

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Darius MIGILINSKAS

TECHNOLOGINIŲ IR EKONOMINIŲ
STATYBOS UŽDAVINIŲ SPRENDIMAS
NEAPIBRĖŽTUMO SĄLYGOMIS

DAKTARO DISERTACIJA

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI,
STATYBOS INŽINERIJA (02T)



Vilnius LEIDYKLA TECHNICA 2010

Disertacija rengta 2003–2010 metais Vilniaus Gedimino technikos universitete.
Disertacija ginama eksternu.

Konsultantas

Prof. habil. dr. Leonas USTINOVIČIUS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, statybos inžinerija – 02T).

<http://leidykla.vgtu.lt>

VG TU leidyklos TECHNIKA 1792-M mokslo literatūros knyga

ISBN 978-9955-28-637-0

© VG TU leidykla TECHNIKA, 2010

© Darius Migilinskas, 2010

dariusmg@mail.lt

VILNIUS GEDIMINAS TECHNICAL UNIVERSITY

Darius MIGILINSKAS

**SOLUTIONS FOR TECHNOLOGICAL
AND ECONOMIC PROBLEMS
OF CONSTRUCTION IN THE CASE
OF UNCERTAINTY**

DOCTORAL DISSERTATION

TECHNOLOGICAL SCIENCES,
CIVIL ENGINEERING (02T)



Vilnius LEIDYKLA TECHNICA 2010

Doctoral dissertation was prepared at Vilnius Gediminas Technical University in 2003–2010.

The dissertation is defended as an external work.

Consultant

Prof Dr Habil Leonas USTINOVICĪUS (Vilnius Gediminas Technical University, Technological Sciences, Civil Engineering – 02T).

Reziomė

Disertacijoje nagrinėjamos problemos, su kuriomis susiduria statybos projekto dalyviai, sprendžiantys technologinius ir ekonominius statybos uždavinius. Pagrindiniai tyrimo objektai – neapibrėžtumus ir rizikas sukeliantys veiksniai bei jiems įtaką darančios sąlygos. Statybos įmonės dažnai turi spręsti technologinius ir ekonominius uždavinius neapibrėžtumo sąlygomis, todėl disertacijoje pabrėžiama, kad turėtų būti atliekami tyrimai, rengiamos metodikos ir kuriamos priemonės, kurios visą projekto gyvavimo laikotarpį mažintų nesusipratimų ir klaidų, automatizuotų techninių darbų atlikimą, padidintų skaičiavimų tikslumą, gerintų projekto informacijos valdymą bei mažintų projekto išteklių poreikį.

Disertacijoje aprašomas automatizuotas statybos projekto valdymo visą jo gyvavimo laikotarpį modelis, pateikiama detali jo įgyvendinimo metodika užtikrinant sklandų (kontroliuojamą) statybos technologinių ir ekonominių uždavinių sprendimą neapibrėžtumo sąlygomis.

Disertaciją sudaro įvadas, keturi skyriai, rezultatų apibendrinimas, naudotos literatūros ir autoriaus publikacijų disertacijos tema sąrašai, trys priedai.

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

Pirmajame skyriuje pareikiama bendra su disertacijos tema susijusios pasaulinės literatūros apžvalga ir teorinės neapibrėžtumų sąvokos. Kaip disertacijos tyrimų objektas aprašomi technologiniai ir ekonominiai statybos uždaviniai bei jų sprendimų problemos neapibrėžtumo sąlygomis.

Antrajame skyriuje analizuojama neapibrėžtumų įtaka statybos procesui.

Trečiajame skyriuje aprašomos priemonės neapibrėžtumams valdyti. Pateikiama metodika technologiniams ir ekonominiams statybos uždaviniams spręsti neapibrėžtumo sąlygomis, aiškinami jos įgyvendinimo etapai.

Ketvirtajame skyriuje pateikiamas praktinis neapibrėžtumų valdymo pavyzdys, nustatomas skirtumas, gautas palyginus sąmatinius skaičiavimus, atliekamus įprastiniu rankiniu būdu ir automatizuotomis projektavimo priemonėmis.

Disertacijos pabaigoje pateikiamos išvados ir pasiūlymai.

Disertacijos tema išspausdinti 22 moksliniai straipsniai: vienas – mokslo žurnaluose, įtrauktuose į *Thomson ISI Master Journal List* sąrašą, du – *Thomson ISI Proceedings*, keturi – mokslo žurnaluose, cituojamuose *ISI Proceedings (IRBdirect, ICONDA)* bazėse, šeši – LMT patvirtintose tarptautinėse duomenų bazėse. Disertacijos tyrimų rezultatai paskelbti 15-oje mokslinių konferencijų.

Abstract

The dissertation investigates the uncertainty issues faced by construction participants both with solutions to reduce the influence of uncertainty solving technological and economical problems. The main objects of research are the sources and conditions causing risk and uncertainty. The primary purpose of this dissertation is to prepare deep uncertainty investigation and suggest suitable methodologies as step by step tool for risk and uncertainty management in construction during whole project life cycle.

The dissertation also focuses on researching the automated (computer aided) construction management, precision of calculations, project's information management and reduction of project's resource demand. The prepared tools and solutions for solving technological and economical problems are combined as methods to the detailed methodology for smooth construction project life cycle management in the case of risk and uncertainty.

The dissertation consists of Introduction, 4 chapters, Conclusions, References and 3 Annexes.

The introduction reveals the investigated problem, importance of the thesis, the object of research and tasks, research methodology, scientific novelty, the practical significance of results and defended statements. The introduction ends with the author's publications on the subject of the defended dissertation, offering the material of made presentations in conferences and defining the structure of the dissertation.

Chapter 1 revises used literature. The descriptions of technological and economical problems in construction are presented both with theoretical background of uncertainty issues. At the end of the chapter, conclusions are drawn and the tasks for the dissertation are reconsidered.

Chapter 2 analyses the influence of uncertainties and risk to construction process and the need of their management.

Chapters 3 and 4 investigates the possibilities of managing the uncertainties in construction process and gives full description of methods with suggested methodology as solutions for uncertainty management in construction process.

At the end practical implementation presented and conclusions are made.

22 articles focusing on the subject of the discussed dissertation are published: one article – in the *Thomson ISI Master Journal List*, two articles – in *Thomson ISI Proceedings*, four articles – in *ISI proceedings (IRBdirect, ICONDA)*, six articles – in scientific papers referred in international data bases.

15 presentations on the subject of dissertation have been presented in conferences at national and international level (Lithuania, Latvia, Estonia, Spain and Poland).

Žymėjimai

Terminai ir santrumpos

Tikslai – trokštamos ribos ar dydžiai, kurių norima pasiekti.

Statybos projektas (plačiąja prasme) – visuma veiksmų ar įvykių (nuo idėjos iki griovimo ar perdirbimo), kuriuos reikia įgyvendinti: už nustatytą kainą, per nustatytą laiką, suderintos apimties, nurodytoje vietoje, pagal užsakovo ir normatyvinius kokybės reikalavimus.

Alternatyvos – egzistuojančios veiksmų kryptys (variantai), vertinamos rodikliais pagal jų santykinę indėlį siekiant tikslo. Kitaip dar gali būti viena, dvi arba kelios sprendimo ar įgyvendinimo galimybės, iš kurių galima pasirinkti.

Planai – nustatytos tikslo siekimo priemonės, reikalaujančios tuo pat metu arba vieną po kito vykdyti keletą veiksmų.

Strategijos (politikos) – projekto dalyvio pasirinktų veiksmų ar priimamų sprendinių (procedūrų) rinkinys, vykdomas siekiant konkrečios naudos ar užsibrėžtų tikslų. Pasirinktas ir priimtas planų rinkinys tampa strategija (politika).

Rezultatai – potencialus (galutinis) sprendimų sistemos būvis, gaunamas įgyvendinus strategijas (politikas).

Sprendimų priėmimo metodai (daugiatiksliai, angl. Multi-Objective Decision Making; daugelio rodiklių angl. Multi-Attribute Decision Making, daugiakriteriniai angl. Multi-Criteria Decision Making) – sprendimų priėmimo (meto-

dų) sistemos alternatyvių strategijų (variantų) analizei ir geriausio (racionaliausio) sprendimo parinkimui.

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

2D (angl. *Two Dimensions*) – dvimatė erdvė (plokštuma), naudojama grafiniams primityviems objektams kurti ir iš jų projektuoti kreives bei figūras.

3D (angl. *Three Dimensions*) – trimatė erdvė, naudojama kuriant taškų rinkinius, sujungiamus į linijas, kreives, plokštumas ir pan., kurias naudojant gaunami tūriniai kūnai. 3D objektai gali būti atvaizduojami kaip: daiktai, sukurti realioje erdvėje (eksponuojami gyvai); trimačiai optiniai (holograminiai) erdviniai atvaizdai; trimačio objekto kompiuterių simuliuojami dvimačiai atvaizdai.

4D (angl. *Four Dimensions*) – keturmatė erdvė, kurioje trimatis kūnas dažniausiai atvaizduojamas laiko atžvilgiu. Tai nėra paremta įprastais Euklido erdvės ir fizikos dėsniais, o grindžiama erdvėlaikio samprata. Taigi keturmatę erdvę galima suprasti kaip fiksuojamą trimačio kūno būsenos atvaizdo kitimą laike.

BIM – (angl. *Building Information Modelling*) pastato informacinio modelio kūrimo ir valdymo procesas per visą jo gyvavimo lakotarpį. Dažniausiai vykdomas naudojant trimačio, realaus laiko ir dinaminio pastato modeliavimo programinę įrangą, taip siekiant padidinti pastato projektavimo ir statybos efektyvumą. Proceso metu gaunamas pastato informacinis modelis (angl. *Building Information Model*) su visa pastato geometrijos, erdvinių ryšių ir mazgų atvaizdavimo, pastato elementų kiekių ir savybių informacija.

PLM (angl. *Project (Product) Lifecycle Management*) – produkto (viso projekto statybos pramonėje) valdymo procesas nuo konceptualios idėjos kūrimo projektavimo ir gamybos metu iki priežiūros (administravimo ar ūkio valdymo) bei galutinio perdirbimo (rekonstrukcijos, griovimo, perdirbimo ar utilizavimo). PLM procesas jungia žmones, duomenis, procesus ir valdymo sistemas, suteikdamas visapusius informacijos mainus visiems projekto dalyviams. Dažniausiai analizuojamos produkto savybės jo gyvavimo metu (kūrimo ir naudojimo), įvertinami komerciniai ir inžineriniai parametrai bei produkto naudojimo ekonominis pagrindimas tam tikru metu plėtojant verslą rinkoje.

5D, nD arba xD (angl. *Five, n (undefined), x (unknown) Dimensions*) – penkiamatė, *n*-matė (nenustatyta) ir *x*-matė (kintamo ir nežinomo dydžio) erdvės, dažniausiai atspindinčios ne papildomus matavimus erdvėje, o trimačio kūno būsenos kitimą laike su papildoma kokybine ar kiekybine informacija (pvz., kaina). Kitos dimensijos nėra aiškiai apibrėžtos ir gali būti naudojamos skirtingai.

Turinys

ĮVADAS	1
Problemos formulavimas	1
Darbo aktualumas	2
Tyrimų objektas	3
Darbo tikslas.....	3
Darbo uždaviniai	3
Tyrimų metodika	4
Darbo mokslinis naujumas	4
Darbo rezultatų praktinė reikšmė.....	5
Ginamieji teiginiai	5
Darbo rezultatų aprobavimas.....	5
Disertacijos struktūra	6
1. UŽDAVINIŲ SPRENDIMAS NEAPIBRĖŽTUMO SĄLYGOMIS KAIP MOKSLINIO TYRIMO OBJEKTAS.....	9
1.1. Mokslinio tyrimo objekto aprašymas.....	9
1.2. Neapibrėžtumų ir rizikos sąvokų aprašymas	13
1.2.1. Uždaviniai, kuriems spręsti yra visa reikalinga informacija.....	14
1.2.2. Uždaviniai, kuriems spręsti žinoma dalis reikalingos informacijos.....	15

1.2.3. Neapibrėžtumų ir rizikos sąvokų apibendrinimas	16
1.3. Uždavinių neapibrėžtumo sąlygomis sprendimo metodai	18
1.3.1. Matricinių lošimų apibrėžimas.....	20
1.3.2. Pusiausvyros sąlygos ir taškai.....	21
1.3.3. Optimalių strategijų apskaičiavimas	23
1.3.4. Pusiausvyros strategijos paprastas ir išplėstinis minimakso principas	24
1.3.5. Wald taisyklė	25
1.3.6. Savage-Niehaus taisyklė.....	26
1.3.7. Hurwicz taisyklė	27
1.3.8. Bernoulli-Laplace taisyklė.....	27
1.3.9. Bayes-Laplace taisyklė	28
1.3.10. Hodges-Lehman taisyklė	29
1.3.11. Kiti sprendimo principai ir metodų taikymo apibendrinimas	29
1.4. Normalizavimo metodai	30
1.4.1. Vektorinis normalizavimas.....	32
1.4.2. Tiesinis normalizavimas	32
1.4.3. Netiesinis normalizavimas	34
1.5. Neapibrėžtumų ir rizikos atvejai	36
1.6. Technologiniai ir ekonominiai uždaviniai statyboje	38
1.7. Pirmojo skyriaus išvados ir disertacijos uždavinių tikslinimas.....	40
2. NEAPIBRĖŽTUMO SĄLYGOS STATYBOS PROCESĖ.....	41
2.1. Statybos projekto valdymo problematika	41
2.2. Statybos projekto valdymas ir sprendinių priėmimas rizikos bei neapibrėžtumų sąlygomis	44
2.2.1. Statybos projektų valdymo esmė ir etapai	45
2.2.2. Statybos skaičiuojamosios kainos nustatymas	47
2.2.3. Statybos darbų trukmės planavimas ir grafikų rengimas.....	50
2.3. Projekto dalių valdymo ir kvalifikacijos kėlimo poreikis.....	52
2.3.1. Statybos projektų valdymo ir kvalifikacijos svarba	53
2.3.2. Statybos šakos dalyvių apklausa ir rezultatai.....	54
2.4. Statybos projekto informacijos valdymo ir automatizuoto projektavimo poreikis.....	57
2.4.1. Automatizuoto projektavimo esmė	58
2.4.2. Kompiuterinio projektavimo programinės įrangos analizė.....	59
2.5. Antrojo skyriaus išvados	67
3. NEAPIBRĖŽTUMŲ VALDYMAS STATYBOJE.....	69
3.1. Neapibrėžtumų šaltiniai.....	69
3.2. Neapibrėžtumų ir rizikos valdymo būdai	72

3.3. Rizikos įvertinimo ir valdymo priemonės	74
3.4. Automatizuotas sąmatų skaičiavimas ir statybos projekto valdymas.....	80
3.4.1. Automatizuotas sąmatų sudarymas 3D CAD terpėje	83
3.4.2. Konstrukcinių elementų klasifikatorius	87
3.4.3. Automatizuotas statybos projekto valdymas	88
3.5. 4D modeliavimo ir automatizuoto sąmatų skaičiavimo koncepcija.....	90
3.6. Alternatyvu analizė, normalizavimas ir sprendimų priėmimas.....	93
3.6.1. Tyrimo duomenys	93
3.6.2. Tyrimo metodologija ir eiga	97
3.6.3. Normalizavimo rezultatai	97
3.6.4. Tyrimo rezultatai ir apibendrinimas	101
3.7. Alternatyvių variantų palyginimas pagal 4D koncepciją.....	103
3.8. Trečiojo skyriaus išvados	106
4. PRAKTINIS NEAPIBRĖŽTUMŲ VALDYMO ĮGYVENDINIMAS	107
4.1. 4D koncepcijos įgyvendinimo valdant projektą nauda.....	107
4.2. Automatizuotų pastatų modelių kūrimas	109
4.3. Ekonominio efektyvumo nustatymas automatizuotai kuriant pastatų modelius.....	111
4.4. Ketvirtojo skyriaus išvados.....	115
BENDROSIOS IŠVADOS	117
LITERATŪRA IR ŠALTINIAI	119
AUTORIAUS PUBLIKACIJOS DISERTACIJOS TEMA.....	131
PRIEDAI.....	135
A priedas. Tipinių elementų klasifikatoriaus apibrėžimai ir kūrimo taisyklės	135
B priedas. Tipinių elementų (TE) kūrimo eiliškumas ir metodikos aprašymas	138
C priedas. Tipinių elementų klasifikatoriaus (TEK) struktūros aiškinamoji lentelė	141

Contents

INTRODUCTION	1
The problematics of the research	1
The topicality of the scientific work.....	2
The object of the research.....	3
The aim of the scientific work	3
The tasks of the research	3
Methodology of the research	4
Scientific novelty	4
Practical value of results of the research	5
Defended propositions.....	5
The implementation of the scientific work's results	5
The structure of the scientific work (dissertation).....	6
1. SOLUTIONS FOR PROBLEMS IN THE CASE OF UNCERTAINTY AS OBJECT OF THE RESEARCH	9
1.1. Description of the object of the research.....	9
1.2. Description of uncertainty and risk definitions.....	13
1.2.1. Solutions for problems with all necessary information	14
1.2.2. Solutions for problems with partial of necessary information.....	15

1.2.3. Summary of uncertainty and risk definitions	16
1.3. Solutions methods for problems in the case of uncertainty	18
1.3.1. Definition of matrix games	20
1.3.2. Equilibrium conditions and the saddle points	21
1.3.3. Calculation of optimal strategies	23
1.3.4. Simple and extended min-max principles for equilibrium strategy.....	24
1.3.5. Wald's rule.....	25
1.3.6. Savage-Niehaus's rule	26
1.3.7. Hurwicz's rule	27
1.3.8. Bernoulli-Laplace's rule	27
1.3.9. Bayes-Laplace's rule	28
1.3.10. Hodges-Lehman's rule.....	29
1.3.11. Other solution principles and methods' application summary.....	29
1.4. Normalization methods	30
1.4.1. Vector normalization.....	32
1.4.2. Linear normalization	32
1.4.3. Nonlinear normalization.....	34
1.5. Cases of uncertainties and risk	36
1.6. Technological and economic problems in construction	38
1.7. The conclusions of the first chapter and the tasks for dissertation	40
2. UNCERTAINTY CONDITIONS IN CONSTRUCTION PROCESS.....	41
2.1. Issues in construction project management	41
2.2. Construction project management and decision making in the case of risk and uncertainty.....	44
2.2.1. The essence of construction project management and phases.....	45
2.2.2. Construction estimation and cost calculation.....	47
2.2.3. Planning of construction works and time scheduling	50
2.3. The need of project's parts management and qualification improvement.....	52
2.3.1. Importance of construction project management and qualification	53
2.3.2. The survey and results of participants in construction industry	54
2.4. The need of construction project's information management and computer-aided design.....	57
2.4.1. The principle of the computer-aided design.....	58
2.4.2. The analysis of software for computer-aided design	59
2.5. The conclusions of the second chapter.....	67

3. UNCERTAINTY MANAGEMENT IN CONSTRUCTION.....	69
3.1. The sources of uncertainties	69
3.2. The methods for uncertainty and risk management	72
3.3. Risk assessment and management tools	74
3.4. Automated calculation of estimates and the management of construction project.....	80
3.4.1. Automated preparation of estimates in 3D CAD environment	83
3.4.2. The classifier of structural elements	87
3.4.3. The Automated of management of construction project.....	88
3.5. The concept of 4D modelling and automated estimating	90
3.6. The analysis of alternatives, normalization and decision-making.....	93
3.6.1. The data for analysis	93
3.6.2. The methodology and process of analysis	97
3.6.3. The results of normalization	97
3.6.4. The results of analysis and summing-up.....	101
3.7. The comparison of the alternatives in 4D Concept.....	103
3.8. The conclusions of the third chapter	106
4. CASE STUDY IN UNCERTAINTY MANAGEMENT	107
4.1. The benefits of 4D implementation in the project management ..	107
4.2. Automated building modelling	109
4.3. The economic efficiency in automated building modelling.	111
4.4. The conclusions of the fourth chapter	115
GENERAL CONCLUSIONS	117
REFERENCES.....	119
LIST OF THE AUTHOR'S SCIENTIFIC PUBLICATIONS ON THETOPIC OF DISSERTATION	131
ANNEXES	135
Annex A. Definitions and creation rules for Classifier of Typical Structural Elements (TEK).....	135
Annex B. The order of creation of Typical Elements (TE) and detailed description of methodics	138
Annex C. The structure's explanatory table for Classifier of Typical Structural Elements (TEK)	141

Įvadas

Problemos formulavimas

Statyba yra dinamiškai kintantis, tikimybinis ir sudėtingas procesas. Tokiomis neapibrėžtomis sąlygomis statybos įmonės dažnai sprendžia technologinius ir ekonominius uždavinius, todėl esant stipriai konkurencijai bei kintant išteklių apribojimams įmonės turi vystytis ir tobulėti visą projekto gyvavimo laikotarpį (vykdyti tyrimus, rengti metodikas ir kurti arba įsigyti įrankius bei priemones). Šiuos veiksmus reikia vykdyti nuolat, naudojant sistemingai atnaujinamus ir analizuojamus duomenis, siekiant naudoti bei įgyvendinant įmonės tikslus.

Mokslinio darbo tema – rizikos ir neapibrėžtumų valdymas – yra labai aktuali įvairiose pasaulio pramonės šakose. Dažniausiai mokslininkų sukurtos priemonės, tokios kaip neapibrėžtumų valdymo sistemos, sprendžia duomenų valdymo klausimus aprėpdamos tik kelis statybos proceso etapus, naudingos tik tam tikro proceso metu ir nėra lanksčios perduodant informaciją kitų etapų valdymo priemonėms. Todėl būtina pabrėžti, kad vien tik neapibrėžtumų valdymo, kaip pavienės priemonės, tiesioginė nauda nėra didelė. Svarbiausia, kad ji būtų integruota į projekto valdymo sistemą visą jo gyvavimo laikotarpį. Ši sistema plėtojama pasaulio mašinų pramonėje nuo praėjusio šimtmečio 9-ojo dešimtmečio vidurio. Statybos mokslo ir pramonės šakai ši tema yra nauja.

Tuo metu, kai buvo pradėta rašyti disertacija, buvo atliekami įvairūs moksliniai taikomieji tyrimai kituose pasaulio universitetuose, pramonės įmonės diegė įvairią programinę įrangą (automatizuoto projektavimo, projektui reikalingų išteklių skaičiavimo, kalendorinių grafikų valdymo, alternatyvų lyginimo ir pan.) fragmentiniam projekto dalių valdymui. Net tokia nedidelė teorinių procesų integracija valdant statybos įmones yra labai svarbi, tad savaime suprantama, kad praktinė jų nauda yra didžiausia bei vertingiausia iš visų inovatyvių investicijų. Todėl šiame moksliniame darbe nagrinėjamas statybos projekto valdymas per visą jo gyvavimo laikotarpį, kaip technologinių ir ekonominių statybos uždavinių sprendimas neapibrėžtumo sąlygomis, yra svarbus statybos mokslo tyrimo objektas tiek moksliniu, tiek praktiniu požiūriu.

Darbo aktualumas

Neapibrėžtumais statybos procese gali būti traktuojami netikslumai, klaidos, nenumatytos aplinkybės, nepakankamas ir netinkamas duomenų valdymas, paviršutiniškai ar netiksliai atlikti projektavimo darbai, netinkamas išteklių valdymas ir kitos problemos, tiesiogiai arba netiesiogiai veikiančios projekto įgyvendinimą. Toks problemų rinkinys gali sužlugdyti statybos projektą.

Daugelis statybos proceso dalyvių neapibrėžtumams valdyti taiko specializuotas priemones ir sistemas: automatizuotą trimatį projektavimą, sąmatų ir išteklių skaičiavimą, kalendorinių grafikų sudarymo ir išteklių srautų valdymą, įgyvendinimo analizę, alternatyvų lyginimą naudojant sprendimų paramos sistemas, galimų rizikos veiksnių analizę ir pan.

Šių priemonių atsiradimas ir taikymas skatino nuolatinį jų tobulinimą bei naudojimo naujose srityse plėtotę. Pavyzdžiui, trimatis (3D) modeliavimas kaip erdvinė-vaizdinė priemonė galėjo būti vertinamas kaip gražus atvaizdavimo akcentas, o plėtojamas jis tampa projektavimo ir modeliavimo priemone, suteikiančia galimybę gauti tikslų duomenų. Kitas pavyzdys – sąmata, sudaryta iš preliminarinių apimčių, nurodo apytikslę statybos projekto kainą, o galėtų būti paremta tiksliais 3D modelio duomenimis ir pagal ją galima būtų įvertinti bei palyginti faktines įgyvendintų darbų apimtis. Dar vienas pavyzdys – kalendorinis grafikas, kuris gali būti traktuojamas kaip statybos projekto įgyvendinimo trukmė, bet geriau jis gali būti naudojamas kaip statybos procesų valdymo, darbų organizavimo ir virtualaus atvaizdavimo priemonė. Paskutinis svarbus pavyzdys – alternatyvų ir galimos rizikos analizė, kuria remiantis, dar nepradėjus projekto arba jį įgyvendinant, galima įvertinti galimų alternatyvių sprendinių taikymą ir pasiekti projekto tikslus racionaliau, efektyviau, ekonomiškiau, greičiau.

Visų šių ir kitų galimų įrankių bei priemonių taikymas technologiniams ir ekonominiams statybos uždaviniams spręsti neapibrėžtumo sąlygomis turi būti suprantamas kaip labai aktualus statybos proceso valdymo klausimas. Dar svarbiau sujungti daugelį tokių sprendinių į vieną sistemą ir taikyti įgyvendinimo algoritmą (metodika) statybos uždaviniams spręsti neapibrėžtumo sąlygomis.

Tyrimų objektas

Darbo tyrimų objektas – visuma veiksnių, darančių poveikį statybos procesui, jo stadijoms ir dalyviams, sukeliančių neapibrėžtumus sprendžiant technologinius ir ekonominius statybos uždavinius (moksliniu teoriniu ir praktiniu gamybiniu požiūriu).

Darbo tikslas

Pagrindinis šio darbo tikslas – sukurti statybos projekto automatizuoto valdymo modelį ir metodiką, kurie leistų kaupti bei koreguoti duomenis įgyvendinant statybos projekto etapus, analizuoti galimas alternatyvas mažinant neapibrėžtumų ir rizikos įtaką galutiniam statybos projekto sprendiniui bei rezultatui.

Darbo uždaviniai

Siekiant disertacijos tikslo turi būti įgyvendinti šie uždaviniai:

1. Išanalizuoti statybos proceso eigą nuo koncepcijos stadijos iki ūkio valdymo ir nustatyti dalyvių bei veiksnių įtaką.
2. Išnagrinėti ir įvertinti duomenų tikslumo kitimus bei jų įtaką skirtingų statybos proceso stadijų metu.
3. Išnagrinėti technologinius ir ekonominius statybos uždavinius, nustatyti neapibrėžtumą sukeliančias sąlygas ir situacijas.
4. Išsiaiškinti, kokia yra neapibrėžtumų ir rizikos priklausomybė.
5. Išanalizuoti daugiakriterinių (daugiatikslių) įvertinimo sistemų ir taikomų optimalių sprendimų paieškos metodų rezultatų tikslumą bei duomenų apdorojimo (normalizavimo) paklaidos įtaką galutiniam sprendimui.
6. Sukurti statybos projekto automatizuoto valdymo modelį ir įvertinti automatizuoto projektavimo duomenų tikslumą bei naudą.
7. Sukurti metodiką, kuri padėtų sumažinti bei valdyti neapibrėžtumus sprendžiant technologinius ir ekonominius statybos uždavinius.

Tyrimų metodika

Ekspertiniais, lyginamaisiais ir surinktos tyrimo informacijos analizavimo metodais bei būdais gaunami duomenys moksliniam darbui ir išvadoms. Mokslinio darbo tiriamosios medžiagos šaltiniai: Lietuvos ir užsienio šalių mokslininkų (taip pat ir disertacijos autoriaus) publikacijos, vadovėliai ir monografijos, žinyrai, statistiniai duomenys ir kita informacija iš interneto, analitiniai darbai, atlikti statybos pramonės ir taikomosios matematikos šakose. Darbe įvertinami ir taikomi optimalaus sprendinio nustatymo bei normalizavimo metodai, remiamasi pagrindiniais lošimų teorijos teiginiais.

Darbo mokslinis naujumas

Rengiant disertaciją sukurta unikali metodika spresti technologinius ir ekonominius statybos uždavinius neapibrėžtumų sąlygomis, taip pat gauti tokie inžinerijos mokslui nauji rezultatai:

1. Sukurtas ir aprašytas teorinis statybos projekto automatizuoto valdymo per visą jo gyvavimo laikotarpį modelis (4D PLM), kuris leidžia kaupti ir koreguoti duomenis, nuosekliai įgyvendinant statybos projekto etapus, bei analizuoti galimas alternatyvas (pasirenkant ir tobulinant geriausią).
2. Atlikta tarptautinė profesionalių statybos projekto dalyvių apklausa dalyvaujant tarptautiniame didaktiniame *Leonardo da Vinci* projekte *Recognition of Needs and Creation of Professional Training in the Area of Management of Infrastructure Construction Projects (PL/04/B/P/PP/174 417)*. Remiantis apklausos rezultatais nustatytos aktualiausios statybos projekto valdymo dalys ir profesionalų kompetencijos gerinimo sprendiniai.
3. Sukurta unikali metodika kaip produktų ir priemonių sistema statybos veiklos neapibrėžtumams nustatyti bei valdyti, naudojant automatizuoto projektavimo (modeliavimo) bei atvaizdavimo laike priemones.
4. Pateikti konkretūs pasiūlymai su pavyzdžiais neapibrėžtumams ir rizikai valdyti, sprendžiant technologinius ir ekonominius statybos uždavinius, siekiant pagerinti statybos projekto informacijos valdymą bei sumažinti išteklių poreikį projektui įgyvendinti.
5. Išaiškinta rodiklių reikšmių skaičiavimo tikslumo ir taikytų normalizavimo metodų įtaka galutiniam alternatyvų palyginimui.
6. Sukurtas analitinis modelis (algoritmas) atskiroms statybos projekto gyvavimo etapų alternatyvoms analizuoti.

Darbo rezultatų praktinė reikšmė

Disertacijos tyrimų rezultatais turėtų naudotis visi projekto dalyviai (investuotojai, valdytojai, projektuotojai, rangovai, eksploatuotojai-prižiūrėtojai ir naudotojai).

Moksliniame darbe sukurtas modelis ir detaliai aprašyta metodika leidžia visiems projekto dalyviams atlikti statybos projekto per visą jo gyvavimo laikotarpį analizę, nustatyti tikslus išteklių poreikius, suteikia galimybę palyginti alternatyvas, atrinkti, plėtoti ir valdyti geriausią. Pateiktas siūlomos metodikos praktinis įgyvendinimo pavyzdys ir jo rezultatai.

Sukurtoje metodikoje detaliai aprašomi atliekami veiksmai, kurių reikia imtis norint išspręsti technologinius ir ekonominius statybos uždavinius neapibrėžtumo sąlygomis. Vykdam statybos projektą pagal pateiktą metodiką sumažinamos papildomos išlaidos ir trukdžiai galintys atsirasti dėl neapibrėžtumų.

Ginamieji teiginiai

1. Neapibrėžtumų ir rizikos valdymas klasifikuojant, nustatant šaltinius, įvertinant pasekmes ir imantis sisteminių priemonių mažinant jų įtaką.
2. Kompleksinis statybos technologinių ir ekonominių uždavinių neapibrėžtumų valdymas integruotas į pastato automatizuoto projektavimo ir valdymo sistemą per visą projekto gyvavimo laikotarpį.
3. Sukurtas statybos projekto automatizuoto valdymo modelis ir metodika, kuriais remiantis kaupiami bei koreguojami duomenys įgyvendinant statybos projekto etapus bei analizuojamos alternatyvos mažinant neapibrėžtumų ir rizikos įtaką galutiniam statybos projekto sprendiniui bei rezultatui.

Darbo rezultatų aprobavimas

Disertacijos tema išspausdinti 22 moksliniai straipsniai: vienas – mokslo žurnaluose, įtrauktuose į *Thomson ISI Master Journal List* sąrašą (Popov, Juocevičius, Migilinskas, Ustinovičius, Mikalauskas 2010); du – *Thomson ISI Proceedings* (Ustinovičius, Migilinskas, Tamošaitienė, Zavadskas 2007; Migilinskas, Ustinovičius 2004); keturi – mokslo žurnaluose, cituojamuose *ISI Proceedings* bei *IRBdirect*, *ICONDA* duomenų bazėse (Migilinskas, Ustinovichius 2008; Popov, Juocevičius, Migilinskas, Mikalauskas 2008; Migilinskas, Ustinovichius 2006; Ustinovičius, Zavadskas, Migilinskas, Malewska, Nowak, Minasowicz 2006),

šeši – LMT patvirtintose tarptautinėse duomenų bazėse (Migilinskas, Ustinovičius 2007) (Teixeira *et al.* 2006) (Popov *et al.* 2006) (Migilinskas, Ustinovičius 2006) (Ustinovičius, Popov, Migilinskas 2005) (Migilinskas 2003).

Disertacijoje atliktų tyrimų rezultatai buvo paskelbti penkiolikoje mokslinių konferencijų Lietuvoje, Lenkijoje, Latvijoje, Estijoje ir Ispanijoje.:

- § Tarptautinėje konferencijoje „International Symposium on Automation and Robotics in Construction“ 2008 m., Vilnius (Migilinskas, Ustinovičius 2008; Popov, Juocevičius, Migilinskas, Mikalauskas 2008).
- § Tarptautinėje konferencijoje „Cooperative Design, Visualization and Engineering“ 2006 m., Ispanija (Maljorka) (Migilinskas, Ustinovičius 2006; Ustinovičius, Zavadskas, Migilinskas, Malewska, Nowak, Minasowicz 2006).
- § Tarptautinėje konferencijoje „Modern Building Materials, Structures and Techniques“ 2004, 2007 m., Vilnius (Migilinskas, Ustinovičius 2004; Ustinovičius, Migilinskas, Tamošaitienė, Zavadskas 2007).
- § Tarptautinėje konferencijoje „Reliability and Statistics in Transportation and Communication“ 2005 m., Latvija (Ryga) (Ustinovičius, Popov, Migilinskas 2004).
- § Tarptautinėje konferencijoje „Simulation and Optimization in Business and Industry“ 2006 m., Estija (Talinas) (Migilinskas, Ustinovičius 2006).
- § Tarptautinėje konferencijoje „Systems and Operational Research“ 2006 m., Lenkija (Ščecinas) (Šarka, Zavadskas, Ustinovičius, Šarkienė, Migilinskas 2006).
- § Tarptautinėje konferencijoje „Theoretical Foundations of Civil Engineering“ 2006 m., Vilnius (Popov *et al.* 2006).
- § Jaunųjų mokslininkų konferencijoje „Mokslas – Lietuvos ateitis“ („Lietuva be mokslo – Lietuva be ateities“) 2003–2008 m., Vilnius.

Darbo medžiaga naudota dalyvaujant tarptautiniame didaktiniame *Leonardo da Vinci* projekte *Recognition of Needs and Creation of Professional Training in the Area of Management of Infrastructure Construction Projects* (PL/04/B/P/PP/-174 417).

Disertacijos struktūra

Disertaciją sudaro: įvadas, 4 skyriai, išvados ir pasiūlymai, literatūros sąrašas bei priedai. Disertacijos apimtis 160 puslapiai. Darbo struktūra pateikta 1 pav.

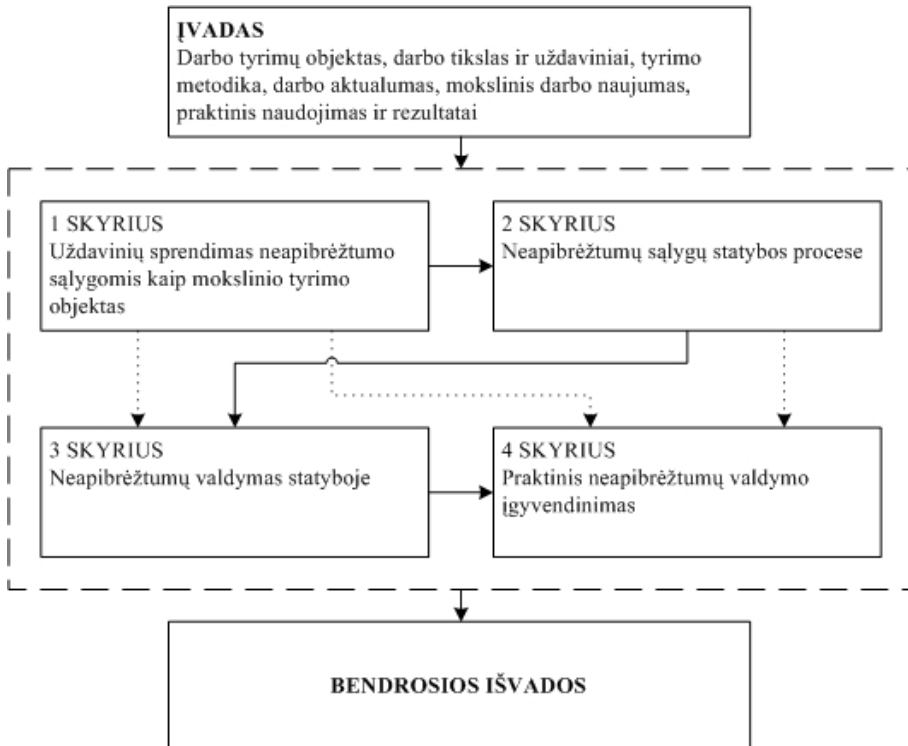
Pirmajame skyriuje pareikiama bendra su disertacijos tema susijusios pasaulinės literatūros apžvalga ir teorinės neapibrėžtumų sąvokos. Kaip disertacijos tyrimų objektas aprašomi technologiniai ir ekonominiai statybos uždaviniai bei jų sprendimų problemos neapibrėžtumų sąlygomis.

Antrajame skyriuje analizuojama neapibrėžtumų įtaka statybos procesui ir jų valdymo poreikis.

Trečiajame skyriuje aprašomos priemonės neapibrėžtumams valdyti statybos procese. Pateikiama metodika technologiniams ir ekonominiams statybos uždaviniams spręsti neapibrėžtumų sąlygomis, detaliam išaiškinami visi jos įgyvendinimo etapai.

Ketvirtajame skyriuje pateikiamas neapibrėžtumų valdymo praktinis pavyzdys, nustatomi skirtumai, gauti palyginus šmatinius skaičiavimus, atliekamus įprastiniu rankiniu būdu ir automatizuotomis projektavimo priemonėmis.

Disertacijos pabaigoje pateikiamos išvados ir pasiūlymai.



1 pav. Disertacinio darbo struktūra
Fig. 1. Structure of disseratation

Uždavinių sprendimas neapibrėžtumo sąlygomis kaip mokslinio tyrimo objektas

Skyriuje aprašomas mokslinio tyrimo objektas įvertinus Lietuvos ir kitų Europos Sąjungos šalių patirtį, pateikiamos ir apibendrinamos teorinės neapibrėžtumo bei rizikos sąvokos. Detaliai apžvelgiami pagrindiniai lošimų teorijos, optimalių strategijų apskaičiavimo ir verčių normalizavimo metodai. Taip pat pateikiamas statybos technologinių ir ekonominių uždavinių sąrašas, analizuojama informacijos įtaka ir jos valdymas sprendžiant statybos technologinius ir ekonominius uždavinius neapibrėžtumo sąlygomis.

1.1. Mokslinio tyrimo objekto aprašymas

Tiek vietinės, tiek užsienio rinkos investuotojai – vyriausybės organizacijos, finansų ir draudimo įmonės, bankai, pramonės įmonės ir privataus kapitalo investuotojai susiduria su ta pačia problema – greitas nekilnojamojo turto kainų kitimas bei kvalifikuotos darbo jėgos trūkumas (ar nedarbas). Su šiomis problemomis susiduria ir visi statybos pramonėje dirbantys asmenys bei įmonės. Problema kilo dėl besiplečiančios Europos Sąjungos, nuolatinio jos narių vystymosi

ir didėjančio gyventojų pragyvenimo lygio. Tai ypač išryškėjo po 2004 m. gegužės 1 d., kai Lietuva, Čekija, Estija, Kipras, Latvija, Lenkija, Malta, Slovakija, Slovėnija bei Vengrija buvo priimtos į Europos Sąjungą. Dėl atsidariusių Europos Sąjungos sienų kvalifikuota naujų narių darbo jėga pradėjo ieškoti kelis kartus geriau mokamo darbo Europos Sąjungos šalyse senbuvėse, tokiose kaip Jungtinė Karalystė, Ispanija, Prancūzija ir Vokietija. Dėl to atsirado kita problema – kvalifikuotos darbo jėgos stygius šalių narių statybos rinkoje.

Jau nuo 2004 m. dėl padidėjusios nekilnojamojo turto ir kvalifikuotos darbo jėgos paklausos didėjo ir statybos produkto kaina – nuo 50 iki 100 % per dvejus metus, 2008 m. siekė apie 20 %. Nedarbo lygis šalyje pradėjo staigiai kristi (1.1 lentelė) (Lietuvos statybininkų asociacija 2006; Lietuvos Respublikos finansų ministerija 2006, 2008, 2009), tačiau kvalifikuotai darbo jėgai parengti nepakanka vienų, dvejų ar trejų metų, todėl nedarbo lygio kritimas nuo 13,8–11,3 % 2002–2004 m. iki 5,6 % 2006 m. bei 4,3 % 2007 m. (buvo prognozuojama, kad 2008 m. bus 5,2 %) nepadengė darbo jėgos poreikio ir darbo užmokestis (toliau – DU) pradėjo kilti nuo 3,2–7,2 % 2002–2004 m. iki 17,6 % 2006 m. bei 21,1 % 2007 m. (buvo prognozuojama, kad 2008 m. bus 18,9 %). Tačiau 2008 m. viduryje prasidėjusi pasaulinė finansinė krizė tęsėsi ir 2009 m., tad dėl nekontroliuojamo nekilnojamojo turto kainos mažėjimo ėmė mažėti ūmonių bei gyventojų perkamoji galia (pelnas, pajamos, turto likvidumas ir pan.), didėja nedarbas, o dėl to mažėja DU ir šalies bendrojo vidaus produkto (toliau – BVP) augimas.

Suprantama, kad BVP, vartotojų kainų indekso bei infliacijos ir nedarbo kitimas tiesiogiai priklauso nuo darbo apimčių, darbuotojų atlyginimų, perkamosios galios ir bendros ekonominės bei politinės padėties ne tik Lietuvoje, bet ir kitose Europos Sąjungos šalyse. Pabandykime konkrečiau panagrinėti Lietuvos statybos pramonės sritį, kuri labai priklauso nuo darbo jėgos, nes darbo užmokestis sudaro trečdalį statybos produkto kainos, todėl dėl infliacijos ir kainų augimo vien tik darbo užmokesčiui padidėjus 10 % statybos projekto sąmatinė vertė gali pakilti iki 2–3 % (1.1 pav.) (www.sistela.lt 2005, 2006); Lietuvos statybininkų asociacija 2006). Didėjant darbo užmokesčiui, padidėja ir perkamoji galia, kuri yra tiesioginis paklausos rodiklis. Dėl didėjančios paklausos prekybininkai, nekilnojamojo turto pardavėjai ir visi su statybos pramone susijusių paslaugų teikėjai didina tiek medžiagų, tiek siūlomų paslaugų kainas (tarp jų ir statybos mechanizmais atliekamo darbo bei mechanizmų nuomos kainą).

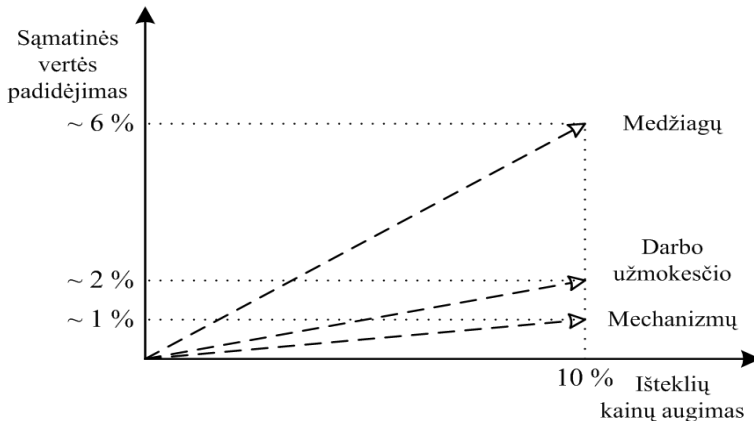
Dar labiau statybos produktų kainos padidėja dėl medžiagų kainos kilimo, kai, medžiagų kainoms padidėjus 10 %, sąmatinė statybos projekto vertė gali pakilti iki 6 %. Kainoms mažesnę įtaką daro statybos mechanizmų atliekamo darbo, statybos mechanizmų nuomos ir kitų paslaugų kainų kilimas, nes, kainoms padidėjus 10 %, sąmatinė statybos projekto vertė gali pakilti tik iki 1 %.

1.1 lentelė. Lietuvos ūkio plėtra ir jos prognozė 2002–2009 metams**Table 1.1.** The development and prognosis of economy in Lithuania (2002–2009)

Makroekonominiai rodikliai	Faktas / (Skliausteliuose prognozė rengta 2008-04-03)							
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
BVP augimas/Realus BVP augimas, proc. (prognozė)	6,9	10,3	7,3	7,6	7,7	8,8	2,8 (5,3)	-15,0 (4,5)
Infliacija (vidutinė metinė)/ Vartotojų kainų indeksas, proc.	0,3	-1,2	1,2	2,7	3,8	5,8	11,1 (9,2)	4,2 (5,1)
Priskaičiuotas darbo užmokesčio augimas*/Vidutinio mėnesinio bruto darbo užmokesčio augimas, proc.	3,2	5,8	7,2	11,0	17,2	21,1	19,4 (18,9)	-4,6 (9,8)
Priskaičiuotas darbo užmokestis */ Vidutinis mėnesinis bruto darbo užmokestis, Lt	1014	1073	1149	1276	1500	1813	2152 (2072)	2052 (2229)
Nedarbas/Nedarbo lygis, proc. (darbo jėgos tyrimo duomenimis)	13,8	12,4	11,4	8,3	5,6	4,3	5,8 (5,2)	13,6 (6,0)
Prekių ir paslaugų balansas/ Mokėjimų balanso prekių ir paslaugų balansas, proc. nuo nominalaus BVP	-5,7	-5,8	-6,3	-7,0	-10,4	-12,0	-11,4 (-12,6)	0,5 (-12,2)
Vartojimo masto augimas / Realus augimas, proc.	5,5	10,5	9,2	9,4	10,5	9,9	4,5 (6,4)	-16,7 (5,1)
Investicijų augimas/ realių investicijų augimas, proc.	13,8	18,7	25,5	8,6	5,2	6,7	0,3 (9,1)	-9,8 (8,2)
Statybos montavimo darbų apimtys, mln.Lt	3321	4290	4882	5904	7877 (6800)	10903 (7500)	12045 (8200)	5994 (9200)
Statybos montavimo darbų augimas, proc.	21,9	27,9	7,3	10,9	21 (15)	22 (10)	1 (10)	-48 (12)
Gyvenamųjų namų statyba, butais	4470	4530	6804	5933	7292 (7000)	9286 (8000)	11829 (8400)	9400 (9000)

*- ketvirtiniai duomenys be individualių įmonių

Šaltiniai: Lietuvos Respublikos finansų ministerija (2008-04-03, 2010-02-01), Lietuvos statybininkų asociacija (2006-10-03), Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija (2010-02-12)



1.1 pav. Statybos projekto vertės kitimas didėjant išteklių kainoms

Fig. 1.1. Changes of estimated project costs due the rise of resource prices

Taigi susidaro tokia situacija, kad, kintant nekilnojamojo turto kainai ir kvalifikuotos darbo jėgos darbo užmokesčiui bei dėl vartojimo didėjimo augant (arba dėl mažėjimo – krintant) infliacijai, Lietuvos statybų rinkoje susidaro užburta ratas. Greitai augant statybos darbų apimčiai, galimos projektų įgyvendinimo problemos: dėl darbininkų stygiaus pailgėja projekto trukmė, dėl nepakankamos kvalifikacijos susidaro didesnis medžiagų poreikis ir broko tikimybė, dėl perkamosios galios padidėjimo medžiaginių išteklių paklausa bus didesnė už pasiūlą ir tai lems statybinių medžiagų trūkumą bei kainų padidėjimą, dėl darbo užmokesčio padidėjimo labiau nei numatyta padidėja bendra sąmatinė projekto vertė (sumažėja įmonės pelnas), dėl bendro išteklių kainų augimo yra mažesnė tikimybė įgyvendinti projektą pagal anksčiau numatytą planą (laiko ir išlaidų prasme) ir dėl to galimas įmonių bankrotas. Taip pat turi būti neatmetamas ir pablogėjusių rinkos sąlygų scenarijus (krinta statybos paslaugų apimtys), kai dėl darbo stygiaus didėja konkurencija, mažindama darbų ir paslaugų kainas, o dėl sumažėjusių darbo apimčių tiekėjai ir gamintojai priversti mažinti parduodamų medžiagų kainas net žemiau savikainos, nes nepavyktų „išlikti“ konkurencinėje kovoje ir veikla vestų prie bankroto.

Tokie realūs pavyzdžiai yra tik vieni iš daugelio galimų neapibrėžtumus sukeliančių veiksnių bei jų įtakos aprašymų, o nenuspėjami kitimai statybos rinkoje, nenumatyti trikdžiai įgyvendinant projektą ir nepakankamas duomenų tikslumas yra vieni svarbiausių neapibrėžtumus sukeliančių šaltinių. Todėl matoma, kad technologinių ir ekonominių statybos uždavinių sprendimas neapibrėžtumo sąlygomis tiek mokslinė tiriama, tiek praktine gamybine prasme yra svarbus statybos mokslo tyrimo objektas, kurį reikia išsamiai ir kruopščiai nagrinėti.

1.2. Neapibrėžtumų ir rizikos sąvokų aprašymas

Ši skyriaus dalis parengta norint paaiškinti neapibrėžtumo ir rizikos sąvokas, jų skirtumus, panašumus bei tarpusavio ryšį.

Daugelyje mokslinių literatūros šaltinių neapibrėžtumų terminas siejamas su informacijos trūkumu ir rizikos valdymu (Фон Нейман, Morgenштерн 1970; Мулен 1985; Peldschus, Zavadskas 1997; Блех, Гетце 1997; Таха 2001; Del Caño, Pilar de la Cruz 2002; Smith 2003; Kendrick 2003; Galway 2004; Ustinovičius, Zavadskas 2004; Губко, Новиков 2005; Rogov 2006; Попов *et al.* 2006; Shevchenko, Ustinovičius, Andrushevicius 2008). Teoriškai neapibrėžtumų terminas gali būti nusakytas kaip apibrėžtumo stoka, daranti įtaką variantiškumui ir (arba) dviprasmybei. Neapibrėžtumų valdymas – įvairių rizikos ir neapibrėžtumo šaltinių valdymas, kuris leidžia apibrėžti rizikas, grėsmes, galimybes bei jų valdymo būdus (Chapman, Ward 2003).

Neapibrėžtumo situacijose parametrai yra neapibrėžti ir nėra jokios informacijos apie jų tikimybinį rodiklį, o rizikos situacijose yra neapibrėžtų parametrų, kurių tikimybiniai skirstiniai sprendimų priėmėjui yra žinomi (Rosenhead, Elton, Gupta 1972). Daugumai statybos technologinių ir ekonominių uždavinių trūksta informacijos, kuri gali būti nepatikima ar neišsami. Detaliau turimos informacijos įtaką statybos technologiniams ir ekonominiams uždaviniams nagrinėja daugelis mokslininkų, pabrėždami, kad statybos technologiniai ir ekonominiai uždaviniai yra labai įvairūs (Peldschus 1986; Tah, Carr 2001; Smith 2003; Zavadskas, Peldschus, Ustinovichius, Turskis 2004; Šarkienė, Ustinovichius, Šarka 2004; Thomas, Wentao 2006; Cooke, Williams 2009). Pavyzdžiui K. Fiedleris (1977) kaip svarbiausias užduotis nurodė gamybos technikos ir gamybos technologijos organizavimo (vadybos) pagrindų sukūrimą statyboje. Jie diegiami modeliuojant ir teoriškai tiriant technologinį statybos procesą, be to, modeliuojama atsižvelgiant į dažnai praktikoje pasitaikančius kompleksinius reikalavimus, kad įmonių technologiniai ir ekonominiai rezultatai būtų geriausi.

Remiantis mokslinėje literatūroje pateikta ir šiame skyriuje išnagrinėta medžiaga, pagal turimą informaciją galima išskirti du uždavinių tipus (Peldschus, Zavadskas 1997; Таха 2001; Smith 2003):

- § **uždaviniai, kuriems spręsti yra visa reikalinga informacija** (pvz., yra žinomas patalpų plotas, kambarių skaičius ir pan.), t. y. stochastiškai neapibrėžti uždaviniai;
- § **uždaviniai, kuriems spręsti žinoma tik dalis reikalingos informacijos** (turimi išteklių, įrenginių darbo našumas, išteklių pristatymas laiku, įrenginių tvarkingumas ir pan.), priklauso nuo atsitiktinių veiksnių, t. y. visiškai neapibrėžti uždaviniai.

1.2.1. Uždaviniai, kuriems spręsti yra visa reikalinga informacija

Pirmojo tipo uždaviniai (rizikos sąlygomis – stochastinio optimizavimo uždaviniai) yra uždaviniai, kuriuose neapibrėžtumai atsiranda dėl atsitiktinių sąlygų, kurias suformuoja įvertinimai pagal įvairiais statistiniais metodais nustatytus pasiskirstymo dėsnius (Dantzig 1955; Peldschus, Zavadskas 1997; Taxa 2001; Smith 2003; Ustinovičius, Zavadskas 2004; Shevchenko, Ustinovičius, Andruškevičius 2008). Vieni pirmųjų mokslininkų, nagrinėję lošimų teorijos taikymą ekonomikoje, J. Von Neumann ir O. Morgenstern šio tipo uždavinius kaip matematinę lošimų teorijos aparatą pavadino statistiniais neapibrėžtumais (Фон Нейман, Моргенштерн 1970), kuriuose naudojama „selektyvinė (rinktinė) informacija“.

Šie uždaviniai galimi tik teoriškai idealiu atveju, kai kalbama apie uždavinius, kuriuos sprendžiant neatsižvelgiama į nepatikimumą (tikimybę) ar nuokrypį (paklaidą). Čia sprendimų priėmimas grindžiamas laukiamosios vertės rodikliais, atitinkamai vertinant alternatyvius sprendinius siekiant didžiausios naudos (pelno) arba mažiausios žalos (nuostolio) (Taxa 2001; Ustinovičius, Turskis, Ševčenko 2008). Tokie uždaviniai verčia pateikti reprezentatyvius dydžius, kai sunku numatyti visus tokio sprendimo poveikius (Zavadskas, Peldschus, Ustinovičius, Turskis 2004). Pavyzdžiui, konvejerinėje gamyboje šis idealus atvejis yra prielaida, kad iš anksto galima apskaičiuoti statybos laiką, dalinių srauto linijų skaičių ir objektų seką. Pagal tą patį principą nustatomos išankstinės gamybos apimtys. Atsižvelgiama tik į tikslą, kuris sprendimo priėmėjui yra dominuojantis, o visi kiti tikslai ignoruojami. Tokiu atveju iš anksto pateiktus apribojimus tenkina priimtini (t. y. savavališki) sprendiniai, nepalankūs pradiniai duomenys, koreguojami remiantis praktine patirtimi (Ustinovičius, Zavadskas 2004). Galima taikyti pakaitinį tikslą, siūlomą Orlovskio (Орловский 1984), susidedantį iš dėmenų, nemonetarinius dydžius „perskaičiuojant“ tiksliniais monetariniais dydžiais.

Panašiu principu veikia ir populiariosios laiko bei išteklių valdymo sistemos, pvz., 1958 m. B. A. Hamilton Jungtinių Valstijų gynybos departamentui (angl. *United States Department of Defense's*) sukūrė PERT (angl. *Program Evaluation and Review Technique*). Ši sistema sukurta kariuomenės tikslams ir joje matematiniais skaičiavimais interpoliuojama kiekvieno įvykio pesimistinė, optimistinė ir labiausiai tikėtina įgyvendinimo trukmės (Birrell 1980). Tačiau G. S. Birrell (1980) pabrėžia, kad PERT sistemos esmė, remiantis kritinio kelio metodu (angl. *Critical Path Method – CPM*), tinka, kai svarbiausia atlikti veiksmą laiku, o išteklių (materialiųjų ir finansinių) sunaudojimo dydis nėra pagrindinis įgyvendinimo rodiklis. Mokslininkas akcentuoja, kad tokia sistemos nuostata negali būti teisingai naudojama statybos pramonėje, nes racionalus iš-

teklių naudojimas, darbų atlikimas kokybiškai ir laiku yra pagrindinė statybos pramonės nuostata (Harris, McCaffer 2006; Cooke, Williams 2009).

Realiame gyvenime, t. y. praktikoje ir gamyboje, dažniausiai neatsižvelgiama į tikimybinį pobūdį, o parametrai laikomi žinomais ir lygiais vidutinėms, tikėtinioms jų reikšmėms. Tačiau tikrai sunku įvertinti atsitiktinius veiksnius, kurie gali atsirasti dėl gamybos metu kintančios paklausos, tiekimo, elektros ar kitų trikdžių (Zavadskas, Kazlauskas, Banaitienė 2001). Matoma, kad toks tikimybinių procesų pakeitimas determinuotais modeliais ne visada teisingas (Dantzig 1993; Batarlienė 2003), nes reikšmės su tam tikra tikimybe priimamos kaip pastovus dydis, o ne kaip reikšmės, kurios su tam tikra tikimybe gali keistis laike (Smith 2003).

Tokių uždavinių rezultatai yra teigiami ir tinka praktiškai naudoti tik tuo atveju, kai tiriamoji sistema susideda iš gana didelio objektų skaičiaus ir jei atsitiktiniai kiekvieno jų reikšmių nuokrypiai kompensuoja vienas kitą, t. y. kai duomenys gali būti priimami kaip statistinės reikšmės su tam tikru tikimybinio skirstiniu (Taxa 2001; Batarlienė 2003).

Tokia supaprastinta elgsena neatsižvelgia į ryšį tarp suformuluotų tikslų ir globalaus tikslo, todėl sprendimo rezultatas yra nepatikimas. Taigi šiai uždavinių grupei būdinga tai, kad iš anksto pateikiami apribojimai, kuriuos turi atitikti leistinieji sprendiniai. Ieškoma leistinojo, t. y. savavališko, sprendinio, atitinkančio šias sąlygas. Net rezultatai pasirenkami atsižvelgiant į jų leistinumą (Zavadskas, Peldschus, Ustinovichius, Turskis 2004). Daugeliu atvejų šitaip gauti rezultatai gali būti tolimi nuo iš tikro optimalių, todėl reikalingi specialūs matematiniai statistiniai metodai (Batarlienė 2003; Šarka *et al.* 2008).

1.2.2. Uždaviniai, kuriems spręsti žinoma dalis reikalingos informacijos

Antrojo tipo uždaviniai (neapibrėžtumų sąlygomis – optimizavimo uždaviniai), yra uždaviniai, kuriuose išorinių sąlygų poveikio nustatymo dėsniai ir jų poveikio tikimybės nežinomi, nes priklauso nuo atsitiktinių veiksnių (Peldschus 1986; Peldschus, Zavadskas 1997; Taxa 2001; Smith 2003; Ustinovičius, Zavadskas 2004; Šarka *et al.* 2008). Tokiais atvejais susidaro situacija, kai abi uždavinio pusės – tiek aplinka, tiek sprendimo priėmėjo veiksmai – negali būti determinuoti ar statistiškai įvertinti, o yra atsitiktiniai (Губко, Новиков 2005). J. Von Neumann ir O. Morgenstern šio tipo uždavinius kaip matematinį lošimų teorijos aparatą pavadino strateginiais neapibrėžtumais, kuriuose naudojama strateginė informacija (Фон Нейман, Morgenштерн 1970).

Sprendimas priimamas lyginant galimo varianto privalumus ir trūkumus su įvairių išorinės aplinkos sąlygų poveikiu. Tokie uždaviniai turi informacijos trūkumą ir turėtų atitikti K. Fiedlerio (1977) suformuluotus kompleksinius reikala-

vimus. Norint pasiekti taip globaliai formuluojamą tikslą, reikia informacijos apie sprendimo tikslus ir veiksmų alternatyvas realizuojant šį tikslą. Aišku, kad statybos įmonės gamybos, ūkio planavimo ir valdymo padaliniai neturi išsamios ir visiškai tikslios informacijos, ypač sudarant ilgalaikius planus (Ustinovicius *et al.* 2007; Šarka *et al.* 2008). Tikslų nepatikimumas (neišsami informacija) grindžiamas nustatant dalinius tikslus, skirtus globaliai neapčiuopiamam optimumui pasiekti ir atskirų tikslų tarpusavio santykiui nustatyti (Zavadskas, Peldschus *et al.* 2004; Harris, McCaffer 2006; Cooke, Williams 2009).

Galimos reakcijos į trukdymus turėtų būti sudėtinė elgsenos alternatyvų dalis. Sąžiningai sudarant variantus, vargu ar galima tikėtis skirtumų. Tačiau dėl to neišnyksta galimybė, kad vėliau dėl techninių pakeitimų nepasikeis variantų skaičius. Nepatikimumas yra kiekybinis globalaus tikslo veiksmingumo įvertinimas ir šio tikslo išskyrimo į atskirus komponentus priežastis. Šios grupės uždaviniai paprastai gali būti išspręsti tik lošimų teorijos metodais, o jų sprendiniai turėtų padėti išaiškinti lemiamus statybos technologinius ir ekonominius klausimus (Zavadskas, Peldschus, Ustinovichius, Turskis 2008).

1.2.3. Neapibrėžtumų ir rizikos sąvokų apibendrinimas

Negalima sakyti, kad rizikos situacijos yra visiškai aiškios ir kad jos turi tikslus bei nuolatinis tikimybinis skirstinius. Tai reiškia, kad matematiniuose ir statistiniuose modeliuose, kuriais pakeičiami technologiniai ir ekonominiai statybos planavimo bei valdymo uždaviniai, visi arba dalis parametrų, įeinančių į apribojimus arba į kokybės rodiklius, yra atsitiktiniai arba neapibrėžti.

Vienose procesų tyrimo situacijose iš patirties ar statistinių duomenų galima nustatyti kai kurias tikimybinės parametrų charakteristikas. Tačiau kitose situacijose nėra jokio pagrindo, kuriuo remiantis būtų galima nurodyti statistines parametrų ypatybes (Ustinovichius, Zavadskas, Podvezko 2007). Pirmojo tipo situacijos vadinamos susijusiomis su rizika, antrojo tipo – neapibrėžtomis (Batarlienė 2003).

Pirmojo tipo matematinius modelius, atsižvelgiant į pagrindinius duomenis, apribojimus ir tikslo funkcijas, galima priskirti prie klasikinių optimizavimo arba vertinimo pagal daugelį rodiklių (kriterijų) uždavinių (Ustinovičius, Zavadskas 2004; Šarka 2008).

Antrojo tipo uždaviniams spręsti siūloma taikyti lošimų teoriją (Peldschus, Zavadskas 1997; Таха 2001; Новиков 2005), kuri gali būti suprantama kaip optimalių sprendinių priėmimo (uždavinių sprendimo) teorija neapibrėžtumo sąlygomis ir esant neišsamiai informacijai (Фон Нейман, Моргенштерн 1970). Kita vertus, lošimų teorijai yra būdinga savybė, kad vietoj optimalių sprendinių naudojamos sumaišytos lošėjų strategijos (Оуэн 1971).

Iš pateiktos medžiagos darytina išvada, kad skirtumas tarp rizikos (stochastiškai neapibrėžtų uždavinių) ir neapibrėžtumų (visiškai neapibrėžtų uždavinių) dažniausiai nusakomas galimybė apibrėžti konkrečios kiekybės ar kokybės netikslumus ateityje, bet abiem atvejais stengiamasi rasti optimalų sprendinį, kuris tiktų visoms įmanomoms kintamųjų reikšmėms. Matematiškai apibrėžti skirtumai yra svarbūs, tačiau šiame darbe šie du terminai bus vartojami vienareikšmiškai, nes abu nusako neapibrėžtas situacijas valdant statybos projektus ir sprendžiant statybos technologinius bei ekonominius uždavinius.

Matematinio programavimo dalis, tirianti uždavinius su atsitiktiniais koeficientais, vadinama **stochastiniu programavimu** (Dantzig 1993). Stochastinis programavimas nagrinėja sąlyginių ekstreminių uždavinių teoriją ir sprendimo metodus, kai informacija apie uždavinio sąlygas yra neišsami. Taigi stochastinio programavimo objektas yra statybos technologiniai ir ekonominiai (planavimo ir valdymo) uždaviniai, kurie aprašo procesus, vykstančius rizikos arba neapibrėžtumo sąlygomis.

Stochastinių uždavinių sudarymas ir analizė labai priklauso nuo to, ar informacija apie uždavinio sąlygos parametrus ar jų skaitines charakteristikas gaunama iš karto (Ustinovičius, Turskis, Ševčenko 2008), ar keliais etapais (Dantzig 1955). Be to, svarbu, ar būtina gauti vienintelį sprendinį, kurio negalima keisti, ar tokį sprendinį, kurį galima koreguoti, atsižvelgiant į gautą naują informaciją (Batarlienė 2003). Priešingu atveju pasiekti tarpiniai tikslai gali visiškai neatitikti naujų tikslų ir geriausias sprendinys negalės būti geriausias dėl atsiradusių apribojimų. Tuo atžvilgiu stochastinio programavimo uždaviniai skirstomi į vienetapius, dvietačius (Kopytov, Greenglaz, Tissen 2006) ir daugiaetapius ar net n -etapius (Фон Нейман, Моргенштерн 1970; Оуэн 1971).

Statiniu, arba vienetapiu, vadinamas uždavinys, kuriame informacijos gavimo nuoseklumas neturi įtakos priimamam sprendimui ir tas sprendimas negali būti koreguojamas. Tokie uždaviniai gali būti gaunami iš determinuotų (aiškiai apibrėžtų) uždavinių, kai duomenys tampa neapibrėžti ir yra atsitiktinio pobūdžio (Batarlienė 2003).

Dažniausiai pasitaiko **dvietačių** uždavinių, paremtų **dinaminio programavimo** samprata (Dantzig 1955). Jie sprendžiami dviem etapais: sprendinys, gautas pirmame etape, yra koreguojamas antrame etape (Kopytov, Greenglaz, Tissen 2006). Tokiu atveju dinaminio programavimo esmė – galimybė spręsti dvietačius ar net n -etapius uždavinius kaip vieną po kito einančius vienetapius uždavinius su galimybė juos kiekvieną kartą pakoreguoti (Лемешко 2002).

Tokie uždaviniai gaunami, pvz., planuojant produkcijos gamybą, investicijas palaipsniui (Ustinovičius, Turskis, Ševčenko 2008) ar pastatų statybą, kai nėra duomenų apie jos paklausą (Batarlienė 2003; Harris, McCaffer 2006; Cooke, Williams 2009).

1.3. Uždavinių neapibrėžtumo sąlygomis sprendimo metodai

Uždavinių sprendimo neapibrėžtumo sąlygomis esmė – tam tikrų metodų taikymas įvertinant analizuojamų alternatyviųjų variantų parametru (rodiklių) skaitines arba loginės reikšmes ir geriausio atrinkimas pagal pasirinktus teorijų metodus, t.y. naudojant daugiakriterines (daugiatiksles) sprendimų paramos bei analizės sistemas (Dantzig 1955; Peldschus, Zavadskas 1997; Xu, Wang Shi 2001; Zavadskas, Kaklauskas, Banaitienė 2001; Smith 2003; Saaty 2005).

Daugiakriterinis sprendimas (angl. *Multi-Criteria Decision Making* – MCDM) naudojamas norint surasti racionalų sprendinį (alternatyvą), kuris labiausiai tenkintų sprendimą priimančius asmenis (Triantaphyllou, Mann 1989; Zavadskas, Peldschus, Ustinovičius 2004; Saaty 2005). MCDM skirstomas į daugiakislį sprendimą (angl. *Multi-Objective Decision Making* – MODM) ir daugelio rodiklių sprendimą (angl. *Multi-Attribute Decision Making* – MADM). Tačiau dažniausiai daugiakriterinio MODM ir daugiatikslio MADM sprendimų priėmimo terminai vartojami tai pačiai modelių klasei įvertinti, t. y. MCDM.

Alternatyvos apibūdinamos tam tikrais rodikliais, kurie atspindi nagrinėjimų alternatyvų aspektus ir apibūdina konkrečią alternatyvos savybę. (Turskis, Zavadskas, Peldschus 2009). Rodikliai (alternatyvų parametrai) pagal savo prigimtį ir turinį gali būti skirstomi į **kiekybinius** ir **kokybinius** (Ларичев 1979). Kiekybinių rodiklių pavyzdžiais galėtų būti kaina, pelnas, trukmė ir pan., išreikšti įvairių dimensijų skaitinėmis reikšmėmis. Daugiakriterinių (daugiatikslių) alternatyvų vertinimo metoduose įprastai naudojami kiekybiniai įvertinimo rodikliai, kurie vėliau kaip skaitinės vertės naudojami kompiuterinėse sprendimų paramos sistemose (Galway 2004; Ustinovichius, Zavadskas, Podvezko 2007). Kokybinių rodiklių pavyzdžiais galėtų būti tinkamumas, patikimumas, technologiškumas ir pan., išreikšti apibendrintomis sąvokomis „blogai“, „patenkinamai“, „gerai“ arba sąlyginėmis skaitinėmis reikšmėmis – balais pagal iš anksto nustatytą įvertinimo skalę (pvz., skalė nuo 1 iki 5 arba dešimtbalė). Ne visada ekspertai gali įvertinti kokybinių rodiklių kintamuosius pagal absoliučią reikšmių skalę, kurioje kokybės lygiai nepriklauso nuo pačių alternatyvų. Kai neapibrėžtumų lygis labai aukštas, ekspertai gali patikimai įgyvendinti tik kokybinį alternatyvų palyginimą pagal atskirus rodiklius (kriterijus). Tuo metu verbalinės skalės įvertinimai gali būti keičiami žodinio palyginimo „loginiais“ vertinimais (tokiais kaip „geriau–blogiau“, „maždaug vienodai“ ir pan.) (Ларичев 1979; Larichev, Kochin, Ustinovičius 2003; Ustinovičius, Kochin *et al.* 2008)

Šiame darbe nenagrinėjami visiško apibrėžtumo uždaviniai, sprendžiami taikant įvairius tiesinio programavimo metodus (Ларичев 1979; Таха 2001), o nagrinėjami uždaviniai neapibrėžtumo sąlygomis dažniausiai sprendžiami taikant lošimų teorijos metodus. Šie metodai taikomi ir situacijoje, kai nežinomi

efektyvumo rodiklių svorio koeficientai. Sprendžiamą uždavinį ar problemą reikia vertinti kaip sprendimą, priimamą neapibrėžtumo sąlygomis (Ustinovičius, Zavadskas 2004).

Nagrinęjant dažniausiai pasitaikančią situaciją, kai viena iš suinteresuotų lošimo pusių – sprendimų priėmėjas, o kita pusė realiai neegzistuoja (t. y. gali būti tik tam tikrų veiksmų ir sąlygų pasekmė ar susidariusios padėties aplinkybė), susiduriama su sprendimus priimančia kita puse, kuri neturi pakankamai informacijos apie susidariusią situaciją. Ši sprendimus priimanti pusė remiasi įgyvendintų sprendimų pasekmių rezultatais, kurie priklauso nuo išorinės aplinkos pokyčių ir yra jai tinkamiausi. Šiuo atveju kita lošėjų pusė gali būti pati išorinė aplinka, dar kitaip vadinama **gamta** (Оуэн 1971), o uždavinys, kurio metu priimami sprendimai, sprendžiamas neapibrėžtumo sąlygomis. Taigi matematiškai modeliuojamas optimalių sprendimų priėmimas neapibrėžtumo sąlygomis yra **lošimai prieš gamtą** (Крушевский 1977; Губко, Новиков 2005).

Priešingai nei visiško apibrėžtumo ir rizikos uždaviniai, kuriuose išorinė aplinka (gamta) yra pasyvi, konfliktinėse situacijose yra bent dvi priešiškos nusi-teikusios pusės, turinčios priešingų tikslų (Фон Нейман, Моргенштерн 1970; Кильпеляйнен 2001; Лемешко 2002). Pavyzdžiui, tai galėtų būti rinkoje dažna situacija, kai kelios statybos organizacijos siekia parduoti savo prekes ar tiekti paslaugas tam pačiam pirkėjui arba jos nori „užkariauti“ naują rinką ar jos dalį. Tokie uždaviniai nepalankiomis konfliktinėmis sąlygomis dar vadinami antago-nistiniais uždaviniais.

Antagonistiniai (konflikto) uždaviniai gana retai pasitaiko sprendžiant socialinius ekonominius ir techninius ekonominius uždavinius. Jie grindžiami modeliu, kuriame dvi priešingų tikslų siekiančios konfliktuojančios pusės neturi (ir nesiekia) galimybės suderinti veiksmų ir baigtis įvertinama skaitine reikšme, kuria viena lošėjų pusė siekia padidinti išlošį (pasiekti maksimalią reikšmę), kita – sumažinti pralaimėjimą (pasiekti minimalią reikšmę) (Фон Нейман, Моргенштерн 1970). Tokiu atveju vienos pusės išlošis yra lygus kitos pusės pralaimėjimui. Šie uždaviniai artimi uždaviniams neapibrėžtumo sąlygomis ir gali būti sprendžiami pritaikius atitinkamus sprendimo metodus (Ustinovichius, Zavadskas, Podvezko 2007). Sprendžiant tokio tipo uždavinius, gauti rezultatai su samprotavimais yra svarbūs bei taikomi uždavinių visiško ir dalinio neapibrėžtumo sąlygomis bei kitiems lošimams spręsti (Безруков, Саитгараев 2001).

Daugelis autorių aprašo matematinius lošimų teorijos metodus, taikomus neapibrėžtumo uždaviniams spręsti. Tačiau galimų matematinių sprendimo teorijų (Ларичев 1979; Dantzig 1993; Peldschus, Zavadskas 1997; Таха 2001; Новиков 2005), metodų ir idėjų yra daug, tad nepakankamai išsamiai apie jų sprendimą išmanantys sprendėjai gali taip ir nerasti tinkamiausios išraiškos uždaviniui spręsti. Todėl sprendimo metodą reikia pasirinkti pagal uždavinio tipui būdingus požymius ir taikymo principą statybos srityje.

Nagrinėjant statybos uždavinių sprendimo eiliškumą ir galimybes taikant lošimų teorijos metodus, pastebėti tokie dėsningumai (Samuelson, Zhang 1992; Aumann, Brandenburger 1995; Reisman, Kumar, Motwani 2001; Ustinovičius, Zavadskas 2004; Saaty 2005; Turskis, Zavadskas, Peldschus 2009):

- § vertinamų alternatyvų rodikliai dažniausiai yra skirtingų matavimo vienetų;
- § didžiausios ir mažiausios alternatyvų rodiklių reikšmės nėra apibrėžtos, todėl suformuota sprendimų priėmimo matrica normalizuojama (galimi keli būdai);
- § alternatyvoms vertinti kai kuriuose uždaviniuose taikomi skirtingi sprendimo būdai;
- § nėra metodo, kuris įvertintų galimas alternatyvas, taikant skirtingus uždavinio sprendimo kriterijus ir sprendimo priėmimo matricos normalizavimo būdus;
- § kai yra skirtingos optimizavimo kryptys, gali nevienodai kisti maksimizuojamos ir minimizuojamos reikšmės, skirtingai pasiskirstyti normalizuotos matricos kriterijų reikšmės ir pasikeisti uždavinio sprendinys.

Kai kurie autoriai mano, kad nereikia kurti specialių kriterijų statybos technologiniams ir ekonominiams uždaviniams spręsti (Крушевский 1977; Peldschus, Zavadskas 1997). Pastebėta, kad daugelis spęstų statybos uždavinių buvo modeliuojami kaip baigtiniai dviejų asmenų nulinių sumų matriciniai lošimai. Jų sprendimas grindžiamas optimalaus lošėjų elgesio teorijos principais ir sprendimo metodais.

Kadangi daugelio asmenų bimatriciniai ar kiti specifiniai lošimų teorijos uždavinių tipai turi tik teorinius matematinių modelių išvedimus (Фон Нейман, Моргенштерн 1970; Ларичев 1979; Губко, Новиков 2005) ir dėl sudėtingumo arba per daug supaprastinančių bei iškreipiančių realią situaciją rodiklių naudojimo yra retai taikomi praktikoje (Оуэн 1971; Мулен 1985; Peldschus 1986; Деревянко 2005; Saaty 2005), jų nenagrinėsime.

1.3.1. Matricinių lošimų apibrėžimas

Matriciniai baigtiniai dviejų asmenų nulinių sumų lošimai yra lošimai, kuriuose įvertinami pirmojo lošėjo išlošiai matricos pavidalu (matricos eilutėse yra išdėstytos pirmo lošėjo strategijos, stulpeliuose – antro lošėjo strategijos ir jų sankirtoje nurodoma pirmojo išlošio reikšmė), o antrojo lošėjo išlošiai yra lygūs pirmojo lošėjo pralaimėjimų matricai (Фон Нейман, Моргенштерн 1970; Крушевский 1977; Губко, Новиков 2005). Šių lošimų metu siekiama maksimalaus išlošio, išnaudojant priešininko klaidas ir pralaimėjimus.

Matricinius lošimus galima išvesti iš n asmenų lošimų. Normalus n asmenų lošimas apibrėžiamas (Burger 1959; Peldschus, Zavadskas 1997) kaip n netuščiujų aibių $S_i (i = \overline{1, n}) - 1, 2, \dots, n$ -tojo lošėjo strategijų aibių ir n realiųjų funkcijų $A_i (i = \overline{1, n})$, apibrėžtų aibėje $S_1 \times S_2 \times \dots \times S_n - 1, 2, \dots, n$ -tojo lošėjų išlošio funkcijų visuma. Aibių sandauga $S_1 \times S_2 \times \dots \times S_n$ yra visų rinkinių (s_1, s_2, \dots, s_n) aibė, kur $s_1 \in S_1, s_2 \in S_2, \dots, s_n \in S_n$.

Šis lošimas žymimas $\Gamma = \{S_1, S_2, \dots, S_n; A_1, A_2, \dots, A_n\}$. Čia matome sutrumpintą lošimo formulę, kurioje nėra įvertintos galimos lošimų baigmės, kai naudojami koaliciniai lošimai. Dviejų asmenų lošimas bus $\Gamma = \{S_1, S_2; A_1, A_2\}$.

Taikant jį statybos technologijos ir ekonomikos uždaviniams galima tarti, kad aibės S_1 ir S_2 yra baigtinės ir žinomos, todėl ir strategijų aibės $S_1 = \{S_{11}, S_{12}, \dots, S_{1m}\}, S_2 = \{S_{21}, S_{22}, \dots, S_{2n}\}$. Nulinės sumos lošimuose $A_2 = -A_1$, t. y. vieno lošėjo išlošį kompensuoja kito lošėjo mokestis (nuostolis), ir atvirkščiai. Lošimą, kur $A_1 + A_2 = c$, galima nagrinėti kaip nulinės sumos lošimą (pilna dviejų asmenų lošimo funkcija) $\Gamma' = \{S_1, S_2; A_1, A_2 - c\}$.

Tuo atveju, kai $c = 0$ ir $A_1 = A, A_2 = -A$, dviejų asmenų nulinės sumos lošimo sutrumpinta forma yra tokia (Оуэн 1971):

$$\Gamma = \{S_1, S_2; A\}. \tag{1.1}$$

Kadangi dažniausiai strategijų aibės yra baigtinės, tai šį lošimą galima užrašyti vadinamąja išlošių matrica ir vadinti matriciniu lošimu. Toliau visur eilučių indeksas bus žymimas $i (i = \overline{1, n})$, o stulpelių indeksas $-j (j = \overline{1, m})$;

	S_{21}	S_{22}	L	S_{2n}	
S_{11}	a_{11}	a_{12}	L	a_{1n}	
S_{12}	a_{21}	a_{22}	L	a_{2n}	
L	L	L	L	L	
S_{1m}	a_{m1}	a_{m2}	L	a_{mn}	

(1.2)

1.3.2. Pusiausvyros sąlygos ir taškai

Po formalaus lošimo aprašymo reikia išanalizuoti uždavinį racionalios lošėjo elgsenos aspektu. Savaime aišku, kad kiekvienas lošėjas siekia maksimalaus išlošio, bet to paties tikisi ir priešininkas (Фон Нейман, Моргенштерн 1970).

Pusiausvyros samprata grindžiama tuo, kad vienas lošėjas nekeičia savo strategijos, kai kiti lošėjai laikysis savo pasirinktų strategijų. Tokiu atveju kiekvienas lošėjas žino, kaip loš kiti, ir turi pasirinktos pusiausvyrą užtikrinančios strategijos laikymosi pagrindimą, o lošimas tampa pakankamai pastovus (Оуэн 1971).

Pirmas lošėjas, pasirinkdamas i -tąją eilutę, išlošia ne mažiau kaip $a_i = \min_j a_{ij}$ (skaičius a vadinamas mažiausia lošimo verte).

Tai apatinė tos eilutės išlošio riba. Todėl jis pasirinks tą eilutę, kurios ši apatinė išlošio riba yra kuo didesnė (kai $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$):

$$a_i = \max_i a_i = \max_i \min_j a_{ij} \quad (1.3)$$

Kadangi antrojo lošėjo išlošių matrica $A_2 = -A$, tai j -ojo stulpelio pasirinkimas garantuoja nuostolį, ne didesnį kaip viršutinė tos eilutės išlošio riba $b_j = \max_i a_{ij}$.

Jis sumažins savo nuostolius, pasirinkdamas tą stulpelį, kurio

$$b = \min_j b_j = \min_j \max_i a_{ij}. \quad (1.4)$$

Skaičius b vadinamas didžiausia lošimo verte.

Taškas, kuriame išlošių funkcija A pasiekia maksimumą pagal i ir minimumą pagal j , vadinamas **pusiausvyros tašku** (Крушевский 1977; Peldschus, Zavadskas 1997). Pusiausvyros tašku vadinamas ir balno taškas, kai tenkinama balno taško teorema ir strategijų aibės yra baigtinės, t. y. nagrinėjama situacija, kai strategijų pora bus pusiausviroji tik tuomet, kai atitinkamas matricos elementas a_{ij} yra tuo pat metu didžiausias savo stulpelyje ir mažiausias savo eilutėje (Оуэн 1971).

Jeigu nėra nė vieno pusiausvyros taško, o kartu ir pusiausvyros strategijų, tuomet nustatyti dažniu taikomos kelios strategijos (Marks 1998), tai yra dažniausiai vadinami **matriciniai lošimai su mišriomis strategijomis** (Оуэн 1971; Мулен 1985), nors ir labiausiai naudojamos statyboje, tačiau yra išimtys, nagrinėjant lošimus prieš gamtą (Безруков, Саитгараев 2001).

Matriciniam lošimui $\Gamma = \{S_1, S_2; A\}$, kurio pirmojo lošėjo strategijų (grynųjų strategijų) aibė yra $S_1 = \{S_{11}, S_{12}, \dots, S_{1m}\}$ ir antrojo lošėjo grynųjų strategijų aibė $S_2 = \{S_{21}, S_{22}, \dots, S_{2n}\}$ bei išlošių funkcija $A = \|a_{ij}\|_{m \times n}$, kiekvienas tikimybinis skirstinys p aibėje S_1 reiškia pirmojo lošėjo mišriąją strategiją $P = (p_1, p_2, \dots, p_m)$. Tada pirmojo lošėjo mišriųjų strategijų aibė ir analogiškai antrojo lošėjo mišriųjų strategijų aibė S_2 :

$$P = \{(p_1, p_2, \dots, p_i, \dots, p_m)\}, p_i \geq 0, \sum_{i=1}^m p_i = 1, \quad (1.5)$$

$$Q = \{(q_1, q_2, \dots, q_j, \dots, q_m)\}, q_j \geq 0, \sum_{j=1}^n q_j = 1.$$

Kai lošėjai naudoja mišriąsias strategijas, išlošiai tampa atsitiktiniai. Bet kokiai mišriųjų strategijų porai p ir q 1-ojo lošėjo išlošį E galima pateikti

$$\text{kaip matematinį vidurkį } E(p, q) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n p_i q_j a_{ij}.$$

Trejetas $\{P, Q; E\}$ yra mišriojo lošimo $\{S_1, S_2; A\}$ išplėtimas. J. von Neumann (Фон Нейман, Моргенштерн 1970) lošimui $\{P, Q; E\}$ įrodė pagrindinę lošimų teorijos teoremą (minimakso teoremą).

Kiekvienas dviejų asmenų nulinės sumos lošimas, turintis baigtines (grynųjų) strategijų aibes S_1 ir S_2 , mišriai išplėstas $\{P, Q; E\}$ turi reikšmę v , ir kiekvienas lošėjas turi bent vieną (mišriąją) pusiausvyros strategiją p^* arba q^* , kuri jam garantuoja reikšmę v (t.y. pusiausvyros balo tašką):

$$u(\Gamma) = \max_{p \in P} \min_{q \in Q} E(p, q) = \min_{q \in Q} \max_{p \in P} E(p, q) = E(p^*, q^*) \quad \text{ir} \quad (1.6)$$

$$E(p, q^*) \leq E(p^*, q^*) \leq E(p^*, q).$$

1.3.3. Optimalių strategijų apskaičiavimas

Pusiausvyros strategijos dviejų asmenų nulinės sumos lošimuose vadinamos **optimaliomis strategijomis**. Peldschus ir Zavadskas pastebėjo (Peldschus, Zavadskas 1997), kad minimakso teorema garantuoja optimalių strategijų buvimą dviejų asmenų nulinės sumos lošime, tačiau ji neparodo jokių optimalių strategijų apskaičiavimo būdų. Matematikoje yra įvairių galimybių: algebrinis metodas, diferencialinių lygčių sprendimu pagrįsti metodai, iteracijų, modeliavimo ir labiausiai paplitę bei praktikoje taikomi tiesinio programavimo metodai (Ларичев 1979; Таха 2001).

Statybos uždaviniams neapibrėžtumo sąlygomis spręsti ir optimalioms strategijoms apskaičiuoti naudojamas **minimakso** kriterijus arba žinomos ir šio kriterijaus atmainos, kurios naudingos ir nepakeičiamos tam tikromis sąlygomis (Peldschus, Zavadskas 1997; Лемешко 2002): Savage-Niehaus kriterijus, Hurwicz taisyklė ir Hodges-Lehmann taisyklė. Be to, pasirenkant sprendinį konfliktinėse situacijose taikomos Wald, Laplace ir Bayes taisyklės (Ларичев 1979; Таха 2001). Nors kai kurie metodai yra išvestiniai iš Von Neumann ir Morgenstern (Nash 1950; Губко, Новиков 2005) ir kai kuriomis sąlygomis yra

ekvivalentiškai, tačiau nėra aišku kokiomis išskirtinėmis sąlygomis juos naudoti geriausia. Pavyzdžiui, sprendimo alternatyvoms įvertinti galima naudoti **maksimakso** kriterijus, tačiau būtina žinoti, kad nėra įvertinama nepalanki išorinės aplinkos kitimo rizika (Деревянко 2005).

Bendras minėtų lošimų teorijos metodų trūkumas yra priimtas ribotas išorinės aplinkos sąlygų – scenarijų skaičius. Tam tikrų anksčiau minimų taisyklių ir kriterijų taikymas turi būti visuomet pagrįstas bei naudojamas atsižvelgiant į keliamo uždavinio tikslą. Kadangi pats geriausias taisyklių ir kriterijų rinkinys nėra išaiškintas, siūloma pasirinkti vieną iš jų ir pagal aplinkybes palyginti su sprendiniu pagal kitą kriterijų, apribojantį ar apibendrinantį uždavinio formulavimą (Peldschus, Zavadskas 1997).

1.3.4. Pusiausvyros strategijos paprastas ir išplėstinis minimakso principas

Sprendimas pagal minimakso principą (Peldschus, Zavadskas 1997) kaip racionalaus elgesio principą taikomas ne tik tiesioginio dviejų lošėjų interesų konflikto atveju, bet ir neišsamios informacijos – neapibrėžtumų atveju, t. y. lošimams prieš gamtą.

Muschik (1970) skiria paprastą ir išplėstinį minimakso principą. Lošimo su racionalia strategija uždavinių sprendiniai idealiu atveju randami kaip balno taško sprendinys (paprastas minimakso principas) arba kaip strategijų derinimas (išplėstas minimakso principas) (Manteufel, Stumpe 1977).

Paprasto minimakso principo atveju – pagal paprastąjį minimumo ir maksimumo principą – abu lošėjai patenka į tą patį matricos elementą, ir balno taškas sudaromas grynosiomis strategijomis. Galioja sąryšis $\mathbf{a} = \mathbf{b} = \mathbf{u}$.

Optimalios strategijos apskaičiuojamos pagal

$$S_1^* = \left\{ S_{1i} \mid S_{1i} \in S_1 \mathbf{I} \left\{ S_{1i_0} \mid a_{i_0 j_0} = \max_i \min_j a_{ij} \right\} \right\} \quad \text{ir} \quad (1.7)$$

$$S_2^* = \left\{ S_{2i} \mid S_{2i} \in S_2 \mathbf{I} \left\{ S_{2i_0} \mid a_{i_0 j_0} = \min_j \max_i a_{ij} \right\} \right\}. \quad (1.8)$$

Reikšmė v garantuojama visuomet.

Pagal **išplėstinį minimakso principą** sprendžiama tiesinė nelygybių sistema. Pirmajam lošėjui galioja:

$$\sum_{i=1}^m p_i^* a_{ij} \geq \mathbf{u}; \quad p_i^* \geq 0; \quad \sum_{i=1}^m p_i^* = 1 \quad (\text{kai } j = \overline{1, n}; \quad i = \overline{1, m}).$$

Antrajam lošėjui galioja:

$$\sum_{j=1}^n q_j^* a_{ij} \leq \mathbf{u}; \quad q_j^* \geq 0; \quad \sum_{j=1}^n q_j^* = 1 \quad (\text{kai } j = \overline{1, n}; \quad i = \overline{1, m}).$$

Tam, kad būtų $u > 0$, reikia transformacijos į ekvivalentišką lošimą.

$$\Gamma_1 = \Gamma + C; C > 0,$$

Jei $u(\Gamma) > 0$, tai abi nelygybių sistemas galima padalinti iš $u(\Gamma)$. Su naujaisiais kintamaisiais u_i ir w_j gaunami tiesinio programavimo uždaviniai (kuriuose nėra u !):

$$\frac{p_i^*}{u} = u_i \text{ ir } \frac{q_j^*}{u} = w_j$$

pirmajam lošėjui ir antrajam lošėjui (pateikta žemiau)

$$\sum_{i=1}^m u_i a_{ij} \geq 1; (j = 1, \dots, n), u_i \geq 0; (i = 1, \dots, m), \sum_{i=1}^m u_i \left(= \frac{1}{u} \right) \rightarrow \min \quad (1.9)$$

$$\sum_{j=1}^n w_j a_{ij} \leq 1; (i = 1, \dots, m), w_j \geq 0; (j = 1, \dots, n), \sum_{j=1}^n w_j \left(= \frac{1}{u} \right) \rightarrow \max. \quad (1.10)$$

Abu tiesinio programavimo uždaviniai yra dualūs vienas kito atžvilgiu ir gali būti išspręsti paprastais metodais. Jei šių uždavinių sprendiniai yra

$$u_0 = (u_{0_1}, \dots, u_{0_1}, \dots, u_{0_m}) \text{ ir } w_0 = (w_{0_1}, \dots, w_{0_j}, \dots, w_{0_n}),$$

tuomet abiejų lošėjų optimalios (mišriosios) strategijos yra

$$p_i^* = u_{0_i} u \text{ (} i = \overline{1, m} \text{)} \text{ ir } q_j^* = w_{0_j} u \text{ (} j = \overline{1, n} \text{)} \quad (1.11)$$

Reikšmė u yra išlošių vidurkis dideliame pasikartojimų skaičiui.

Taigi matoma, kad lošimuose prieš gamtą gamtos strategijos nesiremia jokiais optimalumo principais ir gamta, kaip priešininkas, naudoja grynąsias strategijas (retai naudojamos mišriosios strategijos). Mišriosios gamtos strategijos galimos tada, kai vyksta daugkartinis lošimas (Безруков, Саитгареев 2001).

1.3.5. Wald taisyklė

1945 m. A. Wald pasiūlė maksimizuoti garantuotą išlošį. Ši taisyklė tapo žinoma kaip maksimumo kriterijus (Peldschus, Zavadskas 1997), dar vadinamas atsargaus stebėtojo kriterijumi. Wald taisyklė ir paprastasis minimakso principas, esant balno taškui 1-ajam lošėjui, skiria tą pačią optimalią strategiją, t. y. net ir nepalankiausiomis sąlygomis garantuojamas ne mažesnis nei $\max_i \min_j a_{ij}$ išlo-

šis A_j (Безруков, Саитгареев 2001). Pagal šią taisyklę optimali strategija:

$$A_j = \max_i \min_j a_{ij},$$

$$S_1^* = \left\{ S_{1_i} \mid S_{1_i} \in S_1 \text{ I } \left\{ S_{1_{i_0}} \mid a_{i_0 j_0} = \max_i \min_j a_{ij} \right\} \right\} \quad (1.12).$$

Visais atvejais Wald taisykle gaunama atsargi strategija, ne žemesnė kaip apatinė išlošio riba (mažiausia rizika), todėl ji dar vadinama pesimistine taisykle (Сайтгараев 2001). Taikant šią taisyklę daugelis efektyvių alternatyvų būna nepagrįstai atmestos, nes dirbtinai sumažinamos alternatyvių variantų rodiklių reikšmės (Деревянко 2005). **Trūkumas** – galimas šios taisyklės netikslumas dėl neatsižvelgimo į turimą informaciją ir gaunamas rezultatas su atsarga. Ją prasminga taikyti statybos technologijoje ir vadyboje, jei reikia priimti sprendimą, remiantis įvairiomis nepalankiomis 1-ajam lošėjui būklėmis, kai yra mažai pasikartojimų ir informacijos apie galimas svarbias būkles, esant nedaugeliui galimų sprendimų ir kai neleidžiama jokia rizika (siekiama garantuotų rezultatų).

1.3.6. Savage-Niehaus taisyklė

Remdamasis Niehaus idėja 1951 m. Savage pasiūlė naudoti tokią strategiją, kurios rizikos dydis r_{ij} pačiais nepriimtinaisiais atvejais yra mažiausias. Ši taisyklė žinoma kaip minimalios rizikos, mažiausio apgailestavimo (Peldschus, Zavadskas 1997) ar minimalaus nusivylimo principas (Лемешко 2002). Jis išrenka tokią 1-ojo lošėjo strategiją, kuriai maksimali rizika yra kuo mažesnė ir neviršija $\min_j \max_i r_{ij}$, kurios tikslas – sumažinti nuostolius, t. y. skirtumą tarp didžiausios ir pasiektos naudos (Zavadskas, Peldschus *et al.* 2004). Šio principo išlošio ir optimalios strategijos išraiškos (Безруков, Сайтгараев 2001; Хемди 2001):

$$A_j = \min_i \max_j r_{ij}, \text{ kai } r_{ij} = \max_i a_{ij} - a_{ij} \text{ arba } r_{ij} = a_{ij} - \min_i a_{ij}.$$

$$S_1^* = \left\{ S_{1_i} \mid S_{1_i} \in S_1 \text{ I } \left\{ S_{1_{i_0}} \mid r_{i_0 j_0} = \min_i \max_j r_{ij} \right\} \right\} \quad (1.13).$$

čia $r = \overline{1, m}$; $S = \overline{1, n}$.

Nustačius apatinę ir viršutinę išlošio ribas, dažniausiai nerandamas balno taškas, todėl imamos mišriosios strategijos. Remiantis šiuo kriterijumi, be tiesioginių sprendinio padarinių, atsižvelgiama ir į antrinius efektus. Šis metodas turi **trūkumą** – šiam principui poveikį daro ir neoptimali strategija, į tai reikia atsižvelgti. Taikant jį lošimams prieš gamtą gaunamas pernelyg pesimistinis minimakso sprendinys (Сайтгараев 2001; Zavadskas, Peldschus *et al.* 2004). Skirtumas, lyginant Savage-Niehaus taisyklę su Wald pasiūlyta taisykle, yra tas, kad vietoj nuostolių minimizavimo stengiamasi minimizuoti praleisto galimo išlošio kartelį ir leidžiama priimtino lygio rizika siekiant papildomo išlošio. Ši taisyklė tinkamiausia, kai tikrai žinoma, kad galimas atsitiktinis nuostolis nesuslūgdys projekto ar įmonės (Деревянко 2005). Dėl to labiau patartina taikyti kompromisinę Hurwicz taisyklę.

1.3.7. Hurwicz taisyklė

Sprendimas pagal L. Hurwicz taisyklę (Hurwicz 1951) grindžiamas ne tik blogiausiu, bet ir geriausiu rezultatu, tai yra optimistinio varianto įvertinimas pagal pusiausvyros (balanso) taisyklę – pagrindinis skirtumas yra šio kriterijaus ir Wald bei Savage-Neihaus kriterijų skirtumas (Taxa 2001). Taisyklė remiasi šiais teiginiais: galima pati blogiausia būklė su tikimybe $1 - I$ ir pati geriausia būklė su tikimybe I (Лемешко 2002). Šiuo atveju eilučių minimumo ir maksimumo elementai vienijami į pasvertą vidurkį su parametru I – optimizmo-pesimizmo koeficientu ($0 \leq I \leq 1$). Koeficiento vertė nustatoma kaip sprendimą priimančio asmens rizikos priimtumas, remiantis statistiniais duomenimis arba subjektyvia ekspertine samprata (Деревянко 2005). Pagal šią taisyklę išrenkamos dvi (maksimalaus ir minimalaus efektyvumo) alternatyvos, kurių išlošis ir parenkama strategija yra lygi (Peldschus, Zavadskas 1997):

$$A_j = \max_i \left((1 - I) \min_j a_{ij} + I \max_j a_{ij} \right),$$

jei geriausias mažiausias sprendinys, tada naudojama išraiška (Taxa 2001):

$$A_j = \min_i \left((1 - I) \max_j a_{ij} + I \min_j a_{ij} \right), \quad (1.14)$$

$$S_1^* = \left\{ S_{1_i} \mid S_{1_i} \in S_1 \mathbf{I} \left\{ S_{1_{i_0}} \mid h_{i_0} = \max_i h_i; h_i = (1 - I) \min_j a_{ij} + I \max_j a_{ij}; 0 \leq I \leq 1 \right\} \right\}$$

Kai $I = 0$, gaunamas pesimistinis sprendinys, nes jis apskaičiuojamas pagal Wald taisyklę. Pasak Bezrukov ir Saitgarajev, kuo I didesnis, tuo didesnis optimizmas ir tuo mažesnis atsargos laipsnis, ir atvirkščiai kuo I mažesnis, tuo mažesnis polinkis į riziką (Безруков, Саятгараев 2001). Kai $I = 1$, atsižvelgiama tik į maksimalius dydžius, tai absoliutaus optimisto identiška **maksimaks**o kriterijaus strategijai. **Trūkumas** – atsižvelgiama tik į geriausią ir blogiausią rezultatą, nevertinant visos kitos informacijos, bei ne visai tikslus dydžio I nustatymas, kuris gali lemti perteklinę atsargą.

1.3.8. Bernoulli-Laplace taisyklė

Be kriterijų, kuriems nereikia tikimybių, buvo sukurti ir tokie, kai turi būti žinomos priešinininko strategijų tikimybės, jie tenkina stochastinio neapibrėžtumo sąlygas. Paprasčiausias iš atvejų yra Bernoulli-Laplace taisyklė (Bernoulli 1738–1954) (Zavadskas, Peldschus, Ustinovichius, Turskis 2004). Tai nepakankamo pagrindimo taisyklė, taikoma kai nežinomos gamtos būvių tikimybių sąlygos.

Pagal ją visi gamtos būviai, t. y. visos priešininko strategijos n , yra numanomos ir priimamos vienodų (lygių) tikimybių (Лемешко 2002).

$$P(S_{k_j}) = 1/n$$

Iš visų strategijų parenkama ta eilutė, kurios suma yra maksimali:

$$A_j = \max_i \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{ij}$$

$$S_1^* = \left\{ S_{1_i} \mid S_{1_i} \in S_1 \mathbf{I} \left\{ S_{1_{i_0}} \mid \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{i_0 j_0} = \max_i \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{ij} \right) \right\} \right\} \quad (1.15)$$

Čia nesvarbu, ar atsižvelgiam į koeficientą $1/n$, ar ne. Jeigu yra koeficientas $1/n$, tai gaunamas eilutės vidurkis, į kurią, priimant sprendimą, galima atsižvelgti. Trūkumas – radus sprendinį vis vien negalime kategoriškai teigti, kad rastas sprendinys yra optimalus, nes jis yra tik sąlyginai optimalus ir priklauso nuo atitinkamai pasirinktų priešininko arba gamtos strategijų tikimybių (Сайтгараев 2001).

1.3.9. Bayes-Laplace taisyklė

T. Bayes pasiūlytas principas, skirtingai nei kiti išvardyti principai, atsisako visiško neapibrėžtumo sąlygų ir yra taikomas, kai gamta yra stochastinio neapibrėžtumo būvio (Безруков, Сайтгараев 2001). Ši taisyklė remiasi J. F. Nash pasiūlyta apibendrintos pusiausvyros, esant mišriosioms strategijoms, sąlyga (Nash 1950), kai neišsami informacija apie lošėjų tikslo funkcijas pakeičiama neapibrėžtomis aplinkos (gamtos) sąlygomis (Губко, Новиков 2005). Tokiu atveju laikomasi sąlygos, kad yra galimybė nustatyti būvių tikimybes, t. y. jeigu galima pateikti priešininko strategijų tikimybes q_j , tai matematinę vidurkį c_i galima naudoti kaip optimalumo kriterijų (Zavadskas, Peldschus, Ustinovichius, Turskis 2004; Bayes 1763; Arrow 1949):

$$c_i = \sum_{j=1}^n q_j a_{ij} \cdot \quad (1.16)$$

Literatūroje šis kriterijus žinomas kaip vidurkio kriterijus, Bayes taisyklė ar Bayes-Laplace principas ir taikomas, jei yra galimybė nustatyti būvių tikimybes. Jei tokios galimybės nėra, taikoma vienodų tikimybių Bernoulli-Laplace taisyklė (Сайтгараев 2001). Principo išlošis ir optimali strategija gaunami taip:

$$A_j = \max_i \sum_{j=1}^n q_j a_{ij}, \quad (1.17)$$

$$S_1^* = \left\{ S_{1_i} \mid S_{1_i} \in S_1 \mathbf{I} \left\{ S_{1_{i_0}} \mid \sum_{j=1}^n q_j a_{i_0 j} = \max_i \left(\sum_{j=1}^n q_j a_{ij} \right); \sum_{j=1}^n q_j = 1; q_j \geq 0; j = 1, \dots, n \right\} \right\}$$

Trūkumas – naudojant šį kriterijų gaunamas rizikingas sprendinys ir negarantuojamas minimalus išlošis.

1.3.10. Hodges-Lehman taisyklė

Pagal šią taisyklę atsižvelgiame į priešininko strategijų tikimybes q_j ir į minimalų išlošį (Hodges, Lehmann 1952; Zavadskas, Peldschus *et al.* 2004). Tai tam tikra kombinuota Wald ir Bayes-Laplace taisyklių išraiška, kurios išlošis ir optimali strategija randami pagal šias formules:

$$A_j = \max_i \left(I \sum_{j=1}^n q_j a_{ij} + (1 - I) \min_j a_{ij} \right), \quad (1.18)$$

$$S_1^* = \left\{ S_{1_i} \mid S_{1_i} \in S_1 \mathbf{I} \left\{ S_{1_{i_0}} \mid I \sum_{j=1}^n q_j a_{i_0 j} + (1 - I) \min_j a_{i_0 j} = \max_i \left[I \sum_{j=1}^n q_j a_{ij} + (1 - I) \min_j a_{i_0 j} \right]; 0 \leq I \leq 1 \right\} \right\}$$

Čia priešininko strategijos pasitikėjimo tikimybė gali būti išreikšta parametru I . Jeigu $I = 0$, pasitikėjimo priešininko strategijų tikimybėmis nėra, tada sprendžiama pagal Wald taisyklę. Jeigu pasitikėjimas yra didelis, t. y. $I = 1$, tai rezultatas gaunamas pagal Bayes taisyklę. Dėl to principas įgauna subjektyvumą – **trūkumą**, ir jis retai taikomas priimant techninius sprendimus (Кильпеляйнен 2006).

1.3.11. Kiti sprendimo principai ir metodų taikymo apibendrinimas

Werner 1971 m. pasiūlė sprendimo principą elektros energijos aprūpinimo srityje (Peldschus, Zavadskas 1997). Principo esmė – siekiant gauti vidutiniškai didesnę išlošį, reikia sąmoningai kiekybiškai rizikuoti, kai priimamas koeficientas e – rizikos mastas:

$$S_1^* = \left\{ S_{1_i} \mid S_{1_i} \in S_1 \mathbf{I} \left\{ S_{1_{i_0}} \mid a_{i_0 j} = \max_{i \in M_e} a_{ij}; M_e = \left\{ i \mid \max_i \min_j a_{ij} - a_{ij} \leq e \right\}; \max_j a_{ij} > \max_j a_{i_0 j} \right\} \right\} \quad (1.19)$$

Taikant šį kriterijų, sąmoningai rizikuojama, o šio kriterijaus pranašumas yra tas, kad nustatoma aiški strategija, leidžianti pagerinti paprasto minimakso principo rezultata. Tokį skirtumą e taikė ir B. Rauhut (Zavadskas, Peldschus *et al.* 2004; Rauhut, Schmitz, Zachow 1979).

Galimi ir kiti optimalių strategijų radimo principai (Коновалов 1996): Germeier, sandauginis, sudurtinis Bayes-Laplace su minimaksu ir kiti. Tačiau dėl neišsamių tyrimų čia jie nenagrinėti.

Apibendrinant šį skyrių daromos išvados, kad principų ir taisyklių pasirinkimas yra labai svarbus ir reikšmingas. Todėl jį turi atlikti aukštą kvalifikaciją ir patirtį nagrinėjamoje srityje turintys specialistai ar net aukščiausieji kompanijų vadovai pagal siekiamus tikslus ir ateities strategijas.

Sunku pasakyti, kuris iš variantų geriausias, nes reikia įvertinti kiekvieno uždavinio specifiką, tikslus ir sąlygas, tačiau autoriai siūlo tokius naudojimo atvejus: nagrinėjant daugkartinius lošimus ir priimant daug sprendimų patartina taikyti Bayes (Bayes-Laplace) ir Hurwitz principus (Сайтгараев 2001). Jei lošimai vienkartiniai, geriau taikyti minimakso ir Savage-Niehaus principus. Jei tam tikromis sąlygomis nepriimtina net minimali rizika, reikėtų remtis Wald principu. Jei dalinė rizika galima, taikoma Savage-Niehaus taisyklė optimalioms strategijoms apskaičiuoti. Taip pat galima priimti sprendimus, remiantis anksčiau priimtų sprendimų patirtimi (Кильпеляйнен 2001).

1.4. Normalizavimo metodai

Kaip išsiaiškinta ankstesniuose poskyriuose, sprendžiant statybos technologinius ir ekonominius uždavinius, įprastai taikomi lošimų teorijos metodai, kurių pagrindą dažniausiai sudaro matrica iš skirtingu verčių (dimensijų) ar matavimo vienetų elementų. Tačiau, taikant lošimų teorijos metodus, reikalingos bedimensės efektyvumo rodiklių reikšmės, kurios turi: išreikšti santykį su optimalia reikšme; nepriklausyti nuo matricos tipo; tam pačiam santykiniam skirtumui būti tos pačios maksimizavimo ir minimizavimo uždaviniams (Peldschus, Zavadskas 1997).

Reikėtų naudoti normalizavimo būdus, tinkamus ir minimizavimo, ir maksimizavimo uždaviniams spręsti. Skirtingi matricos normalizavimo būdai gali turėti įtakos sprendiniui (Peldschus 1986; Peldschus, Zavadskas 1997; Peldschus 2001; Ginevičius, Podvezko 2005), kai sprendimų priėmimo matricos normalizavimo reikšmės apibrėžtos intervaluose $[0; 1]$ arba $[0; \infty]$ (Ustinovičius, Zavadskas 2004). Be to, skirtingų dimensijų elementų negalima lyginti tarpusavyje, o turint daug skirtingos informacijos labai sunku ją sisteminti ir apdoroti. Tais atvejais, kai sprendimų tikslas yra žinomas (pvz., vietovės, visuomeninės rinkos ar pasiūlymų pasirinkimas), būtina turėti priemonę, leidžiančią sujungti skirtingų

verčių kriterijus į suderintus junginius (apibendrintus dydžius), norint gauti lyginamąsias vertes.

Pagrindines šių poreikių priežastis nurodė ispanų mokslininkai V. Cloquell ir C. Santamarina (Cloquell, Santamarina 2001):

1. Didelis rodiklių (kriterijų), išreikštų skirtingais dydžiais, ar veiksmių skaičius, naudojamas minėtiems sprendimo modeliams sudaryti, vis labiau apsunkina tinkamiausių alternatyvų pasirinkimą. Sunkumų atsiranda siekiant suvienodinti ir pritaikyti vieną matavimo dydį visiems rodikliams, taip skiriama daug pastangų pereiti prie bedimensių dydžių;
2. Apibrėžtų ir ribotų skalių (aibių) naudojimas leidžia nustatyti skirtingų apibrėžimų lygius, kurie palengvina sprendimą, nes savybės palyginamos iškart.

Normalizavimas apibrėžiamas kaip operacija, kurios metu grupė atitinkamo dydžio (matavimo vieneto) verčių transformuojamos į kitas, iš anksto apribotas vertes. Šis verčių suderinamumo įrankis taip pat turi trūkumų, nes nėra nuspręsta, kurie normalizavimo metodai, ne tik statybos, bet ir matematinės ir profesinės srities atžvilgiu, yra tinkamiausi konkrečiomis sąlygomis. Mokslininkai vieningai sutaria, kad nėra svarbiausios visur tinkamos normalizavimo išraiškos, nedarančios neigiamos įtakos vertinant daugiakriterinius sprendimus (Peldschus, Zavadskas 1997; Cloquell, Santamarina 2001; Лемешко 2002; Saaty 2005).

Kitas verčių normalizavimo trūkumas yra tas, kad normalizavimas gali būti naudojamas suderinamumų stakai paaiškinti, kai jo narys yra nereikšmingas įprasto vertinimo proceso metu. Priešingu atveju dažniausiai galima nevienoda normalizavimo įtaka kiekvienai iš alternatyvų, kuri naudojama jų tinkamumui kiekvienam uždaviniui nustatyti.

Yra trys galimi normalizavimo tipai (Cloquell, Santamarina 2001; Лемешко 2002):

1. **Be dydžių keitimo.** Tai galėtų būti dviejų skirtingų temperatūros skalių (Celsijaus ir Farenheito) verčių transformavimas į vertes pagal Kelviną.
2. **Keičiant dydžius pagal neapibrėžtą skalę.** Tai galėtų būti mėsos, pieno ir gamtinių dujų kiekio, pateikto tonomis, hektolitrais ir hektometrais, atitinkamas transformavimas į vertę eurai.
3. **Keičiant į apribotus dydžius.** Tai galėtų būti elektros energijos, iškasamo kietojo kuro ar telefono sąnaudos transformuojamos į bedimensių dydžių skalę, apribotą intervale $[0,1]$ (ar kitą pasirinktą intervalą).

Statybos srities daugiakriteriniams (daugiatiksliams) sprendimų priėmimo uždaviniams dažniausiai naudojamas trečiojo tipo normalizavimas, t. y. keičiant į apribotus dydžius (Ustinovichius, Zavadskas, Podvezko 2007), siekiant įgyti

anksčiau išvardytus privalumus. Toliau nagrinėjami dažniausiai pasitaikantys įvairioje literatūroje šiems uždaviniams spręsti normalizavimo būdai ir metodai. Siekiant įgyvendinti užsibrėžtus mokslinio darbo tikslus, nagrinėjama verčių normalizavimo metodų parinkimo įtaka, priimant daugiakriterinius sprendimus, taikant lošimų teoriją bei sprendžiant statybos technologinius ir ekonominius uždavinius neapibrėžtumo sąlygomis. Analizei naudojami esami verčių normalizavimo būdai, t. y. taikomi vektorinis, tiesinis ir netiesinis normalizavimas.

1.4.1. Vektorinis normalizavimas.

Vektorinis normalizavimas dažniausiai naudojamas taikant artumo idealiajam taškui metodą (Hwang, Yoon 1981), bet gali tikti ir kitiems metodams (Zavadskas, Kaklauskas, Banaitienė 2001). Normalizuotos vertės b_{ij} – tai variantų atitinkamų rodiklių (kriterijų) reikšmių a_{ij} santykis, apribotas intervale $[0;1]$, o kadanigi literatūroje nepateikiama geriausios minimalios vertės išraiška, ji imama atitinkamai sąlygiškai tam tikra, čia $i = \overline{1, m}$, o $j = \overline{1, n}$:

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2}}, \text{ jei geriausia maksimali } b_{ij} \text{ vertė,} \quad (1.20)$$

$$b_{ij} = 1 - \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2}}, \text{ jei geriausia minimali } b_{ij} \text{ vertė.}$$

1.4.2. Tiesinis normalizavimas

Remiantis Weitendorf (1976) tyrimais skaičiuojama naudojant kriterijų reikšmių skalę. Weitendorf ir Peschel (Peschel 1980) normalizavimo metodu apskaičiuotos reikšmės priklauso nuo gautų ribinių reikšmių $\min a_{ij}$ ir $\max a_{ij}$ intervalo $[\min a_{ij}; \max a_{ij}]$ ir kinta apribotame intervale $[0;1]$, čia $i = \overline{1, m}$, o $j = \overline{1, n}$:

$$b_{ij} = \frac{a_{ij} - \min_i a_{ij}}{\max_i a_{ij} - \min_i a_{ij}}, \text{ jei geriausia maksimali } b_{ij} \text{ vertė,} \quad (1.21)$$

$$b_{ij} = \frac{\max_i a_{ij} - a_{ij}}{\max_i a_{ij} - \min_i a_{ij}}, \text{ jei geriausia minimali } b_{ij} \text{ vertė.}$$

C.L. Hwang pasiūlytame SAW (angl. *Simple Additive Weighting*) metode (Hwang, Yoon 1981) verčių normalizavimas išreiškiamas santykiu tarp ribinės

(atitinkamai maksimalios arba minimalios) ir esamos lyginamosios reikšmės. Šis normalizavimo metodas apriboja normalizuotas vertes intervale $[0;1]$:

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\max_i a_{ij}}, \text{ jei geriausia maksimali } b_{ij} \text{ vertė,} \quad (1.22)$$

$$b_{ij} = \frac{\min_i a_{ij}}{a_{ij}}, \text{ jei geriausia minimali } b_{ij} \text{ vertė.}$$

Galima normalizuotų verčių procentinė išraiška pagal F. Stopp (Stopp 1978) metodą, čia vertės apribotos intervale $[0;100]$. Šis metodas yra labai artimas SAW (Hwang, Yoon 1981) ir juo gaunamos vienodos (proporcingos) vertės:

$$b_{ik} = \begin{cases} \frac{100a_{ij}}{\max_i a_{ij}}, & \text{jeigu } \max_i a_{ij} \text{ geriausias,} \\ \frac{100\min_i a_{ij}}{a_{ij}}, & \text{jeigu } \min_i a_{ij} \text{ geriausias.} \end{cases} \quad (1.23)$$

H. Jüttler (Jüttler 1966) pasiūlė tiesinio normalizavimo metu naudoti optimalią rodiklio reikšmę a_j^* . Čia geriausios maksimalios normalizuotos vertės apribotos intervale $[0;1]$, o minimalios vertės apribotos intervale $[0;\infty)$ (Лемешко 2002):

$$b_{ij} = \frac{|a_j^* - a_{ij}|}{a_j^*}. \quad (1.24)$$

Siekiant suvienodinti normalizuotų verčių apribojimų intervalus (pagal optimalią rodiklio reikšmę a_j^* , atitinkamu atveju $\min a_{ij}$ ar $\max a_{ij}$), taikomas Körth (Körth 1969) metodas. Normalizuotos vertės apribotos intervale $[0;1]$:

$$b_{ij} = 1 - \frac{|a_j^* - a_{ij}|}{a_j^*}. \quad (1.25)$$

Galimas normalizavimo būdas (Cloquell, Santamarina 2001), kai naudojamas reikšmės dalybos iš sumos, čia gautos vertės apribotos intervale $[0;1]$ ir kangi literatūroje nepateikiama geriausios minimalios vertės išraiška, ji imama atitinkamai sąlygiškai tam tikra:

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^m a_{ij}}, \text{ jei geriausia maksimali } b_{ij} \text{ vertė,}$$
(1.26)

$$b_{ij} = 1 - \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^m a_{ij}}, \text{ jei geriausia minimali } b_{ij} \text{ vertė.}$$

1.4.3. Netiesinis normalizavimas

Pasak Peldschus, taikant matricinių lošimų teoriją statybos uždaviniams spręsti, reikalingi bedimensiai dydžiai, atitinkantys tokius reikalavimus ir sąlygas (Peldschus, Zavadskas 1997; Cloquell, Santamarina 2001; Migilinskas 2003):

- § turi išreikšti santykį su optimaliu dydžiu;
- § neturi priklausyti nuo matricos tipo;
- § esant vienodiems procentiniams pokyčiams, turi būti vienodi ieškant ir maksimalios, ir minimalios vertės;
- § optimalios reikšmės gali būti bet kurioje matricos vietoje;
- § vengti didelės normalizuotų verčių koncentracijos, siekiant atskirti ir išskirti skirtingas savybes (išvengti klaidų esant panašioms kriterijų reikšmėms);
- § turi būti išlaikytas vienodas intervalas tarp normalizuotų verčių (normalinis pasiskirstymas).

Kai kurie autoriai šiems reikalavimams ir sąlygoms įvykdyti siūlo tiesinio verčių normalizavimo metodų formules, pakeistas eksponentiniu būdu (pakeltas tam tikru laipsniu). Peldschus pasiūlė paprastojo sudedamojo svėrimo metodo (SAW) eksponentinę išraišką, taikant skirtingus laipsnio rodiklius kriterijų reikšmių geriausios minimalios ir geriausios maksimalios vertės atvejais (Peldschus, Zavadskas 1997), kai normalizuotos vertės apribotos intervale [0;1]:

$$b_{ij} = \left(\frac{\min_i a_{ij}}{a_{ij}} \right)^3, \text{ jeigu } \min_i a_{ij} \text{ palankus}$$
(1.27)

$$b_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{\max_i a_{ij}} \right)^2, \text{ jeigu } \max_i a_{ij} \text{ palankus}$$

Hovanov naudojo Weitendorf ir Peschel verčių normalizavimo metodo eksponentinę išraišką statybos uždaviniams spręsti (Hovanov 1996), kai gautos normalizuotos vertės apribotos intervale [0;1]:

$$b_{ij} = \left(\frac{a_{ij} - \min_i a_{ij}}{\max_i a_{ij} - \min_i a_{ij}} \right)^p, \text{ jei geriausia maksimali } b_{ij} \text{ vertė,}$$
(1.28)

$$b_{ij} = \left(\frac{\max_i a_{ij} - a_{ij}}{\max_i a_{ij} - \min_i a_{ij}} \right)^p, \text{ jei geriausia minimali } b_{ij} \text{ vertė.}$$

Šios eksponentinės išraiškos laipsnio rodiklis p yra nustatomas sprendimą priimančio asmens, atsižvelgiant į uždavinio specifiką ir siekiamus tikslus (Puškorius 2001). Mokslininkai nagrinėjama uždaviniui ėmė dvi jo reikšmes: viena iš jų mažesnė už 1 ir lygi 0,5, kita didesnė už 1 ir lygi 2 (Cloquell, Santamarina 2001). Laipsnio rodiklio reikšmė gali būti ir kitokia, jei norima pamatyti didesnę normalizuotų verčių kreivės išgaubtumą ar iškilumą, tačiau tokią pasirinkimą patartina atlikti tik remiantis statistiniais skaičiavimais.

Nagrinėjamas metodas įgauna tokią išraišką:

$$b_{ij} = \left(\frac{a_{ij} - \min_i a_{ij}}{\max_i a_{ij} - \min_i a_{ij}} \right)^{0.5}, \text{ jei geriausia maksimali } b_{ij} \text{ vertė,}$$
(1.29)

$$b_{ij} = \left(\frac{\max_i a_{ij} - a_{ij}}{\max_i a_{ij} - \min_i a_{ij}} \right)^{0.5}, \text{ jei geriausia minimali } b_{ij} \text{ vertė,}$$

$$b_{ij} = \left(\frac{a_{ij} - \min_i a_{ij}}{\max_i a_{ij} - \min_i a_{ij}} \right)^2, \text{ jei geriausia maksimali } b_{ij} \text{ vertė,}$$
(1.30)

$$b_{ij} = \left(\frac{\max_i a_{ij} - a_{ij}}{\max_i a_{ij} - \min_i a_{ij}} \right)^2, \text{ jei geriausia minimali } b_{ij} \text{ vertė.}$$

Ketvirtajame skyriuje rodikliai normalizuojami remiantis pateiktais metodais. Analizuojama, kaip pradinės informacijos normalizavimo metodo pasirinkimą lemia uždavinio tipas, kriterijų reikšmingumo nustatymo metodas, daugiakriterinių (daugiatikslų) sprendimų priėmimo metodai ir turima informacija, bandoma nustatyti, kokiais atvejais reikėtų taikyti atitinkamus metodus.

1.5. Neapibrėžtumų ir rizikos atvejai

Pastaraisiais metais neapibrėžtumų sąvoka tapo neatsiejama neapibrėžtumų valdymo sąvokos (Smith 1999), t. y. proceso, siejančio rizikos ir vertės valdymo statybos procesuose būdus, dalimi. Dėl to šioje skyriaus dalyje pristatomi įvairūs rizikos tipai, kurie yra neatskiriami nuo neapibrėžtumų atvejų statyboje.

Statybos procesą veikia daugelis veiksnių (Zavadskas, Kaklauskas, Banaitienė 2001), jie daro vienokią ar kitokią įtaką visiems įgyvendinamo investicinio statybos projekto parametrų (plėtrą, infrastruktūrą, trukmę, išteklių poreikį ir t. t.). Todėl, kaip buvo minėta ankstesniuose poskyriuose, esant neapibrėžtumo sąlygoms ir daugeliui galimų veiksnių įtakos variantų, kurių tikimybės negali būti tiksliai įvertintos, projektinių sprendinių moksliniam pagrindimui tiksliausia taikyti lošimų teorijos metodus (Деревянко 2005). Pačių veiksnių įtaką bandoma prognozuoti pasitelkiant įvairias skaičiavimo priemones ir duomenų bazines (Shevchenko Ustinovičius, Andruškevičius 2008).

Patirtis įgyvendinant statybos uždavinių prognozavimo skaičiavimus rodo neapibrėžtumų įvertinimo svarbą (Деревянко 2005; Ginevičius, Podvezko 2005). Dažnai daromos prielaidos, kad nagrinėjamo projekto dalis ar net visas statybos projektas gali būti pritaikytas kaip analogas, įgyvendinant panašius projektus. Šios prielaidos nėra korektiškos ir jų neatitiktis laipsnis, lyginant su realiais parametrais, nustatytais įgyvendinus statybos projektą, yra gana didelis. Kiekvienas statybos projektas, būdamas unikalus, turi didelį neapibrėžtumo laipsnį. Rizikos valdymo tikslas – realiame projekte priimti geresnius sprendimus esant neapibrėžtumo sąlygoms. Tai yra nenutrūkstamas ir dinamiškas procesas, svarbus nuo projekto inicijavimo iki užbaigimo, nors dažniausiai įprastinio rizikos valdymo imamas tik pradiniuose projekto etapuose (Smith 1999; A Guide to the Project Management 2004). Jei rizikos valdymas būtų traktuojamas kaip mokymasis iš padarytų klaidų, tuomet, kai visos klaidos bus padarytos, būtų galima išvengti jų ateityje, tačiau tai netaikoma statybos projekto rizikai valdyti.

Įgyvendinant statybos projektą, neapibrėžtumų kyla iš daug šaltinių ir dažniausiai įtraukia daug projekto dalyvių (Chapman, Ward 2003; Smith, Tardif 2009). Kadangi kiekvienas dalyvis stengiasi sumažinti savo paties riziką, atsirandantys konfliktai tarp įvairių dalyvių tampa kritiniais projektui. Tik vadovas gali teisiškai valdyti tokius konfliktus ir priskirti tam tikros rizikos valdymą kitiems projekto dalyviams (Harris, McCaffer 2006). Vadovui netinkamai paskirti atsakomybes, dažnai gaunama nepageidaujama rezultatai.

Visi statybos projektai susiduria su nenumatytais situacijomis ir neapibrėžtumais, todėl projektų vadovai turi naudoti rizikos valdymo priemones rizikai fiksuoti, atpažinti, išanalizuoti ir valdyti (Kleim, Ludin 1998; Zavadskas, Peldschus, Ustinovichius 2003; Cooke, Williams 2009). Projektų rizikos valdymas paaiškina neapibrėžtumų fenomeną (The Portable MBA in Project Mana-

gement 2003) trimis pradiniais šaltiniais (Del Caño, Pilar de la Cruz 2002; Chapman, Ward 2003; Galway 2004; Migilinskas, Ustinovichius 2006):

- § **Žinomi nežinomieji** yra aiškios prielaidos arba sąlygos, kurios gali sukelti neapibrėžtų, reikšmingų pasekmių ir gali būti analizuojamos bei valdomos (streikų, nepalankių oro sąlygų ir kitos situacijos).
- § **Nežinomi nežinomieji** yra neaiškios prielaidos (sąlygos), kurios gali sukelti neapibrėžtų reikšmingų pasekmių, t. y. visiškai netikėtoms problemoms, jas galima numatyti remiantis projektų vadovo patirtimi.
- § **Paklaidos** yra sistemingos įvertinimo klaidos, turinčios reikšmingų pasekmių.

Paklaidos yra statinė rizika, kurios visą laiką išlaiko savo savybes (Zavadskas, Peldschus, Ustinovichius 2003; Migilinskas, Ustinovichius 2004), bet visos kitos rizikos yra dinaminės ir gali keisti tikimybę bei įtaką per visą projekto gyvavimo laikotarpį (Del Caño, Pilar de la Cruz 2002; Kopytov, Greenglaz, Tissen 2006). Be to, yra rizikos su vienu ar normaliu neapibrėžtumu (oro sąlygų fenomenas) bei kitos rizikos (Soros 1999) su kitais neapibrėžtumais, sukeltos išorinių veiksnių (socialinis, politinis ir ekonominis fenomenas). Rizika kyla iš neapibrėžtumų ir įprastai suvokiama kaip neigiami veiksniai, darantys įtaką projekto įgyvendinimo tikslams (Smith 2003). Todėl projekto rizikos valdymas turi būti nenutrūkstamas procesas su grįžtama informacija (mainais) nuo projekto pradžios iki jo pabaigos (Migilinskas, Ustinovichius 2006).

Kertinę informacijos svarbą galima pastebėti 1.2 pav. Norint kuo efektyviau valdyti statybos procesą reikia naudoti metodikas (Eastman *et al.* 2008), kurias taikant duomenys būtų apdorojami įrankiais (priemonėmis) ir gaunama reikalinga informacija, o vėliau taikant priimtus sprendimus ji būtų nuosekliai apdorojama ir perduodama valdomiems procesams. Nevykdant bent vienos algoritmo grandinės dalies, atsiranda neapibrėžtumai ir rizika, remiantis nepatikrintais duomenimis (neapdorotais iki reikiamo informacijos lygio duomenimis), priimti klaidingus sprendimus arba priimant bet kurią sprendimą, net ir turint patikimai apdorotą informaciją, bus vykdomi netinkami procesai.

DUOMENYS → ĮRANKIAI → INFORMACIJA → SPRENDIMAS → PROCESAS

1.2 pav. Duomenų ir informacijos kitimo algoritmas
Fig. 1.2. The algorithm of data and information changes

Tai yra tik dalis statybos pramonės problemų. Statybos procesas yra veikiamas daugelio veiksnių, tokių kaip įmonės vystymasis, infrastruktūra, darbų trukmė, išteklių poreikis, finansinis stabilumas (Zavadskas, Kaklauskas, Banaitienė 2001), kurie vienaip ar kitaip veikia visus įgyvendinamo statybos projekto parametrus (Cooke, Williams 2009). Statybos projekto įgyvendinimo pradžioje

veiksnių įtaką bandoma prognozuoti pasitelkiant įvairias skaičiavimo priemones ir duomenų bazes, kurios grindžiamos statistiniais arba ekspertiniais (patirties) duomenimis. Skaičiuojant įtaką daromos prielaidos, kad nagrinėjamo projekto dalys ar net visas projektas yra panašus į anksčiau įgyvendintus statybos projektus (Harris, McCaffer 2006), tačiau šios prielaidos yra su rizika ir turi nemažą paklaidą, palyginti su realiais parametrais, gaunamais įgyvendinus projektą.

Pabrėžiant duomenų ir iš jų gaunamos informacijos svarbą (Smith, Tardif 2009) turi būti suprantama, kad patikima, detali, išsami, laiku atnaujinta ir aktuali informacija sprendimų priėmimo metu yra svarbiausia. Turint tokią informaciją ir jos valdymo priemones, kurios sumažins neapibrėžtumų ir rizikos įtaką, galima priimti sprendimus ir įgyvendinti užsibrėžtus statybos projekto tikslus.

1.6. Technologiniai ir ekonominiai uždaviniai statyboje

Statybos procesas yra sudėtingas ir visi šio proceso dalyviai, siekdami užsibrėžtų bendrų ar atskirų tikslų, susiduria su daugeliu technologinių ir ekonominių uždavinių. Šie uždaviniai turi skirtingus svarbos ir įtakos tolesnei veiklai lygius, tačiau neturi fiksuotos tarpusavio priklausomybės, vienintelio tarpusavio ryšio ar nuoseklumo bei bendros (vieningos) klasifikacijos.

Skaitant autorių pateikiamus praktinius lošimų teorijos naudojimo variantus (Peldschus, Zavadskas 1997; Ustinovichius 2004) ir remiantis tarptautine patirtimi (Cardoso Teixeira *et al.* 2006), pastebėti keli pagrindiniai technologiniai ir ekonominiai statybos uždavinių tipai:

- § ekonomiškai pagrįsti technologiniai statybos uždaviniai;
- § investiciniai-ekonominiai ir strateginiai statybos uždaviniai;
- § geriausio statybos technologinio varianto (konstrukcijų, medžiagų ir statybos būdų) parinkimo uždaviniai;
- § statybietės planavimo ir joje esančių zonų apskaičiavimo bei išdėstymo uždaviniai;
- § statybos mechanizmų ir mažosios mechanizacijos priemonių parinkimo, įsigijimo ir ekonominio lyginimo bei optimizavimo uždaviniai;
- § gamybinės bazės plėtojimo ir darbuotojų kvalifikacijos kėlimo uždaviniai;
- § statybos laikotarpio ir kainos optimizavimo, darbo užmokesčio, medžiagų ir mechanizmų technologiniai ekonominiai uždaviniai;
- § statybos projektų įvertinimo ir optimizavimo uždaviniai;
- § statybos kalendorinių grafikų optimizavimo uždaviniai;
- § kiti statybos uždaviniai.

Išnagrinėjus pagrindinius technologinius ir ekonominius statybos uždavinių tipus, galima atskirti esminius statybos technologinius ir ekonominius uždavinius, pateiktus 1.2 lentelėje. Šių uždavinių sąrašas nėra baigtinis ir dėl nuolat tobulėjančių technologijų bei vis sudėtingesnio statybos procesų valdymo gali būti nuolat papildomas naujais ir aktualesniais uždaviniais. Tai ypač buvo matoma tarptautiniame *Leonardo da Vinci* projekte (Cardoso Teixeira *et al.* 2006) *Recognition of Needs and Creation of Professional Training in the Area of Management of Infrastructure Construction Projects (PL/04/B/P/PP/-174 417)*.

1.2 lentelė. Statybos technologiniai ir ekonominiai uždavinių sąrašas

Table 1.2. The list of technological and economic problems in construction

	Statybos technologiniai uždaviniai	Statybos ekonominiai uždaviniai
1.	Statybos projekto ir jo atskirų dalių trukmės nustatymas	Statybos projekto išteklių poreikio nustatymas
2.	Statybos projekto įgyvendinimo trukmės užtikrinimas laiku	Statybos projekto ir jo atskirų dalių kainos nustatymas
3.	Statybos darbų tarpusavio priklausomybės nustatymas	Statybos projekto išteklių išankstinis-sutartinis užsakymas žemesnėmis kainomis
4.	Statybos darbų organizavimas ir organizavimo kontrolė	Statybos projekto išteklių planavimas, valdymas (tiekimas) ir kontroliavimas laiku
5.	Statybos darbų atitikimas su projekciniais sprendiniais ir kokybės kontrolė	Ekonominis atliktų darbų įvertinimas ir išteklių nuolatinis valdymas
6.	Darbuotojų kvalifikacijos pakankamumo užtikrinimas ir valdymas	Statybos projekto įgyvendinimo finansavimo užtikrinimas laiku
7.	Darbų atlikimas laikantis darbų saugos ir sveikatos apsaugos reikalavimų	Statybos projekto sutartinių įsipareigojimų ir jų įgyvendinimo užtikrinimas

Svarbu, kad vykdomo statybos projekto reikalavimai atitiktų Darniosios statybos (angl. *Sustainable Construction*) principus (Šaparauskas, Turskis 2006; Marčiukaitis *et al.* 2009). Įsidemėtina, kad vykdant projektą privaloma laikytis Europos Sąjungos direktyvos 89/106/EEC (angl. *Construction Products Directive* – Statybos Produktų Direktyva) pagrindu parengtų Darnųjų Lietuvos standartų ir Lietuvos Respublikos statybos techninių reglamentų, kurie parengti atsižvelgiant į perimtus „Eurokodų“ (angl. *Eurocode*) reikalavimus (STR 1.01.04:2002, STR 2.01.01(1):2005, STR 2.01.01(2):1999, STR 2.01.01(3):1999, STR 2.01.01(4):2008, STR 2.01.01(5):2008, STR 2.01.01(6):2008). Todėl tik pagal reikalavimus suprojektavus ir laiku išsprendus

daugumą statybos projekto technologinių ir ekonominių uždavinių, galima tikėtis sėkmingai pastatyti pastatą ir įgyvendinti tiek siekiamus statybos projekto, tiek būsimus statinio eksploatavimo tikslus. Tačiau didėjant statybos duomenų srautams (Harris, McCaffer 2006; Jang, Skibniewski 2008), augant kokybiškam informacijos apdorojimo poreikiui (Cooke, Williams 2009), turi būti priimami patikimi sprendimai arba įvertinus daugelį rodiklių (Ustinovichius, Zavadskas, Podvezko 2007) pasirenkamos racionaliausios įgyvendinimo kryptys.

Apibendrintai galima teigti, kad technologiniams ir ekonominiams statybos uždaviniams spręsti reikalingos kokybiškos ir patikimos priemonės (metodikos), padedančios valdyti statybos projekto informacijos srautus (Smith, Tardif 2009) bei mažinti neapibrėžtumų ir rizikos įtaką. Siūloma išnagrinėti statybos automatizuoto projektavimo bei informacijos valdymo priemonių naudojimo galimybes.

1.7. Pirmojo skyriaus išvados ir disertacijos uždavinių tikslinimas

1. Išanalizavus Lietuvos ir kitų Europos Sąjungos šalių ekonominių rodiklių kitimo tendencijas (BVP, darbo užmokesčio, nedarbo, kainų ir kitų parametru pokyčius) bei įvertinus galimą pokyčių įtaką statybos kainai, nustatyta neapibrėžtumų įtaka sprendžiant technologinius ir ekonominius statybos uždavinius. Todėl statybos uždavinių sprendimas neapibrėžtumo sąlygomis mokslinė ir praktinė prasme yra aktualus statybos mokslo tyrimo objektas, kurį reikia nagrinėti išsamiau.
2. Išnagrinėtos ir apibendrintos teorinės neapibrėžtumų bei rizikos sąvokos, nustatyta informacijos trūkumo įtaka atsirandantiems neapibrėžtumams. Detalesnis neapibrėžtumų ir rizikos veiksnių aprašymas bei klasifikavimas galėtų padėti nustatyti neapibrėžtumų šaltinius, svarbą ir jų įtaką statybos projektų įgyvendinimui.
3. Apžvelgti lošimų teorijos, optimalių strategijų apskaičiavimo ir verčių normalizavimo metodai. Nustatyta, kad jie nėra taikomi tikslingai sprendžiant statybos uždavinius, todėl būtina apžvelgtų metodų naudojimo statybos uždaviniams spręsti neapibrėžtumo sąlygomis analizė.
4. Remiantis tarptautinio *Leonardo da Vinci* projekto (PL/04/B/P/PP/-174 417) patirtimi, pateiktas technologinių ir ekonominių statybos uždavinių sąrašas, kurį reikia papildyti įvertinus neapibrėžtumų šaltinių įtaką.
5. Nustatyta, kad reikia kokybiškų ir patikimų priemonių (metodikų) statybos projekto informacijos srautams valdyti bei neapibrėžtumų ir rizikos įtakai mažinti. Todėl siūloma išnagrinėti ir įvertinti statybos automatizuoto projektavimo bei informacijos valdymo priemonių galimybes.

Neapibrėžtumo sąlygos statybos procese

Skyriuje pateikiami statybos projekto įgyvendinimo etapų, dalyvių veiksmų ir procesų aprašymai. Analizuojama informacijos svarba ir jos trūkumo įtaka įgyvendinant statybos projektą. Apžvelgiami neapibrėžtumų sukeliama padariniai nustatant statybos skaičiuojamąją kainą ir darbų trukmę bei įvertinant jų tikslumą. Aprašoma statybos stadija, kurios metu efektyviausia įvertinti alternatyvius sprendimus, galimų sprendinių kainą ir juos optimizuoti. Taip pat akcentuojama darbuotojų kvalifikacijos kėlimo ir įmonių profesinio ugdymo bei tęstinio mokymo poreikis. Pateikiami pasiūlymai sumažinantys riziką bei neapibrėžtumus naudojant automatizuotas projektavimo ir informacijos valdymo sistemas.

Skyriaus tematika paskelbti šeši autoriaus straipsniai.

2.1. Statybos projekto valdymo problematika

Statybos projekto įgyvendinimo efektyvumą veikiančių veiksnių atsiradimą lemia visi su statybos projekto statyba susiję dalyviai:

- § užsakovas (arba jo įgaliotas atstovas);
- § finansavimo šaltinis (bankas, investuotojas);

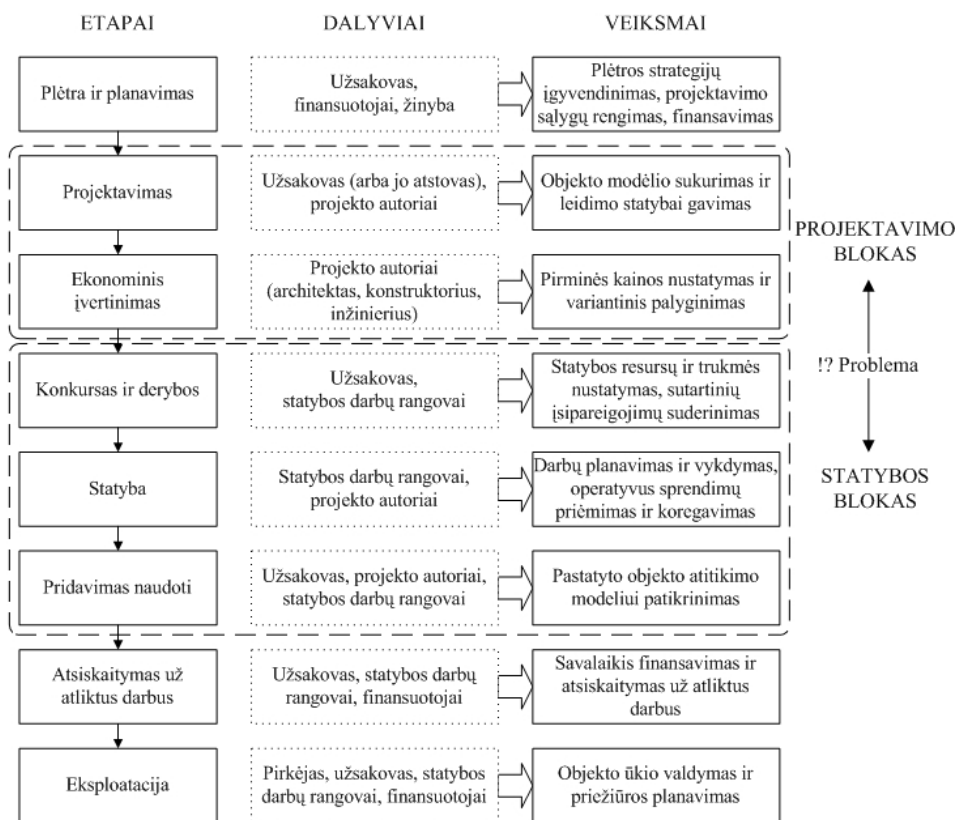
- § žinybos (savivaldybės departamentas, ministerija);
- § projekto autoriai (architektai, konstruktoriai, inžinieriai);
- § statybos darbų vykdytojai (generalinis rangovas, subrangovai);
- § pirkėjas (bankas, nekilnojamojo turto valdytojai, gyventojai).

Bendras visų statybos projektą įgyvendinančių dalyvių tikslas – siekti efektyviai, laiku ir ekonomiškai pagrįstomis sąnaudomis įgyvendinti projektą (visų dalyvių pastangomis sukurti racionalų, konkurencingą ir kokybišką produktą) (Ford, Aouad 1994). Todėl būtinas darnus dalyvių darbas ir nenutrūkstami informacijos srautai tarp dalyvių (Eastman *et al.* 2008). Tik kokybiškai atliekant darbą įmanoma sklandžiai vykdyti statybos projekto etapus, kurie pateikiami įprastiniu statybos projekto įgyvendinimo modeliu (2.1 pav.) (Ustinovičius, Popov, Migilinskas 2005). Autoriaus sukurtas įprastinio statybos projekto įgyvendinimo modelis susideda iš etapų, kuriuose paminėti dalyviai atlieka atitinkamus veiksmus (struktūra rūšiuojama stulpeliais). Etapų metu sukaupta informacija keliauja į kitą etapą (Cooke, Williams 2009), tačiau taip kaupiami duomenys dažnai netinka ir turi būti pakeisti, siekiant įgyvendinti efektyviausią statybos projekto variantą. Modelyje punktyrais apibrėžti narveliai simbolizuoja du blokus: viršutinis blokas yra autorių kuriamas ir įvertinamas statybos projekto modelis (architektūriniai ir techninio projekto brėžiniai, 3D modeliai); apatinis blokas – rangovo atliekami statybos darbai.

Atidžiai analizuojant paveikslą, išaiškėja pagrindinė *problema* – nėra nuolatinio ir abipusio ryšio dalijantis informacija tarp šių blokų projektavimo ir statybos etapuose, t. y. projektuojant priimami techniniai sprendimai nesikonsultuojant su statybos darbų specialistais ar rangovais, o statybos metu rangovas dažnai stengiasi kuo paprasčiau įgyvendinti architektų ir konstruktorių viziją.

Toks abipusės nuolatinės informacijos trūkumas tarp projekto įgyvendinimo dalyvių neigiamai veikia statybos projekto įgyvendinimo sklandumą (Harris, McCaffer 2006): ilgina statybos projekto ir investicijų įgyvendinimo trukmę; lemia nenumatytų išteklių poreikio atsiradimą; sugriauna darbuotojų, mechanizmų ir medžiagų poreikio ir jų tiekimo į statybos objektą grandinę (angl. *Supply Chain Management* – SCM) (Jang, Skibniewski 2008) bei sugriauna visą statybos projekto išteklių, tiek materialiu, tiek ir žmoniškųjų (angl. *Human Resource Management* – HRM), planavimą.

Šis projekto įgyvendinimo modelis aiškiai parodo, kad kiekvieno projekto dalyvio indelis siekiant įgyvendinti projektą yra labai svarbus ir bendras sisteminis informacijos valdymas turi būti paremtas standartizuotais reikalavimais, kurių privalu laikytis norint įgyvendinti vykdant projektą paremta Darniosios statybos (angl. *Sustainable Construction*) principais (Šaparauskas, Turskis 2006; Marčiukaitis *et al.* 2009).



2.1 pav. Įprastinis statybos projekto įgyvendinimo modelis
Fig. 2.1. Ordinary implementation model of construction project

Kaip buvo minėta pirmame skyriuje, siekiant užtikrinti kokybišką ir sklandų statybos projekto įgyvendinimą, t. y. tinkamos kokybės pagal numatytą kalendorinį grafiką su numatytais ištekliais, reikėtų išanalizuoti galimybę naudoti kokybiškas ir patikimas įrankius (metodikas) statybos projekto informacijos srautams valdyti bei neapibrėžtumų ir rizikos įtakai mažinti. Siūloma detaliau išnagrinėti statybos projekto valdymą, sprendimų priėmimą rizikos ir neapibrėžtumo sąlygomis bei įvertinti statybos automatizuoto projektavimo ir informacijos valdymo priemonių naudojimo galimybes. Būtina peržiūrėti automatizuoto statybos projekto valdymo ir inžinerinio parengimo modelį, paremtą tęstinio statinio projektavimo statybos vieningoje aplinkoje (angl. *The Building Continuum*) principais (Ford, Aouad 1994; Ekholm, Fridqvist 2000; (Donath, Loemker, Richter 2004), kuris užtikrintų visišką statybos inžinerinį parengimą ir informacijos valdymą viso statybos projekto įgyvendinimo metu (Harris, McCaffer 2006).

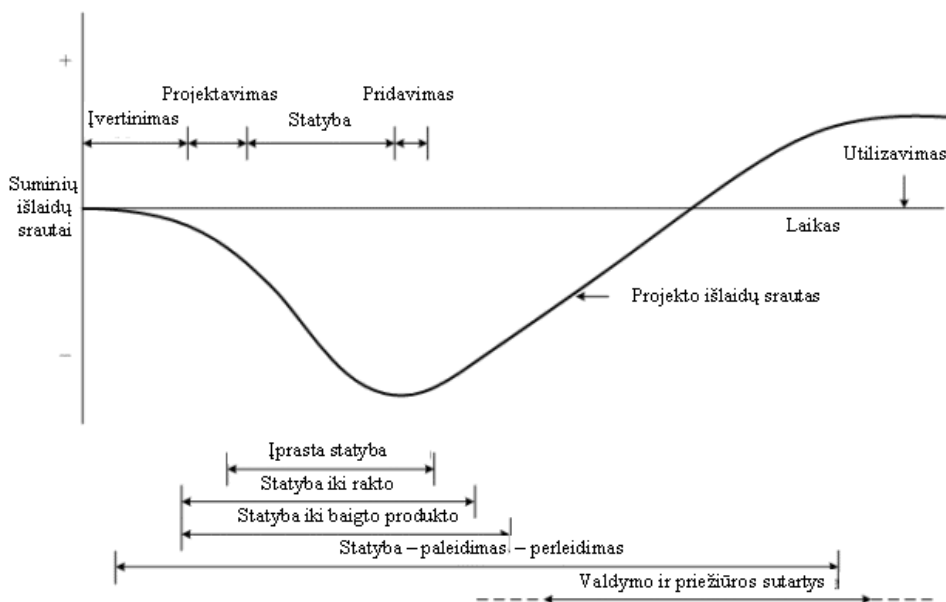
2.2. Statybos projekto valdymas ir sprendinių priėmimas rizikos bei neapibrėžtumų sąlygomis

Statybos procesas gali būti apibrėžtas kaip unikalus koordinuotų veiksmų derinys, turintis tikslią pradžią ir pabaigą, vykdomas individualaus asmens arba organizacijos, siekiant užsibrėžtų tikslų, kartu turint nustatytus laiko, kainos ir projektą charakterizuojančius parametrus.

Rizikos valdymas aktualus per visą projekto gyvavimo laikotarpį (Huchzermeier, Loch 2001), bet įvertinimo metu išryškėja neproporcingoji jo dalis (Del Caño, Pilar de la Cruz 2002). Projekto gyvavimo ciklai yra naudingas sprendimas atvaizduojant ir vertinant rizikos pasireiškimo dinamiškumą (Shevchenko, Ustinovičius, Andruškevičius 2008), tai patvirtina investicijų kreivė (suminių išlaidų srautai), pagal projekto fazes pavaizduota 2.2 pav. (Smith 1999). Projektui vertinti projekto valdymo komandai reikalinga palyginti maža pinigų suma. Vertinimo etapo pabaigoje – gavus leidimą statyti, pradedamos didelės investicijos į projektą. Dažniausiai maksimalios projekto investicijos, dar vadinamos kapitalo išlaidų, atsiranda baigiantis projekto įgyvendinimui (pildymo laikotarpiu) (Ustinovičius, Turskis, Ševčenko 2008). Įgyvendinus ir pridavus projektą, atsiranda pajamos, kuriomis padengiami išsiskolinimai ir materialiniai interesai iki įdėtų lėšų gražinimo. Gražinus įdėtas lėšas projektas pradeda duoti pelno, tačiau jo sąskaita turi būti padengiamos jo funkcionavimo ir eksploatacinės išlaidos. Tai trunka iki projekto užbaigimo darbų ir sustabdymo (utilizavimo).

Vienas iš pagrindinių rizikos valdymo tikslų – nustatyti ir atrinkti įgyvendinamus ir neįgyvendinamus projektus (Smith 1999). Ši atranka duoda tiesioginę naudą nuo pat pradžių, bet ji prieštarauja faktui, kad projekto gyvavimo pradžioje yra daug neapibrėžtumų ir sunku priimti sprendimus (Huchzermeier, Loch 2001). Rizikos ir neapibrėžtumų planavimas prasideda įvertinimo fazėje (tikslų ir poreikių nustatymo bei ikiprojektinė stadijos), po kurios visi kiti priimti sprendimai vis išsamiau aprašo projektą (2.2 pav.). Įvertinimo fazė yra svarbi, nes jos metu galima daryti finansiškai efektyvius projekto pakeitimus (Ustinovičius, Zavadskas, Podvezko 2007). Tuo metu pagrindinis rizikos valdymo tikslas – nustatyti ir atrinkti įgyvendinamus bei neįgyvendinamus projektus (Shevchenko, Ustinovičius, Andruškevičius 2008).

Statybos įmonės plačiai taiko projektų valdymo metodologiją (angl. *Project Management*). Tuo pagrindu statybos projektų valdymas dabartiniu laikotarpiu numato visa kompleksą darbų, susijusių su užsakovo idėjos įgyvendinimu (Smith 2003). Šiuo atveju visas statybos projekto įgyvendinimo funkcijas perima projekto valdymo įmonė, o užsakovas gauna baigtą statyti ir atiduotą naudoti statinį.



2.2 pav. Statybos projekto ciklai ir statybos darbų sutarčių tipai
Fig. 2.2. Cycles of construction projects and types of contracts

2.2.1. Statybos projektų valdymo esmė ir etapai

Rinkos ekonomikos sąlygomis visiems statybos dalyviams keliami griežti reikalavimai išlaidų, kokybės ir statybos laiko požiūriu. Svarbu, kad vykdant projektavimo ir statybos darbus pagal Europos Sąjungos direktyvas privaloma laikytis kokrečių Eurokodų reikalavimų bei Darnųjų Lietuvos standartų (Marčiukaitis et al. 2009). Pagal kurias, statybos produktų savybės turi būti tokios, kad, juos tinkamai panaudojus (iš jų padarant statinio konstrukcijas), tinkamai prižiūrimas statinys arba atskiros jo dalys, per ekonomiškai pagrįstą naudojimo laiką, atitiktų savo paskirtį bei esminius reikalavimus (su iš anksto numatomais poveikiais pagal STR 1.01.04:2002 „Statybos produktai. Atitikties įvertinimas ir „CE“ ženklinimas“): mechaninis atsparumas ir pastovumas; gaisrinė sauga; higiena, sveikata ir aplinkos apsauga; saugus naudojimas; apsauga nuo triukšmo; energijos taupymas ir šilumos išsaugojimas.

Įvykdyti šiuos reikalavimus vis sunkiau, nes auga visų procesų sudėtingumas, kompleksiskumas, gilėja veiklos specializacija. Reikalavimai labai svarbus, aktualūs ir ekonomiškai reikšmingi jei kiekvienas statinys (projektas) bus nagrinėjamas per visą jo gyvavimo laikotarpį (Ustinovičius, Popov, Migilinskas 2005). Kita vertus, statybos projektų užsakovai skiria investicijas savo sumany-

mams įgyvendinti ir nori be problemų pasiekti šį tikslą, nesigilindami į projekto realizavimo procesą (Ustinovichius, Zavadskas, Podvezko 2007).

Šios sąlygos paskatino atsirasti naujai statybos projektų valdymo veiklos sričiai. Ji atsirado Vakarų Europoje ir kitose išsivysčiusiose šalyse daugiau kaip prieš 20 metų. Jos aktualumas ir vaidmuo nuolat auga. Vokietijoje, Austrijoje ir Šveicarijoje sąvoka *projektų valdymas* (pateiktas Vokietijos normose DIN 69901) (Juodis 2001) – tai valdymo funkcijų, valdymo metodų ir valdymo technikos visuma, kuri naudojama siekti galutinių projekto įgyvendinimo rezultatų.

Projektams gali būti vadinami ne tik visų tipų statiniai, bet ir kiti sumanymai. Pavyzdžiui, statybos įmonių restruktūrizavimas, specialiųjų statybos technologijų įsisavinimas, statybos kokybės valdymo sistemos įdiegimas įmonėje ir kt. Sąvoka *valdymas* vartojama dviem atvejais. Pirmuoju atveju, kai apibūdinama tam tikra institucija, kurioje vyksta ūkinės veiklos procesai (pvz., tai galėtų būti statybos projektų valdymo kompanija ar įmonės paskirtas valdymo padalinys). Antruoju atveju *valdymo* sąvoka gali būti vartojama kalbant apie valdymo funkciją, pvz., planavimą, organizavimą, kontrolę, reguliavimą (Cooke, Williams 2009). Šiuo atveju statybos projektų valdymo grupė taip pat gali vykdyti minėtas valdymo funkcijas (Juodis 2001; Harris, McCaffer 2006).

Užtikrinant tinkamą valdymą statybos projekto įgyvendinimo procesas gali būti skirstomas į etapus (2.3 pav.) (Juodis 2001). Etapai gali būti įvairūs ir, priklausomai nuo projekto įgyvendinimo modelio bei dalyvių skaičiaus, gali skirtis nuo pavaizduoto modelio. Įprastu atveju jis susideda iš šių etapų:

1 etapas. Statybos projekto tikslų ir poreikių nustatymas. Formuluojami projekto tikslai, uždaviniai, įvertinami apribojimai ir investiciniai įgyvendinimo variantai (konceptijos) (Ustinovičius, Turskis, Ševčenko 2008). Parenkami statybos sklypų variantai, atliekama statybos vietos analizė statybos teisės požiūriu, įvertinamos inžinerinės ir transporto sistemos.

2 etapas. Priešprojektinė ir galimybių studija. Rengiami statybos projekto principiniai techniniai sprendimai, atrenkami projekto variantai, pateikiama jo sąmata pagal sustambintus rodiklius ir nustatoma statybos trukmė.

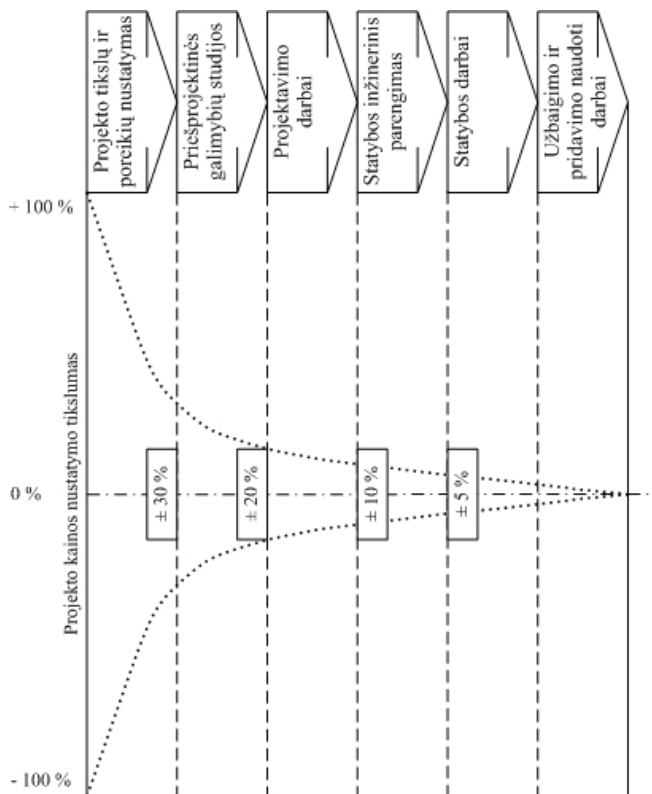
3 etapas. Projektavimo darbai. Parengiamas statinio techninis projektas (TP) (rengiami statinio projektiniai dokumentai ir skaičiuojama orientacinė statybos kaina), etapo gale gaunamas statybos leidimas ir organizuojamas rangovų konkursas statybos darbams vykdyti (atrenkami rangovai ir sudaromos sutartys).

4 etapas. Statybos inžinerinis parengimas. Detalizuojami projektiniai sprendiniai, rengiamas (arba jau yra parengtas) darbo projektas (DP) ir darbų vykdymo technologinis projektas. Šiuo etapu prie darbo projekto pridedama detali statybos darbų kaina ir sudaroma visų numatomų statytojo išlaidų sąmata pagal išteklių poreikio žiniaraščiuose apskaičiuotus medžiagų kiekius. Pagal sąmatinius skaičiavimus ir projektinius sprendinius užsakomi išteklių (medžiagos ir mechanizmai), organizuojama parengiamoji veikla statybos aikštelėje ir tiekimo

procesas, nagrinėjamos statybos procesų vykdymo alternatyvos, nustatomi ir įgyvendinami racionalūs sprendimai.

5 etapas. *Statybos darbų vykdymas.* Rangovai pagal projektinius sprendinius vykdo statybos darbus (remontas, rekonstrukcija ir kt.).

6 etapas. *Statinio atidavimas naudoti.* Paskutinis statybos projekto įgyvendinimo etapas. Užsakovas priima tinkamą naudoti statinį, kai statinys atitinka visus projektinius reikalavimus ir pašalinami visi pastebėti defektai.



2.3 pav. Statybos projekto kainos nustatymo tikslumo kitimas

Fig. 2.3. Changes of construction project's cost determination

2.2.2. Statybos skaičiuojamosios kainos nustatymas

Statybos projekto įgyvendinimo stadija, kurios metu nustatoma statybos projekto sąmatinė vertė, dažnai yra vadinama įkainojimu (statybos projekto kainos skaičiavimas). Įkainojimas yra labai svarbi kiekvieno projekto įvertinimo stadija, nes projekto įgyvendinimo pradžioje įmanoma priimti ekonomiškai racionalius sprendimus arba keisti pradinius sprendimus efektyvesniais (Peldschus, Zavads-

kas 1997). Statinių statybos skaičiuojamosios kainos nustatymo detalumas priklauso nuo pradinį duomenų (aprašymų, skaičiavimų, brėžinių) išsamumo, projektavimo stadijos, projekto detalumo, numatomo darbų vykdymo etapų ir pan.

Atsižvelgiant į konkrečias aplinkybes, skaičiuojamoji statybos kaina nustatoma sudarant:

- § **bendrajį išlaidų įvertinimą** – rengiamą investicijų planavimo pradžioje (per galimybių studiją ar lyginant investicinius variantus);
- § **sustambintus kainos skaičiavimus** – rengiant statinio statybos pagrindimą, projektinius siūlymus ar projektą, kai projekto sprendiniai yra nepakankamai detalūs arba kai to reikalauja užsakovas;
- § **detaliuosius kainos skaičiavimus** – rengiamas kitais atvejais, kai reikia atlikti detalesnius kainos skaičiavimus.

Įkainojimas (statybos projekto kainos skaičiavimas) gali būti atliekamas turint apytikslius duomenis apie statybos projektą (www.sistela.lt 2005), detalizavus projektą arba statybos proceso metu (statybos projekto sąmatinės vertės patikslinimas ar papildomų darbų įkainojimas). Tačiau sąmatinė vertė skirtingų stadijų metu gali skirtis, nes nuo statybos projekto informacijos (duomenų) apimties ir jos detalumo priklauso įkainojimo tikslumas (2.3 pav.) (Juodis 2001).

Matyti, kad statybos projekto tikslų ir poreikių nustatymo metu dėl daugelio neapibrėžtumų galima nustatyti statybos projekto sąmatinę vertę iki ± 30 proc. tikslumu. Toks bendrasis išlaidų įvertinimas atliekamas remiantis pirminio planavimo dokumentų statinio brėžiniais (ploto, tūrio, ilgio, kiekio skaičiavimų), žiniomis apie statybos sklypą ir kitokiais pradiniais duomenimis. Kainos skaičiavimai pateikiami sustambintais statinių paskirties rodikliais. Atskirais atvejais statinių pagrindinių konstrukcijų kainos gali būti nustatomos, naudojant analogiškų statinių bei kitokių sustambintų kainų skaičiavimus, pagrįstus ekspertinio vertinimo duomenimis. Šiame etape sudaroma orientacinė sąmata, remiantis analogiškų statinių sustambintais techniniais ir ekonominiais rodikliais.

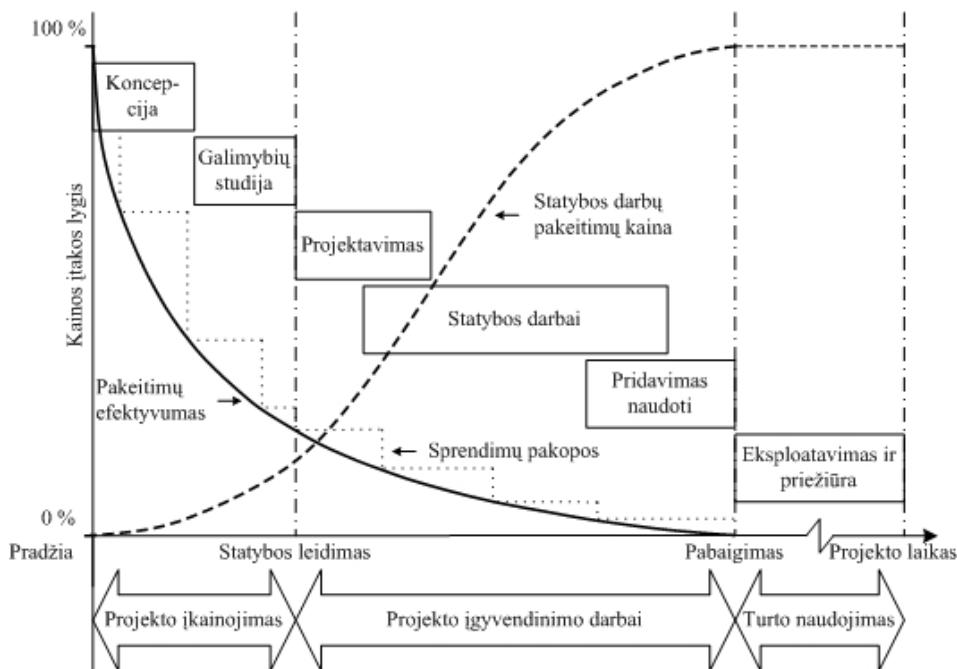
Detalizavus užsakovo poreikius bei įvertinus projekto įgyvendinimo galimybes (atlikus galimybių studiją), galima pasiekti iki ± 20 proc. tikslumą. Tuomet sustambinti išlaidų skaičiavimai atliekami pagal parengtus pirminio planavimo dokumentus, projekto brėžinius, erdvinių grupių planus, sustambintus statybos darbų, konstrukcinių elementų vienetų kiekio skaičiavimus. Kainos skaičiavimai pateikiami pagal sustambintas darbų rūšis arba sustambintas konstrukcijas (vieneto kainos pagrįstos skaičiavimais ar kitokiais vertinimais).

Parengus techninį projektą ir atlikus inžinerinį parengimą, specifikavus projektinius sprendinius, galima pasiekti iki ± 10 proc. tikslumą, o pradėjus statyti statinį, turint darbo projektą ir galutinius sprendinius, tikslumas dar padidėja. Tada detalieji išlaidų skaičiavimai atliekami vadovaujantis detaliais konstrukciniais brėžiniais, techninių įrenginių poreikio ir kitais skaičiavimais, darbų aprašymais, techninėmis darbų ir išteklių specifikacijomis. Kainos skaičiavimai pa-

teikiami pagal detalizuotus statybos darbų ir jiems atlikti reikalingų išteklių, jų analogų aprašymus, grindžiami normatyvinėmis arba tiesioginėmis numatomų išlaidų kalkuliacijomis ir kitokiais vertinimais.

Įsidėmėtina, kad bendras projekto investicijų dydis yra svarbus rodiklis statytojui (užsakovui) (Ustinovičius, Turskis, Ševčenko 2008). Jis reikalingas priimant sprendimus dėl projekto įgyvendinimo tikslingumo bei daro poveikį sprendimui, kuris investavimo variantas yra pasirenkamas (Ustinovichius, Zavadskas, Podvezko 2007). Projekto užsakovas turi visas galimybes daryti įtaką statybos projekto kainai, nes projekto įgyvendinimo (statybos projekto gyvavimo ciklo) pradžioje priimti projektiniai sprendimai yra ekonomiškai bei efektyvesni (Smith 2003; Harris, McCaffer 2006) ir turi didesnę įtaką nei vėliau priimti (2.4 pav.).

Iš esmės patartina visus projektinius sprendimus priimti projekto įkainojimo metu iki statybos leidimo gavimo, nes vėliau priimtų pakeitimų efektyvumas mažėja, o pakeitimų įgyvendinimo kaina didėja. Tačiau tuo metu vis dar yra daug neapibrėžtumų ir projektinių neaiškumų, dėl kurių nustatyta sąmatinė vertė vis dar gali keistis, todėl patartina samdyti ekspertus, kad jie profesionaliai įvertintų projekto galimybes ir alternatyvas projekto įgyvendinimo pradžioje (Ustinovičius, Zavadskas 2004; Cooke, Williams 2009).



2.4 pav. Pakeitimų įtaka projekto kainai
Fig. 2.4. Influence of changes to project cost

2.2.3. Statybos darbų trukmės planavimas ir grafikų rengimas

Statybos darbų bei jų trukmės planavimas yra labai svarbi statybos proceso dalis, kurio metu siekiama racionaliai suplanuoti turimų išteklių (žmonių, medžiagų ir mechanizmų) naudojimą (Birrell 1980) ir jų judėjimo srautus pagal turimą statybos projekto biudžetą (Kleim, Ludin 1998; A Guide to the Project Management Body of Knowledge 2004). Tai turi atlikti statybos vadovas arba už statybos projekto įgyvendinimą atsakingas projekto vadovas (Duncan 1996).

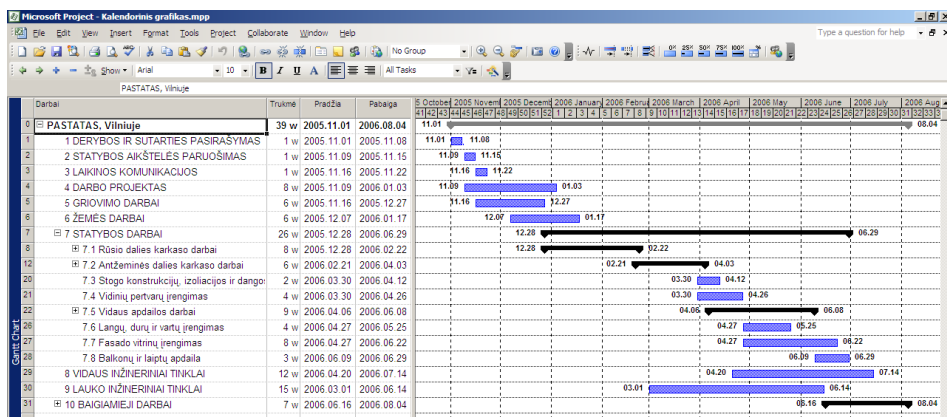
Statybos darbų trukmė nustatoma keliais etapais:

1. Dalyvaujant konkurse dėl statybos rangos darbų nustatoma preliminari statybos darbų trukmė ir projekto įgyvendinimo terminai, sudarant preliminarų statybos darbų kalendorinį grafiką kaip pasiūlymo priedą (grafiko struktūra yra esminės statybos darbų grupės su apytikslėmis jų įgyvendinimo trukmėmis, dažniausiai mėnesiais arba savaitėmis).
2. Prieš pasirašant sutartį, nustatoma statybos darbų trukmė ir projekto įgyvendinimo terminai, sudarius statybos darbų kalendorinį grafiką kaip priedą prie sutarties (grafike išskleistos esminės statybos darbų grupės su patikslintomis jų įgyvendinimo trukmėmis, dažniausiai savaitėmis).
3. Statybos projekto darbų pradžioje tikslinamos išskleistų esminių statybos darbų grupės ir jų sudedamųjų dalių – procesų trukmės.
4. Statybos projekto įgyvendinimo metu nuolatos (kas savaitę artimiausiems darbams ir kas mėnesį bendrai visam statybos projektui) tikslinamos išskleistų esminių statybos darbų grupės ir jų sudedamųjų dalių – procesų trukmės ir tokiu būdu užtikrinama laiku atliekama statybos projekto įgyvendinimo kontrolė.

Planavimas yra gana lankstus, bet atsakingas ir sudėtingas procesas (Cooke, Williams 2009), nes teoriškai tą patį darbą galima atlikti dvigubai greičiau, turint daugiau išteklių (darbininkų arba mechanizmų) (Деревянко 2005). Tačiau planavimo procesas turi būti pagrįstas ne tik teoriniais skaičiavimais, bet ir statybos vadovo patirtimi bei darbo sudalinimo į srautus (barus) racionalumu (išvengiant perteklinio ir neefektyvaus darbuotojų, mechanizmų ir medžiagų poreikio).

Kalendorinio grafiko rengimo principai ir esminiai etapai:

1. Sudaroma statybos darbų lokalinė sąmata, iš kurios gaunami konkrečių statybos procesų darbo sąnaudų kiekiai.
2. Nustatoma konkrečių statybos darbų trukmė, remiantis statybos technologijos (atitinkamų darbų nuoseklumas ir suderinamumas) ir organizavimo principais (priklauso nuo statybos zonų, etapų – srautų, barų, brigadų ir žmonių skaičiaus brigadose).
3. Sudaromas statybos darbų kalendorinis grafikas (su *Microsoft Excel*, *Microsoft Project*, *Primavera* ar kitomis priemonėmis, 2.5 pav.);
4. Sudarytas statybos darbų kalendorinis grafikas peržiūrimas, koreguojamas ir optimizuojamas.



2.5 pav. Statybos projekto kalendorinio grafiko pavyzdys

Fig. 2.5. An example of construction project's schedule

Paradoksali situacija ta, kad net ir labai geras statybos darbų trukmės planavimas ir grafikų rengimas turi paklaidas, kurios svyruoja $\pm 5\%$ (dažniausiai įgyvendinimo trukmė būna ilgesnė) (A Guide to the Project Management Body of Knowledge 2004). Idealiu atveju (kai nėra gaisraties dėl savivaldos institucijų, yra aiškūs suderinti projektiniai sprendimai su užsakovu ir žinybomis, laiku atliktas galutinis projekto dalių projektavimas, užtikrintas sklandus išteklių tiekimas, pakankamas savo turimų darbuotojų ar subrangovų skaičius, atliktų darbų aktų parengimas ir apmokėjimas laiku, tinkamos meteorologinės sąlygos ir pan.) šias paklaidas galima kontroliuoti tik koreguojant statybos proceso darbus bei tobulinant darbų organizavimą.

Daugeliu atvejų dėl įvairių nesusipratimų ir neapibrėžtumų statybos projektų įgyvendinimą veikia daug įvairių veiksnių ir tik vadovo patirtis bei įgūdžiai kartu su laiku atliekama darbų kontrole bei aiškia procedūromis aprašyta valdymo sistema gali užtikrinti kokybišką numatyto projekto įgyvendinimą, laiku ir už sutartą kainą (Деревянко 2005). Patartina, jei yra galimybė, planuojant statybos darbus, visiškai nevaržyti darbų trukmės ir prireikus numatyti atsargą (tai galėtų būti trumpalaikis darbas antra ar net trečia pamaina, darbas šeštadieniais ir pan.) atsilikimui bei neapibrėžtumų įtakai sumažinti (Kleim, Ludin 1998).

Dažna klaida, planuojant statybos projekto statybos darbus, juos visiškai atskirti nuo projektavimo darbų. Visų pirma ši klaida ne dėl rangovo, o dėl užsakovo bei projektuotojų nesusitarimo kaltės gali brangiai kainuoti užsakovui – pailgės statybos trukmė (Cooke, Williams 2009). Tuo pačiu atveju nukentės visi projekto dalyviai, nes atsiranda papildomų išlaidų tiek užsakovui (investicinės gražos ir išskolinimo kreditoriams atidėjimas), tiek projektuotojams (administracinės išlaidos), tiek rangovui (organizacinės, išteklių valdymo ir statybų aikš-

telės išlaidos). Išeitis – koordinuoti visą statybos projekto įgyvendinimą ir užtikrinti projektinių dokumentų rengimą laiku.

Nereikia pamiršti savalaikio statybos projektui reikalingų išteklių užsakymo ir tiekimo (Birrell 1980). Į tą patį statybos projekto darbų vykdymo kalendorinį grafiką turi būti įtrauktas sutarčių sudarymas, išteklių užsakymai ir jų tiekimo srautai (kiekiai). Šie darbai turi būti glaudžiai susiję su numatomais darbais ir turi būti atlikti 1–3 mėnesius (kartias daugiau) prieš išteklių poreikį aikštelėje.

Visa apibendrinanti statinio projektavimo, planavimo ir statybos inžinerinio parengimo darbų dalis, prieš vykdant statybos darbus, yra statybos darbų technologijos (vykdymo) projektas (Juodis 2001). Tai techninis dokumentas, kuris nustato konkretaus statinio statybos technologijos proceso reikalavimus, nurodo statinio projekto įgyvendinimo būdus bei metodus, numato konkrečius sprendinius bei priemones, užtikrinančius darbuotojų saugą ir sveikatą. Statybos darbų technologijos (vykdymo) projektas nėra vien tik formalus dokumentas, jis turi padėti: racionaliai išnaudoti visus turimus ir suplanuotus išteklius (pagal sutartinę sąmatinę statybos projekto vertę), sutaupyti laiko konkrečių darbų statybos įgyvendinimo variantų analizei ir pasirinkimui bei užtikrinti sklandų ir savalaikį daugelio darbų atlikimą pagal kalendorinį grafiką tuo pačiu metu (lygiagrečiai).

2.3. Projekto dalių valdymo ir kvalifikacijos kėlimo poreikis

Šiame poskyryje aprašomi profesinio mokymo poreikio nustatymo tyrimo duomenys keturiose ES šalyse pagal partnerystės sutartį vykdant *Leonardo da Vinci* projektą (*Recognition of Needs and Creation of Professional Training in the Area of Management of Infrastructure Construction Projects, Leonardo da Vinci Project Reference PL/04/B/P/PP/-174 417*). Tyrimo metu atoriaus ir kiti mokslininkai nagrinėjo partnerių šalyse esančių statybos ir su statyba susijusių įmonių profesinio ugdymo ir tęstinio mokymo poreikį (Cardoso Teixeira *et al.* 2006).

Žinios, kaip valdyti statybos projektą, yra svarbiausios, siekiant plėtoti statybos įmonių veiklą visoje Europoje. Tai esminis dalykas, apimantis visų projekto dalyvių kompetenciją ir darantis įtaką bendram tikslui – statybos projekto įgyvendinimui nuo vizijos iki galutinio rezultato. Kelios Europos Sąjungos šalys, ypač Jungtinė Karalystė, yra sukaupusios žinių taikant akademinio mokymo medžiagą, profesinės kvalifikacijos kėlimo kursų patirtį ir profesionalios patirties žinias (Christodoulou 2004; Teixeira 2005). Kitos ES šalys nėra pasiekusios tokio profesinio ugdymo lygio, bet joms reikia pasirengti profesionalių darbuotojų darbui Europos Sąjungos statybos rinkoje (Cardoso Teixeira *et al.* 2006).

Šalims tapus naujomis Europos Sąjungos narėmis, dėl integracijos matoma nemaža įtaka socialinėms, ekonominėms ir kitoms sritims. Viena iš esminių sri-

čių – darbuotojų sveikatos apsauga ir darbų sauga statyboje (Šukys 2004). Analizuojant nelaimingų atsitikimų skaičių statybos kompanijose matoma, kad pagrindinės nelaimių priežastys yra šios: reikalavimų ir reglamentų nesilaikymas, blogai organizuoti statybos darbai, saugos priemonių trūkumas, netinkamas darbo vietos organizavimas ir nepakankama darbuotojų kvalifikacija (mokymas) (Vakrinienė, Čyras, Šukys 2004).

Toliau aprašomi profesinio mokymo poreikio tyrimo, atlikto keturiuose Europos Sąjungos šalyse pagal jungtinės partnerystės sutartį vykdant *Leonardo da Vinci* projektą (*Leonardo da Vinci Project Reference PL/04/B/P/PP/-174 417*), duomenys (Cardoso Teixeira *et al.* 2006). Projekte dalyvavo šie partneriai:

- § UMINHO – Minho universitetas (*University of Minho*), Portugalija;
- § WUT – Varšuvos technologijos universitetas (*Warsaw University of Technology*), Lenkija;
- § PBCP – Bendra Lenkijos ir Britanijos statybos įmonė (*Polish British Construction Partnership*), Lenkija;
- § PUV – Valencijos politechnikos universitetas (*Polytechnic University of Valencia*), Ispanija;
- § VGTU – Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Lietuva;
- § SIDIR – Lenkijos statybos inžinierių ir ekspertų asociacija (*Polish Association of Consulting Engineers and Experts*), Lenkija.

Siekiant projekto tikslų, buvo kaupiami duomenys, norint sukurti mokymo priemonių rinkinį tęstiniam profesiniam ugdymui (angl. *Continuous Professional Development* – CPD) – nuolatiniam kvalifikacijos kelimui ir tobulėjimui.

2.3.1. Statybos projektų valdymo ir kvalifikacijos svarba

Dabartinės statybos įmonės siekia priimti į darbą darbuotojus, kurie remdamiesi savo žiniomis ir sukaupta patirtimi, sugebėtų nustatyti projekto valdymo problemas, jas įvertinti, išspręsti, plėtoti bei kaupti žinias (Edum-Fotwe, McCaffer 2000; Trejo, Patel, Andersen, Cervantes 2003). Visi įgūdžiai gali būti suprantami kaip statybos projekto valdymo kompetencija. Be to, žinios ir įgūdžiai, sukaupti statybos organizavimo ir valdymo srityje, yra vieni iš pagrindinių darbuotojų profesinio tobulėjimo ateities poreikių (De Graaff, Ravesteijn 2001; Chinowsky 2002). Tobulinant ir didinant statybos projekto valdymo kompetenciją, kuriami projektų valdymo žinių, praktinio įgyvendinimo ir sertifikavimo standartai (Crawford 2005). Akredituotos projektų valdymo įstaigos nustatinėjo esmines sertifikuoti reikalingų žinių sritis (Duncan 1996; Caupin, Knopfel, Morris, Motzel 1999), kurios grindžiamos esminiais techniniais reikalavimais, reikalingais praktiškai įgyvendinti statybos projektų valdymą. Dauguma Europos mokymo įstaigų savo akademinėse programose siekia apimti svarbiausias statybos projekto valdymo sritis, kurios reikalingos pagal akreditavimo reikalavimus.

Jungtinėje Karalystėje atliktų statybos pramonės tyrimų metu nustatyta, kad tiksliniai profesiniai mokymai ir patirtis būtini siekiant statybos projektų valdymo kompetencijos (Christodoulou 2004; Teixeira 2005). Autorius pastebėjo, kad žinios, reikalingos projektams valdyti, turėtų būti platesnės, nei išmokoma pagal akademinės programas. Profesionali projektų valdymo kompetencija įgyjama tik suderinus žinias, įgytas mokantis, išgūdžius, išugdytus patirtimi, ir įgyvendinant tų žinių pritaikymą. Pagrindinė to priežastis – nuolat kintanti statybos proceso aplinka, nuolatinis statybos projekto valdymo profesijos poreikis ir tinkamų valdymo modulių trūkumas akademinio mokymų programoje (Edum-Fotwe, McCaffer 2000; Pellicer, Seron, Catalá, Leopoldo 2003).

2.3.2. Statybos šakos dalyvių apklausa ir rezultatai

Profesionalių tyrimų poreikio analizė statybos projektų valdymo srityje yra pagrindas, nustatant atitinkamas mokymų programas besimokantiems, baigusiems mokslus ir tęstiniam profesiniam ugdymui. Žinių trūkumo nustatymas projekto partnerių šalyse lėmė sprendimą atlikti tyrimą kiekvienoje iš šalių siekiant:

- § nustatyti svarbiausias (aktualiausias) valdymo sritis statyboje;
- § surinkti informaciją apie apklausiamų organizacijų atliekamus statybos projektų valdymo mokymus.

Siekiant užsibrėžto tyrimų tikslo buvo sudarytas klausimynas, kuris buvo išsiųstas pagal dydį sugrupuotoms įmonėms projekto partnerių šalyse (2.1 lentelė).

2.1 lentelė. Informacija apie apklausoje dalyvavusias įmones

Table 2.1. Information about the companies as participants of survey

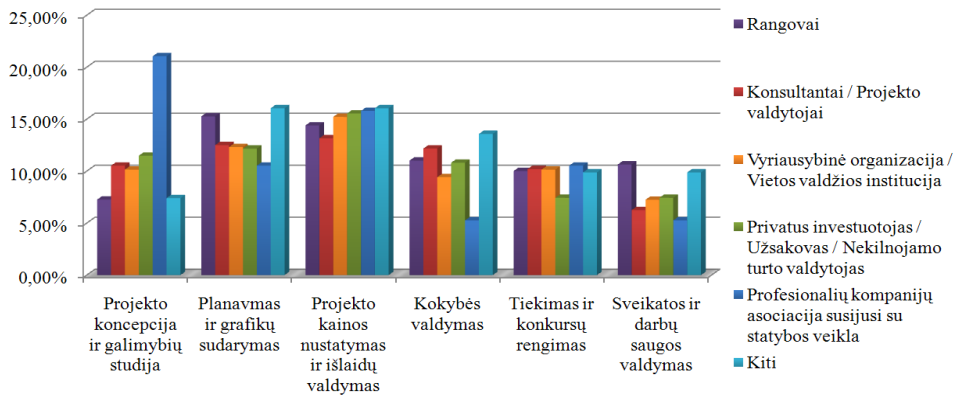
Įmonės tipas	Darbuotojų skaičius				Iš viso	Svorio rodiklis
	<5	5-50	50-250	>250		
Statybos rangovas	23	34	66	33	156	53,06%
Konsultacines ir projektavimo paslaugas teikianti kompanija / Projekto valdytojas	17	25	10	7	59	20,07%
Vyriausybinių organizacijų / Vietos valdžios institucija	6	10	5	8	29	9,86%
Privatus investuotojas / Užsakovas / nekilnojamojo turto valdytojas	6	11	11	1	29	9,86%
Profesionalių kompanijų asociacija, susijusi su statybos veikla	2	2	0	0	4	1,36%
Kita veikla	1	6	9	1	17	5,78%
IŠ VISO:	54	88	101	50	293	100%

2.2 lentelė. Apklauskos sukaupta informacija apie statybos valdymo sričių aktualumą
Table 2.2. Survey information about the topicality of construction management areas

Valdymo sritis	Rango- vai		Konsul- tantai / Projek- to val- dytojai		Vyriausy- binė orga- nizacija / Vietos valdžios institucija		Privatus investuotojas / Užsakovas / Nekilnojamo turto valdy- tojas		Profesiona- lių kompanijų asociacija susijusi su statybos veikla		Kiti		IŠ VISO	
Projekto kon- ceptcija ir ga- limybių studija	58	7,26%	32	10,53 %	14	10,14 %	17	11,49%	4	21,05 %	6	7,41%	131	8,80%
Planavimas ir grafikų sudar- ymas	122	15,27 %	38	12,50 %	17	12,32 %	18	12,16%	2	10,53 %	13	16,05 %	210	14,10%
Rizikos val- dymas	55	6,88%	22	7,24%	8	5,80%	9	6,08%	1	5,26%	5	6,17%	100	6,72%
Korporatyvi rinkodara	29	3,63%	16	5,26%	2	1,45%	5	3,38%	1	5,26%	3	3,70%	56	3,76%
Projekto kai- nos nustaty- mas ir išlaidų valdymas	115	14,39 %	40	13,16 %	21	15,22 %	23	15,54%	3	15,79 %	13	16,05 %	215	14,44%
Kokybės val- dymas	88	11,01 %	37	12,17 %	13	9,42%	16	10,81%	1	5,26%	11	13,58 %	166	11,15%
Tiekimas ir konkursų ren- gimas	80	10,01 %	31	10,20 %	14	10,14 %	11	7,43%	2	10,53 %	8	9,88%	146	9,81%
Sutarties sąly- gų suderini- mas	60	7,51%	23	7,57%	15	10,87 %	10	6,76%	1	5,26%	8	9,88%	117	7,86%
Jungtinė veika ir partnerystė (PPP)	26	3,25%	8	2,63%	9	6,52%	6	4,05%	1	5,26%	0	0,00%	50	3,36%
Sveikatos ir darbų saugos valdymas	85	10,64 %	19	6,25%	10	7,25%	11	7,43%	1	5,26%	8	9,88%	134	9,00%
Atidavimas eksploatuoti ir garantiniai išsipareigojimai	37	4,63%	13	4,28%	6	4,35%	13	8,78%	2	10,53 %	2	2,47%	73	4,90%
Aplinkosaugos valdymas	38	4,76%	22	7,24%	7	5,07%	5	3,38%	0	0,00%	2	2,47%	74	4,97%
Kiti	6	0,75%	3	0,99%	2	1,45%	4	2,70%	0	0,00%	2	2,47%	17	1,14%
IŠ VISO:	799	100%	304	100%	138	100%	148	100%	19	100%	81	100%	1489	100%

Klausimynas sudarytas siekiant išgauti informaciją iš užklaustų įmonių (statybos projekto dalyvių). Dėmesys kaupiant mokomąją medžiagą statybos valdymo srityje paskatino išsiaiškinti labiausiai pageidaujamą mokymo būdą – ar tai būtų vidiniai, išoriniai ar nuotoliniai mokymai (Cardoso Teixeira *et al.* 2006).

2.1 lentelėje pateikta informacija apie klausimyną užpildžiusias organizacijas. Matomas tinkamas pasiskirstymas tarp skirtingų tipų įmonių ir jose dirbančių specialistų skaičiaus. Apklausoje dalyvavusių statybos rangos įmonių skaičius sudarė daugiau nei pusę iš 293 apklaustų įmonių, tai atspindi reikšmingą statybos aikštelėje dirbančių specialistų (įmonių) nuomonę. 2.2 lentelėje pateikta išsami apklausos metu sukaupta informacija apie statybos valdymo sričių aktualumą kiekvienam iš projekto dalyvių ir apibendrintų duomenų rezultatai.



2.6 pav. Informacija apie aktualiausias statybos valdymo sritis

Fig. 2.6. Information about the topicality of construction management areas

Remiantis rezultatais, autorius ir mokslininkai atrinko aktualiausias statybos valdymo sritis (Cardoso Teixeira *et al.* 2006), kuriom reikalingas tęstinis profesinis ugdymas ir nuolatinis kvalifikacijos kėlimas (2.6 pav), kartu su jų svarbumo pasiskirstymu pagal projekto dalyvius (2.2 lentelėje pažymėti tamsiu fonu):

- § Projekto koncepcijos vystymas ir galimybių studija (angl. *Project Conception Development/Feasibility*).
- § Planavimas ir grafikų sudarymas (angl. *Planning and Scheduling*).
- § Projekto kainos nustatymas ir išlaidų valdymas (angl. *Project Cost Estimation and Cost Management*).
- § Kokybės valdymas (angl. *Quality Management*).
- § Tiekimas ir konkursų rengimas (angl. *Procurement and Tendering Procedures*).
- § Sveikatos ir darbų saugos valdymas (angl. *Health and Safety Management*).

Remiantis atlikto tyrimo duomenimis (pagal 1489 pažymėjimų pozicijas iš tarptautinių respondentų apklausos), galima padaryti išvadas, kad nuolatinis darbuotojų kvalifikacijos kėlimas, įmonių profesinis ugdymas bei tęstinis mokymas yra labai svarbūs. Iš visų nagrinėtų statybos projekto valdymo sričių projekto kainos nustatymas bei išlaidų valdymas, planavimas bei grafikų sudarymas yra aktualiausias. Nustatyta, kad šioms sritims labiausiai reikia nuolatinė vidinių ir išorinių mokymų, nes juos įgyvendinant priimami svarbiausi statybos projekto sprendiniai ir jas labiausiai veikia neapibrėžtumai bei rizika.

2.4. Statybos projekto informacijos valdymo ir automatizuoto projektavimo poreikis

Statybos projekto kaip proceso įgyvendinimo efektyvumas priklauso nuo daugelio veiksnių (Zavadskas, Karablikovas 2000; Zavadskas, Kaklauskas, Banaitienė 2001): regiono, miesto ar jo savivaldybių plėtros strategijos; nevilkinamų leidimų statybai išdavimo; laiku atliekamų projektavimo darbų pagal pasirinktas technologijas ir suderintus užsakovo (statytojo) poreikius; tikslaus atliekamų statybos darbų sąmatinių skaičiavimų ir reikiamų išteklių poreikio nustatymo (darbo jėgos, mechanizmų ir medžiagų poreikio nustatymas); apibrėžtų sutartinių įsipareigojimų; tikslų ir išsamių darbo projekto brėžinių bei darbų organizavimo pagal tuos brėžinius (išteklių tiekimo ir efektyvaus darbų vykdymo); operatyvaus ir lankstaus projekto pakeitimų įgyvendinimo (pasikeitusio projekto darbų suderinimo ir įforminimo); faktinių darbų apimčių operatyvaus suderinimo; sklandaus objekto atidavimo naudoti; finansavimo ir atsiskaitymo už darbus laiku; tinkamos objekto priežiūros ir statinio eksploatacijos bei ūkio administravimo (angl. Facility Management). Šiuos veiksnius veikia visi su statybos projekto statyba susiję dalyviai (Zavadskas, Kaklauskas, Banaitienė 2001), todėl būtinas darnus dalyvių darbas ir nenutrūkstami informacijos srautai tarp dalyvių. Tik kokybiškai atliekant darbą įmanoma sklandžiai vykdyti statybos projektą.

Viena didžiausių problemų, kylanti įgyvendinant statybos projektą, yra nuolatinės informacijos trūkumas, kuris gali pasireikšti: projekto pakitimų nesuderinamumais, neefektyviu darbu ir darbų vilkinimu, objekto statybos vėlavimais, bankų pateiktų investicijų neatsiperkamumu, sutartinėmis nuobaudomis ir kitomis grėsmėmis. Siekiant išvengti šių informacijos trūkumo problemų ir jų pasekmių, būtina suderinti ir palaikyti nuolatinis informacijos srautus tarp dalyvių, įgyvendinančių statybos projektą (2.1 pav.). Statybos darbų vykdytojai turi gauti detalius ir teisingus projektinius sprendimus, kokybiškai atlikti savo darbų dalį, o projektuotojai privalo operatyviai ir atsakingai reaguoti į reikalingų sprendimų užklausas, ateinančias iš statybietės bei prirėkus atlikti autorinę priežiūrą. Šie informacijos mainai taip pat liečia ir statytoją (ar jo atstovą – te-

chninę priežiūrą), kuris turi sekti, kaip atliekami statybos darbai, kokia jų kokybė, reikalauti laiku šalinti defektus arba sustabdyti darbus, vykdyti darbų priėmimą bei sutartinius apmokėjimų išsipareigojimus.

Dažniausiai pasitaiko trukdžių, dėl kurių pirmiau išvardytų statybos dalyvių veikla nebūna tokia sklandi, tai vienpusis informacijos srautų judėjimas ir gaišatis. Taigi vienintelis būdas išvengti objekto statybos vėlavimų ir dėl to kylančių finansinių problemų – abipusės informacijos tarp visų atsakingų statybos dalyvių asmenų (ir dalyvių grupėje hierarchine tvarka) pateikimas laiku, kaupiant duomenis ir dirbant bendroje sistemoje (projekto dalyviams per tinklą – internetą prieinamame projekto serveryje) (Jang, Skibniewski 2008).

2.4.1. Automatizuoto projektavimo esmė

Statybos projekto įgyvendinimo metu norima sumažinti paklaidas, neapibrėžtumus ir riziką. Tam siūloma taikyti automatizuoto statybos projekto valdymo ir inžinerinio parengimo modelį, paremtą tęstinio projektavimo ir statybos principais (angl. *The Building Continuum*) (Ford, Aouad 1994; Donath, Loemker, Richter 2004; Ekholm, Fridqvist 2000), kuris užtikrintų visišką statybos inžinerinį parengimą ir informacijos srautų valdymą viso statybos projekto įgyvendinimo (gyvavimo) ciklo metu (Harris, McCaffer 2006).

Rengiant projektą architektai, inžinieriai, technologai susiduria su daugeliu problemų, kurios gali būti charakterizuojamos pagal griežtas riboto laiko sąlygas sukurti konkurencingą, aukštos kokybės produktą (Eastman et al. 2008). Detaliau tai galima apibrėžti kaip pastato ar kitos konstrukcijos projektavimą, kuris: užtikrintų racionalų ir efektyvų projekto sprendinių pasirinkimą diegiant architektūrinės formos ir erdvės sprendimus; pagrįstą efektyvų medžiagų kiekį pagal konstrukcijos laikomąją galią; kiek galima tiksliau įvertintų darbo laiko ir išteklių kainą; padėtų išvengti klaidų ir netikslumų; sudarytų greito statybos proceso ir sklandaus darbų atlikimo sąlygas.

Tuo tarpu statybos įmonės turi kreipti ypatingą dėmesį į efektyvesnį statybos proceso valdymą nuo pirmų idėjų iki atidavimo eksploatuoti (Jeong, Eastman, Sacks, Kaner 2009). Pačioje artimiausioje ateityje efektyvus statybos projektų valdymas turės dar didesnę reikšmę dėl augančios konkurencijos su didelėmis Europos ir Azijos statybos organizacijomis, turinčiomis daugiametę patirtį ir galias valdymo kokybės tradicijas. Taigi norint pasiekti didesnę statybos projektų valdymo efektyvumą, visų pirma reikia tiksliau rengti projektavimo dokumentus, tiksliau skaičiuoti sąmatas bei maksimaliai integruoti visus procesus (nuo pirmųjų eskizų iki galutinio produkto) (Mikalauskas, Popovas 2003). Tokia integracija leistų ne tik gerokai paspartinti projektavimo, pasirengimo statybai darbus, bet ir pasiekti maksimalų tikslumą vykdant pačius statybos darbus (Migilinskas, Ustinovichius 2006)

Projektuotojai, inžinieriai sutinka, kad kompiuterinio modeliavimo metodai ir surenkamųjų komponentų naudojimas gali padėti sumažinti darbų trukmę, išlaidas, sumažinti defektus ir problemas statybvietyje (Sacks, Eastman, Lee 2004). Viso statybos proceso metu siekiama sumažinti statybos kainą, todėl viena iš priemonių – alternatyvų analizė ir parinkimas remiantis Europos Darnųjų Statybos Standartų principais (ir technologijų, ir atskirų pastato konstrukcijų) (Popov, Mikalauskas, Migilinskas, Vainiunas 2006; Marčiukaitis 2009).

Mašinų gamybos pramonėje jau daugiau nei dešimtmetis diegiamas projekto viso gyvavimo ciklo valdymas, leidžiantis statinėje ir dinaminėje aplinkoje simuliuoti ne tik 3D mazgus, bet ir visą projektą (Issa, Flood, O'Brien 2003). Jis susideda iš elementų, kuriems priskirtos tikslios jų savybės (ir kita svarbi informacija) bei nuolatiniai tarpusavio ryšiai (Kymmell 2008). Simuliacijos analizei naudojama ir ketvirta dimensija – laikas, t. y. projektas gali būti įvertinamas laiko atžvilgiu (atsparumas ilgalaikiams poveikiams, projekto dalių ilgaamžiškumas, išteklių ir energijos taupymas gyvendinant projektą, ekologinės taršos analizė ir t. t.).

Pasaulinio lygio programinės įrangos kūrėjai, tokie kaip „Autodesk“, „Bentley“, „Graphisoft“, „Integrph“ kuria su statybos ir infrastruktūros projektais susijusioms įmonėms bendrą (vieningą) ir suderinamą su įmonės valdymo standartais projektavimo, planavimo, įkainojimo, rizikos valdymo ir alternatyvų įvertinimo programinę įrangą. Tačiau dėl suderintų standartų ir bendrų formatų nebuvimo šios priemonės vis dar aktyviai kuriamos, o sukurtos pradinės versijos vis dar tobulinamos ir derinamos.

2.4.2. Kompiuterinio projektavimo programinės įrangos analizė

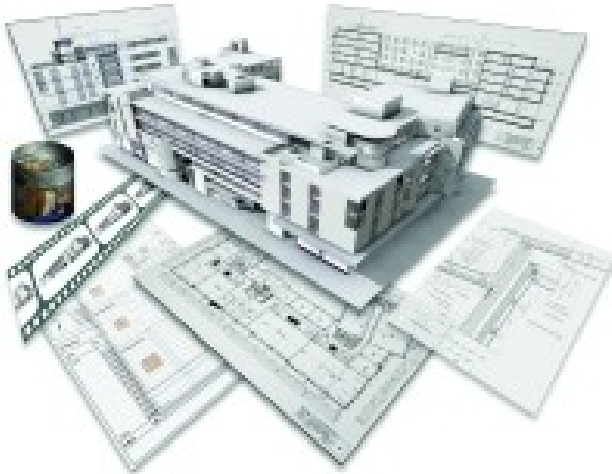
Detalesnis (vaizdingesnis) statinio projektavimas sukėlė daug lūkesčių, todėl pasirodė daugybė skirtingų metodų, tenkinančių specifinius statybos projektavimo poreikius. Ankščiau projektuotojai suprojektuodavo pastatą nuo pradžios iki pabaigos, o rangovai peržiūrėję brėžinius pateikdavo pasiūlymus. Laimėdavo tas pasiūlymas, kurio kaina mažiausia, bet tai ne visada būdavo gerai (Frances 2007). Automatizuotas kompiuterinis projektavimas (angl. Computer Aided Design – CAD) dėl savo specifikos tapo paremtas labiau informacinio modeliavimo technologija (Austin, Baldwin, Waskett 1999; Ekholm, Fridqvist 2000; Zavadskas, Kaklauskas, Banaitienė 2001) bei testinio projektavimo ir statybos (angl. *The Building Continuum*) principais (Ford, Aouad 1994; Donath, Loemker, Richter 2004; Ekholm, Fridqvist 2000; Migilinskas, Ustinovichius 2006).

Pavyzdžiui programinėje įrangoje SCAD (*Structure CAD*) atliekama skaičiuojamosios schemos sintezė ir rezultatų analizė, yra didelių skaičiuojamųjų schemų modeliavimo galimybių (Fialko 2005). Sistemoje numatyta skaičiavi-

mus vykdyti skirtingiems dinaminiais poveikiams, tokiems kaip seisminė apkrova, pulsuojanči vėjo apkrova, harmoniniai svyravimai, smūgis (Maute, Raulli 2004; Perelmuter, Fialko 2005). Grafiniai skaičiuojamųjų schemų formavimo būdai aktyvuoja parametrinių konstrukcijų prototipų rinkinį, leidžia automatiškai kurti baigtinių elementų tinklą plokštumoje, aprašyti fizinių ir mechaninių savybių turinčias medžiagas, atramas, tvirtinimus ir apkrovas. Numatyta galimybė modeliuoti iš atskirų skirtingų schemų. Realizuotas geometrinių skaičiuojamųjų schemų importas iš tokių sistemų, kaip *ArchiCAD*, *HyperSteel*, *AutoCAD*, *3D Studio* ir kt. Skaičiavimų rezultatai gali būti eksportuojami į redaktorių *Microsoft Word* arba *Microsoft Excel*, taip pat išvesti deformuotos schemas ir įlinkių schemas ir kt. pavidalu (Криксунов, Маляренко 2006).

Projektavimo sistemos *Graphisoft ArchiCAD*, *Bentley Triforma*, *Autodesk Architectural Desktop* ir *Revit* tapo pažangesnės. CAD projektavimo sistemų kūrėjai supranta projektavimo dokumentų sąsąją su duomenų bazėmis svarbą. Kai šios sąsajos bus visiškai įdiegtos, bus galima tikėtis dokumentų ir užsakymų keitimo pabaigos (Goldberg 2002). Visi programinės įrangos gamintojai giria savo siūlomo produkto našumą, tačiau tikrasis našumas yra darbo su šia programa įgūdžiai. Todėl jei turima daugelio metų darbo su viena programa patirtis, tai daug tikslingiau būtų atnaujinti šią programą, nei keisti ją kita (Goldberg 2002).

ArchiCAD – tai visapusiška, 2D ir 3D sujungianti programa, kuri viena pirmųjų 1987 m. pristatė virtualaus pastato modelį, apimančią visą reikalingą informaciją (2.7 pav.) (Eastman *et al.* 2008). Programa iš pat pradžių buvo kuriama tik architektams ir nuolat tobulinama, atsižvelgiant į architektų ir statybos rangovų pastabas bei norus.



2.7 pav. ArchiCAD 2D ir 3D erdvėse
Fig. 2.7. ArchiCAD in 2D and 3D space

Virtualaus pastato 3D modelį, galima suskirstyti pagal zonas, sukurti įvairias 3D elementų grupes, parengti ar sugeneruoti statybinius brėžinius (2.8 pav.). Taip pat galima sukurti medžiagų specifikacijų sąrašus, pjūvių ir fasadų brėžinius, 3D pjūvių vaizdus (Popov, Juocevičius, Migilinskas, Mikalauskas 2008).

ArchiCAD terpėje kiekvienas nubraižytas elementas plane automatiškai apima informaciją apie medžiagas, matmenis ir kt. Projektavimo procesui pagreinti, *ArchiCAD* turi daug statinio elementų bibliotekų. Peržiūra ir redagavimas vyksta 3D modelyje, todėl labai lengva patikrinti bet kurią projekto vietą.

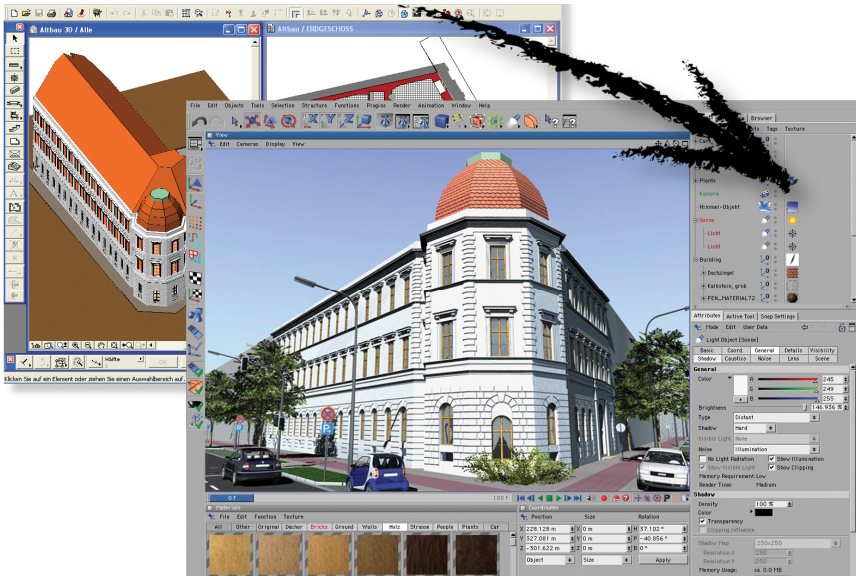
ArchiCAD TeamWork funkcionalumas leidžia skirtingiems vartotojams dirbti vienu metu su ta pačia rinkmena, t.y. komandos nariai gali pasidalinti projektą į atskiras dalis ir dirbti atskirai, tuo pačiu metu matydami, ką daro kiti, ir galėdami bet kada pasikeisti naujausia informacija. Visi *ArchiCAD* aplinkoje sukurti dokumentai yra sujungiami su CAD koordinavimo sistema, kuri leidžia lengvai atlikti projekto informacijos peržiūrą ir pakeitimų peržiūrą. Kadangi visa informacija kaupiama vienoje bazėje, tai bet kurioje projekto vietoje padaryti pakeitimai (planuose, pjūviuose, fasaduose ar specifikacijų sąrašuose) automatiškai atnaujinami visame projekte. Dėl daugybės projekto pateikimo galimybių tai padeda išvengti projektavimo klaidų.

Naudojant vizualizaciją galima pateikti fotorealistinius vaizdus, animaciją ar virtualios realybės panoramas su turimu pastato 3D modeliu. Realus vaizdo gavimas priklauso nuo skaitmeninės interjero ar eksterjero nuotraukos, į kurią norima įdėti projektuojamą objektą (2.9 pav.).



2.8 pav. 3D modeliavimo ir atvaizdavimo galimybės
Fig. 2.8. The possibilities of 3D modelling and visualization

ArchiCAD turi statybos proceso atvaizdavimo (simuliacijos) funkciją, t.y. programa sujungta su projekto valdymo programa *Microsoft Project* ar *Primavera Project Planer*. Jos išskaido projektą etapais bei priskiria jiems konkrečius virtualaus pastato elementus, o *ArchiCAD* sukuria bet kurio statybos etapo vaizdą ar animaciją, t.y. statybos vaizdo kitimą laike.



2.9 pav. ArchiCAD galimybės
Fig. 2.9. The possibilities of ArchiCAD

Bentley sukūrė daugelį specializuotų programinių paketų specifinei automatizuoto projektavimo sričiai statybos inžinerijai arba tiesiog AEC (angl. *Architecture Engineering Construction*) (Eastman *et al.* 2008). Šiuo metu *Bentley* yra vienas didžiausių pasaulyje automatizuoto projektavimo sistemų gamintojų, skirtų visai statybos inžinerijos šakai vientisos ir integruotos *MicroStation* programinės įrangos bazėje. Skirtingai nuo kitų kompanijų, kuriančių produkciją šiai rinkai, *Bentley* siūlo išsistą programinės įrangos produktų spektrą, apimančią visus šios rities segmentus. Priklausomai nuo srities, siūlomi tokie kompleksinių sprendimų programinės įrangos rinkiniai arba tiesiog inžinerinės konfigūracijos:

- § *MicroStation CivilPAK* – aplinkos inžinerijos sritis, kuri jungia: geodeziją, topografiją, teritorijų detalųjų planavimą, kelių, gatvių, transporto statinių, magistralinių tinklų ir komunikacijų projektavimą;
- § *MicroStation GeoGraphics* – geoinžinerinės ir geoinformacinės sistemos, kadastras, koordinacių sistemų valdymas, žemėtvarka, teminiai žemėlapiai, nekilnojamo turto ir teritorijų administravimas;

- § *MicroStation Schematics* – pramonės įmonių inžinerijai, pramonės objektų technologinių procesų, vamzdynų sistemų, įrenginių, statybinių konstrukcijų, inžinerinio aprūpinimo sistemų projektavimui;
- § *MicroStation TriForma* – architektūros, statybinių konstrukcijų, vidaus inžinerinių sistemų (šildymo, vėdinimo, oro kondicionavimo, vandentiekio, kanalizacijos ir elektros tinklų) projektavimas.

Konkrečiai industrijos šakai pritaikytas CAD sprendimas, neutralus atskiroms disciplinoms. *MicroStation* konfigūracijos – tai pagrindas modeliavimui, inžinerinės ir konstrukcinės dokumentacijos kūrimui specializuotos industrijos sritims (Popovas 2002):

- § Objektų ir komponentų bibliotekų valdymas;
- § Parametrinis modeliavimas;
- § Brėžinių generavimas;
- § Specifikacijų generavimas

MicroStation TriForma korporacijos sukurta architektūros ir statybos srities programinė įranga, suteikianti vientisą kompiuterinę platformą bei suderintą vartotojo sąveiką statybos pramonės šakai. *Bentley* siūlo vientiso pastato kietakūnį parametrinį modelį visuose realaus objekto gyvavimo etapuose: projektavimo, statybos, eksploatacijoje. Šis trimatis (3D) pastato modelis atlieka grafinės ir skaitmeninės informacijos suderinto duomenų bazės funkcijas (2.10 pav.).



2.10 pav. „Karaliaus Mindaugo“ tilto (Vilniuje) 3D modelis
Fig. 2.10. 3D model of the bridge of “King Mindaugas”

Vientiso pastato koncepcija. Bentley tęstinio statinio projektavimo ir statybos (angl. *The Building Continium*) koncepcija leidžia architektams ir inžinieriams sutelkti dėmesį į užbaigtą 3D pastato modelį, kuriame įdiegtas visos apimties projektas (Eastman *et al.* 2008; Jeong *et al.* 2009), t. y. ne tik architektūrinė ir konstrukcinė, bet ir kita inžinerinė informacija. 2D funkcija: įvairūs brėžiniai bei kiti dokumentai generuojami iš 3D modelio ir automatiškai atsinaujina po modelio pakeitimų. Ši koncepcija leidžia nuolatos vizualiai kontroliuoti įvairius projektavimo etapus, saugoti ir bet kuriuo metu gauti detalią informaciją (Popovas, Šablevičius 2006; Migilinskas, Ustinovichius 2006).

3D modelis (2.10 pav.) *MicroStation TriForma* įdiegtos *Boolean* tipo operacijos leidžia elgtis su formomis ir paviršiais taip, tarsi tai būtų plastiška, lengvai transformuojama medžiaga. Transformavimo sumetimais *MicroStation TriForma* galima sujungti su *Microsoft Excel*. Objektai gali būti sukurti ir modifikuojami parametriškai, įvedant tikslus jų matmenis arba dinamiškai pasirenkant jų gabaritus tiesiog žymekliu ekrane, o paskui juos ištempiant, sustumiant ir t. t. Atsižvelgiant į poreikius, objektai susiejami akivaizdžiais ir paslėptais ryšiais, todėl gerokai pagreitėja projektų keitimo procesas (Popovas 2002).

Projekto vizualizavimas. *MicroStation TriForma* priemonėmis architektas gali surengti klientams pristatymą, sukurdamas profesionalų projekto vizualizavimą tiesiog modelio aplinkoje. Ši įranga vartotojui (užsakovui) siūlo profesionalių kompiuterinės animacijos priemonių, padedančių atlikti objekto pristatymą, atvaizduoti darbų organizavimą (2.11 pav.) ir įvertinti projektinių sprendimų poveikį. Klientas gali apžiūrėti virtualų objektą iš išorės arba „pasivaikščioti“ po jo vidų (Lee, Sacks, Eastman 2006).

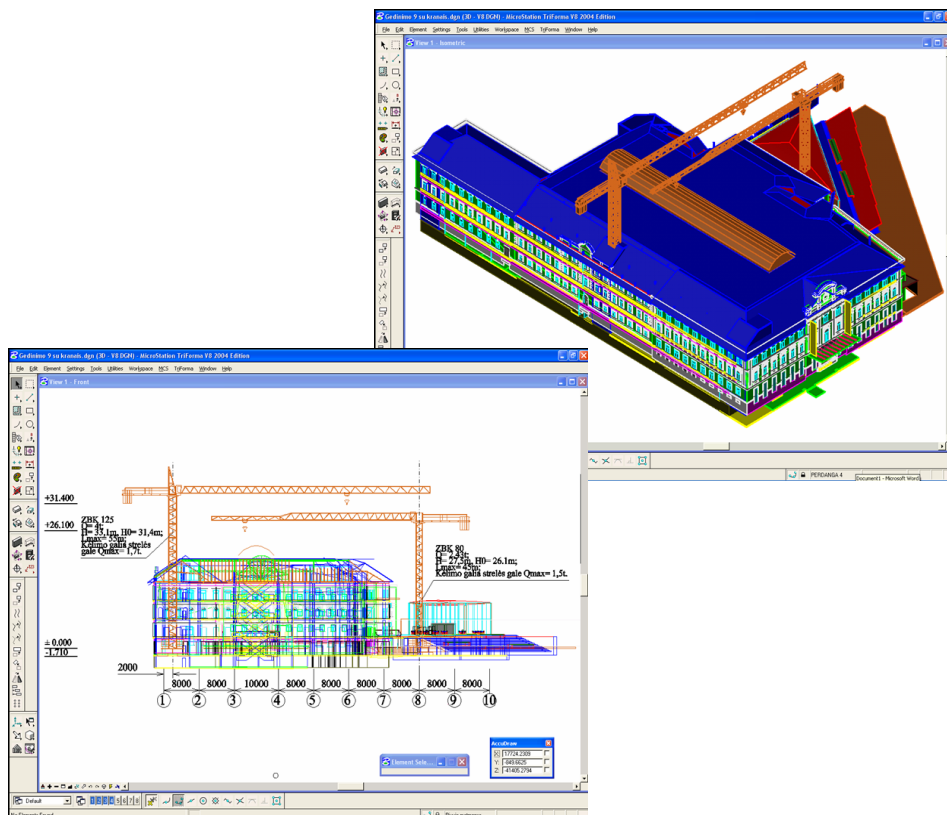
Objektų komponentų bibliotekos. *MicroStation TriForma* turi dviejų tipų tarpusavyje susijusias bibliotekas: komponentų ir parametrinių objektų. Objektų bibliotekos turi parametrinius geometrinius atributus. Komponentų bibliotekose yra galimybė aprašyti kokybinius rodiklius. *MicroStation TriForma* tiekama su duomenų bazių pavyzdžiais ir prototipais (architektūriniais komponentais). Importuoti iš kitų programų bibliotekų objektai arba tiesiog blokai automatiškai tampa *MicroStation TriForma* bibliotekos elementais (Popovas 2002). Planai, pjūviai, fasadai ir detalės generuojami tiesiog iš bendrojo pastato modelio, kaip išvestinis 3D projektavimo proceso produktas, tiesiog „nufotografuojant“ ir įdedant į lapą modelio vaizdą. Brėžiniai gali būti rodomi ir spausdinami bet kokių mastelių pagal vartotojo nustatytus parametrus (teksto dydį, linijų storį, pilkumo toną, spalvų gamą) (Popovas, Šablevičius 2006).

Specifikacijos ir ataskaitos. *MicroStation TriForma* iš pastato modelio generuoja specifikacijas ir ataskaitas, padedančias nustatyti medžiagų ir konstrukcijų kiekius, įvertinti sąnaudas, atlikti produkto biudžeto skaičiavimus. Vieneto kainos gali būti fiksuotos arba kintamos, o tai leidžia atlikti įvairių objekto va-

riantų sąmatinį įvertinimą. Specifikacijos ir ataskaitos gali būti perduotos toliau apdoroti į *Microsoft Word*, *Access*, *Excel* (Mikalauskas, Popovas 2003).

Integracija. Bentley siūlo integruotas programas, skirtas ne tik inžineriniai informacijai kurti, bet ir jai valdyti. *MicroStation TriForma* yra integruoto Bentley produktų portfelio branduolys, o patį portfelį sudaro tokios pagrindinės programos:

- § *Bentley Architectural* – skirta architektūriniam projektavimui;
- § *Bentley Structural* – skirta gelžbetonio, plieno, medžio ir kitų statybinių konstrukcijų projektavimui;
- § *Bentley HVAC* – skirta šildymo, ventiliacijos ir oro kondicionavimo sistemų projektavimui;
- § *Bentley Mechanical ir PlantSpace Piping* – skirta vandentiekio, šildymo, dujų ir technologinių vamzdžių sistemų projektavimui;
- § *Bentley Electrical* – elektros tinklai ir schemas.



2.11 pav. Darbų technologija ir organizavimas modelyje
Fig. 2.11. Work implementation and technology in model

Korporacijos *Bentley Systems* sukurta *Bentley Structural* yra statybos pramonėje pripažinta pastatų ir industrinių įrenginių inžinerijos programinės įranga. Ji pagrįsta unikalia *Bentley* vieningo pastato informacinio modelio koncepcija (BIM), užtikrinančia neribotas virtualios atvaizdavimo (simuliacijos) galimybes, kuriant ir valdant visavertį statinio modelį visuose realaus objekto gyvavimo etapuose: projektavimo, statybos, eksploatavimo ir rekonstrukcijos metu. Ši koncepcija skatina bendradarbiauti, koordinuoti veiklą ir integruoti visus projektavimo proceso dalyvius: architektus, inžinierius, sąmatininkus, rangovus, užsakovus, operatorius (Popovas 2002).

Bentley Structural buvo sukurta, atsižvelgiant į statybos pramonės šakos poreikius turėti lanksčias ir universalias priemones su didesnės integracijos ir patogesnės projektavimo aplinkos galimybėmis. Į konstrukcijų rūšį orientuoti programinių priemonių kompleksai (plieno, gelžbetonio, medžio ir kt.), sujungti su natūraliais darbo eigos metodais. *Bentley Structural* programoje inžinierius gali projektuoti plieniniais, gelžbetonio ar medžio konstrukciniais elementais, atsižvelgdamas į konkrečią planinę, tūrinę situaciją ar tiesiog iš modelio gauti reikalingus vaizdus ir pjūvius bei paversti juos darbo brėžiniais. Juos vėliau galima valdyti tiesiogiai arba keičiant patį modelį. *Bentley Structural* yra neatsiejama *Bentley TriForma* programų šeimos (*TriForma Architectural*, *HVAC for TriForma*, *Plant Space*, *Piping Design*) sprendinių sudėtinė dalis. *Bentley TriForma* priemonėmis įgyvendinta vientisa pastato modelio koncepcija leidžia kitų projektavimo komandų nariams: architektams, inžinerinių tinklų bei pastato įrangos inžinieriams, naudotis savo programiniais moduliais, koordinuoti savo veiksmus su konstruktoriais, kaupti informaciją tame pačiame 3D modelyje, prireikus atlikti sinchronizuotus ir suderintus pakeitimus bei modifikacijas (Eastman *et al.* 2008).

Plieninės konstrukcijos. *Bentley Structural* leidžia visiškai parengti intelektualų parametrinį 3D plieno konstrukcijų modelį. Ši programa turi pasaulinių plieno profilių sortimentą, standartinių detalių ir jungimo elementų bibliotekas, kurios gali būti efektyviai naudojamos kuriant tūrinius modelius arba 2D vaizdus. Montažinės schemas, planai, fasadai, pjūviai ir kiti 2D vaizdai bei specifikacijos generuojami iš modelio. Visi konstrukciniai elementai turi ryšį su duomenų bazėmis, todėl jų žymėjimas ir specifikacijų generavimas yra visiškai automatizuoti. *Bentley Structural* automatiškai pakeičia 3D objektų simbolius į iš anksto nustatytus simbolius 2D atitikmenis (Popovas 2002).

Gelžbetoninės konstrukcijos. Su *Bentley Structural* yra galimybė projektuoti ir keisti suprojektuotus betoninius elementus, o iš anksto parengti pamatų, atramų, polių, perdengimo plokščių, sienų ir pertvarų parametriniai katalogai leidžia greitai generuoti ir redaguoti 3D modelį. Jeigu projektuotojui reikėtų specialių elementų, programa leis sukurti vartotojo nustatytas formas ir saugoti jas modelio duomenų bazėje. Su *Bentley Structural* galima ne tik sustatyti į vietas betoni-

nes sijas, kolonas, sienas bei kitus konstrukcinius elementus, bet ir detalizuoti jų sujungimo mazgus. Intelektinis ryšys su duomenų bazėmis užtikrina galimybę greitai nužymėti armatūrą ir automatizuoti specifikacijos lentelių sudarymą.

Medinės konstrukcijos. Bentley Structural pakete yra specialiai medžio gaminiams projektuoti skirtų priemonių komplektas (integruotas į statybų kompiuterinio projektavimo sistemą). Kuris konstruktoriui leidžia, pritaikant bet kokią esamą sujungimo sistemą, automatizuoti standartinių jungčių sukūrimo procesą, spręsti pačius sudėtingiausius erdvinio supjovimo uždavinius ir pateikti gamintojui ar statytojui tiksliai apskaičiuotus konstrukcinius elementus (Popovas 2002).

Medžiagų sąnaudų lentelės, specifikacijos, sąmatos. Bentley Structural iš bendrojo pastato modelio sudaro ataskaitas, padedančias nustatyti medžiagų kiekius ir sąnaudas, atlikti sąmatinį konstrukcinės dalies įvertinimą. Komponentų kiekis ir kaina gali būti skaičiuojami atsižvelgiant į geometrinius parametrus: ilgį, plotį, tūrį, arba pagal nustatytą taisyklę. Ataskaitos ir specifikacijos gali būti perduotos toliau apdoroti į automatizuotas biuro priemones (pavyzdžiui Microsoft Word, Access arba Excel) (Mikalauskas, Popovas 2003).

Analitinės priemonės, integracija ir bendradarbiavimas. Bentley Structural turi integruotus konstrukcijų elementų kalkuliatorius, kurie leidžia preliminariai parinkti skerspjūvį pagal žinomą elemento padėtį, funkciją, veikiančias apkrovas ir pasirinktus projektavimo parametrus. Bentley Structural yra integruota su statybinių konstrukcijų skaičiavimo ir projektavimo sistemomis STAAD/Pro, GT STRUDL ir MIDAS. Programa perskaito ir įrašo daugelį standartinių formatų, įskaitant SDNF, CIMSteel CIS 2.0, Frameworks Plus, DWG, DXF, IGES, CGM, GRD, STEP AP203, VersaCAD. Tai ne tik užtikrina jos integraciją su kitomis standartinėmis programomis, bet ir užmezga ryšį su konstrukcijų gamintojais, nes leidžia asocijuoti gaminių modelius arba brėžinius su skaitmeninių staklių valdymo programų formatais (Popovas 2002).

2.5. Antrojo skyriaus išvados

1. Išanalizavus statybos projekto įgyvendinimo etapus ir dalyvių veiksmus autorius nustatė, kad nuolatinės abipusės informacijos trūkumas tarp projekto įgyvendinimo dalyvių neatitinka Darniosos statybos reikalavimų ir neigiamai veikia statybos projekto įgyvendinimą: ilgina statybos trukmę; sukelia nenumatytų išteklių poreikį; sugriauna darbuotojų, mechanizmų ir medžiagų poreikio planavimą bei tiekimą į statybos objektą.
2. Nustatyta, kad neapibrėžtumų valdymas – viena aktualiausių problemų statyboje, kuri daro poveikį statybos skaičiuojamajai kainai ir darbų trukmės nustatymui bei jų tikslumui.

3. Mokslinėje literatūroje pastebėta, kad visuose statybos projekto rengimo ir įgyvendinimo etapuose galima įvertinti galimų sprendinių kainą, numatyti alternatyvius sprendimus ir juos optimizuoti. Tačiau efektyviausia tai daryti pradinio projekto rengimo (bet ne vėliau nei projektavimo darbų) etapu.
4. Įvertinus daugelio mokslininkų atliktų tyrimų medžiagą akcentuojamas darbuotojų kvalifikacijos kėlimo ir įmonių profesinio ugdymo bei tęstinio mokymo poreikis, kuris kaip žmogiškasis faktorius sukelia neapibrėžtumų, didina paklaidas ir tiesiogiai veikia statybos projektą.
5. Nustatyta, kad galima sumažinti riziką bei neapibrėžtumus, naudojant automatizuotas projektavimo sistemas ir projekto įgyvendinimo atvaizdavimą (angl. *Simulation*), tačiau dauguma siūlomų sprendimų iš dalies sprendžia šią problemą, bet nepakankamai tenkina projekto dalyvių poreikius. Reikia priemonių, įrankių ar metodų (metodologijų), kurie padėtų valdyti visą projektą kaip vieną sistemą.

3

Neapibrėžtumų valdymas statyboje

Šiame skyriuje pateikiami neapibrėžtumai ir galimi jų padariniai įgyvendinant statybos projektą, aiškinami rizikos valdymo procesai ir su jais susiję sprendimai. Pateikiami autoriaus siūlymai: kokių veiksmų imtis norint palengvinti statybos projekto sprendimų priėmimą esant neapibrėžtumams; aprašomas rizikos skirstymas ir klasifikavimas (identifikuoti riziką sukeliančius šaltinius ir rizikos atvejus). Autorius analizuoja bei detalai aprašo kompleksinius automatizuoto projektavimo ir informacijos valdymo statybos projektuose sprendinius pagal 4D PLM koncepciją, kurie kaip bendra priemonė (metodika) gali būti naudojami valdant statybos projektą ir ženkliai mažinant neapibrėžtumus. Pateikiama alternatyvų analizės ir optimizavimo strategijų apskaičiavimo metodų analizė su naudojimo rekomendacijomis viso statybos projekto ciklo metu.

Skyriaus tematika paskelbti septyni autoriaus straipsniai.

3.1. Neapibrėžtumų šaltiniai

Sprendžiant ankstesniuose skyriuose pateiktus uždavinius ir taikant arba netaikant minėtas priemones (metodikas) suprantama, kad neapibrėžtumai ir rizikos sukelia problemų įgyvendinant statybos projektą (Migilinskas, Ustinovichius

2006). Ši skyriaus dalis parengta norint išaiškinti neapibrėžtumus sukeliančias priežastis ir situacijas įgyvendinant statybos projektus. Toliau pateikiamose 3.1–3.5 lentelėse (Migilinskas, Ustinovičius 2008) autorius aprašo neapibrėžtumus sukeliantys šaltinius ir galimas pasekmės. Šaltiniai ir pasekmės sugrupuotos į penkias grupes siekiant išskirti neapibrėžtumų šaltinių pobūdį ir parengti metodika neapibrėžtumams valdyti.

3.1 lentelė. Neapibrėžtumų šaltiniai ir pasekmės dėl žemos darbuotojų kvalifikacijos ir profesinio parengimo

Table 3.1. Sources of uncertainties and the consequences due low-skilled workers and lack of professional training.

Pasekmės dėl žemos darbuotojų kvalifikacijos ir profesinio parengimo:	
1.	Nekvalifikuotas personalo gali sugriauti net ir labai gerai parengtą ir organizuotą projektą su idealiai parengtais projektavimo dokumentais
2.	Laiko gaišimas ir projekto įgyvendinimo efektyvumą mažinantys veiksniai dėl užsispyrusio konservatyvumo, o ne atvirų pažiūrų ir naujovių naudojimo
3.	Nepakankama rangovų kvalifikacija (nėra patirties vykdant panašios apimties projektus, nepakanka profesinių žinių, trūksta atitinkamo projekto valdymo įgūdžių) gali sukelti delsimus įgyvendinant projektą ir sudaryti papildomas sąnaudas rangovų klaidoms taisyti

3.2 lentelė. Neapibrėžtumų šaltiniai ir pasekmės dėl netinkamai suplanuotų darbų ir sąmatose neįvertintų darbų apimčių

Table 3.2. Sources of uncertainty and the consequences due not properly planned work and not evaluated scope of work in estimates

Pasekmės dėl nesuplanuotų darbų ir sąmatose neįvertintų darbų apimčių:	
1.	Vėlavimai dėl „padidėjusių“ (neįvertintų) darbų apimčių ir išteklių trūkumas (neplanuotas darbo jėgos, medžiagų ir mechanizmų poreikis) jiems įgyvendinti
2.	Gana žemos kokybės darbai dėl vėlavimų ir skuboto darbų atlikimo, nusižengiant statybos technologijos ir darbų kokybės reikalavimams (dažnai, kai nepakanka laiko atlikti darbus, rangovas bando juos daryti paskubomis ir dėl to nukenčia atliekamų darbų kokybė)
3.	Išlaidų didėjimas dėl projektavimo ir statybos darbų spartinimo (užsakovui įdiegtus problemas sprendžiančius pakeitimus, o projektuotojui vėluojant atlikti pakeitimų projektavimo darbus ar rangovui nespėjant įgyvendinti pakeistų darbų apimtį)
4.	Nenumatytos statybos aikštelės išlaidos dėl pailgėjusios statybos trukmės (laikino aptvėrimo ir buitinių patalpų nuoma, statybos aikštelės apsauga, statybos aikštelės personalo algos ir valdymo išlaidos)
5.	Vėluojanti investicijų grąža ir nenumatytų užsakovo išlaidų augimas, susijęs su įsipareigojimais bankui ar kitam investavimo šaltiniui.

3.3 lentelė. Neapibrėžtumų šaltiniai ir pasekmės dėl valdymo priemonių trūkumo, neefektyvus ir neracionalaus darbų organizavimo

Table 3.3. Sources of uncertainty and the consequences due lack of management tools, inefficient and wasteful labor planning

Pasekmės dėl valdymo priemonių trūkumo, neefektyvus ir neracionalaus darbų organizavimo:	
1.	Neigiama įtaka projektavimo ir statybos procesams dėl projekto valdymo priemonių trūkumo. Profesionaliai parengta projektinė medžiaga turi būti valdoma bent jau to paties lygio priemonėmis (programinė įranga, techninė įranga ar mechanizmais)
2.	Neefektyvus darbų organizavimas dėl kalendorinio darbų vykdymo grafiko nebuvimo ar nenaudojimo, organizuojant statybos darbus, nesant darbo srautų (grandžių, brigadų ar subrangovų) organizavimo darbo zonose, aukštuose ir pastato dalyse
3.	Neracionalus skirtingų darbo rūšių atlikimas (karkaso darbai, pertvaros, apdaila, inžinerinės sistemos ir pan.) nuosekliai, t. y. neišnaudojant galimybių atlikti skirtingus darbus vienu metu arba atlikti kitus darbus tik baigus dideles vienu darbų apimtis (baigus visą aukštą ar visą statinio dalį) užuot sudalijus darbo vietas į smulkesnes dalis – plotus.

3.4 lentelė. Neapibrėžtumų šaltiniai ir pasekmės dėl nevieningo (neunifikuoto) komunikavimo ir nestandartizuotos „projekto kalbos“

Table 3.4. Sources of uncertainty and the consequences due heterogeneous (non-unified) communication and non-standardized “project language”

Pasekmės dėl nevieningo (neunifikuoto) komunikavimo ir nestandartizuotos „projekto kalbos“:	
1.	Neunifikuotų terminų ir apibrėžimų vartojimas projektavimo dokumentuose klaidiną susišnekėjimą ir supratimą tarp projekto dalyvių grupių ar net tarp projekto komandos narių
2.	Netvarkingas ir nestandartizuotas projektavimo dokumentų valdymas sukelia chaosą (pvz., bereikalingas dokumentų ir valdymo procedūrų dubliavimas, esamų ar net galutinių techninių bei darbo projektų dokumentų revizijos ir vykdymo dokumentų trūkumas)
3.	Esant neklasifikuotoms statybos projekto darbų stadijoms ir nesilaikant kompanijos procedūrų (taisyklių) arba projektą įgyvendinant visai be procedūrų, susidaro laiko gaišatis, dubliuojamos atsakomybės ir procedūros, nekoordinuojami darbai tarp projekto komandos narių ar net projekto dalyvių
4.	Skirtingi projektavimo medžiagos (brėžiniai projektavimo metu rengiami skirtingomis programinėmis priemonėmis) ir projekto dokumentų duomenų formatai (prarandamas laikas ir kokybė keičiant formatus) kaip pagrindinė laiko gaišimo priežastis gali sukelti komunikavimo trukdžių ir kliudyti galimybę įgyvendinti projektą

3.5 lentelė. Neapibrėžtumų šaltiniai ir pasekmės dėl neaiškių atsakomybės ribų ir griežtų sutartinių įsipareigojimų nebuvimo

Table 3.5. Sources of uncertainty and the consequences due unclear responsibilities and lack of strict contractual obligations

Pasekmės dėl neaiškių atsakomybės ribų ir griežtų sutartinių įsipareigojimų nebuvimo:	
1.	Neapibrėžtos atsakomybių ribos gali sudaryti užsakovui išlaidų apmokant rangovui už nenumatytas papildomas darbų apimtis, ir atvirkščiai – užsakovas gali reikalauti rangovo atlikti nenumatytus darbus pagal sutartyje nurodytas atsakomybių ribas (rangovas savo sutartinėje kainoje privalo numatyti visas galimas projekto išlaidas, o kaina turi būti gana žema norint laimėti konkursą ir pasirašyti sutartį)
2.	Dviprasmiai sutartiniai įsipareigojimai dažnai yra pagrindinė nesutarimų priežastis tarp užsakovo ir projektuotojo, užsakovo ir rangovo arba generalinio rangovo ir subrangovo
3.	Darbo jėgos, medžiagų ir mechanizmų trūkumas dėl atsiradusios didelės paklausos, mažos pasiūlos ir išpūstų kainų statybos rinkoje gali neigiamai paveikti projekto įgyvendinimą, neturint ilgalaikių bendradarbiavimo sutarčių su tiekėjais, gamintojais ar subrangovais.

Tęsiant neapibrėžtumo šaltinių analizę parengiama metodika ir pateikiami sprendiniai, kurie, taikomi viso projekto gyvavimo metu, gali užtikrinti pakankamą neapibrėžtumų valdymą.

3.2. Neapibrėžtumų ir rizikos valdymo būdai

Labai svarbi statybos proceso modeliavimo dalis yra statybos uždavinių sprendimą neapibrėžtumo sąlygomis. Todėl reikia paaiškinti rizikos valdymo procesus ir su jais susijusius sprendimus, skirtus statybos projektui valdyti per visą gyvavimo laikotarpį (Migilinskas, Ustinovichius 2006), taip pat pateikiami pasiūlymai kaip, kada ir kokių veiksmų reikia imtis, norint palengvinti projektinių sprendimų priėmimą esant neapibrėžtumams.

Pasirenkant patį efektyviausią investicinį variantą statyboje susiduriama su esmine problema – dažniausiai nepakankamai įvertinami realūs išteklių poreikiai. Todėl čia pateikiami efektyvumo rodikliai, kurie labiausiai veikia tolesnį alternatyvų lyginimą (Ustinovichius, Zavadskas, Podvezko 2007). Aprašomas realus informacinių srautų valdymo tarp visų statybos dalyvių modelis, pabrėžiamas nuolatinių abipusių informacijos srautų trūkumas tarp projektavimo darbų ir statybos darbų stadijų.

Siekiant išs্পęsti esamą problemą, kuriamas teorinis trimatis (3D) statinio informacinis modelis, kuris sujungiamas su išteklių poreikio skaičiavimais, alternatyvų palyginimu ir visų investicinio projekto gyvavimo ciklų trukmių nu-

statymu. Programinė įranga, paremta šiuo jungtiniu 4D PLM modeliu, turi būti sukurta kaip priemonė, siekiant operatyviai valdyti investicinį projektą, pradedant planavimu, projektavimu, ekonominiais skaičiavimais, statyba bei toliau valdant pastatytą statinį ir jį utilizuojant.

Apibendrinant nagrinėtus neapibrėžtumų šaltinius, galima taikyti neapibrėžtumų valdymo metodiką (Migilinskas, Ustinovičius 2008), kaip konkrečių laipsniškai įgyvendinamų sprendinių sąrašą:

1. Prieš pradedant statybos darbus, patartina tiksliai įvertinti darbų apimtį (kiekius), sudarant 3D modelius. Taip vėliau išvengiama padarinių dėl neapibrėžtumų ir netinkamai įvertintos (nepakankamai tiksliai) konkursinės kainos.
2. Sukurtą 3D modelį naudojant prieš statybą, virtualiai atvaizduojamas (modeliuojamas) statybos procesas (su realia išankstine projekto problemų nustatymo galimybe), planuojami ir organizuojami darbai, o naudojant 3D statybų metu greitai ir realiai įvertinami pakeitimai bei numatomos galimos problemos.
3. Užsakovas (investuotojas) turėtų pasirinkti rangovus, turinčius priimtina kvalifikaciją (Cardoso Teixeira et al. 2006), sukaupusius pakankamą patirtį, patikimus ir atsakingus, su adekvačiomis finansinėmis ir išteklių valdymo galimybėmis, priimtinais gamybiniais pajėgumais, turinčius gamybinę bazę, efektyviai veikiančią techninę ir programinę įrangą.
4. Aiškios atsakomybių ribos turi būti apibrėžtos konkrečiais sutartiniais įsipareigojimais. Dažnai pasitaikančių problemų ir jų pasekmių numatymas turėtų būti įtrauktas į sutartis (Mitkus, Trinkūnienė 2006; Ustinovičius et al. 2008). Rangovui patartina turėti ilgalaikio bendradarbiavimo sutartis su gamintojais, tiekėjais ir subrangovais.
5. Sprendiniai turi remtis griežtai nustatytais komunikavimo ir projekto kalbos reikalavimais, unifikuotomis bei nuolat taikomomis darbo taisyklėmis ir procedūromis.

Šiuo metu rizikos valdymo procesų analizė ir valdymas yra viena svarbiausių vystymo šakų (Kendrick 2003). *The Association of Project Managers* (APM) sukūrė PRAM (angl. *Project Risk Analysis and Management*) (Del Caño, Pilar de la Cruz 2002; Chapman, Ward 2003) pagal tipinę rizikos valdymo sistemų modelį. PRAM apibrėžia rizikos procesą aprašančias fazes. *The Institution of Civil Engineers Engineers* ir *Faculty and Institute of Actuaries* (Tah, Carr 2001) parengė išsamią procesų valdymo priemonę RAMP (angl. *Risk Analysis and Management for Projects*), sukurta visam projekto gyvavimo laikotarpiui. RAMP architektūra atitinka sudėtingą daugelio lygių blokinę struktūrą.

Informacijos trūkumas sukelia neapibrėžtumų, tokiu atveju sprendimai gali būti priimami taikant lošimų teorijos metodus. Statybos projekto alternatyvoms,

analizuoti ir palyginti patartina naudoti daugiakriterinę (daugiatiksle) sprendimų paramos sistemą (Zavadskas, Peldschus, Ustinovichius 2003; Migilinskas, Ustinovičius 2008).

Įvertinimo metu neįmanoma numatyti visų galimų nuokrypių nuo projekto išlaidų ir įgyvendinimo laiko, tačiau netinkamas planavimas ir įvertinimas gali nutraukti projektą (*Pvz.* Jei užsakovas gaus pakankamai pelno nuo anksti užbaigtų statybos darbų, tai bus sėkmingas projektas, netgi jeigu išlaidos bus viršytos).

Projekto valdymo metodai, kaip projekto neapibrėžtumų mažinimas ir projekto sėkmės didinimas, gali būti atliekami šiais būdais (priemonės statybos projektų rizikai ir neapibrėžtumams valdyti) (Migilinskas, Ustinovičius 2008):

- § Tikslus darbų apimčių (kiekių) nustatymas naudojant 3D pastato informacinį modelį.
- § Aktyvus planavimas ir ateities modeliavimas (*simulation*) – „žinant“ ateities grėsmes galima iš esmės keisti sprendimus.
- § Kvalifikuoto ir potencialaus personalo bei rangovų pasirinkimas.
- § Ankstyvas problemos ir jos šaltinio nustatymas efektyviomis projekto valdymo priemonėmis.
- § Apibrėžti sutartiniai įsipareigojimai ir aiškios atsakomybių ribos mažina neaiškumus.
- § Patobulintas informacijos perdavimas ir unifikuota bendravimo terminija (sprendžiant įprastą projektų nesėkmės problemą – nesusišnekėjimą).

Daugelyje mokslinių darbų nagrinėjami statybos projektų aspektai (Ustinovichius, Zavadskas, Podvezko 2007; Šarka *et al.* 2008), analizuojama jų struktūros specifika, alternatyvų vertinimo metodų taikymas ir tinkamumas bei įgyvendinimo principai (Zavadskas *et al.* 2002). Tačiau mokslininkai nepakankamai įvertina vertinimo duomenų tinkamumą, tikslumą ir metodų bei priemonių patikimumą. Todėl būtina efektyvumo rodiklių, jų dydžių nustatymo ir nustatymo tikslumo įtakos tolesniam investicinių alternatyvų lyginimui prevencija. Taip pat bus pagrindžiamas 4D koncepcijos modelio naudojimas valdant investicinį projektą.

3.3. Rizikos įvertinimo ir valdymo priemonės

Šiame poskyryje supažindinama su rizikos skirstymo ir klasifikavimo koncepcija. Tai naudinga siekiant identifikuoti riziką sukeliančius šaltinius ir rizikos atvejus bei numatyti potencialias kiekvieno projekto problemas rizikos svarbumo atžvilgiu. Žmonių suvokiama rizika dažnai nėra reali, todėl klasifikavimo siste-

ma galėtų gerokai pagerinti suvokimą. Čia pateikiami keli klasifikavimo sistemų pavyzdžiai, kurie galėtų būti naudojami statybos projektuose.

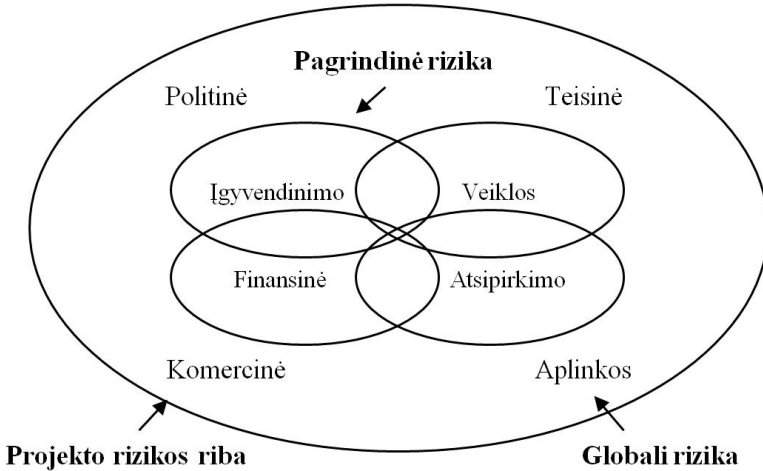
Daugelis mokslininkų analizavo riziką ir neapibrėžtumus statyboje (Smith 1999; Del Caño, Pilar de la Cruz 2002; Galway 2004; Zavadskas, Peldschus, Ustinovičius 2003; Xu, Wang, Shi 2001; Kendrick 2003; Ustinovičius, Turskis, Ševčenko 2008) bei akcentuoja, kad rizikos klasifikavimo procesas padeda nustatyti riziką ir parinkti atitinkamą rizikos valdymo strategiją (Huchzermeier, Loch 2001; Galway 2004). Tah and Carr (2001) skirsto rizikas, susijusias su vidinių išteklių valdymu ir išorine aplinka (Tah, Carr 2001). Panašus skirstymas grindžiamas galimybių valdymu (Smith 1999). Merna ir Smith 1996 m. pasiūlė skirstyti į globalias ir projekto dalis veikiančias rizikas (Smith 2003).

Rizika nėra standartizuota, vienoda ar pastovi, o asmeninis jos suvokimas nebūtinai yra tikslus (Kendrick 2003). Nagrinėjamo didelio statybos projekto vystymas dažniausiai bus rizikingesnis nei keli mažesnės apimties projektai, net jei įvertinamas augantis didelių vystymo projektų skaičius. Kodėl taip yra? Todėl, kad rizika turi būti trumpalaikė, o veikla – specifinė ir (arba) lengvai kontroliuojama. Kilus daugiau rizikų dar nereiškia, kad jas bus sunkiau suvaldyti. Norint teisingai įvertinti rizikų įtaką, reikėtų žinoti, kaip nustatyti rizikos šaltinius ir padarinius padaryti kontroliuojamus (kontroliuoti riziką) (Ustinovičius, Turskis, Ševčenko 2008). Taip pat turi būti aiškus supratimas apie lokalias (vietines), globalias ir ribines (ekstremalias) rizikas (3.2 pav., a) (Smith 1999), jų pasitaikymo tikėtinumą bei galimybes jas valdyti. Kaip matome 3.2 pav. b dalies, kuo toliau nuo projekto (ar įmonės) valdymo struktūros nutolęs rizikos šaltinis, tuo labiau mažėja galimybė valdyti ir kontroliuoti tą riziką, t. y. projekto laiko ir kainos kitimo riziką įmanoma suvaldyti, o politinių ar valiutų kursų klausimus kontroliuoti labai sunku, gamtos nelaimių ir streikų rizikas paveikti beveik neįmanoma.

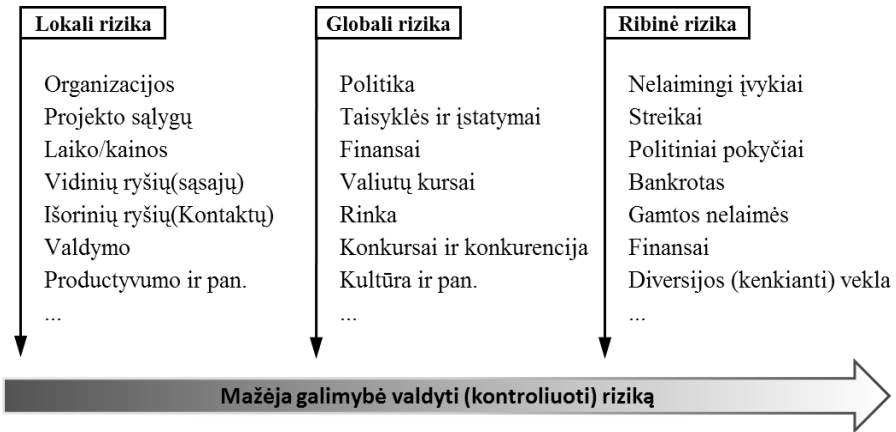
Esminis projekto įkainojimo aspektas – rizikos sumažinimas iki investuotojui (užsakovui) priimtino lygio (Shevchenko, Ustinovičius, Andruškevičius 2008). Šiuo požiūriu rizika gali būti priimtina priklausomai nuo (Migilinskas, Ustinovičius 2008):

- § Reikšmingumo ir naudos, t. y. kuo didesnė nauda arba kuo greitesnis atsipirkimas, tuo didesnė rizika yra priimtina.
- § Rizikos dydžio, t. y. kiekvienas suvokia riziką skirtingai ir turi savitą pakantumą rizikai (rizikos toleranciją).
- § Laiko būsenos, t. y. kadangi rizika yra ateities įvykio įvertinimas, tai laikas daro įtaką jos suvokimui ir tai, kas šiandien atrodo kaip rizika, rytoj gali būti įprasta (aiški) būseną.

a)



b)



3.1 pav. Galimi rizikos klasifikavimo būdai: a) pagal statybos projekto rizikos ribas; b) pagal galimybę valdyti (kontroliuoti) riziką
Fig. 3.1. The ways of risk classification: a) according to boundaries of construction project's risk; b) according to possibility to control risk

Šis rizikos priimtumo procesas prasideda realiu visų įkainojimo metu nustatytų neapibrėžtumų, susijusių su projekto duomenimis ir prognozėmis, įvertinimu (Ustinovičius, Migilinskas *et al.* 2007). Dauguma neapibrėžtumų gali lemti rezultatus, kurie yra geresni arba blogesni nei buvo prognozuojama.

Rizika kyla iš neapibrėžtumų ir įprastai suprantama kaip neigiamą poveikį projekto siekiamiems tikslams (apimčiai, grafikui, kainai ir kokybei) turintys veiksniai, todėl sumažinus neapibrėžtumus sumažėja ir rizika įgyvendinti staty-

bos technologinius ir ekonominius uždavinius. Kad ir kokia būtų įmonės veikla statybos šakoje, ji tiesiogiai siejasi su žmogaus atliekamam darbu (paslaugomis) statybos aikštelėje (darbo vietoje). Dėl to egzistuoja potenciali neigiamo poveikio (žalos) galimybė. Žala žmogui, turtui ar aplinkai galiausiai gali tapti žala įmonės veiklai ar įmonės įvaizdžiui. Galima sumažinti arba net išvengti žalos naudojant ORA (angl. *Operational Risk Assessment*) – operatyvinę rizikos analizę tiek vienai operacijai, tiek atskiram projektui, tiek visai įmonės veiklai (Competitive Contracting Manual 2005; Migilinskas, Ustinovičius 2008).

Efektyviai riziką sumažinti įmanoma tik tada, kai operatyvinė rizikos analizė kaip priemonė naudojama įmonės strateginiam valdymui (Migilinskas, Ustinovičius 2008). Siekiant sumažinti potencialius žalos šaltinius statybos aikštelėje (darbo vietoje), reikalinga struktūrizuota priemonė, kuria užtikrinamas veiksmų rizikos įvertinimo patikimumas tiek siaurąja (darbų ir procesų saugos užtikrinimo), tiek plačiąja (įmonės tikslų įgyvendinimo) prasme (Smith 1999; Tah, Carr 2001; Kendrick 2003; Shevchenko, Ustinovičius, Andruškevičius 2008). Operatyvinės rizikos analizės privalumus gali panaudoti kiekviena įmonė, organizuojanti ir valdanti procesus, atliekamus darbo jėgos: statybos ranga, remontas ir rekonstrukcija, darbas su kėlimo įranga, nuotolinių priemonių naudojimas ir darbų sauga. Naudojant šią priemonę lengviau nustatyti operacijų silpnąsias vietas ir įvertinti jų sukeltą pavojų kiekybine rizikos išraiška – atkreipiant dėmesį. Įprastu atveju operatyvinės rizikos analizę sudaro šios dalys (Competitive Contracting Manual 2005):

- § darbinės veiklos aprašas;
- § pavojaus identifikavimas;
- § esamų valdymo priemonių identifikavimas;
- § rizikos lygių nustatymas (3.6–3.8 lentelės);
- § analizė ar rizika pakenčiama ar ne (3.6–3.8 lentelės);
- § rizikos perkėlimo – sumažinimo priemonės;
- § kiekybinė rizikos perkėlimo – sumažinimo ir kainos bei naudos analizė (atliekama esant išsamesnės analizės poreikiui).

3.6 lentelė. Rizikos įvertinimo lentelės aritmetinė-loginė išraiška

Table 3.6. The arithmetic-logical expression of risk assessment table

Tikėtinumumas Pasekmės	Mažas (M)	Vidutinis (V)	Didelės (D)
Didelės (D)	$D \times M = V$	$D \times V = D$	$D \times D = D$
Vidutinės (V)	$V \times M = M$	$V \times V = V$	$V \times D = D$
Mažos (M)	$M \times M = M$	$M \times V = M$	$M \times D = V$

Pradedant darbinės veiklos aprašu pradedama ORA analizė, vėliau indentifikuojami galimi pavojaus šaltiniai ir pradedamos ieškoti priemonės neapibrėžtumų ir rizikos valdymui. Tiksliam rizikos valdymo priemonių parinkimui būtina parengti rizikos įvertinimo lenteles (3.6, 3.7 ir 3.8) (Smith 1999; Competitive Contracting Manual 2005; Migilinskas, Ustinovičius 2008). Įvairūs šaltiniai bendrais bruožais ir sąvokom aprašo rizikos įvertinimo lentelių naudojimo metodiką leisdami vartotojui pačiam pasirinkti jam labiausiai tinkančią.

Lentelėse naudojami kokybiniai įvertinimo rodikliai, t.y. tikėtumas ir pasekmės bei rizikos lygiai (rizikos įvertinimai).

Tikėtinumo reikšmių paaiškinimas (Smith 1999; Competitive Contracting Manual 2005):

- § **Neabejotinas** – Neabejojama kad įvyks (tikimybė 90-99%, vidurkis 95%);
- § **Tikėtinas** – Dažniausiai įvyksta (tikimybė 70-89%, vidurkis 75%);
- § **Vidutinis** – Kartais įvyksta, o kartais ne (tikimybė 30-69%, vidurkis 50%);
- § **Netikėtinas** – Nelaukiamas, bet gali įvykti (tikimybė 10-29%, vidurkis 25%);
- § **Retas** – Įmanomas, bet būtų tikra staigmena (tikimybė 1-9%, vidurkis 5%).

Toliau pateikiamas dėl rizikos atsiradusių pasekmių reikšmių aprašymas su sprendimų gairėmis (skliausteliuose) (Competitive Contracting Manual 2005):

- § **Ribinės (kraštutinės) žalos** – Pasekmės gali įtakoti ne tik paslaugos ar veiksmo, bet ir visos organizacijos gyvbingumą, gali sukelti rimtų problemų akcininkams ir sutrikdyti paslaugų teikimą (turi būti eliminuota arba perkelta kitiems);
- § **Didelės žalos** – Pasekmės gali įtakoti ne tik paslaugos ar veiksmo, bet ir visos organizacijos gyvbingumą, gali sukelti rimtų problemų akcininkams ir sutrikdyti paslaugų teikimą (reikia vengti arba perkelti kitiems, būtina aktyviai valdyti);
- § **Vidutinės žalos** – Pasekmės iš esmės nepakeis paslaugos, bet gali tekti peržiūrėti valdymo ir atlikti organizavimo reformas (priėmus turi būti aktyviai valdoma);
- § **Nedidelės žalos** – Pasekmės gali įtakoti paslaugos efektyvumą arba paslaugos dalį, bet tik kaip įmonės viduje išsprendžiamas trukdis (gali būti priimama ir valdoma);
- § **Nereikšmingos žalos** – Visos pasekmės išsprendžiamos kasdienių klausimų sprendimo būdais (Gali būti ignoruojama arba išsprendžiama).

Rizikos lygių aprašymas:

- § **Nepakenčiama** – Turi būti valdoma naudojant detalius rizikos valdymo planus suderintus su aukščiausio lygio vadovybe;
- § **Didelė** – Reikalingi detalūs tyrimai ir griežtos planavimo priemonės;
- § **Reikšminga** – Raikalingas aukščiausio lygio vadovybės sprendimas ir rizikos valdymo planai;
- § **Ženkli** – Raikalingas aukščiausio lygio vadovybės sprendimas ir kontrolė;
- § **Vidutiniška** – Reikalingas rizikos valdymas naudojant specifines kontrolės ir atsakomojo ryšio priemonės;
- § **Pakenčiama** – Gali būti valdomas naudojant įprastas rizikos valdymo procedūras;
- § **Nežymi** – Dažniausiai nereikalauja specifinių išteklių naudojimo ir gali būti valdoma priimant tiesioginį sprendimą.

3.7 lentelė. Kokybinės rizikos analizės lygių metodikos aprašymas

Table 3.7. The description of the methodology for qualitative analysis of risk levels

		Pasekmės				
		Nereikšmingos žalos	Nedidelės žalos	Vidutinės žalos	Didelės žalos	Kraštutinės žalos
Tikėtumas	Neabejotinas	Nežymi	Reikšminga	Didelė	Nepakenčiama	Nepakenčiama
	Tikėtinas	Nežymi	Ženkli	Reikšminga	Didelė	Nepakenčiama
	Vidutinis	Nežymi	Vidutiniška	Ženkli	Reikšminga	Didelė
	Netikėtinas	Nežymi	Pakenčiama	Vidutiniška	Ženkli	Reikšminga
	Retas	Nežymi	Nežymi	Pakenčiama	Vidutiniška	Ženkli

3.8 lentelė. Rizikos (įvykio) įvertinimo lentelė

Table 3.8. The Risk (occurrence) assessment table

Pasekmės \ Tikėtumas	Truputį žalinga	Žalinga	Labai žalinga
Tikėtinas	Vidutiniška	Žymi	Nepakenčiama
Netikėtinas	Pakenčiama	Vidutiniška	Žymi
Visiškai netikėtinas	Nereikšminga	Pakenčiama	Vidutiniška

Peržvelgus skirtingų mokslininkų medžiagą galima pastebėti panašias rizikos vertinimo lentelių tendencijas, išsamiausia yra 3.7 lentelė (Competitive Contracting Manual 2005), tačiau paprasčiau naudoti autoriaus supaprastintą jos versiją kartu su siauresniu aprašymų sąrašu. Kiekvienas projekto dalyvis gali taikyti skirtingas įvertinimo metodikas (supaprastintas, įprastas ar detalias – sudėtingas), koreguoti kiekybinių įvertinimo rodiklių reikšmes pagal poreikį, tačiau bendra rizikos valdymo priemonės ORA nauda yra tokia (*Lloyd's Register – Life matters* www.lr.odg 2006.04):

1. Identifikuojant potencialius rizikos šaltinius, jų žalos dydį bei pasekmes, galima rekomenduoti priemones, kurios padės sumažinti riziką ir sušvelninti žalą.
2. Padeda pasiekti įmonės ar projekto tikslus bei sumažinti nesėkmės galimybę (svarbu per daug nepervertinti rizikos pasekmių).

Apibendrinant pasakytina, kad kiekvienas statybos projekto dalyvis supranta savo priimamų ar atliekamų veiksmų riziką, kurią reikia įvertinti ir valdyti įgyvendinus projektą:

- § Rizika užsakovo požiūriu kaip galimybė investuoti į skirtingus verslus ar statinius.
- § Rizika projektuoto požiūriu kaip galimybė laiku ir gerai suprojektuoti statinį, projektavimo sklandumo ir užsakovo norų aiškumo įvertinimas, galimos kliūtys su savivaldos institucijomis dėl statybos vietos ar paties projektuojamo statinio atitikties normatyviniams dokumentams.
- § Rizika rangovo požiūriu kaip galimybė naudoti darbo priemonės ir darbuotojų užimtumas krizės laikotarpiu arba įmonės vystymasis (pelnas) ir galimų galingumų didinimas (plėtra).
- § Rizika galutinio pirkėjo požiūriu kaip investavimo į skirtingos kokybės ir vertės nekilnojamąjį turtą galimybė.

3.4. Automatizuotas sąmatų skaičiavimas ir statybos projekto valdymas

Suderintas architektų ir konstruktorių darbas pagal statytojo poreikius turi būti pagrįstas tiksliais ir tinkamais technologiniais sprendimais bei įvertintas, atliekant sąmatinius skaičiavimus (Mikalauskas, Mikalauskas 2002). Sprendimai ir skaičiavimai turi atitikti galiojančius noramyvnius reikalavimus (Europos darnūs standartai, Eurokodai, STR ir pan.). Dažniausiai skaičiavimus atlieka statybos kompanijos, kurios turi tam parengtų kvalifikuotų darbuotojų padalinius (Mikalauskas 2003). Tiek projekto autoriai, tiek statybos kompanijos, skaičiuodami

objekto statybos vertę ar analizuodami galimų pakitimų įtaką objekto statybos vertei, naudojasi savo sukurtais ar visuotinai pripažintais statybų įkainių normatyviniais dokumentais bei priemonėmis. Tam gali būti naudojamos įvairios sąmatų skaičiavimo priemonės, pradedant nuo statybos darbų kainų normatyvinės literatūros ir baigiant universalia ar specializuota sąmatine programa, galinčia automatizuotai apskaičiuoti objekto statybos vertę pagal suprojektuotą 3D informacinį pastato modelį naudojant BIM (angl. *Building Information Modeling*) koncepciją (Mikalasuskas, Popovas 2003).

Kai yra įgyvendinamas bendras viešasis statybos projektas, atsiranda įvairių ginčų, problemų, tokių kaip skirtingi projekto kiekiai, skirtingų konstrukcinių elementų kainos, taip pat kyla klausimų, ar naudojamas produktas yra toks kaip nurodyta projekte, ar produkto savybės atitinka nurodytas projekte (pvz., medžiaga, įrengimas ir kt.). Panašių klausimų ir problemų kyla sutarties vykdymo (statybos) metu. Daugelyje pasaulio šalių kainos pagrįstos savininko skaičiavimais ir projekte nurodyti prekės ženklai yra tik kaip nuoroda. Rangovas siekia pelno, todėl dažnai kyla tokių problemų, kaip atliktų darbų kiekių ir projektinių (pagal techninį projektą) darbų kiekių skirtumas (Wang, Yang 2005).

Statybos kainos skaičiavimo ir sąmatinių dokumentų rengimo programos skirtos palengvinti projekto ekonominės dalies projektavimą, t. y. įvertinti medžiagų ir žmogaus darbo sąnaudas bei kainas. Paprastai šios programos skirtos apskaičiuoti darbų kainas (ir išteklius).

Kiekvienas sąmatininkas turi specialias sąmatines programas, tačiau iš pradžių sąmatininkas turi atlikti darbų kiekių skaičiavimus pagal išspausdintus brėžinius, gautus iš projektuotojų. Analizuodamas brėžinius, sąmatininkas pasižymi medžiagų kiekiais, vėrtina naudotus konstrukcinius sprendimus ir nustato, ar projektuotojų priimti sprendimai yra pat geriausias variantas ekonominiu požiūriu. Daugelis šių veiksmų dubliuojami atliekant projektavimo darbus, t. y. sąmatininkas iš naujo turi susipažinti su projektuotojų išnagrinėtais duomenimis (Mikalasuskas, Mikalaukas 2002). Kai sąmatininkas susipažįsta su projekto technologiniais sprendimais ir kiekiais, jie suvedami į sąmatinę programą ir gaunama statybos kaina: iš normatyvinės duomenų bazės renkami atitinkamų darbų įkainiai, jie pataisomi (pritaikomi konkrečiai situacijai, specifinėms sąlygoms), pakoreguojamos medžiagų, mechanizmų ir darbo užmokesčio kainos. Integravus kompiuterinės projektavimo sistemos, paremtos 3D pastato modelio technologija, ir sąmatinės programos duomenis, galima juos maksimaliai panaudoti kartu (tuo pat metu nustatant tinkamas sąsajas tarp projektuotojo ir sąmatininko). Tai yra vienas iš BIM (angl. *Building Information Modeling*) technologijos aspektų (Popov, Mikalaukas, Migilinskas, Vainiunas 2006). Išsprendus šias problemas, projekto rengimo dalyviai būtų aprūpinti priemonėmis, leidžiančiomis skirtingo detalumo informacijos lygiais įvertinti ekonominius statinio ar jo dalies parametrus, t. y. nuo realių specifikacijų iki beveik galutinai parengtų są-

matų, kuriose yra visa reikalinga darbo jėgos, medžiagų poreikio, mechanizmų poreikio ir papildomų išlaidų informacija (t. y. linijinis personalo darbas, mokesčiai, pelnas ir t. t.) (Mikalasuskas, Popovas 2003; Ustinovičius, Migilinskas, Tamošaitienė, Zavadskas 2007).

Sąmatinės informacijos perskaičiavimo po kiekvieno virtualaus pastato modelio pakeitimo problema yra labai svarbi, taip pat svarbu įgyvendinti variantinio projektavimo idėjas (Popov, Juocevičius, Migilinskas, Ustinovičius, Mikalaukas 2010). Jau sudaryta informacinė tipinių konstrukcinių elementų bazė pamatams, sienoms, karkaso elementams, perdangoms, stogams, atitvaroms, langams, durims, pagrindiniams apdailos darbams ir t. t. Visi šie parametriniai fragmentai (tipiniai konstrukciniai elementai), aprašomi pagal įkainius ir normatyvus, priklausomi nuo juos charakterizuojančių atitinkamų parametrų, tokių kaip: elemento forma, medžiaga, technologija ir t. t. Parametrai yra apibūdinami, kai BIM sistemoje modeliuojamas virtualus pastato modelis ir kartu su specifikacijomis keliauja į sąmatinę programą. Kaip ir 3D objektinis modeliavimas, sąmatinė programa turi priemonių, leidžiančių išplėsti ir detalizuoti klasifikaciją, kad pagal save pritaikytų tipinius konstrukcinius elementus ir fragmentus. Todėl kiekvienas naudotojas gali pakeisti bendrą koncepciją savo reikmėms.

Kainos siūlymas – sudėtingas sprendimų procesas, kuris lemia, ar rangovas gali laimėti statybos konkursą pasirinkęs tam tikrą pelną. Įvairūs veiksniai daro poveikį konkursinei kainai. Tiekėjų parinkimas (jų patikimumas) yra vienas iš svarbiausių aspektų, veikiančių ir apdraudžiančių rangovą (jei konkursas bus laimėtas tam tikra kaina, rangovas galės pelningai įvykdyti projektą). Tiekėjai yra atskirti nuo projekto ir teisiškai jie nėra atsakingi dėl kainų, kuriomis rangovas laimėjo konkursą (Thomas, Wentao 2006). Sąmatą turi sudaryti toks žmogus, kuris turi informacijos apie rinkos kainas ir jų kilimą ateityje. Dažniau sąmatų koregavimas užima labai daug laiko, kurio dažniausiai trūksta. Automatizuotas sąmatos sukūrimas yra didžiulis palengvinimas, sąmatininkas jau gali skirti laiko sąmatos analizei ir koregavimui.

Konceptualus skaičiavimas yra dažnai klaidinantis dėl turimos informacijos nepakankamumo. Atsiranda grupė preliminarinių skaičiavimų su reikalavimų apribojimais, kurie yra būtini projektui įgyvendinti. Tai paskatino plėtoti preliminarinių kainų apskaičiavimo sistemą projektavimo sistemose, kur aprašomi modeliai (kokybiniai, kiekybiniai rodikliai). JAV kiekybinis modelio aprašymas projekte buvo pradėtas naudojant kainas iš DCIS (angl. *Design and Construction Information Systems*) duomenų bazės. Pagrindiniai skaičiavimų parametrai buvo gauti iš statistinių analizių ir programuojami taip, kad būtų galima sistemą nuolat papildyti. Sistema pateikia kintamus sumažintos kainos skaičiavimus ir atmetant reikalingus pinigus eksploatuoti (Chou, O'Connor 2007).

Pavyzdžiui naudojant pastato grafinės informacinės sistemos (GIS) programinį paketą skaičiuojama statybos kaina ir atliekama pastato 3D vizualizacija. Ši

metodika taikoma AreView 3.2 informacinei duomenų bazei kurti ir laikyti. Vėliau iš šios duomenų bazės imama informacija statybos kainai skaičiuoti. Duomenų bazėje laikoma informacija lentelių pavidalu – apie statybines medžiagas, darbo sąnaudas, techniką ir įrengimus. Atskiroje lentelėje generuojami projekto kiekiai (angl. BOQ – *Bill Of Quantities*), medžiagų kaina (angl. BOM – *Bill Of Materials*) ir darbo poreikis (Bansal, Mahesh 2006).

3.4.1. Automatizuotas sąmatų sudarymas 3D CAD terpėje

Šiuolaikinių projektavimo sistemų, pagrįstų objekto modeliavimo metodu, integracija su sąmatinėmis programomis yra galima, naudojant visą prieinamą informaciją ir priemones. Tai yra vienas iš pastato informacinio modelio (BIM) metodo aspektų. Reikia tik sukurti teorinį 3D pastato informacinį modelį (3D BIM), kuris susideda iš intelektinių tūrinių elementų.

Išsprendęs šias problemas projektuotojas gaus priemones, leidžiančias įvertinti statinio ar atskirų jo dalių ekonomines sąnaudas (Brook 2008) – nuo medžiagų specifikacijų iki sąmatų, kuriose įvertinta: darbo jėga, papildomos medžiagos, reikalingi mechanizmai ir kiti skaičiavimai. Minėtiems tikslams įgyvendinti visų pirma buvo suformuluota tarpusavio ryšio tarp grafinio ir informacinio pastato modelio bei sąmatos koncepcija, sukurti metodai klasifikuoti konstrukcinius elementus ir medžiagas, sukurtos visos reikalingos programinės priemonės bei duomenų struktūros (Mikalauskas, Popovas 2003):

- § Tipinių gaminių (konstrukciniai objektų elementai) ir tipinių medžiagų duomenų bazės, integruotos su pastato modeliu, išsprendžia formalus visų elementų ir medžiagų struktūros aprašymo problemas.
- § Tipinių sąmatinių fragmentų bazė, susieta su tipinių gaminių ir medžiagų baze, leidžia automatinį (programinį) įkainių parinkimą.
- § Specialūs sąmatinių programų moduliai padeda sudaryti įvairaus detalumo sąmatas iš pastato modelio specifikacijų (grynai medžiagine, su kainomis arba be, arba visą, su visais reikalingais darbais ir papildomais ištekliais) bei sutikrinti jau sudarytą sąmatą su specifikacija ir išryškinti pasikeitimus.

Pažangus tokios užduoties įgyvendinimas sukėlė poreikį sukurti unifikuotą tipinių gaminių ir medžiagų klasifikatorių, integruotą į pastato modeliavimo sistemą (Popov, Mikalauskas, Migilinskas, Vainiunas 2006). Autoriaus ir mokslininkų sukurtas tipinių elementų klasifikatorius (TEK) leidžia projektuotojui aprašyti tipinius konstrukcinius elementus (TE), apibūdinti jų medžiagas, kad jos būtų tinkamai suprantamos (3D modelis, brėžiniai, specifikacijos) kitiems projektavimo dalyviams. Prie duose A, B ir C pateikti apibrėžimai ir metodika aprašo kurimo procesą, kodo generavimo ir TE kurimo-maudojimo taisyklės.

3D modelio ir tipinių elementų sukūrimo dalys:

- § remiantis esamais brėžiniais ir statybos projekto modeliu, sukuriamas 3D BIM (pastato informacinis modelis);
- § sukurto 3D modelio elementai yra susiję su tipiniais elementais iš statybos elementų ir išteklių klasifikatoriaus;
- § papildomai aprašius ir parametrizavus, statybos projekto išlaidų sąmata yra generuojama automatiškai.

3D modelio ir tipinių elementų sukūrimo privalumai ir nauda:

- § gaunami tikslūs konstrukcinių elementų kiekiai;
 - § sutaupoma laiko, išvaistyto rankiniam skaičiavimui;
 - § patikrinamas brėžinių tikslumas;
 - § naudojami tipinių elementų (TE) ir statybos medžiagų klasifikatoriai leidžia kontroliuoti bei analizuoti darbų eigą, išteklius pagal vienodą sistemą;
 - § sąmatinė projekto kaina gaunama kartu su sąmatos dokumentais.
- Iš bendrojo pastato modelio generuojami:
- § specifikacijos;
 - § ataskaitos;
 - § projekto biudžeto skaičiavimai.

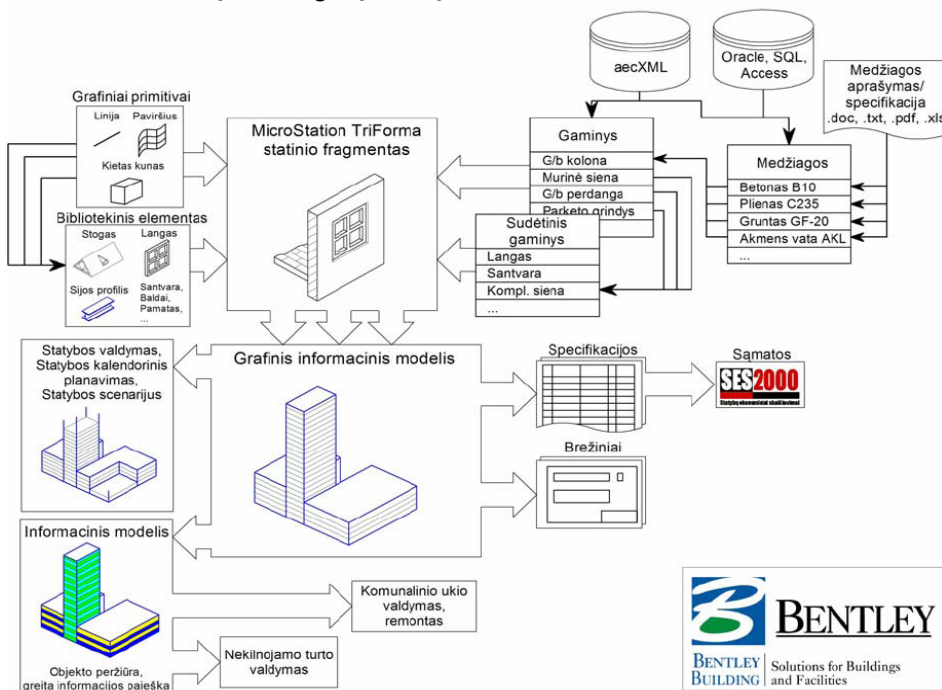
Naujos projekto modelio redakcijos automatiškai atnaujina duomenis, prireikus galima prijungti ir naudoti išorines duomenų bazines.

Viena iš esminių objekcinio modeliavimo technologijos inovacijų apima komponentų modeliavimą. Anksčiau automatizuotos projektavimo sistemos buvo pritaikytos dirbti vienam vartotojui duomenų bylos lygiu ir to rezultatas – kitų vartotojų atskyrimas nuo duomenų. Komponentinio modeliavimo technologija leidžia dirbti vienu metu su visais projektavimo duomenimis, duomenų komponentų lygiu, apimant visą projektavimo ciklą vartotojų grupės mastu (Mikalauskas, Popovas 2003). Inžineriniai komponentai yra grafiniai-skaitmeniniai tikrų objektų modeliai. Šie duomenys apibūdina tikrų objektų geometriją, savybes, ryšius ir požymius. Teigiama, kad pastatas susideda iš elementų ir dalių, besiskiriančių funkcijomis, savybėmis, gamybos technologija. Dalis gali apimti paprastą konstrukcinį elementą (pamatai, kolonos, grindų plokštė ir t. t.). Visi elementai ar dalys turi specifinę 3D formą. Brėžinyje kiekvienas elementas pažymėtas ar atitinkamai parodytas (linijos storis, spalva, sluoksniš ir t. t.). Vartotojas gali papildomai priskirti parametrus, būdingus tam tikram daiktui: medžiaga, fizikinės savybės, klasė ar standartas, susieti elementą su techninėmis specifikacijomis ir aprašymais, priskirti kainas ir normas. Tai atliekama naudojant egzistuojančias ar kuriant nuosavas duomenų struktūras (Popov, Mikalauskas, Migilinskas, Vainiunas 2006).

Visi grafiniai objektai yra tūriniai kūnai, jie yra parametriškai valdomi ir intelektiniai, t. y. kiekvienas objektas „žino“ apie save ne tik kiekybinę (Maute, Raulli 2004) (ilgį, plotą, tūrį ir pan.), bet ir kokybinę (medžiagą, sudėtį) informaciją, gali išsaugoti sukūrimo istoriją ir netgi „atpažinti“ savo kūrėją.

Visas projektas ir atskiros jo dalys projektuojami vieningame pastato modelyje. Visa tai suteikia neribotų galimybių ne tik greitai ir efektyviai kurti, keisti ir redaguoti objektų formą, bet ir saugoti bei valdyti atributinę jų informaciją naudojant pastato 3D modelį. 2D informacija, t. y. įvairūs brėžiniai (planai, pjūviai, fasadai mazgai) ir kiti projektavimo dokumentai (medžiagų sąrašai, specifikacijos, ataskaitos, skaičiavimai), generuojami iš 3D modelio (Maute, Raulli 2004).

Kadangi šios ataskaitos susietos su modeliu, naujos modelio redakcijos automatiškai atnaujina projekto duomenis (Brook 2008). Kai reikia, galima prijungti ir naudoti išorines duomenų bazes. Taip užtikrinamas tikslumas, koordinacija ir pakeitimų sinchronizavimas visuose projekto dokumentuose. *MicroStation TriForma* grafinio – informacinio (komponentinio) modelio schema pateikta 3.2 pav. Sudarydamas statinio modelį, projektuotojas jo aprašymui *MicroStation TriForma* naudoja gaminius (objektus, konstrukcinius elementus), kurie turi tam tikrą medžiaginę sudėtį.



3.2 pav. Grafinio- informacinio modelio sukūrimo ir panaudojimo schema

Fig. 3.2. The scheme of creation and use of graphic-information model

Statinio fragmentai apibūdinami geometrija (grafiniai primityvai, bibliotekų elementai), atributais (medžiagos, gaminiai, specifikacijos). Iš 3.2 pav. matyti, kad grafinis informacinis modelis taikomas gan plačiai: brėžiniai, specifikacijos, objekto informacija (priežiūra), statybos valdymas, statybos kalendorinis planavimas, vizualizacija (Mikalauškas, Popovas 2003; Popov, Mikalauškas. Migilinskas 2006; Migilinskas, Ustinovichius 2006).

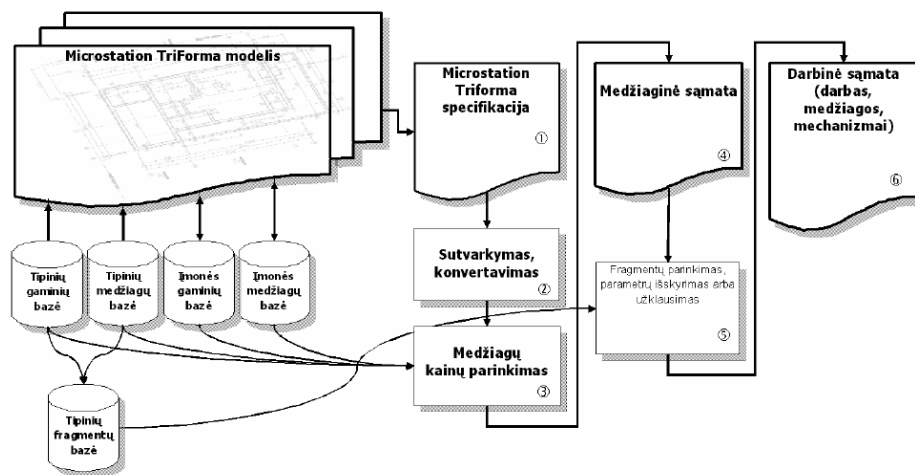
Modelis leidžia nuolat vizualiai kontroliuoti įvairius projektavimo etapus, net ankstyvosiose projektavimo stadijose turėti ir bet kada gauti detalią informaciją apie techninį projekto lygį, tačiau svarbiausia tai, kad toks sprendimas, turint vieną visų duomenų įvedimo ir pakeitimo šaltinį, garantuoja viso projekto administravimą ir dokumentų valdymą.

3.3 pav. pateikta schema, iliustruojanti veikslių eiliškumą 3D modeliavimo ir sąmatinių programų terpėje (Mikalauškas, Popovas 2003; Popovas, Ustinovichius, Mikalauškas 2004; Ustinovichius, Popov, Migilinskas 2005;):

1. Pastato modeliui kurti 3D modeliavimo terpėje projektuotojas naudoja tipinių gaminių ir medžiagų katalogus.
2. Medžiagų ir konstrukcijų specifikacijos generuojamos iš modelio.
3. Naudojant sąmatinę programą nauja sąmata sukuriama importuojant duomenis iš specifikacijos, pertvarkant duomenis automatiškai pagal tipinių gaminių ir medžiagų kodus ir:
 - a. pasirenkant medžiagų kainas iš statistinių ar vartotojo kainoraščių;
 - b. pasirenkant gaminių darbų vykdymą, t. y. sąmatinius fragmentus.
4. Sąmatininkas sutvarkys sąmatą įvertinęs technologines ypatybes, kurios nebuvo ar negalėjo būti pateiktos projekto modelyje kaip ir medžiagų kainos.

Tipinių gaminių identifikuoja jo kodas, reikalingi parametrai yra specifikacijoje, o jei jie nenurodyti ar negali būti nurodyti pačiame modelyje, vartotojo paprašoma nurodyti trūkstamus parametrus arba naudojamos reikšmės pagal nustatytuosius parametrus.

Projektuotojas gali naudoti ir netipinius konstrukcinius elementus, kurie sąmatoje atsiras tik „medžiagine“ forma, t. y. be darbų, reikalingų jiems įgyvendinti, ir be papildomų išteklių. Bet kokiu atveju sąmatininkas iš sąmatos, sukurtos naudojant programą, parengs tikrą (galutinę) sąmatą, t. y. pakoreguos kainas, įves ar pašalins papildomus darbus ir t. t. Po tokių koregavimų sąmata gali skirtis nuo pradinės, tačiau laikydamasis tam tikrų taisyklių, projektuotojas nepraranda galimybės perskaičiuoti vėliau, net jei pasikeistų modelis (medžiagų kiekiai, medžiagos ir t. t.).



3.3 pav. Automatuoto sąmatų sudarymo integruotoje CAD objekcinio modeliavimo ir sąmatinių programų terpėje schema

Fig. 3.3. The scheme of preparation of computer-aided estimates in the integrated CAD and estimation programs

3.4.2. Konstrukcinių elementų klasifikatorius

Pagrindinis elementas 3D modelio ir sąmatų sudarymo integracijoje – klasifikatoriai (Maute, Raulli 2004). Tvarkingas konstrukcinių elementų aprašymas yra būtinas programiniam fragmentų ir kainų parinkimui, kurį naudos projektuotojas. Naudojant klasifikatorius įmanoma sukurti funkcionalias elementų ir tipinių medžiagų bases, susieti elementus su atitinkamo detalumo statybos technologija ir t. t. Tipinių gaminių (objektų, konstrukcinių elementų) ir tipinių medžiagų duomenų bazė, integruota į *MicroStation TriForma*, išsprendžia formalaus (tvarkingo) visų statinio elementų ir medžiagų aprašymo problemą.

Konstrukcinių elementų aprašymas turi būti universalus, kad tiktų daugeliui atvejų, ir lankstus, kad likusiais atvejais galima būtų jį pritaikyti. Jis turi būti valdomas parametrais. Parametrinis gaminių ir medžiagų aprašymo būdas labai palengvina projektuotojo ir sąmatininko darbą (taisyklės prieduose A, B ir C).

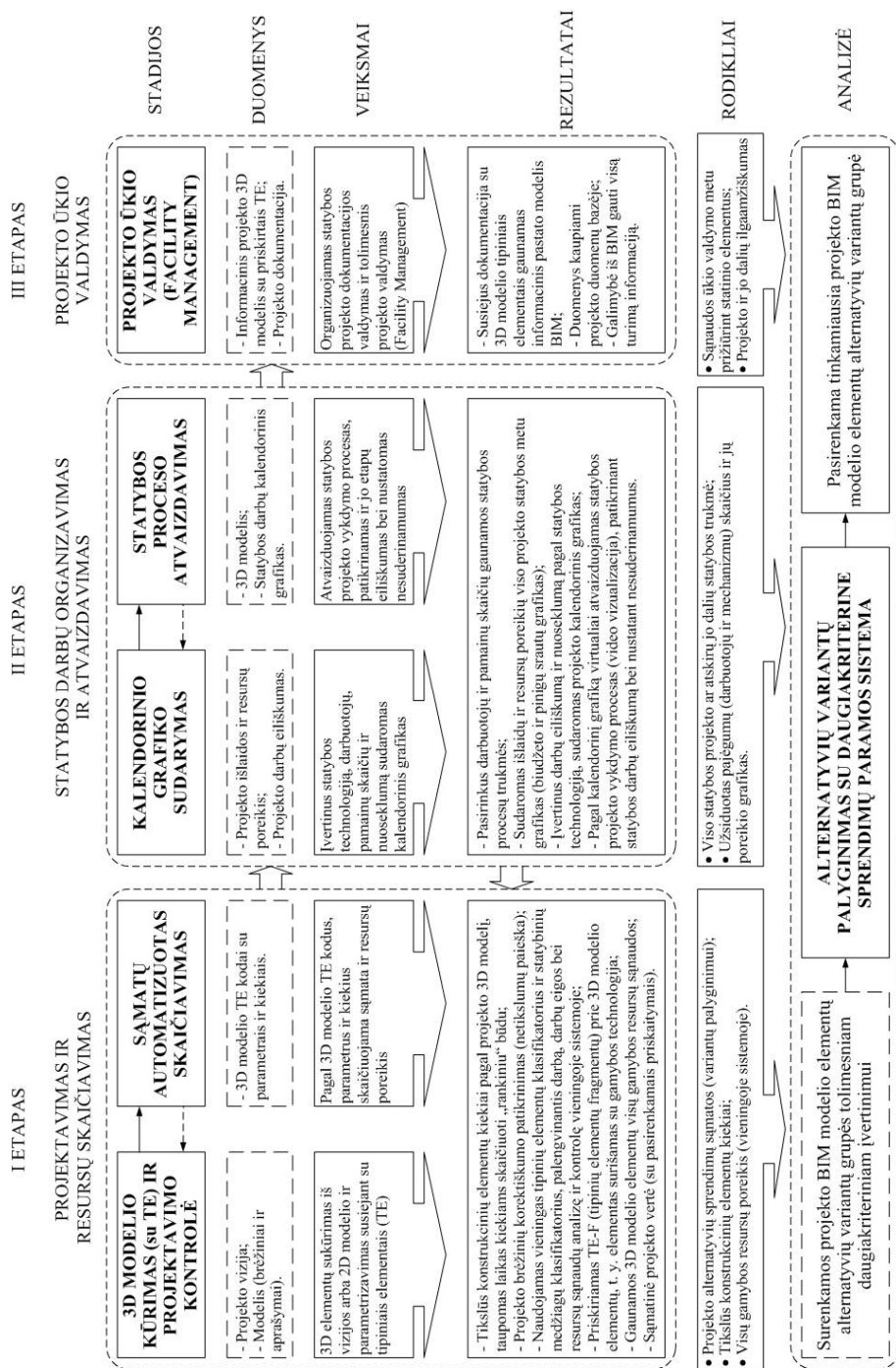
Parametrai apibūdinami, kai generuojamas konstrukcijos modelis, kuris grindžiamas 3D modeliavimo koncepcija ir perduodamas specifikacijų forma sąmatinei programai. Parametrais priskiriamos kokybinės elemento savybės. Iš modelio automatiškai gaunami paviršiaus plotas, aukštis, ilgis ir t. t. Parametrai nurodomi sudarant statinio modelį ir perduodami per specifikaciją. Taip pat kaip ir 3D modeliavimo sistema, sąmatinė programa turi priemonių, leidžiančių vartotojui išplėsti ir detalizuoti klasifikatorių, sukurti tipinius elementus bei fragmentus (TE-F) pati, todėl kiekvienas vartotojas gali pritaikyti savo reikmėms.

3.4.3. Automatizuotas statybos projekto valdymas

Privalomas nuolatinio abipusio ryšio tarp dalyvių užtikrinimas įgyvendinamas diegiant 4D koncepciją investiciniam statybos projektui valdyti. Tačiau siekiant valdyti projektą, iš pradžių patartina sukurti projekto modelį ir atlikti projekto įgyvendinimo simuliaciją, t.y. kuriamas teorinis trimatis statinio informacinis modelis (3D BIM – *Building Information Modeling*), susidedantis iš tūrinių elementų, kuris sujungiamas su išteklių poreikio skaičiavimais, alternatyvų lyginimu ir visų investicinio projekto gyvavimo ciklais. Kartais naudojamos penkiamatė, n -matė (nenustatyta) ir x -matė (kintamo ir nežinomo dydžio) erdvės, dažniausiai atspindi ne papildomus matavimus erdvėje, o trimačio kūno būsenos kitimą laike su papildoma kokybine ar kiekybine informacija (pvz., kaina). Kitos dimensijos nėra aiškiai apibrėžtos ir gali būti naudojamos skirtingai.

3D modelio išraiška laike per visą jo gyvavimo trukmę ir yra projekto 4D koncepcijos išraiška. Šio 4D koncepcijos modelio (3.4 pav.) (Ustinovičius, Popov, Migilinskas 2005) etapų viduje, remiantis duomenimis, vykdomas nuolatinis ciklas, siekiant priimti geriausią sprendimą, o tarp etapų nuolat vyksta ciklinės informacijos srautų mainai, skatinantys pasirinkti efektyviausią variantą. 4D koncepcijos modelio struktūra sudalinta į lygius: pirmame lygyje (narveliuose su pusjuodžiu šriftu) pateikiamos stadijos ir jų ryšiai; antrame lygyje (punktyrinuose narveliuose) – pradiniai duomenys (ir priemonės); trečiame lygyje (narveliuose su rodyklėmis) atliekami veiksmai ir procesai; ketvirtame lygyje (dideliuose narveliuose) gaunamas rezultatas, nauda ir privalumai; penktame lygyje gaunami etapų efektyvumo rodikliai, naudojami kaip duomenys tolesniam daugiakriteriniam (daugiatiksliam) variantų lyginimui.

Galima padaryti išvadą, kad pradiniai modelio struktūros elementai labiausiai veikia efektyvumo rodiklius, o geriausio sprendimo pasirinkimas labiausiai priklauso nuo tikslų išteklių poreikio nustatymo, nes suklydus – nustatytas geriausias variantas nebus pats efektyviausias. Todėl, norint tiksliai nustatyti projekto išteklių poreikius, reikia atidžiai suskaičiuoti projekto kiekius, tai užima nemažai laiko, nes dažniausiai kiekių skaičiavimai vykdomi rankiniu būdu. Siekiant sumažinti laiką, reikalingą statybos projekto kiekiams apskaičiuoti ir išvengti su rankiniu skaičiavimu susijusių klaidų bei netikslumų, gali būti naudojamas 4D koncepcijos modelis. 4D modelio naudojimo principas – iš sukurto pastato informacinio modelio (3D BIM) automatiškai gaunami sumodeliuotų, aprašytų ir parametrizuotų elementų kiekiai bei generuojami projekto išteklių poreikiai (Popov, Mikalauskas, Migilinskas, Vainiunas 2006). Savaimė suprantama, kad dėl automatizuoto projektavimo kaina išauga, tačiau turint projekto aiškų supratimą apie projekto sprendinius ir esmines detales sumažinami galimi neapibrėžtumai su neaiškiais mazgais ir nebus didelių išlaidų keičiant projektinius sprendinius statybos metu (kaip buvo nagrinėjama 2 skyriuje, 2.4 pav.). Todėl bendra faktinė projekto kaina turėtų net sumažėti.



3.4. pav. Automatizuoto statybos projekto valdymo ir inžinerinio parengimo modelis
Fig. 3.4. The model of computer-aided construction project management and engineering preparation

3.5. 4D modeliavimo ir automatizuoto sąmatų skaičiavimo koncepcija

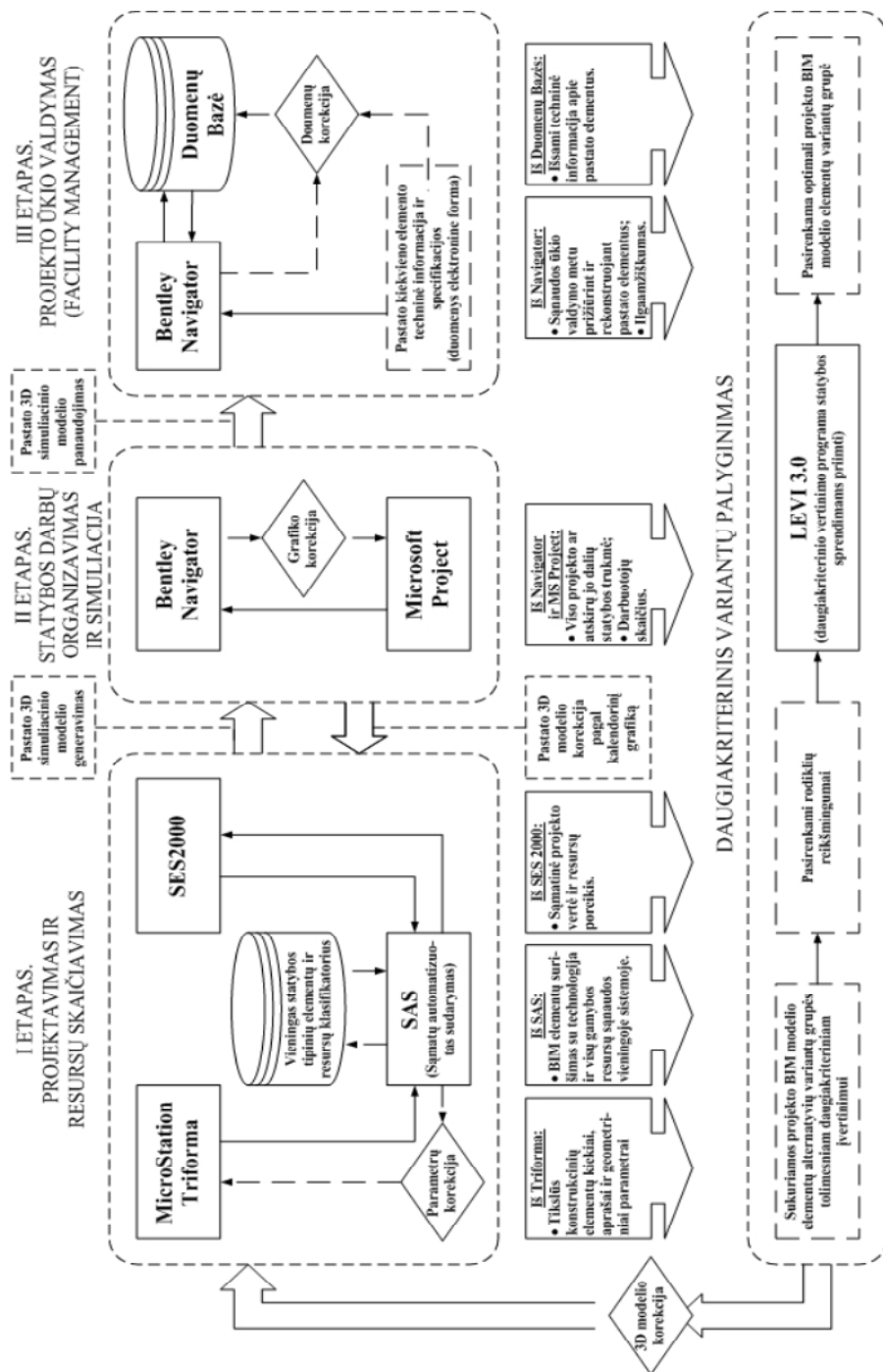
Siekiant sumažinti paklaidas ir riziką statybų sferoje siūloma naudoti automatizuoto projektavimo PLM priemonės (angl. *Project Life Management* – projekto viso gyvavimo laiko valdymą) arba kitaip vadinamą keturių dimensijų – 4D koncepciją (Eastman 2008). Norint, kad valdymas būtų efektyvus ir užtikrintų tinkamas įmonės išteklių valdymo sąlygas (angl. *Enterprise Resource Planning* – ERP) su atitinkamu išteklių tiekimo valdymu (angl. *Supply Chain Management* – SCM) ir automatizuotu išteklių poreikio planavimu (angl. *Material Requirements Planning* – MRP), reikėtų sukurti statybos projekto 3D modelį ir atlikti jo įgyvendinimo simuliaciją (atvaizdavimą) (Issa, Flood, O'Brien 2003).

Apibendrinant autorius atliktus tyrimus, išanalizuotas problemas ir siūlomas valdymo priemonės sukurtas unikalus 4D koncepcijos įgyvendinimo projekto valdyme modelis (3.5 pav.), kurį taikant įgyvendinamas statybos technologinių ir ekonominių uždavinių sprendimas neapibrėžtumo sąlygomis (Migilinskas, Ustinovichius 2006; Popov, Juocevičius, Migilinskas, Mikalauskas 2008).

4D koncepcijos privalumas: galimybė simuliuoti projekto valdymą (modeliuoti), remiantis 3D modelio duomenimis tiksliai apskaičiuoti išteklių poreikį, nustatyti projekto įgyvendinimo trukmę ir operatyviai įvertinti alternatyvius variantus (naudojant pagal taisykles ir išplėstines metodikas sukurtas tipinių elementų, jų fragmentų bei klasifikatoriaus duomenų bazes, taip pat kaip priemonės kodų priskirimui ir duomenų perdavimo tarp programinių paketų užtikrinimui).

Tikslas: sumažinti laiką, reikalingą statybos projekto kiekiams apskaičiuoti, ir su rankiniu skaičiavimu susijusių klaidų ir netikslumų atsiradimo galimybes. Sutaupytas laikas gali būti panaudotas didesniai kiekiui konkursinių statybos projektų valdyti su galimybe atlikti išsamesnę alternatyvių kiekvieno projekto sprendimų analizę ir palyginimą.

Modelio aprašymas (3.5 pav.). Ši 4D koncepcijos išraiška – ankstesnio statybos projekto automatizuoto valdymo per visą jo gyvavimo laikotarpį modelio paprastesnė aiškinamoji forma, kurios visų etapų elementų struktūra yra panaši: pirmoje eilutėje (narveliuose su pusjuodžiu šriftu) pateikiamos stadijos ir jų ryšiai; antroje eilutėje (punktyriniuose narveliuose) – pradiniai duomenys (ir priemonės); trečioje eilutėje (narveliuose su rodyklėmis) atliekami veiksmai ir procesai, ketvirtoje eilutėje (dideliuose narveliuose) gaunamas rezultatas, nauda ir privalumai. 4D koncepcijos įgyvendinimo valdant projektą modelyje pateikiama programinių paketų ir duomenų srautų struktūra su tiesioginiais viso ciklo ryšiais ir atliekamų darbų aprašymais. Kiekvieno etapo stadijos turi vidinius ciklinius ryšius, reikalingus nuolatinei stadijų korekcijai. I ir II etapai nuolat dalijasi duomenimis, naudojamais skaičiavimams patikslinti ir paklaidoms sumažinti. III etapas tik priima informaciją iš II etapo ir išsaugo ją į duomenų bazę.



3.5. pav. 4D koncepcijos įgyvendinimo valdant projektą modelis (programinių paketų modelis)
 Fig. 3.5. The model of 4D concept implementation in project management (model of software packages)

Aprašytų etapų rezultatai naudojami kaip duomenys tolesniam daugiakriteriniam (daugiatiksliu) variantų lyginimui. Pasibaigus visam 4D koncepcijos ciklui, gaunama alternatyvų analizė, pagal kurią imamas galutinis projekto variantas (pasirenkama optimali projekto BIM modelio elementų variantų grupė) ir koreguojami pradiniai duomenys bei 3D modelis (Ustinovičius, Popov, Migilinskas 2005; Popov, Mikalauskas, Migilinskas, Vainiunas 2006).

I etapas (projektavimas ir išteklių skaičiavimas). Šis etapas susideda iš dviejų stadijų: pirma – 3D modelio su tipiniais elementais (TE) kūrimas ir projektavimo kontrolė, antra – automatizuotas sąmatų skaičiavimas. Abi stadijos turi tarpusavio ryšį ir yra tobulinamos bei koreguojamos atlikus kelis ciklus. Pirmoje stadijoje, turint projekto viziją ir modelį (eskizai, brėžiniai ir aprašymai), sukuriama informacinis pastato 3D modelis (3D BIM), kurio elementai susiejami su TE bei papildomai parametrizuojami. Antroje stadijoje, naudojantis pirmos stadijos duomenimis (3D TE kodai su parametrais ir kiekiais), skaičiuojami išteklių poreikiai ir generuojama statybos projekto sąmata. Abi stadijas jungia sąmatų automatizuoto sudarymo *SAS* programinis paketas, grindžiamas bendro statybos tipinių elementų ir išteklių klasifikatoriaus duomenų baze.

Privalumai ir nauda: gaunami tikslūs konstrukcinių elementų kiekiai ir taupomas laikas kiekiam skaičiuoti rankiniu būdu; patikrinimas projekto brėžinių korektiškumas; naudojamas bendras tipinių elementų klasifikatorius (TEK aprašytas prieduose A, B ir C) ir statybinių medžiagų klasifikatorius (SMK), leidžiantis kontroliuoti ir analizuoti darbų eigą ir išteklių sąnaudas vienoje sistemoje; gaunama sąmatinė projekto vertė su visais sąmatiniais dokumentais.

II etapas (statybos darbų organizavimas ir simuliacija). Šis etapas susideda iš dviejų stadijų: projekto statybos kalendorinio grafiko sudarymo ir statybos proceso simuliacijos (video vizualizacijos).

Pirmoje stadijoje pasirinkus darbuotojų ir pamainų skaičių gaunamos statybos procesų trukmės bei išlaidų ir išteklių poreikių viso projekto statybos metu grafikas (biudžeto ir pinigų srautų grafikas), o pagal darbų eiliškumą sudaromas kalendorinis projekto grafikas. Antroje stadijoje pagal kalendorinį grafiką virtualiai modeliuojamas 3D BIM modelio statybos procesas (video vizualizacija), patikrinamas statybos darbų eiliškumas bei nustatomi nesuderinamumai.

Privalumai ir nauda: gaunamos statybos procesų trukmės; sudaromas išlaidų ir išteklių poreikių projekto statybos metu bei kalendorinis projekto grafikas; virtualiai patikrinamas statybos darbų eiliškumas bei nustatomi netikslumai.

III etapas (projekto ūkio valdymas – angl. *Facility Management*). Ši etapa sudaro vienintelė stadija su konkrečiau objekto elementų skaitmeninės informacijos bei kaupiamos duomenų bazės ryšiais. Visu projekto gyvavimo laikotarpiu ši stadija yra aktyvi ir teikia išsamią informaciją apie informacinį projekto modelį (3D BIM) pagal prisirinktus TE. Taip organizuojamas statybos projekto dokumentų valdymas ir tolesnis projekto ūkio valdymas (*Facility Management*).

Privalumai ir nauda: gaunamas informacinis pastato modelis – 3D BIM; duomenys nuolat kaupiami projekto duomenų bazėje; galimybė iš BIM gauti visą turimą informaciją (duomenys elektronine forma); planuojamos sąnaudos ūkio valdymo metu prižiūrint ir rekonstruojant pastato elementus; ilgaamžiškumo kontrolė ir garantinių darbų apskaita.

Kad ir kokios geros yra sąmatų skaičiavimo ir dokumentų valdymo sistemos, išlieka vienintelis faktorius – tai žmogus, kuris turi šiuos informacijos srautus kontroliuoti. Todėl daugelis statybos specialistų sutinka, kad vienas geriausių informacijos srautų valdymo būdų yra 3D modelio ir automatinio sąmatų skaičiavimo programos sujungimas į vieną koncepciją per visą objekto gyvavimo laikotarpį (Mikalasuskas, Popovas 2003; Ustinovičius, Popov, Migilinskas 2005). Taip gaunama 3D modelio išraiška laiko atžvilgiu, o ją sujungus su variantinio lyginimo galimybe (Migilinskas 2003; Migilinskas, Ustinovičius 2004; Zavadskas, Peldschus *et al.* 2008) gaunamas 4D PLM (angl. *4D Product Life Management*) koncepcijos modelis. Šios koncepcijos 3D dalies vystymas pradėtas nagrinėti *Bentley* pakete, tačiau dar nėra baigtas ir turi būti tobulinamas, kaip pavaizduota teoriniame statybos projekto automatizuoto valdymo per visą jo gyvavimo laikotarpį modelyje (3.5 pav.).

3.6. Alternatyvu analizė, normalizavimas ir sprendimų priėmimas

Taikant 1 skyriuje apžvelgtus lošimų ir optimalių strategijų metodus, atliekamas variantų lyginimo skaičiavimas bei normalizavimo metodų taikymo analizė. Skaičiuoti naudojami Zavadsko ir Ustinovičiaus nagrinėti statybos investicinių variantų lyginimo duomenys (3.9 lentelė) (Ustinovičius, Zavadskas 2004). Autorių nagrinėtų variantų duomenų ir rodiklių yra daug (10 rodiklių), todėl nagrinėjame apibendrintus (susistemintus) rodiklius ir vieno tipo variantus (3.10, 3.11 lentelės) (Migilinskas 2003; Migilinskas, Ustinovičius 2004).

3.6.1. Tyrimo duomenys

Skaičiavimo tikslas – priimti optimalų investicinį sprendimą, todėl analizuojame ir skaičiuojame 10-ies pastatų įsigijimo, rekonstrukcijos ir pardavimo su daline apdaila variantus. Kiekvienas variantas įvertinamas pagal keturis apibendrintus rodiklius X_j (kriterijus) su atitinkamai perskaiciuotais svoriais (svoriai yra hipotetiniai ir įtakos tyrimo duomenims neturi) (Migilinskas 2003):

1. Ekonominis rodiklis – $q_1 = 0,35$:

- a) pelnas,
- b) pastato pardavimo kaina,

- c) pastato pirkimo ir renovacijos kaina.
2. Eksploatacinis rodiklis – $q_2 = 0,26$:
- pastato ilgaamžiškumas,
 - eksploatacijos sąnaudos,
 - termoizoliacinės savybės.
3. Verslo rodiklis – $q_3 = 0,19$:
- verslo perspektyvos,
 - projekto įgyvendinimo trukmė,
 - automobilių stovėjimo aikštelės,
 - pastato architektūra (išorinis vaizdas).
4. Patogumo rodiklis – $q_4 = 0,20$:
- pastato komfortas,
 - pastato vieta.

Šiais rodikliais aprašytų variantų apibendrinti duomenys surašomi variantų pradinių duomenų lentelėje. Iš lentelės duomenų bus sudaroma nagrinėjamo uždavinio pradinių duomenų matrica (hipotetinėms alternatyvoms) su atitinkamais variantų svoriais q_j (3.9 lentelė).

3.9 lentelė. Pradinių normalizavimo duomenų lentelė
Table 3.9. Table of the initial normalization data

Rodikliai, X_j	Ekonominis, X_1	Eksploatacinis, X_2	Verslo, X_3	Patogumo, X_4
Rodiklių svoriai, q_i	$q_1 = 0,35$	$q_2 = 0,26$	$q_3 = 0,19$	$q_4 = 0,20$
min ar max	max	min	max	max
Alternatyvos	↑	↓	↑	↑
1 alternatyva, A_1	4,718	6,434	3,721	2,414
2 alternatyva, A_2	4,334	5,239	3,381	2,268
3 alternatyva, A_3	4,904	6,343	3,213	1,707
4 alternatyva, A_4	4,313	5,239	3,381	2,414
5 alternatyva, A_5	4,463	6,434	3,597	3,122
6 alternatyva, A_6	4,605	6,434	3,721	3,122
7 alternatyva, A_7	4,587	6,434	3,721	3,122
8 alternatyva, A_8	5,167	6,434	3,591	3,122
9 alternatyva, A_9	4,924	6,434	3,591	3,122
10 alternatyva, A_{10}	3,551	7,231	3,813	2,414

Daugelyje statybos technologinių ir ekonominių uždavinių svarbiausias ir reikšmingiausias yra ekonominis rodiklis, taip yra ir nagrinėjamame uždavinyje (35 %). Todėl siekiant parodyti verčių normalizavimo metodų pasirinkimo įtaką, reikėtų atidžiau suskaičiuoti ir detalai aprašyti šio rodiklio normalizuotas vertes.

3.10 lentelė. Skirtingų normalizavimo metodų palyginimas, kai geriausia maksimali normalizuota vertė

Table 3.10. Comparison of different normalization methods (maximum is the best)

Normalizavimo metodas	Matematinė išraiška	Proporcingumas	Verčių koncentracija
Nr. 1. Artumo idealiam taškui	$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2}}$	Proporcingumas išlaikytas	Didelė verčių koncentracijos tendencija
Nr. 2. Weitendorf	$b_{ij} = \frac{a_{ij} - \min a_{ij}}{\max a_{ij} - \min a_{ij}}$	Proporcingumas neišlaikytas	Pritaikytas vidutinei verčių koncentracijai
Nr. 3. Hwang	$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\max_i a_{ij}}$	Proporcingumas išlaikytas	Verčių koncentracijos tendencija
Nr. 4. Jüttler-Körth	$b_{ij} = 1 - \left \frac{a_j^* - a_{ij}}{a_j^*} \right $	Proporcingumas neišlaikytas	Verčių koncentracijos tendencija
Nr. 5. Dalybos iš sumos	$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^m a_{ij}}$	Proporcingumas išlaikytas	Didelė verčių koncentracijos tendencija
Nr. 6. Peldschus	$b_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{\max_i a_{ij}} \right)^2$	Proporcingumas neišlaikytas	Verčių koncentracijos tendencija
Nr. 7. Hovanov $\wedge 0,5$	$b_{ij} = \left(\frac{a_{ij} - \min a_{ij}}{\max a_{ij} - \min a_{ij}} \right)^{0,5}$	Proporcingumas neišlaikytas	Pritaikytas vidutinei verčių koncentracijai
Nr. 8. Hovanov $\wedge 2$	$b_{ij} = \left(\frac{a_{ij} - \min a_{ij}}{\max a_{ij} - \min a_{ij}} \right)^2$	Proporcingumas neišlaikytas	Pritaikytas vidutinei verčių koncentracijai

Analizėje bus pateikiami ir kitų rodiklių normalizuotų verčių skaičiavimai su variantų pasiskirstymo eilėmis (atlikta su *Microsoft Excel* programa), bendra galutinių duomenų lentelė ir diagrama bei optimalaus sprendinio priėmimo analizė (atlikta su LEVI 3.0 programa) (Migilinskas, Ustinovičius 2007; Zavadskas, Peldschus, Ustinovichius, Turskis 2008).

3.11 lentelė. Skirtingų normalizavimo metodų palyginimas, kai geriausia minimali normalizuota vertė

Table 3.11. Comparison of different normalization methods (minimum is the best)

Normalizavimo metodas	Matematinė išraiška	Proporcingumas	Verčių koncentracija
Nr. 1. Artumo idealiam taškui	$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2}}$	Proporcingumas išlaikytas	Didelė verčių koncentracijos tendencija
Nr. 2. Weitendorf	$b_{ij} = \frac{\max a_{ij} - a_{ij}}{\max a_{ij} - \min a_{ij}}$	Proporcingumas neišlaikytas	Pritaikytas vidutinei verčių koncentracijai
Nr. 3. Hwang	$b_{ij} = \frac{\min_i a_{ij}}{a_{ij}}$	Proporcingumas išlaikytas	Verčių koncentracijos tendencija
Nr. 4. Jüttler-Körth	$b_{ij} = 1 - \left \frac{a_j^* - a_{ij}}{a_j^*} \right $	Proporcingumas neišlaikytas	Verčių koncentracijos tendencija
Nr. 5. Dalybos iš sumos	$b_{ij} = 1 - \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^m a_{ij}}$	Proporcingumas išlaikytas	Didelė verčių koncentracijos tendencija
Nr. 6. Peldschus	$b_{ij} = \left(\frac{\min_i a_{ij}}{a_{ij}} \right)^3$	Proporcingumas neišlaikytas	Verčių koncentracijos tendencija
Nr. 7. Hovanov $\wedge^{0,5}$	$b_{ij} = \left(\frac{\max a_{ij} - a_{ij}}{\max a_{ij} - \min a_{ij}} \right)^{0,5}$	Proporcingumas neišlaikytas	Pritaikytas vidutinei verčių koncentracijai
Nr. 8. Hovanov \wedge^2	$b_{ij} = \left(\frac{\max a_{ij} - a_{ij}}{\max a_{ij} - \min a_{ij}} \right)^2$	Proporcingumas neišlaikytas	Pritaikytas vidutinei verčių koncentracijai

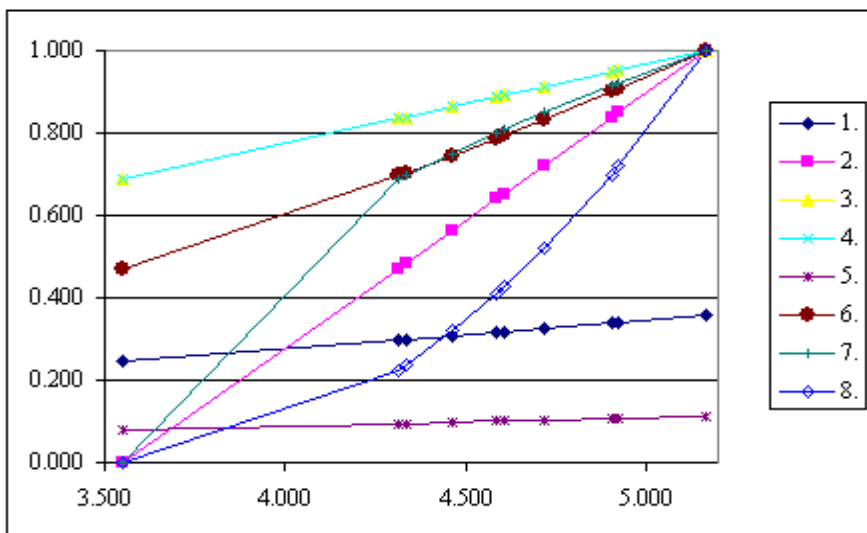
3.6.2. Tyrimo metodologija ir eiga

Unikalus autoriaus atliktas tyrimas buvo vykdomas šiais etapais (Migilinskas 2003; Migilinskas, Ustinovičius 2007):

1. Pradiniai duomenys – rodiklių reikšmės (3.9 lentelė) normalizuojamos, naudojant visų aštuonių apžvelgtų verčių normalizavimo metodų geriausios maksimalios ir geriausios minimalios reikšmės išraiškas (3.10, 3.11 lentelės).
2. Pagal normalizuotų verčių duomenis sudaromos kiekvieno nagrinėto rodiklio normalizavimo metodų verčių bendrosios diagramos (kreivių diagramos 3.6 ir 3.7 pav., jose reikšmės yra santykinės-lyginamosios).
3. Pagal gautus kiekvieno normalizavimo metodo rezultatus kiekvienai rodiklių grupei gaunama galutinė lyginamoji lentelė, nustatoma alternatyvų prioritetiškumų eilutė ir lyginami visų verčių normalizavimo metodai.
4. Normalizavimo rezultatai naudojami tolesniam optimalios strategijos radimui programoje LEVI 3.0, kurioje kaip pradiniai matricų duomenys kiekvienam rodikliui yra aštuoniais metodais normalizuotos variantų vertės. Tai yra pradinė 4×10 dydžio duomenų matrica, analizėje naudojama kaip keturios 8×10 dydžio verčių normalizavimo matricos, kurios naudojant programą LEVI 3.0, remiantis rodiklių svoriais, perskaičiuojamos taikant šešių optimalių strategijų radimo metodus. Gaunamos keturiasdešimt aštuonios strategijų (variantų nuo 1 iki 10) pasiskirstymo eilių duomenų matricos.
5. Sudaroma galutinė variantų pasiskirstymo eilių pagal kiekvieną iš verčių normalizavimo metodą duomenų lentelė ir, taikant baudos taškų metodiką (Zavadskas, Ustinovichius, Turskis, Peldschus, Messing 2002.), pagal pasiskirstymų eiles apskaičiuojami kiekvieno uždavinio varianto (investicinio varianto) baudos taškai, sudaroma galutinė variantų rezultatų diagrama. Remiantis kompleksinės analizės rezultatais, priimamas geriausias variantas.
6. Apžvelgiami pradiniai tyrimo duomenys, tarpiniai ir galutiniai rezultatai.

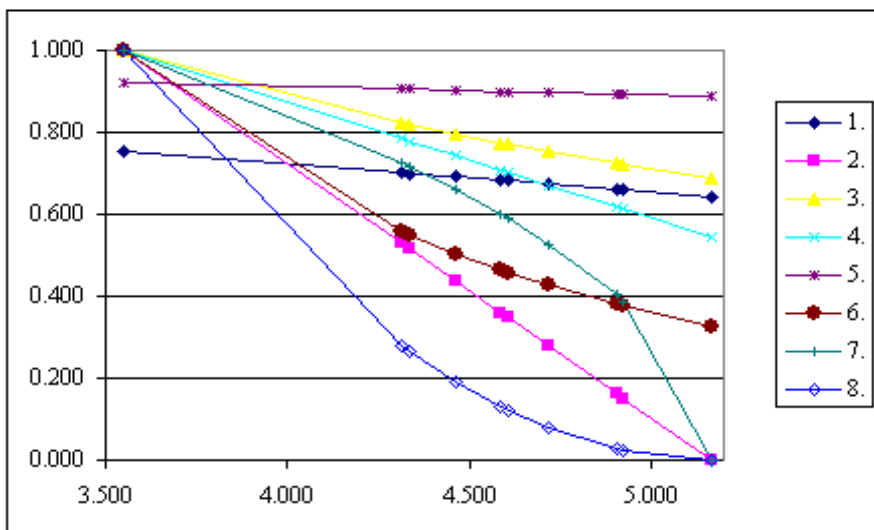
3.6.3. Normalizavimo rezultatai

Atlikus pradinių duomenų normalizavimą, pagal visus aštuonis verčių normalizavimo metodus (žymimi nuo Nr. 1 iki Nr. 8), gaunamos kiekvieno rodiklio normalizavimo metodų verčių lentelės ir bendrosios nesutvarkytų bei sutvarkytų pagal pasiskirstymo eilę verčių diagramos.



3.6 pav. Ekonominio rodiklio normalizuotų ir sutvarkytų reikšmių diagrama (kai reikšmės maksimizuojamos)

Fig. 3.6. Diagram of economic indicator's normalized values (maximized values)



3.7 pav. Papildoma ekonominio rodiklio normalizuotų ir sutvarkytų reikšmių diagrama (kai reikšmės minimizuojamos)

Fig. 3.7. Additional diagram of economic indicator's normalized values (minimized values)

Atlikus verčių normalizavimo lyginamuosius skaičiavimus nustatyta (grafiškai atvaizduota normalizuotų reikšmių diagramose 3.6 ir 3.7 pav.) (Migilinskas 2003; Migilinskas, Ustinovičius 2007):

1. Pagal gautus verčių normalizavimo duomenis ir diagramų vaizdus nagrinėtus verčių normalizavimo metodus galima suskirstyti į keturias grupes: I grupė – metodai Nr. 1 ir Nr. 5; II grupė – metodai Nr. 3 ir Nr. 4; III grupė – metodai Nr. 6 ir Nr. 7; IV grupė – metodai Nr. 2 ir Nr. 8.
2. Normalizavimo metodų analizės pabaigoje gauti pasiskirstymo eilių rezultatai (3.12 lentelė) yra beveik identiški, išskyrus ekonominio rodiklio metodo Nr. 5 antrą ir trečią variantus, kurie susikeitė vietomis.
3. Kadangi metodu Nr. 5 normalizuotos vidurinės (visos, išskyrus didžiausią ir mažiausią) vertės koncentruojasi mažame intervale ($0,108-0,095 = 0,013$), kuris sudaro 37 % viso normalizuotų verčių intervalo (didelė normalizuotų verčių koncentracija) ir tik 1,3 % viso normalizuotų verčių intervalo, dėl numanomų šio metodo nepakankamų normalizavimo savybių buvo gautas ne visiškai variantų rodiklių pasiskirstymo identiškas (3.6 pav.). Tačiau jo negalima atsisakyti, nes jis turi būti nagrinėjamas atliekant objektyvią kompleksinę analizę.
4. I grupės metodų (Nr. 1 ir Nr. 5) pasiskirstymo sutapimą lemia artima normalizuotų verčių koncentracija ir pastebima, kad normalizuotos vertės yra beveik proporcingai susietos daugikliu geriausių maksimalių ir geriausių minimalių normalizuotų verčių atvejais (3.6 ir 3.7 pav.).
5. II grupės metodų (Nr. 3 ir Nr. 5) pasiskirstymo sutapimą taip pat lemia artima normalizuotų verčių koncentracija ir pastebima, kad geriausių maksimalių normalizuotų verčių atveju (3.6 pav.) vertės sutampa, o geriausių minimalių normalizuotų verčių atveju (3.7 pav.) nedaug skiriasi ir net šių metodo vertės gali būti susietos daugikliu su Nr. 6 metodo reikšmėmis ir koncentracija.
6. III grupės metodų (Nr. 6 ir Nr. 7) pasiskirstymo sutapimą taip pat lemia artima normalizuotų verčių koncentracija ir pastebima, kad geriausių maksimalių normalizuotų verčių atveju (3.6 pav.) vertės beveik sutampa, o geriausių minimalių normalizuotų verčių atveju (3.7 pav.) skiriasi ir net Nr. 6 metodo vertės gali būti susietos daugikliu su II grupės metodų (Nr. 3 ir Nr. 5), o Nr. 7 vertės gali būti susietos daugikliu su IV grupės metodų (Nr. 2 ir Nr. 8) reikšmėmis ir koncentracija.
7. IV grupės metodų (Nr. 2 ir Nr. 8) pasiskirstymo sutapimą lemia artima normalizuotų verčių koncentracija ir pastebima, kad normalizuotos vertės yra beveik proporcingai susietos daugikliu tiek geriausių maksimalių, tiek geriausių minimalių normalizuotų verčių atveju (3.6, 3.7 pav.), o geriausių minimalių normalizuotų verčių atveju (3.7 pav.) dar gali būti susietos daugikliu su Nr. 7 metodo reikšmėmis ir koncentracija.

3.12 lentelė. Galutinė variantų pasiskirstymo eilių, pagal kiekvieną iš verčių normalizavimo metodų, duomenų lentelė

Table 3.12. Final versions of the data series' distribution according to each value of normalization methods

Normalizavimo metodai / Grupė	Sprendimo metodai (principai ir taisyklės)					
	Wald	Savage-Niehaus	Hurwicz $\lambda=0.5$	Laplace-Bernouli	Bayes-Laplace	Hodges-Lehman
Nr. 1 / 1 grupė	6>7>5>8> >9>4>1> >10>2>3	6>7>8>9> >1>5>2> >4>3>10	4>2>6>7> >5>8>9> >1>10>3	8>9>6>7> >5>4>1> >2>3>10	8>9>6>7> >5>1>4> >2>3>10	6
Nr. 2 / 4 grupė	5>6>7>8> >9>1>4> >2>3>10	1>5>6>7> >8>9>2> >3>4>10	8>9>1>6> >7>2>4> >5>3>10	8>9>6>7> >1>5>4> >2>3>10	8>9>6>7> >1>5>2> >4>3>10	8
Nr. 3 / 2 grupė	6>7>5>8> >9>4>1> >10>2>3	1>5>6>7> >8>9>2> >4>3>10	8>9>6>7> >5>1>4> >3>2>10	8>9>6>7> >5>4>1> >2>3>10	8>9>6>7> >5>1>4> >2>3>10	6
Nr. 4 / 2 grupė	6>7>5>8> >9>4>1> >10>2>3	2>4>1>5> >6>7>8> >9>3>10	8>9>6>7> >5>1>4> >3>2>10	8>9>6>7> >5>4>2> >1>3>10	8>9>6>7> >4>5>2> >1>3>10	6
Nr. 5 / 1 grupė	6>7>5>8> >9>4>1> >10>2>3	6>7>8>9> >1>5>4> >2>3>10	4>2>6>7> >5>8>9> >1>10>3	8>9>6>7> >5>1>4> >2>3>10	8>9>6>7> >5>1>4> >2>3>10	6
Nr. 6 / 3 grupė	5>6>7>8> >9>4>1> >2>10>3	2>4>1>5> >6>7>8> >9>3>10	8>9>6>7> >1>5>4> >3>2>10	8>9>6>7> >4>5>2> >1>3>10	8>9>6>7> >4>2>5> >1>3>10	8
Nr. 7 / 3 grupė	5>6>7>8> >9>1>4> >2>3>10	1>5>6>7> >8>9>2> >4>3>10	8>9>6>7> >1>5>4> >2>3>10	8>9>6>7> >1>5>4> >2>3>10	8>9>6>7> >1>5>4> >2>3>10	8
Nr. 8 / 4 grupė	1>5>6>7> >8>9>4> >2>3>10	3>1>6>7> >8>9>5> >2>4>10	8>9>2>4> >3>7>5> >6>1>10	8>9>6>7> >1>5>4> >2>3>10	8>9>6>7> >1>5>4> >2>3>10	8

3.12 lentelėje pateikti galutiniai variantų pasiskirstymo eilių, pagal kiekvieną iš verčių normalizavimo metodų, duomenys. Vienodai spalvintų, su storintu arba paverstu šriftu langelių duomenys yra identiški ar atitinka metodų grupes.

3.13 lentelėje pažymėtos vienodai spalvintos metodų grupės, didžiausios reikšmės paryškintos storintu, o mažiausios pabraukimu.

3.13 lentelė. Baudos taškų skaičiuojamoji lentelė, pagal kiekvieną iš normalizavimo metodų

Table 3.13. The computational table of penalty points for each of the normalization methods

Alternatyvos / Baudos taškų lygiai	Baudos taškai pagal metodus verčių normalizavimo metodus								ΣA_j
	Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	Nr. 4	Nr. 5	Nr. 6	Nr. 7	Nr. 8	
A_1 / Vidutinis	33	<u>20</u>	27	32	32	31	22	22	219
A_2 / Vidutinis	34	36	41	33	35	<u>31</u>	39	35	284
A_3 / Aukštas	47	44	45	46	47	45	45	<u>33</u>	352
A_4 / Vidutinis	28	38	34	26	28	<u>24</u>	36	34	248
A_5 / Žemas	24	23	<u>20</u>	23	24	24	21	28	187
A_6 / Žemas	<u>11</u>	15	13	15	<u>11</u>	16	14	20	115
A_7 / Žemas	<u>16</u>	24	18	20	<u>16</u>	21	19	22	156
A_8 / Žemas	15	<u>11</u>	12	14	15	14	12	13	106
A_9 / Žemas	20	<u>17</u>	<u>17</u>	19	20	19	<u>17</u>	18	147
A_{10} / Aukštas	<u>47</u>	50	48	48	<u>47</u>	49	50	50	389
<u>min</u>	3	3	2	0	3	2	1	1	15
max	4	3	1	0	3	0	1	3	15
$\Sigma_{\min j \text{ ir } \max j}$	7	6	3	0	6	2	2	4	30

3.6.4. Tyrimo rezultatai ir apibendrinimas

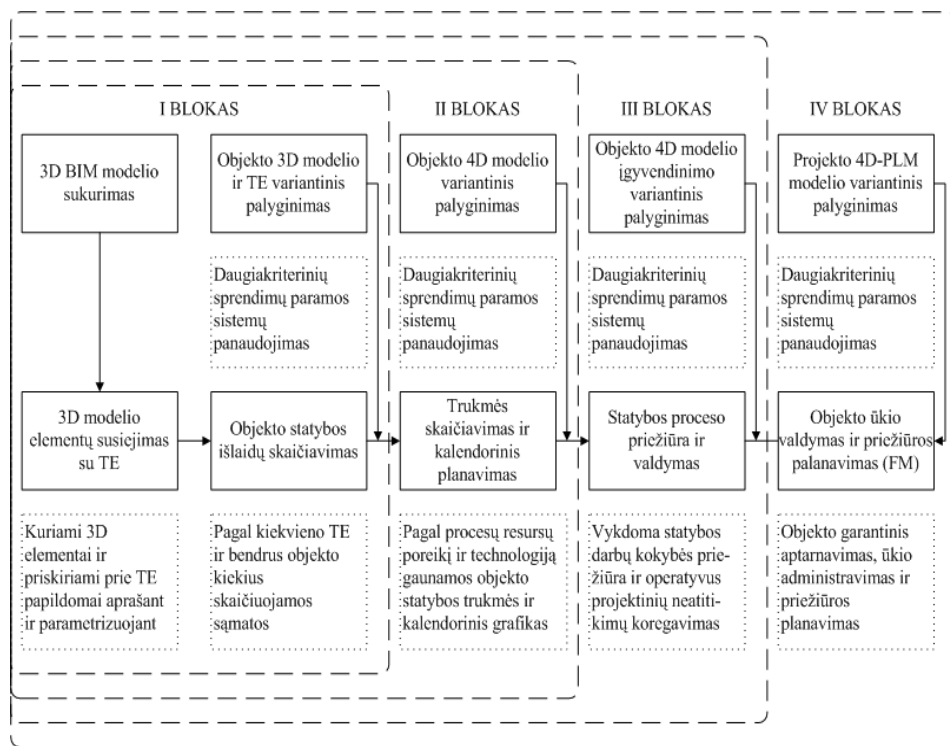
Išanalizavus visus tyrimo rezultatus bei galutinį variantų pasiskirstymą, nustatyta (Migilinskas 2003; Migilinskas, Ustinovičius 2007), kad:

1. Atliktas padalijimas į grupes, išryškintas tamsiu fonu, pagal gautus verčių normalizavimo duomenis ir diagramų vaizdus pasitvirtino: I grupė – metodai Nr. 1 ir Nr. 5 (pasiskirstymo eilių sutapimas – daugiau nei 90 %); II grupė – metodai Nr. 3 ir Nr. 4 (pasiskirstymo eilių sutapimas daugiau nei 73 %); III grupė – metodai Nr. 6 ir Nr. 7 (pasiskirstymo eilių sutapimas apie 62 %); IV grupė – metodai Nr. 2 ir Nr. 8 (pasiskirstymo eilių sutapimas daugiau nei 62 %).

2. Idealaus variantų pasiskirstymo eilių sutapimo, skaičiuojant optimalias strategijas Savage-Niehaus metodu, nėra, o skaičiuojant optimalumo strategijas kitais metodais idealus variantų pasiskirstymo eilių sutapimas yra 2–4 verčių normalizavimo metodų atvejais.
3. Matoma, jog dėl labai įvairių variantų pasiskirstymo eilių gausos verčių normalizavimo metodų pasirinkimas yra labai aktualus.
4. Pagal suminius galutinio investicinio varianto priėmimo skaičiavimus geriausi yra 6 ir 8 investiciniai variantai, bet galutinis sprendimas turi būti priimtas atsižvelgiant į investuotojo tikslus ir ateities strategijas.
5. Nustatyta, kad sprendžiant lošimų teorijos uždavinius būtina pripažinti ir įvertinti neapibrėžtumus, laikant juos svarbiausiais uždavinio elementais renkantis modelio kūrimo ir sprendimo metodus, kitu atveju pasekmės gali būti katastrofiškos. Geriausias metodas nėra nustatytas, tačiau manoma, kad geriausia remtis keliais principais, o vėliau, radus kelis optimalumo variantus, priimamas galutinis kompleksinis sprendimas. Tam gali būti taikoma daugiakriterinė baudos taškų metodika (3.13 lentelė).
6. Esant daugiau nei keturioms (kartais penkioms) alternatyvoms bei jei yra daug artimų rodiklių reikšmių, verčių normalizavimo metodų parinkimo įtaka yra gana didelė ir patartina taikyti III grupės (Nr. 7 ir Nr. 8) verčių normalizavimo metodus,
7. Jei alternatyvų mažiau ir rodiklių reikšmių sklaida didesnė ir artima vidutiniam pasiskirstymui, galima naudoti I grupės (Nr. 1, Nr. 3, Nr. 4, Nr. 5 ir Nr. 6) verčių normalizavimo metodus, išskyrus su didele verčių koncentracija susijusias išimtis. Tada Nr. 1 ir Nr. 6 metodais gali būti gaunami klaidingi galutiniai sprendiniai ir alternatyvų pasiskirstymas. Šiuos metodus reikėtų vengti taikyti.
8. II grupės (Nr. 2 ir Nr. 9) verčių normalizavimo metodus galima taikyti išrenkant geriausią ir blogiausią reikšmes bei taikant I grupės metodus.
9. Sprendimų matricos normalizavimo metodo parinkimas yra gana atsakingas procesas daugiakriterinių (daugiatikslų) sprendimų priėmimo metodų etapų grandinėje ir turėtų būti parenkamas, atsižvelgiant į nagrinėjamos srities specifiką, konkrečius tikslus ir sąlygas.
10. Nustatyta, kad vieno ar kito pradinės informacijos normalizavimo metodo pasirinkimą lemia uždavinio tipas, kriterijų reikšmingumo nustatymo metodas, daugiakriterinių sprendimų priėmimo (įvertinimo) metodai bei turima informacija.

3.7. Alternatyvių variantų palyginimas pagal 4D koncepciją

Išanalizavus investicinio statybos projekto savybes ir pritaikius 4D koncepciją, sudaromas modelis, tinkamas tiksliam efektyviausiam variantui nustatyti. Anksčiau teoriniai modeliai tobulinami, kaip pavaizduota teoriniame statybos projekto automatizuoto valdymo per visą jo gyvavimo laikotarpį modelyje (žiūrėti 3.8 pav.). Apibendrintas statybos projekto automatizuoto valdymo per visą jo gyvavimo laikotarpį modelis susideda iš 4 nepriklausomai panaudojamų blokų (Popov, Mikalauskas, Migilinskas, Vainiunas 2006).



3.8 pav. Statybos projekto automatizuoto valdymo per visą jo gyvavimo laikotarpį modelis

Fig. 3.8. The automated model of construction project life cycle management

Kiekvieno bloko duomenys, atliktus valdymo stadiją, gali būti analizuojami palyginant pasirinktus alternatyvius variantus, o surinkta informacija gali būti perduodama į kitą bloką. Taip gaunama lanksti simuliacijos (video atvaizdavimo) ir realaus laiko analizė, kurios pagalba pasikeitus situacijai (bet kuriuo metu projekto įgyvendinimo ciklo metu) naudojantis 4D koncepcija iš virtualaus 3D BIM modelio duomenimis, gali būti įvertinami alternatyvūs sprendimai ir pasirenkamas tuo metu efektyviausias variantas.

Modelio aprašymas: Šis autoriaus sukurtas modelis yra pritaikytas valdyti statybos projektą per visą jo gyvavimo laikotarpį (Ustinovičius, Popov, Migilinskas 2005; Migilinskas, Ustinovichius 2006) ir susideda iš 4 nepriklausomai panaudojamų blokų. Kiekvieno bloko duomenys, atliktus valdymo stadiją, gali būti analizuojami, palyginant pasirinktus variantus, o surinkta informacija gali būti perduodama į kitą bloką.

I blokas (3D ir TE): Šis blokas susideda iš 3 stadijų: iš turimų brėžinių ar statybos projekto modelio sukuriamas 3D BIM (angl. *Building Information Model* – Pastato Informacinis Modelis) modelis; sukurto 3D modelio elementai susiejami su tipiniais elementais iš vieningo statybos konstrukcinių elementų ir išteklių klasifikatoriaus bei papildomai aprašomi ir parametrizuojami; automatizuotai generuojama statybos projekto išlaidų sąmata. Surinkus visus bloko duomenis ir suformavus rodiklius, gali būti atliekamas alternatyvių variantų palyginimas (įvertinimas).

II blokas (4D): Šis blokas susideda iš ankstesnio I bloko ir vienos papildomos stadijos – projekto įgyvendinimo trukmės skaičiavimo ir kalendorinio planavimo. Turint duomenis iš I bloko (išteklių poreikį) ir kalendoriniame grafike suvedus technologinę seka, gaunamas statybos projekto kalendorinis grafikas su tiksliais procesų trukmėmis ir išteklių poreikiu laiko skalėje. Šiame bloke taip pat gaunama statybos projekto įgyvendinimo simuliacija (vizualizuojanti būsimą statybos procesą). Surinkus visus bloko duomenis ir suformavus rodiklius, gali būti atliekamas alternatyvių variantų palyginimas (įvertinimas) naudojant trukmių rodiklius.

III blokas (4D „live“): Šis blokas susideda iš ankstesnių I ir II bloko bei vienos papildomos stadijos – statybos proceso priežiūros ir valdymo. Virtualus projekto trimatis modelis, išreikštas laike (4D), naudojamas valdyti ir lyginti teorinį modelį su realiais statybos darbais, t.y. yra galimybė palyginti, kiek tikras išteklių poreikis skiriasi nuo teorinio bei pamatyti kokie darbai tam tikrą dieną turi būti padaryti (vizualizacijoje sekti statybos proceso apimtis ir eiga) (Popov, Juocevičius, Migilinskas, Ustinovičius, Mikalauskas 2010.). Surinkus iš blokų duomenis ir suformavus rodiklius, gali būti atliekamas alternatyvių variantų palyginimas (įvertinimas) ir galimų išteklių neatitikimo analizė (Migilinskas, Ustinovičius 2008).

IV blokas (4D PLM): Šis blokas susideda iš ankstesnių I, II ir III bloko bei vienos papildomos stadijos – objekto ūkio valdymo ir priežiūros planavimo (angl. *Facility Management* – FM) (Popov, Juocevičius, Migilinskas, Mikalauskas 2008). Virtualiame projekto modelyje kaupiama visa turima informaciją apie jo elementus, t.y. kaupiami duomenis apie elemento gaminimo darbus atliekančią įmonę, elemento charakteristikas, priežiūros ypatumus, garantinį laikotarpį ir pan. Surinkus visus bloko duomenis, gali būti atliekamas alternatyvių variantų palyginimas (įvertinimas) ir galimų išteklių poreikio skaičiavimai periodiniams priežiūros darbams atlikti.

Šiems sprendimams įgyvendinti reikalingi labai profesionalūs programiniai paketai, kurie turėtų tarpusavyje sujungtą brėžiniuose ir modeliuose esančių elementų parametrų ir sąmatinių skaičiavimų sistemą. Naudojantis projekto vizija arba tik planų vaizdais, sukuriama 3D modelis ir, uždavus parametrus, apskaičiuojama sąmata bei pateikiami projektiniai sprendiniai ar darbo brėžiniai (Migilinskas, Ustinovichius 2006; Popov, Juocevičius, Migilinskas, Ustinovichius, Mikalauskas 2010).

Visi sistemos elementai koduojami pagal kompleksinę-jungtinę kodavimo sistema iš DIN (*DIN 276 Kosten im hochbau*), UNIFORMAT II (*NISTIR 6389 UNIFORMAT II Elemental Classification for Building Specifications, Cost Estimating*), ОКРУС klasifikatorių (*ОКРУС Общесоюзный классификатор - Работы и услуги в строительстве*). Koduoti elementai turėtų būti aprašomi ir kaupiami kompleksinėje duomenų bazėje (Zavadskas, Kaklauskas, Banaitienė 2001) kartu su reikšminių parametrų ir informacijos apie juos duomenimis.

Daugelis statybos specialistų sutinka, kad vienas geriausių informacijos srautų valdymo būdų būtų 4D koncepcija, sujungiant į sistemą trimatį (3D) statinio informacinį modelį su išteklių poreikio skaičiavimais, alternatyvų palyginimu ir kalendoriniu darbų bei išteklių planavimu (Popov, Juocevičius, Migilinskas, Ustinovichius, Mikalauskas 2010). Valdant šia sistemą, galimas variantų palyginimas naudojant daugiakriterinius (daugiatikslius) ir lošimų teorijos metodus (Zavadskas, Kaklauskas, Banaitienė 2001) (Migilinskas 2003) (Maute, Rauli 2004) (Ustinovichius, Turskis, Ševčenko 2008) bei operatyvus informacijos ir duomenų pasikeitimas tarp visų statybos proceso dalyvių bet kuriame objekto statybos stadijos laikotarpyje.

Siekiant užtikrinti dar geresnį valdymą ir informacijos mainus, reikia įgyvendinti projekto vieningą valdymą per interneto tinklą. Taigi įgyvendinus tokį teorinį valdymo modelį ir pritaikius internetinį valdymą bei galutinai įdiegus šią sistemą būtų viena pirmųjų automatizuoto statybos projekto valdymo sistema per visą jo gyvavimo laikotarpį.

3.8. Trečiojo skyriaus išvados

1. Aprašant statybos uždavinių neapibrėžtumų atsiradimo priežastis, būtina paaiškinti tikruosius neapibrėžtumus ir riziką sukeliančius šaltinius bei galimas pasekmes, su kuriomis susidurs kiekvienas projekto dalyvis, įgyvendinantis projektą. Įrodyta, kad toks aprašymas gali būti naudojamas kaip vienas iš pirmųjų neapibrėžtumų valdymo priemonių sprendžiant statybos uždavinius.
2. Įvertinus rizikos skirstymo ir klasifikavimo koncepcija, matoma nauda identifikuojant riziką sukeliančius šaltinius bei numatant projekto potencialias problemas rizikos svarbos atžvilgiu. Nustatyta, kad bet kokia rizika turi būti priimtina užsakovui ir atitinkamai suprantama kiekvienam projekto dalyviui, kurią galima įvertinti pagal pateiktą metodiką.
3. Sukurta unikali metodika, kurioje autoriaus nurodo, kaip, kada ir kokių veiksmų reikia imtis, norint palengvinti projektinių sprendimų priėmimą. Siūlomi pažangiausi sprendiniai, kaip sumažinti ir valdyti neapibrėžtumus sprendžiant technologinius ir ekonominius statybos uždavinius per visą projekto gyvavimo laikotarpį.
4. Sukurtos unikalios tipinių elementų klasifikatoriaus taisyklės, metodika, ir klasifikatorius, kurio pagalba valdomas automatizuotų duomenų perdavimas tarp programinių paketų.
5. Nustatyta, kad įgyvendinant statybos projekto automatizuoto valdymo per visą jo gyvavimo laikotarpį modelį (4D PLM), reikia kaupti duomenų bazes, įdiegti variantų pasiūlymo (dirbtinio intelekto) galimybę ir plėtoti abipusius informacijos srautus tarp visų statybos projekto dalyvių bei įdėti projekto prieigą į internetą. Tokia investicija statybos projekto metu netiesiogiai atsipirks mažindama netikslumų, rizikos ir neapibrėžtumų įtaką.
6. Nustatyta ir detaliais autoriaus skaičiavimais pagrįsta, kad sprendimų matricos normalizavimo metodo parinkimas yra gana atsakingas procesas daugiakriterinių (daugiatikslių) sprendimų priėmimo metodų etapų grandinėje. Metodas turėtų būti parenkamas atsižvelgiant į nagrinėjamos srities specifiką, konkrečius tikslus ir sąlygas, nes jis gali turėti didelę įtaką galutiniam sprendiniui, nes geriausių sprendimų sutapimo paklaida 10-38%, kai kiekių nustatymo ir skaičiavimo paklaida yra apie 5%.
7. Reikia toliau tobulinti 4D ir 4D-PLM koncepcijų taikymą statybos projektui valdyti per visą jo gyvavimo laikotarpį, sudarant galimybę vertinti daugiakriterinius (daugiatikslis) lyginimo metodus ir rengiant bendrą statybos projekto valdymo programinį paketą.

4

Praktinis neapibrėžtumų valdymo įgyvendinimas

Šio skyriaus tikslas – pateikti praktinių pavyzdžių ir skaičiavimo pagrindimus sprendžiant technologinius ir ekonominius statybos uždavinius neapibrėžtumų sąlygomis. Apžvelgiamas darbo sąnaudų lyginamasis poreikis konkursinių skaičiavimų ir įkainojimo darbams atlikti. Sudaromi trijų pastatų su skirtingais konstrukciniais sprendiniais 3D modeliai, atliekami automatizuoti skaičiuojamosios kainos ir statybos darbų trukmės skaičiavimai, skirtingi alternatyvūs pastatai įvertinami ir, taikant daugiakriterinius (daugiatikslius) metodus, išrenkamas geriausias, įvertinama duomenų kitimo paklaida.

Skyriaus tematika paskelbti trys autoriaus straipsniai.

4.1. 4D koncepcijos įgyvendinimo valdant projektą nauda

Autoriaus praktinio tyrimo metu buvo nagrinėjamos darbo sąnaudos, reikalingos vidutinio dydžio ir sudėtingumo statybos projekto konkursiniams darbas atlikti įprastiniu būdu ir taikant automatizuoto statybos projekto valdymo 4D koncepciją. Tyrimo rezultatai ir analizės išvados pateikiami lentelėse. 4.1 lentelėje pateik-

ta darbo sąnaudų, reikalingų įprastiniams statybos projekto konkursiniams darbams atlikti, analizė, o 4.2 lentelėje pateikta darbo sąnaudų, reikalingų statybos projekto konkursiniams darbams atlikti, taikant 4D koncepciją, analizė.

4.1 lentelė. Darbo sąnaudų, reikalingų įprastiniams statybos projekto konkursiniams darbams atlikti, analizė

Table 4.1. Analysis of labour expenditures required for the preparation works at the conventional construction project competition

Eil. Nr.	Įprastinis konkursinių darbų vykdymas (vidutinio dydžio ir sudėtingumo statybos projektas), iš viso 88–140 žm. val.:
1.	Projektavimo dokumentų peržiūrėjimas (aprašymai, brėžiniai, neaiškumų tikslinimas ir t. t.) – 8–16 žm. val.
2.	Darbo apimčių kiekių rankinis skaičiavimas – 48–80 žm. val.
3.	Kiekių suvedimas ir sąmatų sudarymas – 16 žm. val.
4.	Kainų užklausimas ir sąmatos koregavimas – 4–8 žm. val.
5.	Komercinio pasiūlymo pabaigimas ir tikrinimas – 4 žm. val.
6.	Kiekvieno alternatyvaus varianto analizė ir pateikimas – 8–16 žm. val.
	Privalumai: sąmatai sudaryti pakanka tik sąmatinės programos. Trūkumai: reikia daug laiko skaičiuojant kiekius ir perskaičiuojant pasikeitusius projekto duomenis, didelė žmoniškojo faktoriaus įtaka, gaunama informacija su nežinoma paklaida, trūksta laiko alternatyviems variantams analizuoti.

4.2 lentelė. Darbo sąnaudų, reikalingų statybos projekto konkursiniams darbams atlikti naudojant 4D koncepciją, analizė

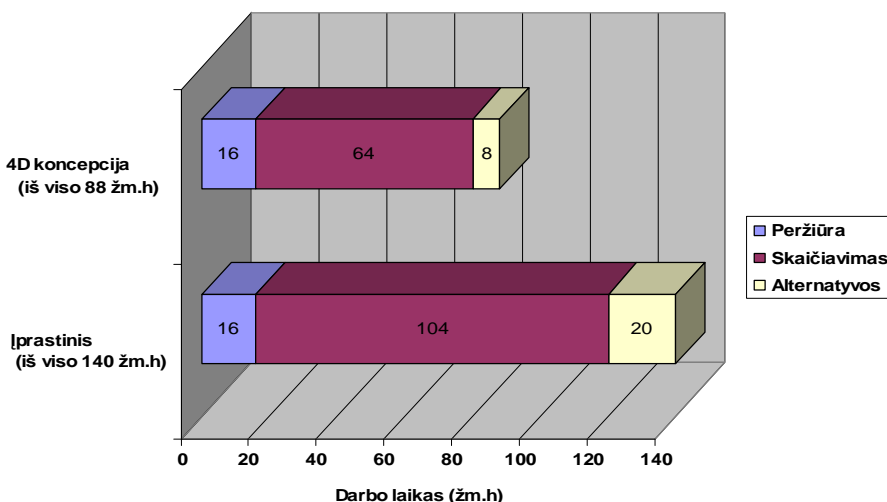
Table 4.2. Analysis of labour expenditures required for the preparation works at the construction project competition using 4D concept

Eil. Nr.	Konkursinių darbų vykdymas naudojant 4D koncepciją (vidutinio dydžio ir sudėtingumo statybos projektas), iš viso 60–88 žm. val.:
1.	Projektavimo dokumentų peržiūrėjimas (aprašymai, brėžiniai, neaiškumų tikslinimas ir t. t.) – 8–16 žm. val.
2.	3D modelio sukūrimas ir darbo kiekių ataskaitos generavimas – 32–48 žm. val.
3.	Tipinių elementų parametrizavimas ir sąmatų generavimas – 8 žm. val.
4.	Kainų užklausimas ir sąmatos koregavimas – 4–8 žm. val.
5.	Komercinio pasiūlymo pabaigimas ir tikrinimas – 4 žm. val.
6.	Kiekvieno alternatyvaus varianto analizė ir pateikimas – 4 žm. val.
	Privalumai: taupomas laikas (ypač nagrinėjant alternatyvias sąmatas), greitai pergeneruojami kiekliai ir sąmatos pagal pakeitimo duomenis, duomenys su žinoma paklaida, gaunamos alternatyvos daugiakriteriniam variantų palyginimui. Trūkumai: reikia kvalifikuoto specialisto, mokantis naudotis specializuota programine įranga (3D modeliui sudaryti ir elementams parametrizuoti).

Palyginimo išvada: konkursiniams skaičiavimo darbams, naudojant 4D koncepciją, reikia iki 40 % mažiau žmogaus darbo laiko, skirtumas gali būti panaudotas alternatyvių variantų analizei (4.1 pav.).

Pagal nustatytus pajėgumus iš išteklių poreikių gauname projekto procesų trukmes, iš kurių technologinės sekos gaunama viso investicinio statybos projekto įgyvendinimo trukmė.

Atliktas tyrimas ir palygintos skaičiavimo darbų trukmės, reikalingos nustatyti kiekius ir išteklių poreikį, sudaryti sąmatas bei palyginti alternatyvius variantus. Pateikiami šio tyrimo rezultatai bei kiekvieno iš būdų privalumai ir trūkumai.



4.1 pav. Konkursinių skaičiavimų palyginimo grafikas
Fig. 4.1. Comparison chart of competitive calculations

4.2. Automatizuotų pastatų modelių kūrimas

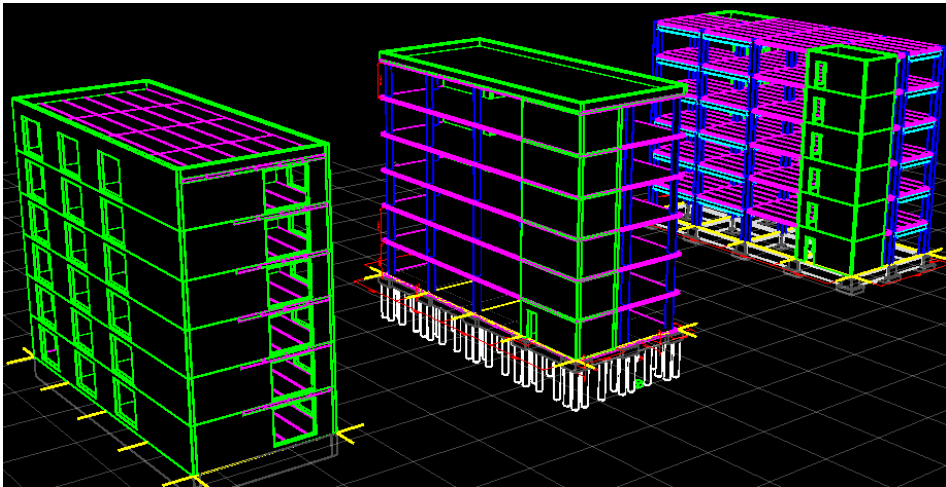
Atsižvelgdami į įvade minėtas statybos projekto kūrimo etapus kylančias problemas ir nagrinėjant iš to daromas išvadas, teigiame, kad kuriant būsimų pastatų modelių ir būsimų pastato koncepcijas būtina naudoti automatizavimą. Pagrindiniai automatizuotų statybos projektų modelių kūrimo etapai:

1. Projekto koncepcijos formulavimas (architektūrinė vizija).
2. Projekto koncepcijos modeliavimas (pagrindinių konstrukcijų parinkimas).
3. 3D elementų sukūrimas iš architektūrinės vizijos arba 2D modelio parametrizavimas, susiejant su tipiniais elementais.

4. Alternatyvios projekto koncepcijos formulavimas (alternatyvi architektūrinė vizija).
5. Alternatyvios projekto koncepcijos modeliavimas (pagrindinių konstrukcijų parinkimas).
6. 3D elementų sukūrimas iš architektūrinės vizijos arba 2D modelio parametrizavimas, susiejant su tipiniais elementais.
7. 4–6 pozicija kartojama, atitinkamai formuojant vis naujus alternatyvius statybos projektų variantus.

Automatizuota būsimo pastato modelio koncepcija leidžia matyti būsimo pastato modelio 3D vaizdą. Toks modelis suteikia užsakovui maksimaliai vaizdžią informaciją apie pastato modelį (4.2 pav.) ir architektūrinius bei konstrukcinius būsimo pastato sprendimus. Galime tuoj pat gauti informaciją apie parinktas medžiagas ir jų sąnaudas. Naudojant automatizuoto projektavimo priemones ir kuriant pastatų modelius automatizuotu būdu galima tikėtis tokios naudos (Popov, Mikalauskas, Migilinskas, Vainiunas 2006):

1. Tikslūs konstrukcijų kiekiai, gaunami iš statybos projekto 3D modelio.
2. Kiekių skaičiavimas automatizuotas, sutaupoma laiko.
3. Projekto brėžinių korektiškumo patikrinimas (netikslumų paieška).
4. Naudojamas bendras tipinių elementų klasifikatorius ir statybinių medžiagų klasifikatorius, lengvinantis darbą, darbų eigos bei išteklių sąnaudų analizę ir kontrolę bendroje sistemoje.
5. Tipinis elementas gali būti surišamas su statybos technologija.
6. Gaunamos 3D modelio elementų visų gamybos išteklių sąnaudos.
7. Nustatoma sąmatinė statybos projekto vertė.



4.2 pav. Automatizuotu būdu sukurtų pastatų modelių vaizdas
 Fig. 4.2. The view of buildings' models created in computer-aided way

4.3. Ekonominio efektyvumo nustatymas automatizuotai kuriant pastatų modelius

Analizės objektas: pagrindiniai statomo pastato konstrukciniai elementai (Ustinovičius, Migilinskas, Tamošaitienė, Zavadskas 2007). Analizei buvo parinkta viena projektuojamo šešių aukštų administracinio pastato koncepcija, atitinkanti užsakovo ir kitus keliamus reikalavimus – pastato architektūrinė vizija. Šio projekto vizijai realizuoti parinkti trys pagrindinių konstrukcijų variantai:

1. Variantas:
 - pamatai – surenkamieji g/b;
 - sienos – mūras iš blokelių;
 - perdanga – surenkamoji g/b;
 - stogas – medinis dvišlaitis, dengtas skarda.
2. Variantas:
 - pamatai – g/b monolitiniai poliai su rostverku;
 - kolonos – g/b monolitinės apskritojo skerspjūvio;
 - sienos – g/b monolitinės; perdanga – g/b monolitinė;
 - stogas – sutapdintasis, padengtas ritinine danga.
3. Variantas:
 - pamatai – surenkamieji g/b su surenkamosiomis g/b pamatų sijomis;
 - kolonos – g/b monolitinės kvadratinio skerspjūvio;
 - perdanga – surenkamoji g/b su surenkamosiomis g/b sijomis;
 - stogas – sutapdintasis, padengtas ritinine danga.

Pagal pasirinktą alternatyvų formavimo kelią lyginami 3D skaičiavimo modeliai, sudaryti automatizuotu ir įprastu (atliktu žmogaus) būdu (4.3 pav.).

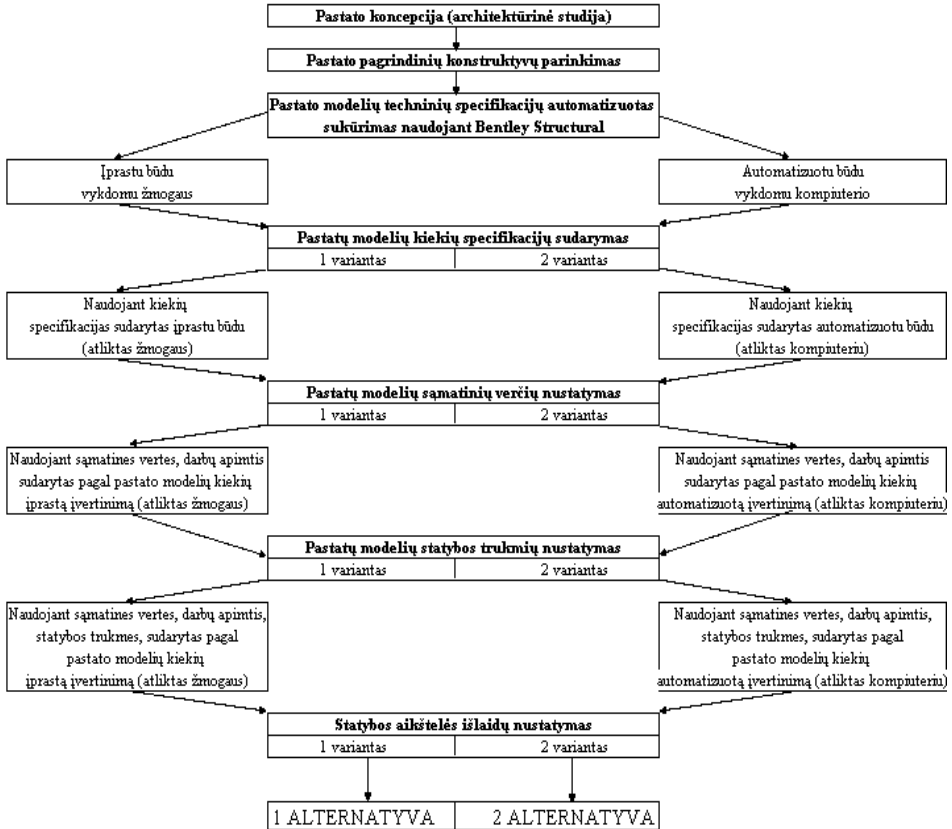
Naudojantis rizikos lygio nustatymo metodika ir lentelė 3.8 analizuojami kompleksiniai kiekvieno pastato statybos rizikos lygiai.

4.3 lentelė. Pavyzdinė trijų pastatų statybos rizikos įvertinimo lentelė

Table 4.3. The example of risk evaluation table for three building construction

	1. Mūro ir plokščių pastatas	2. Monolito konstrukcijų pastatas	3. Surenkamų konstrukcijų pastatas
Rizika dėl geologinių sąlygų	Žymi	Nereikšminga	Pakenčiama
Rizika dėl pastato statybos laiko	Vidutiniška	Žymi	Vidutiniška
Karkaso ir mazgų ilgaamžiškumas	Vidutiniška	Nereikšminga	Pakenčiama
ISVADA:	>Vidutiniška	<Vidutiniška	Pakenčiama

Išanalizavus trijų pastatų statybos darbų riziką nustatyta, kad mažiausia yra surenkamų konstrukcijų pastato, o didžiausia mūrinio pastato su plokštėmis (tačiau kiekvienu atveju rizikos pasiskirstymas glaubūti kitoks).



4.3 pav. 3D modelio alternatyvų formavimo kelias

Fig. 4.3. The path of formation the alternatives for 3D model

Nagrinėjami šie rodikliai: darbo sąnaudos (žm. val.); darbininkų darbo užmokestis (tiesioginių išlaidų suma, Lt) pagal darbo kategoriją; medžiagų sąnaudos (tiesioginių išlaidų suma, Lt); mechanizmų sąnaudos (tiesioginių išlaidų suma, Lt), aikštelės išlaidos (be PVM, Lt); statybos trukmė (kalendorinėmis dienomis). Duomenys normalizuojami taikant Hovanov ir Peldschus sukurtus metodus (Peldschus 1986; Peldschus, Zavadskas 1997). Ekspertiniu metodu (Šarka, 2000) nustatoma šešių aukštų administracinio pastato 3D modelio alternatyvų, normalizuotų duomenų, prioritetų eilutė, analizuojamų rodiklių reikš-

mingumai ir patikrinamas apklaustų ekspertų nuomonių suderinamumas (4.4 pav.).

Ekspertinis metodas

Tema	Statyba
Uždavinys	6 a. administracinio pastato statyba
Lentelė	Pastato karkaso statyba
Duomenų tipas	Variantai
Variantas	I

Rangų suma	181	171	74	138	185
Vidutinis rangas	4,2093	3,9767	1,7209	3,2093	4,3023
Prioritetų eilutė	4	3	1	2	5
Reikšmingumas	0,1896	0,1929	0,2253	0,2039	0,1883
Ekspertizės patikimumas (Beta)	0,33420	0,29798	0,26372	0,12826	0,10801
Vid. kvadratinis išsibarstymas (Sigma)	1,4068	1,1820	0,4539	0,4116	0,4647

Koordinacijos koeficientas (W)	0,18
Nuskyptinių kvadratu suma (S)	6,546,80
Šusijusių rangų rodiklis (Tk)	228,00
Koordinacijos koef. reikšmingumas (Σ)	79,84
Koordinacijos koef. reikšmingumas (Xlent)	64,95

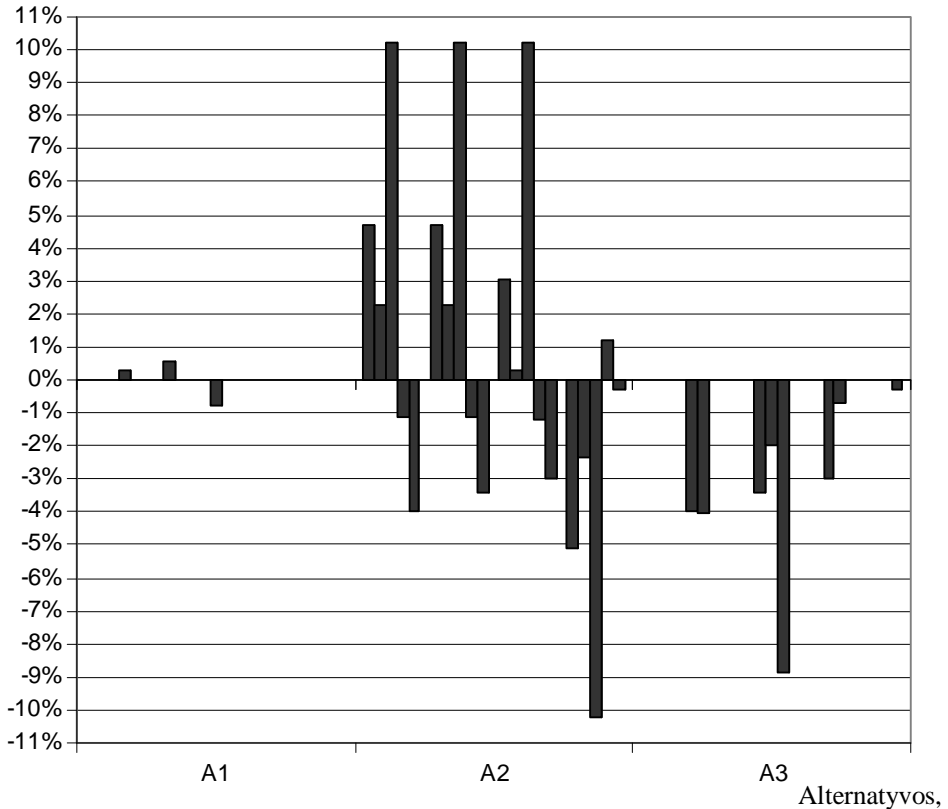
$X > X_{lent}$, ekspertų nuomonės suderintos.
Rekomenduojama taikyti skaičiavimus

4.4 pav. Rodiklių reikšmingumų nustatymas ekspertiniu metodu
Fig. 4.4. The determination of indicators' magnitude by expert method

Patikrinus normalizuotų duomenų rodiklių reikšmingumus ir apklaustų ekspertų nuomonių suderinamumą, apskaičiuojamas šešių aukštų administracinio pastato 3D modelio suformuotų alternatyvų duomenų reikšmės, kurios apskaičiuojamos Bayes ir Laplaso metodais.

Gauti autoriaus tyrimo rezultatai, lyginant trimačių pastatų modelių, sukurtų automatizuotai, parengtas specifikacijas ir tų pačių modelių specifikacijas, sukurtas žmogaus. Rezultatuose kirtingų konstrukcijų pastatų modeliams gauta, kad skaičiuojamosios pastato modelio (4.5 pav.):

- § darbo sąnaudų vertės skiriasi nuo –3,998 % iki 10,192 %;
- § darbininkų darbo užmokesčio vertė skiriasi nuo –4,08 % iki 10,193 %;
- § medžiagų sąnaudų vertės skiriasi nuo –8,839 % iki 10,200 %;
- § mechanizmų sąnaudų vertės skiriasi nuo –10,191 % iki 1,171 %;
- § aikštelės išlaidų vertės skiriasi nuo –3,069 % iki 10,197 %;
- § statybos trukmės skiriasi nuo –18,180 % iki 25,000 %.



4.5 pav. Palyginamoji analizės duomenų diagrama
Fig. 4.5. The comparative diagram of the analysis data

Diagramoje esančios tarpinės reikšmės (išskyrus ekstremalias reikšmės <1 % ir >8 %) kinta nuo -5 % iki +5 %, o absoliutusias vidurkis yra 2,8–3,5 %.

Įvertinti ekonominę projekto dalį trunka nuo 31,8 % iki 37,2 % greičiau nei įprastai. Atlikus tyrimus nustatyta, kad tai trunka nuo 28 žm. val. iki 52 žm. val.. Teigiant, kad valandinis žmogaus atlygis – 14,64 Lt, gauname 409–761 Lt sumą vienam pastato modeliui parengti.

Rengiant pastato modelį, galime rinktis nuo 0 iki n alternatyvų skaičiaus. Imdami nuo 3 iki 15, atitinkamai gautume nuo 1229–2283 Lt iki 6135–11 415 Lt.

Šie rezultatai nėra konstantos, jie priklauso nuo įvairių veiksnių: modelių kuriančios grupės kvalifikacijos, kuriamo modelio sudėtingumo, konstrukcinių, technologinių ir kitokio pobūdžio problemų sprendimų, kūrimo tempo ir nuo daugelio kitų veiksnių. Investicija į projektavimą automatizuotomis priemonė-

mis didina projektavimo kainą, tačiau išlaidos vertinant alternatyvas ir rengiant projekto sprendinius sumažėja, taip pat kaip galimi neapibrėžtumai su neaiškiais mazgais keičiant projektinius sprendinius statybos metu (2.4 pav).

4.4. Ketvirtojo skyriaus išvados

1. Nustatyta, kad taikant automatizuotą pastatų modelių specifikacijų generavimo būdą galima sutaupyti iki 15 % projekto statybos išlaidų.
2. Nagrinėjant pavyzdį apskaičiuota, kad absoliučiosiomis reikšmėmis pasiekiamas iki 5 % sąmatinių kiekių ir darbo apimčių tikslumas.
3. Pagrįsta, kad turima informacija gali lengvai pasinaudoti kiekvienas projekto dalyvis, turintis teises ją valdyti ir priemones.
4. Palyginta, nustatyta ir patvirtinta, kad konkursinių skaičiavimo darbų vykdymas, taikant automatizuoto projektavimo pagal 4D koncepciją, reikalauja iki 40 % mažiau žmogaus darbo laiko, o gautas skirtumas gali būti skirtas alternatyvių variantų analizei.

Bendrosios išvados

1. Sukurtas unikalus technologiniams ir ekonominiams statybos uždaviniams spręsti neapibrėžtumo sąlygomis projekto automatizuoto projektavimo ir valdymo modelis bei aprašyta valdymo ir vykdymo metodika, kurią taikydamas autorius įgyvendina disertacijos uždavinius ir pasiekia disertacijos tikslą.
2. Išnagrinėta ir nustatyta, kad neapibrėžtumų valdymas yra viena aktualesnių statybos problemų. Remiantis autoriaus sukurta ir aprašyta metodika, neapibrėžtumų valdymas turi būtų integruotas į projekto valdymą ir greitai naudojamos priemonės (pagal pateiktą sąrašą) įtakai valdyti per visą projekto gyvavimo laikotarpį.
3. Nustatyta, kad neapibrėžtumų ir su ja susijusios rizikos klasifikavimas, rizikos lygio įvertinimas bei analizavimas padėda nustatyti šaltinius, įtaką projektui ir galimą pasekmių lygį.
4. Išanalizuota ir įrodyta, kad rengiant ir ekonomiškai vertinant projektą, galima išvengti klaidų bei sumažinti neapibrėžtumus naudojant 3D automatizuotas projektavimo sistemas (su autoriaus sukurtu klasifikatoriumi) ir projekto įgyvendinimo atvaizdavimą visą jo gyvavimo laikotarpį (4D PLM modeliavimas).
5. Nustatyta, kad projekto dalyvių keitimosi informacija problema gali būti sprendžiama vartojant bendrus terminus, naudojant tuos pačius standar-

tus, aprašymus, matavimo vienetus, nuolat atnaujinant procedūras ir dirbant bendroje darbo aplinkoje (kompiuterių tinkle ar interneto serveryje).

6. Nustatyta, kad drausmingas projekto valdymas padės valdyti riziką ir neapibrėžtumus, iki 40% sumažinti įvertinimo laiką, sumažinti nuo 5 iki 15% projekto išlaidas ir įgyvendinimo trukmę, pagerinti rezultato kokybę.
7. Įrodyta, kad analizuojant statybos projektų alternatyvas dažniausiai duomenys vertinami taikant netinkamus normalizavimo ir sprendimo priėmimo metodus (geriausių sprendimų sutapimo paklaida 10-38%). Todėl patartina rinktis metodus pagal autoriaus rekomendacijas, tinkančias projekto analizės tikslams įgyvendinti ir patartina naudoti daugiakriterinę sprendimų paramos programinę įrangą.

Literatūra ir šaltiniai

- A *Guide to the Project Management Body of Knowledge: PMBOK Guide (3rd Edition)*. 2004. Pennsylvania: Project Management Institute, 237–268.
- 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.
- Aouad, G.; Marir, F.; Child, T.; Brandon, P.; Kawooya, A. 1997. Construction integrated databases - linking design, planning and estimating, the OSCON approach, in: *International Conference on the Rehabilitation and Development of Civil Engineering Infrastructures*. American University of Beirut, 52–60.
- Aouad, G.; Sun, M.; Faraj, I. 2001. Computer integrated construction: recent developments and future directions, in: Topping, B.H.V. (ed.). *Civil and Structural Engineering Computing*. Saxe-Coburg Publications, UK, 27–54.
- Arrow, K.J. 1949. Bayes and minimax solutions of sequential decision problems, *Econometrica*, 213–243.
- Aumann, R.; Brandenburger, A. 1995. Epistemic conditions for nash equilibrium, *Econometrica, Econometric Society* 63(5): 1161–1180.
- Austin, S.; Baldwin, A.; Li, B.; Waskett, P. 1999. Analytical design planning technique: a model of the detailed building design process, *Design Studies* 3: 279–296.
- Bansal, V.K.; Mahesh, P. 2006. Potential of geographic information systems in building cost estimation and visualization, *Automation in Construction* 16(3): 311–322.
- Batarlienė, N. 2003. *Transporto uždavinių matematiniai-statistiniai metodai*: mokomoji knyga. Vilnius: Technika. 83–88.

- Bayes, T. 1763. An essay towards solving a problem in the doctrine of chances. By the late Rev. Mr. Bayes, communicated by Mr. Price, in a letter to John Canton, M. A. and F. R. S. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London (1683–1775)* 53: 370–418.
- Bernouli, D. 1954. Specimen theoriae novae de mensura sortis, *Comentarii Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae*, 1738, 175–192. Translation by L. Sommer “Exposition of a New Theory on the Measurement of Risk”, *Econometrica* 22: 23–26.
- Birrell, G.S. 1980. Construction planning - beyond the critical path, *Journal of Construction Division, ASCE* 106(3): 389–407.
- Borg, J.; Yan, X.T.; Juster, N.P. 2000. Exploring decisions' influence on life-cycle metrics to aid 'design for multi-x'. Artificial intelligence for engineering design, *Analysis and Manufacture* 14(2): 91–113.
- Brook, M. 2008. *Estimating and Tendering for Construction Work*. Oxford (Burlington): Butterworth-Heinemann. 359 p.
- Burger, E. 1963. *Einführung in die Theorie der Spiele*. Berlin: W de Gruyter, 1959. 169 S. In English: *Introduction to the Theory of Games*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall. 202 p.
- Del Caño, A.; Pilar de la Cruz, M. 2002. Integrated methodology for project risk management. *Journal of Construction Engineering and Management* 128(6): 473–485.
- Cardoso Teixeira, J.M.; Minasowicz, A.; Zavadskas, E.K.; Ustinovichius, L.; Migilinskas, D.; Pellicer Armiñana, E.; Nowak, P.O.; Grabiec, M. 2006. Training needs in construction project management: a survey of 4 countries of the EU, *Journal of Civil Engineering and Management* 12(3): 237–245.
- Caupin, G.; Knopfel, H.; Morris P.; Motzel E.; Pannenbacker, O. 1999. *ICB: IPMA Competence Baseline*. Germany: International Project Management Association.
- Chan, E.W.C.; Chan A.T.S. 2002. Development of professional system in the construction industry of China, *Journal of Construction Research* 3(2): 271–284.
- Chantawit, D.; Hadikusumo, B.H.W.; Charoenngam, C. 2005. 4DCAD-Safety: visualizing project scheduling and safety planning, *Construction Innovation* 5(2): 99–114.
- Chapman, C.; Ward, S. 2003. Constructively simple estimating: a project management example, *Journal of the Operational Research Society* 54(10): 1050–1058.
- Chinowsky, P.S. 2002. Integrating management breadth in civil engineering education, *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*.
- Chou, J., O'Connor, J.T. 2007. Internet-based preliminary highway construction cost estimating database, *Automation in construction*.
- Christodoulou, S. 2004. Educating civil engineering professionals of tomorrow, *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*.
- Cloquell, V.; Santamarina, C. 2001. A new procedure for the numerical values normalization in multicriteria decision techniques, *MCDA 54th meeting in Durbuy (Belgium)*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. 10 p.
- Code of Practice for Project Management (3rd Edition)*. 2002. Oxford: Blackwell Publishing Ltd.
- Competitive Contracting Manual*. Washington State Department of General Administration [žiūrėta 2009 m. birželio 15d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.ga.wa.gov>>.
- Cooke, B.; Williams, P. 2009. *Construction Planning, Programming and Control*. Oxford: Wiley-Blackwell. 489 p.
- Crawford, L. 2005. Senior management perceptions of project management competence, *International Journal of Project Management* 23: 7–16.

- Čyras, P.; Jakutis, A.; Rutkauskas, A.V.; Šukys, R. 2003. The costs of the execution of the EC directive about safety labour. *Technological and Economic Development of Economy* 9(1): 60–66.
- Dantzig, G.B. 1955. Linear programming under uncertainty, *Management Science* 1: 197–206.
- Dantzig, G.B. 1993. *Linear Programming and Extensions*. Princeton: Princeton University Press. 648 p.
- Dijkstra, J.; van Leeuwen, J.P.; Timmermans, H.J.P. 2003. Evaluating design alternatives using conjoint experiments in virtual reality, *Environment and Planning* 30: 357–367.
- DIN 276 Kosten im Hochbau*. 1993. Berlin: Deutsches Institut für Normung e.V. 18 S.
- Drabik, E. 1998. *Elementy teorii gier dla ekonomistów*. Białystok: Uniwersitet w Białymstoku. 140s.
- Dreves, G. 1984. *Die Versorgung von Baustellen mit Transportbeton*. VII. IKIB, Wissenschaftliche Berichte der TH Leipzig, Heft 11, S. 10-15.
- Donath, D.; Loemker, T.M.; Richter, K. 2004. Plausibility in the planning process – reason and confidence in the computer-aided design and planning of buildings, *Automation in Construction* 13(2): 159–166.
- Duncan, W.R. 1996. *A Guide to the Project Management Body of Knowledge*. Project Management Institute Standards Committee, Upper Darby PA: PMI.
- Eastman, C., et al. 2008. *BIM handbook: a Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*. Hoboken (New Jersey), Wiley. 490 p.
- Eastman, C.; Lee, J.; Jeong, Y.; Lee, J. 2009. Automatic rule-based checking of building designs, *Automation in Construction* 18: 1011–1033.
- Edum-Fotwe, F.T.; McCaffer, R. 2000. Developing project management competency: perspectives from the construction industry, *International Journal of Project Management* 18: 111–124.
- Ekhholm, A.; Fridqvist, S. 2000. A concept of space for building classification, product modelling, and design, *Automation in Construction* 9(3): 315–328.
- Estimating and Cost Analysis*. 1999. U.S. Department Of Commerce. 109 p.
- Fialko, S.Yu. 2005. A block sparse direct multifrontal solver in SCAD software, in *Proceedings of the 16th international conference on computer methods in mechanics CMM-2005, June 21–24*. Czestochowa, Poland.
- Fiedler, K. 1976. *Beiträge zur Theorie der Bauprozesse*: Thesen zur Dissertation B. TH Leipzig.
- Fiedler, K. 1977. *Theorie der Bauprozesse – Entwicklungsstand und weitere Aufgaben*. Wissenschaftliche Berichte der TH Leipzig, Heft 1 und 2.
- Final Report. Development of New Type of Studies and Courses in the Field of Management in Construction for Engineers According to the Requirements of European Union*. 2002. Warsaw, Manchester, Porto.
- Ford, S.; Aouad, G.; Brandon, P.; Brown, F.; Child, T.; Cooper, G.; Kirkham, J.; Oxman, R. 1994. The object oriented modeling of building design concepts, *Building and Environment* 29(4): 411–419.
- Ford, S.; Aouad, G.; Kirkham, J.; Brandon, P.; Brown, F.; Child, T.; Cooper, G.; Oxman, R.; Young, B. 1995. An information engineering approach to modelling building design, *Automation in Construction* 4(1): 5–15.
- Frances, J. 2007. Construction industry, *Design build construction* 36.

- Galway, L. 2004. *Quantitative Risk Analysis for Project Management* (RAND Corporation Working paper WR-112-RC). Santa Monika: RAND Corporation.
- Garner, B.; Raban, R. 1999. Context management in modeling information systems (IS), *Information and Software Technology* 41(14): 957–961.
- Ginevičius, R.; Zavadskas, E.K.; Kaklauskas, A. 2003. Efficiency increase of e-learning by applying on-line intelligence computer learning systems, *Journal of Business Economics and Management* 4(3): 203–207.
- Ginevičius, R.; Podvezko, V. 2005. Generation of a set of evaluation criteria, *Verslas: teorija ir praktika* [Business: Theory and Practice] 6(4): 199–207.
- Girsch-Bock, M. 2003. Timberline allows virtually any type of lease, *CPA Software News* 13.
- Girsch-Bock M. 2004. AccuBuild LLC – AccuBuild Construction Software, *CPA Software News* 14.
- Girsch-Bock, M. 2004. Maxwell Systems – The American Contractor, *CPA Software News* 14.
- Goldberg, E. 2002. AEC estimating tools, *Cadalyst* 19.
- Goldberg, H.E. 2002. Ten CAD options automate your architectural designs, *Cadalyst* 19.
- De Graaff, E.; Ravesteijn, W. 2001. Training complete engineers: global enterprise and engineering education, *European Journal of Engineering Education* 26(4): 419–427.
- Harris, F.; McCaffer, R. 2006. *Modern Construction Management*. Oxford: Blackwell. 666 p.
- Hendrickson, C.; Au, T. 1989. *Project Management for Construction*. New York: Prentice-Hall. Prieiga per internetą: <<http://www.ce.cmu.edu/PMBBook/> (Version 2.1)>. 2003.
- Hodges J.L.; Lehmann E.L. 1952. the use of previous experience in reaching statistical decision, *Annals of Mathematics Studies* 396–407.
- Hovanov, N. 1996. *Analysis and Synthesis of Parameters under Information Deficiency*. St.Petersburg: St. Petersburg University Press 11 p.
- Huchzermeier, A.; Loch, C.H. 2001. Project management under risk: using the real options approach to evaluate flexibility in R&D, *Management Science* 47(1): 85–101.
- Hurwicz, L. 1951. Optimally criteria for decision making under ignorance. Cowles Commission Paper, *Statistics*, No 370.
- Hwang Ching-Lai, Yoon Kwangsun. 1981. *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. New York: Springer-Verlag. 259 p.
- Issa, R.U.; Flood, I., O'Brien, W.J. (Eds.). 2003. *4D CAD and Visualization in Construction*. Balkema Publishers, Lisse. 287 p.
- Jang, W.S.; Skibniewski, M.J. 2008. A wireless network system for automated tracking of construction materials on project sites, *Journal of Civil Engineering and Management* 14(1): 11–19.
- Jeong, Y.S.; Eastman, C.M.; Sacks, R.; Kaner, I. 2009. Benchmark tests for BIM data exchanges of precast concrete, *Automation in Construction* 18: 469–484.
- Juodis, A. 2001. *Statyba Europoje: rinka, valdymas, plėtra: monografija*. Kaunas: Technologija. 186 p.
- Jüttler, H. 1966. *Untersuchungen zur Fragen der Operationsforschung und ihrer Anwendungsmöglichkeiten auf ökonomische Problemstellungen unter besonderer Berücksichtigung der Spieltheorie. Dissertation A an der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der Humboldt-Universität Berlin*. 126 p.
- Kapliński, O.; Zavadskas, E.K. 1997. Expert systems for construction processes, *Statyba (Civil Engineering)* 4: 49–61.

- Kapliński, O.; Zavadskas, E.K. 2002. An overview of the problems related to research in construction engineering, management and economics in Poland. *Journal of Civil Engineering and Management* 8(4): 231–239.
- Kendrick, T. 2003. *Identifying and Managing Project Risk: Essential Tools for Failure-Proofing Your Project*. New York: AMACOM.
- Kleim, R.L.; Ludin, I.S. 1998. *Project Management Practitioner's Handbook*. New York: AMACOM, 93–97.
- Kopytov, E.; Greenglaz, L.; Tissen, F. 2006. Stochastic inventory control model with two stages in ordering process, *Journal of Business Economics and Management* 7(1): 21–24.
- Körth, H. 1969. Zur Berücksichtigung mehrerer Zielfunktionen bei der Optimierung von Produktionsplänen, *Mathematik und Wirtschaft*, Band 6, Berlin: Verlag die Wirtschaft, 184–201.
- Kymmell, W. 2008. *Building Information Modeling: Planning and Managing Construction Projects with 4D CAD and Simulations*. New York: McGraw-Hill. 270 p.
- Larichev, O.; Kochin, D.; Ustinovicus, L. 2003. Multicriteria method of choosing the best alternative for investments, *International Journal of Strategic Property Management* 7(1): 33–43.
- Lee, G.; Sacks, R.; Eastman, C.M. 2006. Specifying parametric building object behavior (BOB) for a building information modeling system, *Automation in Construction* 15: 758–776.
- Leeuwen, van J.P.; Zee, van der A. 2005. Distributed Object Models for Collaboration in the Construction Industry, *Automation in Construction* 4(4): 491–499.
- Leinonen, J.; Kähkönen, K. 2003. New construction management practice based on the virtual reality technology. in: *4D CAD and Visualization in Construction*. Issa, R.R.A., Flood, I., O'Brien, W.J., A.A. Balkema Publishers, Lisse, 75–100.
- Marks Robert, E. Strategic game theory for managers, in *Australian Graduate School of Management* [žiūrėta 2007 m. lapkričio 2 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.agsm.edu.au/bobm/teaching/SGTM.html>>.
- Maute, K.; Raulli, M. 2004. An interactive method for the selection of design criteria and the formulation of optimization problems in computer aided optimal design, *Computers & Structures* 82(1): 71–79.
- Manteufel, K.; Stumpe, D. 1977. *Spieltheory. Matematik für Ingenieure, Naturwissenschaft, Ökonomen und Landwirte*, Band 21/1, Leipzig: Gteubner verlagsgesellschaft.
- Melnikas, B. 2002. The integration of international studies as a part of business environment, *Verlasas: teorija ir praktika* [Business: theory and practice] 2(1): 31–40.
- Marčiukaitis, G.; Jonaitis, B.; Užpolevičius, B.; Valivonis, J.; Norkus, A.; Amšiejus, J. 2009. *Apkrovų ir poveikių skaičiavimo pagal darniausius Europos standartus, perimtus Lietuvos standartais, praktinio naudojimo vadovas* (parengta Vilniaus Gedimino technikos universitete pagal Lietuvos Respublikos Aplinkos ministerijos užsakymą) [žiūrėta 2010 m. birželio 27 d.]. Prieiga per internetą <<http://www.gmkk.st.vgtu.lt/66007/Eurokodai>> arba svetainėje <<http://www.eurokodai.vgtu.lt>>.
- Mikalauskas, S.; Mikalauskas, R. 2002. Šačmatinės dokumentacijos svarba organizuojant statybinės įmonės veiklą, *Nauja statyba* 2: 56–57.
- Mikalauskas, S. 2003. Projektavimo profanacija, *Nauja statyba* 9: 55–56.
- Mikalauskas, S.; Popovas, V. 2003. SES 2000 – automatizuotas šačmatų sudarymas Microstation TriForma terpėje, *Nauja statyba* 10: 33–35.
- Minasowicz, A.; Nowak, P. 2000. Leonardo da Vinci Projects – Enhancing Construction Manager's Skills Across European Union, *Construction Information Quarterly* 7(2): 397–414.

- Mintzberg, H. 1973. *The Nature of Managerial Work*, Harper and Row. New York.
- Mitkus, S.; Trinkūnienė, E. 2006. Models of indicator systems of construction contraction agreements, *Journal of Civil Engineering and Management* 12(4): 327–335.
- Moščinskas, P. 1997. *Sprendimų teorija: paskaitų konspektas*. Vilnius: VU leidykla. 109 p.
- Muschik, E. 1970. Strategische Modelle für technische Sachverhalte, *Elektre*, Heft 12, Berlin: VEB Verlag Technik, 423–425.
- NISTIR 6389 UNIFORMAT II Elemental Classification for Building Specifications, Cost Estimating, and Cost Analysis. 1999. U.S. Department Of Commerce. 109 p.
- Nash, J.F. 1950. Equilibrium Points in N-person Games, in *Proceedings of the National Academy of Sciences* 36: 48–49.
- Nowak, M. 2005. Investment projects evaluation by simulation and multiple criteria decision aiding procedure, *Journal of Civil Engineering and Management* 11(3): 193–202.
- Peldschus, F. 1986. *Zur Anwendung der Theorie der Spitele für Aufgaben der Bautechnologie*. Dissertation B. TH Leipzig. 119 S.
- Peldschus, F.; Zavadskas, E. K. 1997. *Matriciniai lošimai statybos technologijoje ir vadyboje*. Vilnius: Technika. 134 p.
- Pellicer, E.; Seron, J.B.; Catalá, J.; Leopoldo, J.J. 2003. *Proposal of a New Academic Frame for the Civil Engineering Education In Construction Safety and Health*. International Conference on Engineering Education, València, Spain.
- Perelmuter, A.V.; Fialko, S. Yu. 2005. Problems of computational mechanics relate to finite-element analysis of structural constructions, *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering* 2: 72–86.
- Peschel, M. 1980. *Ingenieurtechnische Entscheidungen*. Berlin: VEB Verlag Technik.
- Phair, M. 2005 Software enables “virtual Constructability”, *Building Design & Construction* 46.
- Popovas, V.; Ustinovichius, L.; Mikalauskas, S. 2004. Technique for computer aided evaluation of economic indicators of a construction project, in *The 8th International Conference „Modern building materials, structures and techniques”*. Selected papers (May 19–21, Vilnius, VGTU). Vilnius: Technika, 242–248.
- Puškorius, S. 2001. *Sprendimų priėmimo teorija: Kiekybiniai metodai*. Vilnius: Lietuvos teisės universitetas. 151 p.
- Rauhut, B.; Schmitz, N.; Zachow, E. W. 1979. *Spieltheorie*. Stuttgart: BG Teubner.
- Reisman A.; Kumar, A.; Motwani, J. 2001. A meta review of game theory publications in the flagship U.S. Based OR/MS Journals, *Journal of Management Decision* 39(2): 147–155.
- Rimkuvienė, S.; Lepkova, N. 2004. Analysis of experience and efficiency of distance learning master’s degree programme in construction economics and property management, *Journal of Civil Engineering and Management* 10(1): 51–60.
- Rogov, M.A. 2006. Global risk factors. *Journal of Business Economics and Management* 7(1): 25–28.
- Rosenhead, J.; Elton, M.; Gupta, S.K. 1972. Robustness and optimality as criteria for strategic decisions, *Operational Research Quarterly* 23(4): 413–431.
- Saaty, T.L. 2005. *Theory and Applications of the Analytic Network Process: Decision Making with Benefits, Opportunities, Costs and Risks*. RWS Publications: Pittsburgh. 352 p.
- Sacks, R.; Eastman, C.M.; Lee, G. 2004. Parametric 3D modeling in building construction with examples from precast concrete, *Automation in Construction* 13: 291–312.

- Saeed, J. 2004. Internalisation strategy for education in the 21st century. *Journal of Business Economics and Management* 5(2): 77–84.
- Samuelson, L.; Zhang, J. 1992. Evolutionary stability in asymmetric games, *Journal of Economic Theory* 57: 363–391.
- Savage, L.J. 1951. The Theory of statistical decision, *Journal of the American Statistical Association* 55–57.
- Shevchenko, G.; Ustinovičius, L.; Andruškevičius, A. 2008. Multi-attribute analysis of investments risk alternatives in construction. *Technological and Economic Development of Economy* 14(3): 428–443.
- Smith, N.J. 1999. *Managing the Risk in Construction Projects*. Oxford: Blackwell. 232 p.
- Smith, N.J. 2003. *Appraisal, Risk and Uncertainty*. London: Thomas Telford Ltd.
- Smith, D.K.; Tardif, M. 2009. *Building Information Modeling: A Strategic Implementation Guide For Architects, Engineers, Constructors, And Real Estate Asset Managers*. John Wiley & Sons. 216 p.
- Stankevičius, P. 2004. The attitude of Lithuanian students towards work, business and employment possibilities, *Verslas: teorija ir praktika* [Business: theory and practice] 4(2): 59–64.
- Stopp, F. 1978. *Variationsvergleich durch Matrixspiele*. VII. IKM Weimar, berichte, Teil 1, S. 237–240.
- Šaparauskas, J.; Turskis, Z. 2006. Evaluation of construction sustainability by multiple criteria methods. *Technological and Economic Development of Economy* 12(4): 321–326.
- Šarka, V.; Ustinovičius, L.; Zavadskas, E.K. 1999. Project synthesis using compromise-compensating model in decision support system in construction industry, *Civil Engineering and Management* 5(6): 374–385 (in Lithuanian).
- Šarka, V.; Zavadskas, E.K. 1999. Projektų sintezė sprendimų paramos sistemoje, iš 6-osios tarptautinės konferencijos „Naujos statybinės medžiagos, konstrukcijos ir technologijos“, įvykusios Vilniuje 1999 m. gegužės 19–22 d. straipsniai, Vol 5. Vilnius: Technika, 268–273.
- Šarka, V.; Zavadskas, E.K.; Ustinovičius, L.; Šarkienė, E.; Ignatavičius, Č. 2008. System of project multicriteria decision synthesis in construction, *Technological and Economic Development of Economy* 14(4): 546–565.
- Šarka, V. 2000. A decision support system applying multicriteria synthesis methods in construction, *Statyba (Civil Engineering and Management)* 6(6): 464–468.
- Šarkienė, E.; Ustinovičius, L.; Šarka, V. 2004. Model of selection architectural solutions in housing construction based on multiple criteria decision synthesis methods, *Foundation of Civil and Environmental Engineering* 6: 25–37.
- Šukys, R. 2004. Perspectives and problems of health and safety in construction, *Journal of Civil Engineering and Management* 10, Suppl 1: 51–55.
- Tah, J.H.M.; Carr, V. 2001. Towards a framework for project risk knowledge management in the construction supply chain, *Advances in Engineering Software* 32: 835–846.
- Teixeira, J. 2005. Construction site environmental impact in civil engineering education, *European Journal of Engineering Education* 30(1): 51–58.
- The Portable MBA in Project Management* (ed. E. Verzuh). 2003. John Wiley and Sons, New Jersey.
- Thomas, S.; Wentao, Li. 2006. A parallel bargaining protocol for automated sourcing of construction suppliers, *Automation in Construction* 15(3): 365–373.

- Trejo, D.; Patel, S.; Andersen, S.; Cervantes, E. 2003. Framework for competency and capability assessment for resource allocation, *Journal of Management in Engineering* 18(1): 44–49.
- Triantaphyllou, E. and Mann, S.H. 1989. An Examination of the Effectiveness of Multi-Dimensional Decision-Making Methods: A Decision-Making Paradox. *International Journal of Decision Support Systems* (5): 303–312.
- Tvaronavičienė, M. 2002. Case study as a tool of managers' education, *Verslas: teorija ir praktika* [Business: theory and practice] 2(2): 118–122.
- Tvaronavičienė, M.; Ginevičius, R. 2003. Application of case teaching technique in educational process, *Journal of Business Economics and Management* 4(4): 217–221.
- Turskis, Z.; Zavadskas, E.K.; Peldschus, F. 2009. Multi-criteria Optimization System for Decision Making in Construction Design and Management. *Engineering Economics* 1(61): 7-17.
- Underwood, J.; Alshawi, M. 2000. Forecasting building element maintenance within an integrated construction environment, *Automation in Construction* 9: 169–184.
- Ustinovičius, L. 2004. Determination of efficiency of investments in construction, *International Journal of Strategic Property Management* 8(1): 25–44.
- Ustinovičius, L.; Kochin, D.; Kutut, V.; Ševčenko, G. 2008. Verbal analysis of renovation investment strategy of old town, in *The 25th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2008): selected papers, June 26-29, 2008 Vilnius, Lithuania*. Vilnius: Technika, 397–410.
- Ustinovičius, L.; Šarkienė, E.; Šarka, V. 2003. Model of efficient architectural decisions of dwelling - houses applying the method of project multicriteria decision synthesis, *Technological and Economic Development of Economy* 9(1): 18–26.
- Ustinovičius, L.; Turskis, Z.; Ševčenko, G. 2008. Multi-attribute analysis of investment risks in construction, in *The 25th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2008): selected papers, June 26-29, 2008 Vilnius, Lithuania*. Vilnius: Technika, 682–687.
- Ustinovičius, L.; Zavadskas, E.K. 2004. *Statybos investicijų efektyvumo sistemotechninis įvertinimas*. Vilnius: Technika. 220 p.
- 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): 256–268.
- Vakrinienė, S.; Čyras, P.; Šukys, R. 2004. Traumatized prevention resources optimization in construction. *Journal of Civil Engineering and Management* 10, Suppl 1: 57–63.
- Vilkas, E. 1976. *Kas tai yra lošimų teorija?* Vilnius: Mokslas. 80 p.
- de Vries, B.; Broekmaat, M. 2003. Implementation Scenarios for 4D CAD in Practice. In: Maas, G. and van Gassel, F. (eds.). *Proceedings of the 20th International Symposium on Automation and Robotics in Construction*. (Eindhoven University of Technology. Eindhoven, NL), 393–398.
- Wang, W.; Yang, J. 2005. Applications of electronically facilitated bidding model to preventing construction disputes, *Automation in Construction* 14(5): 599–610.
- Wald, A. 1945. Statistical decisions functions which minimize the maximum risk, *Annals of Mathematics*, 265–280.
- Weiss, M. M. 2004. Estimating - Part VI. *Professional Builder* 69.
- Weitendorf, D. 1976. *Beitrag zur Optimierung der räumlichen Struktur eines Gebäudes*. Dissertation A, Hochschule für Architektur und Bauwesen. Weimar.

- WP II Report. *Recognition of needs and creation of professional training in the area of management of infrastructure construction projects, Leonardo da Vinci Project number PL/04/B/PP/-174 417*. 2005.
- Xu J.P.; Wang Sh.; Shi, J.M. 2001. *Superiority Index Method for Multiple Attribute Decision-Making under Uncertainty (MADIS Working Paper MSPS-E-01-14)*. Tokyo: Tokyo University of Science.
- Zavadskas, E.K.; Kaklauskas, A. 2000. Efficiency increase in research and studies while applying up-to-date information technologies. *Statyba (Civil Engineering)* 6(6): 397–414.
- Zavadskas, E.K.; Karablikovas, A., ir kt. 2000. *Pastatų statybos technologija*. Vilnius: Alma littera.
- Zavadskas, E.K.; Kaklauskas, A.; Banaitienė, N. 2001. *Pastato gyvavimo proceso daugiakriterinė analizė*. Vilnius: Technika.
- Zavadskas, E.K.; Kaklauskas, A.; Lepkova, N. 2002. Multiple criteria analysis of facilities management alternatives, *Property Management* 6(1): 31–39.
- Zavadskas, E.K.; Peldschus, F.; Turskis, Z. 2008. Multi-criteria optimization software LEVI-4.0 a tool to support design and management in construction, in *The 25th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2008): selected papers, June 26-29, 2008 Vilnius, Lithuania*. Vilnius: Technika, ISBN 978-9955-28-304-1, 731–736.
- Zavadskas, E.K.; Peldschus, F.; Ustinovichius, L. 2003. Development of software for multiple criteria evaluation, *Informatica* 14(2): 259–272.
- Zavadskas, E.K.; Peldschus, F.; Ustinovičius, L.; Turskis, Z. 2004. *Lošimų teorija statybos technologijoje ir vadyboje*. Vilnius: Technika. 196 p.
- Zavadskas, E.K.; Ustinovichius, L.; Turskis, Z., Peldschus, F.; Messing, D. 2002. LEVI-3.0 – multiple criteria evaluation program for construction solutions, *Journal of Civil Engineering and Management* 8(2): 184–191.
- European Union Commission Council Directive 89/106/EEC (angl. *Construction Products Directive* – Statybos Produktų Direktyva) “Dėl valstybių narių įstatymų, reglamentų ir administracinių nuostatų, susijusių su statybos produktais, suvienodinimo” ir jos priedai bei aiškinamieji dokumentai 994/C62/01 paskelbti oficialiame Europos Sąjungos leidinyje “Official Journal of the European Communities” 1989 02 11 Nr. L 40 (32 tomas) ir 1994 02 28 Nr. C 62 (37 tomas).
- European Standart EN 1990: (Eurocode 0) Basis of structural design (by European Committee for Standardisation)
- Lietuvos ekonominių rodiklių projekcijos. Lietuvos Respublikos finansų ministerija (žiūrėta 2008-04-03, 2010-02-01) [http://www.finmin.lt/web/finmin/aktualus_duomenys/makroekonomika].
- Lietuvos statybos sektoriaus apžvalga Aktualijos. Statybos sąnaudų kainų pokyčiai. Lietuvos statybininkų asociacija (žiūrėta 2006-10-03) [<http://www.statybininkai.lt/?id=5>].
- Lietuvos ūkio ekonominės ir socialinės būklės apžvalga (statybos sektorius). Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija (žiūrėta 2010-02-12) [<http://www.am.lt/VI/index.php#/1066>].
- Statinių statybos skaičiuojamųjų kainų nustatymo rekomendacijos (I), UAB „Sistela“, Vilnius, 2005 (žiūrėta 2006-10-03) [<http://www.sistela.lt>].
- Statybos techninis reglamentas STR 1.01.04:2002. Statybos produktai. Atitikties įvertinimas ir „CE“ ženklavimas

- Statybos techninis reglamentas STR 2.01.01(1):2005. Esminis statinio reikalavimas. “Mechaninis atsparumas ir pastovumas”
- Statybos techninis reglamentas STR 2.01.01(2):1999. Esminiai statinio reikalavimai. Gaisrinė sauga
- Statybos techninis reglamentas STR 2.01.01(3):1999. Esminiai statinio reikalavimai. Higiena, sveikata, aplinkos apsauga
- Statybos techninis reglamentas STR 2.01.01(4):2008. Esminiai statinio reikalavimai. Naudojimo sauga.
- Statybos techninis reglamentas STR 2.01.01(5):2008. Esminis statinio reikalavimas. Apsauga nuo triukšmo.
- Statybos techninis reglamentas STR 2.01.01(6):2008. Esminis statinio reikalavimas. Energijos taupymas ir šilumos išsaugojimas.
- Безруков, А. Б.; Сайтгараев, С.С. 2001. *Прикладная теория игр: учебное пособие*. Челябинск: Челябинский государственный университет. 128 с.
- Блех, Ю.; Гетце, У. 1997. *Инвестиционные расчеты: Модели и методы оценки инвестиционных проектов*. Калининград: Янтар. 450с.
- Деревянко, П.М. 2005. Сравнение нечеткого и имитационного подхода к моделированию деятельности предприятия в условиях неопределенности, *Современные проблемы экономики и управления народным хозяйством*. Сб. научн. статей. Вып. 14. СПб.: СПбГИЭУ, 289–292.
- Дулкин, В. Н. *Теория игр* [žiūrėta 2003 m. vasario 23 d.]. Prieiga per internetą: <<http://mmyline.boom.ru/uch.htm>>.
- Губко, М.В.; Новиков, Д.А. 2005. *Теория игр в управлении организационными системами*. Москва.
- Кильпеляйнен, С. А. 2001. *Теория принятия решений: Лекции*. Петрозоводск: Петрозоводский государственный университет.
- Коновалов, А. П. 1996. *Теория игр и принятие решений: Лекций*. Одесса: Одесский политех. 50 с.
- Крушевский, А.В. 1977. *Теория игр*. Киев: Вища школа. 216 с.
- Ларичев, О.И. 1979. *Наука и искусство принятия решений*. Москва: Наука. 200 с.
- Ларичев, О. И. 2000. *Теория и методы принятия решений, а также хроника событий в волишебных странах: учебник*. Москва: Логос. 296 с.
- Лемешко, Б. Ю. 2002. *Конспект лекций (без редактирования) по курсу Теория игр и исследование операций*. Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет. 23 с.
- Льюс, Р.; Райфа, Х. 1961. *Игры и решения*. М.: Иностранная литература.
- Методы оптимизации, исследование операций и теория игр: методические указания к лабораторным работам для студентов III–IV курса ФПМИ*. 2002. Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет. 38 с.
- Мулен, Э. 1985. *Теория игр примерами из математической экономики: пер с франц*. Москва: Мир. 200 с.
- Новиков, Д.А. 2005. *Теория управления организационными системами*. Москва: МПСИ. 584 с.

- ОКРУС* Общесоюзный классификатор. Работы и услуги в строительстве. Государственный комитет СССР по стандартам. 1987. Москва: Стройиздат. 126 с.
- Орловский, Е. 1984. Метод многокритерийного подбора машин в комплекты на примере земляных работ. VII. *IKIB Wissenschaftliche Berichte der TH Leipzig*, Heft 14, 61–65.
- Оуэн, Г. 1971. *Теория игр*. Москва: Мир. 230 с.
- Саитгараев, С.С. 2001. *Элементы теории игр*. Челябинск: Челябинский государственный университет. 75 с.
- Таха, Х. А. 2001. *Введение в исследование операций*. Москва: Вильямс. 912 с.
- Фон Нейман, Дж.; Моргенштерн, О. 1970. *Теория игр и экономическое поведение* (Von Neumann, J.; Morgenstern, O. 1947. *The Theory of Games and Economic Behaviour*. Princeton University Press: Princeton). Москва: Наука. 708 с.

Autoriaus publikacijos disertacijos tema

Straipsniai recenzuojamuose mokslo žurnaluose

Popov, V.; Juocevičius, V.; Migilinskas, D.; Ustinovičius, L.; Mikalauskas, S. 2010. The use of virtual building design and construction model for developing an effective Project concept in 5D environment, *Automation in Construction* (3): 357–367. ISSN 0926-5805 (Thomson ISI Master Journal List).

Ustinovičius, L.; Zavadskas E. K.; Migilinskas, D.; Malewska, A.; Nowak, P.; Minasowicz, A. 2006. Verbal Analysis of Financial Risk Elements in Construction Contracts, *Lecture Notes in Computer Science (LNCS 4101)* Berlin: Springer, 293–302. ISSN 0302-9743. ISBN 3-540-44494-7 (IRBdirect, ICONDA).

Migilinskas, D.; Ustinovichius, L. 2006. Computer-aided modelling, evaluation and management of construction projects according to PLM concept, *Lecture Notes in Computer Science (LNCS 4101)*, Berlin: Springer, 242–250. ISSN 0302-9743, ISBN 3-540-44494-7 (IRBdirect, ICONDA).

Straipsniai recenzuojamose konferencijų pranešimų leidiniuose

Migilinskas, D.; Ustinovičius, L. 2008. Methodology of risk and uncertainty management in construction's technological and economical problems, in *The 25th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2008): Selected papers, June 26–29, 2008 Vilnius, Lithuania*. Vilnius: Technika, 789–794. ISBN 978-9955-28-304-1 (IRBdirect, ICONDA).

Popov, V.; Juocevičius, V.; Migilinskas, D.; Mikalauskas, S. 2008. Application of building information modelling and construction process simulation ensuring virtual project development concept in 5D environment, in *The 25th International Symposium on Automation and Robotics in*

Construction (ISARC 2008): Selected papers, June 26–29, 2008 Vilnius, Lithuania. Vilnius: Technika, 616–624. ISBN 978-9955-28-304-1 (IRBdirect, ICONDA).

Ustinovičius, L.; Migilinskas, D.; Tamošaitienė, J.; Zavadskas E. K. 2007. Uncertainty analysis in construction project's appraisal phase, in *The 9th International conference "Modern building materials, structures and techniques". Selected papers, May 16-18, 2007 Vilnius Gediminas Technical University*, Vol. 1. Vilnius: Technika, 401–407. ISBN 978-9955-28-198-6 (Thomson ISI Proceedings).

Migilinskas, D.; Ustinovičius, L. 2004. An analysis of inaccuracy effect in solving construction technology and economy problems, applying games theory, in *The 8th International conference "Modern building materials, structures and techniques". Selected papers*. Vilnius: Technika, 229–235. ISBN 9986-05-757-4 (Thomson ISI Proceedings).

Straipniai mokslo žurnaluose

Migilinskas, D., Ustinovichius, L. 2007. Normalization in selection of construction alternatives, in *Internatinal Journal of Multicriteria Decision Making. Special Issue on: "Normalisation in Decision-Making Methods"* 8(5/6): 623–639.

Teixeira, J. C.; Minasowicz, A.; Zavadskas, E. K.; Ustinovichius, L.; Migilinskas, D.; Pellicer, E.; Nowak, P.; Grabiec, M. 2006. Training needs in construction project management: a survey in four EU countries, *Journal of Civil Engineering and Management* 12(3): 237–245. ISSN 1392-3730.

Popov, V.; Mikalauskas, S.; Migilinskas, D.; Vainiunas, P. 2006. Complex usage of 4D information modeling concept for building design, estimation, scheduling and determination of effective variants, *Technological and Economic Development of Economy* 12: 91–98. ISSN 1392-8619.

Migilinskas, D.; Ustinovichius, L. 2006. Uncertainties in construction's decision making, in *The 5th International Conference on Operational Research „Simulation and Optimization in Business and Industry“*. *Proceeding (SOBI 2006 – Talinas, Estija)*. Kaunas: Technologija, 17–22. ISBN 9955-25-061-5.

Ustinovičius, L.; Popov, V.; Migilinskas, D. 2005. Automated management, modeling and choosing of economically effective variant in construction, *Transport and Telecommunication (Proceedings of International Conference „RelStat'04“)*, Ryga (Latvia): Transport and Telecommunication Institute, 6(1): 183–189. ISSN 1407-6160.

Migilinskas, D. 2003. Normalizavimo metodų pasirinkimo įtaka priimant sprendimus statyboje, pritaikius lošimų teoriją, *Ūkio technologinis ir ekonominis vystymas* 9(2): 73–79. ISSN 1392-8619.

Straipniai kituose leidiniuose

Ustinovichius, L.; Andriuškevichius, A.; Kutut, V.; Migilinskas, D.; Barvidas, A. 2007. Verbal analysis of engineering and construction contracts, *Engenharia Civil* 28: 5–18. ISSN 0873-1152

Popov, V.; Mikalauskas, S.; Migilinskas, D.; Vainiūnas, P. 2006. Information modelling application for building design, estimation and scheduling, in *14th Polish – Ukrainian – Lithuanian Conference "Theoretical Foundations of Civil Engineering" Ed. By W. Szczesniak (VGTU, 28–30 June 2006, Vilnius)*. Warsaw: Politechnica Warszawska, 301–308. ISBN 9955-28-047-6.

Šarka, V.; Zavadskas, E.K.; Ustinovičius, L.; Šarkienė, E.; Migilinskas, D. 2006. Method of project multicriteria decision synthesis in construction, *Badania operacyjne i systemowe 2006. Tom 2. Analiza systemowa w globalnej gospodarce (Systems and Operational Research – BOS 2006)*. Szczecin: Exit (Poland), 131–142. ISBN 83-6043-420-4.

Migilinskas, D. 2008. Neapibrėžtumų valdymo statybos uždaviniuose metodika, iš *11-oji Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencija „Mokslas – Lietuvos ateitis“*. VGTU Statybos fakultetas, sekcija STATYBA (2008 m. balandžio 2–4 d.). Vilnius: Technika, 510–519. ISBN 978-9955-28-319-5.

Tamošaitienė, J.1 Migilinskas, D. 2007. Automatizuotų pastato modelių ekonominio efektyvumo nustatymas, iš *10-oji Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencija „Mokslas – Lietuvos ateitis“*. VGTU Statybos fakultetas, sekcija STATYBA (2007 m. kovo 29–30 d.). Vilnius: Technika, 439–444. ISBN 978-9955-28-163-4.

Migilinskas, D. 2006. Neapibrėžtumai ir juos sukeliančios sąlygos statybos procese, iš *9-oji Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencija „Mokslas – Lietuvos ateitis“*. VGTU Statybos fakultetas, sekcija STATYBA (2006 m. kovo 29–31 d.). Vilnius: Technika, 338–343. ISBN 9955-28-047-6.

Migilinskas, D. 2005. Automatizuoto statybos valdymo panaudojimas konstrukcinių variantų parinkimo ir inžinerinio parengimo metu, iš *8-oji Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencija „Lietuva be mokslo – Lietuva be ateities“*. VGTU Statybos fakultetas, sekcija STATYBA (2005 m. kovo 24–25 d.). Vilnius: Technika, 312–317. ISBN 9986-05-893-7.

Migilinskas, D. 2004. Statybos projekto automatizuoto valdymo per visą jo gyvavimo laikotarpį modelis, iš *7-oji Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencija „Lietuva be mokslo – Lietuva be ateities“*. VGTU Statybos fakultetas, sekcija STATYBA (2004 m. kovo 25–26 d.). Vilnius: Technika, 59–64.

Migilinskas, D. 2003. Sprendimų priėmimo, panaudojant lošimų teoriją statyboje, apžvalga, iš *6-oji Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencija „Lietuva be mokslo – Lietuva be ateities“*. VGTU Statybos fakultetas, sekcija STATYBA (2003 m. kovo 27 d.). Vilnius: Technika, 59–64.

Priedai

A priedas. Tipinių elementų klasifikatoriaus apibrėžimai ir kūrimo taisyklės

Apibrėžimai

Toliau pateiktais apibrėžimais aprašomi ir spalvomis išskiriami tipinių elementų klasifikatoriaus (TEK) **struktūros sudedamieji elementai**, skliausteliuose pateikiami jų trumpiniai (abreviatūros). *Bendroje apbrėžimų dalyje (žalios spalvos pasvirusiu šriftu)* trupai aprašoma struktūros elementų sudėtis, tolimesnėje apibrėžimo dalyje detalizuojamas elementų sisteminimas. Papildomam struktūros sudedamųjų elementų paaiškinimui laužtiniuose skliaustuose pateikti pavyzdžiai *[mėlynos spalvos šriftu]*. Detaliau pagrindinių sąnaudų klasių sudedamieji elementai aprašomi TEK struktūros aiškinamojoje lentelėje.

Tipinių Elementų Klasifikatorius (TEK) – *statybos procesą atspindinti medžio struktūros sistema* atvaizduojanti koduotą (pagal 1A pav. pateiktą schemą) statybos darbų išlaidų pasiskirstymą viso statybos proceso metu.

Sąnaudų klasė { A } – *statybos darbų tipinių elementų klasių kompleksas*, kuriame finansiniai ištekliai (sąnaudos) paskirstomi pagal kompleksinių statybos projekto procesų ir dalių eiliškumą bei organizavimo nuoseklumą [Pavyzdžiui: 1. Paruošiamieji darbai; 2. Žemės darbai; 3. Statinio konstrukcijų statybos darbai; 4. Vidaus inžineriniai tinklai ir technologiniai įrenginiai].

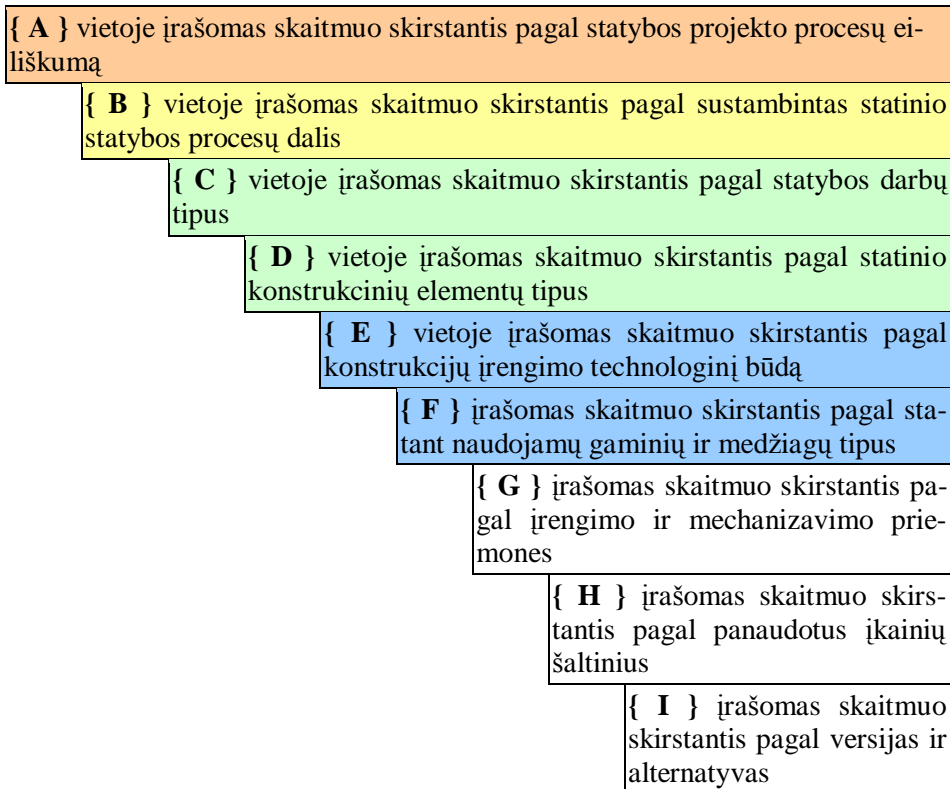
Tipinių elementų (TE) klasė { B } – *statybos darbų tipinių elementų grupių kompleksas*, susistemintas pagal sustambintas statinio statybos proceso dalis [Pavyzdžiui: 12. Projektavimo darbai; 13. Sklypo valymo darbai; 21. Aikštelės planiravimas; 22. Pamatų duobės kasimas; 32. Laikančios konstrukcijos; 35. Stogų dangos ir elementai; 36. Langai, durys ir vartai].

Tipinių elementų (TE) grupė { C } ir { D } – *statybos darbų tipinių elementų pogrupių rinkinys*, susistemintas pagal statybos darbų tipus ir statinio konstrukcinių elementų tipus [Pavyzdžiui: 3211. Gelžbetonio surenkamos kolonos ir antkoloniai; 3213. Gelžbetonio surenkamos sijos (rygeliai), santvaros ir sąramos; 3215. Gelžbetonio surenkamos perdangos ir denginio plokštės; 3216. Gelžbetonio surenkami laiptų maršai ir laiptų aikštelės].

Tipinių elementų (TE) pogrupis { E } ir { F } – *statybos tipinių elementų fragmentų rinkinys*, susistemintas pagal konstrukcijų technologinius konstrukcijų įrengimo būdus bei išskirtinius gaminių bei medžiagų tipus, jų parametrus ir savybes [Pavyzdžiui: 322201. Mūrinės laikančios sienos iš keraminių blokelių; 322211. Mūrinės laikančios sienos iš silikatinių blokelių; 322221. Mūrinės laikančios sienos ir sąramos iš akyto betono blokelių; 322231. Mūrinės laikančios sienos iš keramzitbetonio blokelių].

Tipinis elementas-fragmentas (TE-F) { G }, { H } ir { I } – *konkreto darbo statybos srityje detalus aprašymas (fragmentas)*, paremtas sukaupta tą darbą liečiančia informacija apie įkainius, geometrinius, fizikinius, technologinius parametrus, darbo sąlygas, gaminių rūšis bei papildytas detalizuota variantų parinkimo programavimo logika [Pavyzdžiui: 320401001. Sienos ir diafragmos gelžbetoninės monolitinės laikančios tiesios be angų (rankiniu būdu); 320401002. Sienos ir diafragmos gelžbetoninės monolitinės laikančios tiesios be angų (kranu); 321511201. Perdangos plokštės g/b surenkamos daugiaaukščių pastatų, tuštuminės; 321511202. Perdangos plokštės g/b surenkamos daugiaaukščių pastatų, tuštuminės trikampės].

Są- nau- dos	TE klasė	TE grupė	TE pogrupis	TE- fragmentas				
{ A }	{ B }	{ C }	{ D }	{ E }	{ F }	{ G }	{ H }	{ I }



1A pav. Klasifikatoriaus kodo skaičių priskyrimo schema

B priedas. Tipinių elementų (TE) kūrimo eiliškumas ir metodikos aprašymas

Detalus tipinių elementų fragmentų (TE-F) sukūrimo eiliškumas:

1. Atsiranda poreikis kurti naują TE
2. Patikrinama ar naujai kuriamas TE nėra sukurtas, ar nėra ji atitinkančių analogų;
3. Jei kuriamas TE priklausys naujai klasei, grupei ar pogrupiui – reikia sukurti naują klasę, grupę ar grupę;
4. Jei kuriamas TE priklausys esamai klasei, grupei ar pogrupiui – reikia esamoje klasėje, pogrupyje ar grupėje sukurti naują TE-F fragmentą;
5. Jei kuriama grupė ar pogrupis naujoje klasėje ar grupėje, tai jie sukuriami pagal eiliškumą esančiame klasifikatoriuje remiantis klasės, grupės ar pogrupio apibrėžimais bei pateiktais pavyzdžiais;
6. Priskiriamas kitas iš eilės tinkamas [4 ženklų grupės](#) {A}, {B}, {C}, {D} ir [6 ženklų pogrupio](#) {A}, {B}, {C}, {D}, {E}, {F} klasifikacijos kodas bei pagal esminius požymius suklasifikuojami [tipiniai elementai-fragmentai](#) priskiriant [9 ženklų kodą](#) {A}, {B}, {C}, {D}, {E}, {F}, {G}, {H}, {I} [Pavyzdžiui: 3242. Medinės laikančios sienos → 324201. Medinės laikančios karkasinės sienos → 324201001. Sienos medinės laikančios karkasinės];
7. Kodų priskyrimo atvejais grupėse antras nuo galo kodo skaičius (**C*) žymi tos pačios hierarchinės pakopos skirstymą pagal esminius požymius ir naudojamas skirtingų grupės sąrašo elementų išskirimui pagal medžiagų ir technologijų rūšis [Pavyzdžiui: 3204. Betono ir gelžbetonio monolitinės laikančios sienos, diafragmos ir standumo branduoliai; 3211. Gelžbetonio surenkamos kolonos ir antkoloniai; 3223. Mūrinės laikančios trisluoksnės sienos].
8. Kodų priskyrimo atvejais grupėse pirmas nuo galo kodo skaičius (**D) žymi tos pačios hierarchinės pakopos skirstymą pagal esminius požymius ir naudojamas panašių grupės sąrašo elementų išskirimui pagal konstrukcinius elementus [Pavyzdžiui: 3201. Betono ir gelžbetonio monolitinės kolonos; 3203. Betono ir gelžbetonio monolitinės sijos (rygeliai) ir sąramos; 3204. Betono ir gelžbetonio monolitinės laikančios sienos, diafragmos ir standumo branduoliai; 3205. Betono ir gelžbetonio monolitinės perdangos ir denginiai].

9. Kodų priskyrimo atvejais pogrupiuose antras nuo galo kodo skaičius (******E***) žymi tos pačios hierarchinės pakopos skirstymą pagal esminius požymius ir naudojamas skirtingų pogrupio sąrašo elementų išskirimui pagal statybos medžiagų ir technologijų rūšis [Pavyzdžiui: 321301. Sijos ir santvaros g/b surenkamos vienaaukščių pramoninių pastatų, 321311. Sijos ir santvaros g/b surenkamos daugiaaukščių pramoninių pastatų, 321321. Sijos g/b surenkamos gyvenamųjų, administracinių ir visuomeninių pastatų].
10. Kodų priskyrimo atvejais pogrupiuose antras nuo galo kodo skaičius (*******F**) žymi tos pačios hierarchinės pakopos skirstymą pagal esminius požymius ir naudojamas panašių pogrupio sąrašo elementų išskirimui pagal gaminių tipus [Pavyzdžiui: 321501. Perdangos ir denginio g/b surenkamos plokštės vienaaukščių pastatų; 321502. Perdangos ir denginio g/b surenkamų blokelių plokštės vienaaukščių pastatų].
11. Kodų priskyrimo atvejais TE-F sąrašuose trečias nuo galo kodo skaičius (*******G****) žymi tos pačios hierarchinės pakopos skirstymą pagal esminius požymius ir naudojamas skirtingų sąrašo elementų išskirimui [Pavyzdžiui: 322401001; 322401101].
12. Kodų priskyrimo atvejais TE-F sąrašuose **paskutinis kodo skaičius (*****I)** žymi tos pačios hierarchinės pakopos TE-F skirstymą pagal naudojamas su tais pačiais atskiriant artimus pagal **esminius požymius TE-F (įrengimo technologiją, smulkesnį skirstymą į tipus ar požymius ir t.t.)**, skirtingų sąrašo elementų išskirimui. **11 ir 21** [Pavyzdžiui: 322401011; 322401021]
13. Kodų priskyrimo atvejais TE-F sąrašuose **paskutinis kodo skaičius (*****I)** žymi tos pačios hierarchinės pakopos TE-F skirstymą pagal naudojamas su tais pačiais atskiriant artimus pagal **esminius požymius TE-F (įrengimo technologiją, smulkesnį skirstymą į tipus ar požymius ir t.t.)**, skirtingų sąrašo elementų išskirimui. **01 02 ... 09** [Pavyzdžiui: 322401001; 322401002; 322401003]
14. Paskutiniai sąrašo kodo skaičiai (****99, ****99 ir *****999, *****x99?**) naudojami „kitiems“ – neklasifikuotiems tos rūšies TE suklasifikuoti [Pavyzdžiui: 3299; 322499; 322401099];
15. TE klasių, grupių ir pogrupių pavadinimas (pavadinimo žodžių eiliškumas) turi būti atspindintis TE hierarchiją, o TE sąrašo elemento pavadinimas turi atspindėti klasifikavimo hierarchijos medį pabrėžiant esminį daiktavardį pavadinimo pradžioje [Pavyzdžiui: 322401001. Stulpai mūriniai laikantys iš plytų; 320101010. Kolonos monolitinio betono (sudėtinis procesas - GESN)];

16. Mato vienetas turi būti parenkamas pagal TE fragmento logiką ir turi atitikti įkainių grupės mato vienetus, arba turi būti priimtas bendrinis tinkamas to pogrupio TE sąrašui.

C priedas. Tipinių elementų klasifikatoriaus (TEK) struktūros aiškinamoji lentelė

Pagrindinės darbų rūšys:

1. Kolonos
2. Kapiteliai
3. Sijos, santvaros-sąramos (rėmai)
4. Sienos (laikančios modulinės)
5. Perdangos-denginiai (profpaklotas ir ilginiai)
6. Laiptai
7. Balkonai ir kiti
8. Karkasai (kompleksai ir masyvai)

Tipinių elementų fragmentų (TE-F) sukūrimo eiliškumas ir metodika (papildant 1C lentelę):

1. Sukūrus naują TE, įterpus jį į bendrą klasifikatoriaus struktūrą ir priskyrus jam kodą, kuriamas TE fragmentas (TE-F).
2. Patikrinama, ar naujai kuriamas TE-F nėra sukurtas, arba nėra ji atitinkančių analogų, priskirtų kitiems TE.
3. TE-F įgauna tokį patį pavadinimą kaip ir jį atitinkantis TE iš klasifikatoriaus TE sąrašų.
4. TE-F sukurti naudojami įkainiai, patvirtinti Lietuvos aplinkos ministerijos ar kitų žinybų (gali būti ir kitų šalių) išleistų statybos normų ir įkainių sąvadų forma.
5. Jei yra įmanoma aprašomas TE-F žinomais įkainiais ir juos parametruojančiais koeficientais, jei to padaryti negalima, naudojamos kitos priemonės (OKRUS, GESN, FER ...);
6. TE-F struktūra:
 - a) TE-F pavadinimas,
 - b) specifinės, su nagrinėjamu TE-F susijusios, TEK dalies ištrauka,
 - c) matavimo vienetai,
 - d) baziniai-geometriniai parametrai gaunami iš 3D modeliavimo programos,

- e) papildomi parametrai kurias aprašoma TE-F įrengimo technologinius ir darbo sąlygos (su pastabomis ir komentarais),
- f) detalizuota variantų parinkimo programavimo logika,
- g) bendriniai parametrai tinkami keliems šios TE grupės TE-F, kaip priedas kurie gali būti naudojami arba nenaudojami,
- h) bendrinių parametru logika.

Darius MIGILINSKAS

TECHNOLOGINIŲ IR EKONOMINIŲ STATYBOS UŽDAVINIŲ SPRENDIMAS
NEAPIBRĖŽTUMO SĄLYGOMIS

Daktaro disertacija

Technologijos mokslai,
Statybos inžinerija (02T)

SOLUTIONS FOR TECHNOLOGICAL AND ECONOMICAL PROBLEMS
OF CONSTRUCTION IN THE CASE OF UNCERTAINTY

Doctoral Dissertation

Technological Sciences,
Civil Engineering (02T)

2010 07 20. 13,25 sp. l. Tiražas 20 egz.
Vilniaus Gedimino technikos universiteto
leidykla „Technika“,
Saulėtekio al. 11, 10223 Vilnius,
<http://leidykla.vgtu.lt>
Spausdino UAB „Ciklonas“,
J. Jasinskio g. 15, LT01115 Vilnius