A_1 = A_4 \succ A_3$.

Vertinant statybos projektų vadovo pareigas norinčius užimti kandidatus, gauta ta pati prioriteto eilutė, apskaičiuota abiem daigiatikslio vertinimo COPRAS pesimistinių, optimistinių reikšmių ir COPRAS-G metodais. Skaičiavimų rezultatai pateikti 4.9 paveiksle.



4.8 pav. Rangovo vertinimo rezultatų reikšmių grafikas

Fig. 4.8. The chart of the results assessment by contractor



4.9 pav. Daugiatikslio vertinimo metodais COPRAS ir COPRAS-G, projektų vadovo parinkimo, gautų rezultatų reikšmių pasiskirstymo grafikas

Fig. 4.9. The chart of the distribution of meaning, acquired by the methods of multipurpose assessment COPRAS and COPRAS-G, the project guide choosing.

Palyginus alternatyvų naudingumo laipsnio reikšmes pagal daugiatikslio vertinimo metodus COPRAS ir COPRAS-G gauta, kad COPRAS-G metodu apskaičiuotų reikšmių rezultatai tikslesni 2–21 proc. už rezultatus, gautus skaičiuojant uždavinį tradiciniu COPRAS metodu, vertinant minimalias rodiklių reikšmes ir 0,26–0,34 proc. vertinant maksimalias rodiklių reikšmes.

4.6. Skyriaus išvados

1. Rangovo parinkimas visuomet susijęs su tam tikra rizika. Vertinant riziką negalima vadovautis vienu rangovą apibūdinančiu rodikliu. Sudaryta rodiklių sistema, kuri tiksliau vertins rangovo riziką ir leis pasirinkti tinkamą sprendimą. Rangovo rizikos įvertinimas leidžia vertinti rangovo galimybes laiku, kokybiškai sutartyje numatytomis kainomis atlikti pastato statybos darbus.

Rangovų rizikos vertinimas planavimo etape leidžia nustatyti rizikingus rangovus teikiant pasiūlymus. Suinteresuotų grupių sprendimai planavimo etape gali būti imami rodiklių reikšmės išreiškus intervalu.

2. Statybos planavimo etape daugiatikslio vertinimo metodai kompleksinio proporcingumo COPRAS ir COPRAS-G metodai gali būti taikomi uždaviniams spręsti tarp suinteresuotų grupių pastato.
3. Išsprendus statybos projekto rangovo ir projektų vadovo parinkimo uždavinius taikant naują COPRAS-G metodą, gaunami 2–21 proc. skirtingi skaičių rezultatų rezultatai, nei skaičiuojant COPRAS metodu.

Pastato konstrukcinių, techninių sprendimų vertinimas planavimo etape

Šiame skyriuje apžvelgti konstrukcinių techninių sprendimų vertinimas planavimo etape. Pateiktas praktinis, planavimo etape sprendžiamas uždavinys parenkant būsimą pastato išorės sienų atitvarines konstrukcijas. Sudarytas išorės sienų atitvarinių konstrukcijų parinkimo modelis ir įvertinti įvairūs skienų konstrukcijų galimi variantai. Autorė kartu su bendraautoriais skyriuje nagrinėjama tema tyrimų rezultatus paskelbė viename recenzuojamame žurnale (Zavadskas *et al.* 2008a) ir vienos tarptautinės konferencijos recenzuojamame straipsnių rinkinyje (Zavadskas *et al.* 2007b).

5.1. Planuojami konstrukciniai, techniniai sprendimai

Gyvenamųjų, administracinių ir kitos paskirties pastatų Lietuvoje kasmet nuolat daugėja. Tačiau esant greitam statybos tempui dažnai nebelieka laiko

išspręsti visus būtinus pastatų statyboje keliamus ir sprendinus klausimus. Bendrai statybos procesų planavimo etape sprendžiami techniniai konstrukciniai uždaviniai gali būti klasifikuojami į šias grupes:

- Planinius-architektūrinius.
- Konstrukcijų projektavimo.
- Technologijos organizavimo.
- Statybos organizavimo.
- Statybos procesų.
- Pastato eksploatavimo.

Įprastai visi uždaviniai sprendžiami pastato statybos planavimo etape. Tačiau neišvengiama situacijų, kai klaidos taisomos ir statybos procesų metu.

5.2. Išorės sienų atitvarinių konstrukcijų vertinimas

Esant dideliame statybų tempui ne visuomet išlaikomi pastatų konstrukciniai, technologiniai ar kitų charakteristikų kokybės reikalavimai. Šiluminės varžos nuostoliai kelia didžiausią rūpestį pastato eksploatavimo procese, palaikant pastatuose teigiamą temperatūrą šaltuoju metų laikotarpiu.

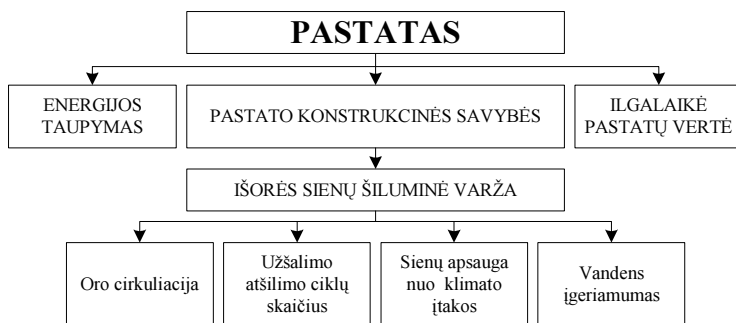
Esamų pastatų per pastato konstrukcijas atiduodami šilumos nuostoliai sudaro (5.1 pav.):

- per pastato grindis 10–20 %;
- per išorės sienas 25–30 %;
- per plokščiuosius ir dvišlaičius stogus 25–30 %;
- per langus –30–40 % visų šilumos nuostolių.



5.1 pav. Lietuvoje gyvenamųjų pastatų šilumos nuostoliai per atitvarines konstrukcijas
Fig. 5.1. Heat losses during construction works in Lithuanian residential houses.

Optimali pastatų išorės konstrukcijų – laikančiųjų sienų šiluminė varža yra svarbi pastato savybė eksploataavimo procese. Nuo parinktos išorės sienų konstrukcijos iš dalies priklauso dalis pastato eksploataavimo išlaidų. Todėl efektyvaus išorės sienų varianto parinkimas yra vienas iš svarbiausių sprendimų. Tai svarbu dar ir dėl to, kad pastato išorės sienų konstrukcijos kaina sudaro vidutiniškai 1/3 viso pastato vertės. Todėl tinkamos išorės sienų konstrukcijos pasirinkimas yra vienas svarbiausių statybos projekto uždavinių planavimo etape. Išorės sienų konstrukcijų rodikliai pavaizduoti 5.2 paveiksle.



5.2 pav. Išorės sienų šiluminio efektyvumo rodikliai
Fig. 5.2. The indexes of external walls thermal effect

Duomenys išorės sienoms vertinti surinkti pagal nustatytus išorės sienoms keliamus reikalavimus ir atlikus praktinius išorės sienų charakteristikų parametrų matavimus. Išorės sienų konstrukcijos varianto parinkimą veikia daugeliu rodiklių, pvz., užsakovo noras mažinti statomo pastato išlaidas. Išlaidų mažinimas ne visuomet atitiks keliamus pastato kokybei reikalavimus, tokius kaip technologijos, architektūros ar komforto. Kita vertus, kiekvienas statybos procesų dalyvis (architektas, rangovas ir kt.) suinteresuotas gauti iš vykdomos veiklos maksimalų pelną. Tai susiję su suinteresuotos įmonės plėtra, augimo ir kitais interesais.

Kiekvieną sprendimą sudaro šios alternatyvos. Daugiatikslių sprendimų priėmimą sudaro alternatyvos pasirinkimas iš kelių galimų. Daugiatikslio vertinimo metodus galima taikyti aprašius išorės sienų alternatyvas atitinkamomis reikšmėmis.

Europos Direktyva 89/106/EEC nurodo šešis pagrindinius reikalavimus:

- mechaninis pastovumas ir stabilumas.
- saugumas, pavyzdžiui, nuo gaisro.
- higieniškumas, sveikata ir aplinka.
- saugumas naudojant.
- apsauga nuo triukšmo.
- energijos taupymas ir sveikatos išsaugojimas.

Visi šie reikalavimai gali būti vykdomi vadovaujantis šiais rodikliais:

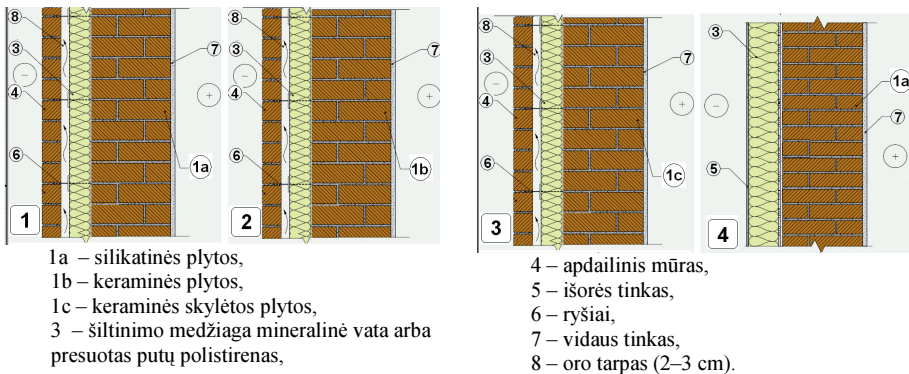
- Komponentų kokybė.

- Architektūros lygiu.
- Darbų įgyvendinimo lygiu.
- Vidaus aplinkos.
- Išorės aplinkos.
- Eamos padėties.
- Eksploatacijos lygis.

5.3. Sienų konstrukcijų parinkimas COPRAS-G metodu

Sienų konstrukcijoms parinkti ir sudaryti rodiklių sistemai nustatyti buvo apklausti respondentai – skirtingose įmonėse dirbantys savininkai ir darbuotojai (užsakovai, architektai, rangovai, mokslininkai). Vertinamų išorės sienų variantai pateikiami 5.3 paveiksle. Pateikiami rodikliai, kurie nustatomi kiekybiniais tyrimais tiriant projektų dokumentaciją, specifikacijas, kainoraščius, rekomendacijas:

- Sienų atsparumas šalčiui (ciklai) $x_1 - [w_{i1}; b_{i1}]$.
- Išorės sienų šiluminė varža ($W/m \cdot K$) $x_2 - [w_{i2}; b_{i2}]$.
- Išlaidos $1 m^2$ išorės sienai $x_3 - [w_{i3}; b_{i3}]$.
- Išorės sienos svoris m^2 (kg) $x_4 - [w_{i4}; b_{i4}]$.
- Darbo sąnaudos (žm.val./ m^2) $x_5 - [w_{i5}; b_{i5}]$.



5.3 pav. Tiriamos daugiasluoksnės išorės sienų konstrukcijos

Fig. 5.3. The main construction of external walls

Minėtų rodiklių reikšmingumus įvertino ekspertai. Rodiklių reikšmingumų įvertinimas pateiktas F priedo 5 dalyje.

5.3 lentelė. Pradinių duomenų matrica išorės sienų konstrukcijoms vertinti
Table 5.3. Initial decision making matrix of construction of external walls

Alternatyvos	Sienų atsparumas, (ciklai)		Šilumos nuostoliai, W/m·K		Išorės sienų 1m ² kaina 2006 metų kainų lygiu, LTL		Išorės sienos svoris m ² , kg		Žmogiškieji ištekliai 2006 metų kainų lygiu, žm.val./m ²	
Optimizavimo kryptys	max		min		min		min		min	
Rodiklių reikšmingumai q_j	0,21		0,33		0,26		0,09		0,11	
	x_1		x_2		x_3		x_4		x_5	
	w_1	b_1	w_2	b_2	w_3	b_3	w_4	b_4	w_5	b_5
Silikatinių blokelių mūras su plytų išorės apdaila	75	100	0,22	0,25	72,08	94,71	590	652	4,60	4,60
Keraminių blokelių mūras su plytų išorės apdaila	75	100	0,22	0,25	89,01	100,93	596	625	4,60	4,60
Skylėtų keraminių blokelių mūras su plytų išorės apdaila	75	100	0,21	0,25	80,32	96,42	581	604	4,60	4,60
Silikatinių blokelių mūras su išorės tinko apdaila	25	25	0,24	0,27	67,76	98,10	455	479	4,55	5,01

5.4 lentelė. Pasvertos ir normalizuotos sprendimų priėmimo matricos duomenys
 vertinant COPRAS-G metodu

Table 5.4. Weighted and normalized values decision making matrix according COPRAS-G method

Alternatyvos Nr.	Pasvertos ir normalizuotos lyginamų rodiklių reikšmės matricioje $\hat{X}$									
	$\hat{w}_1$	$\hat{b}_1$	$\hat{w}_2$	$\hat{b}_2$	$\hat{w}_3$	$\hat{b}_3$	$\hat{w}_4$	$\hat{b}_4$	$\hat{w}_5$	$\hat{b}_5$
1	0,055	0,073	0,076	0,086	0,054	0,070	0,023	0,026	0,027	0,027
2	0,055	0,073	0,076	0,086	0,066	0,075	0,023	0,025	0,027	0,027
3	0,055	0,073	0,073	0,086	0,060	0,072	0,023	0,024	0,027	0,027
4	0,018	0,018	0,083	0,093	0,050	0,073	0,018	0,019	0,027	0,030

Pradiniai duomenys išorės sienoms vertinti pateikti 5.5 lentelėje.

Sprendžiant uždavinį rodikliai optimizuojami pagal šias optimizavimo kryptis:

$$x_1 \xrightarrow{\text{optimizavimo kryptis}} \max; \quad x_2, x_3, x_4, x_5 \xrightarrow{\text{optimizavimo kryptis}} \min.$$

Lentelėje pateikti normalizuoti ir pasverti sprendimų priėmimo duomenys.

Pagal šilumos nuostolių duomenis 3-ioji alternatyva yra geriausia iš visų vertintų alternatyvų. Vertinant išorės sienų ilgaamžiškumą 1-oji alternatyva yra geriausia (2-oji ir 3-ioji yra lygios), o paskutinė– 4-oji. Vertinant išorės sienų m² svorį geriausia 4-oji alternatyva, o 2-oji alternatyva tik ketvirta. Vertinant žmogiškąsias išlaidas 4-oji alternatyva geriausiųjų sąraše pirma, o 1-oji alternatyva tik ketvirta.

5.5 lentelė. COPRAS-G metodu išorės sienų vertinimo rezultatai (R_j – alternatyvų rangai). Mažiausia reikšmė – geriausia
Table 5.5. The solution results by COPRAS-G method (R_j – range of the attribute). Minimal value is the best

Alternatyvos Nr.	Bendra maksimizuojančių ir normalizuojančių reikšmių R_j suma	Bendra minimizuojančių ir normalizuojančių reikšmių P_j suma	Alternatyvų reikšmingumai Q_j	Vertinamų alternatyvų reikšmės procentine išraiška N_j	Rangai R_j
1	0,390	0,128	0,528	100	1
2	0,406	0,128	0,512	96,9	3
3	0,391	0,128	0,526	99,7	2
4	0,393	0,037	0,434	82,1	4

Galutinis išorės sienų parinkimas galimas taikant COPRAS-G metodą. Tai rodo skaičiavimų rezultatai, pateikti lentelėje. Išorės sienos alternatyvos parenkamos pagal geriausią rangą R_j , kuris nustatomas kiekvienai alternatyvai. Iš apskaičiuotų rezultatų, kurie pateikti lentelėje, matome, kad 1-oji alternatyva vertinama geriausiai. Pirmosios alternatyvos rezultatas lygus 100 %. Kitos alternatyvos rezultatas 96,9 %, jos rangas – 3. Trečiosios alternatyvos rezultatas yra 99,7 % ir jos rangas – 2. Ketvirtosios alternatyvos reikšmė – 82,1 % ir jos rangas yra 4. Optimalumo rodiklio eilutė N_j užrašoma taip: $N_j = [100; 96,9; 99,7; 82,1]$. Pagal optimalumo rodiklio eilutę N_j alternatyvų rangai yra tokie: $A_1 \succ A_3 \succ A_2 \succ A_4$.

5.4. Skyriaus išvados

1. Naudodamas sprendimų priėmimo modelį užsakovas gali vertinti technines pastato charakteristikas, šiuo atveju pastato išorės sienas. Pagal vertinimo rezultatus pasirenkamas naudingiausias sprendimas.
2. Siūlomas vertinimo modelis gali būti taikomas vertinant ir kitas pastato konstrukcijas pastato planavimo etape.
3. Priimant sprendimus statybos planavimo etape siūlome taikyti rodiklių reikšmes, išreikštas intervalu.

Bendrosios išvados

1. Atlikus mokslinius tyrimus nustatyta, kad iš visų statybos sprendimų priėmimo etapų svarbiausias – statybos procesų planavimo etapas. Tikslo turi būti siekiama sudarius uždavinių modelių sprendimų sistemas. Nustatyta, kad statybos uždavinių modeliai, vertinantys alternatyvas, turi būti sudaromi makro-, mezo- ir mikroaplinkose. Priimtų sprendimų rezultatų visuma – pastatytas pastatas. Statybos planavimo etape numatomi sprendimai, įgyvendinami per tam tikrą laiką, tampa rezultatais. Valdymo uždaviniams spręsti pasirinkti tradiciniai daugiatikslio vertinimo metodai TOPSIS ir COPRAS. Uždaviniams spręsti sudarytos rodiklių sistemos.

2. Atlikti moksliniai tyrimai rodo, kad statybos, valdymo ir kituose su statyba susijusiuose procesuose priimami sprendimai, kurių pagrindas – informacija. Nustatyta, kad priklausomai nuo statybos etapo, sprendimams reikalingas skirtingas informacijos kiekis. Nustatyta, kad statybos planavimo etape daugelis sprendimų priimami turint neišsamią informaciją. Šiame statybos proceso etape rodiklių reikšmės apibrėžiamos tam tikrame intervale. Intervalo reikšmė tiesiogiai priklauso nuo tiriamo rodiklio ir sprendžiamo uždavinio pobūdžio.

3. Nustatyta, kad valdymo uždaviniams spręsti, statybos procesams planuoti gali būti taikoma intervalų sistemų teorija. Remdamasi tyrimais autorė kartu su bendrautoriais sukūrė daugiatikslio vertinimo metodą COPRAS-G.

4. Nustatyta, kad statybos procesų rizika statybos objektuose yra 2 kartus svarbesnė nei išorinė ir 1,7 karto svarbesnė nei vidinė. Procesų rizikos rodiklių grupės pagal svarbą gali būti surikiuotos taip: kaina, kokybė, laikas. Statybos procesų vidaus rizikai vertinti rizikingiausias statybos dalyvių vertinimas. Sudarytas rangovų rizikos vertinimo modelis planavimo etape rizikingiems rangovų pasiūlymams nustatyti ir įvertinti. Vertinant riziką daugiatikslio vertinimo metodais COPRAS-G ir TOPSIS „grey“ gauti rizikos vertinimo rezultatai skiriasi 5–17 proc., nei vertinant tradiciniais daugiatikslio vertinimo TOPSIS ir COPRAS metodais.

5. Daugiatikslio vertinimo metodai COPRAS ir COPRAS-G gali būti taikomi suinteresuotų grupių sprendimams. Pastato statybos planavimo etape svarbiausias sprendimas – rangovo ar subrangovo parinkimas. Taikant sukurta COPRAS-G metodą statybos objekto rangovo ir projektų vadovo parinkimo uždaviniams spręsti gauti rezultatai skiriasi 2–21 proc. nuo skaičiavimų tradiciniu daugiatikslio vertinimo metodu COPRAS.

6. Sudarytas daugiatikslio vertinimo modelis išorės sienų atitvarinėms konstrukcijoms parinkti. Taikydamas pastato konstrukcijų parinkimo modelį užsakovas gali vertinti technines būsimo pastato charakteristikas, šiuo atveju būsimo pastato išorės sienų atitvarines konstrukcijas. Skaičiavimų rezultatai COPRAS-G metodu rodo, kad laikančiosios išorės sienos iš lengvojo, jo porėtojo betono blokų, apšiltintos putų polistirenu ir apdailintos plonasluoksniu tinku, yra geriausios iš įvertintų sienų konstrukcijų alternatyvų.

LITERATŪRA IR ŠALTINIAI

Abeyesundara, Y. U. G.; Babel, S.; Gheewala, S. 2009. A matrix in life cycle perspective for selecting sustainable materials for buildings in Sri Lanka, *Building and Environment* 44(5): 997–1004.

Adobor, H. 2004. Selecting management talent for joint ventures: A suggested framework, *Human Resource Management Review* 14(2): 161–178.

Albert, I.; Grenier, E.; Denis, J. B.; Rousseau, J. 2008. Quantitative Risk Assessment from Farm to Fork and Beyond: A Global Bayesian Approach Concerning Food-Borne Diseases, *Risk Analysis* 28(2): 557–571.

Ambrasas, G. 1997. *Daugiabučių gyvenamųjų namų šiluminės renovacijos sprendimų sistemotekninis įvertinimas*: daktaro disertacija. Technologijos mokslai, statybos inžinerija (02T). Vilnius, Technika.

Andruškevičius, A. 2005. Evaluation of contractors by using COPRAS – the multiple criteria method, *Technological and Economic Development of Economy* 11(3): 158–169.

Antanavičius, K.; Bivainis, J. Čepas, A.; Dieninis, J.; Dilba, J.; Jonaitis, A. Rudalevičius, J. Sadauskas, V.; Silickas, J.; Valašimas, K. 1993. *Statybos valdymas*. Vilnius Amžius. 276.

Antuchevičienė, J.; Turskis, Z.; Zavadskas, E. K. 2006. Modelling renewal of construction objects applying methods of the game theory, *Technological and Economic Development of Economy* 12(4): 263–268.

Antuchevičienė, J. 2005a. *Ekonominės socialinės būklės statinių pasiskirstymo sąsajos Lietuvos kaime*: Daktaro disertacija. Technologijos mokslai, statybos inžinerija (02T). Vilnius, VGTU.

Antuchevičienė, J. 2005b. Apleistų pastatų racionalaus naudojimo modeliavimas taikant geoinformacines sistemas, *Geodezija ir kartografija* 31(4): 129–133.

Arrow, K. J. 1949. Bayes and Minimax Solutions of Sequential Decision Problems, *Econometrica*: 213–243.

Arslan, G.; Kivrak, S.; Birgonul, M. T. and Dikmen, I. 2008. Improving sub-contractor selection process in construction projects: Web-based sub-contractor evaluation system (WEBSES), *Automation in Construction* 17: 480–488.

Arditi, D. Gunaydin, H. M. 1998 Perception of process quality in building projects. *Journal of Management in Engineering*, 15(2):43–53.

Asif, M.; Muneer, T.; Kelley, R. 2007. Life cycle assessment: A case study of a dwelling home in Scotland, *Building and Environment* 42(3): 1391–1394.

Atkinson, R. 1999. Project management: cost, time and quality, two best guesses and a phenomenon, its time to accept other success criteria, *International Journal of Project Management* 17(6): 337–342.

Banaitienė, N.; Banaitis, A.; Kaklauskas, A.; Zavadskas, E. K. 2008. Evaluating the life cycle of building: A multivariant and multiple criteria approach, *Omega* 36(3): 429–441.

Banaitienė, N.; Banaitis A. 2006. *Statybos projektų valdymo pagrindai*. Vilnius: Technika. 202 p.

Banaitis, A. 2000. *Racionalaus būsto statybos parinkimo modelis*: daktaro disertacija. Technikos mokslai, statyba (02T) VTU. Vilnius: Technika. 143 p.

Bendrieji statybos ir montavimo darbai, 1 DALIS (pagal 2008 m. spalio mėn. darbo, medžiagų, gaminių, mašinų ir mechanizmų eksploatacijos rinkos kainas). UAB „Sistela“.

Boddy, S.; Rezgui, Y.; Wetherill, M.; Cooper, G. 2007. Knowledge informed decision making in the building lifecycle: An application to the design of a water drainage system, *Automation in Construction* 16(5): 596–606.

Boukamp, F.; Akinci, B. 2007. Automated processing of construction specifications to support inspection and quality control, *Automation in Construction* 17(1): 90–106.

Brans, J. P.; Marschal, B.; Vincke, Ph. 1984. Promethee: A new family of outranking methods in multicriteria analysis, in J. P. Brans (ed.). *Operational Research '84*. Elsevier Science Publishers B. V. (North Holland): 408–421.

Brauers, W. K. and Zavadskas, E. K. 2006. The MOORA method and its application to privatization in a transition economy, *Control and Cybernetics* 35(2): 443–468.

Būda, V.; Chmieliauskas, A. 2006. *Projektų valdymas*. Kaunas: Technologija. 143 p.

Chang, W. C. 2000. A comprehensive study of grey relational generating, *Journal of Grey System* 3: 53–62

Chau, O. L. and Parkan, C. 1995. Selection of a manufacturing process with multiple attributes: A case study, *Journal of Engineering Technology Management* 12: 219–237.

Chen, H.-Ch.; Chu, C.-I.; Wang, Y.-H.; Lin, L.-Ch. 2008. Turnover factors revised: a longitudinal study of Taiwan-based staff nurses, *International Journal of Nursing Studies* 45(2): 277–285.

- Chen, M. F.; Tzeng, G. H. 2004. Combining gray relation and TOPSIS concepts for selecting an expatriate host country, *Mathematical and Computer Modelling* 40: 1473–1490.
- Cheng, M.-Y.; Tsai, H.-C.; Hsieh, W.-S. 2009. Web-based conceptual cost estimates for construction projects using Evolutionary Fuzzy Neural Inference Model, *Automation in Construction* 18(2): 164–172.
- Chunlin, C.; Daoyi, D.; Zonghai, C. and Haibo, W. 2008. Grey systems for intelligent sensors and information processing, *Journal of Systems Engineering and Electronics* 19(4): 659–665.
- Churchman, C. W.; Ackoff, R. L. 1954. An approximate measure of value, *Journal of the Operational Research Society of America* 2(2): 172–187.
- Chu, T.-C. 2002. Facility location selection using fuzzy TOPSIS under group decisions. International Journal of Uncertainty, Fuzziness & Knowledge-Based Systems 10(6): 687–701.
- Cho, S. 2009. A linear Bayesian stochastic approximation to update project duration estimates, *European Journal of Operational Research* 196(2): 585–593.
- Chou, J.-S.; O'Connor, T. J. 2007. Internet-based preliminary highway construction cost estimating database, *Automation in Construction* 17(1): 65–74.
- Collins, P. 1998. *Project manager selection and development process*. PMI International symposium in Long Beach, California. 1998.
- Deng, H.; Yeh, C.-H.; Willis, R. J. 2000. Inter-company comparison using modified TOPSIS with objective weights, *Computers & Operations Research* 27(10): 963–974.
- Deng, J. L. 1989. Introduction to Grey System Theory, *The Journal of Grey Theory* 1: 1–24.
- Deng, J.L. 1988. Properties of relational space for grey systems, in *Essential Topics on Grey System-Theory and Applications*, Beijing: China Ocean: 1–13.
- Deng, J.L. 1982. Control problems of grey systems, *Systems and Control Letters* 5(2): 288–294.
- Dikmen, I.; Birgonul, M. T.; Anac, C. Tah, J. H. M.; Aouad, G. 2008. Learning from risks: A tool for post-project risk assessment, *Automation in Construction* 18(1): 42–50.
- Dikmen, I.; Birgonul, M. T.; Gur, A. K. 2007. A case-based decision support tool for bid mark-up estimation of international construction projects, *Automation in Construction* 17(1): 30–44.
- Egemen, M.; Mohamed, A. 2008. SCBMD: A knowledge-based system software for strategically correct bid/no bid and mark-up size decisions, *Automation in Construction* 17: 864–872.
- El-Sabaa, S. 2001. The skills and career path of an effective project manager, *International Journal of Project Management* 19(1): 1–7.
- El-Sayegh, S. M. 2008. Risk assessment and allocation in the UAE construction industry, *International Journal of Project Management* 26: 431–438.
- Erlandson, R. 1978. System Evaluation Methodologies: Combined Multi-dimensional Scaling and Ordeing Techniques. IEEE Trans. On System, Man and Cybernetic SMC-8(6): 421–432.
- Fang, Z.-G.; Liu, S.-F.; Ruan, A.; Zhang, X. 2006. Study on venture problem of potential optimal pure strategy solution for grey interval number matrix game, *Kybernetes* 35 (7/8): 1273–1283.
- Feng, C.-M.; Wang, R.-T. 2001. Considering the financial ratios on the performance evaluation of highway busindustry, *Transport Reviews* 21(4): 449–467.

- Figueira, J.; Greco, S.; Ehrgott, M. Eds. 2005. *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*. Springer, Berlin.
- Fishburn, P. C. 1970. *Utility theory for decision making*. New York, Wiley.
- Fishburn, P. 1971. A Comparative Analyses of Group Decision Methods, *Behavioral Science*, 16(6): 538–544.
- Gao, P.-W. 2009. Options strategies with the risk adjustment, *European Journal of Operational Research* 192: 975–980.
- Ginevičius, R. 2008. Normalization of Quantities of various dimensions, *Journal of Business Economics and Management* 9(1): 79–86.
- Ginevičius, R.; Krivka, A. 2008. Application of game theory for duopoly market analysis, *Journal of Business Economics and Management* 9(3): 207–217.
- Ginevičius, R.; Podvezko, V.; Bruzė, Š. 2008. Evaluating the effect of state aid to business by multicriteria methods, *Journal of Business Economics and Management* 9(3): 167–180.
- Ginevičius, R.; Podvezko, V. 2000. Complex evaluation of efficiency of economical activities in construction enterprises, *Journal of Civil Engineering and Management* 6(4): 278–288.
- Goicoechea, D. R.; Hansen; Duckstein, L. 1982. *Multiple Decision Analysis with Engineering and Business Applications*, Wiley, New York.
- Graves, S. B.; Ringuest, J. L. 2009. Probabilistic dominance criteria for comparing uncertain alternatives: A tutorial, *Omega - International Journal of Management Science* 37: 346–357.
- Greco, S.; Matarazzo, B.; Slowinski, R. 2008a. Dominance-Based Rough Set Approach to Interactive Multi-objective Optimization, *Multiobjective Optimization*: 121–155.
- Greco, S.; Matarazzo, B.; Slowinski, R. 2008b. Parameterized rough set model using rough membership and Bayesian confirmation measures, *Int. J. Approx. Reasoning* 49(2): 285–300.
- Gunstone, S. 2003. Risk assessment and management of patients whom selfneglect: a 'grey area' for mental health workers, *Journal of Psychiatric and Mental Health Nursing*, 10: 287–296.
- Ham, N. H.; Min, K. M.; Kim, J. H. 2008. A Study on Application of BIM (Building Information Modeling) to Pre-design in Construction Project Conference Information: 3rd International Conference on Convergence and Hybrid Information Technology, Nov 11–13, 2008 Busan South Korea Third 2008: *International Conference On Convergence And Hybrid Information Technology*, 1: 42–49.
- Han, S. H.; Kim, D. Y.; Kim, H.; Jang, W.-S. 2008. A web-based integrated system for international project risk management, *Automation in Construction* 17(3): 342–356.
- Hassanein, A. A. G.; Afify, H. M. F. 2007. A risk identification procedure for construction contracts—a case study of power station projects in Egypt, *Civil Engineering and Environmental Systems* 24(1): 3–14.
- Hasan, A.; Vuolle, M.; Sirén, K. 2008. Minimisation of life cycle cost of a detached house using combined simulation and optimisation, *Building and Environment* 43(12): 2022–2034.
- Haynes, N. S.; Love, P. E. D. 2004. Psychological adjustment and coping among construction project managers, *Construction Management and Economics* 22(2): 129–140.

- Hodges, J. L.; Lehmann, E. L. 1952. The use of previous experience in reaching statistical decision, *Annals of Mathematics Studies* 396–407.
- Hopfenbeck, W. 1993. *Allgemeine Betriebswirtschafts- und Managementlehre Das Unternehmen im Spannungsfeld zwischen ökonomischen, sozialen und ökologischen Interessen*. Auflage 7. Verlage Moderne industrie 1225.
- Hong, T.; Han, S.; Lee, S. 2007. Simulation-based determination of optimal life-cycle cost for FRP bridge deck panels, *Automation in Construction* 16(2): 140–152.
- Hsueh, S.-L.; Perng, Y.-H.; Yan, M.-R.; Lee, J.-R. 2007. On-line multi-criterion risk assessment model for construction joint ventures in China, *Automation in Construction* 16(5): 607–619.
- Hurwicz, L. 1951. *Optimality Criteria for Decision Making under Ignorance*. Cowles Commission Paper, Statistics. 370.
- Hwang, C. L.; Yoon, K. 1981. *Multiple Attribute Decision Making – Methods and Application*. Springer-Verlag, Berlin.
- Jehiel, P. 1998. Repeated games and limited forecasting, *European Economic Review* 42(3–5): 543–551.
- Jüttler, H. 1966. *Untersuchungen zur Fragen der Operationsforschung und ihrer Anwendungsmöglichkeiten auf ökonomische Problemstellungen unter besonderer Berücksichtigung der Spieltheorie*. Dissertation A an der Wirtschaftlichen Fakultät der Humboldt – Universität Berlin.
- Kaklauskas, A.; Zavadskas, E. K.; Trinkūnas, V. 2007. A multiple criteria decision support on-line system for construction, *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 20(2): 163–175.
- Kaklauskas, A.; Zavadskas, E. K.; Raslanas, S.; Ginevicius, R.; Komka, A.; Malinauskas, P. 2006. Selection of low-e windows in retrofit of public buildings by applying multiple criteria method COPRAS: A Lithuanian case, *Energy and Buildings* 38(5): 454–462.
- Kaklauskas, A.; Zavadskas, E. K.; Raslanas, S. 2005. Multivariant design and multiple criteria analysis of building refurbishments, *Energy and Building* 37: 361–372.
- Kaklauskas, A.; Zavadskas, E. K. 2002a. *Internetinė sprendimų parama*: monografija. Vilnius: Technika 236.
- Kaklauskas, A.; Zavadskas, E. K. 2002b. Multiple Criteria Analysis in Facilities Management, in: *Proceedings of the CIB Working Commission 070 Facilities Management and Maintenance Global Symposium held in Glasgow*, GB. CABER, Glasgow Caledonian University, 195–205.
- Kaklauskas, A. 1999. *Pastato gyvavimo proceso daugiakriterinių sprendimų sistema*: habilitacinio darbo santrauka. Technologijos mokslai, statybos inžinerija (02T) VGTU. Vilnius: Technika.
- Kaklauskas, A. 1996. Improvement of Criteria Significance Determination, *Journal of Civil Engineering and Management* 5: 64–70.
- Kalibatas, D.; Turskis, Z. 2008. Multicriteria evaluation of inner climate by using MOORA method, *Information technology and Control* 37(1): 79–83.
- Kendall, M.G. 1970. *Rank correlation methods* (4th ed.), Griffin, London.
- Keeney, R. L.; von Winterfeldt, D. 2001. Appraising the precautionary principle – a decision analysis perspective, *Journal of Risk Research* 4(2):191–202.

Keeney, R. L. 1982. Decision analysis: an overview, *Operations Research* 30(5): 803–838.

Keeney, R. L.; H. Raiffa 1976. *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Trade-offs*. John Wiley & Sons, New York.

Keršulienė, V. 2008. *Užsakovo ir rangovo racionalaus ginčų sprendimo būdo nustatymas lošimų teorijos metodais*: daktaro disertacija. Technologijos mokslai, statybos inžinerija (02T). Vilnius, Technika. 119 p.

Körth, H. 1966. *Untersuchungen zur nichtlinearen Optimierung ökonomischer Erscheinungen und Prozesse unter besonderer Berücksichtigung der Quotientenoptimierung sowie der Lösung ökonomischer mathematischer Modelle bei Existenz mehrerer Zielfunktionen*. Habilitationsschrift Humboldt – Universität Berlin, Sektion Wirtschaftswissenschaften.

Kuo, Y.; Yang, T.; Huang, G.-W. 2008. The use of grey relational analysis in solving multiple attribute decision-making problems, *Computers & Industrial Engineering* 55(1): 80–93.

Kvederytė, N.; Zavadskas, E. K.; Kaklauskas, A. 2000. Vienbučių gyvenamųjų namų gyvavimo proceso daugiakriterinė analizė. *Journal of Civil Engineering and Management*, 6(3): 179–192.

Lahdelma, R.; Makkonen, S.; Salminen, P. 2009. Two ways to handle dependent uncertainties in multi-criteria decision problems, *Omega - International Journal of Management Science* 37: 79–92.

Laričev, O.; Moškovič, E. 1996. *Qualitative methode decision making*. Fizmatlit. (in Russian).

Laučius, J.; Vasilecas, O. 2007. *Informacinių technologijų projektų kokybės valdymas*. Vilnius: Technika. 223 p.

Lee, E.; Park, Y.; Shin, J. G. 2009. Large engineering project risk management using a Bayesian belief network, *Expert Systems with Applications* 36(3/2): 5880–5887.

Lee, J.-S.; Min, K.-M.; Lee, Y.-S.; Kim, J.-H.; Kim, J.-J. 2008. Building ontology to implement the BIM (Building Information Modeling) focused on pre-design stage Conference Information: in *25th International Symposium on Automation and Robotics in Construction - ISARC-2008*, Juni 26–29, Vilnius, LITHUANIA, 350–354.

G.; *Automation in Construction* 15(6): 758–776.

Lee, D.-E.; Arditi, D. 2006. Total quality performance of design/build firms using quality function deployment, *J. Constr. Eng. Manag* 132(1): 49–57.

Lepkova, N.; Vilutienė, T. 2008. *Pastatų ūkio valdymas: teorija ir praktika*. Vilnius: Technika. 325.

Lepkova, N. 2003. *Visuomeninės paskirties pastatų ūkio valdymo daugiakriterinė analizė*: daktaro disertacija: technikos mokslai, statyba. Vilnius: Technika. 121 p.

Liang, R.-H. 1999. Application of grey relation analysis to hydroelectric generation scheduling *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 21(5): 357–364.

Liao, S.-H.; Chen, C.-M.; Hsieh, C.-L.; Hsiao, S.-C. 2009. Mining information users' knowledge for one-to-one marketing on information appliance, *Expert Systems with Applications* 36(3)1: 4967–4979.

Li, G.-D.; Yamaguchi, D.; Nagai, M. 2007. A grey-based decision-making approach to the supplier selection problem, *Mathematical and Computer Modelling* 46(3-4): 573–581.

- Li, Y.; Liao X. 2007. Decision support for risk analysis on dynamic alliance, *Decision Support Systems* 42(4): 2043–2059.
- Lievens, F.; Harris, M. M.; Van Keer, E.; Bisqueret, C. 2003. Predicting cross-cultural training performance: the validity of personality, cognitive ability, and dimensions measured by an assessment center and a behavior description interview, *Journal of Applied Psychology* 88(3): 476–489.
- Lin, Y.-H.; Lee P.-C.; Chang T.-P. 2009. Practical expert diagnosis model based on the grey relational analysis technique, *Expert Systems with Applications* 36(2): 1523–1528.
- Lin, Y.-H.; Lee, P.-C.; Chang, T.-P., Ting, H.-I. 2008. Multi-attribute group decision making model under the condition of uncertain information, *Automation in Construction* 17: 792–797.
- Lin, Y.-H.; Lee P.-C; Ting, H.-I 2007. Dynamic multi-attribute decision making model with grey number evaluations, *Expert Systems with Applications*, In Press, Corrected Proof, Available online 11 September.
- Lin, Y.-H.; P.-C. Lee, 2007. Novel high-precision grey forecasting model, *Automation in Construction* 16(6): 771–777.
- Lin, Y.; Chen, M.-Y.; Liu, S. 2004. Theory of grey systems: capturing uncertainties of grey information, *Kybernetes* 33(2): 196–218.
- Ling, Y. Y. 2003. A conceptual model for selection of architects by project managers in Singapore, *International Journal of Project Management* 21(2): 135–144.
- Liu, S.; Y. Lin, 2006. On measures of information content of grey numbers, *Kybernetes* 35(6): 899–904.
- Lydeka, Z.; Drilingas, B. 2001. *Firmos ekonomikos pagrindai*. Vilnius: Pačiolis. 311 p.
- Lorda, R. G.; Brown, D. J. 2001. Leadership, values, and subordinate self-concepts, *The Leadership Quarterly* 12(2):133–152.
- Luu, D. T.; Sher, W. 2006. Construction tender subcontract selection using case-based reasoning, *Australian Journal of Construction Economics and Building* 6(2): 31–43.
- Lyons, T.; Skitmore, M. 2004. Project risk management in the Queensland engineering construction industry: a survey, *International Journal of Project Management* 22(1): 51–61.
- MacCrimon, K. R. 1968. *Decision Making Among Multiple-Attribute Alternatives: A Survey and Consolidated Approach*, RAND Memorandum, RM-4823-ARPA.
- Malienė, V. 2000. Valuation of Commercial premises by The Method of Multiple Criteria Analysis, *Journal of Civil Engineering and Management* 6(6): 457–463.
- Malinauskas, P.; Kalibatas, D. 2005. The selection of rational constructional technology processes variants using COPRAS method, *Technological and Economic Development of Economy* 11(3): 197–205.
- Malinauskas, P.; Petrašenko, T. 2001. Daugiabučių gyvenamųjų namų priežiūros proceso daugiakriterinė analizė, *Journal of Civil Engineering and Management* 7(2): 138–147.
- Malinauskas, P. 1994. *Pastatų iš monolitinio gelžbetonio daugiataksle selektonovacija: daktaro disertacija*. Technikos mokslai, statyba. Vilnius. 187 p.

Mickaitytė, A. 2008. *Visuomeninių pastatų atnaujinimas pagal darnos principus*: daktaro disertacija. Technologijos mokslai, statybos inžinerija (O2T). Vilnius: Technika.

Michnik, J.; Lo, M.-C. 2009. The assessment of the information quality with the aid of multiple criteria analysis, *European Journal of Operational Research* 195(3): 850–856.

Mihindu, S.; Arayici, Y. 2008. Digital construction through BIM systems will drive the re-engineering of construction business practices. *2008 International Conference - Visualisation, VIS 2008. Visualisation in Built and Rural Environments, Date: London UK. 2008 International Conference - Visualisation, VIS 2008. Visualisation in Built and Rural Environments*: 29–34.

Migilinskas, D.; Tamošaitienė, J. 2007. Automatizuotų pastato modelių ekonominio efektyvumo nustatymas, iš *10-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas ir verslas – Lietuvos ateiviai“, įvykusios Vilniuje 2007m. kovo 29 d., pranešimų medžiaga* Sekcija STATYBA. Vilnius: Technika, 439–444.

Mitkus, S.; Šostak, O. R. 2008. Modelling the process for defence of third party rights infringed while implementing construction investment projects, *Technological and Economic Development of Economy* 14(2): 208–223.

Moderis, Dž.; Filipšas, S. 1971. *Darbų organizavimas tinklinio planavimo ir valdymo metodais PERT*. Vilnius: Mintis. 259 p.

Mora, E. P. 2007. Life cycle, sustainability and the transcendent quality of building materials, *Building and Environment* 42(3): 1329–1334.

Muschik, E. 1975. *Risiko bei Auslegung und Betrieb elektrischer Energieanlagen*. Elektrische. Heft 5, 1983: 227–228.

Mustapha, F. H.; Naoum, S. 1998. Factors influencing the effectiveness of construction site managers, *International Journal of Project Management* 16(1): 1–8.

Naimavičienė, J. 2008. *Intelektinė žiniomis prietaisais paremta gyventi palanki mus supanti aplinka*: daktaro disertacija. Technologijos mokslai, statybos inžinerija (O2T). Vilnius: Technika.

Navon, R. 2007. Research in automated measurement of project performance indicators, *Automation in Construction* 16(2): 176–188.

Neverauskas, B.; Stankevičius, V.; Viliūnas, V.; Černiūtė, I. 2007. *Projektų valdymas*. Kaunas: Technologija. 143 p.

Nie, G.; Zhang, L.; Liu, Y.; Zheng, X.; Shi, Y. 2009. Decision analysis of data mining project based on Bayesian risk, *Expert Systems with Applications* 36(3/1): 4589–4594.

Novikova, N.; Pospelova, I., 2002. Multicriteria decision making under uncertainty, *Mathematical Programming* 92(3): 537–554.

Nwogugu, M. 2006. Decision-making, risk and corporate governance: New dynamic models/algorithms and optimization for bankruptcy decisions, *Applied Mathematics and Computation*, 179(1): 386–401.

Ogunlana, S.; Siddiqui, Z.; Yisa, S.; Olomolaiye, P. 2002. Factors and procedures used in matching project managers to construction projects in Bangkok, *International Journal of Project Management* 20(5): 385–400.

Opricovic, S. 1998. *Multicriteria optimization of civil engineering systems*. Faculty of Civil Engineering, Belgrade.

- Pareto, V. 1971. *Manual of Political Economy*. A. M. Kelley, New York.
- Parkan, C.; Wu, M.-L. 1999. Decision-making and performance measurement models with applications to robot selection, *Computers & Industrial Engineering* 36(3): 503–523.
- Pawlak, Z.; Slowinski, K.; Slowinski, R. 1986. Rough Classification of Patients After Highly Selective Vagotomy for Duodenal Ulcer, *International Journal of Man-Machine Studies* 24(5): 413–433.
- Pi, W. N. 2005. Supplier evaluation using AHP and TOPSIS, *Journal of Science and Engineering Technology* 1: 75–83.
- Peldschus, F. 2008. Experience of the game theory application in construction management, *Technological and Economic Development of Economy* 14(4): 531–545.
- Peldschus, F.; Zavadskas, E. K. 2005. Fuzzy matrix games multicriteria model for decision-making in engineering, *Informatica* 16(1): 107–120.
- Peldschus, F. 1986. *Zur Anwendung der Theorie der Spiele für Aufgaben der Bautechnologie*: Dissertation B. TH Leipzig. 119 p.
- Pollalis, Y. A.; Dimitriou, N. K. 2008. Knowledge management in virtual enterprises: A systemic multi-methodology towards the strategic use of information, *International Journal of Information Management* 28: 305–321.
- Reichelt, B.; Vilutienė, T.; Melnikas, B. 2008. The model for selection of a maintenance strategy for municipal buildings, *International Journal of Environment and Pollution* 35(2/3/4): 219–236.
- Rogov, M. A. 2006. Global risk factors, *Journal of Business Economics and Management* 7(1): 25–28.
- Roy, B. 1996. *Multicriteria Methodology for Decision Aiding*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Rosmuller, N; Beroggi, GEG. 2004. Group decision making in infrastructure safety planning, *Safety Science* 42(4): 325–349.
- Rutkauskas, A. V. 2008. On the sustainability of regional competitiveness development considering risk, *Technological and Economic Development of Economy* 14(1): 89–99.
- Saaty, T. L. 2003. Decision-making with AHP: why is the principal eigenvector necessary, *European Journal of Operational Research* 145: 85–91.
- Saaty, T. L.; Vargas, L. G.; Dellmann, K. 2003. The allocation of intangible resources: the Analytic Hierarchy Process and linear programming, *Socio-Economic Planning Sciences* 37:169–184.
- Saaty, T. L. 1990. *Decision Making for Leaders*. 2, AHP Series, RWS Publications, Pittsburgh, U.S.A.
- Saaty, T. L. 1994. Highlights and critical points in theory and application of the Analytic Hierarchy Process, *European Journal of Operational Research* 74: 426–447.
- Savage, L. J. 1951. The Theory of Statistical Decision, *Journal of the American Statistical Association*: 55–57.
- Scott-Young, C.; Samson, D. 2008. Project success and project team management: Evidence from capital projects in the process industries, *Journal of Operations Management* 48(6): 749–766.
- Schieg, M. 2007. Post-mortem analysis on the analysis and evaluation of risks in construction project management, *Journal of Business Economics and Management* 8(2): 145–153.

- Seo, F. 1981. Organizational aspects of multicriteria decision making, in *Lecture Notes in Economics and Mathematical System*. Berlin, Heidelberg, New York, 363–379.
- Shen, V. R. L.; Chung, Y.-F.; Chen, T.-S. 2009. A novel application of grey system theory to information security (Part I), *Computer Standards & Interfaces* 31(2): 277–281.
- Shevchenko, G.; Ustinovichius, L.; Andruskevičius, A. 2008. Multi-attribute analysis of investments risk alternatives in construction, *Technological and Economic Development of Economy* 14(3): 428–443.
- Shih, H.-S. 2008. Incremental analysis for MCDM with an application to group TOPSIS, *European Journal of Operational Research* (186)2: 720–734.
- Shih, H. S.; Shyur, H. J.; Lee, E. S. 2007. An extension of TOPSIS for group decision making, *Mathematical and Computer Modelling* 45: 801–813.
- Shen, V. R. L.; Chung, Y.-F.; Chen, T.-S. 2009. A novel application of grey system theory to information security (Part I), *Computer Standards & Interfaces* 31(2): 277–281.
- Slowinski, R. 2009. Fuzzy Multi-objective Linear Programming, *Encyclopedia of Optimization*: 1102–1112.
- Slowinski, R. 1993. *Rough Set Analysis of Multi-Classical Logics*: 136–142.
- Slowinski, R.; Stefanowski, J. 1996. Rough-Set Reasoning about Uncertain Data. *Fundam. Inform.*, 27(2/3): 229–243.
- Srinivasan, V.; Shocker, A. D. 1973. Linear Programming techniques for multidimensional analysis of privileged, *Psychometrica* 38: 337–369.
- Statinių statybos skaičiuojamųjų kainų nustatymo rekomendacijos (pagal 2008 m. spalio mėn. darbo, medžiagų, gaminių, mašinų ir mechanizmų eksploatacijos rinkos kainas). UAB „Sistela“.
- LR statybos įstatymas. Prieiga per internetą: http://www3lrs.lt/pls/inter2/dokpaieska.showdoc_1?p_id=267240.
- Statybos resursų skaičiuojamosios rinkos kainos (2008 10) (pagal 2008 m. spalio mėn. darbo, medžiagų, gaminių, mašinų ir mechanizmų eksploatacijos rinkos kainas). UAB „Sistela“.
- Sustambinti statybos darbų kainų apskaičiavimai (2008 10) (pagal 2008 m. spalio mėn. skaičiuojamąsias resursų rinkos kainas). UAB „Sistela“.
- Statinių statybos skaičiuojamųjų kainų palyginamieji ekonominiai rodikliai (2008 10) (pagal 2008 m. spalio mėn. statinių statybos skaičiuojamąsias kainas). UAB „Sistela“.
- Stopp, F. 1975. *Variantenvergleich durch Matrixspiele*, *Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule für Bauwesen Leipzig*, Heft 2.
- Suhobokov, A. 2008. Application of Monte Carlo simulation methods in risk management, *Journal of Business Economics and Management* 8(3): 165–168.
- Sykes, H. B. 1986. The anatomy of a corporate venturing program: factors influencing success, *Journal of Business Venturing* 1(3): 275–293.
- Šaparauskas, J.; Turskis, Z. 2006. Evaluation of construction sustainability by multiple criteria methods, *Technological and Economic Development of Economy* 12(4): 321–326.

- Šaparauskas, J. 2004. *Darnaus miesto vystymo(-si) daugiatislė selektonovacija*: daktaro disertacija. Technologijos mokslai, statybos inžinerija – (O2T). Vilnius: Technika.
- Tafel, K.; Alas, R. 2007. Various types of Estonian top-managers, *Journal of Business Economics and Management* 8(3): 189–194.
- Tanino, T.; Nakayama, H.; Sawaragi, Y. 1981. Methodology for group decision support, In *Lecture Notes in Economics and Mathematical System*. Berlin, Heidelberg, New York, 409–423.
- Tamošaitienė, J. 2008. Įtakojančių statybos projektą kriterijų analizė ir bendrųjų kriterijų nustatymas, iš *11-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“*, įvykusios Vilniuje 2008 m. balandžio 2–4 d., medžiaga. Vilnius: Technika. 547–556.
- Tamošaitienė, J. 2005. Statybos projektų administravimo problemos ir reikšmė statybos organizavime, iš *8-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Lietuva be mokslo – Lietuva be ateities“*, įvykusios Vilniuje 2005 m. kovo 24–25 d., medžiaga. Vilnius: Technika. 343–347.
- Triantaphyllou, E. 2000. *Multi-criteria decision making methods: A comparative study*. Volume 44 of Applied Optimization. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Turskis, Z. 2009. *Daugiatikslio apsisprendimo metodai statinių gyvavimo ciklui modeliuoti: habilitacijos procedūrai teikiamų mokslo darbų apžvalga*: habilitacijos procedūrai teikiamų mokslo darbų apžvalga. Technologijos mokslai. Statybos inžinerija (O2T). Vilnius: Technika.
- Turskis, Z. 2008. Multi-attribute contractors ranking method by applying ordering of feasible alternatives of solutions in terms of preferability technique, *Technological and Economic Development of Economy* 14(2): 224–239.
- Turskis, Z.; Zavadskas, E. K.; Zagorskas, J. 2006. Sustainable city compactness evaluation on the basis of GIS and Bayes rule, *International Journal of Strategic Property Management* 10(3): 185–207.
- Tvaronavičienė, M.; Grybaitė, V. 2007. Impact of FDI on Lithuanian economy: insight into development of main economic activities, *Journal of Business Economics and Management* 8(4): 285–290.
- Ustinovičius, L.; Migilinskas, D.; Tamošaitienė, J.; Zavadskas, E. K. 2007. Uncertainty analysis in construction project's appraisal phase, in *Proceedings of the 9th international conference „Modern building materials, structures and techniques“: Selected Papers, (16–18 May 2008, Vilnius, Lithuania)*. Vilnius: Technika, 401–407.
- Ustinovičius, L.; Zavadskas, E. K.; Podvezko, V. 2007. Application of a quantitative multiple criteria decision making (MCDM-1) approach to the analysis of investments in construction, *Control and Cybernetics* 36(1): 251–268.
- Ustinovičius, L.; Zavadskas, E. K. 2004. *Statybos investicijų efektyvumo sistemos techninis įvertinimas*. Vilnius: Technika.
- Vilutienė, T. 2004. *Miesto gyvenamojo rajono pastatų priežiūros efektyvumo didinimas*: daktaro disertacija. Technologijos mokslai, statybos inžinerija (O2T). Vilnius: Technika.
- Viteikienė, M. 2008. *Miestų gyvenamųjų rajonų ir būstų darnos daugiatislis vertinimas (Vilniaus miesto pavyzdžiu)*: daktaro disertacija. Technologijos mokslai, statybos inžinerija (O2T). Vilnius: Technika.
- Viteikiene, M. Zavadskas, E.K. 2007. Evaluating the sustainability of Vilnius city residential areas, *Journal of Civil Engineering and Management* 13(2): 149–155.

Viteikienė, M. 2006. Sustainable residential areas evaluation, *Technological and Economic Development of Economy* 12(2): 152–160.

Zadeh, L. 1965. A. Fuzzy Sets, *Information and Control* 8: 338–353.

Zagorskas, J.; Turskis, Z. 2006. Multi-attribute model for estimation of retail centres influence of the city structure. Kaunas city case study, *Technological and Economic Development of Economy* 12(4): 347–352.

Zanakis, S. H.; Solomon, A.; Wishart, N.; Dubliss, S. 1998. Multi-attribute decision making: A simulation comparison of select methods, *European Journal of Operational Research* 107(3): 507–529.

Zanakis, S. 1981. A method for large-scale integer goal programming with an application to a facility location/allocation problem, in *Lecture Notes in Economics and Mathematical System*. Berlin, Heidelberg, New York, 490–498.

Zayed, T.; Amer, M.; Pan, J. 2008. Assessing risk and uncertainty inherent in Chinese highway projects using AHP, *International Journal of Project Management* 26:408–419.

Zavadskas, E. K.; Turskis, Z. 2008. A New Logarithmic Normalization Method in Games Theory, *Informatica* 19(2): 303–314.

Zavadskas, E. K.; Kaklauskas, A.; Turskis, Z.; Tamošaitienė, J. 2008a. Selection of the effective dwelling house walls by applying attributes values determined at intervals, *Journal of Civil Engineering and Management* 14(2): 85–93.

Zavadskas, E. K.; Kaklauskas, A.; Turskis, Z.; Tamošaitienė, J. 2008b. Contractor selection multi-attribute model applying COPRAS method with grey interval numbers, *EURO Mini Conference Continuous Optimization and Knowledge – Based Technologies, EurOPT'2008*, May 20–23, 2008 Neringa.: 241–247.

Zavadskas, E. K.; Kaklauskas, A.; Turskis, Z.; Tamošaitienė, J.; Kalibatas, D. 2008c. Assessment of indoor environment improving applying COPRAS method with attributes determined in intervals, in *7th International Conference Environmental Engineering, ENVIRO'2008*, May 22–23, 2008, Vilnius, 907–912.

Zavadskas, E. K.; Liias, R.; Turskis, Z. 2008d. Multi-attribute decision-making methods for assessment of quality in bridges and road construction: state-of-the-art surveys, *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 3(3): 152–160.

Zavadskas, E. K.; Raslanas, S.; Kaklauskas, A. 2008e. The selection of effective retrofit scenarios for panel houses in urban neighborhoods based on expected energy savings and increase in market value: The Vilnius case, *Energy and Buildings* 40(4): 573–587.

Zavadskas, E. K.; Turskis, Z.; Tamosaitiene, J. 2008f. Construction risk assessment of small scale objects by applying TOPSIS method with attributes values determined at intervals, „8-th International Conference Reliability and Statistics in Transportation and Communication, RelStat'8“, October 15-18, Riga, Latvia: 351–357.

Zavadskas, E. K.; Turskis, Z.; Tamošaitiene, J. 2008g. Contractor selection of construction in a competitive environment, *Journal of Business Economics and Management* 9(3): 181–187.

Zavadskas, E. K.; Turskis, Z.; Tamošaitiene, J.; Marina, V. 2008h. Multicriteria selection of project managers by applying grey criteria, *Technological and Economic Development of Economy* 14(4): 462–477.

- Zavadskas, E. K.; Turskis, Z.; Tamosaitiene, J.; Marina, V. 2008i. Project manager selection of construction projects applying COPRAS-G method, „8-th International Conference Reliability and Statistics in Transportation and Communication, RelStat'8“, October 15-18, Riga, Latvia, 344–350.
- Zavadskas, E. K.; Antuchevičienė, J. 2007. Multiple criteria evaluation of rural building's regeneration alternatives, *Building and Environment* 42(1): 436–451.
- Zavadskas, E. K.; Kaklauskas, A.; Peldschus, F.; Z. Turskis 2007a. Multi-attribute assessment of road design solutions by using the COPRAS method, *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 2(4): 195–203.
- Zavadskas, E. K.; Turskis, Z.; Antuchevičienė, J.; Tamošaitienė, J. 2007b. Assessment of individual residential building external walls alternatives applying TOPSIS method, in *Proceedings of the 9th international conference „Modern building materials, structures and techniques“: Selected Papers, (16-18 May 2008, Vilnius, Lithuania)*. Vilnius, 442–446.
- Zavadskas, E. K.; Turskis, Z.; Dėjus, T.; Viteikiene, M. 2007c. Sensitivity analysis of a simple additive weight method, *International Journal Management and Decision Making* 8(5/6): 555–574.
- Zavadskas, E. K.; Turskis, Z.; Tamošaitienė, J. 2007d. COPRAS method for simulation of multi-attribute problems with interval numbers (grey analysis), *German–Lithuanian–Poland kolokvium 2007*, Kołobrzeg, Poland 10.
- Zavadskas, E. K.; Vilutiene, T. 2006. A multiple criteria evaluation of multi-family apartment block's maintenance contractors: I-Model for maintenance contractor evaluation and determination of its selection criteria, *Building and Environment* 41(5): 621–632.
- Zavadskas, E. K.; Zakarevičius, A.; Antuchevičienė, J. 2006. Evaluation of ranking accuracy in multi-criteria decisions, *Informatica* 17(4): 601–618.
- Zavadskas, E. K.; Peldschus, F. Ustinovičius, L. Turskis, Z. 2004. *Lošimų teorija statybos technologijoje ir vadyboje*: monografija. Vilnius: Technika. 196 p.
- Zavadskas, E. K.; Kaklauskas, A.; Raslanas, S. 2004. Evaluation of investments into housing renovation, *International Journal of Strategic Property Management* 8(3): 177–190.
- Zavadskas, E. K.; Ustinovičius, L. 2001. Appliance of multicriteria decision methods in the analysis of investment projects of building reconstruction, *Technological and Economic Development of Economy* 7(1): 30–39 (in Russian).
- Zavadskas, E. K., Mikšta, P.; Sakalauskas, R.; Šimkus, J. R. 2001. *Statybos organizavimas*. Vilnius: Petro ofsetas. 197 p.
- Zavadskas, E. K.; Kaklauskas, A.; Kvederyte, N. 2001a. Multivariant design and multiple criteria analysis of a building life cycle, *Informatica* 12(1): 169–188.
- Zavadskas, E. K.; Kaklauskas, A.; Banaitienė, N. 2001b. *Pastato gyvavimo proceso daugiakriterinė analizė*. Vilnius: Technika. 380.
- Zavadskas, E. K.; Simanaukas, L.; Kaklauskas, A. 1999. *Sprendimų paramos sistemos statyboje*. Vilnius: Technika. 236.
- Zavadskas, E. K.; Bejder, E.; Kaklauskas, A. 1998a. Raising the efficiency of the building life time with special emphasis on maintenance, *Facilities* 16(11): 334–340.

- Zavadskas, E. K.; Kaklauskas, A.; Banaitis, A.; Jonaitis, V. 1998b. Creation of rational entrepreneurship conditions in construction industry of Lithuania, *Journal of Civil Engineering and Management* 4(1): 78–85.
- Zavadskas, E. K.; Kaklauskas, A. 1996. *Multiple criteria evaluation of buildings*. Vilnius: Technika (in Lithuanian).
- Zavadskas, E. K. 1987. *Complex estimation and choice of resource saving decisions in construction*. Vilnius: Mokslas (in Russian).
- Zhanga, J.; Wub, D.; Olson, D. L. 2004. The method of grey related analysis to multiple attribute decision making problems with interval numbers, *Mathematical and Computer Modelling* 40(13): 1473–1490.
- Zimmermann, H.-J. 2000. An application-oriented view of modelling uncertainty, *European Journal of Operational Research* 122 (2): 190–198.
- Zimmermann, H.-J. 1996. *Fuzzy Set Theory and it's applications*. Norwell: Kluwer Academic Publishers, Third Revised Edition, Boston, MA, U.S.A.
- Zou, P. X. W.; Zhang, G.; Wang, J. 2007. Understanding the key risks in construction projects in China, *International Journal of Project Management* 25(6): 601–614.
- Wang, Y. M.; Yang, J.B.; Xu, D. L.; Chin, K. S. 2006. The evidential reasoning approach for multiple attribute decision analysis using interval belief degrees, *European Journal of Operational Research* 175: 35–66.
- Weitendorf, D. 1976. *Beitrag zur Optimierung der räumlichen Struktur eines Gebäudes*: Dissertation, Hochschule für Architektur und Bauwesen, Weimar
- Werner, F.-J. 1971. *Strategische Modelle in der Electroenergieversorgung*: Disertation A, IH Zittau.
- Wenbin, H.; Ben, H.; Changzhi, Y. 2002. Building thermal process analysis with grey system method, *Building and Environment* 37(6): 599–605.
- Yang, T.; Hung, C.-C. 2007. Multiple-attribute decision making methods for plant layout design problem, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 23(1): 126–137.
- Yang, T.; Chen, M.-Ch.; Hung, Ch.-Ch. 2007a. Multiple attribute decision-making methods for the dynamic operator allocation problem, *Mathematics and Computers in Simulation* 73(5): 285–299.
- Yang, J.-B.; Wu, C.-T.; Tsai, C.-H. 2007b. Selection of an ERP system for a construction firm in Taiwan: A case study, *Automation in Construction* 16(6): 787–796.
- Yu, W. 1992. *Aide Multicritère à la Décision Dans le Cadre de la Problématique du Tri: Concepts, Méthodes et Applications*: Doctoral Dissertation, Universite de Paris-Dauphine.
- Quan, Z.; Qisheng, G.; Jinhua, G. 2008. New approach to multiple attribute decision making with interval numbers, *Journal of Systems Engineering and Electronics* 19(2): 304–310.
- Žiogas, V. and Juočiūnas, S. 2005. Design and installation peculiarities of monolithic concrete floor, *Journal of Civil Engineering and Management* 11(2): 153–162.
- Завадскас, Э. К. 1991. *Системотехническая оценка технологических решений строительного производства*: монография. Ленинград: Стройиздат: 255.

Завадскас, Э. К.; Пелдшус, Ф. 1990. Применение теории игр при проектировании технологии строительного производства. Рез. англ. лит. научные труды Вильнюсского технического университета, *Экономика и организация строительного производства* 17: 60–65.

Завадскас, Э. К.; Фидлер, К.; Пелдшус, Ф. 1989. Использование метода многоцелевой оптимизации в технологии строительного производства, *Совершенствование строительной индустрии Лит ССР*: тез. докл. респ. науч.-техн. конф. (1–3 февр. 1989 г.) Вильнюс: ВИСИ: 40–42.

Jolantos Tamošaitienės publikacijos disertacijos tema

Straipsniai recenzuojamuose mokslo žurnaluose

Zavadskas, E. K.; Kaklauskas A.; Turskis, Z.; Tamošaitienė, J. 2008a. Selection of the effective dwelling house walls by applying attributes values determined at intervals, *Journal of Civil Engineering and Management* 14(2): 85–93 (ISI Web of Science).

Zavadskas, E. K.; Turskis, Z.; Tamošaitienė, J. 2008g. Contractor selection of construction in a competitive environment, *Journal of Business Economics and Management* 9(3): 181–187 (ISI Web of Science).

Zavadskas, E. K.; Turskis, Z.; Tamošaitienė, J.; Marina, V. 2008h. Multicriteria selection of project managers by applying grey criteria, *Technological and Economic Development of Economy* 14(4): 462–477 (ISI Web of Science).

Straipsniai konferencijų darbų leidiniuose referuojamuose į Thomson ISI Proceedings duomenų bazę

Tamošaitienė, J.; Turskis, Z.; Zavadskas, E. K. 2008. Modeling of contractor selection taking into account different risk level, in *25th International Simposium „Automatic and Robotic in Construction, ISARC’2008”*, 676 –681 (Thomson ISI Proceedings).

Ustinovičius, L.; Migilinskas, D.; Tamošaitienė, J.; Zavadskas, E. K. 2007. Uncertainty analysis in construction project's appraisal phase, in *9th International Conference „Modern Building Materials, Structures and Techniques“ 2007* 2: 401–407 (Thomson ISI Proceedings).

Zavadskas, E. K.; Kaklauskas, A.; Turskis, Z.; Tamošaitienė, J. 2008b. Contractor selection multi-attribute model applying COPRAS method with grey interval numbers, in *EURO Mini Conference Continuous Optimization and Knowledge – Based Technologies, EurOPT'2008*: 241–247 (Thomson ISI Proceedings).

Zavadskas, E. K.; Kaklauskas, A.; Turskis, Z.; Tamošaitienė, J.; Kalibatas, D. 2008c. Assessment of indoor environment improving applying COPRAS method with attributes determined in intervals, in *7th International Conference “Environmental Engineering, ENVIRO'2008”*, 907–912 (Thomson ISI Proceedings).

Zavadskas, E. K.; Turskis, Z.; Antuchevičienė, J.; Tamošaitienė, J. 2007b. Assessment of individual residential building external walls alternatives applying TOPSIS method, in *9th International Conference „Modern Building Materials, Structures and Techniques“ 2007*, 2: 442–446 (Thomson ISI Proceedings).

Straipsniai kituose leidiniuose

Migilinskas, D.; Tamošaitienė, J. 2007. Automatizuotų pastato modelių ekonominio efektyvumo nustatymas, iš 10-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ pranešimų rinkinys iš statyba Vilnius: Technika, 439–444.

Tamošaitienė, J. 2008. Įtakančių statybos projektą kriterijų analizė ir bendrųjų kriterijų nustatymas, iš 11-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ pranešimų rinkinys iš statyba Vilnius: Technika, 547–556.

Tamošaitienė, J. 2005. Statybos projektų administravimo problemos ir reikšmė statybos organizavime, iš 8-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Lietuva be mokslo – Lietuva be ateities“ pranešimų rinkinys iš statyba Vilnius: Technika, 343–347.

Zavadskas, E. K.; Turskis, Z.; Tamošaitienė, J. 2008f. Construction risk assessment of small scale objects by applying TOPSIS method with attributes values determined at intervals, in *8-th International Conference Reliability and Statistics in Transportation and Communication, Relstat'8*, October 15–18, Riga, Latvia, 351–357.

Zavadskas, E. K.; Turskis, Z.; Tamošaitienė, J.; Marina, V. 2008i. Project manager selection of construction projects applying COPRAS-G method, in *8-th International Conference Reliability and Statistics in Transportation and Communication, Relstat'8*, October 15–18, Riga, Latvia, 344–350.

Zavadskas, E. K.; Turskis, Z.; Tamošaitienė, J. 2007d. COPRAS method for simulation of multi-attribute problems with interval numbers (grey analysis), in *German–Lithuanian–Polish colloquium 2007. Kołobrzeg, Poland*. 10

Priedai

- A priedas.** Statybos objektų rizikos įvertinimo rodiklių reikšmingumų ir reikšmių nustatymas
- B priedas.** Statybos rangovo parinkimo rodiklių reikšmingumų ir reikšmių nustatymas
- C priedas.** Statybos rangovo rizikos įvertinimo rodiklių reikšmingumų ir reikšmių nustatymas
- D priedas.** Projektų vadovo rodiklių reikšmingumų ir reikšmių nustatymas
- E priedas.** Sienų atitvarinių konstrukcijų parinkimo rodiklių reikšmingumų ir reikšmių nustatymas
- F priedas.** Rodiklių reikšmingumų skaičiavimas

A priedas. Statybos objektų rizikos įvertinimo rodiklių reikšmingumą ir reikšmių nustatymas

I. Statybos objektų rizikos įvertinimo rodiklių reikšmingumą nustatymas

Duomenys apie ekspertą:

Išsilavinimas

Darbo patirtis

Prašome kiekvienam rodikliui priskirti skaitinę reikšmę. Maksimaliai reikšmingiausiame vertinimo rodikliui priskirti "13" reikšmę, o nereikšmingiausiame rodikliui "1" reikšmę. Visiems kitiems vertinimo rodikliams priskirti tarpines reikšmes, priklausomai nuo jų svarbos.

	Rodikliai	Rodiklių prioritetas
Išorinė rizikai	politinė	
	ekonominė	
	socialinė	
	orų	
Procesų rizika	laiko	
	išlaidų	
	kokybės	
	technologijų	
	statybos	
Vidinė rizika	išlaidų	
	statybos dalyvių	
	vietos	
	dokumentų ir komunikavimo	

II. Statybos objektų rizikos įvertinimo rodiklių reikšmių nustatymas

Prašome įvertinti 4 statybos objektų riziką žemiau išvardintais rodikliais. Kiekvienas rodiklis vertinamas nuo 1 iki 13 balų. Rodikliams įvertinti naudoti skaičių intervalą

	Rodikliai	Rodiklių reikšmė
Išorinė rizika	politinė	
	ekonominė	
	socialinė	
	orų	
Procesų rizika	laiko	
	išlaidų	
	kokybės	
	technologijų	
	statybos	
Vidinė rizika	išlaidų	
	statybos dalyvių	
	vietos	
	dokumentų ir komunikavimo	

B priedas. Statybos rangovo parinkimo rodiklių reikšmingumų ir reikšmių nustatymas

I dalis. Statybos rangovo parinkimo rodiklių reikšmingumų nustatymas

Duomenys apie ekspertą:

Išsilavinimas

Darbo patirtis

Prašome kiekvienam rodikliui priskirti skaitinę reikšmę. Maksimaliai reikšmingiausiam vertinimo rodikliui priskirti "4" reikšmė, o nereikšmingiausiam rodikliui "1" reikšmė. Visiems kitiems vertinimo rodikliams priskirti tarpinės reikšmės, priklausomai nuo jų svarbos.

	Rodikliai	Rodiklių prioritetas
	<i>Kokybės standartai, (balai)</i>	
	<i>Finansinis vertinimas, (balai)</i>	
	<i>Pasiūlymas, (balai)</i>	
	<i>Partnerių atsiliepimai, (balai)</i>	

II dalis. Statybos rangovo parinkimo rodiklių reikšmių nustatymas

Prašome įvertinti 5 statybos rangovų pasiūlmus žemiau išvardintais rodikliais. Kiekvienas rodiklis vertinamas nuo 1 iki 100 balų. Rodikliams įvertinti naudoti skaičių intervalą

	Rodikliai	Rodiklių prioritetas
Rangovas 1	<i>Kokybės standartai, (balai)</i>	
	<i>Finansinis vertinimas, (balai)</i>	
	<i>Pasiūlymas, (balai)</i>	
	<i>Partnerių atsiliepimai, (balai)</i>	
...		
Rangovas 5	<i>Kokybės standartai, (balai)</i>	
	<i>Finansinis vertinimas, (balai)</i>	
	<i>Pasiūlymas, (balai)</i>	
	<i>Partnerių atsiliepimai, (balai)</i>	

C priedas. Statybos rangovo rizikos įvertinimo rodiklių reikšmingumų ir reikšmių nustatymas

I dalis. Statybos rangovo rizikos įvertinimo rodiklių reikšmingumų nustatymas

Duomenys apie ekspertą:

Išsilavinimas

Darbo patirtis

Prašome kiekvienam rodikliui priskirti skaitinę reikšmę, Maksimaliai reikšmingiausiam vertinimo rodikliui priskirti "8" reikšmė, o nereikšmingiausiam rodikliui "1" reikšmė. Visiems kitiems vertinimo rodikliams priskirti tarpinės reikšmės, priklausomai nuo jų svarbos.

	Rodikliai	Rodiklių prioritetas
1	Pasiūlymo kaina, (balai)	
2	Statybos trukmė, (balai)	
3	Slepiamųjų darbų garantiniai terminai, (balai)	
4	Apdailos darbų garantiniai terminai, (balai)	
5	Įmonės patirtis statybų sektoriuje, (balai)	
6	Rangovo atliktų darbų apimtys per metus, (balai)	
7	Bendravimas su rangovo su užsakovu, (balai)	
8	Atliktų darbų kokybė įvykdytuose projektuose, (balai)	

II dalis. Statybos rangovo rizikos įvertinimo reikšmių nustatymas

Prašome įvertinti 5 statybos rangovų pasiūlymus žemiau išvardintais rodikliais. Kiekvienas rodiklis vertinamas nuo 1 iki 100 balų. Rodikliams įvertinti naudoti skaičių intervalą.

	Rodikliai	Rodiklių prioritetas
1	Pasiūlymo kaina, (balai)	
2	Statybos trukmė, (balai)	
3	Slepiamųjų darbų garantiniai terminai, (balai)	
4	Apdailos darbų garantiniai terminai, (balai)	
5	Įmonės patirtis statybų sektoriuje, (balai)	
6	Rangovo atliktų darbų apimtys per metus, (balai)	
7	Bendravimas su rangovo su užsakovu, (balai)	
8	Atliktų darbų kokybė įvykdytuose projektuose, (balai)	

D priedas. Projektų vadovo rodiklių reikšmingumą ir reikšmių nustatymas

I dalis. Projektų vadovo rodiklių reikšmingumą nustatymas

Duomenys apie ekspertą:

Išsilavinimas

Darbo patirtis

Prašome kiekvienam rodikliui priskirti skaitinę reikšmę, Maksimaliai reikšmingiausiam vertinimo rodikliui priskirti "6" reikšmė, o nereikšmingiausiam rodikliui "1" reikšmė. Visiems kitiems vertinimo rodikliams priskirti tarpinės reikšmės, priklausomai nuo jų svarbos.

	Rodikliai	Rodiklių prioritetas
1	Asmeninės savybės (balai)	
2	Projektų valdymo savybės (balai)	
3	Verslumo savybės (balai)	
4	Techninės žinios (balai)	
5	Kokybės savybės (balai)	
6	Sprendimų priėmimas (balai)	

II dalis. Statybos vadovo reikšmių nustatymas

Prašome įvertinti 3 statybos vadovus žemiau išvardintais rodikliais. Kiekvienas rodiklis vertinamas nuo 1 iki 100 balų. Rodikliams įvertinti naudoti skaičius, išreikštus intervalu.

	Rodikliai	Rodiklių reikšmė
Projektų vadovas 1	Asmeninės savybės (balai)	
	Projektų valdymo savybės (balai)	
	Verslumo savybės (balai)	
	Techninės žinios (balai)	
	Kokybės savybės (balai)	
	Sprendimų priėmimas (balai)	
...		
Projektų vadovas 3	Asmeninės savybės (balai)	
	Projektų valdymo savybės (balai)	
	Verslumo savybės (balai)	
	Techninės žinios (balai)	
	Kokybės savybės (balai)	
	Sprendimų priėmimas (balai)	

E priedas. Sienų atitvarinių konstrukcijų parinkimo rodiklių reikšmingumų ir reikšmių nustatymas

I dalis. Sienų atitvarinėms konstrukcijoms parinkti rodiklių reikšmingumų nustatymas

Duomenys apie ekspertą:

Išsilavinimas

Darbo patirtis

Prašome kiekvienam rodikliui priskirti skaitinę reikšmę, Maksimaliai reikšmingiausiam vertinimo rodikliui priskirti "5" reikšmė, o nereikšmingiausiam rodikliui "1" reikšmė. Visiems kitiems vertinimo rodikliams priskirti tarpinės reikšmės, priklausomai nuo jų svarbos.

Rodikliai		Rodiklių prioritetas
1	Sienų atsparumas šalčiui (ciklai)	
2	Išorės sienų šiluminė varža ($W/m \cdot K$)	
3	Išlaidos $1 m^2$ išorės sienai	
4	Išorės sienos svoris m^2 (kg)	
5	Darbo sąnaudos (žm.val./ m^2)	

II dalis. Sienų atitvarinių konstrukcijų rodiklių reikšmių reikšmingumo nustatymas

Prašome įvertinti sienų atitvarines konstrukcijas žemiau išvardintais rodikliais. Kiekvienas rodiklis vertinamas nuo 1 iki 100 balų. Rodikliams įvertinti naudoti skaičius išreikštus intervalu.

Rodikliai		Rodiklių reikšmė
1	Sienų atsparumas šalčiui (ciklai)	
2	Išorės sienų šiluminė varža ($W/m \cdot K$)	
3	Išlaidos $1 m^2$ išorės sienai	
4	Išorės sienos svoris m^2 (kg)	
5	Darbo sąnaudos (žm.val./ m^2)	

F priedas. Rodiklių reikšmingumų skaičiavimas

1. Statybos objektų rizikos įvertinimo rodiklių reikšmingumų nustatymas

Ekspercinis metodas														
Tema: Statyba														
Uždavinys: Bendros rizikos įvertinimas														
Duomenų tipas Rodiklių reikšmingumai														
	Rod.1	Rod.2	Rod.3	Rod.4	Rod.5	Rod.6	Rod.7	Rod.8	Rod.9	Rod.10	Rod.11	Rod.12	Rod.13	Lygis
Ekspertas 1	5	9	4	5	9	9	13	6	8	7	10	5	7	54
Ekspertas 2	5	10	6	3	9	10	12	7	9	4	12	2	6	24
Ekspertas 3	7	8	6	2	10	11	11	7	10	5	9	5	7	42
Ekspertas 4	4	9	5	5	8	12	12	8	10	7	12	3	6	36
Ekspertas 5	5	9	7	5	9	10	10	6	7	5	10	5	6	102
Rangų suma	26	45	28	20	45	52	58	34	44	28	53	20	32	
Vidutinis rangas	5,2000	9,0000	5,6000	4,0000	9,0000	10,4000	11,6000	6,8000	8,8000	5,6000	10,6000	4,0000	6,4000	
Prioritetų eilutė	11	4	9	12	4	3	1	7	6	9	2	12	8	
Reikšmingumas	0,0536	0,0928	0,0577	0,0412	0,0928	0,1072	0,1196	0,0701	0,0907	0,0577	0,1093	0,0412	0,0660	
Ekspertizės patikimumas (Beta)	0,21066	0,07857	0,20360	0,35355	0,07857	0,10963	0,09829	0,12304	0,14816	0,23958	0,12657	0,35355	0,08558	
Vid. kvadratinis išsibarstymas (Sigma)	1,0954	0,7071	1,1402	1,4142	0,7071	1,1402	1,1402	0,8367	1,3038	1,3416	1,3416	1,4142	0,5477	
Konkordacijos koeficientas (W)	0,45													
Nakrypiu kvadratų suma (S)	1,992,77													
Susijusių rangų rodiklis (Tk)	258,00													
Konkordacijos koef. reikšmingumas (X)	28,28													
Konkordacijos koef. reikšmingumas (Xlent)	11,34													
X > Xlent, ekspertų nuomonės sutderintos.Rekomenduojama taikyti skaičiavimams														

X > Xlent, ekspertų nuomonės suderintos.Rekomenduojama taikyti skaičiavimams

2 dalis. Statybos rangovo parinkimo rodiklių reikšmingumų nustatymas

Ekspertinis metodas

Tema: **Statyba**

Uždavinys: **Statybos rangovo parinkimas**

Duomenų tipas: **Rodiklių reikšmingumai**

	Rod.1	Rod.2	Rod.3	Rod.4	Lygūs
Ekspertas 1	1	4	4	4	24
Ekspertas 2	1	4	1	1	24
Ekspertas 3	1	4	3	3	6
Ekspertas 4	1	3	2	1	6
Ekspertas 5	2	4	1	2	6
Ekspertas 6	2	4	2	3	6
Ekspertas 7	1	4	2	3	0
Ekspertas 8	2	4	3	2	6
Ekspertas 9	1	4	2	3	0
Ekspertas 10	1	4	2	3	0
Ekspertas 11	2	3	2	1	6
Ekspertas 12	3	4	1	2	0
Ekspertas 13	1	4	1	3	6
Ekspertas 14	2	4	1	3	0
Ekspertas 15	1	4	2	2	6
Rangų suma	20	52	26	32	
Vidutinis rangas	1,3067	3,4467	1,7467	2,1600	
Prioritetų eilutė	4	1	3	2	
Reikšmingumas	0,1509	0,3980	0,2017	0,2494	
Ekspertizės patikimumas (Beta)	0,50589	0,16227	0,51790	0,43683	
Vid. kvadratinis išsibarstymas (Sigma)	0,6610	0,5593	0,9046	0,9435	
Konkordacijos koeficientas (W)	0,78				
Nukrypimų kvadratų suma (S)	785,75				
Susijusių rangų rodiklis (Tk)	96,00				
Konkordacijos koef. reikšmingumas (X)	32,17				
Konkordacijos koef. reikšmingumas (Xlent)	27,69				

X > Xlent, ekspertų nuomonės suderintos.

Rekomenduojama taikyti skaičiavimams

3 dalis. Statybos rangovo rizikos įvertinimo rodiklių reikšmingumų nustatymas

Ekspertinis metodas

Tema: **Statyba**

Uždavinys: **Rangovų rizikos įvertinimas**

Duomenų tipas: **Rodiklių reikšmingumai**

	Rod.1	Rod.2	Rod.3	Rod.4	Rod.5	Rod.6	Rod.7	Rod.8	Lygūs
Ekspertas 1	8	6	4	5	6	5	5	6	48
Ekspertas 2	8	7	6	5	7	4	5	7	30
Ekspertas 3	8	6	6	6	6	3	4	5	60
Ekspertas 4	8	6	5	5	6	4	4	8	24
Ekspertas 5	8	7	5	4	7	4	6	6	18
Ekspertas 6	8	6	4	4	6	5	5	4	36
Ekspertas 7	8	4	4	4	6	6	5	7	30
Ekspertas 8	7	7	4	4	7	3	5	7	66
Ekspertas 9	8	7	5	5	7	3	5	8	36
Ekspertas 10	8	6	4	4	5	3	6	6	30
Rangų suma	79	62	47	46	63	40	50	64	
Vidutinis rangas	7,9000	6,2000	4,7000	4,6000	6,3000	4,0000	5,0000	6,4000	
Prioritetų eilutė	1	4	6	7	3	8	5	2	
Reikšmingumas	0,1752	0,1375	0,1042	0,1020	0,1397	0,0887	0,1109	0,1419	
Ekspertizės patikimumas (Beta)	0,04003	0,14822	0,17516	0,15200	0,10713	0,26352	0,13333	0,19764	
Vid. kvadratinis išsibarstymas (Sigma)	0,3162	0,9189	0,8233	0,6992	0,6749	1,0541	0,6667	1,2649	
Konkordacijos koeficientas (W)	0,30								
Nukrypimų kvadratų suma (S)	1.149,88								
Susijusių rangų rodiklis (Tk)	378,00								
Konkordacijos koef. reikšmingumas (X)	20,35								
Konkordacijos koef. reikšmingumas (Xlent)	20,09								

X > Xlent, ekspertų nuomonės suderintos. Rekomenduojama taikyti skaičiavimams

4 dalis. Projektų vadovo rodiklių reikšmingumą nustatymas

Ekspertinis metodas

Tema: **Statyba**

Uždavinys: **Statybos projekto vadovo parinkimas**

Duomenų tipas: **Rodiklių reikšmingumai**

	Rod.1	Rod.2	Rod.3	Rod.4	Rod.5	Rod.6	Lygūs
Ekspertas 1	6	4	2	5	4	4	24
Ekspertas 2	6	4	3	4	2	3	12
Ekspertas 3	6	3	4	5	3	4	12
Rangų suma	17	10	8	13	9	10	
Vidutinis rangas	5,6000	3,4333	2,7667	4,3667	2,8333	3,4333	
Prioritetų eilutė	1	3	6	2	5	3	
Reikšmingumas	0,2496	0,1530	0,1233	0,1947	0,1263	0,1530	
Ekspertizės patikimumas (Beta)	0,08748	0,18763	0,37592	0,15672	0,36022	0,18763	
Vid. kvadratinis išsibarstymas (Sigma)	0,4899	0,6442	1,0400	0,6843	1,0206	0,6442	
Konkordacijos koeficientas (W)	0,44						
Nukrypimų kvadratų suma (S)	63,68						
Susijusių rangų rodiklis (Tk)	48,00						
Konkordacijos koef. reikšmingumas (X)	7,49						
Konkordacijos koef. reikšmingumas (Xlent)	6,63						

X > Xlent, ekspertų nuomonės suderintos.

Rekomenduojama taikyti skaičiavimams

5 dalis. Sienų atitvarinių konstrukcijų parinkimo rodiklių reikšmingumą nustatymas

Ekspertinis metodas

Uždavinys: **Sienų konstrukcijų parinkimas**

Duomenų tipas: **Rodiklių reikšmingumai**

	Rod.1	Rod.2	Rod.3	Rod.4	Rod.5	Lygūs
Ekspertas 1	3	5	3	2	1	6
Ekspertas 2	2	5	5	1	3	6
Ekspertas 3	5	5	4	1	1	12
Rangų suma	9	14	11	4	5	
Vidutinis rangas	3,1000	4,6667	3,7000	1,2667	1,5333	
Prioritetų eilutė	3	1	2	5	4	
Reikšmingumas	0,2173	0,3271	0,2593	0,0888	0,1075	
Ekspertizės patikimumas (Beta)	0,50130	0,08748	0,28794	0,46034	0,76056	
Vid. kvadratinis išsibarstymas (Sigma)	1,5540	0,4082	1,0654	0,5831	1,1662	
Konkordacijos koeficientas (W)	1,06					
Nukrypimų kvadratų suma (S)	88,85					
Susijusių rangų rodiklis (Tk)	24,00					
Konkordacijos koef. reikšmingumas (X)	13,67					
Konkordacijos koef. reikšmingumas (Xlent)	6,63					

Jolanta TAMOŠAITIENĖ

DAUGIATIKSLIS VALDYMO SPRENDIMŲ
VERTINIMAS STATYBOS PLANAVIMO ETAPE

Daktaro disertacija

Technologijos mokslai,
statybos inžinerija (02T)

THE MULTI-ATTRIBUTE ASSESSMENT
OF MANAGEMENT DECISIONS AT THE
STAGE OF CONSTRUCTION PLANNING

Doctoral Dissertation

Technological Sciences,
Civil Engineering (02T)

2009 05 11. 15,5 sp. l. Tiražas 20 egz.
Vilniaus Gedimino technikos universiteto leidykla „Technika“,
Saulėtekio al. 11, 10223 Vilnius,
<http://leidykla.vgtu.lt>
Spausdino UAB „Biznio mašinų kompanija“,
J. Jasinskio 16A, LT-01112 Vilnius
<http://www.bmk.lt>