VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Birutė JUODAGALVIENĖ

VIENBUČIŲ NAMŲ PROJEKTINIŲ SPRENDINIŲ DAUGIAKRITERIS PARINKIMAS

DAKTARO DISERTACIJA

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI,
STATYBOS INŽINERIJA (02T)

VGTU
LEIDYKLA
Vilnius TECHNIKA 2018

Disertacija rengta 2014–2018 metais Vilniaus Gedimino technikos universitete.

Konsultantas

prof. dr. Zenonas TURSKIS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, statybos inžinerija – 02T).

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

Pirmininkas

prof. dr. Juozas VALIVONIS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, statybos inžinerija – 02T).

Nariai:

doc. dr. Darius BAČINSKAS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, statybos inžinerija – 02T),
dr. Tomas BALEŽENTIS (Lietuvos agrarinės ekonomikos institutas, informatikos inžinerija – 07T),
doc. dr. Audrius BANAITIS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, statybos inžinerija – 02T),
prof. habil. dr. Joanicjusz NAZARKO (Balstogės technologijos universitetas, Lenkija, vadyba – 03S).

Disertacija bus ginama viešame Statybos inžinerijos mokslo krypties disertacijos gynimo tarybos posėdyje **2018 m. gruodžio 17 d. 10 val.** Vilniaus Gedimino technikos universiteto senato posėdžių salėje.

Adresas: Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lietuva.
Tel.: (8 5) 274 4956; faksas (8 5) 270 0112; el. paštas doktor@vgtu.lt

Pranešimai apie numatomą ginti disertaciją išsiųsti 2018 m. lapkričio 16 d.

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

VGTU leidyklos TECHNIKA 2018-053-M mokslo literatūros knyga
http://leidykla.vgtu.lt

ISBN 978-609-476-143-0
© VGTU leidykla TECHNIKA, 2018
© Birutė Juodagalvienė, 2018
birute.juodagalviene@vgtu.lt

VILNIUS GEDIMINAS TECHNICAL UNIVERSITY

Birutė JUODAGALVIENĖ

MULTIPLE CRITERIA SELECTION OF DESIGN SOLUTIONS FOR SINGLE-FAMILY HOUSES

DOCTORAL DISSERTATION

TECHNOLOGICAL SCIENCES,
CIVIL ENGINEERING (02T)

VGTU
LEIDYKLA
Vilnius TECHNIKA 2018

Doctoral dissertation was prepared at Vilnius Gediminas Technical University in 2014–2018.

Consultant

Prof. Dr Zenonas TURSKIS (Vilnius Gediminas Technical University, Civil Engineering – 02T).

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

Chairman

Prof. Dr Juozas VALIVONIS (Vilnius Gediminas Technical University, Civil Engineering – 02T).

Members:

Assoc. Prof. Dr Darius BAČINSKAS (Vilnius Gediminas Technical University, Civil Engineering – 02T),
Dr Tomas BALEŽENTIS (Lithuanian Institute of Agrarian Economics, Informatics Engineering – 07T),
Assoc. Prof. Dr Audrius BANAITIS (Vilnius Gediminas Technical University, Civil Engineering – 02T),
Prof. Dr Habil. Joanicjusz NAZARKO (Bialystok University of Technology, Poland, Management – 03S).

The dissertation will be defended at the public meeting of the Dissertation Defence Council of Civil Engineering in the Senate Hall of Vilnius Gediminas Technical University at **10 a. m. on 17 December 2018**.

Address: Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania.
Tel.: +370 5 274 4956; fax +370 5 270 0112; e-mail: doktor@vgtu.lt

A notification on the intend defending of the dissertation was send on 16 November 2018.

A copy of the doctoral dissertation is available for review at VGTU repository http://dspace.vgtu.lt and at the Library of Vilnius Gediminas Technical University (Saulėtekio al. 14, LT-10223 Vilnius, Lithuania).

Reziumė

Disertacijoje nagrinėjami vienbučių namų architektūrinių-konstrukcinių sprendinių (konstrukcinių elementų ir tvarių medžiagų, vidinių laiptų formų ir įvairių garažo padėčių) parinkimo ir vertinimo modeliai, grindžiami daugiakriteriais sprendimų priėmimo metodais. Literatūros analizė atskleidė, kad šiuo metu tvarumas yra vienas svarbiausių klausimų, į kuriuos reikia atsižvelgti projektuojant ir statant namą. Vis labiau įsitikinama, kad reikia sukurti priemonių siekiant integruoti tvarumo kriterijus į pastatų projektavimo ir statybos procesą, be to, atsiranda vis didesnis žinių, kaip suderinti tvarumą su vienbučių namų statyba, poreikis. Šiame darbe siekiama susieti dvi mokslines sritis sprendžiant vienbučių namų architektūrinių-konstrukcinių sprendinių parinkimo klausimus.

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

Įvadiniame skyriuje aptariamos problemos, aprašomi tiriamieji objektai, formuluojamas darbo tikslas ir uždaviniai, iškeliamas mokslinis darbo naujumas, ginamieji teiginiai. Įvado pabaigoje pateikiamos disertacijos tema autorės paskelbtos publikacijos ir pranešimai konferencijose.

Pirmajame skyriuje pateikiama tvaraus gyvenamojo būsto sprendinių analizė ir nagrinėjamas komforto, erdvinių zonų, vienbučių namų elementų formų bei medžiagų parinkimas gyvenamajam namui statyti. Apžvelgiamos MCDM (daugiakriterių sprendimų priėmimo metodų, angl. *Multiple Criteria Decision Making*) panaudojimo galimybės statybos srities uždaviniams spręsti. Skyriaus pabaigoje formuluojamos išvados ir pateikiami disertacijos uždaviniai.

Antrajame skyriuje apžvelgiami namo konstrukcinių elementų (laiptų) formų grafiniai kūrimo metodai. Aprašomi daugiakriteriai vertinimo metodai, kuriais įvertinami disertacijoje suformuluoti uždaviniai.

Trečiajame skyriuje pateiktas trijų praktinių suformuluotų uždavinių sprendimas, taikant pasiūlytus MCDM metodus: pirmuoju ieškoma geriausia garažo padėtis vienbučio namo atžvilgiu; antruoju – vertinamas vienbučių namų konstrukcinių elementų ir tvarių medžiagų parinkimas; trečiuoju – pagrindžiamas ergonomiškų laiptų formų parinkimas.

Abstract

The dissertation examines the models of selection and evaluation of architectural and structural solutions for a single-family house (such as structural elements and sustainable materials, shapes of internal staircases and option of garage positioning), based on multiple criteria decision making techniques. The research of relevant literature has shown that sustainability is presently one of the key aspects to be taken into consideration in the design and during the construction of a single-family house. There is growing evidence of the need to develop a set of measures for the integration of sustainability criteria into the process of building design and construction, and there is also an increasing need for know-how as to how to enable synergies between sustainability and the process of building a single-family house. The purpose of this dissertation is to establish a link between two research areas, which would be relevant for the selection of architectural and structural solutions for a single-family house.

The dissertation consists of the following parts: an introduction, three chapters, general conclusions, the list of references and the list of author's publications on the subject of this dissertation.

The introduction discusses the challenges and describes the research objects, establishes the purpose and objectives of the dissertation, explicates its scientific novelty and outlines the defended statements. The final part of the introduction lists the author's publications and conference presentations on the subject of this dissertation.

The first chapter deals with the analysis of the solution for sustainable housing and examines the selection of comfort and spatial zones as well as the forms and materials of building elements used in the construction of a single-family house. In addition, the chapter provides an overview of the usability of MCDM (Multiple Criteria Decision Making) techniques to address the challenges related to the area of construction. The final section of the chapter presents the findings and the objectives of the dissertation.

The second chapter reviews the graphic design techniques for the development of shapes of structural elements (such as stairways) of a single-family house. Also, it describes the multiple criteria evaluation methods, which are used to assess the objectives established in the dissertation.

The third chapter provides the solutions for three practical objectives by means of the proposed MCDM techniques: the first one is used to look for the most appropriate positioning of a garage in relation to a single-family house; the second – for evaluating the choice of structural elements and sustainable materials for a single-family house; and the third one – for validating the choice of ergonomic staircase shapes.

Žymėjimai

Simboliai

p – pakopos plotis;

h – pakopos aukštis;

S – vidutinis žmogaus žingsnis;

pl – patogus lipimo plotis;

S_1 – žmogaus žingsnio dydžio minimali riba;

S_2 – žmogaus žingsnio dydžio maksimali riba;

pl_1 – kintamo pločio pakopos sąlyginis minimalus patogus lipimo plotis;

pl_2 – kintamo pločio pakopos sąlyginis maksimalus patogus lipimo plotis;

A_{max} – didžiausias atstumas nuo patogaus lipimo juostos krašto iki laiptatakio vidinio krašto;

LP – laiptų bendras plotas;

PBP – pakopų (patogių lipti) bendras plotas;

JP – juostos (patogaus lipimo) plotas;

w_i – kriterijaus svoris (reikšmingumas);

n – kriterijų skaičius;

i – alternatyvos eilės numeris;

CI – nuoseklumo indeksas (angl. *Consistency index*);

RI – atsitiktinumo indeksas (angl. *Random index*);

CR – nuoseklumo santykis (angl. *Consistency ratio*);

$s_{j \leftrightarrow j+1}$ – kriterijų lyginamosios svarbos vidutinės reikšmės;

q_j – tarpinis pakartotinai paskaičiuotas kriterijaus svoris;

c – kriterijus;

j – kriterijaus eilės numeris;

k_j – kriterijų lyginamosios svarbos koeficientas;

w_j – galutinis kriterijaus svoris, kuris naudojamas toliau skaičiuojant daugiakriteriais vertinimo metodais;

x_{ij} – kriterijaus veiksmingumo vertė;

c_{ij} – eksperto įvertis pagal Saaty skalę, sudarant AHP porinio palyginimo matricą;

λ_{max} – didžiausia tikrinė vektoriaus reikšmė;

s_j – lyginamoji *j* kriterijaus vidutinė reikšmė;

k_j – kriterijaus santykinės lyginamosios svarbos koeficientas;

q – maksimizuojamų kriterijų skaičius;

$T_A(x)$ – tiesos funkcija;

$I_A(x)$ – neapibrėžtumo funkcija;

$F_A(x)$ – melo funkcija;

$\tilde{N}$ – vienareikšmė neutrosofinė aibė;

x_j^* – normalizuota kriterijaus vertė MULTIMOORA metode;

n-q – minimizuojamų kriterijų skaičius;

Q_j – naudingumo funkcija;

$D\left(\left(x_n^*\right)_1, \left(x_n^*\right)_2\right)$ – atstumas tarp dviejų neutrosofinių skaičių;

A_i – tikslingos vertinimo alternatyvos;

L_i – laiptų formų alternatyvos.

Santrumpos

AHP – Analitinis hierarchijų proceso (angl. *The Analytic Hierarchy Process*) metodas;

ARAS – Suminis kriterijų santykių įvertinimo (angl. *The Additive Ratio Assessment method*) metodas;

BREEAM – Statybos aplinkos vertinimo nustatymo metodika (angl. *Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology*);

COPRAS – Kompleksinis proporcingo vertinimo (angl. *Complex proportional assessment method*) metodas;

EDAS – Vertinimo metodas, pagrįstas atstumu nuo vidutinio sprendinio (angl. *The Method of Evaluation Based on Distance from Average Solution*);

ES – Europos Sąjunga;

FEAHP – Neraiškusis išplėstinis analitinis hierarchijų procesas (angl. *Fuzzy Extended Analytic Hierarchy Process*);

LEED – Energetikos ir aplinkos dizainų prioritetų nustatymo metodika (angl. *Leadership in Energy and Environmental Design*);

MADM – Daugiarodiklis sprendimo priėmimo metodas (angl. *Multiple Atribute Decision Making*);

MCDM – Daugiakriteris sprendimo priėmimo metodas (angl. *Multiple Criteria Decision Making*);

MEW – Daugiatikslis eksponentinis svėrimas (angl. *Multiplicative Exponential Weighting*);

MODM – Daugiatikslis sprendimo priėmimo metodas (angl. *Multi(ple) Objective Decision Making*);

MOORA – Daugiatikslė optimizacija pagal santykių analizę (angl. *Multiobjective Optimization by ratio Analysis*);

MULTIMOORA-SVNS – Santykių sistemos, neraiškiojo atskaitos taško ir pilnosios sandaugos formos metodas – vienos reikšmės Neutrosifinės aibės (angl. *Multiobjective Optimization by Ratio Analysis plus Full Multiplicative Form – Single-Valued Neutrosophic Set*);

SAW – Paprastasis suminis svėrimo metodas (angl. *Simple Additive Weighting*);

SPM – Sprendimo priėmimo metodai;

SPS Centre – Statybos projektavimo sisteminimo centras (angl. *Building design systematization center*);

STR – Statybos techninis reglamentas;

SWARA – Nuoseklus, laipsniškas kriterijų santykinės svarbos porinis lyginimas (angl. *Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis*);

TOPSIS – Artumo idealiam taškui metodas (angl. *The Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*);

UNECE – Jungtinių tautų Europos ekonomikos komisija (angl. *United Nations Economic Commission for Europe)*;

VGTU – Vilnaus Gedimino technikos universitetas;

WASPAS-SVNS – Svertinės agreguotos sumos ir sandaugos metodas – vienos reikšmės Neutrosifinės aibės (angl. *Weight Aggregated Sum product Assessment – Single-Valued Neutrosophic Set*);

PSO – Pasaulio sveikatos organizacija (angl. WHO – *Worl Healting Organisation*);

WPM – Svertinės sandaugos modelis (angl. *Weighted Product Model*);

WSM – Svertinės sumos modelis (angl. *Weighted Sum Model*).

Turinys

ĮVADAS 1
Problemos formulavimas 1
Darbo aktualumas 2
Tyrimų objektas 2
Darbo tikslas 2
Darbo uždaviniai 3
Tyrimų metodika 3
Darbo mokslinis naujumas 3
Darbo rezultatų praktinė reikšmė 4
Ginamieji teiginiai 4
Darbo rezultatų aprobavimas 5
Disertacijos struktūra 5

1. MOKSLINĖS LITERATŪROS APIE VIENBUČIŲ NAMŲ PROJEKTINIŲ SPRENDINIŲ TYRIMUS ANALIZĖ 7
1.1. Vienbučių namų statybos pagrindimas 8
1.1.1. Gyvenamojo būsto samprata Europos dokumentuose 8
1.1.2. Vienbučio namo sklypo ir projekto parinkimas 10
1.1.3. Medžiagų ir jų charakteristikų poveikio gyvenamojo namo komfortui analizė 15
1.1.4. Namo vietos sklype parinkimo ir gyvenamojo namo komforto ypatumų analizė 17

1.1.5. Namo elementų (laiptų) formos įtakos gyventojų komfortui ir saugumui tyrimų analizė ... 18
1.2. Tvari gyvenamųjų namų statyba ... 21
1.3. Daugiakriterių sprendimo priėmimo metodų pagrindimas ... 24
1.4. Pirmojo skyriaus išvados ir disertacijos uždavinių formulavimas ... 27

2. KOMPLEKSINIO VERTINIMO METODAI VIENBUČIŲ NAMŲ SPRENDINIŲ PARINKIMUI ... 29
2.1. Vienbučių namų konstrukcinių elementų (laiptų) formos ... 29
2.1.1. Grafiniai laiptų pakopų kūrimo metodai ... 30
2.1.2. Empirinio laiptų pakopų konstravimo ypatumai ... 33
2.1.3. Laiptų pakopų duomenų, gautų skirtingais grafinių metodais, palyginimas ... 36
2.2. Pagrindiniai daugiakriterio sprendimo priėmimo metodai ir jų klasifikacija ... 41
2.3. Kriterijų reikšmingumo nustatymas ... 43
2.3.1. Kriterijų svorių nustatymo AHP metodas ... 44
2.3.2. Kriterijų svorių nustatymo SWARA metodas ... 45
2.4. Daugiakriterio sprendimo priėmimo metodai ... 46
2.4.1. WASPAS-SVNS metodas ... 46
2.4.2. MULTIMOORA-SVNS metodas ... 48
2.5. Antrojo skyriaus išvados ... 50

3. KOMPLEKSINIS VIENBUČIŲ NAMŲ ERDVIŲ, KONSTRUKCINIŲ ELEMENTŲ MEDŽIAGŲ IR FORMŲ VERTINIMAS ... 53
3.1. Garažo padėties šalia vienbučio namo parinkimas ir ekspertinis vertinimas ... 54
3.1.1. Garažo padėties parinkimo pagrindimas ... 54
3.1.2. Garažo padėties parinkimo metodika ir kriterijai ... 55
3.1.3. Garažo alternatyvių padėčių ekspertinio vertinimo rezultatai ... 57
3.1.4. Daugiakriteris vertinimas WASPAS-SVNS metodu ... 62
3.2. Vienbučių namų pagrindinių elementų ir medžiagų charakteristikų parinkimo vertinimas ... 65
3.2.1. Vienbučių namų pagrindinių elementų ir medžiagų parinkimo modelio schema ... 66
3.2.2. Vienbučių namų pagrindinių elementų ir medžiagų parinkimo metodika, ekspertų apklausa ir kriterijų parinkimas ... 66
3.2.3. Vienbučių namų alternatyvų parinkimas ... 73
3.2.4. Kriterijų svorių nustatymas SWARA metodu ... 78
3.2.5. Daugiakriteris vertinimas MULTIMOORA metodu ... 78
3.3. Ekspertinis laiptų formos parinkimo sprendimo vertinimas ... 82
3.3.1. Ekspertų grupės ir alternatyvų parinkimas ... 83
3.3.2. Saugių ir ergonomiškų laiptų parinkimo kriterijai ... 84
3.3.3. Ekspertinio vertinimo rezultatai ... 87
3.4. Trečiojo skyriaus išvados ... 94

BENDROSIOS IŠVADOS ... 97

LITERATŪRA IR ŠALTINIAI 101

AUTORĖS MOKSLINIŲ PUBLIKACIJŲ DISERTACIJOS TEMA SĄRAŠAS 115

SUMMARY IN ENGLISH 117

PRIEDAI[1] 131
A priedas. Saaty svarbos skalė ir aprašas 133
B priedas. Daugiakriterių sprendimo priėmimo metodų aprašai 134
C priedas. Neutrosofinių skaičių skalė ir aprašas 140
D priedas. Vienbučių namų konstrukcinių elementų ir medžiagų parinkimo MULTIMOORA-SVNS metodu tarpiniai rezultatai 141
E priedas. Ergonomiškų laiptų parinkimo uždavinio sprendimo tarpiniai rezultatai 145
F priedas. Autorės sąžiningumo deklaracija 149
G priedas. Bendraautorių sutikimai teikti publikacijose skelbtą medžiagą mokslo daktaro disertacijoje 150
H priedas. Autorės mokslinių publikacijų disertacijos tema kopijos 156

[1] Priedai pateikiami pridėtoje kompaktinėje plokštelėje.

Contents

INTRODUCTION 1
Problem formulation 1
Relevance of the thesis 2
Object of thesis 2
Aim of the thesis 2
Objectives of the thesis 3
Research methodology 3
Scientific novelty of the thesis 3
Practical value of the research findings 4
Defended statments..... 4
Approval of the findings 5
Structure of the dissertation 5

1. ANALYSIS OF SCIENTIFIC LITERATURE RESEARCHING THE SOLUTIONS AVAILABLE FOR SINGLE-FAMILY HOUSES 7
1.1. Rationale for building single-family houses 8
1.1.1. The concept of housing in European documents 8
1.1.2. Selection of a plot of land and design for a single-family house 10
1.1.3. Analysis of the impact of materials and their characteristics on the level of comfort of a residential house 15
1.1.4. Analysis of the location, orientation and aspects of comfort of a residential house 17

1.1.5. Analysis of research on the impact of elements (stairs) of a house on the level of comfort and safety of its occupants 18
1.2. Sustainable construction of residential houses 21
1.3. Justification of multi-criteria decision making techniques 24
1.4. Conclusions of Chapter 1 and the objectives of the dissertation 27

2. APPLICATION OF COMPREHENSIVE EVALUATION METHODS FOR THE SELECTION OF SOLUTIONS FOR SINGLE-FAMILY HOUSES 29
2.1. Shapes of structural elements (stairs) of single-family houses 29
2.1.1. Graphical methods of stair step design 30
2.1.2. Empirical peculiarities of stair step construction 33
2.1.3. Comparison of stair step data obtained by various graphical methods . 36
2.2. The main multi-criteria decision making techniques and their classification ... 41
2.3. Determination of the significance of criteria 43
2.3.1. Definition of criteria weights by AHP 44
2.3.2. Definition of criteria weights by SWARA 45
2.4. Multi-criteria decision making techniques 46
2.4.1. WASPAS-SVNS 46
2.4.2. MULTIMOORA-SVNS 48
2.5. Conclusions of Chapter 2 50

3. COMPREHENSIVE EVALUATION OF SPACES, MATERIALS AND SHAPES OF STRUCTURAL ELEMENTS OF SINGLE-FAMILY HOUSES 53
3.1. Selection and expert evaluation of garage positioning near the single-family house 54
3.1.1. Rationale behind the choice of garage positioning 54
3.1.2. Methodology and criteria of garage positioning 55
3.1.3. Results of expert evaluation on the options of garage positioning 57
3.1.4. Multiple-criteria assessment by WASPAS-SVNS 62
3.2. Evaluation of the selection of characteristics of the main elements and materials of single-family houses 65
3.2.1. Model scheme of the selection of the main elements and materials of single-family houses 66
3.2.2. Selection methodology for the main elements and materials of single-family houses, expert surveys and the choice of criteria 66
3.2.3. Selection of alternatives for single-family houses 73
3.2.4. Definition of criteria weights by SWARA 78
3.2.5. Multiple-criteria assessment by MULTIMOORA 78
3.3. Expert evaluation of solutions for the selection of staircase shape 82
3.3.1. Selection of the expert group and alternatives 83
3.3.2. Safe and ergonomic staircase selection criteria 84
3.3.3. Results of expert evaluation 87
3.4. Conclusions of Chapter 3 94

GENERAL CONCLUSIONS 97

REFERENCES 101

LIST OF SCIENTIFIC PUBLICATIONS BY THE AUTHOR ON THE TOPIC OF DISSERTATION 115

SUMMARY IN ENGLISH 117

ANNEXES[2] 131
Annex A. A scale of importance and its description 133
Annex B. Multi-purpose decision making description 134
Annex C. Neutrophic number scale and description 140
Annex D. Interim results of MULTIMOORA-SVNS method for the selection of structural elements of a dwelling house and materials 141
Annex E. Intermediate results of ergonomic staircase selection task 145
Annex F. Declaration of academic integrity 149
Annex G. Agreements of co-authors to provide published statements in the thesis 150
Annex H. Author's scientific publications on the topic of the thesis 156

[2]The annexes are supplied in the enclosed compact disc

Įvadas

Problemos formulavimas

Tvarioji plėtra yra vienas iš svarbiausių kriterijų ir didžiausių iššūkių apibrėžiant kokybiškus pastatus. Kokybiškai suprojektuoti pastatai užtikrina sveiką aplinką žmogui, yra energiškai efektyvūs ir jų neigiamas poveikis gamtai yra mažesnis už kitus. Dėl griežtesnių energijos vartojimo efektyvumo reikalavimų projektuojamiems vienbučiams pastatams keliami vis augantys reikalavimai: pateikiama papildomų charakteristikų, susijusių su tvarumo principų taikymu. Tai skatina vienbučių namų projektuotojus, rangovus, užsakovus bei klientus domėtis vienbučių namų projektiniais sprendimais. Be to svarbu yra atsižvelgti į projektinių sprendinių formavimą, į pastatų energetinį efektyvumą, saugumą ir estetinius ypatumus.

Žmonių poreikiai, tinkamai paruošta techninė projektavimo užduotis (topografiniai, infrastruktūros ir gerbūvio sprendiniai) apsprendžia galutinį projektą. Šiuo metu Europos ir kitose šalyse dauguma užsakovų siekia pastatyti saugų ir patikimą vienbutį namą už mažiausią kainą. Taikant siūlomus vienbučių namų konstrukcinių elementų ir medžiagų parinkimo projektinių sprendinių modelius, nėra metodų, kuriais galima būtų nustatyti saugumo, ilgalaikiškumo, ekologiškumo ir poveikio aplinkai charakteristikas. Šiuolaikinis vienbutis namas turi tenkinti žmonių poreikis, būti ne tik patogus, saugus, bet ir atitikti energetinius

reikalavimus. Individualaus būsto paklausa sparčiai auga visose išsivysčiusiose šalyse, įskaitant ir ES, todėl vienbučių namų projektiniai sprendiniai yra svarbūs ir aktualūs.

Darbo aktualumas

Vienbučių namų kokybė apibrėžiama įvairiais parametrais. Nuo namo konstrukcijos, panaudotų medžiagų ir integruotos įrangos priklauso fiziniai ypatumai (Ferrari *et al.* 2014; Al-Sanea *et al.* 2016). Kompoziciniai ypatumai siejami su patalpų ir erdvinių zonų sprendimais (Qi, Wang 2014; Hee *et al.* 2015; Ghosh, Ray-Chaudhuri 2016). Psichologinį komfortą suteikia erdvė, kurioje patenkinami gyventojo poreikiai ir užtikrinamas saugumas (Kang *et al.* 2014; Ubartė 2017). Pagal Europos Komisijos duomenis trečdalis atsitiktinių sužalojimų nutinka gyvenamuosiuose būstuose (Eurostat). Iš vienbučių namų vidinių konstrukcinių elementų didžiausią poveikį žmogaus komfortui turi laiptai (Vallabhajosula *et al*. 2015; Raina *et al*. 2015). Atsižvelgiant į fizinius, kompozicinius ir psichologinius ypatumus, galima teigti, kad vienbutis namas yra kompleksinis statinys, kurio projektas ir statyba negali būti ribojami tik vienu iš šių ypatumu. Siekiant pastatyti gerą ir efektyvų vienbutį namą, svarbu tinkamai parengti projektą, kompleksiškai išanalizuoti užsakovo poreikių ypatybes, projektuojamojo namo gyvavimo ciklą, skirtingas konstrukcinių elementų ir medžiagų charakteristikas ir nustatyti, kaip galima būtų sukurti sveiką aplinką žmogui ir sumažinti neigiamą poveikį gamtai.

Tyrimų objektas

Disertacijoje nustatomos ir nagrinėjamos svarbiausios vienbučio namo projektinės charakteristikos, lemiančios saugią, sveiką ir patogią aplinką žmogui tvarios plėtros požiūriu.

Darbo tikslas

Disertacijoje numatoma sukurti kartotinių vienbučių namų architektūrinių-konstrukcinių sprendinių (konstrukcinių elementų ir tvarių medžiagų, vidinių laiptų formų ir įvairių garažo padėčių) daugiakriterius parinkimo modelius pagal technologinius, techninius, ekonominius ir tvarumo kriterijus.

Darbo uždaviniai

Darbo tikslui pasiekti reikia spręsti šiuos uždavinius:

1. Išnagrinėti mokslinę literatūrą apie pastatų formų, konstrukcinių elementų ir medžiagų poveikį tvarumui.
2. Ištirti daugiakriterių sprendimo priėmimo metodų panaudojimo galimybes kompleksiniams statybos uždaviniams spręsti.
3. Sudaryti vienbučių namų tvarumo ir medžiagų parinkimo daugiakriterius vertinimo modelius. Pagal įvairius ypatumus sudaryti kriterijų aibes ir nustatyti jų svorius.
4. Pritaikyti daugiakriterio vertinimo metodus vienbučių namų projektavimo uždaviniams spręsti.

Tyrimų metodika

Darbe numatytiems uždaviniams spręsti, pasitelkta mokslinių šaltinių analizė ir apibendrinimas. Pastato konstrukcinių elementų ir tvarių medžiagų vertinimo kriterijų sistema sudaryta pagal mokslinių šaltinių duomenis. Daugiakriteriam integruotam sprendimui pagrįsti taikomi daugiakriterio sprendimo priėmimo metodai (AHP, SWARA, WASPAS, MULTIMOORA, SAW, Bayes, MEW, TOPSIS, EDAS, ARAS, FM), ekspertinis vertinimas, LEVI programa, scenarijų modeliavimas, gautų skaičiavimo rezultatų palyginimas.

Darbo mokslinis naujumas

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

1. Sukurta kriterijų sistema geriausio sprendimo atrankai. Į kriterijų sistemą įtraukta: konstrukcinių elementų kaina, šalčio tiltelio eliminavimas, sienos laikomoji galia, namo vietos sklype parinkimas, ekologiškumo, ilgalaikiškumo ir estetikos potencialai.
2. Sukurta vienbučio namo vidinių laiptų formų ergonomiško kriterijų sistema geriausiam sprendimui atrinkti.
3. Sukurta kriterijų sistema geriausio sprendimo atrankai, nustatant geriausią vienbučio namo garažo padėtį namo atžvilgiu. Uždaviniams išspręsti pritaikytas naujas WASPAS-SVNS metodo plėtinys.

4. Pasiūlytas efektyvus daugiakriteris sprendimo priėmimo metodų kompleksas, susidedantis iš EDAS + SAW + MEW + TOPSIS + ARAS + Bayes + FM metodų.
5. Vienbučių namų konstrukcinių elementų ir tvarių medžiagų parinkimo uždaviniams išspręsti pritaikytas naujas MULTIMOORA-SVNS metodo plėtinys.

Darbo rezultatų praktinė reikšmė

Tyrimų rezultatai gali būti naudingi projektavimo ir statybos įmonėms, projektuojančioms kartotinius ir individualius vienbučius namus, bei klientams, t. y. būsimiems vienbučių savininkams. Pasiūlyti daugiakriteriai vertinimo algoritmai, t. y. konstrukcinių elementų (laiptų) ir tvarių medžiagų parinkimo, garažo padėties parinkimo. Praktiškai pritaikius siūlomus modelius, gali būti skatinamas tvarių statybos medžiagų panaudojimas ir aplinkos tvarumo paisymas. Siekiant tobulinti įrengiamų vidinių laiptų saugumą ir ergonomiškumą, Lietuvos Respublikos aplinkos ministerijai nusiųstas siūlymas redaguoti STR (Statybos techniniai reglamentai) „Gyvenamieji pastatai“ pateiktą lentelę ir įkelti informaciją, atspindinčią laiptatakių polinkio kampus.

Ginamieji teiginiai

1. Tinkamai pritaikius daugiakriterių sprendimo priėmimo metodų kompleksą, atsižvelgiant į darnios plėtros augimą, augančius energetinius reikalavimus, galima sukurti konstrukcinių elementų ir medžiagų parinkimo sprendimų paramos sistemas.
2. Išanalizavus ir apibendrinus kintamo pločio laiptų pakopų grafinius kūrimo metodus, galima parinkti racionaliausią metodą įvertinus įrengimo technologiją ir lipimo jais patogumą.
3. Naudojant daugiakriterio sprendimo priėmimo metodus galima palyginti sprendžiamų uždavinių (garažo padėties, vienbučių namų tvarių medžiagų ir laiptų formų) variantus ir išrinkti geriausią iš nagrinėjamųjų.

Darbo rezultatų aprobavimas

Disertacijos tema yra išspausdinti 15 mokslinių straipsnių: trys – mokslo žurnaluose, įtrauktuose į *Clarivate Analytics* sąrašą (Turskis, Juodagalvienė 2016; Baušys, Juodagalvienė 2017; Zavadskas *et al.* 2017), vienas – kitose duomenų bazėse (Juodagalvienė *et al.* 2017); vienuolika – kitose tarptautinių ir respublikinių konferencijų medžiagose (Juodagalvienė 2015a; 2015b; 2015c; 2015d; 2015e; Turskis, Juodagalvienė 2015; Juodagalvienė, Garnytė-Sapranavičienė 2016; Juodagalvienė 2017a; 2017b; Juodagalvienė 2018a; 2018b).

Disertacijoje atliktų tyrimų rezultatai buvo paskelbti šešiose mokslinėse konferencijose Lietuvoje ir kitose šalyse:

- Tarptautinėje konferencijoje „BALTGRAF-13: the 13th international conference on engineering and computer graphics“, 2015 m. Vilniuje;
- Pristatyti moksliniai pranešimai respublikinėse konferencijose „Inžinerinė ir kompiuterinė grafika“, 2015 m., 2016 m., 2017 m., 2018 m. Kaune;
- Tarptautinėje konferencijoje „BALTGRAF-14: the 14th international conference on engineering and computer graphics“, 2017 m., Taline, Estijoje.

Disertacijos struktūra

Disertaciją sudaro įvadas, trys skyriai ir bendrosios išvados.

Darbo apimtis – 132 puslapiai (neskaitant priedų), tekste panaudotos 49 numeruotos formulės, 34 paveikslai ir 26 lentelės. Rašant disertaciją naudotasi 182 literatūros šaltiniais.

1

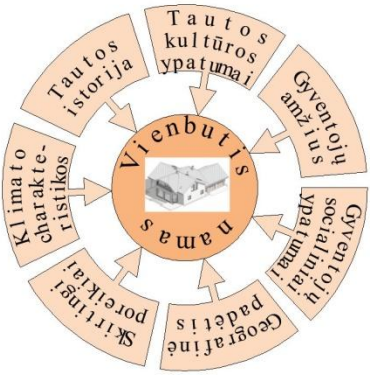
Mokslinės literatūros apie vienbučių namų projektinių sprendinių tyrimus analizė

Nuo tų laikų, kai žmogus paliko gyvenamąsias uolas ir pradėjo kurti sau būstą, statytojai taip ir nesugeba sutarti, koks apgyvendinimo būdas yra racionaliai pagrįstas. Matyt, šiuo klausimu bendros nuomonės ir negali būti, nes pasirenkant ar statant gyvenamąjį būstą yra įvertinami skirtingi veiksniai: geografinė padėtis, klimato charakteristikos, tautos istorinės raidos ypatumai, tautos kultūra, gyventojų amžius, socialinė padėtis ir įvairūs poreikiai (1.1 pav.). Išvardintieji ypatumai akivaizdžiai matyti vertinant vienbučių namų projektavimą ir statybas (Krarti, Ihm 2016; Premrov *et al.* 2016). Keičiantis pastatų energetinio efektyvumo reikalavimams, vis aktualesnė tampa statybinių elementų ir medžiagų charakteristikų įtaka tvarumui. Didėjant statybinių elementų ir medžiagų pasirinkimui, vienbučių namų savininkams šis klausimas yra labiausiai aktualus.

Pirmajame disertacijos skyriuje pagrįsta vienbučių namų statyba, pateikta tvarios statybos ypatumų bei daugiakriterės priėmimo metodų mokslinės literatūros analizė (1.2 pav.).

Skyriaus tematika kartu su bendraautoriais paskelbti aštuoni moksliniai straipsniai (Baušys, Juodagalvienė 2017; Turskis, Juodagalvienė 2016; Zavadskas *et al.* 2017; Juodagalvienė *et al.* 2017; Juodagalvienė 2017a; Juodagalvienė

2017b; Juodagalvienė 2018a; Juodagalvienė 2018b), skaityti pranešimai respublikinėse „Inžinerinė ir kompiuterinė grafika“ konferencijose 2017 m., 2018 m. ir tarptautinėse BALTGRAF-13 ir BALTGRAF-14 konferencijose.



1.1 pav. Veiksniai lemiantys gyvenamojo namo statybą (sudaryta autorės)
Fig. 1.1. Factors that determine the construction of a residential house (developed by author)

1.1. Vienbučių namų statybos pagrindimas

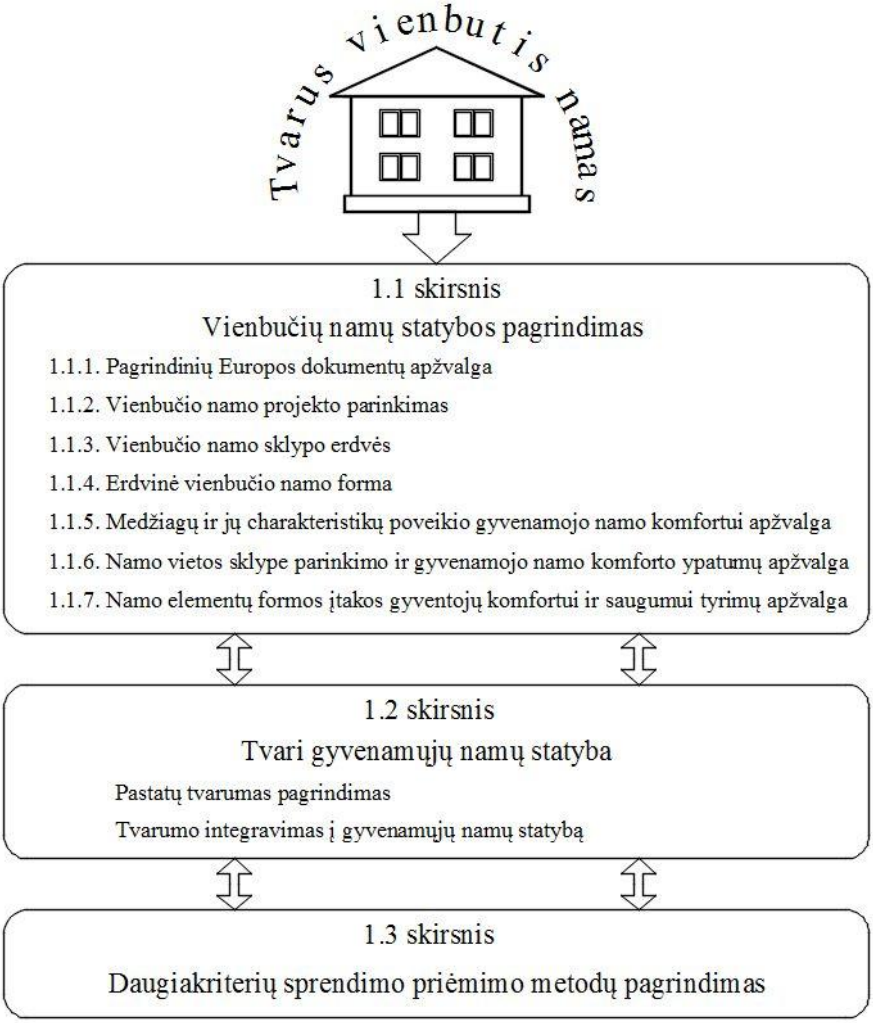
1.1.1. Gyvenamojo būsto samprata Europos dokumentuose

Gyvenamojo būsto komfortas – tai pastato kompoziciniai, architektūriniai ir psichologiniai ypatumai (Степанов 1993). Yra pateiktos mokslinės architektūrinių erdvių organizavimo rekomendacijos, kurių tikslas užtikrinti įvairiapusį komfortą bei sąlygas optimaliam žmogaus poilsiui ir veiklai. „Architektūrinės erdvės negalima vertinti tik kaip formaliai sutvarkytos kompozicijos, kuri yra tik dirbtinai sukurta ir formuojama priklausomai nuo funkcinės paskirties ir žmogaus poreikių konkrečioje aplinkoje. Štai todėl estetinis architektūrinės erdvės suvokimas nėra pasyvus veiklos funkcijos atspindys, tai subjekto aktyvios dvasinės veiklos, kurias lemia socialinė-istorinė raida, susiformavusi per laikmečius, kultūros vertybės, norai ir prioritetai, rezultatas“ (Степанов 1993).

Gyvenamieji būstai klasifikuojami pagal paskirtį (butai, individualūs namai, bendrabučiai, viešbučiai, senelių namai ir t. t.), aukštį, architektūrinius ir konstrukcinius sprendimus. Nuo gyvenamojo būsto kokybės priklauso žmogaus gyvenimo komfortas ir sveikata. Vertindamos klausimus, susijusius su gyvenamaisiais būstais, įvairios institucijos pateikia svarbią ir aktualią informaciją:

- struktūrizuotus statistikos duomenis (Eurostat),
- atliktų apklausų išklotines (AM 2007),

- Jungtinių tautų Europos ekonomikos komisijos aptariamų sąsajų su visuomenės gerove išvadas (PSO 2006),
- gyvenamojo būsto ekonominės reikšmės pagrindimus (EUR-Lex 2007),
- gyvenimo sąlygų sąsajų su žmogaus fizine ir psichine sveikata tyrimo rezultatus (Sveikatos mokymo ir ligų prevencijos centras) (ALFA 2010).



1.2 pav. 1 skyriaus struktūra
Fig. 1.2. Structure of the chapter 1

Dar 2006 m. Jungtinių tautų Europos ekonomikos komisija (UNECE) pabrėžė, kad būsto kokybė turi lemiamą vaidmenį vertinant gyventojų sveikatos

būklę (PSO 2006). Pasaulio sveikatos organizacijos PSO (angl. *Worl Healting Organisation*) narių sutarimu gyvenamasis būstas svarbus ir kaip atskiras fizinis objektas, ir yra susijęs ir su aplinka (bendruomene, kaimynais). Vadinasi, abu šie ypatumai lemia fizinę, psichologinę ir socialinę būklę ne tik vieno asmens, bet ir visos visuomenės.

„Galimybė turėti tinkamą būstą yra pagrindinis socialinės politikos rūpestis. Individualūs pastatai yra svarbūs energijos, vandens ir kito su aplinka susijusio tiekimo bei paslaugų vartotojai. Būstai turi svarbią ekonominę reikšmę (būstų pasiūla ir paklausa, finansai, statybos, atnaujinimas)“ (EUR-Lex 2007).

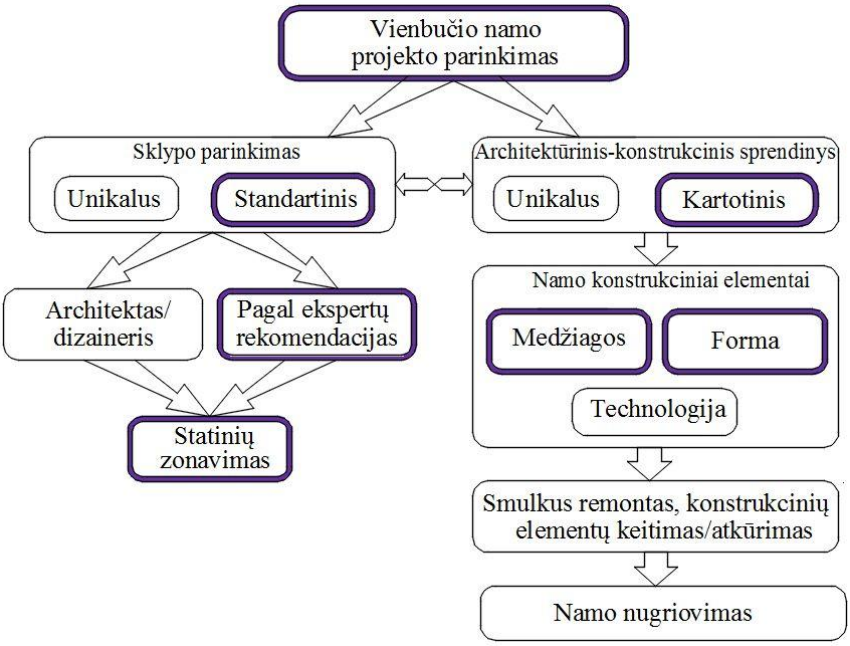
Būsto poveikis sveikatai gali būti tiesioginis ir netiesioginis. Netinkamos gyvenimo sąlygos kelia grėsmę tiek fizinei, tiek psichinei žmonių sveikatai. Sąveika tarp būsto ir gyvenamosios aplinkos veiksnių bei sveikatos yra sudėtinga ir kompleksinė. Nors gyventojus veikia patys įvairiausi veiksniai (fiziniai, psichologiniai ir socialiniai), daugelis jų tiesiogiai susiję su būsto architektūriniais bei konstrukciniais elementais ir kokybe. Neigiamą poveikį sveikatai gali daryti bloga pastatų kokybė, kenksmingos statybos medžiagos, netinkama įranga, patalpų dydis ir struktūra (ALFA 2010).

Vienbučių namų elementų ir medžiagų parinkimą reglamentuoja šalies teisės dokumentai, taip pat įtakos turi tradicijos, kintantys pastatų energetinio efektyvumo reikalavimai ir pasaulio aplinkos tvarumas (EUR-Lex 2010). Lietuvos teisės dokumentuose pateikiami tik esminiai statinio reikalavimai (mechaninis patvarumas ir pastovumas, gaisrinė sauga ir kt.) (STR 2.02.09:2005; STR 2.02.01:2004), o statybinių elementų ir medžiagų parinkimo klausimai nereglamentuojami, nors tai labai svarbu tolesnei gyvenamųjų namų statybos sektoriaus plėtrai.

1.1.2. Vienbučio namo sklypo ir projekto parinkimas

Vienbučio namo projektavimas prasideda nuo sklypo ir architektūrinio-konstrukcinio sprendinio parinkimo (1.3 pav.). Parinkimą lemia aplinkos veiksnių ir harmonijos su aplinka įvertinimas. Unikalių sklypo ir namo parinkimo atvejais projektuojami patys įvairiausi variantai: nuo ekologiško kubo formos namo iš šiaudų iki įmantriausių formų iš monolitinio betono. Dauguma vidutines pajamas turinčių žmonių įsigyja standartinius (stačiakampio formos) sklypus, kuriuose stato kartotinius vienbučius namus.

Disertacijoje nagrinėjami kartotinio namo architektūrinio sprendinio konstrukcinių elementų, medžiagų, formų parinkimas bei standartinio sklypo statinių erdvinis zonavimas. Šiuo metu būsimam vienbučio namo savininkui pagrindiniai kriterijai yra kaina, ilgalaikiškumas ir estetinis vaizdas. Šis būsimų savininkų suvokimas disertacijoje praplėstas, įtraukiant tvarumo aspektus.

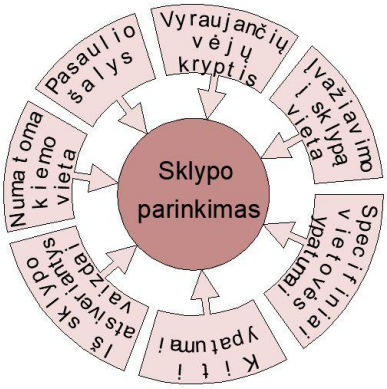


1.3 pav. Veiksniai, lemiantys vienbučio namo projekto parinkimą ir eksploataciją (sudaryta autorės)
Fig. 1.3. Factors determine and operation the design of a single-famuly project (developed by author)

Automobilių skaičius Lietuvoje pagal statistinius duomenis 2016 m., palyginus su 2010 m., kai 1000 gyventojų teko 509 automobiliai, padidėjo 62 % (Regitra 2016). Pagal statistiką vienbučiuose namuose gyvenančios šeimos eksploatuoja po 2 automobilius. Dabartiniu metu projektuojami uždari ir atviri garažai arba parenkama automobilių pastatymui vieta sklype. Garažo tipo ir vietos parinkimą lemia įvairūs kriterijai: nuo sklypo architektūros subtilybių (pvz., statinių insoliacijos) iki kliento pageidavimų (Yas, Ok 2014).

Klientas, planuodamas sklypo statinių erdves, turėtų numatyti pagrindinius veiksnius, lemiančius kontekstualumą (1.4 pav.):

- pasaulio šalys (šiaurė, rytai, pietūs, vakarai),
- vyraujančių vėjų kryptis,
- įvažiavimo į sklypą vieta,
- numatoma kiemo vieta,
- iš sklypo atsiveriantys vaizdai (į miestą, į mišką, į upę ir pan.),
- kt. (aukštas kaimynų namas, vamzdynų vietos sklype šalia esantis triukšmingas kelias, specifiniai vietovės ypatumai ir pan.).



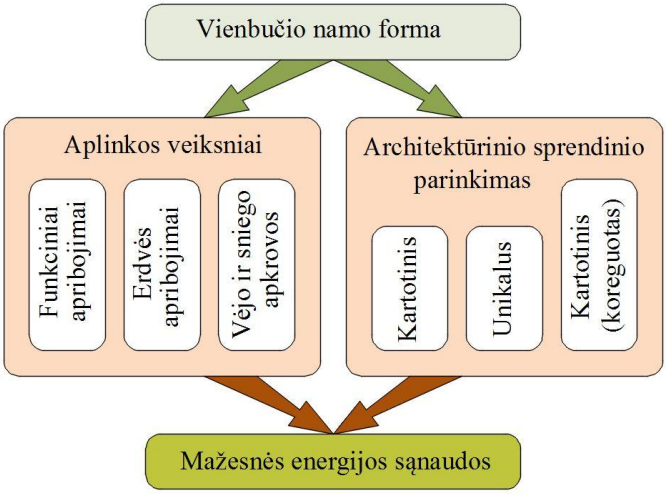
1.4 pav. Veiksniai lemiantys sklypo statinių padėtį (sudaryta autorės)
Fig. 1.4. Factors influencing the situation of building site (developed by author)

Iš išvardintųjų kontekstualumo veiksnių tik įvažiavimo į sklypą vieta iš dalies apibrėžta techniniame statybos reglamente: sklype turi būti numatytas ne siauresnis kaip 3,5 m pločio įvažiavimas į privatų garažą, o tiesiausias ir patogiausias takas pėstiesiems nuo gatvės pagrindinio įėjimo į namą link negali kirstis ar sutapti su automobiliui skirtu keliu (STR 2.02.09:2005). Be kontekstualumą lemiančių veiksnių, yra labai svarbūs vidinis funkcinis ryšys tarp statinių ir skirtinga klientų estetikos samprata. Pasirinkus unikalų ar sudėtingo reljefo sklypą ir norint pasistatyti jame funkcionaliai optimalų namą, uždavinio sprendimas būtų sudėtingas dėl daugybės galimų alternatyvų. Netgi kartotinių vienbučių namų projektavimo atvejais, nustatant garažo padėtį sklype, ne visada pasirenkamas optimaliausias variantas (Galaunytė 2016). Praktiškumo ir patogumo svarba, alternatyvios garažo padėčių galimybės dažnai būna apmąstomos vėliau, jau suderinus projektą, t. y. per vėlai (ALFA 2010; Kang *et al.* 2014). Todėl pirmiausia savininkas turėtų numatyti statinio panaudojimo paskirtį, renovacijos perspektyvas, šeimos sudėties pagausėjimą ar pasikeitimą ir pan. Vadinasi, yra svarbu iš anksto apsispręsti ir numatyti garažo vietą (ar ji bus įrengta kartu su namu ar atokiau, kurioje namo fasado pusėje), vartus. Ir tame pačiame sklype yra galimi keli statinių zonų planavimo variantai, todėl uždavinio sprendimas yra aktualus fiziniams asmenims, besiruošiantiems projektuoti ar jau projektuojantiems vienbučius namus. Tuo tikslu disertacijoje pateikiamos galimos alternatyvos ir svarbiausi parinkimo kriterijai.

Daugumoje mokslinių straipsnių didesnis dėmesys skiriamas šalies teritorijų planavimui, daugiabučių ar visuomeninės paskirties pastatų garažų problemų sprendimui. Atliekami įvairūs tyrimai: statinių padėtis sklype vertinama kaip architektūros ir konstrukcijų suderinamumas, pagrindžiamas energetinio (ter-

moizoliacija, insoliacija, vėsinimo sistemos) komforto ir medžiagų parinkimo tinkamumo ryšys (Manzano-Agugliaro *et al.* 2015; Balyani *et al.* 2015; Motuzienė *et al.* 2016). Sklypo objektų kontekstualumo ypatumai yra svarbūs projektuojant tiek miesto pastatus, tiek vienbučius namus bei prognozuojant miesto modelį (PSO 2006; Kosanovic, Fikfak 2016). Šių mokslininkų tyrimuose tarp projektavimo charakteristikų įvairi garažo padėtis gyvenamosios erdvės atžvilgiu nevertinama.

Erdvinės vienbučio namo formos parinkimą lemia įvairūs apribojimai, gamtinės sąlygos, vis didėjantys energijos suvartojimo reikalavimai, klientų prioritetai, turimi ištekliai ir daugelis kitų ypatumų (1.5 pav.). Dauguma mokslinių tyrimų pagrindė pastatų formų ir patalpų išdėstymo sąryšį vienkartinėmis ir eksploatavimo išlaidomis.



1.5 pav. Erdvinės namo formos parinkimo schema (sudaryta autorės)
Fig. 1.5. Spatial house-shaped selection scheme (developed by author)

Namo ir jo elementų (stogo, laiptų, langų) forma, tikslingai parinktos laikančiųjų konstrukcijų ir apdailos elementų medžiagos sukuria ne tik priimtiną dizainą, bet ir saugumą bei komfortą (Carlucci *et al.* 2015; Atzeri *et al.* 2016). Mokslininkai pagrindė formos koeficiento panaudojimą, nustatant pastatų energetinį efektyvumą (Qi, Wang 2014). Nuo pasirinkto patalpų išdėstymo varianto, pastato planinės-tūrinės sistemos priklauso vidaus mikroklimatas, patalpų apšviestumas, apsauga nuo vėjo, vaizdas pro langus, patogus patekimas iš vienos patalpos į kitą, pastato zonų funkcionalumas ir kiti svarbūs gyvenimo ir komforto veiksniai (Granadeiro *et al.* 2013). Lyginant nesudėtingos formos ir unikalaus

dizaino pastatus, pastarųjų suvartojamos energijos išlaidos yra gerokai didesnės (Jin, Jeong 2014).

Yra mokslinių darbų, paneigiančių erdvinės pastatų formos reikšmingumą: nustatyta, kad konstrukcijų sandaros stabilumui didesnės įtakos turi pastato vieta sklype nei forma (Ghosh, Ray-Chaudhuri 2016). Pastato formos ir dydžio svarba, analizuojant skirtingo kuro parinkimą vienbučiuose ir kituose gyvenamuosiuose namuose, paneigta prieš dešimtmetį (Wright 2008). 2016 m. buvo atliktas skydinių namų tyrimas trijuose skirtinguose Europos miestuose (Liubliana, Miunchenas ir Helsinkis). Mokslininkai savo tyrime akcentavo tokių namų įvairių kriterijų reikšmingumą: vidutinę temperatūrą, saulės potencialą, unikalios (laisvos) formos pastatų charakteristikas (įstiklinimo, orientacijos ir kt.). Vertinant saulės potencialo kriterijus, nustatyta, kad kuo klimatas atšiauresnis (pvz., Helsinkio), tuo šis kriterijus ne toks reikšmingas. Ir, atvirkščiai, regionuose, kuriuose aukštesnė metinė temperatūra, saulės potencialo reikšmingumas didėja (Premrov *et al*. 2016). Atliktas tyrimas prieštarauja tokio tipo namų kompaktiškumo svarbai.

Kiti moksliniai darbai pagrindžia pastatų tipų formų sąsajas su konkrečiais šalių regionais. Mokslininkų nuomone, MENA (Artimųjų Rytų ir Šiaurės Afrikos) regionuose optimalus pastato projektas, pagrįstas architektūros kompaktišku sprendiniu, gali sumažinti energijos suvartojimą net 32–60 % (Krarti, Ihm 2016). Tuo tikslu įvairiems klimato regionams sukurti kartotinių namų projektai galėtų išspręsti bent dalį problemų, susijusių su energijos sąnaudų vartojimu. Mokslininkai atsižvelgdami į etninę kultūrą, ieško ir siūlo renovacijos metodus, mažinančius energijos suvartojimą ir pagerinančius šiluminį namo vidaus komfortą. Tiriami tipiški Tibeto gyvenamieji būstai, adaptuoti prie aplinkos ir turintys tam tikrą architektūrinę formą (Sun, Leng 2015).

Apžvelgus minėtus mokslinius straipsnius, nustatyta, kad gyvenamųjų pastatų formos ir aplinkos aerodinaminiai veiksniai lemia suvartojamą energiją (kaip vieną iš tvarumo sudedamųjų dalių). Be to vienbučio namo forma turi įtakos jo padėčiai sklype ir kitų statinių kontekstualumui.

Disertacijoje vertinama tik vidinių laiptų forma, o paties namo forma nevertinama, nes pasirinktas kartotinio projekto namas. Kartotinio ar kartotinio (koreguoto) projekto namo pasirinkimą lėmė tai, kad kaina daugumai būsimų vienbučių namų gyventojų yra labai svarbus kriterijus. Kartotinių namų projektų pasiūla yra pakankama (stiliaus ir dizaino atžvilgiu), jie pateikiami racionalūs, išbaigti, ekonomiški, jiems taikomi populiariausi konstrukciniai sprendimai. Bet šių sprendimų įtaka tvarumui nėra lyginama ir pateikiama.

1.1.3. Medžiagų ir jų charakteristikų poveikio gyvenamojo namo komfortui analizė

Pagal Lietuvos teisės ir techninius dokumentus, pastatų elementų medžiagos turi atitikti šešis esminius reikalavimus (STR 2.02.09:2005). Pastatams siūlomos konstrukcijos ir medžiagos yra tinkamos vieno aukšto namui su mansarda statybai. Skiriasi medžiagų charakteristikos, todėl skiriasi ir jų poveikis žmogaus ir gamtos aplinkos tvarumui. Dažnai vienbučio namo savininkas negeba tinkamai nustatyti konstrukcijų ir medžiagų parinkimo prioritetus, todėl pirmiausia yra atlikta mokslinių tyrimų analizę. Moksliniuose darbuose šiluminis komfortas įvardijamas kaip pagrindinis kriterijus, lemiantis gyvenamojo būsto komfortą (Manzano-Agugliaro *et al.* 2015). Šis kriterijus yra labai svarus vertinant visų pastatų energijos sunaudojimą, taip pat analizuojant gyvenamųjų pastatų ir jų renovacijos energijos taupymo potencialą (Croitoru *et al.* 2016). Be to literatūroje medžiagų parinkimo svarba pagrįsta kuriant tvaraus pastato dizainą, įvardintos galimos kliūtys ir pateikti parinkimo siūlymai (Akadiri 2015).

Akivaizdu, kad didžiausią įtaką pastatų energijos sąnaudoms turi sienų sandara. Siekiant išlaikyti namo šilumą, jau prieš kelis dešimtmečius buvo atlikti išorinių sienų laikančiosios dalies (silikatiniai blokeliai bei plytos, dujų silikato, keramzitbetonio ir kt. blokeliai, monolitinis gelžbetonis, mediena ir t. t.) sudedamųjų dalių tyrimai ir vertinimai (Zavadskas *et al.* 2008). Yra daug mokslinių darbų, gvildenančių sienų medžiagų sandaros ir charakteristikų problemas: nuo sandaros iki atsparumo ugniai vertinamo (Ortiz *et al.* 2016). Tiriamos sienų laikančiojo ir izoliacinio sluoksnių medžiagos, jų storiai, sluoksnių skaičius ir kitos charakteristikos įvairiomis klimato sąlygomis (Al-Sanea *et al.* 2016). Išnagrinėta sienų sandara holistiniu ir tarpdisciplininiu požiūriu, atsižvelgiant į šilumines, akustines savybes, reakciją į ugnį ir atsparumą, vandens garus (Schiavoni *et al.* 2016). Atlikus lyginamąją analizę, pasiūlytos netradicinės izoliacinės medžiagos, kurių dar nėra rinkoje. Mediena, kaip sienų laikančioji dalis, yra gan dažnai naudojama daugumos Europos šalių vienbučių namų statybai. Tai ne tik ekologiška medžiaga, ji turi ir kitų privalumų. Jos statybos laikotarpis yra trumpesnis, palyginti su mūro konstrukcijomis. Tačiau dėl medienos savybių, šiltųjų kraštų namų būstuose iškyla perkaitimo pavojus (Adekunle, Nikolopoulou 2016). Pateiktas vėsinimo energijos priemonių modernizuoto siūlymas besivystančiose arabų šalyse (Kharseh, Al-Khawaja 2016).

Nustatyta, kad skirtingo klimato regionuose atitvarų medžiagų parinkimas ir sudėtis skirsis priklausomai nuo paskirties: ar energijos resursai reikalingi pastatui šiltinti, ar aušinti. Šalto klimato šalyse moksliniai daugiasluoksnių atitvarų tyrimai siejami su atitvarų geba sumažinti šilumos tekėjimą iš šiltosios pusės į šaltąją (Ramin *et al.* 2015). Vis populiarėjančios fazių kaitos medžiagos PCMs (angl. *Phase change materials*), integruotos į pastato struktūrą šilto klimato šalyse, ne tik taupo pastato aušinimo energijos resursus, bet gerina gyvenimo koky-

bę, susijusią su komfortu (Kuznik *et al.* 2016). Pateiktas energijos prognozavimo Alžyre modelis, pagrįstas skirtingų šalies zonų energijos poreikiu (Ghedamsi *et al.* 2016). Įvertinus specifines Kipro klimato sąlygas, atlikti energijos normų ir temperatūros lygio kontrolės testai (Panayiotou *et al.* 2016). Šių mokslininkų pasiūlytas metodas, skirtas vienbučių namų vidaus temperatūrai mažinti, įvertina sienų sandarų sprendinius ir apskaičiuoja izoliacinių medžiagų apsimokėjimą. Daugelyje mokslinių darbų nagrinėjamas sienų sandaros medžiagų poveikis viso pastato energijos suvartojimui (Baglivo *et al.* 2014; Lee *et al.* 2015).

Pasirenkant pamatus, atsižvelgiama į pagrindinius ypatumus: grunto tipą ir savybes, rūsio planavimą, pamatų įgilinimą žemiau įšalo gylio, pamatų izoliavimą nuo gruntinio ir kritulių vandens. Skirtingos dirvožemio charakteristikos lemia ir grindų sandaros ant grunto sprendinius, todėl ieškoma būdų, kaip sumažinti šilumos praradimą per grindų konstrukciją (Sušinskas *et al.* 2014). Mokslininkai pagrindė ir vienbučių namų pamatų konstrukcinio sprendimo parinkimo įtaką šilumos nuostoliams (Krarti, Ihm 2009). Įrengiant plokštinius pamatus, nelieka vietų šilumos tilteliams, todėl pasiūlyti tokių pamatų šilumos nuostolių skaičiavimo metodai (Kruisa, Krarti 2015). Iš pasaulinės praktikos matyti, kad plokštiniai pamatai dažniausiai įrengiami seisminiuose rajonuose ir ant gruntų, kur numatomas didelis ir netolygus pastato sėdimas. Nors Lietuvoje jie nėra dar populiarūs, tačiau kintant pastato energetinio efektyvumo reikalavimams, jų populiarumas didėja.

Dauguma vienbučių namų projektuojami su šlaitiniais stogais (plokšti stogai disertacijoje neaptariami). Stogo vidinių ir išorinių apdailos medžiagų parinkimas tiesiogiai siejamas su pastato ekologiškumu ir ilgalaikiškumu. Palyginus su sovietmečiu, viršutinės namo atitvaros (stogo), sandara pakito: padidėjo laikančiųjų elementų skerspjūvis (mansardų įrengimo atveju), konstrukcijos sandara termoizoliaciniu požiūriu, stogo dangos charakteristikos (Ferrari *et al.* 2014). Energijos sąnaudas lemia ne vien pastatų aušinamų jų atitvarų sandara, bet ir stogų, net šaligatvio dangų parinkimas (Zinzi 2016).

Teisės dokumentuose visuomeninių pastatų laiptų charakteristikos yra gan griežtai reglamentuotos, o vienbučių – labai liberalios. Moksliniai tyrimai laiptų ergonomiškumo klausimais atliekami nuolat (Roys 2001). Juos apžvelgus, matyti, kad žmonių susižalojimo dažnis išlieka gan aukštas (Startzell *et al.* 2000). Mokslininkai atlikę laiptų ergonomiškumo tyrimus, atkreipia dėmesį į laiptų dydžių standartų liberalumą, akustikos reikalavimus ir kitus ypatumus (Gauthier, Lagacé 2015; Novak *et al.* 2016). Disertacijoje laiptų formos uždavinys sprendžiamas kaip atskiras vienbučių namų elementų parinkimo uždavinys.

Europos (tai pat Lietuvos) bei kitų šalių teisės ir norminiai dokumentai vienbučių namų elementų formų ir konkrečių medžiagų parinkimo nereglamentuoja. Dokumentuose akcentuojami tik esminiai reikalavimai: higiena, sveikata, aplinkos apsauga, saugus naudojimas, apsauga nuo triukšmo, energijos taupy-

mas ir šilumos išlaikymas. Kintant energetinio efektyvumo reikalavimams, kinta pastatų elementų sandara bei konstrukcinių mazgų formavimas, didėja ekologiškumo ir ilgalaikiškumo svarba. Šie reikalavimai ir didėjančios energetinių išteklių kainos skatina visuomenę labiau domėtis individualių naujai statomų pastatų elementų įvairiais konstrukciniais sprendiniais bei medžiagų parinkimu. Europos Direktyvose numatyti reikalavimai įsigalioja naujai statomiems pastatams ir turi atitikti reikalavimus pagal klases (Eur-Lex 2010):

- nuo 2014 m. B klasės reikalavimus,
- nuo 2016 m. A klasės reikalavimus,
- nuo 2018 m. A+ klasės reikalavimus,
- nuo 2021 m. A++ klasės reikalavimus.

Parinktų elementų formų, medžiagų sandarų visuma lemia vienbučių namų energetinio efektyvumo klasę. Disertacijoje aptariamas tik pagrindinių pastato konstrukcinių elementų ir tvarių medžiagų (sienų ir jų elementų, pamatų, stogo, perdangos, laiptų) parinkimas.

1.1.4. Namo vietos sklype parinkimo ir gyvenamojo namo komforto ypatumų analizė

Visas pastato medžiagas galima suskirstyti pagal funkcinę paskirtį, struktūrą, ilgalaikiškumą, ekologiškumą ir net sąveiką su žmogumi (Toni *et al.* 2014). Jei pastatas netinkamai orientuojamas geografiškai, jei vasaros metu pro langus ar vitrinas skverbiasi per daug šilumos (arba per mažai), jei pasirenkami neteisingi fasadų, stogų, erkerių, terasų ar kitų elementų matmenys, pasidaro tiesiog neįmanoma pastato atitvarų apšiltinti iki reikiamo lygio (Hee *et al.* 2015). Tokiu atveju A klasės pastato įrengti nepavyks. Norint pasiekti tinkamą rezultatą, būtinas architekto (ar savininko) ir energinio naudingumo eksperto bendras darbas, susijęs ne tik su erdvine forma ar pastato orientacija, bet ir su jo elementais bei medžiagomis, lemiančiomis energijos sąnaudas: šilumos izoliacijos storį, langų dydžius, balkonų skaičius ir kt.

Medžiagų vertinimas pagal geografines ir fizines savybes yra mokslininkų pasiūlytas ir argumentuotas. Švedijos mokslininkai išnagrinėjo stiklo ir medienos jungčių vietas ir pateikė pastate esančių didesnių nei įprasta stiklo atitvarų panaudojimo galimybes (Blyberg *et al.* 2014). Ispanijos mokslininkai palygino esamus šalies gamtinius išteklius su medžiagomis naudojamomis vienbučių namų statyboms. Paaiškėjo, kad stokojama racionalumo: esamų statybinių medžiagų gamtinių išteklių gavyba mažai lemia statybos pramonę (Guillen-Lambea *et al.* 2016).

Statyba, įrenginiai, statinių eksploatavimas ir galutinis griovimas yra svarbūs veiksniai, lemiantys žmogaus poveikį aplinkai tiek tiesiogiai (tarša, atliekos), tiek netiesiogiai (neefektyvi infrastruktūra) (Akadiri *et al.* 2013). Moksli-

ninkų pateiktos rekomendacijos ir kriterijai vertina įvairių pamatų tipų poveikį aplinkai (Ciancio *et al.* 2013). Lyginant daugiabučių ir vienbučių namų aplinkosaugos problemas, pastarosios yra sudėtingesnės, todėl šių namų medžiagų parinkimas yra aktualesnis (Chardon *et al.* 2016). Įvertinus energijos vartojimo įpročius ir bendro būsto energijos poreikius tarp gyvenamųjų pastatų tipų, labiausiai paplitusių Suomijos mieste ir kaime, padaryta svarbi išvada, kad konkretaus kuro ir jo mišinių panaudojimas turi globalią įtaką energijos suvartojimui (Heinonen, Junnila 2014). Europos pietinėse ir kitose besivystančiose šalyse pastatų izoliacijos standartai yra patys prasčiausi, palyginti su vakarų Europa. Energijos panaudojimas aktualus tiek pastatų šildymui, tiek vėdinimui (Balyani *et al.* 2015).

1.1.5. Namo elementų (laiptų) formos įtakos gyventojų komfortui ir saugumui tyrimų analizė

Pagrindinių pastato elementų formos ir medžiagos daugiau ar mažiau priklauso nuo namo architektūrinės formos. Pavyzdžiui, laiptatakių forma plane kartais parenkama pagal sienų formą, stogo dangos medžiagos ir laikantieji elementai tiesiogiai priklauso nuo stogo tipo ir šlaitų nuolydžio, net langų forma projektuojama arkos tipo, jei ji atkartoja sienos kontūrą. Namo konstrukciniai elementai, be formos, skiriasi dydžiu, apdaila ir kitomis charakteristikomis. Mokslinėje literatūroje gyvenamojo būsto kokybė yra vertinama pagal psichologinius, fizinius, socialinius ir net vadybos ypatumus (Kang *et al.* 2014). Be to „technologinė pažanga skatina žmones labiau domėtis savo aplinkos kokybe ir jos kaina: šilumos komfortu, oro kokybe ir kartu stebėti energijos sąnaudas, jų kitimą“ (Mikučionienė 2014). Gyvenamųjų namų architektūrinius-konstrukcinius sprendimus, elementų formų ir dydžio parinkimą lemia klimato charakteristikos, tautos istorinės raidos ypatumai ir tautos kultūra (Guillen-Lambea *et al.* 2016). Unikalių formų namams jų parinkimas priklauso nuo architekto sumanymo ir užsakovo pageidavimo, jų bendradarbiavimo (Alsaadani, De Souza 2016). Disertacijoje nagrinėjamų kartotinių namų elementai ir jų dydžiai numatyti ir suprojektuoti iš anksto.

Iš namo vidinių konstrukcinių elementų gan didelį poveikį žmogaus komfortui turi laiptai, nes jie susiję su kasdienine veikla ir gyventojų saugumu (Vallabhajosula *et al*. 2015). Tiek prieš kelis dešimtmečius, tiek šiuo metu vis atliekama tyrimų, susijusių su nevienodu žmonių gebėjimu lipti laiptais (Startzell *et al.* 2000; Mayagoitia *et al.* 2017). Moksliniuose straipsniuose laiptų erdvė įvardijama kaip viena pavojingiausių (Raina *et al*. 2015). Mokslininkų įrodyta, kad nelaimės rizikos veiksnio mastas priklauso nuo laiptų charakteristikų: pakopų dydžių, laiptatakio polinkio kampo, taip pat turėklų aukščio ir porankio formos (Nemire *et al.* 2016). Reikalavimai laiptų konstrukciniams elementams ir

pakopų dydžiams skiriasi priklausomai nuo pastato paskirties. Dėl laiptų pakopų dydžių nepatogumo, sutrinka žingsnio ritmas ir padidėja griuvimo tikimybė (Gottschall *et al.* 2010).

Ergonomikos principais galima apibūdinti laiptus ir jų formą. Pirmasis principas – energetinis. Pagal energijos tvermės dėsnį, atliktas darbas judant pasvirusia plokštuma ar vertikale yra tas pats, tai priklauso tik nuo skirtumo tarp aukščių (lygių) (Qu 2015). Be to, kuo ilgesnis kelias, tuo laiko skirstinys yra labiau tausojantis. Antrasis principas – antropocentrinis. Šiuo atveju jį galima suformuluoti kitais žodžiais: „laiptai – žmogui, o ne žmogus – laiptams“. Šiuolaikinių dizainerių nuomone, tenkinant ergonominius reikalavimus, vertikalė turėtų būti padalinta į diskrečias atkarpas-modulius, atitinkančius pagrindinę antropocentrinę charakteristiką – žmogaus žingsnį. Kiekvienas iš daugybės atsiradusių lygių (pakopų horizontalių plokštumų) turi turėti nedidelę aikštelę, skirtą žmogaus pėdai atremti žingsniavimo metu. Santykis tarp aukščio ir pločio šiuose nedideliuose lygiuose gali būti skirtingas priklausomai nuo laiptų polinkio kampo ir konstravimo (Roys 2001; Gauthier, Lagacé 2015; Novak *et al.* 2016).

Ergonomikoje yra formulė, pagal kurią parenkami minėtieji dydžiai (pakopų aukštis ir plotis) (Савельев 2010; Neufert 2012):

$$p + 2h = S\,, \tag{1.1}$$

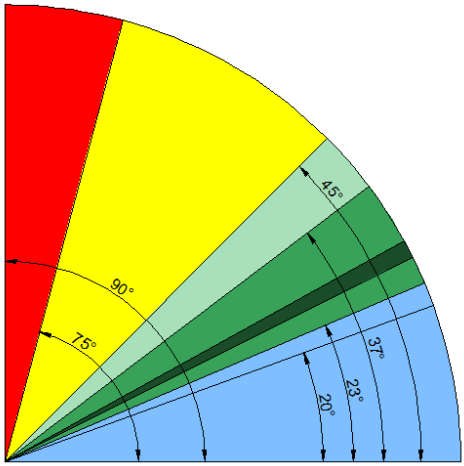
čia p – pakopos plotis, h – pakopos aukštis, S – vidutinis žmogaus žingsnis (600–640 mm).

Šią formulę dar 1672 m. pasiūlė žinomas prancūzų architektas, dailininkas ir inžinierius Žakas Fransua Blondelis (Jacąues-Francois Blondel (1618–1686)).

Blondelio formulė taikoma ir dabar įrengiant gyvenamosios ir visuomeninės paskirties pastatuose laiptus ir net siūloma paisyti jos projektuojant evakuacinius laiptus (Савельев 2010). Parinkus vis kitus pakopų dydžius ir įrašius juos į formulę, ne visi laiptai bus ergonomiški, t. y. lipti jais bus nepatogu. Formulė gali būti pritaikyta įvairaus polinkio kampo laiptatakiams (1.6 pav.). Kuo laiptai bus statesni, tuo mažiau vietos jie užims name ir atvirkščiai, kuo lėkštesni, tuo didesnė erdvė yra jiems reikalinga. Jei polinkio kampas mažesnis kaip 23°, laiptai keičiami nuožulnia plokštuma, jei statesni kaip 45° – pastatomais laiptais (kopėčiomis). Jei įrengtų laiptų polinkis yra 40°–45°, leistis jais žemyn teks atbulomis. Ergonomikoje yra nustatyta, kad patogiausi laiptai yra tokie, kurių posvyrio intervalas tarp 23° ir 37° (1.6 pav.).

Lietuvos statybos techniniuose reglamentuose visuomeninių (STR 2.02.02:2004) pastatų laiptų pakopų ir laiptinių erdvių charakteristikos yra griežtai reglamentuotos: nustatytas pakopos aukščio ir pločio santykis, jis lygus 1:2. Todėl šios paskirties pagrindinėse laiptinėse paprastai pakopų dydžiai įrengiami 300×150 arba 290×145 mm. Pagal reglamentą (STR 2.02.09:2005) vienbučių namų laiptams nustatytos ribos yra $h \leq 200$ mm, $a \geq 250$ mm. Įrengus laiptus pagal šias ribines charakteristikas, laiptatakio nuolydis yra 39°, vadinasi, laiptai

nėra patogūs ir saugūs lipti (1.6 pav.). Skirtingai nuo visuomeninių ir daugiabučių pastatų, vienbučių pastatų savininkai laiptų pakopų charakteristikas gali pasirinkti savo nuožiūra. Todėl pasitaiko atvejų, kad laiptai įrengiami net statesni už STR nustatytas ribas, taip nusižengiant antropocentriniam laiptų konstravimo principui.



Rekomenduojami pakopų dydžiai

Pakopų dydis, mm											
aukštis	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
plotis	350	340	330	320	310	300	290	280	270	260	250

Patogūs lipti laiptai

Labiausiai patogūs ir saugūs laiptai

1.6 pav. Pakopų dydžių priklausomybė nuo laiptų polinkio kampo (pagal Савельев 2010)

Fig. 1.6. The size dependence of steps from the stair inclination angle (according to Савельев 2010)

Gyvenamųjų namų elementų proporcijas reglamentuoja ir kitas teisės dokumentas (STR 2.02.01:2004), kuriame laiptų pakopų dydžiai jau kiti, bet nekorektiški (1.1 lentelė). Siekiant tobulinti įrengiamų laiptų saugumą ir ergonomiškumą, Aplinkos ministerijai nusiųstas siūlymas redaguoti STR pateiktą lentelę taip (1.2 lentelė):

- redaguoti formulę (lygybės ženklą keisti ženklu mažiau/lygu),
- į lentelę įterpti papildomą stulpelį, ribojantį pakopų plotį,
- ištaisyti gramatinę klaidą: žodį „laiptotakio“ keisti žodžiu „laiptatakio“.

1.1 lentelė. Reglamento laiptinių ir jų elementų matmenų minimalūs dydžiai (pagal STR 2.02.01:2004)
Table 1.1. The Regulation present staircases and their elements size minimums (according to STR 2.02.01:2004)

Laiptai	Minimalus naudojimo plotis, m		Maksimalus pakopos aukštis h, m	Pakopų plotis p, m
	Laiptotakio	laiptų aikštelės		
2 aukštų butuose	0,9	0,9	0,18	p = 0,65 – 2h
daugiabučių namų bendrosios erdvės	1,2	1,5	0,18	
laiptai į rūsį	0,9		0,20	
išoriniai namo laiptai	1,2		0,12	

1.2 lentelė. Autorės siūloma laiptinių ir jų elementų matmenų dydžių lentelė
Table 1.2. The authors suggested staircases and their elements size size table

Laiptai	Minimalus naudojimo plotis, m		Maksimalus pakopos aukštis h, m	Pakopų plotis p, m	Pakopų pločio ribojimas, m
	Laiptatakio	Laiptų aikštelės			
2 aukštų butuose	0,9	0,9	0,18	p ≤ 0,65 – 2 h	p ≥ 0,29
daugiabučių namų bendrosios erdvės	1,2	1,5	0,18		
laiptai į rūsį	0,9		0,20		p ≥ 0,25
išoriniai namo laiptai	1,2		0,12		p ≥ 0,30

Kadagi vienbučių namų STR yra numatyti tik maksimalūs dydžiai (h ≤ 200 mm, p ≤ 250 mm), STR siūloma rekomendacijos forma pateikti lentelę (1.2 lentelėje) ir 1.6 paveikslą, kuriuose vaizdžiai nurodoma sąsaja tarp pakopų dydžių ir laiptatakio polinkio kampo.

1.2. Tvari gyvenamųjų namų statyba

Klimato kaita ir finansų krizė parodė, kad greito pelno ir trumpalaikių tikslų siekimas gali turėti itin neigiamų padarinių. Mokslinėje literatūroje akcentuojama,

kad taupiai ir sąžiningai naudojant vertingus gamtinius išteklius, bus tausojama bei puoselėjama aplinka. Nepaisant plačiai nagrinėjamų klausimų, susijusių su tvarumu, pastatų tvarumo ypatumų tarpusavio priklausomybė dar vis nepakankamai ištirta (Ju *et al.* 2016).

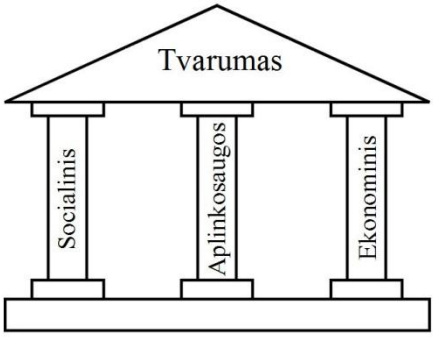
Šiuolaikiniame pasaulyje tvarioji plėtra tampa vienu iš svarbiausių veiksnių apibrėžiant kokybiškus pastatus, kurie sukuria sveiką aplinką žmogui ir mažina neigiamą poveikį gamtai (Yang *et al.* 2017). Tvarių pastatų, kaip kompleksinių socialinių-techninių sistemų svarbus bruožas yra jos elementų tarpusavio priklausomybės problemų sprendimas (Alvarez *et al.* 2017). Tarpusavyje sąveikaujančių tvarumo veiksnių sudėtingumas lemia tvarumo ypatumus atskiruose gamybos etapuose, tai patvirtina sukurtas unikalus matematinis metodas vertinantis gamybos tvarumą atskiruose etapuose (Ahi, Searcy 2015).

Tvarios statybos tikslas – sukurti pastatus, taupančius energiją ir išteklius visais gyvavimo ciklo etapais, saugančius gyventojų sveikatą ir užtikrinančius puikią jų savijautą (Kamali, Hewage 2017). Naujos kartos žaliųjų pastatų architektūrinių sprendimų įtaka tvarumui vertinama lyginant pastatų charakteristikas (Gou, Xie 2017). Vienbučių namų statyboje tvarumo ypatumai apima visą namo gyvavimo periodą: nuo statybos pradžios iki nugriovimo (Martín-Gamboa *et al.* 2017). Deja, dauguma potencialių klientų tvarumą supranta tik kaip energijos sąnaudų mažinimą. Praktiškai visi kriterijai, nusakantys pastatų (plačiąja prasme) tvarumą, apibūdina ir vienbučių namų tvarumą (Ahmad, Thaheem 2017). Skirtingai nei daugiabučių ar visuomeninių pastatų atveju, vienbučiams namams yra aktualūs papildomi komforto ir privatumo kriterijai (Rid *et al.* 2017; Pombo *et al.* 2016).

Tvarios plėtros koncepcija apima tris charakteristikas: socialinę, aplinkosaugos ir ekonominę (1.7 pav.) (SP 2014). Šie trys tvarumo ramsčiai visiškai nusako tvarumo problemą, kuri apibūdinama kaip plėtra, tenkinanti dabarties poreikius ir nekelianti grėsmės ateities poreikių tenkinimo galimybėms. Vadinasi nuo tvarios plėtros priklauso dabarties ir ateities žmonių kartų aukštas gyvenimo lygis. Statybos pramonė yra viena iš sričių, apimanti visas tris minėtas charakteristikas: socialinę (Kamali and Hewage, 2017), ekonominę (Lizana *et al.* 2016), aplinkosaugos (Holmstedt *et al.* 2017).

Tvarūs pastatai pasižymi aukštu energetiniu efektyvumu, suvartoja mažai energijos – tiek šilumos, tiek elektros. Tokių pastatų konstrukcijai ir apdailai naudojamos ekologiškos medžiagos, turinčios itin mažą arba visai neturinčios neigiamo poveikio gamtai. Tvariuose pastatuose užtikrinamas didelis natūralios šviesos kiekis, sukuriama komfortiška ir sveika aplinka, kurioje komfortabilu būti, gyventi, dirbti (Kaklauskas *et al.* 2015). Tokiose erdvėse gyvenantys žmonės yra kūrybingesni, aktyvesni ir produktyvesni. Mokslininkai vieningai sutaria, kad taupus pastatų energijos vartojimas yra vienas pagrindinių tvarumo kriterijų (Yi *et al.* 2017; Ahmad, Thaheem 2017). Tikrinami įvairių tipų

gyvenamųjų namų ekonominiai, socialiniai ir aplinkos poveikio rodikliai, pagrįsti energijos suvartojimu (Vucicevic *et al.* 2014). Siūlomos sienų termoizoliacinių sluoksnių schemos, skirtos pastatams šiltinti ir vėsinti (Menyhart, Krarti 2017). Nagrinėjami visuomeninės paskirties pastatų tvarumo ekologinių ir socialinių kriterijų visumos vertinimai, daugiabučių namų energijos sistemų kriterijai griežtėjant aplinkos tvarumo reikalavimams bei miesto tvarumo vertinimo optimalūs kriterijai (Dezhi *et al.* 2016; Oree *et al.* 2017; Holmstedt *et al.* 2017).



1.7 pav. Tvarumo ramsčiai (pagal SP 2014)
Fig. 1.7. The Three Pillars of Sustainability (according to SP 2014)

Europos Sąjunga, atsižvelgdama į pasaulinius energijos išteklius ir aplinkosaugą, numatė pastatų energetinio efektyvumo reglamentuojančių sertifikatų sistemą (Rodriguez-Ubinas *et al.* 2014). Tuo tikslu įvairiose šalyse buvo sukurtos sertifikavimo sistemos, tarp kurių žinomiausios yra Didžiojoje Britanijoje – BREEAM, JAV – LEED. Visos šios sistemos vertina įvairios paskirties pastatus ir (ar) jų aplinką, techninius aspektus (Vilutienė *et al.* 2015). Net tos pačios paskirties pastatams vis kita sertifikavimo sistema naudoja nevienodus kriterijų rinkinius. Todėl šalia žinomiausių sertifikavimo sistemų kuriamos naujos, kryptingos, t. y. skirtos konkrečioms pastatų grupėms.

Išanalizuoti 16 miesto tvarumo vertinimo sistemų rinkinių, apimančių 958 kriterijus, kurie pagrindė tris pagrindines tvariosios plėtros charakteristikas: ekonominę, socialinę ir aplinkosaugos (Ahvenniemi *et al.* 2017). Tvarumo principų taikymas vis dar besirutuliuojanti sritis, kurioje, anot mokslininkų, trūksta konkrečių teorijų, modelių ir sistemų (Ahi, Searcy 2015; Alvarez *et al.* 2017). Tuo tikslu pristatytas naujas regresija pagrįstas energijos sąnaudų kontrolės metamodelis vienbučiams namams (Hester *et al.* 2017). Iš esmės modelis skirtas būsimo pastato energijos sąnaudoms sumažinti dar projektavimo metu. Modelyje teikiamos patalpų zonavimo rekomendacijos, bet kartu įrodoma, kad skirtumai tarp dizaino alternatyvų gali būti vertinami neturint pakankamos informacijos.

Moksliniuose straipsniuose taip pat nagrinėjami teisės ir norminiai įvairių šalių tvarumo strategijos klausimai. Vienas pagrindinių Vokietijos vyriausybės strategijos numatomų tikslų yra gyvenamųjų pastatų tvaraus būsto plėtra (Rid *et al.* 2017). Įvertinus tvarų būstą ir gautus rezultatus pateikus suinteresuotoms šalims, yra gerinamas gyvenamojo būsto sektoriaus tvarumas. Be to šie mokslininkai ištyrė tvarumo sistemų teisėtumą ir pateikė tvaraus būsto kriterijų nevienalytiškumą. Skirtingi siekiai ir charakteristikos lemia tvariosios plėtros kryptis ir sprendimo priėmimą. Todėl sprendimo priėmimo modelį pateikiančiuose moksliniuose straipsniuose dominuoja logika, sutelkta į individualius poreikius (Bolis *et al.* 2017).

Kita vertus vienbučiai namai skiriasi unikalumu, sudėtingumu, sąnaudomis ir daugeliu kitų bruožų. Akivaizdu, kad yra sukurta daug sudėtingų tvarumo modelių ir sistemų, bet poreikis paprastos, lengvai suprantamos ir vertinančios būsimųjų vienbučių namų tvarumą sistemos išlieka.

1.3. Daugiakriterių sprendimo priėmimo metodų pagrindimas

Daugiakriteriai sprendimo priėmimo metodai taikomi siekiant nustatyti racionalius uždavinio sprendimo variantus. Esminis šių uždavinių ypatumas: gautasis sprendinys negali būti geriausias visų kriterijų atžvilgiu, t. y. ieškomas toks sprendinys, kuris nėra optimalus kiekvienam kriterijui atskirai, bet yra priimtinas visiems kriterijams. Daugiakriteriai uždaviniai skirti parinkti optimaliam sprendimui, vienu metu vertinant įvairias alternatyvas pagal keletą vienas kitam nesuderintų tarpusavyje kriterijų. Bendru MCDM (angl. *Multi-Criteria Decision Making*) pavadinimu yra sukurta nemažai sprendimo priėmimo metodų. Daugelyje mokslo šakų taikomi sprendimo priėmimo metodai, pavyzdžiui, tiriant atsinaujinančių energijos šaltinių technologijas, nustatant sistemų bei objektų tvarumą (Štreimikienė *et al.* 2016). Toliau mokslinės literatūros analizėje aprašomos paskutiniųjų metų su tvarumu ir statybos pramone susijusios MCDM taikymo galimybės.

Statybos srities MCDM uždavinių spektras yra platus, bet vienas svarbiausių uždavinių yra pastatų ir jų aplinkos tvarumo nustatymas (Yazdani *et al.* 2017; Hashemkhani Zolfani *et al.* 2018). Belgrado mokslininkai atliko daugiakriterę analizę ir, palyginę vienbučių ir daugiabučių namų, pastatytų 1981–2006 metų laikotarpiu, tvarumą, pateikė vertinimo metodiką (Vucicevic *et al.* 2014). Šilto klimato šalyse tvarumas tapatinamas su aušinimo sistemų kokybe. Mokslinikai siūlo vienbučių namų aušinimo sistemos parinkimą pagrįstą Fuzzy-AHP metodu (Balyani *et al.* 2015). Kiti mokslininkai COPRAS metodu vertina tvaraus būsto aspektus: kainos ir aplinkosaugos kriterijų santykį (Mulliner *et al.*

2013). COPRAS metodu vertinamas vienbučių namų poveikis aplinkos tvarumui, esant įvairioms laikančiosioms (mūro, rąstų ir medienos rėmų) konstrukcijoms (Motuzienė *et al.* 2016). Mokslininkai analizuoja kriterijų atrankos problemą ir pateikia jų derinį vienam modeliui.

Kituose straipsniuose nagrinėjami ir konkretūs pastato konstrukcinių elementų ar medžiagų parinkimo klausimai. Dauguma mokslinių tyrimų yra susiję su išorinių sienų sudėtinių dalių parinkimu (Baglivo *et al.* 2014; Baglivo, Congedo 2016). Mokslininkai siūlo tvarių medžiagų atrankos modelį, pagrįstą daugiakriteriais skaičiavimo metodais (FEAHP) (angl. *Fuzzy Extended Analytic Hierarchy Process technique*) (Akadiri *et al.* 2013). Kartais pastato elementų medžiagų parinkimas grindžiamas praktiškai tik energijos suvartojimo efektyvumu arba sąnaudomis (Silva *et al.* 2016). Mokslininkams modeliavimo sistema atlikus sienų medžiagų sandaros optimizavimą, pristatyta lyginamoji pastatų analizė (Kuznik *et al.* 2015). Palyginus nevėdinamų, žaliųjų ir tradicinių stogų energijos charakteristikas, parinktas efektyviausias: vidutiniškai apšiltintas žalias stogas (Gagliano *et al.* 2015). Išbandytas tradicinio Sardinijos (Italijos regionas) namo funkcionalumas, naudojant šilumos komfortui palaikyti skirtus modelius ir paneigtas mechaninių vėsinimo/šildymo kondicionierių poreikis (Desogus *et al.* 2015).

Taip pat nagrinėjami įvairūs klausimai, susiję su pastatų konstrukcinių elementų forma ir jų poveikiu saugumui, aplinkai, strategijų kūrimu, gyvenamųjų būstų bei vizualaus komforto vertinimu ir pan. MCDM metodais įvertinus alternatyvius pastatų projektavimo sprendinius, ypatumai palyginti MOORA metodu, taip pat analizuojamos bendros projektų valdymo problemos (Zavadskas *et al.* 2014b). MULTIMOORA metodu atliktas statybos sektoriaus krizės tyrimas 19 ES šalių (Brauers *et al.* 2014). AHP ir ARAS metodai taikomi nustatant kiekybinius ir individualius įvairaus pastato dizaino tvarumo kriterijus (Medineckiene *et al.* 2015). Sukurtas matematinis modelis įvertino ekonominius, socialinius ir aplinkosaugos kriterijus ir nustatė, kad vienbučių namų konstrukcinių elementų ir medžiagų tvarumas pranoksta daugiabučių namų. Įvertinus pastato geometriją, šilumos izoliacijos lygį, klimato sąlygas ir namo vietą sklype, pateikiama parametrinė dinaminio modeliavimo sistema aušinimo energijos taupymui nustatyti (Zinzi 2016). Vokietijos mokslininkai atliko surenkamųjų namų medžiagų empirinius tyrimus dviem kryptimis: konkretaus atvejo ir klientų prioritetų nustatymo. Tiriant konkretų atvejį ir išanalizavus gyventojų skiriamą dėmesį konstrukcijų ir technologijų parinkimui, sukurta surenkamųjų gyvenamųjų namų elementų ir medžiagų savarankiško parinkimo sistema (Schoenwitz *et al.* 2017). Pritaikius „Google Earth“, GIS technologijas, astronomijos principus ir geometrijos teoriją, pasiūlytas naujas metodas energetiniam efektyvumui vertinti pagal esamų pastatų formas (Qi, Wang 2014). Pastato optimaliai formai parinkti sukurti genetiniai algoritmai, kurie be formos, įvertina ir aplinkos veiksnius (Jin,

Jeong 2014). Mokslininkai palygino Madrido miesto daugiabučių ekonomikos ir aplinkosaugos tikslinius uždavinius. Atlikus tyrimą, paaiškėjo, kad daugiabučių namų modifikavimo strategijos nėra optimalios aplinkosaugos požiūriu. Jų pasiūlyta metodika tvarumui nustatyti (Pareto principu), vertina įvairius šių pastatų renovacijos kriterijus (Pombo *et al.* 2016). Parinkti miestams svarbių pastatų renovacijos technologijų metodai, pateikti siūlymai renovuojamus pastatus pirmiau klasifikuoti ir tik tada priimti pagrįstą renovacijos sprendimą, taip taupant paveldo pastatų sunaudojamą energiją (Si *et al.* 2016). AHP ir COPRAS metodais sukurta nauja sudėtinė kriterijų sistema įvertina statybinių medžiagų panaudojimą statybos ir nugriovimo laikotarpiu (Motuzienė *et al.* 2016). Atlikus pastatų vizualaus komforto analizę, pasiūlyti komforto vertinimo kriterijai bei pastatų projektavimo sritys, kurias reikėtų optimizuoti (Carlucci *et al.* 2015). Imituojant aplinką, pateikti įvairių komforto aspektų derinimo įrankiai (Atzeri *et al.* 2016).

Ekspertų grupės nuomonių tyrimas dažnai atliekamas pasitelkus daugiakriterį AHP metodą (Saaty, 1980). Metodas panaudotas siekiant įvertinti gyvenamųjų pastatų šilumos ir energetinį efektyvumą skirtingomis klimato sąlygomis, pastatų renovacijos projektams atlikti (Silva *et al.* 2016; Nielsen *et al.* 2016; Si *et al.* 2016). Daugelyje mokslinių tyrimų kriterijų svoriai nustatomi AHP metodu: daugialypėje kriterijų priėmimo technikoje, skirtoje statybos tvarumui įvertinti, sudėtingoje kriterijų sistemoje, leidžiančioje įvertinti alternatyvius projektavimo sprendimus (Medineckienė *et al.* 2015; Motuzienė *et al.* 2016). Danijos mokslininkai pateikia MCDM metodų, naudojamų pastaruosius 16 metų pastatų tvarumui nustatyti projektavimo ir renovacijos laikotarpiu, sąranką. Nustatyta, kad architektūroje ir statyboje dažniausiai naudojamas AHP metodas, kuris puikia tinka poriniam kriterijų palyginimui (Nielsen *et al.* 2016).

SWARA metodas, sukurtas teisės uždaviniams spręsti, taikomas daugelyje įvairių sričių (Kersuliene *et al.* 2010). Metodas panaudotas besivystančių šalių planavimo ir vadybos įžvalgų studijoms, tai pat sukurta atrankos sistema, skirta kandidatams į pardavimų vadybininkus parinkti (Hashemkhani Zolfani *et al.* 2015; Karabasevic *et al.* 2016). Dažnai SWARA metodu yra nustatoma kriterijų svarba (Hashemkhani Zolfani, Bahrami 2014; Ruzgys *et al.* 2014).

Tipiškos MCDM uždavinio jautrumo analizės tikslas yra išsiaiškinti kaip pasikeis alternatyvų suskirstymas rangais, pasikeitus naujoms reikšmėms. Dažnai MCDM uždavinių duomenys yra sunkiai išreiškiami skaičiais arba lengvai kintantys, todėl atliekamos daugiakriterio sprendimo jautrumo analizės (Štreimikienė *et al.* 2016).

Dalies mokslininkų teigimu, tvarios plėtros principams persikėlus į statybos pramonę, paaiškėjo paradigma: visuotinai priimtino ir unikalaus tvaraus pastato sprendimo nebuvimas (Kreiner *et al.* 2015). Tokia išvada padaryta dėl daugiakriterio sprendimo priėmimo metodų kriterijų tarpusavio priklausomybės. Taikomi pastatų sertifikavimo metodai neįvertina kriterijų kompromisų, todėl tik iš dalies

tinka holistiniam pastatų tobulinimo procesui: teigiama, kad visos sistemos negali būti apibrėžtos ir paaiškintos vien kaip jos sudėtinių dalių visuma (Mulliner *et al.* 2013).

1.4. Pirmojo skyriaus išvados ir disertacijos uždavinių formulavimas

1. Atlikus straipsnių analizę, nustatyta, kad moksliniuose tyrimuose vis dažniau akcentuojami namo architektūrinio projekto parinkimo svarba, konstrukcinių elementų ir medžiagų, namo elementų formos įtaka gyventojų komfortui ir saugumui.
2. Pagal bendrą pasaulio tvarumo sampratą, nepriklausomai nuo klimato sąlygų, kultūros vertybių, gyventojų poreikių ir pan., yra siekiama, kad vienbučių namų erdvinės formos būtų parinktos tokios, kad suvartojamos energijos sąnaudos būtų kuo mažesnės. Atlikti moksliniai tyrimai rodo, kad vertinant pastatus, tikslinga įtraukti papildomų charakteristikų, susijusių su jų tvarumu. Pastatų konstrukcijų ir medžiagų parinkimo uždaviniai, apimantys ne tik esminius statinio reikalavimus, bet ir aplinkosaugos, ekonominius ir socialinius aspektus, yra lankstesni ir tinkamesni daugumos dabartinių klientų individualiam pasirinkimui.
3. Ir teisinėje bazėje, ir mokslinėje literatūroje garažo šalia vienbučių namų zonų skirstymui skirtas per mažas dėmesys, todėl kliento pasirinkimą lemia tik estetikos suvokimas.
4. Lietuvoje konstrukcinių elementų medžiagų parinkimą reglamentuoja pagrindiniai STR reikalavimai. Išnagrinėjus kitų autorių straipsnius apie pastatų medžiagų vertinimą, pastebėta, kad tiriamos tik siauros sritys (atskirų konstrukcinių elementų kriterijai). Vertinimo veiksmingumas ir naudingumas mažėja, jei neatliktas kompleksinis pastato konstrukcinių elementų ir medžiagų vertinimas.
5. Vienas iš vidinių namo elementų – laiptai – turi gan didelę įtaką žmogaus komfortui. Tyrimus, susijusius su laiptais, atlieka skirtingų sričių mokslininkai. Dauguma mokslininkų apibūdina laiptų erdvę kaip vieną iš pavojingiausių namo erdvių. Yra įrodyta, kad nelaimės ant laiptų priklauso nuo pakopų dydžio, laiptatakio polinkio kampo, turėklų aukščio ir kitų aspektų.

6. Dėl griežtesnių energijos vartojimo efektyvumo reikalavimų, projektuojamiems vienbučiams pastatams keliami nauji reikalavimai: įtraukiama papildomų reikalavimų, susijusių su tvarumo principų taikymu. Todėl reikia atlikti tyrimus ir nustatyti papildomus kriterijus tvarumui vertinti.

Visa tai apibendrinus, suformuluoti tokie pagrindiniai šio darbo uždaviniai:

1. Suformuoti vienbučių namų (garažo padėties, laiptų formų ir konstrukcinių elementų medžiagų) variantus bei pasiūlyti vertinimo modelį.
2. Parengti kriterijų sistemas kiekvienam sprendžiamam uždaviniui ir nustatyti jų vertinimo reikšmingumą.
3. Taikant parengtas kriterijų sistemas ir pasiūlytus galimų variantų vertinimo modelius, atlikti vienbučių namų garažo padėties, vidinių laiptų formų ir konstrukcinių elementų medžiagų parinkimo daugiakriterį vertinimą ir racionalų variantų nustatymą.

2

Kompleksinio vertinimo metodai vienbučių namų sprendinių parinkimui

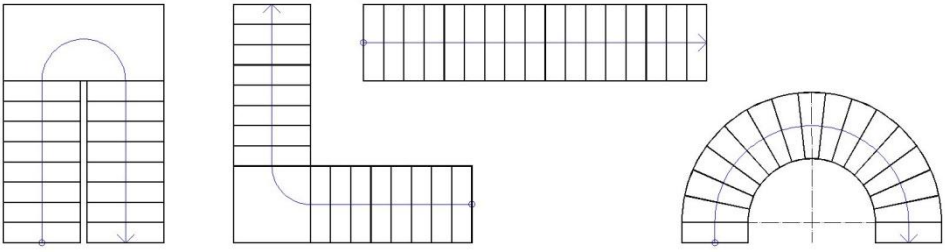
Pirmojo skyriaus rezultatai parodė, kad nėra bendro vienbučių namų projektinių sprendinių parinkimo metodo. Skyriuje analizuojami grafiniai laiptų pakopų kūrimo metodai bei daugiakriteriai sprendimo priėmimo metodai ir jų panaudojimo galimybės sprendžiant vienbučių namų projektavimo klausimus. Skyriaus tematika kartu su bendraautoriais paskelbti devyni moksliniai straipsniai (Baušys, Juodagalvienė 2017; Turskis, Juodagalvienė 2016; Zavadskas *et al.* 2017; Juodagalvienė *et al.* 2017; Juodagalvienė 2015a; Juodagalvienė 2015b; Juodagalvienė 2015c; Juodagalvienė 2015d; Juodagalvienė 2015e) ir skaitytas pranešimas respublikinėje „Inžinerinė ir kompiuterinė grafika“ konferencijoje 2015 m.

2.1. Vienbučių namų konstrukcinių elementų (laiptų) formos

Pastatų konstrukcinių elementų projektavimas ir gamyba siejama su informacinėmis technologijomis, kuriomis skaičiuojama elementų laikomoji geba, medžiagų sąnaudos, sudaromos sąmatos, taip pat kuriamos ir koreguojamos geo-

metrinės konstrukcinių elementų charakteristikos. Disertacijoje sprendžiamas vieno iš konstrukcinių elementų – vienbučių namų laiptų – parinkimas ir ergonomiškumo įtaka gyventojams. 3D pastatų modeliavimo programomis (Revit Architecture, ArchiCAD ir kt.) sukuriami įvairių formų ir charakteristikų laiptų modeliai. Nepaisant informacinių technologijų teikiamų privalumų (ir tam tikrų trūkumų), pastatų aukštų planuose privalu atvaizduoti tikslius pakopų ir aikštelių dydžius bei geometrines laiptatakių formas, lipimo kryptį, aikštelių dydžius pagal standartus.

3D pastatų modeliavimo programomis modeliuojant laiptus ir rengiant jų darbo brėžinius, galima sukurti bet kokio geometrinio dydžio laiptų elementus. Tačiau kintamo pločio pakopoms, nuo kurių dydžio priklauso lipimo patogumas, tikslinga taikyti įvairius grafinius metodus, kurie nėra integruoti į 3D modeliavimo programas. Be to dažniausiai informacijos apie patogumą lipti kintamo pločio pakopų laiptais klientai neturi.



2.1 pav. Π, L formos, tiesinių ir kreivinių laiptų atvaizdai plane
Fig. 2.1. Π, L-shaped, straight and curvy staircase images plan

2.1 paveiksle pavaizduotos vienbučių namų laiptų schemos: dviejų laiptatakių (Π ir L formos su aikštelėmis), tiesiniai bei kreiviniai vieno laiptatakio laiptai. Pastarieji įrengiami gerokai rečiau už kitus laiptus. Iš visų 2.1 paveiksle pavaizduotų laiptų tik kreiviniai laiptai turi kintamo pločio pakopas. Dažnai vienbučių namų savininkai planuoja įrengti Π ir L formos laiptus papildant juos kintamo pločio pakopomis, taip sutaupant laiptų konstrukcijai skirtą plotą.

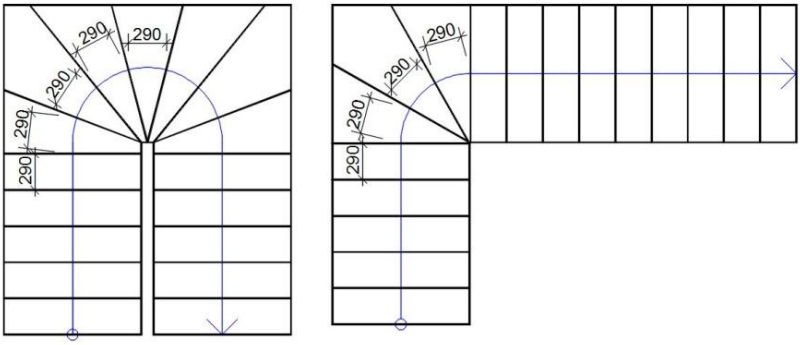
2.1.1. Grafiniai laiptų pakopų kūrimo metodai

Vienbučiuose pastatuose dažniausiai įrengiami Π formos laiptai, rečiau L formos ar tiesiniai vieno laiptatakio. Siekiant sumažinti laiptų erdvę, Π ir L formos laiptuose neįrengiamos tarpinės aikštelės. Tokiu atveju atsiranda kintamo pločio pakopos, nuo kurių dydžio priklauso saugus ir patogus lipimas laiptais. Tai nestandartinės pavienės nevienodo dydžio pakopos, kurioms pagaminti pirmiausia

turi būti atliktas tikslus brėžinys. Brėžiniai kuriami įvairiais grafiniais metodais, iš kurių 4 yra pagrindiniai (Савельев 2010)

1 metodas (1M) – laiptų žymėjimas pagal spindulį. Laiptų aikštelė padalijama pusiau arba į tris ar keturias dalis (L formos laiptuose) ir dvigubai daugiau dalių (П formos laiptuose) taip, kad eigos linijoje pakopos plotis nekistų (2.2 pav.). Jei žmogus, besileisdamas tokiais laiptais, nukryps nuo eigos linijos bent 100–150 mm link eigos linijos spindulio centro, gerokai padidės jo griuvimo tikimybė. Todėl kitais metodais siekiama platinti pakopas tose vietose, kur posūkyje sudaroma lipimo vertikalė, vadinamoji pakopų decentralizacija, ir sprendžiama ji kitais pakopų žymėjimo metodais.

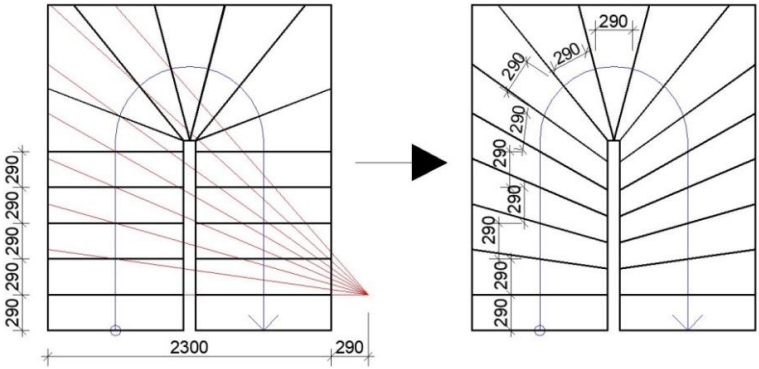
Laiptų įrengimo prasme tai pats technologiškiausias būdas, kadangi patys laiptatakiai išlieka tiesūs, vadinasi, juos pagaminti ir įrengti bus daug paprasčiau.



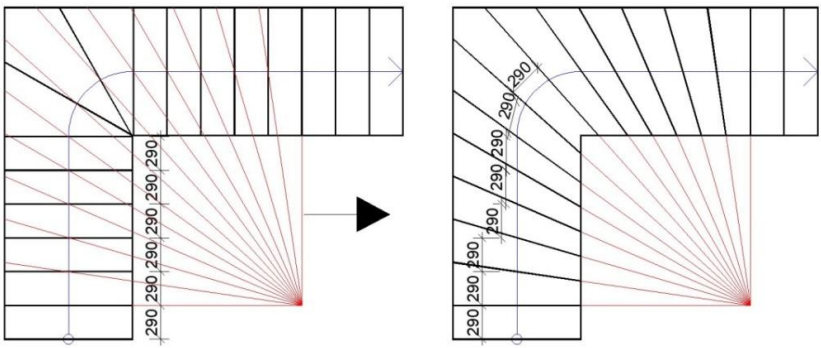
2.2 pav. П ir L laiptų pakopų žymėjimas pagal spindulį
Fig. 2.2. Stair-step marking according to the range in П and L-type stairs

2 metodas (2M) – laiptų žymėjimas pagal spindulį, atitraukus spindulio centrą. Žymint šiuo metodu, pirmiausia laiptų aikštelė padalinama pagal 1 metodą (laiptų žymėjimas pagal spindulį) (2.3 ir 2.4 pav.). Tada spindulio centro taškas atitraukiamas tam tikru atstumu (pvz., vienos pakopos dydžio) nuo eigos posūkio kampo (2.3 pav.). Pagalbinių linijų, brėžiamų iš centro taško iki sankirtos su eigos ir pakopas žyminčiomis linijomis bei pratęsiamų, dėka sužymimos pakopos. L formos laiptuose spindulio centro taškas atitraukiamas didesniu atstumu (4–6 pakopų dydžio) nuo eigos posūkio kampo (2.4 pav.). Iš atvaizdo atrodo, kad tikslas pasiektas ir kintamo pločio pakopos tapo patogesnės. Iš tikrųjų taip nėra, kaip atrodo, nes ne tik laiptų įrengimas bus sudėtingas, o ir lipti nebus patogu (šis argumentas pateikiamas toliau, 2.1 lentelėje). Dėl šių priežasčių pastarasis laiptų žymėjimo metodas nebuvo pasirinktas tarp alternatyvų, bet jis būtų nepakeičiamas įrengiant sraigtinius ir į juos panašius laiptus.

3 metodas (3M) – laiptų žymėjimas proporcijų metodu. Metodo esmė yra ta, kad ant posūkio (laiptatakių sankirtos su laiptų aikštele) įstrižainės ir pagalbinės linijos sankirtos pažymima viena pakopa, o tuomet proporcijų metodu (1:2:3:4:5) ant pagalbinės linijos atidedamos atkarpos, kuriomis gaunamos patogesnės kintamo pločio pakopos (2.5 pav.). Projektuojant laiptų pakopas šiuo metodu, jų bendras plotas kiek didėja, nes atstumas tarp laiptatakių turi būti ne mažesnis kaip ¼ laiptatakio pločio.



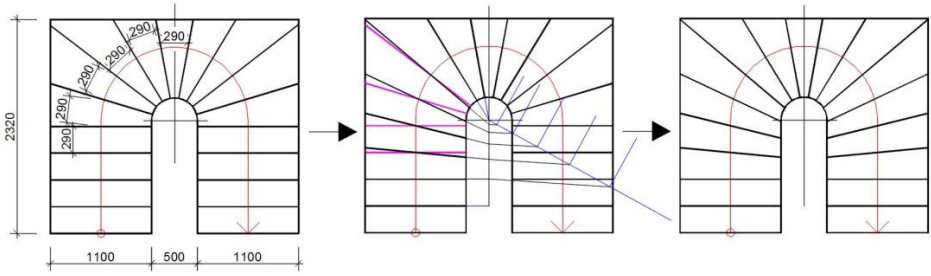
2.3 pav. П laiptų pakopų žymėjimas pagal spindulį (atitraukus spindulio centrą)
Fig. 2.3. Stair-step marking according to the range (indentation radius center) in П-type stairs



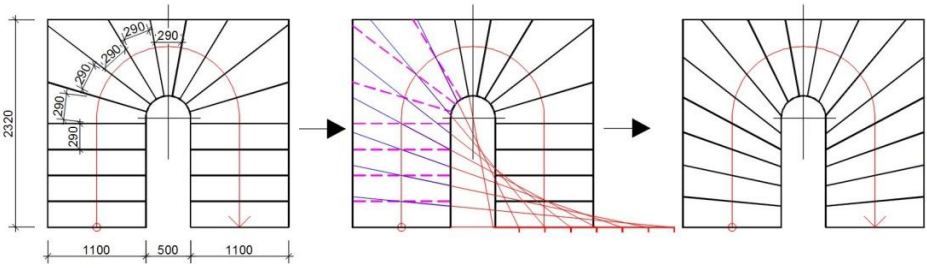
2.4 pav. L laiptų pakopų žymėjimas pagal spindulį (atitraukus spindulio centrą)
Fig. 2.4. Stair-step marking according to the range (indentation radius center) in L-type stairs

4 metodas (4M) – laiptų žymėjimas pagalbinių linijų metodu (2.6 pav.). Šis tikslus ir patogus metodas yra glaudžiai susijęs su braižomąja geometrija. Metodo esmė yra ta, kad iš pradžių sukuriamos dvi simetriškos pakopos, esančios

arčiausiai posūkio. Šių pakopų dydis siauriausioje vietoje turi būti ne mažesnis kaip 120 mm, o plačiausioje ne didesnis kaip 400 mm. Nuo linijos, vaizduojančios ribą tarp kintamo ir nekintamo pločio pakopų, brėžiamos pagalbinės statmenos linijos, iki jų pratęsiamos dvi pirmosios sukurtosios pakopos ir vidurinė įstrižainė. Pirmųjų pakopų plotis šiek tiek redaguojamas, kad ant pagalbinės linijos gautasis dydis būtų lygus nekintamo pločio pakopos dydžiui (290 arba 300 mm). Toliau ant pagalbinių linijų atidedant reikiamą dydį (290 arba 300 mm), sukuriamos kintamo pločio pakopos.



2.5 pav. Laiptų pakopų žymėjimas proporcijų metodu
Fig. 2.5. Stair-step marking according in the method of proportions



2.6 pav. Laiptų pakopų žymėjimas pagalbinių linijų metodu
Fig. 2.6. Stair-step marking according with auxiliary line method

Įvairiais grafiniais metodais sukurtos laiptų pakopos skirsis įrengimo technologijos sudėtingumu ir patogumu. Būtent patogumas šiame skyriuje tiriamas plačiau.

2.1.2. Empirinio laiptų pakopų konstravimo ypatumai

Judėjimo laiptais ergonomika nusakoma pagal įvairius aspektus: pakopų paviršiaus medžiagą, turėklų formą ir aukštį, apšvietimą, netgi laikančiųjų elementų konstrukciją ir, aišku, pakopų plotį ir aukštį. Paprastai žmogus laiptais lipa

statmenai pakopos darbinei briaunai. Kai visos pakopos yra tokio paties pločio, visu laiptų plotu lipama vienodai. Atsiradus kintamo pločio pakopoms, ne visas pakopos plotas yra tinkamas, t. y. patogus, lipti. Tuo tikslu skaičiuojamas tam tikras plotas, patogus žmogaus pėdai atremti. Šį patogų ploto dydį galima nustatyti empiriškai. Tokiu būdu bus gauta geometrinė figūra, kurią darbe siūloma vadinti „patogaus lipimo juosta“. Šios juostos horizontalioji projekcija randama taip:

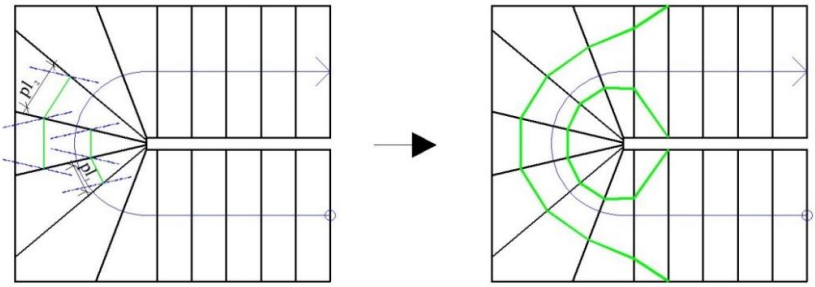
- pasirenkamos pagrįstos žmogaus žingsnio dydžio (S) ribos: $S_1 < S > S_2$;
- pritaikius Blondelio formulę, apskaičiuojamas sąlyginis vienos kintamo pločio pakopos patogus lipimo plotis dviejose laiptatakio pusėse (pl_1 ir pl_2):

$$S_1 - 2 \times h = pl_1, \tag{2.1}$$

$$S_2 - 2 \times h = pl_2, \tag{2.2}$$

čia h – pakopos aukštis;

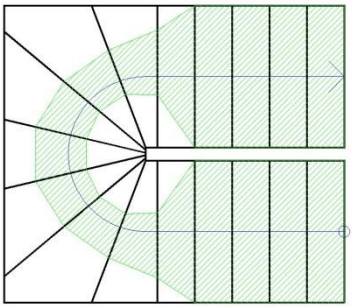
- laiptų planuose gautųjų sąlyginio pločio dydžiais (pl_1 ir pl_2) brėžiamos pagalbinės linijos, lygiagrečios darbinei briaunai (2.7 pav.);
- procedūra pakartojama visoms kintamo pločio pakopoms;
- gautieji taškai sujungiami laužtine linija. Gaunamas daugiakampis, kurio plotas yra patogus judant laiptais (2.8 pav.).



2.7 pav. Pagalbinių linijų, lygiagrečių darbinei briaunai, projekcijos
Fig. 2.7. Auxiliary lines parallel to the edge of the operating projection

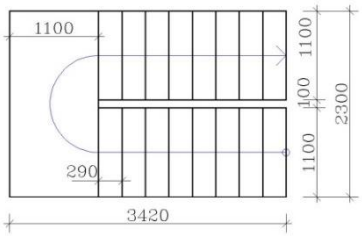
Kaip matyti 2.8 paveiksle kintamo pločio pakopų plotis nekinta tik laiptatakio plote šalia lipimo linijos. Kuo platesnė gautoji juosta ir kuo patogesniu atstumu ji yra nuo turėklų, tuo patogiau lipti laiptais. Todėl yra svarbu nustatyti kuriuo iš aprašytųjų metodų konstruojant laiptus lipimo juosta bus patogiausia. Tuo tikslu visais keturiais aprašytaisiais metodais buvo parengti dviejų skirtingų pakopų dydžių П laiptų (2.9 pav.) brėžiniai. Juose tarpinės aikštelės pakeistos

kintamo pločio pakopomis, grafiškai atvaizduota patogaus lipimo juosta (2.1 lentelė).

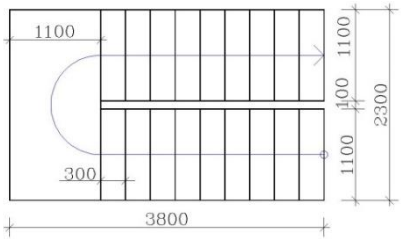


2.8 pav. Gautojo daugiakampio atvaizdas plane
Fig. 2.8. The resulting polygon image plan

a)



b)



2.9 pav. П laiptų grafiniai atvaizdai įrengiant juos su tarpinėmis aikštelėmis:
a) 290×170 mm pakopų dydžiai, b) 300×153 mm pakopų dydžiai
Fig. 2.9. П-shape stair graphics, by installing them with intermediate courts:
a) 290 x 170 mm sizes steps, b) 300 × 153 mm step size

Norint korektiškai palyginti, parinktos dviejų nevienodų dydžių pakopos, tinkamos susisiekti tarp dviejų vienodų lygių (kai aukšto aukštis 3060 mm):

18 vnt ×170 mm =3060 mm, čia pakopos plotis 290 mm, (2.3)

20 vnt × 153 mm =3060 mm, čia pakopos plotis 300 mm. (2.4)

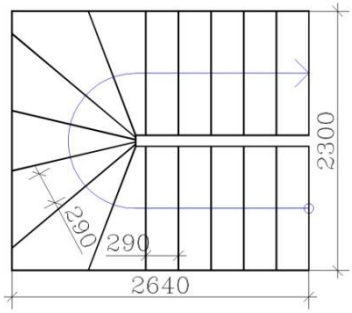
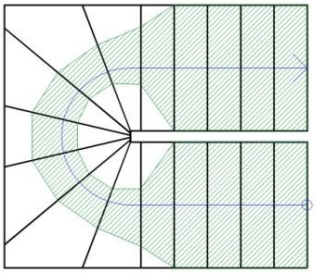
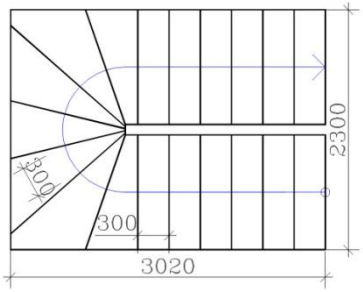
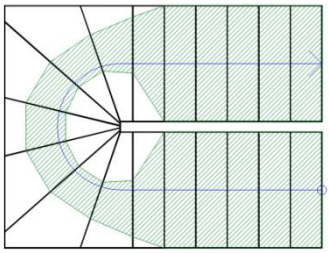
Šį pakopų dydžių parinkimą lėmė dažniausiai vienbučiuose namuose įrengiamų (290×170 mm) ir ergonomiškiausių (300×153 mm) (Neufert 2012) pakopų dydžiai. Aišku, kad laiptai, kurių pakopų aukštis 153 mm, nėra įrengiami, šis aukštis parinktas tik dėl korektiško palyginimo.

Priklausomai nuo pasirinkto grafinio metodo kinta ne tik patogaus lipimo juostos plotas, bet ir pastate laiptų užimama erdvė bei patogus lipimo juostos nuotolis nuo turėklų (2.1 lentelė).

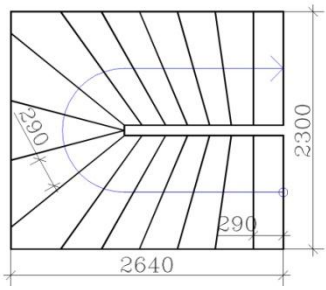
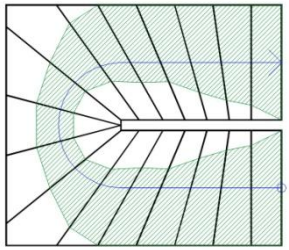
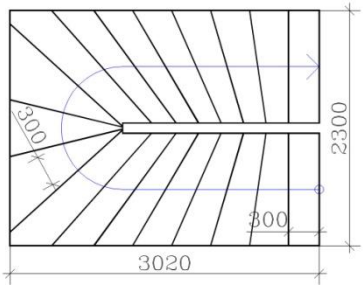
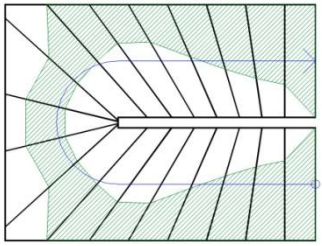
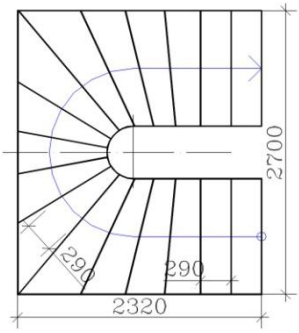
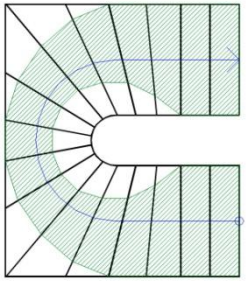
2.1.3. Laiptų pakopų duomenų, gautų skirtingais grafiniais metodais, palyginimas

Iš patogaus lipimo juostų grafinių atvaizdų (2.1 lentelė) matyti, kad patogus plotas ant kintamo pločio pakopų yra nevienodas: 1M ir 2M metodų siaurėja posūkiuose, 3M ir 4M metodų tolsta nuo vidinio laiptatakio krašto. Nustatant laiptų formų alternatyvoms laiptų konstravimo metodą, buvo atliktas П laiptų su kintamo pločio pakopų metodų palyginimas (2.2 lentelė).

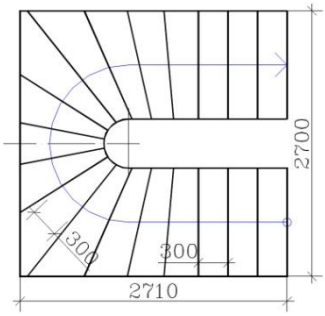
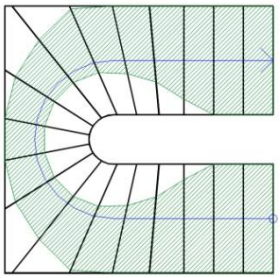
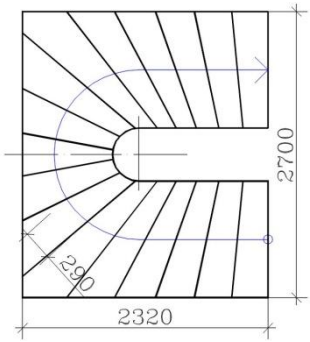
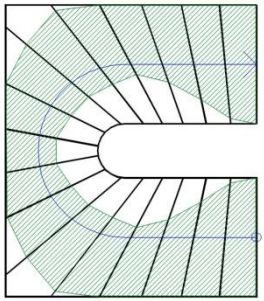
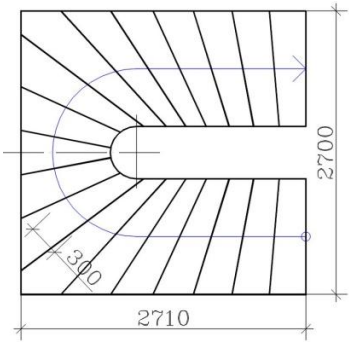
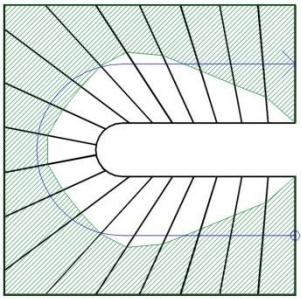
2.1 lentelė. П laiptų kintamo pločio pakopų konstravimas pagal pasirinktus metodus
Table 2.1. П form stair-step construction construction of varying width according to the selected method

Laiptų vaizdas pritaikius grafinį pakopų žymėjimo plane metodą	Patogaus lipimo juostos grafinis atvaizdas
1	2
1 metodas (1M). Laiptų žymėjimas pagal spindulį. Pakopų dydžiai 290×170 mm.	
	
1 metodas (1M). Laiptų žymėjimas pagal spindulį. Pakopų dydžiai 300×153 mm.	
	

2.1 lentelės tęsinys

1	2
2 metodas (2M). Laiptų žymėjimas pagal spindulį, atitraukus spindulio centrą. Pakopų dydžiai 290×170 mm.	
	
2 metodas (2M). Laiptų žymėjimas pagal spindulį, atitraukus spindulio centrą. Pakopų dydžiai 300×153 mm.	
	
3 metodas (3M). Laiptų žymėjimas proporcijų metodu. Pakopų dydžiai 290×170 mm.	
	

2.1 lentelės pabaiga

1	2
3 metodas (3M). Laiptų žymėjimas proporcijų metodu. Pakopų dydžiai 300×153 mm.	
	
4 metodas (4M). Laiptų žymėjimas pagalbinių linijų metodu. Pakopų dydžiai 290×170 mm.	
	
4 metodas (4M). Laiptų žymėjimas pagalbinių linijų metodu. Pakopų dydžiai 300×153 mm.	
	

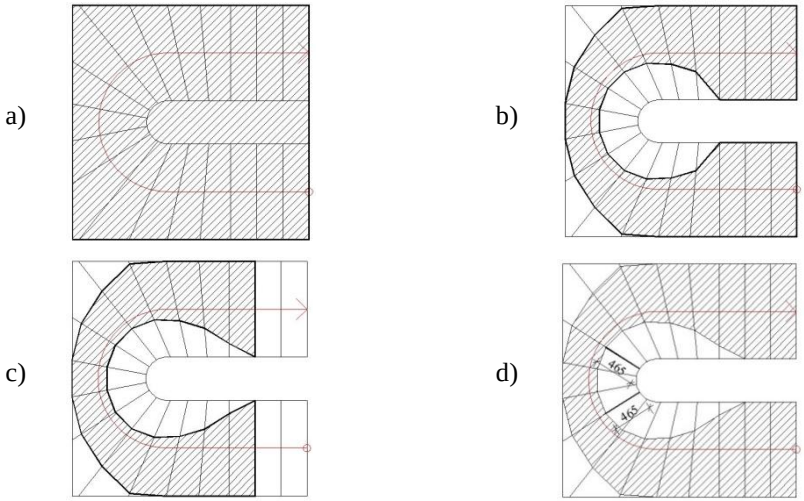
2.2 lentelė. Laiptų ir laiptų pakopų duomenys pagal įvairius grafinius metodus
Table 2.2. Steps and stairs according to different graphic data methods

Metodai 1M–4M	*LP*, m^2 (min)	*PBP*, m^2 (max)	*JP*, m^2 (max)	A_{max}, mm (min)
1M (290×170)	6,07	3,9	1,34	474
1M (300×153)	6,94	4,76	1,46	532
2M (290×170)	6,07	3,80	3,20	457
2M (300×153)	6,94	3,50	3,00	897
3M (290×170)	6,26	4,04	2,78	395
3M (300×153)	7,32	4,64	3,32	465
4M (290×170)	6,26	4,11	4,11	518
4M (300×153)	7,32	4,30	4,30	785

Palyginimui parinkti šie duomenys:
- laiptų bendras plotas (*LP*), m^2 (2.10 pav., a);
- patogių lipti pakopų bendras plotas (tai nekintamo pločio pakopų ir patogaus lipimo juostos plotas) (*PBP*), m^2 (2.10 pav., b);
- patogaus lipimo juostos plotas (*JP*), m^2 (2.10 pav., c);
- didžiausias atstumas nuo patogaus lipimo juostos krašto iki laiptatakio vidinio krašto (A_{max}), mm (2.10 pav. d).

Kaip matyti iš 2.2 lentelės duomenys yra skirtingų mato vienetų (m^2, mm) ir tarpusavyje nesuderinami (pvz., laiptų bendras plotas nesuderinamas su patogaus lipimo juostos plotu). Duomenys buvo normalizuoti (2.3 lentelė), šios procedūros metu matavimo vienetai pakeisti bedimensiais skaičiais.

Sukurta gautų duomenų grafinio atvaizdavimo schema (2.11 pav.). Palyginus gautuosius rezultatus matyti, kad laiptų bendras plotas (*LP*) pagal grafinius metodus keičiasi nežymiai. Vadinasi, ir bendram namo plotui didesnės įtakos nebus. Jei kasdien laiptais lipa trys ir daugiau gyventojų, didėja jų lipimo priešpriešiais vienu metu tikimybė. Tokiu atveju svarbiausias yra patogaus lipimo juostos pločio (*PBP*) kriterijus. Šio kriterijaus geriausi rezultatai pasiekiami įrengiant laiptus pagal 3 ir 4 metodą. Jei laiptais dažnai lipdamas asmuo turi patogiai pasiekti turėklus, labai svarbus tampa atstumo nuo turėklų iki patogaus lipimo juostos krašto kriterijus (A_{max}). Patogaus lipimo juostos plotas (*JP*) yra svarbus visais atvejais nepriklausomai nuo gyventojų skaičiaus ir amžiaus. Pastarieji trys kriterijai yra geriausi modeliuojant laiptus 3 ir 4 metodais. Kadangi 4 metodas yra sudėtingesnis ir modeliavimo prasme, ir technologiškai už 3, pastarasis pasirinktas alternatyvių laiptų formų tyrimui.

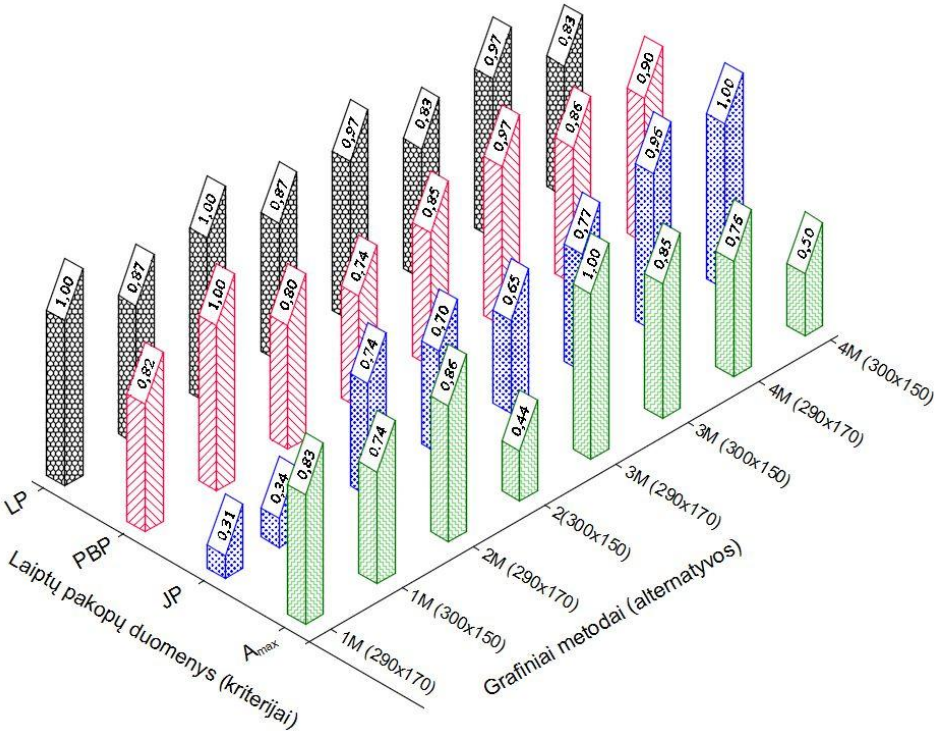


2.10 pav. Laiptų ir laiptų pakopų duomenys: a) laiptų bendras plotas (*LP*), m^2; b) patogių lipti pakopų bendras plotas (*PBP*), m^2; c) patogaus lipimo juostos plotas (*JP*), m^2; d) didžiausias atstumas nuo patogaus lipimo juostos krašto iki laiptatakio vidinio krašto (A_{max}), mm

Fig. 2.10. Steps and stairs data: a) the total area of the stairs (*LP*), m^2; b) comfortable climbing steps total area (*PBP*), m^2; c) comfortable climbing area (*JP*), m^2; d) the maximum distance from the comfort edge of the climbing zone to the inner edge of the staircase (A_{max}), mm

2.3 lentelė. Normalizuoti laiptų, sukurtų pagal įvairius grafinius metodus, duomenys
Table 2.3. Normalization of stairs according to the different graphical methods of data

Metodas	Pakopų dydžiai, mm	*LP* (max)	*PBP* (max)	*JP* (max)	A_{max} (max)
1M	290×170	1,00	0,82	0,31	0,83
	300×153	0,87	1,00	0,34	0,74
2M	290×170	1,00	0,80	0,74	0,86
	300×153	0,87	0,74	0,70	0,44
3M	290×170	0,97	0,85	0,65	1,00
	300×153	0,83	0,97	0,77	0,85
4M	290×170	0,97	0,86	0,96	0,76
	300×153	0,83	0,90	1,00	0,50



2.11 pav. Laiptų pakopų, sukurtų pagal įvairius grafinius metodus, duomenų vaizdas

Fig. 2.11. Stair treads according to the different methods of graphic data image

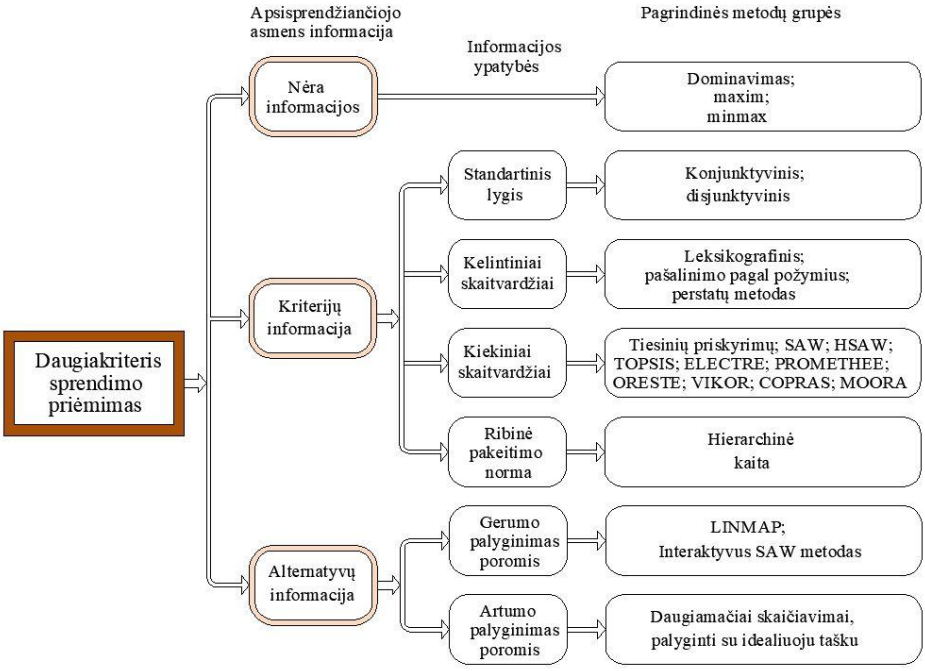
2.2. Pagrindiniai daugiakriterio sprendimo priėmimo metodai ir jų klasifikacija

Statybos procesą lemia įvairūs išoriniai veiksniai, kuriuos kiekybiškai įvertinti yra sudėtinga (Turskis *et al.* 2009). Tokiais atvejais mokslininkai rekomenduoja taikyti daugiakriterius analizės metodus. Jų pasirinkimas yra platus ir, kaip teigia daugiakriterės analizės pradininkas Lietuvoje VGTU prof. E. Zavadskas, nėra vieno tinkančio įvairiems tikslams (Zavadskas *et al.* 2006; Antucheviciene *et al.* 2011). Kadangi statybos pramonėje sprendžiami patys įvairiausi uždaviniai, tinkamų daugiakriterių sprendimo priėmimo metodų parinkimas yra aktualus.

Daugiakriteriai sprendimo priėmimo metodai (MCDM) skirstomi į dvi grupes: daugiatikslius (angl. *Multiple Objective Decision Making*, t. y. MODM) ir daugiarodiklius (angl. *Multiple Attribute Decision Making*, t. y. MADM) meto-

dus (Hwang, Yoon 1981; Zavadskas *et al.* 2014c; Xu 2015). MODM metodai taikomi sprendžiant problemą, apimančią daugelį tikslo funkcijų, kurios optimizuojamos vienu metu. MADM metodai taikomi kai iš konkretaus alternatyvų sąrašo reikia išrinkti geriausią alternatyvą (Zavadskas *et al.* 2006; Turskis 2008). Mokslinėje literatūroje MADM ir MCDM sąvokos dažnai yra sutapatinamos.

Daugiakriterės analizės sritis nėra iki galo išnagrinėta ir metodai klasifikuojami: pagal įvairias teorijas, priėmėjų skaičių, informacijos tipą ir prieinamumą, sprendimo priėmėjo turimą informaciją ir informacijos ypatybes, informaciją apie kriterijus (Hwang, Yoon 1981; Chen, Hwang 1992; Turskis 2009; Zavadskas, Turskis 2011) (2.12 pav.). Daugiakriterės analizės svarbą apibūdina pateikiama MCDM teorijų apžvalga ir taikomųjų programų raida, kuriami nauji hibridiniai daugiakriteriai sprendimo priėmimo modeliai (Mardani *et al.* 2017b; Liu *et al.* 2015).



2.12 pav. Daugiakriterių sprendimo priėmimo metodų klasifikacija (Turskis 2009)
Fig. 2.12. Decision support methods classification (Turskis 2009)

Praktiškai dažnai sprendžiami optimalaus sprendinio paieškos uždaviniai. Šiose paieškose paprastai yra vienas nuo kito nepriklausomi kriterijai. Daugiakriteriai optimizacijos uždaviniai aktualūs tais atvejais, kai yra keletas tikslų, kurie negali būti apibūdinti vienu kriterijumi. Taigi alternatyvos yra vertinamos

keliais kriterijais. Vertinimo kriterijai gali būti nesuderinami tarpusavyje ir turėti įvairius matavimo vienetus. Daugiakriterio vertinimo tikslas – nagrinėjamų objektų alternatyvų suskirstymas rangais (Ginevičius, Podvezko 2004, Simanavičienė 2011). Sprendimo priėmimą sudaro trys pagrindiniai etapai:

- alternatyvų sąrašo sudarymas,
- kriterijų, pagal kuriuos vertinamos alternatyvos, nustatymas,
- alternatyvų suskirstymas rangais (Zavadskas *et al.* 1998).

Pirmiausia sudaroma alternatyvų, vadinamųjų sprendimo variantais, aibė. Antruoju etapu sudaroma kriterijų, pagal kuriuos bus vertinamos alternatyvos, aibė. Kiekvienai alternatyvai nustatomos kriterijų reikšmės. Trečiuoju etapu analizuojami sprendimo variantai. Geriausio varianto parinkimas grindžiamas diferencijuotu variantų vertinimu naudojant antrojo etapo duomenis (Ustinovičius, Zavadskas 2004).

2.3. Kriterijų reikšmingumo nustatymas

Viena iš svarbiausių MCDM metodų sudedamųjų dalių yra tyrimuose vartojami kriterijų svoriai. Atskirų kriterijų, apibūdinančių tiriamojo objekto įtaką nagrinėjamam tikslui nevienoda, todėl svarbu nustatyti kriterijų reikšmingumą, t. y. svorius. Nuo vertinimo metodo ar vertintojų pasirinkimo priklauso kriterijų reikšmės ir jų tikslumas. Visais atvejais prasmė yra ta pati: svarbiausiam kriterijui nustatomas didžiausias svoris, tada apskaičiuoti svoriai normalizuojami, t. y.

$$\sum_{i=1}^{m} w_i = 1. \tag{2.5}$$

Svoriai būna subjektyvūs (vertinimo pagrindą sudaro specialistų ekspertų nuomonės), objektyvūs ir bendrieji (Hwang, Yoon 1981). Dauguma daugiakriterio vertinimo kriterijų svorių nustatymo metodų yra pagrįsti ekspertiniais vertinimais. Subjektyvų kriterijų svorių nustatymo pagrindą sudaro tiriamosios srities specialistų ekspertų vertinimas. Ekspertai yra įvairios kvalifikacijos, suinteresuotumo, darbo specifikos, stažo ir pan. Todėl ekspertų nuomonės gali sutapti, nesutapti, būti prieštaringos. Vadinasi, kriterijų vertinimo svarba ir prioritetas bus nevienodas. Kriterijų svorius, kaip bendruosius ekspertų nuomonių vidurkius, galima taikyti daugiakriteriniame vertinime, jei bus nustatytas ekspertų vertinimų neprieštaringumas. Vertinimų suderintumui nustatymui galima vartoti Kendallo konkordancijos koeficientą (Kendall 1955). Kriterijų svoriams nustatyti yra taikomi šie metodai: suskirstymo rangais, tiesioginis ir netiesioginis vertinimas, paprasčiausias porinis kriterijų palyginimas, AHP ir SWARA. Du pastarieji metodai yra taikomi disertacijos uždavinių kriterijų svorių reikšmingumui nustatyti.

2.3.1. Kriterijų svorių nustatymo AHP metodas

Analitinis hierarchijos procesas (AHP) yra populiariausias metodas, taikomas kriterijų reikšmingumui nustatyti. Saaty (1980) pasiūlyto analitinės hierarchijos proceso metodo pagrindas yra ekspertinės porinio kriterijų palyginimo matricos, kurias pildo ekspertai. Matricų pildymo principas: eilutėje esantis kriterijus lyginamas su stulpelyje esančiais kriterijais. Kriterijų svarba nustatoma pagal Saaty svarbos skalę (Saaty 1977) (A priedas, A.1 lentelė).

Taikant AHP metodą, atliekami šie veiksmai:

1) sudaroma porinio lyginimo matrica (vertinant kelių ekspertų nuomones, sudaroma vidutinė ekspertų atsakymų reikšmių porinio lyginimo matrica):

$$A=\left[c_{ij}\right]=\begin{array}{c}C_1\\C_2\\\vdots\\C_n\end{array}\begin{bmatrix}1 & c_{12} & \cdots & c_{1n}\\ 1/c_{12} & 1 & \cdots & c_{2n}\\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots\\ 1/c_{1n} & 1/c_{2n} & \cdots & 1\end{bmatrix}, \tag{2.6}$$

čia c_{ij} – eksperto parinkta *i*-ojo kriterijaus santykinė reikšmė iš Saaty svarbos skalės. Santykinė *j*-ojo kriterijaus reikšmė lyginant ją su c_{ij} reikšme apskaičiuojama: $c_{ji}=1/c_{ij}$.

2) porinio lyginimo matrica normalizuojama:

$$\overline{A}=\left[\overline{c}_{ij}\right]=\begin{bmatrix}c_{11}\Big/\sum_{i=1}^{n}c_{i1} & c_{12}\Big/\sum_{i=1}^{n}c_{i2} & \cdots & c_{1n}\Big/\sum_{i=1}^{n}c_{in}\\ c_{21}\Big/\sum_{i=1}^{n}c_{i1} & c_{22}\Big/\sum_{i=1}^{n}c_{i2} & \cdots & c_{2n}\Big/\sum_{i=1}^{n}c_{in}\\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots\\ c_{n1}\Big/\sum_{i=1}^{n}c_{i1} & c_{n2}\Big/\sum_{i=1}^{n}c_{i2} & \cdots & c_{nn}\Big/\sum_{i=1}^{n}c_{in}\end{bmatrix}; \tag{2.7}$$

3) skaičiuojami kriterijų svoriai:

$$W=\begin{bmatrix}w_1\\w_2\\\vdots\\w_n\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}w_1=\left(\prod_{j=1}^{n}\overline{c}_{1j}\right)\Big/\sum_{i=1}^{n}\left(\prod_{j=1}^{n}\overline{c}_{ij}\right)^{1/n}\\ w_2=\left(\prod_{j=1}^{n}\overline{c}_{1j}\right)\Big/\sum_{i=1}^{n}\left(\prod_{j=1}^{n}\overline{c}_{ij}\right)^{1/n}\\ \vdots\\ w_n=\left(\prod_{j=1}^{n}\overline{c}_{1j}\right)\Big/\sum_{i=1}^{n}\left(\prod_{j=1}^{n}\overline{c}_{ij}\right)^{1/n}\end{bmatrix}; \tag{2.8}$$

4) nustatoma didžiausia tikrinė (angl. *eigen*) vektoriaus reikšmė:

$$\lambda_{\max}=\sum_{j=1}^{n}c_{ij}w_j\ ; \tag{2.9}$$

5) nustatomas vertinimo nuoseklumo indeksas (*CI*):

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - 1}{n - 1}, \tag{2.10}$$

čia $n-1$ – įverčių laisvės laipsnis lygus kriterijų skaičiui minus 1.

6) nustatomas vertinimo nuoseklumo santykis (*CR*):

$$CR = \frac{CI}{RI}, \tag{2.11}$$

čia *RI* – iš lentelių nustatomas atsitiktinumo suderintumo indeksas (Saaty *et al.* 1991).

Jei apskaičiuota suderintumo koeficiento *CR* reikšmė yra mažesnė už 0,1 (10 procentų), ekspertų nuomonių suderintumas pakankamas ir porinis lyginimo sprendimas yra priimtinas.

2.3.2. Kriterijų svorių nustatymo SWARA metodas

Nuoseklus, laipsniškas kriterijų santykinės svarbos porinis lyginimas SWARA metodu buvo sukurtas 2008 m. (Kersuliene *et al.* 2010). Metodas yra naudojamas sprendžiant pačius įvairiausius uždavinius (Stanujkic *et al.* 2015; Nakhaei *et al.* 2016a). Metodas pagrįstas ekspertų vertinimu lyginant reikšmes poromis, kur kriterijų svoriai rodo, kiek kartų vienas kriterijus yra svarbesnis už kitą (Nakhaei *et al.* 2016b; Mardani *et al.* 2017a). Disertacijos uždavinio (vienbučių namų konstrukcinių elementų medžiagų parinkimo) svoriai yra nustatomi SWARA metodu šiais etapais:

1) atliekama ekspertų apklausa. Apklausoje dalyvaujantys ekspertai bendru sutarimu surikiuoja kriterijus pagal svarbą: svarbiausiam kriterijui priskiriamas pirmasis rangas, mažiau svarbiam – antrasis, dar mažiau svarbiam – trečiasis ir t. t.;
2) vertinami kriterijai. Kiekvienas ekspertas vienetiniais dydžiais nuo 0,00 iki 1,00 nurodo, kiek c_j kriterijus jam yra svarbesnis už c_{j+1} kriterijų. Visų ekspertizėje dalyvavusių ekspertų kriterijų santykinės lyginamosios svarbos vidutinės reikšmės nustatomos pagal formulę:

$$s_{j \leftrightarrow j+1} = \frac{\sum_{h=1}^{r} c_{j \leftrightarrow j+1}}{r}, \; j = \overline{1, n}; \tag{2.12}$$

3) kriterijų santykinės lyginamosios svarbos koeficientai k_j nustatomi pagal formulę:

$$k_j = s_{j \leftrightarrow j+1} + 1, \; j = \overline{1, n}, \tag{2.13}$$

čia pirmo rango kriterijui priskiriama vieneto reikšmė, t. y. $k_1 = 1$.

4) naujai suskaičiuojami tarpiniai kriterijų svoriai:

$$q_j = \frac{q_{j-1}}{k_j},\ j = \overline{1,n}, \tag{2.14}$$

čia pirmajam kriterijui priskiriama vieneto reikšmė: $w_1 = 1$.

5) nustatomi galutiniai kriterijų svoriai:

$$w_j = \frac{q_j}{\sum_{j=1}^{n} q_j},\ j = \overline{1,n}. \tag{2.15}$$

2.4. Daugiakriterio sprendimo priėmimo metodai

Sprendžiant disertacijoje suformuluotus uždavinius, pasirinkti daugiakriteriai vertinimo metodai, kuriuos taikant naudojama kiekybinė ir kokybinė kriterijų informacija.

Kadangi sprendžiami uždaviniai apima įvairius vienbučių namų projektavimo aspektus (garažo padėtis gyvenamojo namo atžvilgiu, konstrukcinių elementų medžiagų tvarumas ir laiptų formos), buvo pasirinkti įvairūs metodai, kurie leido įvairiai įvertinti iškeltus uždavinius. Du uždaviniai sprendžiami naudojant naujai sukurtus daugiakriterių vertinimo metodų plėtinius WASPAS-SVNS ir MULTIMOORA-SVNS, trečiasis – keliais dažnai naudojamais metodais. Pastarųjų aprašymas pateiktas B priede.

2.4.1. WASPAS-SVNS metodas

Svertinės agreguotos sumos WASPAS metodas buvo sukurtas dviejų gerai žinomų MCDM metodų pagrindu: WSM (angl. *Weighted Sum Model*) ir WPM (angl. *Weighted Product Model*) (Zavadskas *et al.* 2012b). Vėliau buvo pasiūlyti WASPAS metodo plėtiniai (Zavadskas *et al.* 2014a; Chakraborty *et al.* 2015; Turskis *et al.* 2015). Kitas sukurtas WASPAS plėtinio tęsinys nagrinėja neutrosofinių aibių duomenų pradinio modelio neapibrėžtumo pateikimui aprašyti (Zavadskas *et al.* 2015a). Nagrinėjamam uždaviniui (garažo padėties gyvenamojo namo atžvilgiu parinkimui) spręsti sukurtas naujas metodo plėtinys ir pavadintas WASPAS-SVNS.

Pateikiamas trumpas neutrosofinių aibių, kurių koncepcijų filosofinius aspektus pasiūlė Smarandache (1999), apibrėžimų aprašas.

1 apibrėžimas. Tegu X yra objektų aibė ir elementai priklauso šiai aibei $x \in X$. Tokiu atveju neutrosofinė aibė A, esanti X aibėje, yra išreiškiama trimis funkcijomis:

– tiesos funkcija $T_A(x)$,

– neapibrėžtumo funkcija $I_A(x)$,
– melo funkcija $F_A(x)$.

Visos šios trys funkcijos yra apibrėžtos realiame standartiniame arba nestandartiniame intervale $\left]0^-,1^+\right[$: $T_A(x): X \to \left]0^-,1^+\right[I_A(x): X \to \left]0^-,1^+\right[$ ir $F_A(x): X \to \left]0^-,1^+\right[$. Šių trijų funkcijų $T_A(x)$, $I_A(x)$ ir $F_A(x)$ sumai nėra jokių apribojimų ir jų viršutinės ribos yra: nuo 0^- iki 3^+ : $0^- \le \sup T_A(x) + \sup I_A(x) + \sup F_A(x) \le 3^+$.

2 apibrėžimas. Vienareikšmės neutrosofinės aibės buvo apibrėžtos ir pateiktos moksliniame darbe (Wang *et al.* 2010). Tegu X būna objektų aibė ir elementai priklauso šiai aibei $x \in X$. Tada vienareikšmė neutrosofinė aibė (SVNS) $\tilde{N} \subset X$ gali būti išreikšta formule:

$$\tilde{N} = \left\{ \left\langle x, T_{\tilde{N}}(x), I_{\tilde{N}}(x), F_{\tilde{N}}(x) \right\rangle : x \in X \right\}, \tag{2.16}$$

čia aprašomos funkcijos intervalas: nuo 0 iki 1: $T_{\tilde{N}}(x): X \to [0,1]$, $I_{\tilde{N}}(x): X \to [0,1]$ ir $F_{\tilde{N}}(x): X \to [0,1]$ kartu su $0 \le T_{\tilde{N}}(x) + I_{\tilde{N}}(x) + F_{\tilde{N}}(x) \le 3$ priklauso $x \in X$. Šios trys reikšmės atitinka tiesos, neapibrėžtumo ir melo neutrosofinio skaičiaus funkcijas. Kadangi X aibė atskiru atveju turi vieną elementą, tai $\tilde{N}$ yra vadinama vienareikšmiu neutrosofiniu skaičiumi (Peng *et al.* 2014). Paprastumo dėlei šis skaičius yra išreiškiamas: $\tilde{N}_A = (t_A, i_A, f_A)$, čia $t_A, i_A, f_A \in [0,1]$ ir $0 \le t_A + i_A + f_A \le 3$.

3 apibrėžimas. Jei $\tilde{N}_1 = (t_1, i_1, f_1)$ ir $\tilde{N}_2 = (t_2, i_2, f_2)$ yra du vienareikšmiai neutrosofiniai (SVNN) skaičiai, tai $\tilde{N}_1$ ir $\tilde{N}_2$ suma gali būti išreikšta formule:

$$\tilde{N}_1 \oplus \tilde{N}_2 = (t_1 + t_2 - t_1 t_2, i_1 i_2, f_1 f_2). \tag{2.17}$$

4 apibrėžimas. Jei $\tilde{N}_1 = (t_1, i_1, f_1)$ ir $\tilde{N}_2 = (t_2, i_2, f_2)$ yra du vienareikšmiai neutrosofiniai skaičiai, tai jų sandauga yra išreiškiama formule:

$$\tilde{N}_1 \otimes \tilde{N}_2 = (t_1 t_2, i_1 + i_2 - i_1 i_2, f_1 + f_2 - f_1 f_2). \tag{2.18}$$

5 apibrėžimas. Jei $\tilde{N}_1 = (t_1, i_1, f_1)$ yra vienareikšmis neutrosofinis skaičius ir $\lambda \in \Re$ yra realusis sveikasis skaičius, tai skaliaro sandauga su neutrosofiniu skaičiumi yra išreiškiama formule:

$$\lambda \tilde{N}_1 = \left(1 - (1 - t_1)^\lambda, i_1^\lambda, f_1^\lambda\right), \lambda > 0. \tag{2.19}$$

6 apibrėžimas. Jei $\tilde{N}_1 = (t_1, i_1, f_1)$ yra vienareikšmis neutrosofinis skaičius ir $\lambda \in \Re$ yra realusis sveikasis skaičius, tai skaliaro sandauga su neutrosofiniu skaičiumi gali būti išreikšta formule:

$$\tilde{N}_1^{\lambda} = \left(t_1^{\lambda}, 1-(1-i_1)^{\lambda}, 1-(1-f_1)^{\lambda}\right), \lambda > 0. \tag{2.20}$$

7 apibrėžimas. Jei $\tilde{N}_1 = (t_1, i_1, f_1)$ yra vienareikšmis neutrosofinis skaičius, jo papildinys bus išreikštas formule:

$$\tilde{N}_1^c = (f_1, 1-i_1, t_1). \tag{2.21}$$

8 apibrėžimas. Jei $\tilde{N}_1 = (t_1, i_1, f_1)$ yra vienareikšmis neutrosofinis skaičius, tai verčiant $\tilde{N}_A$ į realųjį skaičių $S(\tilde{N}_A)$, taikoma formulė:

$$S(\tilde{N}_A) = \frac{3 + t_A - 2i_A - f_A}{4}, \tag{2.22}$$

čia $S(\tilde{N}_A) \in [0,1]$.

9 apibrėžimas. Tegu $\tilde{N}_1$ ir $\tilde{N}_2$ yra du vienareikšmiai neutrosofiniai skaičiai. Priklausomai nuo to, kuri vertės funkcija yra mažesnė $S(\tilde{N}_1) < S(\tilde{N}_2)$, skaičius $\tilde{N}_1$ yra atitinkamai mažesnis $\tilde{N}_2, \tilde{N}_1 < \tilde{N}_2$.

2.4.2. MULTIMOORA-SVNS metodas

Daugiatikslį optimizacijos santykių analizės pagrindu pagrįstą metodą MOORA (angl. *Multi-Objective Optimization by ratio Analysis, MOORA*) pasiūlė Brauers ir Zavadskas (2006). Minėti autoriai patobulino metodą – sukurtas MULTIMOORA metodas (Brauers, Zavadskas 2010). Nagrinėjamam uždaviniui (vienbučių namų pagrindinių konstrukcinių elementų ir medžiagų parinkimui) spręsti sukurtas naujas metodo plėtinys ir pavadintas MULTIMOORA -SVNS.

Pirmiausia yra sudaroma sprendimo priėmimo matrica:

$$\bar{X} = \begin{bmatrix} \bar{x}_{11} & \cdots & \bar{x}_{1j} & \cdots & \bar{x}_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \bar{x}_{i1} & \cdots & \bar{x}_{ij} & \cdots & \bar{x}_{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \bar{x}_{m1} & \cdots & \bar{x}_{mj} & \cdots & \bar{x}_{mn} \end{bmatrix}. \tag{2.23}$$

Sudarytoji matrica yra normalizuojama:

$$X^* = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} x_{ij}^2}}. \tag{2.24}$$

Normalizuota matrica paverčiama neutrosofiniais skaičiais (C priedas, C.1 lentelė).

MULTIMOORA metode sprendimas priimamas pagal tris naudingumo funkcijas. Pirmoji naudingumo funkcija taikant neutrosofonių skaičių algebrą yra ši:

$$Q_j = \sum_{i=1}^{g} w_i \left(x_n^*\right)_{ij} + \left(\sum_{i=g+1}^{n} w_i \left(\bar{x}_n^*\right)_{ij} \right)^c, \tag{2.25}$$

čia g elementas yra maksimizuojamų kriterijų skaičius, o $n-g$ – minimizuojamų kriterijų skaičius. Šiuo atveju vienareikšmiai neutrosofiniai skaičiai turi tą pačią formą (Peng *et al.* 2014):

$$\left(x_n^*\right)_1 = \left(t_{n1}, i_{n1}, f_{n1}\right). \tag{2.26}$$

Neutrosofinis skaičius dauginamas iš skaliaro:

$$\lambda\left(x_n^*\right)_1 = \left(1-\left(1-t_{n1}\right)^{\lambda}, \left(i_{n1}\right)^{\lambda}, \left(f_{n1}\right)^{\lambda}\right). \tag{2.27}$$

Neutrosofiniai skaičiai vertinami pagal formules:

$$\left(x_n^*\right)_1 \oplus \left(x_n^*\right)_2 = \left(t_{n1}+t_{n2}-t_{n1}\cdot t_{n2}, i_{n1}\cdot i_{n2}, f_{n1}\cdot f_{n2}\right), \tag{2.28}$$

$$\left(x_{n1}^*\right)^c = \left(f_{n1}, 1-i_{n1}, t_{n1}\right). \tag{2.29}$$

Kitu etapu nustatomas antrasis kriterijus pagal Čebyševo (rus. *Чебышев*, angl. *Tchebycheff*) normas:

$$\min_j \left(\max_i \left| D\left(r_i - w_i\left(x_n^*\right)_{ij}\right) \right| \right). \tag{2.30}$$

Nustatomi geriausi sprendiniai, kai kriterijus maksimizuojamas ir minimizuojamas:

$$r_i = \max_j \left(w_i \left(x_n^*\right)_{ij}\right), \tag{2.31}$$

$$r_i = \min_j \left(w_i \left(x_n^*\right)_{ij}\right). \tag{2.32}$$

Neutrosofiniai skaičiai palyginami taikant formulę:

$$S\left(\left(x_n^*\right)_1\right) = \frac{3+t_{n1}-2i_{n1}-f_{n1}}{4}. \tag{2.33}$$

Todėl šiuo atveju:

$$S\left(\left(x_n^*\right)_1\right) \langle S\left(\left(x_n^*\right)_2\right), \tag{2.34}$$

$$\left(x_n^*\right)_1 \langle \left(x_n^*\right)_2. \tag{2.35}$$

Skaičiuojami atstumai tarp vienareikšmių neutrosofinių skaičių ir palyginami:

$$D\left(\left(x_n^*\right)_1, \left(x_n^*\right)_2\right) = \sqrt{\frac{1}{3}\left(\left(t_{n1}-t_{n2}\right)^2 + \left(i_{n1}-i_{n2}\right)^2 + \left(f_{n1}-f_{n2}\right)^2\right)}. \tag{2.36}$$

Toliau nustatomas trečiasis kriterijus:

$$U_j = \frac{S(A_j)}{S(B_j)}. \tag{2.37}$$

Skaičiuojami kriterijų A_j ir B_j komponentai:

$$A_j = \prod_{i=1}^{g} w_i\left(x_n^*\right)_{ij},\ B_j = \prod_{j=g+1}^{n} w_i\left(x_n^*\right)_{ij}. \tag{2.38}$$

Tada visi kriterijai yra sujungiami, taikant dominavimo teoriją (Brauers, Zavadskas 2011).

Pateikiama kriterijų sandaugos formulė:

$$\left(x_n^*\right)_1 \otimes \left(x_n^*\right)_2 = \left(t_{n1} \cdot t_{n2},\ i_{n1} + i_{n2} - i_{n1} \cdot i_{n2},\ f_{n1} + f_{n2} - f_{n1} \cdot f_{n2}\right). \tag{2.39}$$

MULTIMOORA metodo plėtiniai yra skirti sudėtingų problemų sprendimui (Brauers *et al.* 2011; Balezentis, Zeng 2013; Balezentis *et al.* 2014).

2.5. Antrojo skyriaus išvados

1. Išanalizavus keturis pagrindinius grafinius laiptų pakopų formų kūrimo metodus (1M – laiptų žymėjimas pagal spindulį, 2M – laiptų žymėjimas pagal spindulį, atitraukus spindulio centrą, 3M – laiptų žymėjimas proporcijų metodu, 4M – laiptų žymėjimas pagalbinių linijų metodus), nustatyta, kad įrengimo technologijos sudėtingumui ir lipimo patogumui nustatyti reikia atlikti grafinių laiptų pakopų kūrimo metodų palyginimą.

2. Laiptų pakopų brėžiniai yra kuriami įvairiais grafiniais metodais. Nustatyta, kad tarp jų yra 4 pagrindiniai. Atliekant laiptų konstravimo metodų analizę, metodai buvo vertinami pagal keturis kriterijus: laiptų užimamą plotą, patogių lipti pakopų bendrą plotą, patogaus lipimo juostos plotą ir didžiausią atstumą nuo lipimo juostos krašto iki laiptatakio vidinio krašto. Lyginant pagal nustatytus metodus lipimo laiptais kriterijus, tolesniam alternatyvių laiptų formų tyrimui parinktas laiptų žymėjimas proporcijų metodu (3M).

3. Daugiakriteriai sprendimo priėmimo metodai turi privalumų ir trūkumų bei priklauso nuo nagrinėjamos problemos pobūdžio, turimos informacijos ir rezultatų gavimo tipo. Sudėtingus uždavinius yra tikslinga spręsti taikant daugiakriterius sprendimo metodus, visapusiškai analizuojančius konkrečią sprendžiamą problemą. Kadangi disertacijoje nagrinėjami įvairūs uždaviniai, palyginus metodus, buvo nuspręsta pritaikyti šiuos daugiakriterius sprendimo metodus:

WASPAS-SVNS – garažo padėties vienbučio namo atžvilgiu parinkimui, MULTIMOORA-SVNS – vienbučio namo konstrukcinių elementų ir medžiagų parinkimui, daugiakriterio vertinimo metodų (EDAS, SAW, MEW, TOPSIS, ARAS, Bayes, FM) derinį – laiptų formos parinkimui.

3

Kompleksinis vienbučių namų erdvių, konstrukcinių elementų medžiagų ir formų vertinimas

Trečiajame skyriuje pateikiami trijų uždavinių, susijusių su vienbučių namų tvarumo principais, sprendimai. Pirmajame uždavinyje siūloma racionaliausia garažo padėtis gyvenamojo namo atžvilgiu. Antrasis uždavinys susijęs su pastato medžiagų ir konstrukcinių elementų parinkimu: pagal normas atliktas kompleksinis vienbučių namų konstrukcinių elementų ir medžiagų tvarumo vertinimas. Trečiajame uždavinyje vertinamas laiptų formų, pritaikytų vienbučiam namui, saugumas ir ergonomiškumas.

Uždavinių vertinimas atliktas atsižvelgus į ekspertų grupių nuomones. Atliktas tyrimas pagrįstas ekspertiniu vertinimu. Kriterijams ir jų svoriams nustatyti buvo pakviesti nepriklausomi ekspertai, tiesiogiai susiję su namų projektavimu: 5 architektai, 4 konstruktoriai ir 1 dizaineris. Be to buvo apklausti devyni būsimi vienbučių namų savininkai.

Skyriaus tematika kartu su bendraautoriais paskelbti penki moksliniai straipsniai (Baušys, Juodagalvienė 2017; Turskis, Juodagalvienė 2016; Zavadskas *et al.* 2017; Juodagalvienė, Garnytė-Sapranavičienė 2016; Turskis, Juodagalvienė 2015), skaityti pranešimai respublikinėje „Inžinerinė ir kompiuterinė grafika“ konferencijoje 2016 m. ir tarptautinėje BALTGRAF-13 konferencijoje.

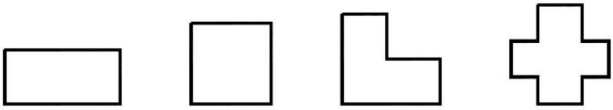
3.1. Garažo padėties šalia vienbučio namo parinkimas ir ekspertinis vertinimas

Žvelgiant iš tvarios statybos pozicijų, visi trys tvarumo principai (aplinkosaugos, ekonominiai ir socialiniai) (1.2 skirsnis) yra taikytini ir individualiuose sklypuose statomiems statiniams. Sklypo funkcinių erdvių parinkimas lemia ne tik kokybišką žmogaus gyvenimą, bet ir siejasi su urbanistinių projektavimo tendencijų pokyčiais bei žmonių noru turėti glaudesnį ryšį su natūralia gamtine aplinka. Todėl projektuojant vienbutį namą, funkcinių erdvių parinkimas yra svarbus ne tik gyvenamojoje erdvėje, bet ir sklype. Numatant statinių padėtį, dažnai tenka ieškoti kompromisų tarp pageidaujamo funkcinio ryšio ir kontekstualumo ar estetikos. Planuojant statinių padėtį sklype, pravartu įvertinti pagrindinius siūlomus kriterijus ir atsižvelgti į ekspertų nuomonę.

Pagrindinis 3.1 skirsnio tikslas – išnagrinėti tyrime dalyvavusių įvairių ekspertų garažo padėties gyvenamojo namo atžvilgiu vertinimo tendencijas ir suderinamumą.

3.1.1. Garažo padėties parinkimo pagrindimas

Disertacijoje pasirinktuose stačiakampio formos sklypuose tradiciškai projektuojami ir statomi tam tikrų geometrinių formų kartotinių projektų namai: stačiakampio, kvadrato, L ir kryžiaus formos (3.1 pav.). Projektuojamas garažas gali būti įrengiama iš frontoninių ar fasadinių namo pusių, integruota į namo formą (erdvę) ir stovinti atskirai.

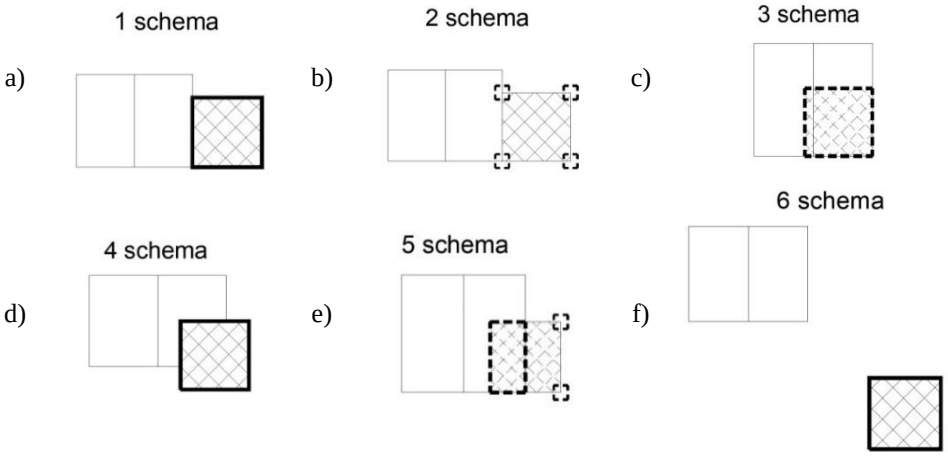


3.1 pav. Vienbučių namų pagrindinės formos
Fig. 3.1. Basic shapes of single-family houses

Prieš sprendžiant garažo racionaliausios padėties parinkimo uždavinį, buvo atlikta Lietuvos architektų pateiktų kartotinių vienbučių namų, kurių bendras plotas nuo 80 iki 300 m^2, projektų apžvalga. Peržvelgus 303 projektus, sukurtus pastaraisiais metais, buvo nustatytos bendros garažo įrengimo tendencijos Lietuvoje (Namų planai, Namų projektai, Individualių namų projektai). Mažiausio bendro ploto namų projektuose (tai taip vadinamieji *mažieji namai*) garažai neprojektuojami arba numatoma stoginė. Pagal statybos techninius reglamentus vienbučių namų statybos bendro ploto samprata apima ir garažo plotą (STR 2.02.09:2005). Įrengiant stoginę, garažo užimamas plotas neįskaičiuojamas į

bendrą plotą. Todėl dažniausiai mažo gyvenamojo ploto vienbučiuose namuose numatoma stoginė arba tiesiog automobilio stovėjimo vieta.

Įvertinus garažo padėtį kartotinių namų projektuose ir atsižvelgus į ekspertų rekomendacijas, parinktos šešios padėtys gyvenamojo namo atžvilgiu (3.2 pav.). Penkiose iš jų garažas ir gyvenamasis namas yra projektuojami kaip vienas statinys. Visos šios padėtys gali būti pritaikytos stačiakampio, kvadrato, L ir kryžiaus formų (3.1 pav.) pastatams. Parinktose alternatyvose garažo užimamas plotas yra 49 m^2, t. y. projektuojamas dvivietis garažas. Ekspertų bendru sprendimu visais atvejais pasirinktas nešiltinamo garažo variantas dėl Europos Parlamento ir Tarybos direktyvų nutarimų paisymo (EUR-Lex 2010).



3.2 pav. Garažo padėties namo atžvilgiu schemos: a) šalia fasadinės namo sienos; b) stoginės tipo šalia fasadinės namo sienos; c) pilnai integruotas į namo erdvę; d) dalinai integruotas į namo erdvę; e) kaip dvi erdvės: uždara ir atvira; f) kaip yra atskiras statinys

Fig. 3.2. Schemes of garage position in relation to the house: a) near the main facade side of the house; b) open shelter near the main facade side of the house; c) fully integrated into the house space; d) partially integrated into the house's space; e) is divide into two spaces: closed and open; f) as is a separate building

3.1.2. Garažo padėties parinkimo metodika ir kriterijai

Ekspertų nuomonių tyrimas atliktas naudojant AHP metodą, plačiai taikomą įvairiems uždaviniams spręsti (Książek *et al.* 2014; Si *et al.* 2016). AHP metodo aprašas pateiktas disertacijos 2.3.1 skirsnyje.

Sklypo erdvių parinkimo ekspertiniame vertinime dalyvavo 7 iš 10 pakviestųjų ekspertų: 5 architektai ir 2 konstruktoriai bei 2 būsimi vienbučių namų savi-

ninkai. Bendru ekspertų ir klientų sutarimu buvo atrinkti 4 svarbiausi kriterijai, aktualiausi parenkant garažo padėtį įprastos stačiakampio formos sklype.

Ekspertai vertino šiuos kriterijus:

- c_1 – pamatų ilgis, m
- c_2 – vidinis funkcinis ryšys, balai
- c_3 – kontekstualumas, balai
- c_4 – estetika ir kt., balai.

Pamatų ilgio kriterijus (c_1) parinktas dėl žemės darbų apimties ir visuminės pamatų konstrukcijos (po gyvenamuoju namu ir po garažu) kainos aktualumo. Kai garažas projektuojamas šalia vieno iš gyvenamojo namo fasadų, jo pamatų ilgis sumažėja apytiksliai ketvirčiu, o integravus garažą į namo erdvę – net trimis ketvirčiais. Abiem atvejais žemės darbų įkainiai mažėja dėl vienos pamatų daubos kasimo bei reikalingos technikos panaudojimo. Pasirenkant stoginę pavienių pamatų įrengimas po atramomis nejungiamas prie namo pamatų. Vidinis funkcinis ryšys (c_2) nusako vienbučio namo erdvių naudojimo komfortą ir atitikimą naudotojų poreikiams. Kontekstualumas (c_3) apibrėžiamas sklypo statinių zonavimo galimybių, priklausančių nuo sklypo orientacijos pasaulio šalių atžvilgiu, prognoze. Paskutinis kriterijus (c_4) apima estetiką ir kitus iš dalies svarbius, ekspertuojančiųjų nuomone, aspektus: gyvenamųjų patalpų šiltinimą dėl nešildomo garažo, pačio garažo šiltinimo galimybės efektyvumo vertinimą, kitų medžiagų (sienų ir stogo konstrukcijų) įrengimo sąnaudas.

Atlikus ekspertų apklausą, AHP metodas pritaikytas ekspertų apklausai apdoroti ir kriterijų reikšmingumui nustatyti (3.1 lentelė).

3.1 lentelė. Kriterijų porinis palyginimas
Table 3.1. Pairwise comparison of criteria

Kriterijai	c_1	c_2	c_3	c_4
c_1	1,00	0,20	0,25	0,33
c_2	5,00	1,00	2,00	3,00
c_3	4,00	0,50	1,00	2,00
c_4	3,00	0,33	0,50	1,00
Kriterijų svoriai	q_1	q_2	q_3	q_4
	0,07	0,44	0,30	0,19
CI/RI	0,02			

Pateiktose anketose ekspertai palygino aptartus kriterijus poromis, pažymėdami kuris kriterijus ir kiek kartų yra svarbesnis už kitą. Svarba išreiškiama nuo 1 iki 5 intervalu, čia 1 – vienodai svarbūs kriterijai, 2, 3, 4, 5 – kiek atitinkamai kartų kriterijaus svarba yra didesnė už kitą. Apklausos pagrindu sudaryta vidutinė ekspertų atsakymų reikšmių porinio lyginimo matrica. Palyginus kriterijus (3.1 lentelė) bei AHP metode numatytus skaičiavimus (2.6–2.11 formulės), randamas suderintumo koeficientas *CR* (3.1 lentelė).

3.1.3. Garažo alternatyvių padėčių ekspertinio vertinimo rezultatai

Derindami nuomones, ekspertai aptarė galimus visų 6 garažų alternatyvių padėčių schemų (3.2 pav.) privalumus ir trūkumus.

1 schema. Garažas projektuojamas šalia fasadinės namo sienos (3.3 pav.).

3.3 pav. Garažas šalia fasadinės namo sienos
Fig. 3.3. Garage near the main facade side of the house

Šiuo atveju abiejų statinių pamatų ir laikančiųjų sienų įrengimas yra glaudžiai susijęs: žemės darbų apimtis ir pačių pamatų kaina kiek mažėja, nes viena garažo siena sutapatinta su gyvenamojo namo siena. Jei gyvenamoji erdvė numatoma tik viename aukšte, abiejų statinių stogai gali būti projektuojami kaip vientisas stogas. Tokiu atveju yra sutaupoma dalis medžiagų ir darbo sąnaudų stogui įrengti. Pagal šią schemą architektų siūlomuose kartotiniuose projektuose dauguma yra dviejų aukštų namai (vieno aukšto yra 1/3 pastatų). Dviejų aukštų gyvenamojo namo stogo medžiagos bei darbo sąnaudos nėra sutaupomos. Jei name nėra rūsio, paprastai tarp garažo ir gyvenamųjų patalpų įrengiama katilinė ar kitos pagalbinės patalpos – taip taupant šilumą, prarandamą dėl nešildomo garažo. Vidinis ryšys su gyvenamosiomis patalpomis projektuojamas pagalbinių patalpų erdvėje. Priklausomai nuo namo plano (geometrinio kontūro), galimas papildomas patekimas į garažą iš kiemo (3.3 pav.). Peržiūrėtuose namų projektuose daugeliu atvejų numatytos trys patekimo į garažą galimybės (funkcinio ryšio kriterijus): įvažiavimo vartai, susisiekimas iš holo ir iš kiemo. Jei garažas įrengiama šiaurinėje sklypo pusėje (net jei tai įmanoma pagal sklypo vietą pa-

saulio šalių atžvilgiu), namo patalpų ir kiemo zonavimo variantų nebus daug. Suderinus namo fasado ir stogo dangos apdailas, galima gauti norimą statinio vientisumą. Iš peržvelgtų 303 kartotinių vienbučių namų projektų pagal šią schemą įrengiama 26 % garažų.

2 schema. Garažas projektuojama stoginės tipo. Schema ta pati kaip ir pirmoji, tik nėra įrengiama sienų (3.4 pav.).

3.4 pav. Stoginė šalia fasadinės namo sienos
Fig. 3.4. Open shelter near the facade side of the house

Įrengiant stoginę atveju žemės darbų apimtis mažiausia, nes po dviem kolonomis įrengti tereikia pavienius pamatus, vadinasi, ir pamatų kaina bus mažiausia. Susisiekimas su gyvenamosiomis patalpomis išorinis, bet dažniausiai su atitvara (stogu) iš viršaus. Jei stoginė projektuojama iš namo frontono pusės (3.4 pav.), stogas, priklausomai nuo architektūrinio sprendimo, gali būti įrengiamas kaip gyvenamojo namo stogo tąsa. Jei sklypo užstatymo tankis yra aktualus konkrečiu atveju, tai stoginės parinkimas išsprendžia bendro ploto apskaičiavimo probleminį klausimą. Peržiūrėtuose vienbučių namų kartotiniuose projektuose vyrauja tendencija: 80 % atvejų stoginės įrengiamos šalia mažųjų namų (3.1.1 skirsnis). Ši schema atitinka 14 % analizuotų vienbučių namų projektų.

3 schema. Garažas yra integruotas į namo erdvę (3.5 pav.).

Šios alternatyvos, palyginus su 1 schema, pagrindinis skirtumas yra tas, kad garažas su pastato gyvenamąja dalimi turi tris bendras sienas. Žemės darbų apimtis yra viena mažiausių, nes viena garažo siena paprastai sutampa su vidine laikančiąja, o po kita įrengiama nelaikančioji. Vadinasi, po šia siena pakaks vieno bloko aukščio pamato (analogiškai kaip po 12 cm mūro pertvara). Susisiekimas su gyvenamosiomis patalpomis turi daugiausia variantų, nes 2 arba 3 garažo sienos yra pastato viduje. Tokiais atvejais dažniausiai virš garažo projektuojami darbo ar svečių kambariai. Todėl tenka šiltinti perdangą ir bendras sienas tarp garažo ir gyvenamųjų patalpų. Peržiūrėtuose vienbučių namų kartotiniuose projektuose dominuoja sprendimai: iš gyvenamosios erdvės su garažu susisiekimas

numatytas per tambūrą, o į katilinę patenkama iš garažo arba lauko. Priklausomai nuo sklypo vietos pasaulio šalių atžvilgiu, namo patalpų ir kiemo zonavimas vertinamas prasčiausiai, nes nepalankiausiu atveju dauguma namo kambarių gali būti nukreipti į šiaurę. Pagal šią schemą internete pateikta 20 % namų kartotinių projektų.

3.5 pav. Garažas integruotas į namo erdvę
Fig. 3.5. Garage integrated into the house space

4 schema. Garažas yra dalinai integruotas į namo erdvę (3.6 pav.), lyg įsprausta į namo kampą.

3.6 pav. Garažas dalinai integruotas į namo erdvę
Fig. 3.6. Garage partially integrated into the house space

Priešingai nei 3 schemos atveju, visos garažo sienos yra laikančiosios ir po jomis įrengiami pamatai. Todėl pamatų kaina yra viena didžiausių. Susisiekimas su gyvenamosiomis patalpomis yra gana geras, todėl planuojant patalpas variantų gali būti daugiau nei kitais atvejais. Namo patalpų ir kiemo zonavimas vertinamas vidutiniškai. Jei bent dalis namo turi mansardinį aukštą, virš garažo gali

būti įrengiama terasa. Deja, terasos įrengimas virš garažo nėra populiarus Lietuvoje dėl trumpo vasaros periodo ir didelio kritulių kiekio, kurį reikia šalinti nuo dangos arba įrengti vidinį vandens nuotaką. Peržiūrėtuose projektuose pagal šią schemą rasta tik 5 % namų kartotinių projektų.

5 schema. Garažą sudaro dvi erdvės: uždara ir atvira (3.7 pav.).

3.7 pav. Dviejų erdvių (uždaras ir atviras) garažas
Fig. 3.7. The garage is divided into two spaces: closed and open

Šis variantas yra lyg 1 ir 2 schemų junginys. Variantas tinkamas kintant šeimos automobilių skaičiui, kai šeima gausėja ar mažėja, keičiama funkcinė patalpų paskirtis ir kt. atvejais. Be to tai tinkamas variantas, kai vienas iš šeimos automobilių naudojamas nuolat, o kitas rečiau, arba kai reikia pastatyti svečių automobilius. Nors numatyta, kad visi nagrinėjami garažai yra nešiltinami, ekspertai, vertindami alternatyvas pagal ketvirtąjį (c_4) kriterijų, atsižvelgė, kad šiuo atveju garažo šiltinimas būtų racionalus. Pagal šią 5 schemą šiltinti tektų tik vienos vietos garažą ir tik šio garažo plotas patenka į bendrą namo plotą. Šiltinant garažą, ryšys su gyvenamosiomis patalpomis galėtų būti organizuojamas ne tik per pagalbines patalpas, o ir iš holo ar laiptinės kaip 1, 3 ir 4 schemų atvejais. Pamatų įrengimo ir susisiekimo su gyvenamosiomis patalpomis galimybės analogiškos kaip 1 schemos atveju, įvertinant tai, kad pavieniai stoginės pamatai įrengiami tuo pačiu metu. Statinių kontekstualumas vertinamas gerai, nes esant nepalankiai sklypo orientacijai pasaulio šalių atžvilgiu, gali kisti garažo padėtis. Pagal šią schemą rasta 14 % vienbučių namų kartotinių projektų.

6 schema. Atskirai stovintis garažas (3.8 pav.). Žemės darbų apimtis ir pamatų kaina yra pačios didžiausios. Susisiekimas su gyvenamosiomis patalpomis išorinis be jokių atitvarų, pats prasčiausias iš pateiktųjų. Tačiau pastatų zonavimas pasaulio šalių atžvilgiu vertinamas geriausiai. Paprastai toks atskirai stovin-

čio garažo (su sienomis ir pamatais) sprendimas pasirenkamas tada, kai sklypas yra didesnis už pasirinktuosius 6–7 m^2 stačiakampio formos sklypus. Šis sprendimas labiau tiktų išskirtinių ypatumų sklypams, parenkant unikalų dviejų statinių derinį. Pagal šią schemą internete pateikta 21 % namų kartotinių projektų.

3.8 pav. Atskirai stovintis garažas
Fig. 3.8. The garage is a freestanding building

Ekspertų apklausos rezultatai sklypo funkcinių erdvių parinkimui ir parinktų kriterijų ($c_2 - c_4$) reikšmingumas apskaičiuoti AHP metodu (2.3.1 skirsnis). Ekspertų apklausos rezultatai pateikti 3.2–3.4 lentelėse.

3.2 lentelė. Alternatyvų vertinimas pagal c_2 kriterijų (vidinis funkcinis ryšys)
Table 3.2. Alternatives assessment according to criteria c_2 (internal functional relationship)

Alterna-tyvos	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
A_1	1,00	2,00	0,50	0,67	1,00	4,00
A_2	0,50	1,00	0,25	0,33	0,50	2,00
A_3	2,00	4,00	1,00	1,50	2,00	6,00
A_4	1,50	3,00	0,67	1,00	1,50	5,00
A_5	1,00	2,00	0,50	0,67	1,00	4,00
A_6	0,25	0,50	0,17	0,20	0,25	1,00

3.3 lentelė. Alternatyvų vertinimas pagal c_3 kriterijų (kontekstualumas)

Table 3.3. Alternatives assessment according to criteria c_3 (contextuality)

Alterna-tyvos	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
A_1	1,00	3,00	4,00	2,00	0,25	0,33
A_2	0,33	1,00	2,00	0,50	0,25	0,20
A_3	0,25	0,50	1,00	0,33	0,20	0,17
A_4	0,50	2,00	3,00	1,00	0,33	0,25
A_5	2,00	4,00	5,00	3,00	1,00	0,50
A_6	3,00	5,00	6,00	4,00	2,00	1,00

3.4 lentelė. Alternatyvų vertinimas pagal c_4 kriterijų (estetika ir kita)

Table 3.4. Alternatives assessment according to criteria c_4 (aesthetics, etc.)

Alterna-tyvos	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
A_1	1,00	0,25	4,00	0,50	0,33	2,00
A_2	4,00	1,00	7,00	3,00	2,00	5,00
A_3	0,25	0,14	1,00	0,25	0,17	0,50
A_4	2,00	0,33	4,00	1,00	0,50	3,00
A_5	3,00	0,50	6,00	2,00	1,00	4,00
A_6	0,50	0,20	2,00	0,33	0,25	1,00

3.1.4. Daugiakriteris vertinimas WASPAS-SVNS metodu

Pagal ekspertų vertinimus nustačius kriterijų svorius (3.1 lentelė), uždavinys sprendžiamas WASPAS-SVNS metodu. Bendrasis neutrosofinių aibių aprašas pateiktas 2.4.1 skirsnyje.

Sudaroma garažo vietos parinkimo kriterijų svorių ir alternatyvų reikšmių matrica (3.5 lentelė).

3.5 lentelė. Kriterijų svorių ir alternatyvų reikšmių matrica
Table 3.5. Criteria and alternatives to weight ratio matrix

Kriterijai	Opti-mumas	Svoriai	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
Pamatų ilgis, m c_1	min	0,07	52	36	42	56	52	60
Vidinis funkcinis ryšys, balai c_2	max	0,44	5	3	9	7	5	1
Kontekstualumas, balai c_3	max	0,30	5	3	1	4	7	9
Estetika ir kita, balai c_4	max	0,19	4	9	1	5	7	2

Pirmasis vienareikšmių neutrosofinių aibių WASPAS plėtinius pasiūlė Zavadskas (Zavadskas *et al.* 2014a). Uždavinyje pratęsiamas metodo plėtinių kūrimas, taikant neutrosofinių aibių rinkinius. Nagrinėjamame uždavinyje garažo padėtis gali būti nustatyta pagal etapus:

1. Pagal kriterijus ir kriterijų svorius rekonstruojama sprendimo priėmimo matrica. Ji gali būti pateikta duomenimis $x_{ij}, i = 1, 2, ..., m; j = 1, 2, ..., n$, kurie reiškia ekspertų alternatyvų vertinimą i^{th} pagal j^{th} kriterijus. Todėl sprendimo matrica įgaus šią formą:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}. \tag{3.1}$$

2. Skaičiuojant originaliuoju WASPAS metodu duomenims netaikomas normalizavimas. Tačiau WASPAS-SVNS yra atliekamas matricos X normalizavimas taikant vektorinį normalizavimo būdą ir ji išreiškiama:

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} (x_{ij})^2}}. \tag{3.2}$$

3. Turint normalizuotą sprendimo matricą $\tilde{X}$, ji paverčiama neutrosofine skaičių aibe, taikant C priedo C.1 lentelėje pateiktus įverčius. Taip yra apskaičiuojama $\tilde{X}^n$ reikšmė.

4. Šiame etape WASPAS-SVNS metodu skaičiuojamos alternatyvos pagal pirmąjį kriterijų. Čia reikšmės, padaugintos iš svorio koeficientų, sumuojamos:

$$\tilde{Q}_i^{(1)} = \sum_{j=1}^{L_{\max}} \tilde{x}_{+ij}^n \cdot w_{+j}^n + \left(\sum_{j=1}^{L_{\min}} \tilde{x}_{-ij}^n \cdot w_{-j}^n \right)^c . \quad (3.3)$$

Tokiu būdu yra suformuojamos dvi WASPAS-SVNS minimizuojamų ir maksimizuojamų kriterijų aibės.

5. Skaičiuojamas antrasis WASPAS-SVNS kriterijus pagal formulę:

$$\tilde{Q}_i^{(2)} = \prod_{j=1}^{L_{\max}} \left(\tilde{x}_{+ij}^n \right)^{w_{+j}^n} \cdot \left(\prod_{j=1}^{L_{\min}} \left(\tilde{x}_{-ij}^n \right)^{w_{-j}^n} \right)^c . \quad (3.4)$$

Išskiriamos dvi minimizuojamų ir maksimizuojamų kriterijų aibės.

6. Skaičiuojama apibendrintoji funkcija, įvertinanti alternatyvų suskirstymą rangais:

$$\tilde{Q}_i = 0{,}5\tilde{Q}_i^{(1)} + 0{,}5\tilde{Q}_i^{(2)} . \quad (3.5)$$

7. Tada naudojant vertės funkciją $S\left(\tilde{Q}_i\right)$, gauti rezultatai verčiami į paprastų skaičių aibę. Sukuriama alternatyvų eilė $S\left(\tilde{Q}_i\right)$, $i = 1, 2, \ldots, m$.

3.6 lentelėje pateikti WASPAS-SVNS metodo antrojo ir trečiojo etapų rezultatai.

3.6 lentelė. Sprendimo priėmimo $\tilde{X}^n$ matrica atlikus skaičiavimus pagal neutrosofinius etapus

Table 3.6. The decision matrix $\tilde{X}^n$ after the neutrosophication step

Kriterijai, optimumas	Alternatyvos					
	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
c_1, min	(0,4471, 0,5793, 0,5529)	(0,3096, 0,7404, 0,6904)	(0,3612, 0,6888, 0,6388)	(0,4815, 0,5277, 0,5185)	(0,2752, 0,7748, 0,7248)	(0,5159, 0,4761, 0,4841)
c_2, max	(0,3627, 0,6873, 0,6373)	(0,2176, 0,8324, 0,7824)	(0,6529, 0,2971, 0,3471)	(0,5078, 0,4882, 0,4922)	(0.3627, 0,6873, 0,6373)	(0,0725, 0,9275, 0,9275)
c_3, max	(0,3716, 0,6784, 0,6284)	(0,2230, 0,8270, 0,7770)	(0,0743, 0,9257, 0,9257)	(0,2973, 0,7527, 0,7027)	(0,5203, 0,4695, 0,4797)	(0,6690, 0,2810, 0,3310)
c_4, max	(0,3015, 0,7485, 0,6985)	(0,6784, 0,2716, 0,3216)	(0,0754, 0,9246, 0,9246)	(0,3769, 0,6731, 0,6231)	(0,5276, 0,4585, 0,4724)	(0,1508, 0,8746, 0,8492)

WASPAS-SVNS metodu skaitinės reikšmės, gautosios pagal 4–7 etapus, pateiktos 3.7 lentelėje.

Atlikus skaičiavimus WASPAS-SVNS metodu, matyti, kad racionaliausia garažo padėtis yra šalia namo fasado. Tai dviejų erdvių garažas (A_5 alternatyva). Šis sprendimas (3.7 pav.) iš esmės gali būti pritaikytas visoms vienbučio namo fasado pusėms, o kvadratinio kontūro formos namui iš visų keturių pusių. Todėl sklypo pastatų kontekstualumas įvertintas geriausiai, funkcinis ryšys su gyvenamosiomis patalpomis galimas ir vidinis, ir išorinis. Pagal pageidavimą ir poreikius galimas vėlesnis šio garažo pertvarkymas: sienų ir stogo šiltinimas uždaroje erdvėje ar funkcinės paskirties kaita atviroje erdvėje.

3.7 lentelė. WASPAS-SVNS skaitinės reikšmės
Table 3.7. Numerical results of WASPAS-SVNS

Apibendrintoji funkcija	Alternatyvos					
	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
$\tilde{Q}^{(1)}$	(0,9581, 0,0446, 0,0482)	(0,9724, 0,0259, 0,0317)	(0,9788, 0,0168, 0,0201)	(0,9618, 0,0388, 0,0398)	(0,9815, 0,0173, 0,0218)	(0,9364, 0,0615, 0,0602)
$\tilde{Q}^{(2)}$	(0,1516, 0,8712, 0,8484)	(0,1222, 0,8980, 0,8778)	(0,0934, 0,9021, 0,9066)	(0,1758, 0,8393, 0,8242)	(0,1967, 0,8146, 0,8033)	(0,0779, 0,9223, 0,9221)
$\tilde{Q}$	(0,6560, 0,3571, 0,3505)	(0,6890, 0,3098, 0,3049)	(0,7062, 0,2732, 0,2741)	(0,6720, 0,3337, 0,3295)	(0,7407, 0,2566, 0,2542)	(0,5866, 0,4094, 0,4093)
$S(\tilde{Q})$	0,6478	0,6912	0,7214	0,6687	0,7433	0,5896
Rangas	5	3	2	4	1	6

3.2. Vienbučių namų pagrindinių elementų ir medžiagų charakteristikų parinkimas

Dėl griežtesnių energijos vartojimo efektyvumo reikalavimų, projektuojamiems vienbučiams pastatams keliami nauji reikalavimai: pateikiama papildomų charakteristikų, susijusių su tvarumo principų taikymu (Pombo *et al.* 2016; Oree *et al.* 2017; Rid *et al.* 2017). Tai verčia vienbučių namų dalyvius (projektuotojus, rangovus, užsakovus) domėtis pastato elementais ir konstrukcinių medžiagų pa-

rinkimu (Al-Sanea *et al*. 2016). Be to priklausomai nuo įvairių reikalavimų kinta požiūrį į jų formavimą, atsižvelgiant į pastatų energetinį efektyvumą, saugumą ir estetinius aspektus. Kita vertus, statybos pramonė siūlo platų statybinių medžiagų asortimentą. Todėl vienbučių namų atveju projektavimo laikotarpiu galima formuluoti įvairius namų projektinių sprendimų variantus, o tai dar labiau apsunkina optimalią namų projektų elementų ir medžiagų atranką.

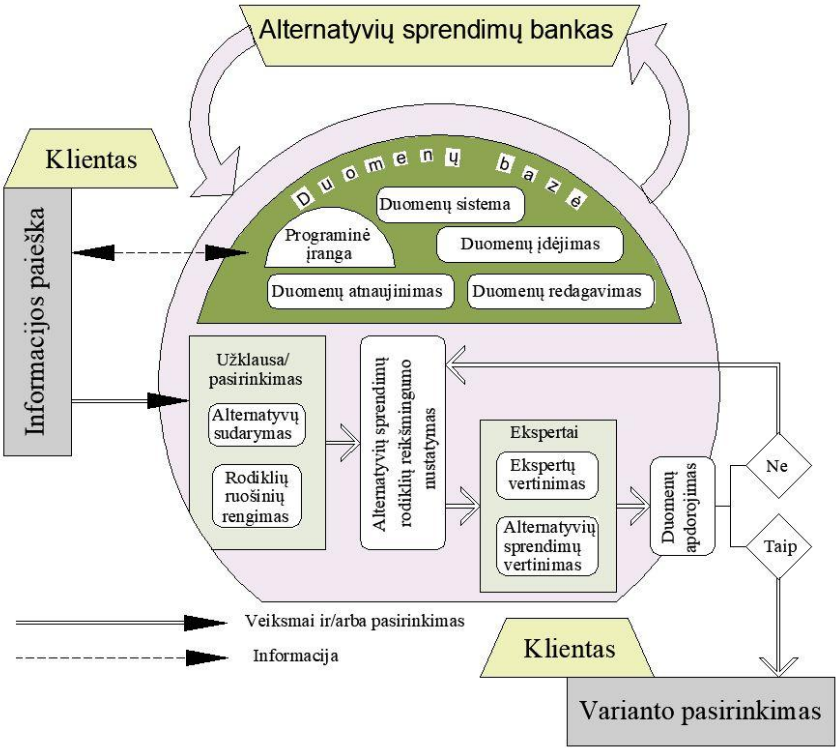
Paprastai būsimo namo idėjos parinkimą (plotą, elementus ir jų medžiagas) lemia reklamos intensyvumas, informacinės priemonės ir lėšos. Pradinio etapo išeities taškas yra architektūrinės-statybinės dalies projektas. Žinomas faktas: kuo labiau pastatas primena kubą, tuo energijos jis suvartoja mažiau. Nemaža dalis kartotinių namų projektų (Namų planai, Namų projektai, Individualių namų projektai) erdvių yra artimos kubui. Tai pasiekiama, kai vienbutis namas yra projektuojamas dviejų aukštų arba vieno aukšto su mansarda (esant vienodo gyvenamojo ploto dviejų ir vieno aukštų namams).

3.2.1. Vienbučių namų pagrindinių elementų ir medžiagų parinkimo modelio schema

Klientas, galvodamas apie vienbučio namo statybą, internete randa įvairių skaičiuoklių, susijusių su namo elementų kaina. Skaičiuoklių, skirtų pastatų elementų geometrinių charakteristikų, susijusių su namo tvarumu, parinkimui, nėra. Tiesa, yra skaičiuoklės (Step master), kuriomis konkrečioje erdvėje galima sumodeliuoti laiptus, bet jų ergonomiškumo parametrai nepateikiami. Eternit įmonės skaičiuoklėje (Eternit Baltic) siūloma pasirinkti stogo formą, pagal kurią bus apskaičiuotos fasado medžiagos ir jų kaina. Iš esmės, tai įmonių produkcijos reklamos. Disertacijoje namo elementų ir medžiagų parinkimas grindžiamas tvariąja plėtra, kurios svarbiausi ypatumai yra kokybiški pastatai, sveika žmogaus aplinka ir neigiamo poveikio aplinkai mažinamas. Pagal sprendžiamą uždavinį sukūrus skaičiuoklę, kurios principinė schema pateikiama 3.9 paveiksle, klientui būtų pateikta išsami informacija vienbučių namų medžiagų ir elementų tvarumo klausimais.

3.2.2. Vienbučių namų pagrindinių elementų ir medžiagų parinkimo metodika, ekspertų apklausa ir kriterijų parinkimas

Iš literatūros apžvalgos (1.1 ir 1.2 skirsniai) matyti, kad vienbučių namų vertinimui yra skiriamas per mažas dėmesys. Dažniausiai yra nagrinėjamas visų pastatų tipų arba pastatų grupių, miestų ar aplinkosaugos aspektų tvarumas. Taip pat tiriamos pavienės pastatų medžiagos ir (ar) elementai. Todėl kompleksinis vienbučių namų medžiagų ir pagrindinių konstrukcinių elementų tyrimas, įvertinant tvarumo aspektus, yra informatyvus ir savalaikis.



3.9 pav. Informacinė vienbučių namų medžiagų ir elementų parinkimo schema (sudaryta autorės)
Fig. 3.9. The single-family home materials and elements selection scheme (developed by author)

Vienbučių namų elementų ir medžiagų parinkimo ekspertiniame vertinime dalyvavo visi 10 pakviestųjų ekspertų: 5 architektai, 4 konstruktoriai, 1 dizaineris ir 9 būsimi vienbučių namų savininkai. Ekspertizės pradžioje ekspertai apsvarstė praktiškai visus galimus elementų ir medžiagų atrankos kriterijus. Įvertinus kitų mokslinių darbų tyrimo rezultatus, buvo atmesti elementų – grindų, vidaus sienų ir lubų – vertinimai (Baglivo, Congedo 2016). Profesionalių ekspertų grupė pirmiausiai įvardijo pagrindinius vienbučių namų elementus (pamatai, sienos, laiptai, langai ir stogas) ir medžiagas. Toliau buvo aptarti svarbiausi parinkimo kriterijai:

- elementų kaina (bendru visų ekspertų siūlymu),
- cokolio ir karnizo mazgų šalčio tiltelių eliminavimo potencialas (konstruktorių siūlymu),
- laikomoji sienos galia (konstruktorių siūlymu),

- ekologiškumo ir ilgalaikiškumo potencialai (bendru visų ekspertų siūlymu),
- perdangos svoris – kriterijus, lemiantis namo stabilumą (konstruktorių siūlymu),
- estetinio vaizdo vertinimas (architektų ir dizainerio siūlymu).

Visi ekspertai sutiko, kad atrinkti kriterijai lemia visus pagrindinius pastato elementus ir yra susiję su pagrindinių pastato architektūros ir konstrukcinių elementų aspektų tvarumu. Kitu etapu kriterijai bendru tarpusavio sutarimu buvo suskirstyti svarbos tvarka (3.8 lentelė).

3.8 lentelė. Pagal svarbą surūšiuoti kriterijai
Table 3.8. Criteria sorted by relevance

$c_1 - c_{21}$	Optimumas	Kriterijaus pavadinimas, matavimo vienetai
c_1	min	Sienos (A klasės pastatui) 1 m^2 kaina be apdailos, eurai
c_2	min	Pamatų, atitinkančių STR reikalavimus, 1 m^3 kaina, eurai
c_3	min	Stogo laikančių elementų, atitinkančių STR reikalavimus, 1 m^2 kaina, eurai
c_4	min	Šalčio tiltelio dydis pamatų konstrukcijoje, balai
c_5	max	Langų tikslinė orientacija (insoliacija), balai
c_6	max	Sienos laikomoji galia, MPa
c_7	min	Perdangos, atitinkančios STR reikalavimus, 1 m^2 kaina be grindų dangos, eurai
c_8	min	Langų, atitinkančių STR reikalavimus, 1 m^2 kaina, eurai
c_9	min	Šalčio tiltelio dydis stogo konstrukcijoje, balai
c_{10}	max	Stogo dangos medžiagos parinkimo pagal pastato padėtį sklype veiksnys, balai
c_{11}	max	Sienos medžiagos ekologiškumas, balai
c_{12}	max	Aplinkos apsauga pamatų įrengimo metu, balai
c_{13}	max	Langų medžiagos ekologiškumas, balai
c_{14}	max	Sienos medžiagos ilgalaikiškumo potencialas, balai

3.8 lentelės pabaiga

$c_1 - c_{21}$	Optimumas	Kriterijaus pavadinimas, matavimo vienetai
c_{15}	max	Stogo dangos medžiagos ilgalaikiškumo potencialas, balai
c_{16}	max	Išorės sienų apdailos ilgalaikiškumo potencialas, balai
c_{17}	min	Laiptų, atitinkančių STR reikalavimus, kaina, eurai
c_{18}	max	Laiptų konstrukcijos medžiagos ilgalaikiškumo potencialas, balai
c_{19}	max	Stogo dangos estetinis vaizdas, balai
c_{20}	max	Išorės sienų apdailos estetinis vaizdas, balai
c_{21}	min	Perdangos laikančių elementų svoris, kg

Pasak ekspertų, pagrindinių konstrukcijų (sienų, pamatų, stogo, perdangos, langų ir laiptų) kaina ($c_1, c_2, c_3, c_7, c_8, c_{17}$) yra pagrindiniai vertinimo kriterijai. Projektuojant ir statant tvarius namus, kaina neturėtų būti didžiausias prioritetas, tačiau rinkos tendencijos rodo, kad šis kriterijus vis dar užima tokią poziciją (Mulliner *et al*. 2013). Susitarta visų elementų kainą vertinti pagal konkrečios dienos įkainius, įskaitant darbo ir medžiagų sąnaudas. Todėl sienų blokelių, pamatų ir kitų konstrukcinių elementų kaina ir buvo taip vertinama.

Visų statinių pamatų paskirtis yra atlaikyti sienų, perdangų, stogo ir kt. elementų apkrovas. Paprastai vienbučių namų pamatų (c_2, c_4, c_{12}) konstrukcijos parinkimas nėra sudėtingas, dėl pakankamų grunto laikomosios galios charakteristikų, kai ant grunto yra statomas vienbutis namas. Todėl pamatų tipui parinkti didžiausią įtaką turi kaina ir rūsio įrengimas. Energetinis pastato efektyvumas pasiekiamas ne vien apšiltinus pastatą storesniu šiltinimo medžiagos sluoksniu, tai glaudžiai susiję su pamatų konstrukciniu sprendiniu ir jų įrengimu (Sušinskas *et al.* 2014). Be to yra svarbus įvairių pamatų tipų įrengimo poveikis aplinkai: šiuo klausimu pateikia tvarumo rekomendacijas ir parinkimo kriterijus (Ciancio *et al.* 2013). Disertacijos sprendžiamame uždavinyje pamatų konstrukcijos parinkimas vertinamas pagal šiuos kriterijus: kainos (c_2) ir šilumos tiltelio eliminavimo potencialą (c_4) bei aplinkosaugos (c_{12}) potencialą.

Daugelio pasaulio šalių vienbučių namų stogai ($c_3, c_9, c_{10}, c_{15}, c_{19}$) parenkami šlaitiniai. Tokiu atveju stogo konstrukciją sudaro gegnės, santvaros arba sijos. Šlaitinio stogo erdvės panaudojimo galimi du atvejai: šalta palėpė arba šilta (mansarda). Siekiant eliminuoti karnizo mazgo šilumos tiltelį (c_9) (kaip

vieną iš viso namo tvarumo kriterijų), ekonomiškiau yra pasirinkti šiltą palėpę. Todėl tiriant alternatyvas pasirinkta mansarda ir keli įvairūs stogo šiltinimo variantai. Kitaip nei projektuojant šaltą palėpę, parinktas didesnis stogą laikančių elementų skerspjūvis. Toks sprendimas priimtas ne dėl elementų laikomosios galios, o dėl gyvenamosios patalpos praktiškumo. Jei norima šilto stogo, termoizoliaciniai sluoksniai įrengiami tarp stogą laikančių konstrukcijų arba iš šaltosios pusės. Tokiu atveju didėja viso stogo kaina (c_3), bet kartu ilgėja ir ilgalaikiškumas (c_{15}). Stogo dangos medžiagos parinkimas priklauso ne tik nuo estetinio ypatumo (c_{19}), bet ir nuo pastato padėtį sklype (c_{10}). Lyginant vėjo galią, drėgmės lygį ar net saulės kaitrą įvairiose vietovėse (mieste, šalia miško, kalnuose ar šalia vandenyno) bus gauti vis kiti kriterijų duomenys.

Laiptų (c_{17}, c_{18}) įrengimo ir eksploatacijos kainą lemia ne tik parinkta konstrukcija, bet ir jų forma, užimama erdvė, apdaila, turėklų charakteristikos ir kt. (Raina *et al.* 2015). Detalus laiptų elementų ir laiptatakių formų parinkimas sprendžiamas kitu disertacijos uždaviniu.

Perdangos konstrukcijos parinkimas pagal kainą savo ruožtu gali lemti įrengimo trukmę ir kokybę (c_7), todėl į kriterijų sąranką įtrauktas dar ir perdangos elementas, būtent svoris (c_{21}). Aišku, kad kiekvienas viso namo svorio kilogramas yra apkrova į gruntą, o tai lemia pamatų įrengimą. Namo perdanga yra tas elementas, kurio parinkimas gali gerokai sumažinti pastato svorį. Nepaisant to, namas neturi būti per lengvas, jis turi būti stabilus. Todėl, ekspertų nuomone, šis kriterijus yra mažiau reikšmingas už kitus, bet turi būti vertinamas.

Medinių ar plastikinių langų parinkimas lemia jų kainą (c_8) ne tik statybos metu, bet ir jas eksploatuojant. Visi langai ir durys yra neišvengiami šalčio tilteliai, todėl jie eliminavimo aspektu nevertinami.

Be to kriterijumi vertinama namo sienų laikomoji galia (c_6). Akytojo betono, keramzitbetonio ar plytų mūro sienų laikomosios galios skirtumai lemia kitų konstrukcinių elementų formą, dydį ir padėtį. Pvz., esant nepakankamam sienų laikomosios galios dydžiui, užsakovui gali būti sudėtinga keisti patalpų erdvines zonas.

Projektuojamas namas gali būti statomas įvairiose vietose, todėl pastato padėties veiksnys (c_5, c_{10}) turi būti įtrauktas į tvaraus vienbučių namų kriterijų visumą (Han *et al.* 2017). Sienų ir stogų medžiaga, langų dydis ir orientacija, stogų kraigų morfologija ir net statybos trukmė priklauso nuo pastato įrengimo vietos (gyvenamųjų namų rajonas, vienkiemis laukuose, namas šalia miško ir kiti) (Takebayashi *et al.* 2015; Horvath *et al.* 2016). Todėl svarbu išorines pastato medžiagas parinkti pagal vyraujančius vėjus, o langus – pagal namo padėtį saulės atžvilgiu. Tyrime pastato padėties kriterijai parinkti pagal langų ir stogo dangos tikslinę orientaciją. Iš esmės, įrengiant vieno aukšto su mansarda pastatą,

pastato padėties sklype veiksnio įtaka sienų apdailos medžiagoms yra minimali, todėl nevertinama.

Ekologiškumą (c_{11}, c_{12}, c_{13}) lemia ne tik naudojamos medžiagos, bet ir jų gamyba bei sudedamosios dalys. Statybos metu pamatų įrengimas daro didžiausią žalą aplinkai, nes pažeidžiami natūralūs gamtiniai procesai ir augmenija (Sandanayake *et al.* 2016). Pastato vidaus tinko medžiaga sąveikauja su buityje aptinkamomis rūgštimis ir jų garais, todėl ji turi būti atspari bakterinėms pažaidoms ir grybeliams, nepalaikyti degimo, neišskirti dūmų ir toksinų. Į Europos Sąjungos numatytą planą energijos naudojimui ir emisijai mažinti įtraukti ir renovuojami pastatai. Mokslininkų siūlomas energijos sąnaudų mažinimo būdas įvertina ne tik energijos šaltinius, bet ir aplinkos poveikio aspektus (Ramírez-Villegas *et al.* 2016).

Kiekviena medžiaga ar elementas turi atlikti konkrečią funkciją pastate ir atitikti specifinius reikalavimus, iš jų ir ilgalaikiškumo ($c_{14}, c_{15}, c_{16}, c_{18}$). Šiaurinis klimatas pastatų konstrukcijas ir medžiagas veikia gan agresyviai, todėl yra svarbu įvertinti jų ilgalaikiškumą. Pvz., šalto klimato šalių teisės aktuose, reglamentuojančiuose gaminių ilgalaikiškumą, numatomi išorės sienų mūro atlaikomi šalčio ir šilumos ciklai, per kuriuos gniuždomasis atsparumas liktų nesumažėjęs (Toni *et al.* 2014). Dauguma sienos blokelių atlaiko 50 ciklų, bet keraminiai ar akytojo betono – tik 25–35 ciklus. Ši charakteristika yra ypač svarbi, jei statomas pastatas nėra šiltinamas tais pačiais metais, t. y. mūrijimo metu. Tokiu atveju reikėtų rinktis medžiagas, atsparesnes temperatūros kaitai. Atodrėkių ciklų skaičius metuose lemia sienų fasadų medžiagų ir sienų sandarų ilgalaikiškumą ne tik Lietuvoje, bet ir kitose šalyse (Toni *et al.* 2014). Stogo ilgalaikiškumas ir šiluminės savybės priklauso nuo laikančiosios konstrukcijos ir termoizoliacinės medžiagos charakteristikų. Taip pat jam įtakos turi drėgmė, oro cirkuliacija stogo konstrukcijoje, stogo dangos medžiagos spalva, forma ir net eksploatavimo sąlygos (Gauthier, Lagacé 2015; Alchapar, Correa 2016).

Estetinio vaizdo (c_{19}, c_{20}) kriterijai parinkti du: stogo dangos ir išorinių sienų apdailos. Šių medžiagų parinkimas ir jų tarpusavio dermė daro didžiulę įtaką ne tik urbanistiniam namo kontekstui, bet ir psichologiniam kliento komfortui. Apibrėžiant stogo ir išorinių sienų estetinį apdailos vaizdą, svarbu atsižvelgti ir į galimus estetinio medžiagos (spalva ir faktūra) vaizdo pokyčius ilgalaikėje perspektyvoje.

Suskirsčius kriterijus svarbos tvarka (3.8 lentelė), buvo atkreiptas dėmesys, kad dalis kriterijų apibūdina arba vienodą aspektą, pvz., ekologiškumą, arba matavimo vienetą, pvz., kainą. Todėl bendru ekspertų sprendimu, įvertinus kitų mokslininkų patirtį, buvo nutarta sujungti kriterijus pagal charakteristikas ar įvertį (Akadiri *et al.* 2013). Iš taip sujungtų kriterijų liko tik 8 ($x_1 - x_8$), kuriuos ekspertai dar kartą surūšiavo pagal svarbą ir duomenų struktūrą (3.9 lentelė).

Bendrieji vienbučių namų konstrukcijų ir medžiagų parinkimo etapai pateikti 3.10 paveiksle. Kompleksiniam vienbučių namų konstrukcijų ir medžiagų parinkimo modeliui sukurti buvo svarstomi ir analizuojami kriterijai, svarbūs visų statinių tvarumui vertinti, ir atrinkti aktualiausi vienbučiams. Buvo parinktas kartotinio architektūrinio sprendimo namas, pritaikant jam 5 įvairias elementų ir medžiagų alternatyvas. Parinkti elementai ir medžiagos atitinka šiuo metu reikalaujamo energetinio efektyvumo reikalavimus Lietuvoje ir teikiamus šalies projektuotojų prioritetus. Nustačius kriterijų reikšmes (eurai, balai, MPa, kg), kriterijai sugrupuoti pagal bendrus ypatumus. Kriterijų svoriams nustatyti pritaikytas laipsniškas porinio kriterijų santykinės svarbos lyginimo (SWARA) metodas. Galutiniam sprendimui sukurtas MULTIMOORA-SVNS metodas, atlikta rezultatų analizė ir parengtos išvados.

3.9 lentelė. Apibndrintų vienbučių namų charakteristikų kriterijai
Table 3.9. Combined criteria for single family residential house parameters' selection

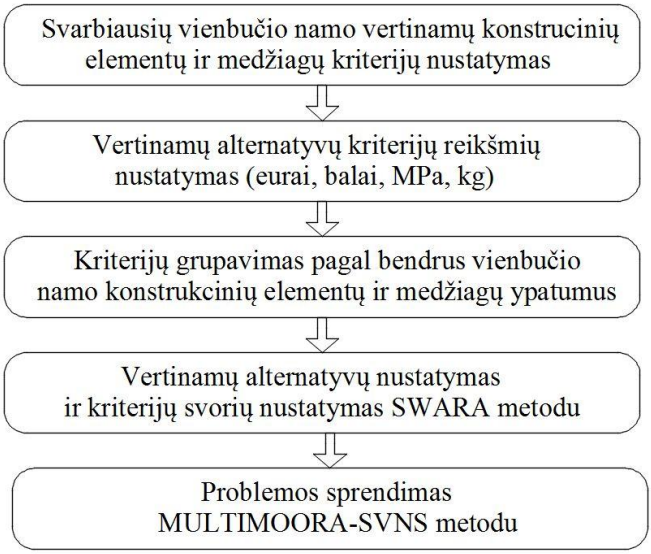
Apibendrintų kriterijų pavadinimas, matavimo vienetai	Optimumas	$x_1 - x_8$	Pavienių kriterijų pavadinimai $(c_1 - c_{21})$
Kaina, eurai	min	x_1	Sienos (A klasės pastatui) 1 m^2 kaina be apdailos (c_1); Pamatų, atitinkančių STR reikalavimus, 1 m^3 kaina (c_2); Stogo laikančių elementų, atitinkančių STR reikalavimus kaina (c_3); Perdangos 1 m^2 kaina be grindų dangos (c_7); Langų, atitinkančių STR reikalavimus, 1 m^2 kaina (c_8); Laiptų, atitinkančių STR reikalavimus, kaina (c_{17})
Konstrukcinio sprendinio šalčio tiltelio charakteristika, balai	min	x_2	Pamatų konstrukcinio sprendinio šalčio tiltelio dydis (c_4); Stogo konstrukcinio sprendinio šalčio tiltelio dydis (c_9)
Sienos laikomoji galia, MPa	max	x_3	Sienos laikomoji galia, MPa (c_6)

3.9 lentelės pabaiga

Apibendrintų kriterijų pavadinimas, matavimo vienetai	Optimumas	$x_1 - x_8$	Pavienių kriterijų pavadinimai $(c_1 - c_{21})$
Elementų charakteristikų parinkimas pagal pastato padėtį sklype, balai	max	x_4	Langų tikslinė orientacija (insoliacija) (c_5); Stogo dangos medžiagos parinkimo pagal pastato padėtį sklype veiksnys (c_{10})
Ekologiškumo potencialas, balai	max	x_5	Sienos medžiagos ekologiškumas (c_{11}); Aplinkos apsauga pamatų įrengimo metu (c_{12}); Langų medžiagos ekologiškumas (c_{13})
Ilgalaikiškumo potencialas, balai	max	x_6	Sienos medžiagos ilgalaikiškumo potencialas (c_{14}); Stogo dangos medžiagos ilgalaikiškumo potencialas (c_{15}); Išorės sienų apdailos ilgalaikiškumo potencialas (c_{16}); Laiptų konstrukcijos medžiagos ilgalaikiškumo potencialas (c_{18})
Estetinis vaizdas, balai	max	x_7	Stogo dangos estetinis vaizdas (c_{19}); Išorės sienų apdailos estetinis vaizdas (c_{20})
Laikančiųjų perdangos elementų svoris, kg	min	x_8	Laikančiųjų perdangos elementų svoris (c_{21})

3.2.3. Vienbučių namų alternatyvų parinkimas

Visų alternatyvų (vienbučių gyvenamųjų namų) medžiagos ir elementai parinkti tos pačios architektūros ir tų pačių geometrinių charakteristikų pastatui (3.10 lentelė). Vienbučių namų medžiagų ir elementų parinkimo strategija gali būti pritaikyta skirtingų kultūrų ir klimato sąlygų gyventojų poreikius.



3.10 pav. Vienbučių namų konstrukcinių elementų ir medžiagų kompleksinis vertinimo modelis (sudaryta autorės)
Fig. 3.10. Complex assessment model for single family house elements' and materials' selection (developed by author)

Uždaviniui spręsti parinktas vienbutis namas be rūsio. Imami 4 tipų pamatai: juostiniai surenkamieji, juostiniai monolitiniai, poliniai gręžtiniai ir plokštuminiai. Iš pateiktųjų konstrukcinių sprendimų 100 % eliminuoti šalčio tiltelius (šilumos nutekėjimo į gruntą) pavyks tik plokštiniuose pamatuose, kurių pamatų kaina yra didžiausia. Skaičiuota (parinktos charakteristikos) esant vienodoms apytikslėms techninėms grunto charakteristikoms: gruntas – vidutinio tankumo žvyringas smėlis, grunto tankis – 1,75 Mg/m^3, sankabumas – 1 kPa, vidinės trinties kampas – 36º, kūginis stipris – 12 MPa, deformacijų modulis – 36 MPa. Visų alternatyvų yra tas pats architektūrinis sprendimas: pastato plotas, aukštis, stogo šlaitų posvyris ir statybos vieta. Kriterijų reikšmės nustatytos laikančiųjų pastato konstrukcijų kainai, ekologiškumui ir ilgalaikiškumui ir išorinę pastato apdailą (sienų ir stogo) (3.11 lentelė). Kaip jau minėta, ypatumai, susiję su vidiniu namo interjeru (vidinės pertvaros, grindys, lubos ir kt. elementai), nevertinami, nes tai gan individualūs ir subjektyvūs veiksniai.

3.10 lentelė. Vienbučių namų alternatyvų charakteristikos
Table 3.10. Parameters for Single-family housing alternatives

Vienbučių namų elementai	Vienbučių namų alternatyvos				
	1. Namas	2. Namas	3. Namas	4. Namas	5. Namas
Sienos konstrukcija	Akyto betono blokelių mūras (40 cm) apšiltintas polistirenu (5 +5 cm)	Akyto betono blokelių mūras (40 cm) apšiltintas polistirenu (5 +5 cm)	Keramzitbetonio blokelių mūras (25 cm) apšiltintas polistirenu (15 +10 cm)	Keramikinių blokelių mūras (25 cm) apšiltintas akmens vata (20+5 cm)	Silikatinių plytų mūras (25 cm) apšiltintas polistirenu (20+10 cm)
Pamatai	Juostiniai (monolitiniai)	Poliniai gręžtiniai	Poliniai gręžtiniai	Plokštiniai	Juostiniai (surenkamieji)
Stogo konstrukcija	Medinės gegnės 15,0 × 20,0 cm kas 80,0 cm	Medinės gegnės 15,0 × 20,0 cm kas 80,0 cm	Medinės santvaros 10 m ilgio kas 120,0 cm	Metalinės sijos10 m ilgio kas 120,0 cm	Metalinės sijos 10 m ilgio kas 120,0 cm
Langai	Mediniai, U = 0,80 W/(m^{2}K); 3 stiklų paketai	Mediniai; 3 stiklų paketai U = 1,2 W/(m^{2}K)	Plastikiniai; 3 stiklų paketai U=0,67;W/(m^{2}K)(Megrame inovacija)	Plastikiniai; 3 stiklų paketai U = 0,9 W/(m^{2}K)	Plastikiniai; 3 stiklų paketai U = 0,9 W/(m^{2}K)
Perdangos	Medinės sijos	Gelžbetoninės (monolitinės)	Medinės sijos	Gelžbetoninės (monolitinės)	Gelžbetoninės (surenkamosios)
Stogo danga	Bituminės čerpės	Metalinės čerpės	Beasbesčiai lakštai	Keraminės čerpės	Keraminės čerpės
Laiptai (pakopų apdaila)	Medinės pakopos	Medinės pakopos	Metalinės pakopos	Stiklinės pakopos	Akmens masės plytelės
Išorės sienų apdaila	Medinės dailylentės	Tinkas	Cementinės dailylentės	Apdailinės klinkerio plytos	Tinkas

3.11 lentelė. Vienbučių namų alternatyvų kriterijų reikšmės
Table 3.11. Criteria significance by alternatives (separate criteria)

Kriterijai	Matavimo vienetai	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
c_1	eurai	52,31	52,31	51,73	76,32	61,84
c_2	eurai	330	108	108	400	210
c_3	eurai	253	185	238	455	455
c_4	balai	4	3	3	0	7
c_5	balai	7	2,5	8	5	5
c_6	MPa	5	5	5	15	15
c_7	eurai	98,3	52,1	98,3	52,1	323,8
c_8	eurai	235	235	190	150	150
c_9	balai	1	1	2	8	8
c_{10}	balai	2	2	6	8	8
c_{11}	balai	8	3,5	3,5	8	3,5
c_{12}	balai	3	8,5	8,5	10	4
c_{13}	balai	8	8	3	3	3
c_{14}	balai	3	3	6,5	8	10
c_{15}	balai	1,5	6,5	4	8	8
c_{16}	balai	4	6	8	9	6
c_{17}	eurai	412	412	442	508	747
c_{18}	balai	5	5	7	5	8
c_{19}	balai	2	6,5	4	8	8
c_{20}	balai	7	5	10	8	5
c_{21}	kg	330	858	330	858	741

Šiame tyrime statybinių elementų kainos yra apskaičiuotos remiantis rekomenduojamomis 2016 m. kovo mėn. kainomis (SPCS 2016). Manoma, kad kaina yra įvertinta objektyviai ir praktiškai tinkama vienbučių namų statybai. Išlaidos skaičiuojamos konstrukcinio elemento vienam kvadratiniam metrui. Būtent kvadratinio metro kaina yra labai svarbi klientui, įvertinančiam būsimas išlaidas. Kai kurių medžiagų ekologiškumo ir ilgalaikiškumo potencialas dar nėra tiksliai žinomas, todėl vertinimas yra subjektyvus (3.11 lentelė). Pavyzdžiui, keraminės čerpės – stogo dangos klasika, jos ilgalaikės ir ekologiškos. Bituminės čerpės yra įvairios sudėties (atsižvelgiant į šalių klimatus) ir gaminamos nevienodos kokybės (pagal kainą). Jų ilgalaikiškumas gali būti tik prognozuojamas, nes, pirma, jos pradėtos gaminti, palyginti neseniai ir, antra, klimato kaita ir termodinaminiai atmosferos poveikiai labiausiai lemia stogo dangą. Disertacijoje tyrinėtas atvejis yra apibendrintas rezultatas, gautas iš projektavimo firmų gamybinės praktikos. Kaip tik 3.11 lentelės duomenys remiasi praktine dizainerių veikla. Pagal vadovaujančių (pirmaujančių) firmų atsiliepimus sukonstruotos alternatyvos ir pasirinktos kriterijų reikšmės. Sujungus kriterijus pagal charakteristikas arba įvertį, buvo gauta galutinė sprendimo priėmimo matrica (3.12 lentelė).

3.12 lentelė. Alternatyvų apibendrintų kriterijų reikšmės
Table 3.12. Criteria significance by alternatives (Combined criteria)

Kriterijaus pavadinimas, matavimo vienetai	Optimumas	$x_1 - x_8$	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
Kaina, eurai	min	x_1	1381	1044	1128	1641	1948
Konstrukcinio sprendinio šalčio tiltelio parametras, balai	min	x_2	2,5	2	2,5	4	7,5
Sienos laikomoji galia, MPa	max	x_3	5	5	5	15	15
Elementų parametrų parinkimas pagal pastato padėtį sklype, balai	max	x_4	4,5	2,3	7	6,5	6,5
Ekologiškumo potencialas, balai	max	x_5	6,3	6,7	5	7	3,5
Ilgalaikiškumo potencialas, balai	max	x_6	3,4	5,1	6,4	7,5	8
Estetinis vaizdas, balai	max	x_7	4,5	5,8	7	8	6,5
Laikančiųjų perdangos elementų svoris, kg	min	x_8	330	858	330	858	741

3.2.4. Kriterijų svorių nustatymas SWARA metodu

Vertinimo kriterijų svoriams nustatyti pritaikytas nuoseklus laipsniškas porinio kriterijų santykinės svarbos lyginimo (SWARA) metodas, naudojamas sprendžiant įvairias problemas, tarp jų ir susijusias su statyba (Ruzgys *et al.* 2014; Stanujkic *et al.* 2015; Dehnavi *et al.* 2015). SWARA metodo skaičiavimai yra atlikti pagal 2.4.2 skirsnyje pateiktą aprašą ir 2.12–2.15 formules.

Kriterijus ekspertai surikiavo derindami tarpusavio nuomones (medžiagų ir konstrukcijų parinkimo uždavinio aspektu). Kiekvienas ekspertas nurodė kriterijų santykines lyginamosios svarbos reikšmes vienetiniais intervalais (nuo 0,00 iki 1,00), t. y. nurodė, kiek x_j kriterijus jam yra svarbesnis už x_{j+1} kriterijų. 3.13 lentelėje pateiktas visų 10 ekspertų, lyginusių gretutines kriterijų poras, vertinimas.

Siekiant nustatyti kriterijų svorius atlikta:

- sudarytas bendras kriterijų sąrašas;
- įvykdyta ekspertų apklausa;
- apskaičiuotos lyginamosios svarbos vidutinės vertės s_j ;
- nustatytas svarbos koeficientas

$$k_j = s_j + 1; \tag{3.6}$$

- perskaičiuoti kriterijų vidutiniai svoriai

$$q_i = \frac{q_{j-1}}{k_j}; \tag{3.7}$$

- nustatyti galutiniai kriterijų svoriai

$$w_i = \frac{q_j}{\sum_{j=1}^{n} q_j}, \tag{3.8}$$

čia *n* yra kriterijų skaičius.

3.14 lentelėje pateikti SWARA metodo skaičiavimo rezultatai: iš 3.13 lentelės gautos kriterijų santykinės lyginamosios svarbos vidutinės reikšmės, kriterijų santykinės lyginamosios svarbos koeficientai, perskaičiuoti (tarpiniai) kriterijų svoriai ir galutiniai kriterijų svoriai. Galutiniai kriterijų svoriai yra naudojami daugiakriterio sprendimo priėmimo metodo MULTIMOORA skaičiavimuose.

3.2.5. Daugiakriteris vertinimas MULTIMOORA metodu

Nustačius alternatyvas, kiekybiškai jas apibūdinus ir nustačius kriterijų svorius SWARA metodu, skaičiavimai atliekami pritaikius MULTIMOORA metodo (Brauers, Zavadskas 2010) MULTIMOORA-SVNS plėtinį.

3.13 lentelė. Kriterijų porinis santykinės svarbos vertinimas
Table 3.13. Relative importance assessment in indicators' pairs.

Ekspertas	Kriterijų porinis santykinės svarbos vertinimas						
	$x_{1\leftrightarrow 2}$	$x_{2\leftrightarrow 3}$	$x_{3\leftrightarrow 4}$	$x_{4\leftrightarrow 5}$	$x_{5\leftrightarrow 6}$	$x_{6\leftrightarrow 7}$	$x_{7\leftrightarrow 8}$
1	0,10	0,85	0,20	0,60	0,20	0,80	0,00
2	0,05	0,70	0,10	0,80	0,05	0,70	0,20
3	0,80	0,20	0,70	0,50	0,10	0,70	0,00
4	0,60	0,05	0,80	0,30	0,05	0,00	0,10
5	0,50	0,40	0,60	0,70	0,30	0,65	0,10
6	0,10	0,20	0,00	0,00	0,80	0,00	0,85
7	0,70	0,30	0,60	0,40	0,00	0,50	0,10
8	0,00	0,50	0,10	0,20	0,70	0,00	0,75
9	0,70	0,10	0,05	0,05	0,80	0,00	0,00
10	0,00	0,60	0,10	0,30	0,50	0,20	0,80

3.14 lentelė. Kriterijų svorių nustatymas SWARA metodu
Table 3.14. Criteria Weighting by SWARA method

Kriterijus	Kriterijų santykinės lyginamosios svarbos vidutinės reikšmės, $s_{j\leftrightarrow j+1}$	Kriterijų santykinės lyginamosios svarbos koeficientai, k_j	Perskaičiuoti (tarpiniai) kriterijų svoriai, w_j	Galutiniai kriterijų svoriai, q_j
x_1		1,000	1,000	0,2895
	0,355			
x_2		1,355	0,738	0,2137
	0,390			
x_3		1,390	0,531	0,1537
	0,325			
x_4		1,325	0,401	0,1160
	0,385			
x_5		1,385	0,289	0,0838
	0,350			
x_6		1,350	0,214	0,0620
	0,355			
x_7		1,355	0,158	0,0458
	0,290			
x_8		1,290	0,123	0,0355

MULTIMOORA metodo tobulinimai pasiūlyti projektų valdymo ir inžinerinėms problemoms spręsti (Liu *et al.* 2014; Altuntas *et al.* 2015; Hafezalkotob, Hafezalkotob 2015; Zavadskas *et al.* 2015c).

Tinkamiausias vienbučių namų sprendimas buvo apskaičiuotas ir nustatytas ekspertų vertinimu pagal siūlomas charakteristikas: kainą, šalčio tiltelių eliminavimą ir laikomąją galią, išorės medžiagų atranką pagal pastato padėtį sklype, ekologiškumą, ilgalaikiškumą, patvarumą ir svorį. Visų parinktų alternatyvų medžiagos ir elementai yra pritaikomi tos pačios architektūros ir tų pačių geometrinių charakteristikų vienbučiam namui.

Vienbučių namų projektų vertinimo skaitinės reikšmės pateiktos D priedo D.1 lentelėje neutrosofinių sprendimo matrica. D priedo D.2–D.4 lentelėse pateikti uždavinio sprendimo MULTIMOORA-SVNS metodu rezultatai.

Atlikus skaičiavimus MULTIMOORA-SVNS metodu, 3.15 lentelėje pateiktas alternatyvų rangų suskirstymas pritaikius dominavimo teoriją.

Priimant daugiakriterį sprendimą, gauta geriausia alternatyva yra A_4. Nepaisant to, kad šio namo elementų kaina yra viena didžiausių, jame yra racionaliausiai parinktas šalčio tiltelių eliminavimo sprendimas, geriausiai įvertinti sienos laikomoji galia, ilgalaikiškumo ir ekologiškumo potencialai bei išorinių elementų estetika. Siūlomas elementų, medžiagų ir kitų tvarumo aspektų parinkimo modelis gali būti praktiškai pritaikytas kuriant informacinę vienbučių namų konstrukcinių elementų ir medžiagų parinkimo sistemą.

3.15 lentelė. Suskirstytos pagal rangą alternatyvos MULTIMOORA-SVNS metodu
Table 3.15. The rankings of the alternatives by neutrosophic MULTIMOORA-SVNS approach

Alternatyvos	Santykių sistema	Atskaitos taško požiūris	Pilnoji sandauginė forma	Galutinis rangas
A_1	4	5	5	5
A_2	2	4	3–4	3
A_3	1	2	2	2
A_4	3	1	1	1
A_5	5	3	3–4	4

Paprastai daugiatikslių sprendimo priėmimo metodų duomenys yra lengvai kintantys arba sunkiai išreiškiami skaičiais. Be to taikant kiekybinius daugiatikslius sprendimo priėmimo metodus ne visada atsižvelgiama į galimas pradinių duomenų reikšmių paklaidas. Galimi atvejai kai alternatyvų išrikiavimas pagal

racionalumą kinta. Todėl dauguma mokslinių tyrimų atlieka įvesties duomenų jautrumo analizę (Hester *et al.* 2017).

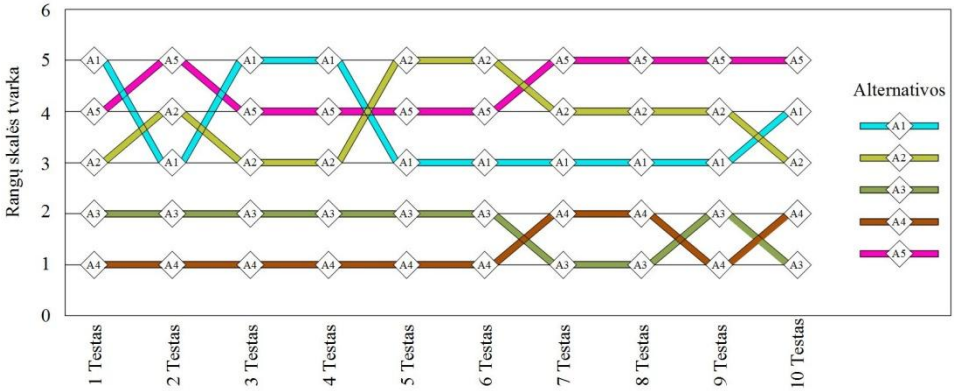
Sprendžiamame uždavinyje sprendimą priimantys asmenys (ekspertai) pradžioje vertino duomenis savo nuožiūra, t. y. tam tikru tikslumu. Kitu etapu kriterijus suskirsčius svarbos tvarka, duomenų tikslumas kito. Sukurto pastato konstrukcinių elementų ir medžiagų modelio jautrumas tirtas panaudojant 9 būsimų klientų, neturinčių patirties šioje srityje, apklausos rezultatus. Pagal klientų nuomones suformuoti 9 papildomi kriterijų svorių vertinimai, jie pateikti 3.16 lentelėje. Remiantis šiais 9 klientų nuomonių rezultatais yra atlikti papildomi devyni šio modelio panaudojimo atvejai, kuriems pakartotas analogiškas alternatyvų vertinimas. Skaičiavimo rezultatai pateikti 3.11 paveiksle. Testas 1 atitinka pradinį alternatyvų vertinimo atvejį, Testai 2–10 atitinka devynių klientų vertinimo informaciją.

3.16 lentelė. Devynių klientų kriterijų svorių vertinimai
Table 3.16. Nine customers criteria weights evaluations

Testai 2–10	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8
Testas 2 (klientas 1)	0,40	0,07	0,02	0,10	0,05	0,20	0,15	0,01
Testas 3 (klientas 2)	0,30	0,10	0,08	0,10	0,07	0,15	0,15	0,05
Testas 4 (klientas 3)	0,15	0,13	0,09	0,11	0,15	0,15	0,15	0,07
Testas 5 (klientas 4)	0,23	0,15	0,10	0,10	0,10	0,22	0,09	0,01
Testas 6 (klientas 5)	0,20	0,20	0,08	0,08	0,10	0,20	0,08	0,06
Testas 7 (klientas 6)	0,22	0,20	0,10	0,07	0,07	0,20	0,05	0,05
Testas 8 (klientas 7)	0,20	0,20	0,20	0,05	0,05	0,20	0,05	0,05
Testas 9 (klientas 8)	0,30	0,20	0,15	0,05	0,05	0,15	0,05	0,05
Testas 10 (klientas 9)	0,25	0,20	0,10	0,08	0,05	0,25	0,04	0,03

Reikia pabrėžti, kad atvejis Testas 1 atitinka kvalifikuotų ekspertų nuomones bei projektavimo firmų praktiką. Iš šių rezultatų nesunku pastebėti, kad di-

sertacijoje siūlomas modelis pateikia labai panašų alternatyvų vertinimą, t. y. tiek ekspertų, tiek nepatyrusių klientų. Šie jautrumo tyrimo rezultatai tik patvirtina siūlomo modelio patikimumą.

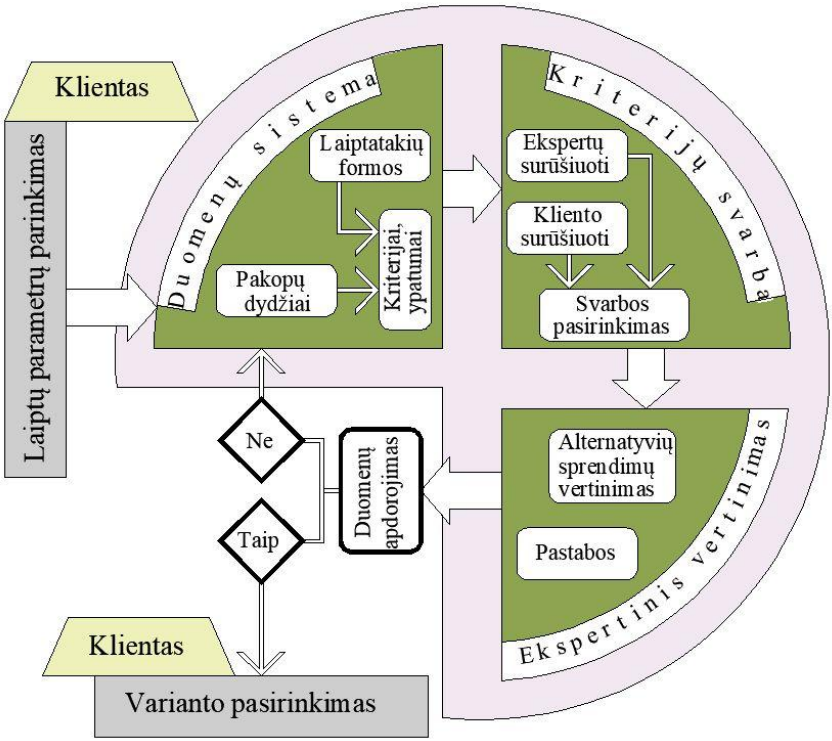


3.11 pav. Jautrumo analizės rezultatų grafinė išraiška
Fig. 3.11. Sensitive analysis iliustration

3.3. Ekspertinis laiptų formos parinkimo sprendimo vertinimas

Literatūroje (1.1.7 skirsnis) analizuojami visuomeninių ir daugiabučių gyvenamųjų pastatų laiptai, o vienbučių laiptų analizė neaptikta. Kadangi mokslininkų tyrimuose nustatyta, kad laiptų erdvė yra viena pavojingiausių (Raina *et al.* 2015), galima teigti, kad vienbučių namų laiptų įtaka žmonių saugumui ir komfortui yra viena reikšmingiausių. Vadinasi, vienbučių namų laiptų ergonomiškumo tyrimas yra būtinas ir savalaikis.

Šiuolaikiniai dizaineriai siūlo laiptų konstravimo ir formų parinkimo metodus, kurių esmė yra ta pati: pagal kliento nurodytą angos dydį projektuojami laiptai. „Step master“ laiptų skaičiavimo svetainėje su ergonomiškumu siejamas vienas sakinys: „Patogiausi laiptai yra tiesūs arba su aikštele“ (Step master). Blondelio formulė panaudota lyg ir tinkamai, bet siūlomos optimalios laiptų charakteristikos praktiškai yra nepatogios naudoti kasdien. Tad disertacijos sprendžiamame uždavinyje klientui siūloma ne laiptų skaičiuoklė, o ergonomiškų laiptų parinkimo sistema, pagrįsta ekspertų vertinimu ir MCDM skaičiavimais. Kita vertus su sistemoje esančiais saugumo kriterijais klientui turėtų būti pasiūlyta susipažinti pirmiau nei bus parengtas architektūrinės dalies projektas (3.12 pav.).



3.12 pav. Informacinė vienbučių namų laiptų elementų parinkimo schema (sudaryta autorės)

Fig. 3.12. Information of the single-family home stairs elements selection scheme (developed by author)

3.3.1. Ekspertų grupės ir alternatyvų parinkimas

Daugiakriteriam palyginimui atlikti parinktos trys laiptų formos: tiesūs (vieno laiptatakio), П ir L formos. Vienbučiuose namuose projektuojant П ir L formų laiptus, pasirenkamos pakopos: su tarpinėmis aikštelėmis ar be jų, įrengiant kintamo pločio pakopas ar visas vienodo pločio. Parenkant laiptų formų alternatyvas, atsižvelgta į gamintojų siūlomas laiptų formas ir į pakopų grafinio konstravimo metodus (2.1 skirsnis). Suderinus ekspertų nuomones, parinktos aštuonios alternatyvos (3.17 lentelė): tiesūs (L1), П (L2–L5) ir L (L6–L8) laiptai. Kadangi judėjimo laiptais ergonomiškumui didžiulę įtaką turi laiptų pakopų dydžiai (laiptatakio polinkio kampas), alternatyvų skaičius padvigubėjo. Tokiu būdu buvo parinktos tarp Lietuvos vienbučių pastatų populiariausio dydžio pakopos – 170×290 mm (neporinės alternatyvos: A_1, A_3 ir t. t.) ir ne tokios populiarios, bet

gerokai patogesnės 153×300 mm dydžio pakopos (porinės alternatyvos: A_2, A_4 ir t. t.). Realiame projekte netikslinga rinktis 153×300 mm dydžio pakopas, charakteristikos turėtų būti šios: 150×300 mm. Tyrime 153 mm aukštis parinktas todėl, kad lyginimas tarp alternatyvų būtų korektiškas. Visais atvejais yra vienodas aukšto aukštis – 3060 mm, todėl neporinių alternatyvų pakopų skaičius yra 18, porinių – 20 vienetų.

Atrinktų laiptų alternatyvos:

- L1 – tiesūs laiptai be tarpinės aikštelės,
- L2 ir L6 – П ir L laiptai su tarpinėmis aikštelėmis,
- L3 ir L7 – П ir L laiptai su kintamo pločio pakopomis, įrengtomis žymint pakopas pagal spindulį,
- L4 ir L8 – П ir L laiptai su kintamo pločio pakopomis, įrengtomis žymint pakopas proporcijų metodu,
- L5 – П laiptai su kreivine lipimo linija (pagal pastato planą).

3.3.2. Saugių ir ergonomiškų laiptų parinkimo kriterijai

Literatūros analizėje vidinių namo laiptų erdvė įvardijama kaip viena pavojingiausių. Ir nors skaudžiausios nelaimės ant laiptų atsitinka žmonių vaikystėje ir senatvėje, tai namo elementas, nuo kurio formos ir charakteristikų priklauso visų šeimos narių judėjimo ergonomiškumas.

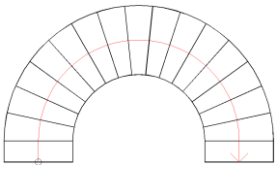
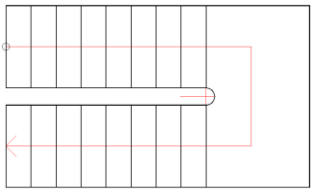
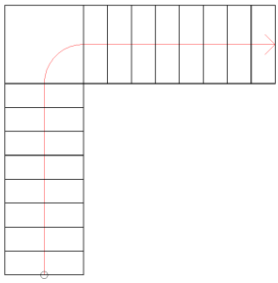
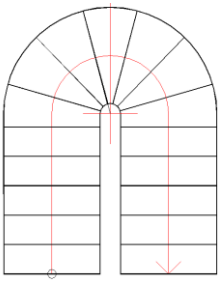
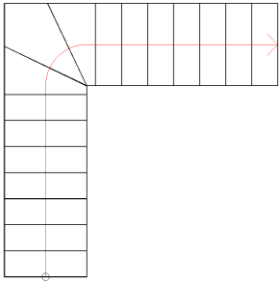
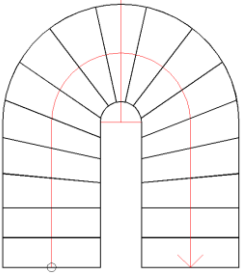
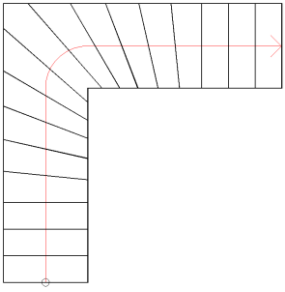
Laiptų elementams įvertinti priimti septyni įvairūs kriterijai (3.18 lentelė), geriausiai apibūdinantys jų parinkimą.

Laiptinės plotas – tai namo ploto dalis, apimanti laiptus, laiptų aikšteles (jei jos yra) ir tarpą tarp dviejų laiptatakių. Jei projektuojami laiptai yra su aikštele, tai pagal STR, jos dydis negali būti mažesnis kaip 1,10 m. Laiptinės plotas (įvertinant patalpos aukštį) – tai ta namo erdvė, kurią įrengiant reikalingos ne tik vienkartinės išlaidos, bet ir kuro sąnaudos šaltuoju sezono periodu bei tinkamas erdvės apšvietimas.

Bendras lipimo plotas – tai kintamo ir nekintamos pločio pakopų (2.1 skirsnis) suminis plotas. Kuo didesnis skirtumas tarp laiptinės ploto ir bendro lipimo ploto, tuo daugiau erdvės reikės laiptams. E priedo E.1 paveiksle skirtumai tarp šių dviejų plotų pažymėti grafiškai.

Patogaus lipimo juostos plotas – tai pakopų plotas patogus žmogaus kojai lipant laiptais (2.1.2 skirsnis). Kai visos pakopos yra vienodo pločio, šis plotas nesiskiria nuo bendro lipimo ploto. Šis dydis apskaičiuojamas tik kintamo pločio pakopoms.

3.17 lentelė. Vienbučių gyvenamųjų pastatų pagrindinės laiptų formos (alternatyvos)
Table 3.17. Main stair shapes (alternative) for single flat dwelling houses

Laiptai	Laiptų vaizdas plane	Laiptai	Laiptų vaizdas plane
L1 (A_1, A_2)		L5 (A_9, A_{10})	
L2 (A_3, A_4)		L6 (A_{11}, A_{12})	
L3 (A_5, A_6)		L7 (A_{13}, A_{14})	
L4 (A_7, A_8)		L8 (A_{15}, A_{16})	

Darbe laiptų kaina apima tik jų įrengimą, eksploatacija nevertinama. Visose nagrinėjamose alternatyvose parinkti vienodi laikantieji laiptų elementai: metalinio vamzdžio laiptasijos 100×150×5 mm, tokio paties skerspjūvio laiptų aikštelių sijos ir uosinės pakopos. Į kainą įeina laiptasijų paruošimas: virinimas, grun-

tavimas, dažymas, pakopų beicavimas, lakavimas ir pakopų montavimas ant laiptasijų metaliniais kampuočiais.

3.18 lentelė. Kriterijai, surūšiuoti pagal svarbą
Table 3.18. Criteria sorted by relevance

Kriterijai	Optimumas	Kriterijaus pavadinimas, matavimo vienetai
x_1	min	Laiptinės plotas, m^2
x_2	max	Bendras lipimo plotas, m^2
x_3	max	Patogaus lipimo juostos plotas, m^2
x_4	min	Kaina, eurai
x_5	max	Ergonomiškumas, balai
x_6	max	Estetinis vaizdas, balai
x_7	max	Technologiškumas, balai

Dažniausiai ergonomika nagrinėja daiktus ir įrenginius, bet optimizuoti ergonomiškai taip pat galima ir procesus, pvz., judėjimą laiptais. Paprastai laiptų standartai rengiami atsižvelgiant į ergonominius laiptų reikalavimus. Jei turėklų trūkumą galima sutvarkyti eksploatacijos metu, tai pakopų aukštų ir plotį pakeisti yra sudėtinga dėl ploto trūkumo. Kadangi laiptų patogumas vertinamas lipant žemyn, svarbesnis ergonomiškumo kriterijus yra pakopos gylis (plotis). Taip pat laiptų projektuotojai pirmiausia siūlo įvertinti šiuos kriterijus: kaip dažnai bus naudojamasi laiptais, kokio amžiaus ir vaikščiojimo gebėjimų yra namo gyventojai ir kt. Jei namuose yra ar bus vaikų, verta parinkti turėklus su atitrauktais porankiais, o vietoje baliustrų naudoti temples. Taip pat svarbu, kad laiptų anga nebūtų per žema, kad užlipus ant aukštesnio laiptelio galva nekliudytų kito lygio lubų. Iš esmės laiptų apšvietimas priklauso nuo bendro namo projekto. Bet parengus ir įgyvendinus konkrečių laiptų apšvietimo projektą, jie bus gražesni ir saugesni. Šviečiantys laiptų maršai, pakopos, turėklai gali būti ne tik kaip interjero dizainas, bet ir saugumo veiksnys.

Kartotinio architektūrinio sprendinio projektas gali būti koreguojamas pagal užsakovo estetinę įžvalgą. Pavyzdžiui, keičiama laiptų vieta, norint perskirstyti būsto interjero akcentus. Užsakovui tenka apsispręsti, kokių laiptų ir už kokią kainą jis nori, o architektui tobulai pritaikyti laiptus prie esamos erdvės, įvertinant jų funkcionalumą ir svarbą. Dizaineriai sukuria daug įvairių gražių ir stilingų laiptų, bet, pirmiausia jie turėtų būti saugūs. Pavyzdžiui, nepaisant to, kad sraigtiniai laiptai (jie tyrime nenagrinėjami) yra vieni iš gražiausių ir patraukliausių, jie patys nepatogiausi ir pavojingiausi. Estetinei laiptų išvaizdai įtakos turi ir laiptų konstrukcija (medinės, metalinės ar gelžbetoninės laiptasijos), pa-

kopų tvirtinimas prie laiptasijų, papakopių įrengimas ar neįrengimas, pakopų medžiaga, turėklų sudėtis, apšvietimas ir tyrime nagrinėjama laiptų forma. Aišku, laiptų formą lemia ne tik noras turėti vienos ar kitos formos laiptus, bet ir namo sienų planas.

Iš esmės visi vienbučių namų laiptai yra nestandartiniai gaminiai, bet jų įrengimo technologiškumas priklauso nuo laiptų formos. Džiugu, kai nedaroma esminė laiptų įrengimo klaida, paliekant laiptams kuo mažiau vietos. Laiptų anga turi atitikti laiptų konfigūraciją (formą). Deja, kuo įdomesnis laiptų atvaizdas plane, tuo jie sudėtingiau yra įrengiami. Aišku, įrengdamas arkinės formos ir kintamo pločio pakopas meistras užtruks ilgiau, bet juk tai vienkartinės išlaidos.

3.3.3. Ekspertinio vertinimo rezultatai

Ekspertų nuomonių tyrimas atliktas naudojant AHP (angl. *Analytic Hierarchy Process*) metodą, skirtą kriterijų prioritetams nustatyti. AHP metodas plačiai taikomas įvairiose srityse, iš jų ir statybos pramonėje (Kutut *et al.* 2014, Ehsan Kian *et al.* 2016). Metodo aprašas pateiktas disertacijos 2.3.1 skirsnyje.

Pagrindinė daugiakriterio sprendimo teorijų problema yra kriterijų reikšmių svarbos nustatymas. Paprastai svarba nustatoma atsižvelgiant į keletą kriterijų (Saaty 1980; Zavadskas *et al.* 2012a). Yra daugybė būdų kriterijų reikšmingumui palyginti, bet geriausio nėra. Atlikti praktiniai darbai pagrindė analitinio hierarchijos proceso (AHP) tinkamumą inžinerinių uždavinių sprendimui, todėl manoma, kad metodo taikymas šiam uždaviniui yra pagrįstas. Saaty, aprašydamas Miller magiškus skaičius (E priedas E.1 lentelė), rekomenduoja devynių lygių svarbos skalę (Miller 1956; Saaty 1980). Čia $n(n–1)/2$ sprendimui yra reikalingos $n\times n$ sprendimo matricos, kurios atitinkamai priskiriamos kiekvienam poriniam palyginimui.

Sprendimo priėmimas pagal daugelį tikslų (MADM) (angl. *Multi-Attribute Decision Making)* yra svarbūs tarp šiuolaikinių mokslinių tyrimų. Paprastai, kai sprendimas priimamas pagal kelis įvairius kriterijus, atliekami šie etapai:

- apibrėžiami tikslai;
- įvertinamos nustatytos alternatyvos;
- nustatomos alternatyvų savybės;
- nustatomi kriterijų svoriai;
- kiekviena alternatyva įvertinama pagal kriterijus;
- pasirenkamas skaičiavimo metodas ir apskaičiuojami variantai pagal pasirinktus kriterijus;
- atliekama vertinimo analizė.

Atlikus apklausą ir ją apdorojus, kriterijų reikšmės pateiktos 3.19 lentelėje ir 3.13 paveiksle.

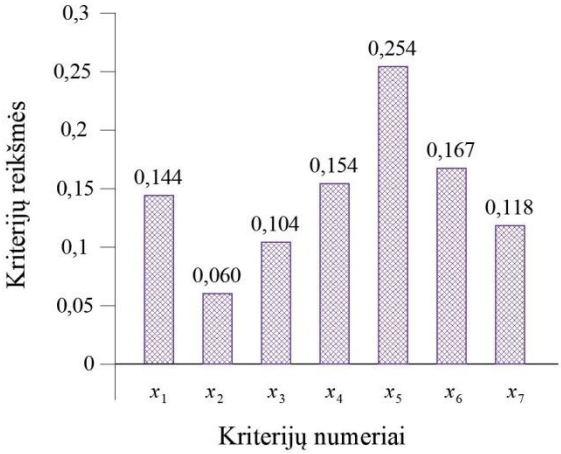
3.19 lentelė. Sprendimo priėmimo duomenys įvertinant kriterijus
Table 3.19. The comparison of weights of criteria

Alternatyvos	Kriterijai ir jų reikšmės						
	Laiptinės plotas, m^2	Bendras lipimo plotas, m^2	Patogaus lipimo juostos plotas, m^2	Kaina, eurai	Ergonomiš-kumas	Estetinis vaizdas	Technologiš-kumas
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
Svoris	0,144	0,060	0,104	0,154	0,254	0,167	0,118
Optimu-mas	min	max	max	min	max	max	max
A_1	4,680	4,680	4,680	1596,68	0,120	0,130	0,345
A_2	5,420	5,420	5,420	1775,66	0,120	0,130	0,345
A_3	7,390	4,410	4,410	2623,09	0,180	0,035	0,160
A_4	8,190	5,130	5,130	2788,75	0,240	0,035	0,160
A_5	5,040	4,640	3,750	3073,16	0,090	0,074	0,100
A_6	5,850	5,520	4,470	3161,49	0,040	0,074	0,100
A_7	5,330	4,700	3,880	3073,16	0,060	0,074	0,033
A_8	6,210	5,430	4,370	3161,49	0,040	0,074	0,033
A_9	4,700	4,700	4,100	2561,11	0,090	0,497	0,053
A_{10}	5,450	5,450	4,420	2634,67	0,060	0,497	0,053
A_{11}	5,310	4,410	5,310	2224,28	0,040	0,265	0,160
A_{12}	6,020	5,120	6,020	2389,37	0,170	0,265	0,160
A_{13}	4,890	4,890	4,210	2335,50	0,060	0,265	0,093
A_{14}	5,650	5,650	4,960	2508,98	0,040	0,265	0,093
A_{15}	4,890	4,890	4,510	2446,71	0,060	0,265	0,055
A_{16}	5,650	5,650	4,810	2628,30	0,040	0,265	0,055

Po to kiekvienos alternatyvos reikšmė buvo nustatyta SAW (MacCrimon 1968) TOPSIS (Hwang, Yoon 1981) ir MEW (Bridgman 1922) metodais. Gautieji rezultatai pateikti E priedo E.2 lentelėje.

Iš laiptų formų parinkimo kriterijų svorių grafinio vaizdo akivaizdžiai matyti, kad kriterijai yra skirtingos svarbos: vienas iš kriterijų (x_5) yra pats svarbiau-

sias, penki kriterijai – vidutinės svarbos ir vienas kriterijus (x_2) beveik visai nesvarbus. Sprendimo priėmėjas, turėdamas kriterijų sistemą, kriterijų svorius ir reikšmes, formuoja pradinę sprendimo priėmimo matricą (3.20 lentelė) (Hwang, Yoon 1981; Xu 2015). Tikslas – surikiuoti alternatyvas ir pasirinkti geriausią iš jų. Tipinis MCDM uždavinys yra siejamas su problema: surikiuoti baigtinį skaičių sprendimo alternatyvų, iš kurių kiekviena yra tiksliai apibrėžta pagal įvairius kriterijus, į kuriuos atsižvelgiama vienu metu.



3.13 pav. Laiptų formų parinkimo kriterijų svoriai
Fig. 3.13. Criteria weights of stairs shape selection

Daugiakriterės diskrečios optimizacijos uždavinys yra apibrėžiamas sprendimo priėmimo matrica, kuri sudaroma iš m tikslingų alternatyvų kriterijų reikšmių.

Tai yra m_{+1} tikslingų alternatyvų, kurios yra vertinamos pagal n kriterijų skaičių.

$$X = \begin{bmatrix} x_{01} & \cdots & x_{0j} & \cdots & x_{0n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{i1} & \cdots & x_{ij} & \cdots & x_{in} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mj} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}; \qquad i = \overline{0, m};\ j = \overline{1, n}, \tag{3.9}$$

čia m_{+1} – alternatyvų skaičius, n – kiekvienos alternatyvos vertinimo kriterijų skaičius. Sujungti gautieji rezultatai pateikti E priedo E.2 ir skyriaus 3.20 lentelėse. Alternatyvų rangai (kuris kriterijus kaip vertinamas) pavaizduoti 3.14 ir 3.15 paveiksluose. Rezultatai integruoti į 3.21 lentelę.

3.20 lentelė. Alternatyvų suskirstymas rangais kai į vertinimą yra įtraukti kriterijų svoriai
Table 3.20. Ranking of alternatives when criteria weights are considered

Alternatyvos	Alternatyvų suskirstymas rangais							Rangai	
	SAW	Bayes	MEW	TOPSIS	EDAS	ARAS	FM	Vidutinis	Galutinis
A_1	1	2	2	4	2	1	2	2,3	1
A_2	2	3	3	5	3	3	1	3,3	3
A_3	7	7	10	7	7	7	12	9,5	9
A_4	5	1	7	6	4	4	10	6,2	5
A_5	13	13	12	13	13	13	13	15,0	13
A_6	14	15	14	14	14	14	14	16,5	14
A_7	15	14	15	15	15	15	15	17,3	15
A_8	16	16	16	16	16	16	16	18,7	16
A_9	4	5	4	2	5	5	4	4,8	4
A_{10}	6	6	5	3	6	6	7	6,5	6
A_{11}	8	9	8	8	8	8	5	9,0	7
A_{12}	3	4	1	1	1	2	3	2,5	2
A_{13}	9	8	6	9	9	9	6	9,3	8
A_{14}	11	11	11	11	11	11	8	12,3	11
A_{15}	10	10	9	10	10	10	9	11,3	10
A_{16}	12	12	13	12	12	12	11	14,0	12

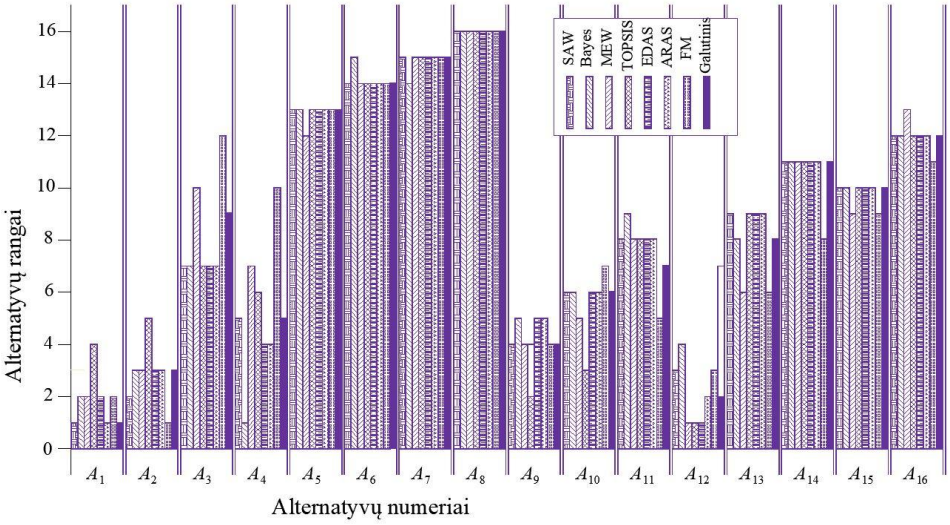
Šis uždavinys buvo spręstas ir LEVI 3.1 programa, kurioje yra aprašyti diskretieji dviejų asmenų lošimų teorijos metodai su nuline mokėjimo suma. Šioje programoje yra TOPSIS metodas artumo idealiam taškui parinkti. Pirmiausia uždavinys buvo išspręstas naudojant Bayes ir Laplac‘e taisykles. Kitame etape buvo panaudotas EDAS metodas. Toliau uždavinys buvo sprendžiamas taikant SAW metodą. 3.21 lentelėje pateikta galutinė lentelė išsprendus keliais metodais. Paprastai paimama rangų suma pagal kiekvieną metodą paeiliui. Ir kuo rangas mažesnis, tuo geresnis rezultatas. Surikiuojama, kiekvienam priskiriamas rangas, kuo mažesnė suma, tuo geresnis rezultatas. Gauta, kad A_1 ir A_{12} yra geriausios alternatyvos, o blogiausia – A_8.

Alternatyvų suskirstymo rangais nuoseklumui patikrinti naudojamas ekspertų apklausos metodas (Medineckienė *et al.* 2015).

Apskaičiuojamos koeficientų reikšmės:

- Kendelo (konkordancijos) koeficientas $W = 0{,}938$;
- konkordancijos koeficiento reikšmė $X^2_{a,v} = 98{,}5$;
- konkordancijos lentelės reikšmė $X^2_{tabl.} = 32$;
- sprendžiamų problemų laisvės laipsnių skaičius $v = n - 1 = 16 - 1 = 15$;
- ekspertų vertinimų palyginamumas yra $X^2_{a,v} = 98{,}5 \succ X^2_{tabl.} = 32$ (lentelės reikšmė yra mažesnė už suskaičiuotą konkordancijos koeficiento reikšmę).

Vadinasi, pasirinktieji metodai alternatyvas surikiavo nuosekliai ir suderinti tarpusavyje.



3.14 pav. Alternatyvų suskirstymas rangais pagal kriterijų svorius
Fig. 3.14. Ranks of alternatives when weights of criteria are considered

Galutiniai alternatyvų rangai yra šie:

$$A_1 \approx A_{12} \succ A_2 \succ A_9 \succ A_4 \succ A_{10} \succ A_{11} \succ A_{13} \succ A_3 \approx A_{14} \succ A_{15} \succ A_{16} \succ A_5 \succ A_6 \succ A_7 \succ A_8;$$

pagal EDAS metodą:

$$A_{12} \succ A_1 \succ A_2 \succ A_4 \succ A_9 \succ A_{10} \succ A_3 \succ A_{11} \succ A_{13} \succ A_{15} \succ A_{14} \succ A_{16} \succ A_5 \succ A_6 \succ A_7 \succ A_8;$$

pagal TOPSIS metodą:

$$A_{12} \succ A_9 \succ A_{10} \succ A_1 \succ A_2 \succ A_4 \succ A_3 \succ A_{11} \succ A_{13} \succ A_{15} \succ A_{14} \succ A_{16} \succ A_5 \succ A_6 \succ A_7 \succ A_8;$$

pagal ARAS metodą:

$$A_1 \succ A_{12} \succ A_2 \succ A_4 \succ A_9 \succ A_{10} \succ A_3 \succ A_{11} \succ A_{13} \succ A_{15} \succ A_{14} \succ A_{16} \succ A_5 \succ A_6 \succ A_7 \succ A_8.$$

3.21 lentelė. Alternatyvų suskirstymas rangais, kai kriterijų reikšmės į vertinimą neįtraukiamos

Table 3.21. Ranking of alternatives when criteria weights are not considered

Alternatyvos	FM	Laplac‘e taisyklė	TOPSIS	Galutinis	Vidutinis
A_1	2	1	1	1	1,33
A_2	1	2	2	2	1,67
A_3	12	12	7	11	10,33
A_4	10	8	4	7	7,33
A_5	13	14	13	13	13,33
A_6	14	13	14	14	13,67
A_7	15	16	15	15	15,33
A_8	16	15	16	16	15,67
A_9	4	4	5	4	4,33
A_{10}	7	5	6	5	6,00
A_{11}	5	7	8	6	6,67
A_{12}	3	3	3	3	3,00
A_{13}	6	9	9	8	8,00
A_{14}	8	8	10	9	8,67
A_{15}	9	10	11	10	10,00
A_{16}	11	11	12	12	11,33

Galutinis suskirstymas rangais kinta šia seka:

$$A_1 \succ A_2 \succ A_{12} \succ A_9 \succ A_{10} \succ A_{11} \succ A_4 \succ A_{13} \succ A_{14} \succ A_{15} \succ A_3 \succ A_{16} \succ A_5 \succ A_6 \succ A_7 \succ A_8;$$

pagal FM metodą:

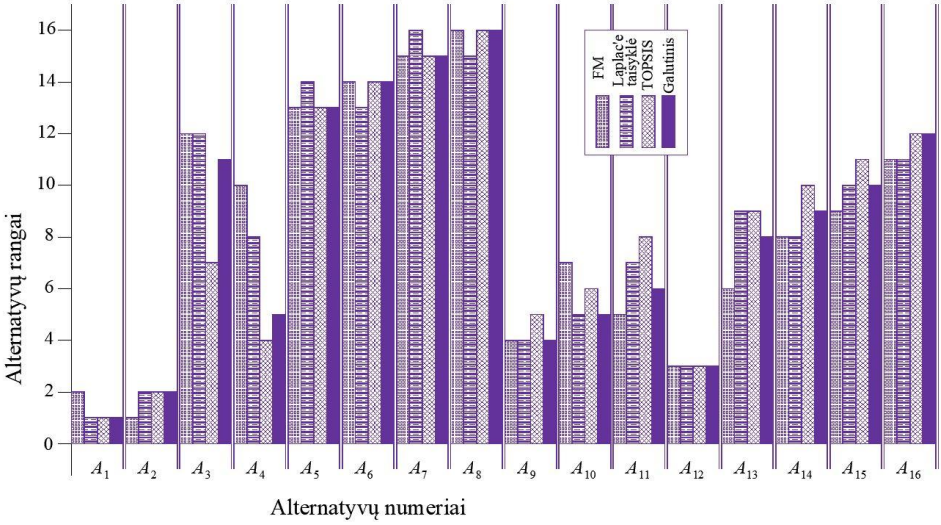
$A_2 \succ A_1 \succ A_{12} \succ A_9 \succ A_{11} \succ A_{13} \succ A_{10} \succ A_{14} \succ A_{15} \succ A_4 \succ A_{16} \succ A_3 \succ A_5 \succ A_6 \succ A_7 \succ A_8$;

pagal Laplac‘e taisyklę:

$A_1 \succ A_2 \succ A_{12} \succ A_9 \succ A_{10} \succ A_{11} \succ A_{14} \succ A_4 \succ A_{13} \succ A_{15} \succ A_{16} \succ A_3 \succ A_6 \succ A_5 \succ A_8 \succ A_7$;

pagal TOPSIS metodą su vienodais svoriais:

$A_1 \succ A_2 \succ A_{12} \succ A_4 \succ A_9 \succ A_{10} \succ A_3 \succ A_{11} \succ A_{13} \succ A_{15} \succ A_{14} \succ A_{16} \succ A_5 \succ A_6 \succ A_7 \succ A_8$.



3.15 pav. Alternatyvų, suskirstytų rangais, kai kriterijų reikšmės į vertinimą neįtraukiamos, vaizdas

Fig. 3.15. Ranks of alternatives when are not included weights of criteria

Keturios geriausios alternatyvos A_1, A_2, A_9 *ir* A_{12} yra vienodos įskaitant $(A_1 \approx A_{12} \succ A_2 \succ A_9)$ arba neįskaitant kriterijų svorių $(A_1 \succ A_2 \succ A_{12} \succ A_9)$. Prasčiausios keturios alternatyvos A_5, A_6, A_7 *ir* A_8 yra vienodos visais atvejais nepaisant kriterijų svorių vertinimo $(A_5 \succ A_6 \succ A_7 \succ A_8)$.

Pagal rangą antrajam ketvertui priklauso šios alternatyvos A_4, A_{10}, A_{11} *ir* A_{13} įskaitant $(A_4 \succ A_{10} \succ A_{11} \succ A_{13})$ ir neįskaitant $(A_{10} \succ A_{11} \succ A_4 \succ A_{13})$ kriterijų svorius.

Pagal problemos sprendimo rezultatus geriausia alternatyva yra $A_1 \approx A_{12}$.

3.4. Trečiojo skyriaus išvados

1. Tvarios statybos principai numato, kad visos trys tvarumo charakteristikos (aplinkosaugos, ekonominės ir socialinės) yra taikytinos ir individualiuose sklypuose statomiems statiniams. Statant vienbučius namus, turi būti visapusiškai išnagrinėti galimi teigiami ir neigiami statybos ir eksploatavimo ypatumai. Šis vertinimas svarbus ne tik parenkant tinkamiausias alternatyvas, bet kartu leidžia eksploatavimo, remonto ar modernizavimo laikotarpiais išvengti didelių išlaidų.
2. Atlikus kartotinių vienbučių namų projektų garažo padėties analizę, pasiūlytos šešios alternatyvos. Disertacijoje siūloma garažo padėtį vertinti pagal 4 ekspertų parinktus kriterijus. Skirstant kriterijus rangais, labiausiai išsiskyrė ekspertų, vertinančių kontekstualumą ir estetiką, nuomonės. Vertinant vidinį funkcinį ryšį, ekspertų nuomonės buvo gana vieningos. Šiam uždaviniui spręsti pritaikyti daugiakriterio vertinimo metodai AHP ir WASPAS-SVNS.
3. Analizuojant vienbučių namų paklausą, energijos vartojimo efektyvumo reikalavimus, kitų mokslininkų atliktus tyrimus ir atsižvelgiant į Europos parlamento ir Tarybos direktyvas, parinktas 21 tvarumo principų vertinimo kriterijus. Šie kriterijai bendru ekspertu sutarimu buvo sugrupuoti pagal specifines savybes ar matavimo vienetą (sujungus liko 8 kriterijai). Skirstant kriterijus rangais pastebėta, kad statybos inžinerijos įvairių sričių atstovai pirmenybė teikia savo srities parametrams: statybos inžinieriai svarbesniais laiko inžinerinius aspektus (šalčio tiltelių eliminavimą ir sienų laikomąją galią), architektūros inžinieriai ir dizaineris – architektūrinius (ekologiškumą, estetiką, namo padėties sklype įtaką). Elementų ir medžiagų kainos kriterijų, kaip vieną svarbiausių, išskyrė praktiškai visi ekspertai. Šiais principais grindžiamam uždaviniui spręsti pritaikyti daugiakriterio vertinimo metodai SWARA ir MULTIMOORA-SVNS.
4. Sukurtų vienbučių namų konstrukcijų ir medžiagų parinkimo modelio jautrumas tirtas panaudojant 9 būsimų klientų, kurie neturi patirties šioje srityje, apklausos rezultatus. Įvertinus rezultatus, pastebėta, kad visi klientai kainą nurodė kaip didžiausią prioritetą, antroje vietoje buvo – ilgalaikiškumas.
5. Pagal tvarumo vertinimo kriterijus pasiūlyta vienbučių namų konstrukcinių elementų ir medžiagų parinkimo schema, kurios realus įgyvendinimas būsimiems vienbučių namų savininkams suteiktų gali-

mybę pagal tvarumo aspektus pasirinkti tinkamiausius konstrukcinius namo elementus ir medžiagas.

6. Spręstame laiptų formų parinkimo uždavinyje pasirinkta šešiolika alternatyvų, suformuotų tiesių, Π ir L formos laiptatakių pagrindu. Alternatyvų vertinimui parinktieji kriterijai apima ploto, kainos, ergonomiškumo, estetinio vaizdo ir technologiškumo aspektus. Tyrimo rezultatai parodė, kad ergonomiškumo ir estetinio vaizdo kriterijų svarba vienbučiam namui yra svarbiausios. Šiam uždaviniui spręsti pritaikyti daugiakriterio vertinimo metodų deriniai: AHP, SAW, MEW, TOPSIS, FM, EDAS, ARAS ir žaidimų teorijos Bayes ir Laplac‘e taisyklės. Panaudojus autorės pasirinktus metodus, alternatyvas sudėtos nuosekliai ir kriterijai neprieštarauja vienas kitam.

7. Pastatų pagrindinių konstrukcijų elementų ir medžiagų parinkimo tyrimo rezultatai pagrindė vienbučio namo kriterijų parinkimą ir pasiūlė paprastą bei efektyvų metodą. Remdamiesi šiuo metodu, sprendimo priėmėjai gali parinkti elementus ir medžiagas pagal tvarumo ypatumus.

Bendrosios išvados

1. Išnagrinėjus literatūrą, nustatyta, kad nepavyko atrasti modelio, kompleksiškai vertinančio vienbučių namų konstrukcinių elementų ir medžiagų parinkimą pagal tvarumo ypatumus.
2. Atlikus literatūros analizę, prieita prie išvados, kad vienbučių namų projektiniai sprendiniai gan dažnai apima tik atskirus aspektus: sienų medžiagų parinkimą, namo konstrukcinių elementų poveikio aplinkai vertinimą ir pan. Sudarytas tvaraus vienbučio namo projektinių sprendinių kompleksinis vertinimo modelis leidžia atlikti daugiakriterę analizę, kompleksiškai vertinant konstrukcinius elementus ir medžiagas, kurių parametrai atitinka ilgalaikiškumo, ekologiškumo, šalčio tiltelių mažinimo parametrus.
3. Išanalizavus LR galiojančius teisės aktus, susijusius su vienbučių namų projektavimu ir statyba, nustatyta, kad statinių zonavimas, konstrukcinių elementų ir medžiagų parinkimas nepakankamai reglamentuotas. Nustatytas poreikis atlikti mokslinius tyrimus ir parengti šių pastatų projektavimo vertinimo rekomendacijas.
4. Taikant tyrimus, susijusius su daugiakriterio sprendimo priėmimo metodų taikymo galimybėmis statybos uždaviniams spręsti, nustatyta, kad daugiakriterė sprendimo priėmimo teorija gali būti pagrįstai

remiamasi parenkant kartotinių vienbučių namų pagrindinius konstrukcinius elementus ir medžiagas ir ieškant sprendimo garažui įrengti.

5. Aptarta bazinė kriterijų sistema, apimanti vienbučių namų pagrindinių konstrukcijų ir medžiagų parinkimo, statybos normų reikalavimų, energijos taupymo, komfortiškos gyvenamosios aplinkos kūrimo, sudaro galimybes ieškoti tvarumu pagrįstų kompromisinių sprendimų, taikant daugiakriterius sprendimo priėmimo metodus.

6. Atliktas vienbučių namų vertinimas atsižvelgiant į tvarios plėtros principus. Skirtingiems uždaviniams spręsti ir projektiniams sprendiniams pritaikyti moksliškai pagrįsti daugiakriterio vertinimo metodai:
   - Sudarytas konstrukcinių elementų ir medžiagų parinkimo kompleksinis modelis, pagrįstas daugiakritere sprendimo priėmimo teorija, parinkti SWARA ir MULTIMOORA-SVNS metodai patikrinti remiantis literatūros analize. Atlikus 21 kriterijaus vertinimą, nustatyta, kad dalis kriterijų apibūdina arba vienodą aspektą, arba mato vienetą. Remiantis literatūros analize, kriterijai šiuo principu jie apjungti (8 kriterijai). Nustatyta, kad kaina ir konstrukcinio sprendinio šalčio eliminavimo parametrai sudaro 50,32 % nuo bendros kriterijų sumos.
   - Sudarytas garažo padėties parinkimo šalia vienbučio namo sklype modelis, pritaikant AHP ir WASPAS-SVNS metodus. Metodai parinkti atlikus literatūros analizę ir nustačius gana nedidelį kriterijų skaičių. Nustatyta, kad iš 4 parinktų kriterijų vidinis funkcinis ryšys ir kontekstualumas sudaro net 74 % nuo bendros kriterijų sumos.
   - Sudarytas vienbučių namo vidinių laiptų formos parinkimo modelis, pritaikant sprendimo priėmimo metodų kompleksą AHP + EDAS, SAW, MEW, TOPSIS, ARAS, Bayes, FM. Skaičiavimai atlikti dviem etapais. Laiptų kintamo pločio pakopų grafiniai metodai įvertinti pagal geometrinius parametrus ir nustatytas racionaliausias proporcijų metodas. Nustatyta, kad iš 8 parinktų kriterijų ergonomiškumas ir kaina sudaro net 40,8 % nuo bendros kriterijų sumos.

Literatūra ir šaltiniai

Adekunle, T. O.; Nikolopoulou, M. 2016. Thermal comfort, summertime temperatures and overheating in prefabricated timber housing, *Building and Environment* 103: 21–35.

Ahi, P.; Searcy, C. 2015. Assessing sustainability in the supply chain: A triple bottom line approach, *Applied Mathematical Modelling* 39(10–11): 2882–289.

Ahmad, T.; Thaheem, M. J. 2017. Developing a residential building-related social sustainability assessment framework and its implications for BIM, *Sustainable Cities and Society* 28: 1–15.

Ahvenniemi, H.; Huovila, A.; Pinto-Seppa, I.; Airaksinen, M. 2017. What are the differences between sustainable and smart cities? *Cities* 60: 234–245.

Akadiri, P. O. 2015. Understanding barriers affecting the selection of sustainable materials in building projects, *Journal of Building Engineering* 4: 86–93.

Akadiri, P. O.; Olomolaiye, P.O.; Chinyio, E.A. 2013. Multi-criteria evaluation model for the selection of sustainable materials for building projects, *Automation in Construction* 30: 113–125.

Alchapar, N. L.; Correa, E. 2016. Aging of roof coatings, Solar reflectance stability according to their morphological characteristics, *Construction and Building Materials* 102: 297–305.

ALFA 2010. Viktorija Buzytė. Gyvenamoji aplinka ir sveikata. [interaktyvus] [žiūrėta 2016 m. liepos 5 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.alfa.lt/straipsnis/10418538/gyvenamoji-aplinka-ir-sveikata>.

Alsaadani, S.; De Souza, C. B. 2016. Of collaboration or condemnation? Exploring the promise and pitfalls of architect-consultant collaborations for building performance simulation, *Energy Research & Social Science* 19: 21–36.

Al-Sanea, S. A.; Zedan, M. F.; Al-Mujahid, A. M.; Al-Suhaibani, Z. A. 2016. Optimum R-values of building walls under different climatic conditions in the Kingdom of Saudi Arabia, *Applied Thermal Engineering* 96(5): 92–106.

Altuntas, S.; Dereli, T.; Yilmaz, M. K. 2015. Evaluation of excavator technologies: application of data fusion based MULTIMOORA methods, *Journal of Civil Engineering and Management* 21(8): 977–997.

Alvarez, M. E. P.; Barcena, M. M.; Gonzalez, F. A. 2017. On the sustainability of machining processes, Proposal for a unified framework through the triple bottom-line from an understanding review, *Journal of Cleaner Production* 142(4): 3890–3904.

AM 2007. Gyventojai prioritetus teikia būsto kokybei ir aplinkai. [interaktyvus] [žiūrėta 2016 m. liepos 7 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.am.lt/VI/article.php3? article_id=6689>.

Antucheviciene, J.; Zakarevicius, A.; Zavadskas, E. K. 2011. Measuring Congruence of Ranking Results Applying Particular MCDM Metods, *Informatica* 22(3): 319–338.

Antuchevičienė, J.; Zavadskas, E. K.; Turskis, Z. 2015. Evaluating and selecting a contractor for a construction company by using novel method for multi-attribute analysis: Weighted Aggregated Sum Product ASsessment with Grey values (WASPAS-G) method, *Studies in Informatics and Control* 24(2): 141–150.

Atzeri, A. M.; Cappelletti, F.;Tzempelikos, A.; Gasparella, A. 2016. Comfort metrics for an integrated evaluation of buildings performance, *Energy and Buildings* 127: 411–424.

Baglivo, C.; Congedo P.M. 2016. High performance precast external walls for cold climate by a multi-criteria methodology, *Energy* 115 (1), 561–576.

Baglivo, C.; Congedo, P. M.; Fazio, A. 2014. Multi-criteria optimization analysis of external walls according to ITACA protocol for zero energy buildings in the mediterranean climate, *Building and Environment* 82: 467–480.

Balezentis, T., Zeng, S. 2013. Groupmulti-criteria decision making based upon interval-valued fuzzy numbers: an extension of the MULTIMOORA method, *Expert Systems with Applications* 40(2): 543–550.

Balezentis, T., Zeng, S., Balezentis, A. 2014., MULTIMOORA-IFN: a MCDM method based on intuitionistic fuzzy number for performance management, *Economic Computation & Economic Cybernetics Studies & Research* 48(4): 85–102.

Balyani, H. H.; Sohani, A.; Sayyaadi, H.; Karami, R. 2015. Acquiring the best cooling strategy based on thermal comfort and 3E analyses for small scale residential buildings at diverse climatic conditions, *International Journal of Refrigeration* 57: 112–137.

Blyberg, L.;, Lang, M.; Lundstedt, K.; Schander, M.; Serrano, E.; Silfverhielm, M.; Stålhandske, C. 2014. Glass, timber and adhesive joints – Innovative load bearing building components, *Construction and Building Materials* 55: 470–478.

Bolis, I.; Morioka, S. N.; Sznelwar, L. I. 2017. Are we making decisions in a sustainable way? A comprehensive literature review about rationalities for sustainable development, *Journal of Cleaner Production*, 145: 310–322.

Brauers, W. K. M., Balezentis, A., Balezentis, T. 2011. MULTIMOORA for the EU Member States updated with fuzzy number theory, *Technological and Economic Development of Economy* 17(2): 259–290.

Brauers, W. K. M., Zavadskas, E. K. 2010. Project management by MULTIMOORA as an instrument for transition economies, *Technological and Economic Development of Economy* 16(1): 5–24.

Brauers, W. K. M., Zavadskas, E. K. 2011. MULTIMOORA Optimization Used to Decide on a Bank Loan to Buy Property, *Technological and Economic Development of Economy* 17(1): 174–188.

Brauers, W.K.M.; Zavadskas, E.K. 2006. The MOORA method and its application to privatization in a transition economy, *Control and Cybernetics* 35(2): 445–469.

Brauers, W. K. M.; Zavadskas, E. K.; Kildienė, S. 2014. Was the Construction Sector in 20 European Countries Anti-cyclical during the Recession Years 2008–2009 as Measured by Multicriteria Analysis (MULTIMOORA)? *Procedia Computer Science* 31: 949–956.

Bridgman, P. W. 1922. Dimensional Analysis. New Haven. Yale University Press, 140 p.

Carlucci, S.; Causone, F.; De Rosa, F.; Pagliano, L. 2015. A review of indices for assessing visual comfort with a view to their use in optimization processes to support building integrated design, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 47: 1016–1033.

Chakraborty, S.; Zavadskas, E. K.; Antuchevičienė, J. 2015. Applications of WASPAS method as a multi-criteria decision making tool, *Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research (ECECSR).* Bucharest: Academy of Economic Studies. ISSN 0424-267X, 49(1): 5–22.

Chardon, S.; Brangeon, B.; Bozonnet, E.; Inard, C. 2016. Construction cost and energy performance of single family houses: From integrated design to automated optimization, *Automation in Construction* 70: 1–13.

Chen, S. J.; Hwang, C. L. 1992. Fuzzy Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications, Springer-Verlag, New York. 536 p.

Ciancio, D.; Jaquin, P.; Walker, P. 2013. Advances on the assessment of soil suitability for rammed earth, *Construction and Building Materials* 42: 40–47.

Croitoru, C.; Nastase, I.; Sandu, M.; Lungu, C. 2016. Multi-criteria design and impact on energy consumption of a residential house – a parametric study, *Energy Procedia* 85: 141–148.

Dehnavi, A.; Aghdam, I. N.; Pradhan, B.; Varzandeh, M. H. M. 2015. A new hybrid model using step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA) technique and adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) for regional landslide hazard assessment in Iran, *CATENA* 135: 122–148.

Desogus, G.; Di Benedetto, S.; Ricciu, R. 2015. The use of adaptive thermal comfort models to evaluate the summer performance of a Mediterranean earth building, *Energy and Buildings* 104: 350–359.

Dezhi, L.; Yanchao, C.; Hongxia, C.; Kai, G.; Hui, E. C.; Yangd, J. 2016. Assessing the integrated sustainability of a public rental housing project from the perspective of complex eco-system, *Habitat International* 53: 546–555.

Ehsan Kian, M. R.; Sun, M.; Bosché, F. 2016. A Consistency-checking Consensus-building Method to Assess Complexity of Energy Megaprojects, *Procedia – Social and Behavioral Sciences* 226: 43–50.

Eternit Baltic. 3D skaičiuoklė. [interaktyvus] [žiūrėta 2017 m. sausio 16d.] Prieiga per internetą: <http://www.eternit.lt/c/skaiciuokle.97/>.

EUR-Lex 2007. Pasiūlymas Europos parlamento ir Tarybos reglamentas dėl gyventojų ir būstų surašymų /* KOM/2007/0069 galutinis – COD 2007/0032 */. [interaktyvus] [žiūrėta 2016 m. liepos 5 d.]. Prieiga per internetą: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/?uri=CELEX%3A52007PC0069>.

EUR-Lex 2010. EUR-Lex – 32010L0031 – LT. Directive 2010/31/eu of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings. [interaktyvus] [žiūrėta 2016 m. liepos 5 d.]. Prieiga per internetą: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX:32010L0031>.

Eurostat. Eurostat, Statistics Explained. Būsto sektoriaus statistika [interaktyvus] [žiūrėta 2016 m. lapkričio 21 d.]. Prieiga per internetą: <http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Housing_statistics/lt>.

Ferrari, C.; Touchaei, A. G.; Sleiman, M.; Libbra, A.; Muscio, A.; Siligardi, C.; Akbari, H. 2014. Effect of aging processes on solar reflectivity of clay roof tiles, *Advances in Building Energy Research* 8(1): 28–40.

Gagliano, A.; Detommaso, M.; Nocera, F.; Evola, G. 2015. A multi-criteria methodology for comparing the energy and environmental behavior of cool, green and traditional roofs, *Building and Environment* 90: 71–81.

Galaunytė, A. 2016. Tipinių vienbučių gyvenamųjų namų raida sovietinėje Lietuvoje, iš *K. Šešelgio skaitymai – 2016, „Mokslas – Lietuvos ateitis“*. [interaktyvus] [žiūrėta 2017 m. sausio 20 d.]. Prieiga per internetą: <www.mla.vgtu.lt/index.php/mla/article/download/858/pdf>.

Gauthier, F.; Lagacé, D. 2015. Critical success factors in the development and implementation of special purpose industrial tools: An ergonomic perspective. *Procedia Manufacturi*ng 3: 5639–5646.

Ghedamsi, R.; Settou, N.; Gouareh, A.; Khamouli, A.; Saifi, N.; Recioui, B.; Dokkar, B. 2016. Modeling and forecasting energy consumption for residentialbuildings in Algeria using bottom-up approach, *Energy and Buildings* 121 (1): 309–317.

Ghosh, G.; Ray-Chaudhuri, S. 2016. Location sensitivity of fundamental and higher mode shapes in localization of damage within a building, *Journal of Soundand Vibration* 365: 244–259.

Ginevičius, R.; Podvezko, V. 2004. Assessing the accuracy of expert methods, *Inžinerinė Ekonomika* 5(40): 7–12.

Gottschall, J. S.; Aghazarian, G. S.; Rohrbach, E. A. 2010. The metabolic and muscular differences between two stair-climbing strategies of young adults, *Journal of Strength and Conditioning Research* 24(9): 2558–2563.

Gou, Z.; Xie, X. 2017. Evolving green building: triple bottom line or regenerative design? *Journal of Cleaner Production* 153: 600–607.

Granadeiro, V.; Duarte, J. P.; Correia, J. R.; Leal, V. M. S. 2013. Building envelope shape design in early stages of the design process: Integrating architectural design systems and energy simulation, *Automation in Construction* 32: 196–209.

Guillen-Lambea, S.; Rodriguez-Soria, B.; Marín, J. M. 2016. Evaluation of the potential energy recovery for ventilation air in dwellings in the South of Europe, *Energy and Buildings* 128: 384–393.

Hafezalkotob, A.; Hafezalkotob, A. 2015. Comprehensive MULTIMOORA method with target-based attributes and integrated significant coefficients for materials selection in biomedical applications, *Materials & Design* 87: 949–959.

Han, Y.; Taylor, J. E.; Pisello, A. L. 2017. Exploring mutual shading and mutual reflection inter-building effects on building energy performance, *Applied Energy* 185: 1556–1564.

Hashemkhani Zolfani S., Salimi J., Maknoon R., Kildiene S. 2015. Technology Foresight About R&D Projects Selection; Application of SWARA Method at the Policy Making Level, *Inzinerine Ekonomika – Engineering Economics*, 26(5): 571–580.

Hashemkhani Zolfani, S.; Bahrami, M. 2014. Investment prioritizing in high tech industries based on SWARA-COPRAS approach, *Technological and Economic Development of Economy* 20: 534–553.

Hashemkhani Zolfani, S.; Pourhossein, M.; Yazdani, M.; Zavadskas, E. K. 2018. Evaluating construction projects of hotels based on environmental sustainability with MCDM framework, *Alexandria Engineering Journal*, 57(1): 357–365.

Hee, W. J.; Alghoul, M. A.; Bakhtyar, B.; Elayeb, O.; Shameri, M. A.; Alrubaih, M. S.; Sopian, K. 2015. The role of window glazing on day lighting and energy saving in buildings, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 42: 323–343.

Heinonen, J., Junnila, S. 2014. Residential energy consumption patterns and the overall housing energy requirements of urban and rural households in Finland, *Energy and Buildings* 76: 295–303.

Hester, J.; Gregory, J.; Kirchain, R., 2017. Sequential early-design guidance for residential single-family buildings using a probabilistic metamodel of energy consumption, *Energy and Building*s 134: 202–211.

Holmstedt, L.; Brandt, N.; Robert, K. H. 2017. Can Stockholm Royal Seaport be part of the puzzle towards global sustainability? – From local to global sustainability using the same set of criteria, *Journal of Cleaner Production* 140(1): 72–80.

Horváth, M.; Kassai-Szoó, D.; Csoknyai, T. 2016. Solar energy potential of roofs on urban level based on building typology, *Energy and Buildings* 111: 278–289.

Hwang, C. L.; Yoon, K. 1981. Multiple Attribute Decision Making. Methods and Applications A State-of-the-Art Survey. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems 186. Springer Berlin Heidelberg, 269 p.

Individualių namų projektai. Ekspertai.lt. [interaktyvus] [žiūrėta 2016 m. liepos 05 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.ekspertai.lt/individualiu_namu_projektai>.

Jin, J.; Jeong, J. 2014. Optimization of a free-form building shape to minimize external thermal load using genetic algorithm, *Energy and Buildings* 85: 473–482.

Ju, C.; Ning, Y.; Pan, W. 2016. A review of interdependence of sustainable building, *Environmental Impact Assessment Review* 56: 120–127.

Kaklauskas, A.; Zavadskas, E. K.; Cerkauskas, J.; Ubarte, I.; Banaitis, A.; Krutinis, M; Naimaviciene, J. 2015. Housing Health and Safety Decision Support System with Augmented Reality, *Procedia Engineering* 122: 143–150.

Kamali, M.; Hewage, K. 2017. Development of performance criteria for sustainability evaluation of modular versus conventional construction methods, *Journal of Cleaner Production* 142(4): 3592–3606.

Kang, N. N.; Kim, J. T.; Lee, T. K. 2014. A Study on the Healthy Housing Quality of Multi-family Attached House According to Dwelling Unit Age, *Energy Procedia* 62: 595–602.

Karabasevic, D.; Zavadskas, E. K.; Turskis, Z.; Stanujkic, D. 2016. The Framework for the Selection of Personnel Based on the SWARA and ARAS Methods Under Uncertainties, *Informatica* 27(1): 49–65.

Kendall, M. 1955. Rank Correlation Methods. Hafner Publishing House, New York.

Kersuliene, V.; Zavadskas, E. K.; Turskis, Z. 2010. Selection of rational dispute resolution method by applying new step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA), *Journal of Business Economics and Management* 11(2): 243–258.

Keshavarz Ghorabaee, M.; Zavadskas, E.K.; Olfat, L.; Turskis, Z. 2015. Multi-criteria inventory classification using a new method of Evaluation Based on Distance from Average Solution (EDAS), *Informatica* 26(3): 435–451.

Kharseh, M.; Al-Khawaja, M. 2016. Retrofitting measures for reducing buildings cooling requirements in cooling-dominated environment: Residential house, *Applied Thermal Engineering* 98: 352–356.

Kosanovic, S.; Fikfak, A. 2016. Development of criteria for ecological evaluation of private residential lots in urban areas, *Energy and Buildings* 115: 69–77.

Krarti, M.; Ihm P. 2009. Implementation of a building foundation heat transfer model in EnergyPlus, *Journal of Building Performance Simulation* 2(2): 127–142.

Krarti, M.; Ihm, P. 2016. Evaluation of net-zero energy residential buildings in the MENA region, *Sustainable Cities and Society* 22: 116–125.

Kreiner, H.; Passer A.; Wallbaum H. 2015. A new systemic approach to improve the sustainability performance of office buildings in the early design stage, *Energy and Buildings* 109: 385–396.

Kruisa, N.; Krarti, M. 2015. KivaTM: a numerical framework for improving foundation heat transfer calculations, *Journal of Building Performance Simulation* 8(6): 449–468.

Książek, M.; Nowak, P.; Rosłon, J.; Wieczorek, T. 2014. Multicriteria Assessment of Selected Solutions for the Building Structural Walls, *Procedia Engineering* 91: 406–411.

Kutut, V.; Zavadskas, E. K.; Lazauskas, M. 2014. Assessment of priority alternatives for preservation of historic buildings using model based on ARAS and AHP methods, *Archives of Civil and Mechanical Engineering* 14(2): 287–294.

Kuznik, F.; Johannes, K.; Franquet, E.;, Zalewski, L.; Gibout, S.; Tittelein, P.; Dumas, J.P.; David, D.; Bedecarrats, J.P.; Lassue, S. 2016. Impact of the enthalpy function on the simulation of a building with phase change material wall, *Energy and Buildings* 126: 220–229.

Kuznik, F.; Lopez, J. P. A.; Baillis, D.; Johannes, K. 2015. Phase change material wall optimization for heating using metamodeling, *Energy and Buildings* 106: 216–224.

Lee, K. O.; Medina, M. A.; Raith, E.; Sun, X. 2015. Assessing the integration of a thin phase change material (PCM) layer in a residential building wall for heat transfer reduction and management, *Applied Energy* 137: 699–706.

Liu, H. C.; Fan, X. J.; Li, P.; Chen, Y. Z. 2014. Evaluating the risk of failure modes with extended MULTIMOORA method under fuzzy environment, *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 34: 168–177.

Liu, H. C.; You, J. X.; Lu, C.; Chen, Y. Z. 2015. Evaluating health-care waste treatment technologies using a hybrid multi-criteria decision making model, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 41: 932–942.

Lizana, J.; Barrios-Padura, A.; Molina-Huelva, M.; Chacartegui, R. 2016. Multi-criteria assessment for the effective decision management in residential energy retrofitting, *Energy and Buildings* 129: 284–307.

MacCrimon, K. R. 1968. Decision making among multiple attribute alternatives: A survey and consolidated approach, RAND Memorandum, RM-4823-ARPA, 75 p.

Manzano-Agugliaro, F.;, Montoya, F. G.; Sabio-Ortega, A.; García-Cruz, A. 2015. Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal comfort, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 49: 736–755.

Mardani, A.; Nilashi, M.; Zakuan, N.; Loganathan, N.; Soheilirad, S.; Saman, M. Z. M.; Ibrahim, O. 2017a. A systematic review and meta-Analysis of SWARA and WASPAS methods: Theory and applications with recent fuzzy developments, *Applied Soft Computting* 57: 265–292.

Mardani, A.; Zavadskas, E. K.; Khalifah, Z.; Zakuan, N.; Jusoh, A.; Md Nor, K.; Masoumeh Khoshnoudi, M. 2017b. A review of multi-criteria decision making applications to solve energy management problems: Two decades from 1995 to 2015, *Renewable and Sustainable Energy Review*s 71: 216–256.

Martín-Gamboa, M.; Iribarren, D.; García-Gusano, D.; Dufour, J. 2017. A review of life-cycle approaches coupled with data envelopment analysis within multi-criteria decision analysis for sustainability assessment of energy systems, *Journal of Cleaner Production* 150: 164–174.

Mayagoitia, R. E.; Harding, J.; Kitchen, S. 2017. Identification of stair climbing ability levels in community-dwelling older adults based on the geometric mean of stair ascent and descent speed: The GeMSS classifier, *Applied Ergonomics* 58: 81–88.

Medineckiene, M.; Zavadskas, E. K.; Björk F.; Turskis Z. 2015. Multi-criteria decision making system for sustainable building assessment/certification, *Archives of Civil and Mechanical Engineering* 15: 11–18.

Menyhart, K.; Krarti, M. 2017. Potential energy savings from deployment of Dynamic Insulation Materials for US residential buildings, *Building and Environment* 114: 203–218.

Mikučionienė, R. 2014. Pastato energinių savybių darnaus valdymo modelis. Daktaro disertacija, Vilnius: Vilniaus Gedimino technikos universitetas.

Miller, G. A. 1956. The magical number seven, plus or minus two: Some limist in our capacity for processing information, *Psychological Review* 63 (2): 81–97.

Motuzienė, V.; Rogoža, A.; Lapinskienė, V.; Vilutienė, T. 2016. Construction solutions for energy efficient single-family house based on its life cycle multi-criteria analysis: a case study, *Journal of Cleaner Production* 112: 532–541.

Mulliner, E.; Smallbone, K.; Maliene, V. 2013. An assessment of sustainable housing affordability using a multiple criteria decision making method, *Omega* 41(2): 270–279.

Nakhaei, J.; Arefi, S. L.; Bitarafan, M.; Kildiene, S. 2016a. Evaluation of light supply in the public underground safe spaces by using of COPRAS-SWARA methods, *International Journal of Strategic Property Management* 20(2): 198–206.

Nakhaei, J.; Bitarafan, M.; Arefi, S. L.; Kaplinski, O. 2016b. Model for rapid assessment of vulnerability of office buildings to blast using SWARA and SMART methods (a case study of Swiss re tower), *Journal of Civil Engineering and Management* 22(6): 831–843.

Namų planai. [interaktyvus] [žiūrėta 2016 m. liepos 05 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.namuplanai.lt/>.

Namų projektai. ASA.LT. [interaktyvus] [žiūrėta 2016 m. liepos 05 d.]. Prieiga per internetą: <http://lt.lt.allconstructions.com/portal/categories/459/namu-projektai>.

Nemire, K.; Johnson, D. A.; Vidal, K. 2016. The science behind codes and standards for safe walkways: Changes in level, stairways, stair handrails and slip resistance, *Applied Ergonomics* 52: 309–316.

Neufert, E.; Neufert, P. 2012. Architect‘s Data. Third Edition. Blackwell Science. 191–193 p.

Nielsen, A. N.; Jensen, R. L.; Larsenm T. S.; Nissen, S.B. 2016. Early stage decision support for sustainable building renovation – A review, *Building and Environment* 103: 165–181.

Novak, A. C.; Komisar, V.; Maki, B. E.; Fernie, G. R. 2016. Age-related differences in dynamic balance control during stair descent and effect of varying step geometry, *Applied Ergonomics* 52: 275–284.

Oree, V.; Sayed Hassen, S. Z.; Fleming, P. J. 2017. Generation expansion planning optimisation with renewable energy integration: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 69: 790–803.

Ortiz, J.; Fonsecab, A.; Saloma, J.; Garridob, N.; Fonsecac, P.; Russo, V. 2016. Comfort and economic criteria for selecting passive measures for the energy refurbishment of residential buildings in Catalonia, *Energy and Buildings* 110: 195–210.

Panayiotou, G. P.; Kalogirou, S. A.; Tassou, S.A. 2016. Evaluation of the application of Phase Change materials (PCM) on the envelope of a typical dwelling in the Mediterranean region, *Renewable Energy* 97: 24–32.

Peng, J. J.; Wang, J. Q.; Zhang, H. Y.; Chen, X. H. 2014. An outranking approach for multi-criteria decision making problems with simplified neutrosophic sets, *Applied Soft Computing 25*: 336–346.

Pombo, O.; Allacker, K.; Rivela, B.; Neila, J. 2016. Sustainability assessment of energy saving measures: A multi-criteria approach for residential buildings retrofitting—A case study of the Spanish housing stock, *Energy and Buildings* 116: 384–394.

Premrov, M.; Leskovar, V. Z.; Mihalic, K. 2016. Influence of the building shape on the energy performance of timber-glass buildings in different climatic conditions, *Energy* 108 (1): 201–211.

Qi, F., Wang, Y. 2014. A new calculation method for shape coefficient of residential building using Google Earth, *Energy and Buildings* 76: 72–80.

Qu, X. 2015. Effects of lower-limb muscular fatigue on stair gait, *Journal of Biomechanics* 48(15): 4059–4064.

Raina, P.; Sohel, N.; Oremus, M.; Shannon, H.; Mony, P.; Kumar, R.; *et al.* 2015. Assessing global risk factors for non-fatal injuries from road traffic accidents and falls in

adults aged 35–70 years in 17 countries: a cross-sectional analysis of the Prospective Urban Rural Epidemiological (PURE) study.

Ramin, H.; Hanafizadeh, P.; Akhavan-Behabadi, M. A. 2015. Determination of optimum insulation thickness in different wall orientations and locations in Iran, *Advances in Building Energy Research* 10(2): 149–171.

Ramírez-Villegas, R.; Eriksson, O.; Olofsson, T. 2016. Assessment of renovation measures for a dwelling area – Impacts on energy efficiency and building certification, *Building and Environment* 97: 26–33.

Regitra 2016. Lietuvos kelių priemonių parkas dar padidėjo. [interaktyvus] [žiūrėta 2016 m. liepos 22 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.regitra.lt/lt/naujienos/transporto_registravimas/lietuvos_keliu_transporto_priemoniu_parkas_dar_padidejo>.

Rid, W.; Lammers, J.; Zimmermann, S. 2017. Analysing sustainability certification systems in the German housing sector from a theory of social institutions, *Ecological Indicators* 76: 97–110.

Rodriguez-Ubinas, E.; Rodriguez, S.; Voss, K.; Todorovic, M. S. 2014. Energy efficiency evaluation of zero energy houses, *Energy and Buildings* 83: 23–35.

Roys, M.S. 2001. Serious stair injuries can be prevented by improved stair design, *Applied Ergonomics* 32: 135–139.

Ruzgys, A.; Volvačiovas, R.; Ignatavičius, Č.; Turskis Z. 2014. Integrated evaluation of external wall insulation in residential buildings using SWARA-TODIM MCDM method, *Journal of Civil Engineering and Management* 20(1): 103–110.

Saaty, T. L. 1977. A scaling method for priorities in hierarchical structures, *Journal of Mathematical Psychology* 15(3): 234–281.

Saaty, T. L. 1980. The Analytic Hierarchy Process: planning, priority setting, resource allocation. McGraw-Hill, New York, USA. 287 p.

Saaty, T. L.; Vargas, L. G.; Kearns, K. P. 1991. The Logic of Priorities: Analytical Planning – The Organization of Systems, RWS Publications, 509 p.

Sandanayake, M.; Zhang, G.; Setunge, S. 2016. Environmental emissions at foundation construction stage of buildings – Two case studies, *Building and Environment* 95: 189–198.

Schiavoni, S.; D′Alessandro, F.; Bianchi, F.; Asdrubali, F. 2016. Insulation materials for the building sector: A review and comparative analysis, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 62: 988–1011.

Schoenwitz, M.; Potter, A.; Gosling, J.; Naim. M. 2017. Product, process and customer preference alignment in prefabricated house building, *International Journal of Production Economics* 183(A): 79–90.

Si, J.; Marjanovic-Halburd, L.; Nasiri, F.; Bell, S. 2016. Assessment of building-integrated green technologies: A review and case study on applications of Multi-Criteria Decision Making (MCDM) method, *Sustainable Cities and Society* 27: 106–115.

Silva, A. S.; Almeida, L. S. S.; Ghisi, E. 2016. Decision-making process for improving thermal and energy performance of residential buildings: A case study of constructive systems in Brazil, *Energy and Buildings* 128: 270–286.

Simanavičienė, R. 2011. Kiekybinių daugiatikslių sprendimo priėmimo metodų jautrumo analizė. Daktaro disertacija, Vilnius: Vilniaus Gedimino technikos universitetas.

Smarandache, F. A. 1999. Unifying Field in Logics. Neutrosophy: Neutrosophic probability, set and logic, American Research Press: Rehoboth, USA, 143 p.

SP 2014. Sustainability Problem. [interaktyvus] [žiūrėta 2017 m. sausio 23 d.] Prieiga per internetą: <http://www.thwink.org/sustain/glossary/Sustainability.htm>.

SPCS 2016. Juridinių asmenų, fizinių asmenų ir mokslo įstaigų parengtų REKOMENDACIJŲ dėl statinių statybos skaičiuojamųjų kainų nustatymo REGISTRAS. interaktyvus] [žiūrėta 2016 m. kovo 16 d.] Prieiga per internetą: <http://www.spsc.lt/cms/index.php?Itemid=326>.

Stanujkic, D.; Karabasevic, D.; Zavadskas, E. K. 2015. A Framework for the Selection of a Packaging Design Based on the SWARA Method, *Inzinerine Ekonomika – Engineering Economics* 26(2): 181–187.

Stanujkic, D.; Zavadskas, E. K.; Smarandache, F.; Brauers, W. K. M.; Karabasevic, D. 2017. A Neutrosophic Extension of the MULTIMOORA Method, *Informatica* 28(1): 181–192.

Startzell, J. K.; Owens, D. A.; Mulfinger, L. M. 2000. Stair Negotiation in Older People: A Review, *Journal American Geriatrics Society* 48(5): 567–580.

Step master. Laiptų skaičiuoklė. [interaktyvus] [žiūrėta 2017 m. sausio 16d.] Prieiga per internetą: <http://www.stepmaster.lt/laiptu-skaiciuokle.html>.

STR 2.02.01:2004. *Gyvenamieji pastatai*. Žin., 2004, Nr. 23-721; Žin., 2006, Nr.24-0.

STR 2.02.09:2005. *Vienbučiai ir dvibučiai gyvenamieji pastatai*. Žin.,2005, Nr.93-3464.

Štreimikienė, D.; Šliogerienė, J.; Turskis, Z. 2016. Multi-criteria analysis of electricity generation technologies in Lithuania, *Renewable Energy* 85: 148–156.

Sun, H.; Leng, M. 2015. Analysis on building energy performance of Tibetan traditional dwelling in cold rural area of Gannan, *Energy and Buildings* 96: 251–260.

Sušinskas, S.; Turskis, Z.; Stasiškis, A.; Valickas, J.; Rudžionis, Ž. 2014. The efficiency analysis of foundations for buildings with bearing walls for Lithuanian soil conditions, *Journal of Civil Engineering and Management* 20(6): 893–898.

Takebayashi, H.; Ishii, E.; Moriyama, M.; Sakaki, A.; Nakajima, S.; Ueda, H. 2015. Study to examine the potential for solar energy utilization based on the relationship between urban morphology and solar radiation gain on building rooftops and wall surfaces, *Solar Energy* 119: 362–369.

Toni, A.; Pakkala, T. A.; Kolio, A.; Lahdensivu, J.; Kiviste, M. 2014. Durability demands related to frost attack for Finnish concrete buildings in changing climate, *Building and Environment* 82: 27–41.

Tupėnaitė, L.; Zavadskas, E. K.; Kaklauskas, A.; Turskis, Z.; Seniut, M. 2010. Multiple criteria assessment of alternatives for built and human environment renovation, *Journal of Civil Engineering and Management* 16(2): 257–266.

Turskis, Z. 2008. Multi-attribute contractors ranking method by applying Ordering of feasible alternatives of solutions in terms of preferability technique, *Technological and Economic Development of Economy* 14(2): 224–239.

Turskis, Z. 2009. Daugiatikslio apsisprendimo metodai statinių gyvavimo ciklui modeliuoti, habilitacijos procedūrai teikiamų mokslo darbų apžvalga. Vilnius technika, p. 41.

Turskis, Z.; Zavadskas, E. K.; Antuchevičienė, J.; Kosareva, N. 2015. A hybrid model based on Fuzzy AHP and Fuzzy WASPAS for construction site selection, *International Journal of Computers, Communications & Control (IJCCC).* Oradea : Agora University Editing House. ISSN 1841-9836, 10(6): 873–888.

Turskis, Z.; Zavadskas, E. K.; Peldschus, F. 2009. Multi-criteria Optimization System for Decision Making in Construction Design and Management, *Engineering Economics* 61(1): 7–17.

Ubartė, I. 2017. Daugiakriterė sprendimų paramos ir rekomendacijų Sistema sveikam ir saugiam būstui užstatytoje aplinkoje vertinti. Daktaro disertacija, Vilnius: Vilniaus Gedimino technikos universitetas.

Ustinovičius, L.; Jakučionis, S. 2000. *Daugiakriterinių metodų taikymas vertinant senamiesčio pastatų renovacijos investicinius projektus*. Statyba, VI tomas, Nr. 4. Vilnius: Technika, p. 227–237.

Ustinovičius, L.; Zavadskas, E. K. 2004. Statybos investicijų efektyvumo sistemotechninis įvertinimas [Assessment of investment profitability in construction from technological perspectives]. Vilnius: Technika. 220 p.

Vallabhajosula, S.; Tan, C. W.; Mukherjee, M.; Davidson, A. J.; Stergiou, N. 2015. Biomechanical analyses of stair-climbing while dual-tasking, *Journal of Biomechanics* 48(6): 921–929.

Vilutienė, T.; Migilinskas, D.; Bružas, A. 2015. Holistic Approach to Assess the Sustainability and Utility of Refurbishment Measure, *Procedia Engineering* 122: 137–142.

Vucicevic, B.; Jovanović, M.; Afgan, N.; Turanjanin, V. 2014. Assessing the sustainability of the energy use of residential buildings in Belgrade through multi-criteria analysis, *Energy and Buildings* 69: 51–61.

Wang, H.; Smarandache, F.; Zhang, Y.Q.; Sunderraman, R. 2010. Single valued neutrosophic sets, *Multispace Multistructure* 4: 410–413.

PSO 2006. Housing-Health regulation in Europe. [interaktyvus] [žiūrėta 2016 m. liepos 5 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/0004/121837/e89278.pdf>.

Wright, A. 2008. What is the relationship between built form and energy use in dwellings? *Energy Policy* 36 (12): 4544–4547.

Xu, Z. 2015. Uncertain Multi-Attribute Decision Making: Methods and Applications, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Yang, M.; Lin, M.; Lin, Y.; Tsai, K. 2017. Multiobjective optimization design of green building envelope material using a non-dominated sorting genetic algorithm, *Applied Thermal Engineering* 111: 1255–1264.

Yas, E.; Ok, V. 2014. Evaluation of the effects of courtyard building shapes on solar heatgains and energy efficiency according to different climatic regions, *Energy and Buildings* 73: 192–199.

Yazdani, M.; Chatterjee, P.; Zavadskas, E. K.; Hashemkhani Zolfani, S. 2017. Integrated QFD-MCDM framework for green supplier selection, *Journal of Cleaner Production* 142(4): 3728–3740.

Yi, H.; Srinivasan, R. S.; Braham, W. W.; Tilley, D. R. 2017. An ecological understanding of net-zero energy building: Evaluation of sustainability based on emergy theory, *Journal of Cleaner Production* 143: 654–671.

Zavadskas, E. K.; Baušys, R.; Lazauskas, M. 2015a. Sustainable assessment of alternative sites for the construction of a waste incineration plant by applying WASPAS method with single-valued neutrosophic set, *Sustainability* 7(12): 15923–15936.

Zavadskas, E. K.; Antucheviciene, J.; Hajiagha, S. H. R.; Hashemi, S. S. 2015c. The Interval-Valued Intuitionistic Fuzzy MULTIMOORA Method for Group Decision Making in Engineering, *Mathematical Problems in Engineering* Article ID 560690 13 pages.

Zavadskas, E. K.; Antuchevicienė, J.; Seyed H.R.H.; Shide S.H. 2014a. Extension of weighted aggregated sum product assessment with interval-valued intuitionistic fuzzy numbers (WASPAS-IVIF), *Applied Soft Computing* 24: 1013–1021.

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

Zavadskas, E. K.; Peldschus, L.; Ustinovičius, L.; Turskis, Z. 2004. Lošimų teorija statybos technologijoje ir vadyboje. Vilnius: Technika. 196 p.

Zavadskas, E. K.; Simanauskas, L.; Kaklauskas, A. 1998. Sprendimų paramos sistemos statyboje. Vilnius: Technika. 235 p.

Zavadskas, E. K.; Sušinskas, S.; Daniūnas, A.; Turskis, Z.; Sivilevičius, H. 2012a. Multiple criteria selection of pile-column construction technology, *Journal of Civil Engineering and Management* 18(6): 834–842.

Zavadskas, E. K.; Turskis, Z. 2011. Multiple criteria decision making (MCDM) methods in economics: an overview, *Technological and Economic Development of Economy* 17(2): 397–427.

Zavadskas, E. K.; Turskis, Z., Kildienė, S. 2014c. State of art surveys of overviews on MCDM/MADM methods, *Technological and Economic Development of Economy* 20(1): 165–179.

Zavadskas, E. K.; Turskis, Z.; Antucheviciene, J.; Zakarevicius, A. 2012b. Optimization of Weighted Aggregated Sum Product Assessment, *Electronics & Electrical Engineering* 6(122): 3–6.

Zavadskas, E. K.; Turskis, Z.; Bagočius, V. 2015b. Multi-criteria selection of a construction site for a deep-water port in the Eastern Baltic Sea, *Applied Soft Computing Journal* 26:180–192.

Zavadskas, E. K.; Vilutienė, T.; Turskis, Z.; Šaparauskas, J. 2014b. Multi-criteria analysis of Projects' performance in construction, *Archives of Civil and Mechanical Engineering* 14: 114–121.

Zavadskas, E. K.; Zakarevicius, A.; Antucheviciene, J. 2006. Evaluation of ranking accuracy in multi-criteria decisions, *Informatica* 17(4): 601–618.

Zinzi, M. 2016. Exploring the potentialities of cool facades to improve the thermal response of Mediterranean residential buildings, *Solar Energy* 135: 386–397.

Савельев А. А. 2010. *Лестницы. Расчёт и монтаж*, "Издателъство аделант", 126 p.

Степанов, А. В.; Иванова, Г. И., Нечаев, Н. Н. 1993. *Архитектура и психология*. Стройиздат, 297 p.

Autorės mokslinių publikacijų disertacijos tema sąrašas

Straipsniai recenzuojamuose mokslo žurnaluose

Baušys, R.; Juodagalvienė, B. 2017. Garage location selection for residential house by WASPAS-SVNS method, Journal of Civil Engineering and Management 23(3): 421–429. (Clarivate Analytics, IF2016=1,546).

Turskis, Z.; Juodagalvienė, B. 2016. A novel hybrid multi-criteria decision making model to assess a stairs shape for dwelling houses, Journal of Civil Engineering and Management 22(8): 1055–1065. (Clarivate Analytics, IF2015=1,53).

Zavadskas, E. K.; Bausys, R.; Juodagalviene, B.; Garnyte-Sapranaviciene, I. 2017. Model for residential house element and material selection by neutrosophic MULTIMOORA method, Engineering Applications of Artificial Intelligence 64: 315–324. (Clarivate Analytics, IF2016=2,894).

Straipsniai kituose leidiniuose

Juodagalvienė, B. 2015a. Pirmieji laiptai ir jų pirmoji skaičiavimo formulė, iš *Inžinerinė ir kompiuterinė grafika*, „Inžinerinė grafika 2015“ konferencijos pranešimų medžiaga. Akademija: Aleksandro Stulginskio universitetas, 12–15. ISSN 2335-8661.

Juodagalvienė, B. 2015b. Laiptų patogumą nusakantis parametras „lipimo juosta“, iš *Inžinerinė ir kompiuterinė grafika*, „Inžinerinė grafika 2015“ konferencijos pranešimų medžiaga. Akademija: Aleksandro Stulginskio universitetas, 25–28. ISSN 2335-8661.

Juodagalvienė, B. 2015c. Laiptų kintamo pločio pakopų grafikos problemos sprendimas, iš *Inžinerinė ir kompiuterinė grafika*, „Inžinerinė grafika 2015“ konferencijos pranešimų medžiaga. Akademija: Aleksandro Stulginskio universitetas, 29–32. ISSN 2335-8661.

Juodagalvienė, B. 2015d. Laiptų dydžių parametras „vidutinis žmogaus žingsnis“, iš *Inžinerinė ir kompiuterinė grafika*, „Inžinerinė grafika 2015“ konferencijos pranešimų medžiaga. Akademija: Aleksandro Stulginskio universitetas, 16–19. ISSN 2335-8661.

Juodagalvienė, B. 2015e. Kintamo pločio laiptų pakopų projektavimo metodai, iš *Inžinerinė ir kompiuterinė grafika*, „Inžinerinė grafika 2015“ konferencijos pranešimų medžiaga. Akademija: Aleksandro Stulginskio universitetas, 20–24. ISSN 2335-8661.

Juodagalvienė, B. 2017a. Laiptai – pats nesaugiausias konstrukcinis pastato elementas, iš *Inžinerinė ir kompiuterinė grafika*, „Inžinerinė grafika 2017“ konferencijos pranešimų medžiaga. Akademija: Aleksandro Stulginskio universitetas, 51–55. ISSN 2335-8661.

Juodagalvienė, B. 2017b. Sloping roof modeling features and aspects of sustainability, in *14th International Conference "Engineering Graphics BALTGRAF-14"*, June 1–2, 2017, Tallinn, Estonia, 26–28.

Juodagalvienė, B. 2018a. Vienbučio namo architektūrinio sprendimo ir formos parinkimo ypatumai, iš *Inžinerinė ir kompiuterinė grafika*, „Inžinerinė grafika 2018“ konferencijos pranešimų medžiaga. Akademija: Aleksandro Stulginskio universitetas, 49–53. ISSN 2335-8661.

Juodagalvienė, B. 2018b. Vienbučio namo formos, pagrįstos tvarumo principais, vertinimas, iš *Inžinerinė ir kompiuterinė grafika*, „Inžinerinė grafika 2018“ konferencijos pranešimų medžiaga. Akademija: Aleksandro Stulginskio universitetas, 54–58. ISSN 2335-8661.

Juodagalvienė, B.; Garnytė-Sapranavičienė, I. 2016. Automobilių saugyklos padėties parinkimas vienbučiam namui naudojimo efektyvumo aspektu, iš *Inžinerinė ir kompiuterinė grafika*, konferencijos pranešimų medžiaga. Akademija: Aleksandro Stulginskio universitetas, 48–52. ISSN 2335-8661.

Juodagalvienė, B.; Turskis, Z.; Šaparauskas J.; Endriukaitytė, A. 2017. Integrated multi-criteria evaluation of house's plan shape based on the EDAS and SWARA methods, *Engineering Structures and Technologies* 9(3): 117–125. Vilnius; London: Technika; Taylor & Francis. ISSN 2029-882X.

Turskis, Z.; Juodagalvienė, B. 2015. A novel hybrid two-step group multi-attribute assessment model of stairs shape for two-story individual dwelling houses, in *13th International Conference "Engineering Graphics BALTGRAF-13"*, June 25–26, 2015, Vilnius, Lithuania, 102–107.

Summary in English

Introduction

Problem formulation

Sustainable development is one of the key criteria and biggest challenges in defining high-quality buildings. High-quality design of buildings ensures a healthy environment for their occupants and their energy efficiency as well as reduces the pressures on nature. With the energy efficiency requirements getting more stringent, the designs of single-family houses are subject to ever-increasing requirements, including the additional characteristics related to the application of sustainability principles. This encourages interest in design solutions for single-family houses among the designers of single-family housing as well as contractors, customers and clients. In addition, this highlights the relevance of a complex approach to the development of such solutions taking into account the energy efficiency, safety and aesthetic features of buildings.

The final design depends on people's needs and proper technical design deliverables (such as topographical, infrastructural and welfare solutions). At present, the majority of customers in European countries seek to build a safe and reliable single-family house at the lowest reasonable price. The existing models of design solutions, which involve the selection of elements and structural materials of single-family houses and are related to the competitive environment and economic variables, fail to take sufficient account of such factors as safety, durability, environmental friendliness and environmental impact. A modern single-family house must meet people's needs, be comfortable and safe and also meet the energy performance requirements. The rapid growth of individual housing

demand across the developed countries, including the EU, highlights the importance and relevance of design solutions for single-family houses.

Relevance of the thesis

The quality of single-family houses is defined by physical, compositional and psychological characteristics. In particular, physical characteristics define the structure of the house, the materials used and the integrated equipment (Ferrari *et al*. 2014; Al-Sanea *et al.* 2016). Compositional characteristics relate to indoor and spatial solutions (Qi, Wang 2014; Hee *et al*. 2015; Ghosh, Ray-Chaudhuri 2016). Finally, the space meant for satisfying the occupant's needs and ensuring security provides psychological comfort (Kang *et al.* 2014; Ubarte 2017). According to the information made available by the European Commission, one third of unintentional injuries occur in residential buildings (Eurostat). Of all the inner structural elements of single-family houses, the stairs have the biggest impact on human comfort (Vallabhajosula *et al*. 2015; Raina *et al*. 2015). Considering the physical, compositional and psychological characteristics, it can be stated that a single-family house is a complex structure whose design and construction cannot be limited to one of these features only. In order to build a good and efficient single-family house, it is important to produce a proper design, to perform a comprehensive analysis of the specificities of the customer's needs, of the life cycle of the designed house, of the different characteristics of structural elements and materials, and to determine ways to create a healthy environment for humans and reduce the negative footprint on nature.

Object of the thesis

The dissertation determine and analyzes the most important single-family house design characteristics that affect a safe, healthy and comfortable environment for a occupants from a sustainable development point of view.

Aim of the thesis

The dissertation aims to develop a set of multi-criteria selection models for architectural and structural solutions (such as structural elements and sustainable materials, shapes of internal staircases and options of garage positioning) for typical single-family houses based on technological, technical, economic and sustainability criteria.

Objectives of the thesis

The following tasks have to be addressed in order to achieve the aim of the thesis:

1. To analyze the scientific literature on the impact on sustainability from the choice of the shapes, materials and elements of buildings.
2. To examine the applicability of multi-criteria decision making techniques for the solution of complex construction tasks.
3. To develop multi-criteria models for the assessment of sustainability of single-family houses and the choice of materials; to establish sets of criteria and determine their weights based on various characteristics.

4. To apply multi-criteria assessment techniques for solving design tasks related to single-family houses.

Research methodology

The approaches used to achieve the objectives set out in the thesis included the analysis of scientific sources and generalization. Data derived from scientific sources served as a basis for developing a framework of criteria for the assessment of structural elements and sustainable materials in buildings. In addition, multi-criteria decision making techniques (such as AHP, SWARA, WASPAS, MULTIMOORA, SAW, Bayes, MEW, TOPSIS, EDAS, ARAS, FM), peer review, LEVI program, scenario simulation and comparison of calculation data were used to validate the integrated multi-criteria solution.

Scientific novelty of the thesis

The following results, which are new for construction engineering science, were obtained in the course of this dissertation:

1. A framework of criteria for the selection of the best solution, which was created to include the cost of structural elements, the prevention of cold bridges, the wall bearing capacity as well as the potential for localization, environmental friendliness, durability and aesthetics.
2. A framework of criteria for the selection of the best solution pertaining to the ergonomics of internal staircase of a single-family house.
3. A framework of criteria for the selection of the best solution pertaining to the positioning of a garage in relation to a single-family house. The methods applied for problem-solving included the new extension of WASPAS-SVNS method.
4. A proposed effective set of multi-criteria decision making techniques, composed of EDAS + SAW + MEW + TOPSIS + FM + ARAS methods.
5. A new extension of the MULTIMOORA-SVNS method, adapted for the tasks pertaining to the choice of structural elements and sustainable materials for single-family houses.

Practical value of the research findings

Research findings may be useful to design and construction businesses dealing with the design of typical and individual single-family houses as well as to customers – future owners of single-family houses. The results include the proposed multi-criteria valuation algorithms for the selection of elements (stairways) and sustainable materials as well as the positioning of a garage. Practical application of the proposed models can encourage the use of sustainable building materials and respect for environmental sustainability. A proposal to amend the table in the Construction Technical Regulation (CTR) on Residential Buildings and to complement it with information related to the angles of inclination of the flights of stairs has been submitted to the Ministry of Environment of the Republic of Lithuania in order to improve the safety and ergonomics of internal staircases.

Defended statements

1. A set of multi-criteria decision making techniques, if properly applied with due regard to the principles of sustainable development and growing energy performance requirements, allows to develop support frameworks for solutions pertaining to the selection of structural elements and materials.
2. The analysis and generalization of graphical methods of variable-width stair step design make it possible to choose the most rational approach, based on the installation technology and the comfort of climbing the stairs.
3. Application of multi-criteria decision making techniques allows the comparison of the optional solutions to tasks (such as options of garage positioning, sustainable materials and shapes of staircases of a single-family house) and the selection of the most rational alternative.

Approval of the findings

Fifteen articles have been published on the subject of this dissertation, including three articles in the Clarivate Analytics scientific journals (Turskis, Juodagalvienė 2016; Baušys, Juodagalvienė 2017; Zavadskas *et al.* 2017); one in scientific journals cited in other databases (Juodagalvienė *et al.* 2017); and eleven in other papers published on the occasion of various international and national conferences (Juodagalvienė 2015a; 2015b; 2015c; 2015d; 2015e; Turskis, Juodagalvienė 2015; Juodagalvienė, Garnytė-Sapranavičienė 2016; Juodagalvienė 2017a; 2017b; Juodagalvienė 2018a; 2018b).

The findings of dissertation research have been presented at six scientific conferences in Lithuania and abroad, including:

- The international conference BALTGRAF-13: the 13th international conference on engineering and computer graphics, 2015, Vilnius;
- National conferences on engineering and computer graphics (presentation of scientific reports), 2015, 2016, 2017, 2018, Kaunas;
- The international conference BALTGRAF-14: the 14th international conference on engineering and computer graphics, 2017, Tallinn, Estonia.

Structure of the dissertation

The dissertation consists of the following parts: an introduction, three chapters, general conclusions, the list of references and the list of publications. The total length of the dissertation is 132 pages, excluding annexes and including 49 numbered formulas, 34 figures and 26 tables. A total of 182 sources of literature were used as a reference for the purpose of this dissertation.

1. Analysis of scientific literature researching the solutions available for single-family houses

The common tendency of the last decade is a growing proportion of society that can afford to build an individual space – a single family residential house. This trend can also be distinguished in EU countries (Eurostat). This direction is related to the changes in urban design tendencies and people's desire to have a closer relationship with the natural environment. A single family residential house building sector consumes more and more

of the world's existing sources; it should become a pioneer in other building areas showing sustainability possibilities.

In today's extremely fast-changing world, sustainable development is becoming one of the most important factors in defining high-quality buildings, which create a healthy environment for humans and reduce the negative impact on the environment. As in other spheres of life, in the construction industry, the concept of sustainable development encompasses three main stages: economic (Lizana *et al.* 2016), social (Kamali, Hewage 2017) and environmental (Holmstedt *et al.* 2017; Kosanovic, Fikfak 2016) (Fig. S1.1).

Climate change and financial crisis have shown that the pursuit of quick profit and short-term goals can have very negative consequences. In order to substantiate this claim, the scientific literature emphasizes a key objective of the sustainability: a sustainable and fair use of valuable economic resources will help to conserve and nurture the environment.

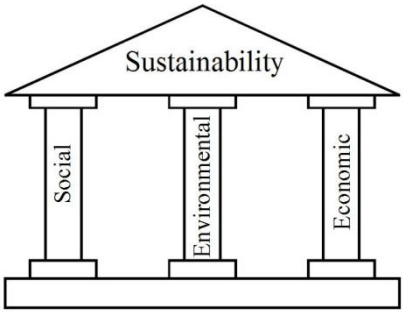


Fig. S1.1. The Three Pillars of Sustainability (according to SP 2014)

The research mainly deals with the sustainability aspects of the buildings related to energy issues. Vucicevic *et al.* (2014) examined the sustainability of different types of housing, and proposed solutions related to energy policy and the environment, Lizana *et al.* (2016) also suggested the practical solutions for energy modernization in residential buildings. Dezhi *et al.* (2016) examined the entirety of ecological and social criteria for assessment of the sustainability of public rental housing and Oree *et al.* (2017) considered the increasingly strict requirements of environmental sustainability.

Furthermore, the sustainability of single-family houses is assessed by additional criteria as well (Rid *et al.* 2017; Pombo *et al.* 2016): being the comfort of living, security, privacy and well-being. On the other hand, one-family residential houses (the subject of the article) differ in uniqueness, complexity, costs, and many other aspects that are dependent on the decision making and collaboration between the client, architect, and designer.

2. Application of comprehensive evaluation methods for the selection of solutions for single-family houses

Currently, buildings, building blocks and their impact on the environment can be measured using the building certification systems: BREEAM (Building Research Establish-

ment Environmental Assessment Methodology), LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), etc. Meanwhile, these particular methods are not widely used in the design of single-family residential houses. It results from the lack of models and sophisticated, complex assessment of most of the criteria of design.

Therefore, the application of multi-criteria mathematical methods for choosing building elements and materials to be used in a single-family residential house is becoming one of the key aspects. Different MCDM (Multiple Criteria Decision Making) methods are applied to various problems. In fact, MCDM approaches are the one subclass of the broader field, named by Decision support system (DSS). Decision support systems involve different information processing methods, like distinct regression models, various classification approaches, artificial neutral networks and so on.

While solving different tasks formulated in the dissertation and trying to obtain a reasonable and rational decision, the most effective set of criteria was chosen in order to evaluate the criteria and adjust the scientifically-based possible options of priority setting methods. Since the dissertation considers tasks of a different type and amount of data, it is appropriate to use different, multi-criteria valuation methods (WASPAS-SVNS, EDAS, SAW, MEW, TOPSIS, ARAS, Bayes, FM, MULTIMOORA-SVNS).

The latter task being solved in the dissertation is intended for selection of the stair shapes (flight of stairs and stair-steps), what is directly related to the safety of residents of the two-storey single-family house. Graphical construction methods of stair-steps were analyzed and selected before the evaluation of multi-attribute selection criteria.

Other criteria have been also assessed while choosing the method of staircase construction: staircase area (*LP*, m^2), total climbing area (*PBP*, m^2), climbing zone area (*JP*, m^2) and the maximum distance from the edge of climbing zone to the inner edge of the flight of stairs (A_{max}, mm). Data have been identified and normalized according to these criteria. Graphic reflection scheme of the data obtained has been created (Fig. S2.1).

After comparison of criteria of climbing the stairs according to the methods (1M–4M) set, marking of the stairs in the method of proportions (3M) has been selected for further investigation of alternative stair shapes.

3. Comprehensive evaluation of spaces, materials and shapes of structural elements of single-family houses

The third chapter presents solutions of three tasks associated with sustainability principles of the single-family residential house. Task assessment was carried out taking into account the opinions of the expert groups. The study presented is based on expert evaluation. Independent experts directly involved in the design of the house have been invited in order to set the criteria and their standing. They were: 5 architects, 4 constructors and 1 designer. In addition, 9 future potential customers of the typical single-family houses have been interviewed.

The first is looking for the most rational position of garage in respect of a residential house. It is important to identify the key factors while planning the construction of housing for a residence that determines the quality of human life. The optimal distribution of functional space has a significant impact not only in the house itself but in its parcel of land, also.

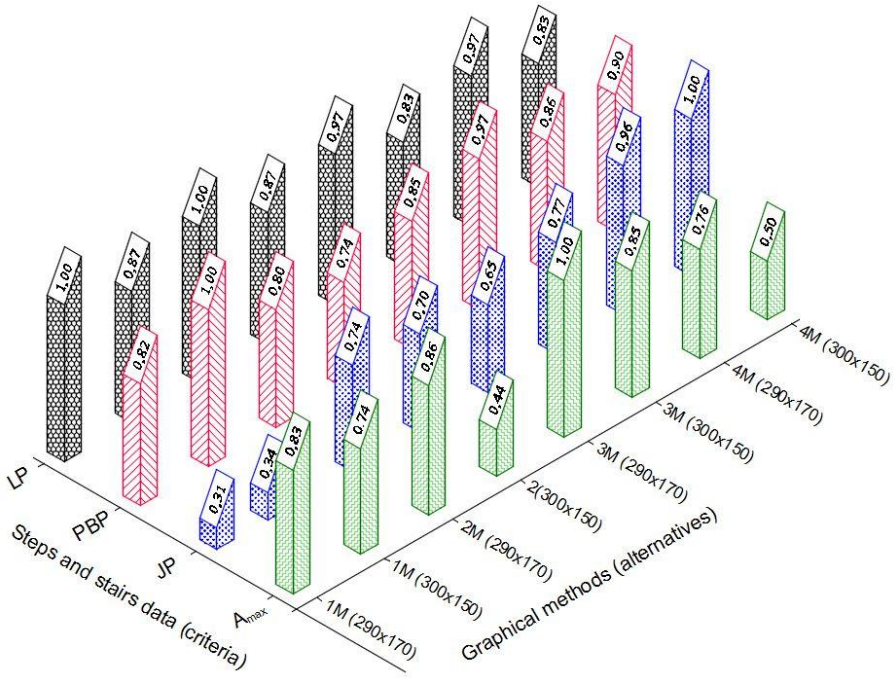


Fig. S2.1. Stair treads according to the different methods of graphic data image

Choosing a unique and exclusive parcel and aiming to build the best available house on it with the use of standard premises and parking lot layout plans will fail. However, most parcels do not have exclusions in specific terrain features, because they are usually rectangular in shape from 6 to 10 acres plots adjoining the street, from which entrance location of the parcel should be made.

Number of cars in Lithuania according to statistics in 2016 compared with 2010 when 509 cars fell on 1000 people increased by 62 percent (Regitra 2016). Thus, today on average a family of 3 to 4 persons has 1 to 2 cars. Today single-family houses are not designed without car storage space. It is a closed and an open type garages or simply a space in the parcel intended for the car parking. Selection of garage type is determined by different criteria: from the architectural refinements of the parcel to the owner's wishes (Manzano-Agugliaro *et al.* 2015).

The location of these parking lots can be evaluated according to certain criteria in order to reveal the peculiarities of alternative locations. When choosing a garage location according to the images found on the Internet or any other source of information, usually one chooses according to the aesthetic view of the other house. The importance of practicality and convenience, alternative possibilities of positions of the garage often are being reflected later when the project is already coordinated, it means too late (Alsaadani, De Souza 2016). Therefore, the owner should firstly decide whether the building will have a purely functional purpose or aesthetic highlight of the parcel, and also about the

renovation prospects in case of an increase or changes in family composition, etc. Hence it is important to decide in advance and plan whether a garage will be built in conjunction with a house or away from it. So, the decision of the task is relevant for individuals who plan to design or are already designing their own housing in the parcels. There can be numerous and diverse selection criteria for garage site: from the orientation of cardinal directions in the parcel to the adjacent neighbor's house height. Four (in the expert opinion) important criteria were chosen: the length of the foundation, internal functional communication, contextuality and aesthetics.

Selection of criterion of foundation length is relevant because of the earthwork scope and construction cost. When the garage is being designed near to one façade of the house, the length of the garage foundation reduces by one-quarter, and after garage integration into the house space – even by three-quarters. In both cases, the rates of earthworks are falling because of excavation of the one and the same dip, equipment installation, etc. In the case of the awning, construction of individual foundations under the supports could not be linked with the house foundation. Internal functional communication describes the comfort of the use of single-family house units and compliance with user needs. Contextuality is defined as a forecast of options of zoning of the buildings in the parcel, depending from the parcel, orientation with respect to the cardinal directions. The last criterion includes aesthetics and other partially relevant (in expert opinion) aspects: insulation of residential premises dwelling (Motuziene *et al.* 2016) because of the unheated garage, performance evaluation of garage insulation option and costs of other materials (walls and roof structures).

Particular geometric shape houses are designed and built traditionally in the mentioned rectangular parcels: square, rectangular, cross- and L-shaped. The designed and installed garage can be situated on the front side of the house, and also from a facade, in the form of the house and stand separately. For the construction of the considered alternatives, the analysis of the projects of the residential houses developed in Lithuania was performed. The projects are taken into consideration involve only the houses with a total area of 80 to 300 m^2 (House plans). The analysis includes 251 projects that were created in the last 2–3 year period. There were distinguished six garages positions in relation to the house for the study, shown schematically in Figure S.3.1.

According to calculations made by WASPAS-SVNS method can be concluded that the best garage location is on facade side of the house. This solution can also be in principle applied to any house shape (Fig. S3.1) and a square case, even to all four sides of the house. For this best position of the garage, connection with the dwelling rooms can be organized in an internal or external ways as well (or both). The determined alternative provides the best building zoning options among all those studied alternatives. According to the wishes and needs of the many opportunities in their own way to install a garage appearance (wall finishes and roofing).

Another objective of the dissertation includes selection of the structural elements and materials of the single-family house. Due to stricter energy efficiency requirements, the currently designed single-family residential buildings have to meet new requirements: additional parameters are introduced, related to the application of sustainability principles. This trend makes the stakeholders of single-family houses (designers, contractors, customers) interested in the elements of the building and selection of structural mate-

rials. As well, this tendency actualizes a sophisticated approach to the materials' formation, taking into account the energy efficiency, safety, and aspects of aesthetics of the buildings. On the other hand, the construction industry offers a broad range of suitable building materials. Therefore, during the design phase, in the case of a single-family residential house, one can formulate a variety of designs of the houses, which further complicates the final selection of elements and materials.

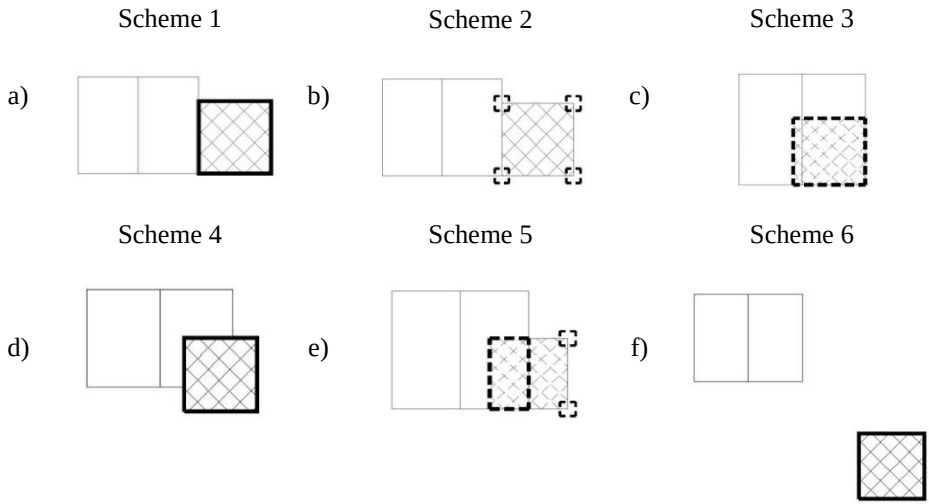


Fig. S3.1. Schemes of garage position in relation to the house: a) near the main facade side of the house; b) open shelter near the main facade side of the house; c) fully integrated into the house space; d) partially integrated into the house's space; e) is divide into two spaces: closed and open; f) as is a separate building

There have been virtually no changes in the structure of the foundations along with the changing energy requirements, but the environmental impact assessment of the heat bridge has become particularly important (Sandanayake *et al.* 2016). The structure of the top part of the house (roof), as well as the structure of the wall structure, has been affected by many alterations: cross-section rafter elements (loft cases), construction composition and roofing parameters (Ferrari *et al.* 2014). The durability of the roof and good thermal performance depend not only on humidity and air flow along the roof structure but also on the choice of coating material, colour, and shape (Alchapar, Correa 2016). Raina *et al.* (2015) took into account the acoustics and ergonomic requirements considering the staircase structure.

The house orientation affects the environmental and economic aspects of sustainability. It becomes simply impossible to insulate parts of the building to the required level for the cases when the building is not properly oriented geographically (Hee *et al.* 2015), or too much (or too little) heat penetrates it through windows or showcases during the summer, or facades, roofs (Han *et al.* 2017) bays, terraces or other elements. Environ-

mental impact reduction (Ramírez-Villegas *et al.* 2016) is directly related to the decrement of building's energy costs.

It is noteworthy that the research and analyses of most of the scientists are invoked on individual elements and materials of the building, which have an impact on different aspects of sustainability. Meanwhile, the integrated model covering all the key elements and materials of the single-family residential house has not been implemented. Thus, the problem of development of the general model of the criteria of single-family buildings is acute in many countries around the world. Applying MCDM framework to solve the real life engineering problems, we need initially to assess the different criteria and to determine the corresponding weights.

Another aspect of the application of the MCDM framework is the selection the appropriate method to rank the considered alternatives. Was implemented MULTIMOORA method, which originally was proposed for the project management problems (Brauers, Zavadskas 2010). Although the initial formulation of this approach was dedicated to the crisp type of the information, the new extensions of MULTIMOORA method were rapidly developed the actual engineering problems: the application of the data fusion methods instead of the dominance theory are considered in (Altuntas *et al.* 2015), the solution of the material selection problem in biomedical applications is performed in (Hafezalkotob 2017), failure mode and effects analysis is presented in (Liu *et al.* 2014). Recently, a lot of the research is devoted to the consideration of the uncertainty or "fuzziness" of the initial information. Therefore, some fuzzy extensions of MULTIMOORA method are also developed (Zavadskas *et al.* 2015c).

In this task, was proposing a complete theoretical model of selection of constructions and material for a single-family residential house by applying the MCDM framework. These are not dealing with individual structural elements and materials (bearing and exterior decoration) compatible with the principles of sustainability of the building, but rather with their integrated choice. Based on these characteristics, we can design the project satisfying the sustainability of single-family houses.

It follows from the overview of the works that the assessment of single-family houses is given too little attention. They usually deal with the sustainability either of environmental aspects of all types of buildings, groups of buildings, cities, or of particular building materials and elements. Typically, they analyse the following factors that make the physical structure of a home are sustainable or not: type, size, shape, position, orientation and location, material, construction. In the case of choosing a single-family residential house, the following are selected: land plot, constructive solution, load-bearing structural system and many other parameters relating to the cost of materials, structural load-bearing capacity, thermal resistance, environmental performance, durability and aesthetics. As a person spends half of his time in a house, the house must be not only sustainable but also beautiful and comfortable to live in, compliant with the technical, regulatory requirements applicable in the country.

In developing our theoretical model of integrated selection of constructions and materials for a single-family residential house, we have discussed and analysed the criteria relevant to the assessment of the sustainability of all buildings and selected the ones who are most applicable to single-family houses.

The examination started with the consideration of virtually all the possible criteria of selection of elements and materials. During the deliberations, we have rejected the assessment of items such as floors, internal partitions and ceiling, because they do not have a significant impact on the design process (Baglivo, Congedo 2016). The criteria selected by the experts affect all the key elements of the building. Ten independent qualified experts related with house design: five architects, four engineers and one designer, classified these criteria in order of importance.

According to the experts, the most important criterion of assessment is the cost of primary structures (walls, foundations, roof, ceiling, windows and stairs). In the designing and construction of sustainable residential houses, the cost should not be given the highest priority, but the market trends show that the cost still holds that position (Mulliner *et al.* 2013). The cost of wall blocks, foundations and other structural elements was measured by the labour and materials costs.

The foundations of structures are primarily designed to withstanding the load exerted by the walls, foundations and roof. Typically, the selection of construction of the foundation of single-family houses is not difficult due to adequate soil bearing capacity parameters, assessed for a single-family house. But the selection of the type of foundation should not only be seen through cost. The energy efficiency of the building is achieved not only by insulating building material with a thicker insulation layer; this indicator is closely related to the constructive solution and installation of foundations. The environmental impact of laying the foundations is also an important factor (Ciancio *et al.* 2013), in this study, the researchers present the sustainability guidelines and selection criteria. Was having assessed the range of design of the foundations by the following criteria: cost and the potential of elimination of a thermal bridge and the environmental potential.

In most countries around the world, a pitched roof is selected for a single-family house. In this case, the roof structure comprises of rafters, trusses or beams. There are two cases of utilisation of space under a pitched roof: a cold loft or a warm loft (attic). Installation of a cold loft has an adverse impact on the elimination of the thermal bridge at the eaves node, and hence the sustainability of the entire house. Therefore, in the case study, several options of the attic and roof insulation were selected.

Contrary to the case of cold loft, bigger cross – section for roof bearing elements was selected not for bearing capacity but taking into account working installation of the residential premise. In attic case, the insulation layers are installed between the roof bearing structures or on the warm side. In the latter case, the total roof price increases but at the same time durability increases. Selection of roofing material depends not only on aesthetic factor but also on the localisation of the building.

Stairs installation and maintenance cost are determined not only by selected construction but also the by their form, space, decoration, handrails and other parameters (Raina *et al.* 2015). Floor slab design selection according to the price, in turn, affects the time and quality of installation. In criteria setup, we predicted floor slab weight. It is clear that every kilogramme of the house weight is the load onto the soil, leading to the more complex construction of foundations. House floor slab is that element which can significantly reduce the weight of the building.

Selection of wooden or plastic windows affects their price not only during construction but also during operation. All windows and doors are cold bridges, without which the house will not exist, so they are not evaluated (only cold bridges in foundation and roof components were assessed).

The criteria are evaluated in the house walls bearing capacity. Bearing capacity differences of porous concrete, expanded clay or brick walls influence shape, size and position of other structural elements. Eg., if the walls bearing capacity is insufficient, it can be difficult for the customer to change the indoor spatial zones.

The designed house can be built in different locations; therefore the localisation factor (Han *et al.* 2017) must be included in the set of criteria of the sustainable single family residential. Wall materials (Motuzienė *et al.* 2016; Baglivo *et al.* 2014), roofing (Gagliano *et al.* 2015), window orientation and size (Hee *et al*. 2015) and even building construction time depend on building location (residential area, farm fields, a house near the forest and others). Wall decorating materials are not included in the research criteria as for one-floor building with the attic they have no significant impact.

Environment is influenced not only by the used material or typologies of building elements, but also how they are produced, and their composition. During the erection, the construction of foundations does the greatest damage to the environment as it breaches of natural processes and vegetation. Plaster inside the building interacts with domestic encountered acids and steam, so this material must be resistant to the bacterial and fungal violation, and shouldn't support combustion, shouldn't produce smoke and toxins.

Each material or element has a particular function in the building and should meet specific requirements, including durability. Nordic countries climate runs quite aggressively building constructions and materials; this affects their durability. The legislation regulates products' durability; there is provided that the masonry blocks used in the exterior walls should withstand the minimum of 25 cold and heat cycles during which the compressive strength should remain not diminished. Most of the blocks can withstand 50 cycles, but ceramic or porous concrete – only in 25–35 cycles. This parameter is of particular importance if a building under construction is not insulated in the same year, then one should choose materials, resistant to temperature change. The facade wall material and wall structure durability have the heavy reliance on the number of freeze-thaw cycles in a year (Toni *et al*. 2014). The roof durability and excellent thermal properties depend not only on the humidity and air movement in roof construction but also on the coating material, colour and shape (Alchapar and Correa 2016).

Visual aesthetic criteria consist of only two components: roofing and exterior wall decoration. Selection of these materials and their mutual coherence has a significant impact not only on the house the urban context but also on customer's psychological comfort. In defining the roof and exterior wall, aesthetic appearance is also important to consider possible changes in material aesthetic (colour and texture) appearance in the long-term perspective.

It is noted while ranking the criteria that the representatives of different specializations of the construction engineering are giving the priorities in accordance with their specialization: construction engineers consider that engineering aspects are more important (elimination problem of the thermal bridges and walls' bearing capacity), architectural

engineers and designer consider architectural ones (ecology, aesthetics, influence of localization). Virtually all experts have rated a price criterion of components and materials as one of the most important. Multi-criteria valuation methods SWARA and MULTIMOORA-SVNS are adapted to deal with the task based on these principles.

According to the performed multi-criteria decision making it was received the best choice of materials for a single residential house. Despite the fact that the major elements price for one sq. m. in this house (alternative) is almost the greatest, such a rational solution as the elimination of cold bridges, wall bearing capacity, durability and environmental friendliness potential, aesthetics of the exterior elements led to the obtained result.

The sensitivity of created building elements' and materials' selection model was studied using the additional survey results of nine prospective customers who do not have experience in the house design field. According to customers' opinions, was formed nine additional criteria weights' evaluations. The sensitive study results are presented in Fig. S3.2

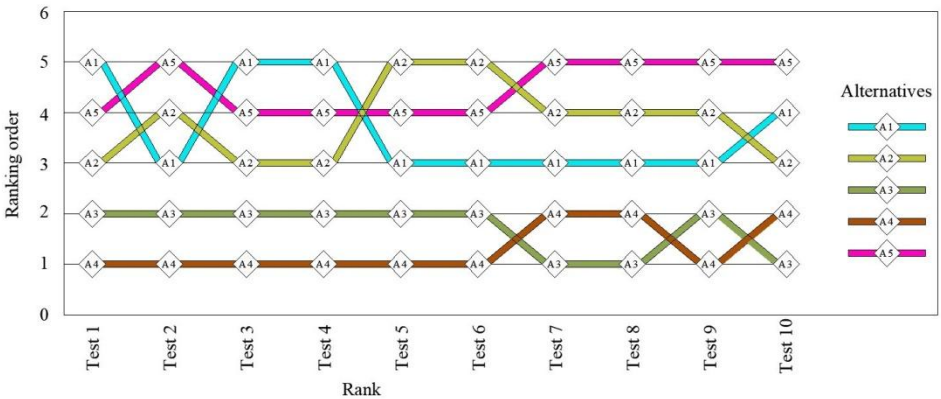


Fig. S3.2. Sensitive analysis illustration (developed by athor)

Also the disertacion presents a novel approach to solve problem of stairs shape assessment for two-story individual dwelling houses. Selection among available shapes and construction of stairs is a multi-criteria decision making problem in nature. It depends on a set of different conflicting criteria, that have different optimisation direction, different measurement units. There is determined the set of the main criteria to assess the alternatives is as follows: Stairwell Area, The Total Area of Climbing, "Climbing Lane" Area, The Cost of Stairs, and Ergonomics. A novel original hybrid MCDM (multi-criteria decision making) model, which based on ten different multi-criteria decision making methods: Game Theory, AHP, and SAW, Multiplicative Exponential Weighting, TOPSIS, and EDAS, ARAS, Full Multiplicative form, Laplac'e Rule, and Bayes Rule, is presented.

The suggested problem solution model offers higher prediction accuracy, as well as simpler and clearer procedures for analysing building construction alternatives and ran-

king the attributes in terms of their significance level. The contrast between the results show the applicability of this model as a valuable tool to be used by construction work managers, as well as for decision making activities and performance evaluation, which contains multiple alternatives and multi-criteria. Applying the MCDM is automated selection from several alternatives. MCDM methods provide a well-structured procedure (sequence of steps) to select the type structure. The algorithm can be easily modified to include new variables, changing their weights, depending on the interested persons and the environment in which decisions are made.

The suggested model includes only seven ranked attributes. As a result, practitioners may directly use the model as a means of fast and convenient analysis of building foundation alternatives by applying simple and clearly defined procedures. Weighting results show that stakeholders are more concerned with the ergonomics than with the climbing area. Finally, it should be noted that the Expert Judgement method is proper tool to assess consistency of rankings when different MCDM methods applied (more than 6). The presented hybrid method has a promising future in the decision making because it offers a methodological basis for decision support.

More and more focus is put on sustainability principles while designing, building and exploiting the single-family residential houses. Creation and development of theoretical model which meets the sustainable construction principles is evaluated comprehensively including ecology, harmony, positive impact on the environment and the importance of comfort. Solving the problem identified in the dissertation, trying to achieve the formulated objectives and implementing the tasks assigned, theoretical and empirical research results were received and summarized in the following conclusions.

General conclusions

1. A review of literature has not revealed a model that would guide, in an integrated way, the selection of structural elements and materials for single-family houses based on the characteristics of sustainability.
2. The analysis of the literature available has led to the conclusion that the design solutions for single-family houses quite frequently are limited to individual aspects, such as the selection of wall-building materials, the environmental effect of structural elements of a house, etc. The complex model for the evaluation of design solutions for a sustainable single-family house, which has been developed, allows to perform a multiple-criteria analysis and assess, in an integrated way, the structural elements and materials, the parameters of which comply with the parameters of sustainability, environmental friendliness and the reduction of cold bridges.
3. The analysis of existing legislation of the Republic of Lithuania in the area of design and construction of single-family houses has shown the lack of regulation related to the zoning of buildings and the selection of structural elements and materials. It is therefore necessary to conduct research and develop valuation guidelines for the design of such buildings.

4. Studies of the applicability of multi-criteria decision making techniques for the solution of construction tasks have shown that the theory of multi-criteria decision making can be effectively applied when selecting the main structural elements and materials of typical single-family houses, AND when looking for a solution pertaining to the positioning of a garage.
5. The basic framework of criteria outlined in this dissertation, which covers the selection of the main structures and materials of single-family houses, compliance with existing building regulations as well as the criteria of energy saving and the creation of comfortable living environment, allows to look for sustainability-based compromise solutions by means of multi-criteria decision making techniques.
6. An evaluation of single-family houses has been performed, having regard to the principles of sustainable development. Multiple-criteria assessment techniques, which have a scientific basis, have been applied for the solution of various tasks and the development of design solutions:

– A comprehensive model for the selection of structural elements and materials has been devised, based on the theory of multiple-criteria decision-making; the techniques chosen for the task, i.e. SWARA and MULTIMOORA-SVNS, have been verified on the basis of literature analysis. The assessment of 21 criteria has led to the conclusion that some of the criteria define either the same aspect or the unit of measurement. Based on the analysis of the literature available, such criteria have been aggregated (8 criteria). It has been found that the criteria pertaining to the cost and the structural solution parameters related to the elimination of cold bridges account for 50.32% of the total set of criteria.

– A model for the positioning of a garage in relation to a single-family house on a land parcel has been developed by applying AHP and WASPAS-SVNS. The techniques have been chosen following the examination of relevant literature and determination of relatively few criteria. It has been found that, of the four criteria selected, the internal functional relation and contextuality account for as much as 74% of the total set of criteria.

– A model for the selection of shapes of internal staircases of single-family houses has been developed by applying the set of decision-making techniques comprising AHP + EDAS, SAW, MEW, TOPSIS, ARAS, Bayes, FM. The calculations have been carried out in two stages. The assessment of graphical methods for the design of variable-width stair steps, which has been performed in accordance with geometrical parameters, has allowed to establish the most rational method of proportions. It has been found that, of the eight criteria selected, the ergonomics and the cost account for as much as 40.8% of the total set of criteria.

Priedai[3]

A priedas. Saaty svarbos skalė ir aprašas
B priedas. Daugiakriterių sprendimo priėmimo metodų aprašai
C priedas. Neutrosofinių skaičių skalė ir aprašas
D priedas Vienbučių namų konstrukcinių elementų ir medžiagų parinkimo MULTIMOORA-SVNS metodu tarpiniai rezultatai
E priedas. Ergonomiškų laiptų parinkimo uždavinio sprendimo tarpiniai rezultatai
F priedas. Autorės sąžiningumo deklaracija
G priedas. Bendraautorių sutikimai teikti publikacijose skelbtą medžiagą mokslo daktaro disertacijoje
H priedas. Autorės mokslinių publikacijų disertacijos tema kopijos

[3] Priedai pateikiami pridėtoje kompaktinėje plokštelėje.

A priedas. Saaty svarbos skalė ir aprašas

Saaty svarbos skalė ir jos aprašas pateikta A.1 lentelėje.

A.1 lentelė. Saaty svarbos skalė ir jos aprašas (Saaty 1977)
Table A.1. A scale of importance and its description (Saaty 1977)

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

B priedas. Daugiakriterių sprendimo priėmimo metodų aprašai

B.1. EDAS metodas

EDAS (angl. *The Method of Evaluation Based on Distance from Average Solution*) vertinimo metodas, pagrįstas atstumu nuo vidutinio sprendinio (Keshavarz Ghorabaee *et al.* 2015), yra tinkamas vertinant nesuderintus tarpusavyje kriterijus. Skaičiavimo eigos etapai:

1. Atrenkami svarbiausi kriterijai, kuriais aprašomos alternatyvos.

2. Sudaroma pradinė sprendimo priėmimo matrica, kurios stulpeliuose yra alternatyvų kriterijai, o eilutėse – vertinamos alternatyvos.

$$X = \left[x_{ij}\right]_{m\times n} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}, \tag{B.1.1}$$

čia m – alternatyvų skaičius, n – kriterijų, apibūdinančių kiekvieną alternatyvą, skaičius, x_{ij} – i alternatyvos j kriterijaus reikšmė.

3. Nustatoma kiekvieno kriterijaus vidutinė reikšmė:

$$x_{aj} = \frac{\sum_{i=1}^{m} x_{ij}}{m}. \tag{B.1.2}$$

4. Iš rastų vidutinių reikšmių sudaromas vidutinis sprendinys:

$$A_a = \left[x_{aj}\right] = \left[x_{a1}, x_{a2}, \ldots, x_{an}\right]. \tag{B.1.3}$$

5. Skaičiuojami pozityvūs ir negatyvūs atstumai nuo sprendinio:

$$D = \left[p_{ij}; r_{ij}\right] = \begin{bmatrix} p_{11}; r_{11} & p_{12}; r_{12} & \cdots & p_{1n}; r_{1n} \\ p_{m1}; r_{m1} & p_{m2}; r_{m2} & \cdots & p_{mn}; r_{mn} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ p_{m1}; r_{m1} & p_{m2}; r_{m2} & \cdots & p_{mn}; r_{mn} \end{bmatrix}. \tag{B.1.4}$$

Nustatoma, pagal kurias formules reikia skaičiuoti. Jei uždavinio kriterijų didesnis įvertis yra geriau, skaičiuojama pagal šias formules:

$$p_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{aj}}{x_{aj}}, \tag{B.1.5}$$

$$r_{ij} = \frac{x_{aj} - x_{ij}}{x_{aj}}. \tag{B.1.6}$$

Jei uždavinio kriterijų mažesnis įvertis yra geriau, skaičiuojama pagal šias formules:

$$p_{ij} = \frac{x_{aj} - x_{ij}}{x_{aj}}, \tag{B.1.7}$$

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{aj}}{x_{aj}}. \tag{B.1.8}$$

6. Skaičiuojamas svertiniai neigiamas ir teigiamas atstumai nuo vidutinio sprendinio:

$$S_{ip} = \sum_{j=1}^{n} w_j p_{ij}, \tag{B.1.9}$$

$$S_{ir} = \sum_{j=1}^{n} w_j r_{ij}. \tag{B.1.10}$$

7. Sumos yra normalizuojamos. Jei kriterijų didesnis įvertis yra geriau, teigiamas atstumas dalinamas iš maksimalaus teigiamo:

$$P_i = \frac{S_{ip}}{\max_i S_{ip}}, \tag{B.1.11}$$

Jei geresnis yra mažiausias įvertis, naudojama atimties reikšmė:

$$R_i = 1 - \frac{S_{ir}}{\max_i S_{ir}}. \tag{B.1.12}$$

8. Kiekvienai alternatyvai skaičiuojama daugiakriterė naudingumo funkcijos reikšmė pagal formulę:

$$U_i = \frac{1}{2}\left(P_i + R_i\right). \tag{B.1.13}$$

Alternatyvos yra suskirstomos rangais. Geriausia yra didžiausia reikšmė, blogiausia – mažiausia.

B.2. SAW metodas

SAW (angl. *Simple Additive Weighting*) metodo pagrindas yra kriterijų reikšmių ir reikšmingumo sandaugų suma (Antuchevičienė *et al.* 2015; Tupėnaitė *et al.* 2010). Įvesties duomenys – sprendimo matrica ir kriterijų reikšmingumo reikšmės. SAW metodą apibendrino MacCrimon (1968). Skaičiavimo eiga:

1. Normalizuojama sprendimo matrica.

2. To paties varianto (normalizuotos matricos) kiekvienas narys dauginamas iš jo reikšmės ir sudedamas su kitais alternatyvos nariais. Visi sprendimo matricos nariai, kuriuos reikia maksimizuoti, normalizuojami pagal formulę:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j^{\max}}, \tag{B.2.1}$$

o tie, kuriuos reikia minimizuoti – pagal formulę:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_j^{\min}}{x_{ij}}. \tag{B.2.2}$$

Nustatant varianto racionalumą, atitinkami normalizuotos matricos nariai dauginami iš efektyvumo kriterijų reikšmingumo įverčių ir gautos sandaugos sumuojamos. Racionalaus varianto sandaugų suma bus maksimali:

$$A = \left\{ A_i \left| \max_i \sum_{j=1}^{n} w_j^* \, \bar{x}_{ij} \right. \right\}. \tag{B.2.3}$$

B.3. TOPSIS metodas

Hwang ir Yoon (1981) sukūrė variantų prioritetų nustatymo metodiką, pagrįstą koncepcija, kad optimali alternatyva turi mažiausią atstumą nuo idealaus sprendimo ir didžiausią atstumą nuo „neigiamai idealaus“ sprendimo (Zavadskas *et al.* 2015b; Tupėnaitė *et al.* 2010). TOPSIS (angl. *The Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*) vadinamas artumo idealiam taškui nustatymo metodu. Atstumas tarp lyginamosios *i*-osios ir „idealiai geriausios“ A^+ alternatyvų nustatomas skaičiuojant atstumą *n*-matėje Euklido erdvėje pagal formulę:

$$L_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} \left(w_j \bar{x}_{ij} - a_j^+ \right)^2}, \left(i = \overline{1,m} \right). \tag{B.3.1}$$

Atstumas tarp lyginamosios *i*-osios alternatyvos ir „neigiamai idealios“ alternatyvos A^- (angl. *Negative Ideal Solution*) (Hwang, Yoon 1981) skaičiuojamas pagal formulę:

$$L_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} \left(w_j \bar{x}_{ij} - a_j^- \right)^2}, \left(i = \overline{1,m} \right). \tag{B.3.2}$$

Taikant TOPSIS metodą, sprendimo matrica $X_{[m \times n]} = \{x_{ij}\}, \left(i = \overline{1,m},\ j = \overline{1,n} \right)$ yra normalizuojama vektorinės normalizacijos metodu. Galutiniu TOPSIS metodo etapu nustatomas kiekvienos lyginamosios *i*-osios alternatyvos santykinis atstumas iki „idealiai geriausios“ alternatyvos:

$$K_i = \frac{L_i^-}{L_i^+ + L_i^-}, i = \overline{1,m}, \text{ kai } K_i \in [0,1]. \tag{B.3.3}$$

Kuo K_i reikšmė artimesnė vienetui, tuo lyginamosios i-oji alternatyva artimesnė A^+, t. y. racionalus variantas bus tas, kurio K_i reikšmė yra didžiausia (Hwang, Yoon 1981).

B.4. ARAS metodas

Zavadsko ir Turskio (2010) sukurtas suminis santykių įvertinimo ARAS (angl. *Additive Ratio Assessment*) metodas gali būti taikomas kiekybinių ir kokybinių kriterijų normalizavimui (Tupėnaitė *et al.* 2010).

Pirmiausia yra sudaroma sprendimo priėmimo matrica:

$$X = \begin{bmatrix} x_{01} & \cdots & x_{0j} & \cdots & x_{0n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{i1} & \cdots & x_{ij} & \cdots & x_{in} \\ \vdots & & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mj} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}; i = \overline{0,m};\ j = \overline{1,n}, \tag{B.4.1}$$

čia m – alternatyvų skaičius, n – kriterijų, apibūdinančių kiekvieną alternatyvą, skaičius, x_{ij} – i-osios alternatyvos j kriterijaus reikšmė, x_{0j} – optimali kriterijaus reikšmė.

Iš optimalių kriterijų reikšmių sudaroma utopinė optimali alternatyva. Jei optimalaus kriterijaus vertė yra nežinoma, tai:

$$\begin{aligned} x_{0j} &= \max_i x_{ij},\ if\ \max_i x_{ij}\ is\ preferable, \\ x_{0j} &= \min_i x_{ij}^*,\ if\ \min_i x_{ij}^*\ is\ preferable. \end{aligned} \tag{B.4.2}$$

Šioje matricoje vienos kriterijų reikšmės optimalios yra maksimalios, kitos – minimalios:

$$\overline{X} = \begin{bmatrix} \overline{x}_{01} & \cdots & \overline{x}_{0j} & \cdots & \overline{x}_{0n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \overline{x}_{i1} & \cdots & \overline{x}_{ij} & \cdots & \overline{x}_{in} \\ \vdots & & \vdots & \ddots & \vdots \\ \overline{x}_{m1} & \cdots & \overline{x}_{mj} & \cdots & \overline{x}_{mn} \end{bmatrix}; i = \overline{0,m};\ j = \overline{1,n}. \tag{B.4.3}$$

Siekiant visas kriterijų reikšmes pakeisti maksimaliomis, matrica normalizuojama:

$$\overline{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=0}^{m} x_{ij}}. \tag{B.4.4}$$

Minimizuojamoms reikšmėms atliekama ta pati procedūra:

$$x_{ij} = \frac{1}{x_{ij}^*};\ \bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=0}^{m} x_{ij}}. \tag{B.4.5}$$

Turint pakeistą sprendimų priėmimo matricą, ji pasveriama, dauginant ją iš kriterijų svorių (B.4.1) ir normalizuojama (B.4.2):

$$\sum_{j=1}^{n} w_j = 1, \tag{B.4.5}$$

$$\hat{X} = \begin{bmatrix} \hat{x}_{01} & \cdots & \hat{x}_{0j} & \cdots & \hat{x}_{0n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{x}_{i1} & \cdots & \hat{x}_{ij} & \cdots & \hat{x}_{in} \\ \vdots & & \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{x}_{m1} & \cdots & \hat{x}_{mj} & \cdots & \hat{x}_{mn} \end{bmatrix};\ i = \overline{0,m};\ j = \overline{1,n}. \tag{B.4.6}$$

Pagal formulę:

$$\hat{x}_{ij} = \bar{x}_{ij} w_j;\ i = \overline{0,m}, \tag{B.4.7}$$

apskaičiuojamos ir nustatomos kiekvienos alternatyvos optimalumo funkcijos reikšmės:

$$S_i = \sum_{j=1}^{n} \hat{x}_{ij};\ i = \overline{0,m}. \tag{B.4.8}$$

Tada apskaičiuojamas naudingumo laipsnis pagal formulę:

$$K_i = \frac{S_i}{S_0};\ i = \overline{0,m}. \tag{B.4.9}$$

Čia kiekvienos alternatyvos naudingumo laipsnis dalijamas iš optimalios – taip nustatomas optimalumo lygis: kuo arčiau utopinės, tuo jis yra geresnis.

B.5. Laplac‘e taisyklė

Daugiakriterių sprendimo priėmimo metodų grupei priklauso ir Laplac‘e bei Bayeso taisyklės (Zavadskas *et al.* 2004). Laplac‘e taisyklė yra paprasčiausias iš atvejų, pagal kurią visų priešininko strategijų tikimybės yra vienodos. Parenkama ta eilutė, kurios suma yra didžiausia:

$$S_1^* = \left\{ S_{1i} \middle| S_{1i} \in S_1 \cap \left\{ S_{1i0} \middle| \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} a_{i0j} = \max_i \left(\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} a_{ij} \right) \right\} \right\}. \tag{B.5.1}$$

Formulėje nėra svarbu, ar atsižvelgiama į koeficientą $\frac{1}{n}$, ar ne. Jei šis koeficientas yra, tai gaunamas eilutės vidurkis, į kurį, priimant sprendimą, galima atsižvelgti.

B.6. Bayeso taisyklė

Taikant Bayeso taisyklę (Zavadskas *et al.* 2004), įvertinamas santykinis kriterijų reikšmingumas kitaip nei skaičiuojant pagal Laplac‘e taisyklę, kai tariama, jog visi kriterijai sprendimą priimantiems asmenims yra vienodai svarbūs.

Jeigu galima pateikti priešininko strategijų tikimybes q_j, tai matematiniu vidurkiu c_i galima pasinaudoti kaip optimalumo kriterijumi:

$$c_i = \sum_{j=1}^{n} w_j a_{ij} \ . \qquad \text{(B.6.1)}$$

Šis kriterijus mokslinėje literatūroje žinomas kaip vidurkio kriterijus, Bayeso taisyklė ar Bayeso ir Laplac‘e principas. Optimali strategija gaunama pagal formulę:

$$S_1^* = \left\{ S_{1i} \middle| S_{1i} \in S_i \bigcap \left\{ S_{1i0} \middle| \sum_{j=1}^{n} w_j a_{i0j} = \max_i \left(\sum_{j=1}^{n} w_j a_{ij} \right); \sum_{j=1}^{n} q_j = 1; 1 \le w_j \le 0;\ j = 1, ..., n \right\} \right\} \qquad \text{(B.6.2)}$$

Naudojant šį kriterijų gaunamas rizikingas sprendinys.

C priedas. Neutrosofinių skaičių skalė ir aprašas

Trijų matricos kriterijų pavertimas neutrosofiniais skaičiais pateiktas C.1 lentelėje.

C.1 lentelė. Matricos pakeitimas neutrosofiniais skaičiais
Table C.1. Transformation of the crisp number to the single-valued neutrosophic numbers

Terminai	Neutrosofiniai skaičiai
Puikiai / 1,0	(1,00; 0,00; 0,00)
Labai labai gerai / 0,9	(0,90; 0,10; 0,10)
Labai gerai / 0,8	(0,80; 0,15; 0,20)
Gerai / 0,7	(0,70; 0,25; 0,30)
Vidutiniškai gerai / 0,6	(0,60; 0,35; 0,40)
Vidutiniškai / 0,5	(0,50; 0,50; 0,50)
Vidutiniškai blogai / 0,4	(0,40; 0,65; 0,60)
Blogai / 0,3	(0,30; 0,75; 0,70)
Labai blogai / 0,2	(0,20; 0,85; 0,80)
Labai labai blogai / 0,1	(0,10; 0,90; 0,90)
Nepaprastai blogai / 0,0	(0,00; 1,00; 1,00)

D priedas. Vienbučių namų konstrukcinių elementų ir medžiagų parinkimo MULTIMOORA-SVNS metodu tarpiniai rezultatai

D.1 lentelė. Neutrosofinio sprendimo matrica
Table D.1. The decision matrix after neutrosophication step.

Kriterijai, optimumas	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
x_1 (min)	(0,4209; 0,6186; 0,5791)	(0,3184; 0,7316; 0,6816)	(0,3439; 0,7061; 0,6561)	(0,5005; 0,4993; 0,4995)	(0,5938; 0,3592; 0,4062)
x_2 (min)	(0,2654; 0,7846; 0,7346)	(0,2123; 0,8377; 0,7877)	(0,2654; 0,7846; 0,7346)	(0,4246; 0,6131; 0,5754)	(0,7961; 0,1539; 0,2039)
x_3 (max)	(0,2182; 0,8318; 0,7818)	(0,2182; 0,8318; 0,7818)	(0,2182; 0,8318; 0,7818)	(0,6547; 0,2953; 0,3453)	(0,6547; 0,2953; 0,3453)
x_4 (max)	(0,3568; 0,6932; 0,6432)	(0,1824; 0,8588; 0,8176)	(0,5551; 0,4174; 0,4449)	(0,5154; 0,4769; 0,4846)	(0,5154; 0,4769; 0,4846)
x_5 (max)	(0,4820; 0,5270; 0,5180)	(0,5126; 0,4811; 0,4874)	(0,3825; 0,6675; 0,6175)	(0,5356; 0,4466; 0,4644)	(0,2678; 0,7822; 0,7322)
x_6 (max)	(0,2412; 0,8088; 0,7588)	(0,3617; 0,6883; 0,6383)	(0,4539; 0,5691; 0,5461)	(0,5320; 0,4521; 0,4680)	(0,5674; 0,3989; 0,4326)
x_7 (max)	(0,3112; 0,7388; 0,6888)	(0,4011; 0,6484; 0,5989)	(0,4840; 0,5239; 0,5160)	(0,5532; 0,4202; 0,4468)	(0,4495; 0,5758; 0,5505)
x_8 (min)	(0,2205; 0,8295; 0,7795)	(0,5734; 0,3899; 0,4266)	(0,2205; 0,8295; 0,7795)	(0,5734; 0,3899; 0,4266)	(0,4952; 0,5072; 0,5048)

D.2 lentelė. Neutrosofinė santykinė alternatyvų sistema
Table D.2. The neutrosophic ratio system objective for the alternatives.

Alternatyvos	Q_i	$S(Q_i)$	Rangai
A_1	(0,7685; 0,2388; 0,2704)	0,7551	4
A_2	(0,8214; 0,1865; 0,2188)	0,8074	2
A_3	(0,8253; 0,1772;0,2112)	0,8149	1
A_4	(0,7625; 0,2251;0,2283)	0,7710	3
A_5	(0,6191; 0,3632; 0,3344)	0,6395	5

D.3 lentelė. Alternatyvų rezultatai pagal neurosofinį atskaitos tašką
Table D.3. The neutrosophic reference point objective for the alternatives.

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	$\max\left\lvert D\left(r_i - w_i\left(x_n^*\right)_{ij}\right)\right\rvert$	Rangai
A_1	0,1410	0,0597	0,9660	0,9529	0,9468	0,9843	0,9841	0,0081	0,9843	5
A_2	0,0993	0,0459	0,9660	0,9788	0,9412	0,9741	0,9780	0,0309	0,9788	4
A_3	0,1089	0,0597	0,9660	0,9081	0,9625	0,9640	0,9704	0,0081	0,9704	2
A_4	0,1821	0,1075	0,8426	0,9188	0,9367	0,9533	0,9629	0,0309	0,9629	1
A_5	0,2389	0,3026	0,8426	0,9188	0,9760	0,9478	0,9737	0,0239	0,9760	3

D.4 lentelė. Visiškai užpildytos neutrosofinės formos
Table D.4. The neutrosophic full multiplicative form objective for the alternatives.

Alterna-tyvos	$S(A_j)$	$S(B_j)$	U_j	Rangai
A_1	0.0020×10^{-5}	0.0001	0.0003	5
A_2	0.0015×10^{-5}	0.0001	0.0002	3–4
A_3	0.0081×10^{-5}	0.0000	0.0025	2
A_4	0.1174×10^{-5}	0.0004	0.0026	1
A_5	0.0305×10^{-5}	0.0014	0.0002	3–4

E priedas. Ergonomiškų laiptų parinkimo uždavinio sprendimo tarpiniai rezultatai

a) b)

E.1 pav. **Plano dviejų kriterijų skirtumai: a) laiptinės plotas, b) bendras lipimo plotas**

Fig. E.1. **Differences between the two criteria of plan: a)the staircase area, b) total climbing area**

Saaty klasikinės devynių reikšmių skalės santykinė svarba pateikta E.1 lentelėje. Naudingumo funkcijos reikšmės nustatytos skirtingais metodais (E.2 lentelė).

E.1 lentelė. Pradiniai porinio palyginimo duomenys
Table E.1. Initial data for pair wise comparison

	Įstrižainės elementai $i = j$	Vienodos svarbos C_i ir C_j	C_i yra svarbesnis už C_j	C_i yra daug svarbesnis už C_j	C_i yra daug daugiau svarbesnis už C_j	C_i yra absoliučiai svarbesnis už C_j	Kompromisas tarp dviejų sprendimų	Jei C_j elementas dominuoja palyginus su C_i
a_{ij}	1	1	3	5	7	9	2, 4, 6, 8	$a_{ij} = 1/a_{ij}$
Atsitiktinumo indeksai (*RI*) pagal skirtingus kriterijų skaičius (*n*).								
n	1	2	3	4	5	6	7	8
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41

E.2 lentelė. Naudingumo funkcijos reikšmės, nustatytos skirtingais metodais

Table E.2. Integrated table of results by different methods

Alternatyvos	Bayes	Laplac'e	SAW	MEW	TOPSIS (-w)	TOPSIS (+w)	FM	EDAS	ARAS
	K	K	K	K	K	K	K	U	K
A_1	0,085	0,698	0,7168	0,9395	0,563	0,468	0,003277	1,3575	0,6673
A_2	0,074	0,631	0,7021	0,9377	0,553	0,464	0,003412	1,3458	0,6560
A_3	0,058	0,344	0,5643	0,8924	0,393	0,476	0,000208	0,7354	0,5401
A_4	0,088	0,449	0,6332	0,9018	0,466	0,574	0,000319	1,1837	0,6240
A_5	0,037	0,321	0,4818	0,8813	0,232	0,232	0,000155	0,0298	0,4164
A_6	0,026	0,326	0,4299	0,8561	0,179	0,122	0,000082	-0,3548	0,3496
A_7	0,029	0,288	0,4229	0,8519	0,149	0,133	0,000034	-0,3870	0,3429
A_8	0,023	0,295	0,3977	0,8389	0,120	0,086	0,000025	-0,5638	0,3133

E.2 lentelės pabaiga

Alterna-tyvos	Bayes	Laplac'e	SAW	MEW	TOPSIS (-w)	TOPSIS (+w)	FM	EDAS	ARAS
	K	K	K	K	K	K	K	U	K
A_9	0,071	0,507	0,6402	0,9187	0,460	0,450	0,000787	1,0107	0,5901
A_{10}	0,060	0,487	0,5995	0,9042	0,435	0,402	0,000550	0,7584	0,5437
A_{11}	0,046	0,424	0,5617	0,8988	0,370	0,283	0,000697	0,4486	0,4906
A_{12}	0,074	0,513	0,6962	0,9462	0,524	0,574	0,003201	1,4434	0,6634
A_{13}	0,046	0,408	0,5518	0,9021	0,324	0,280	0,000552	0,3876	0,4799
A_{14}	0,029	0,413	0,5258	0,8881	0,307	0,250	0,000404	0,2221	0,4491
A_{15}	0,045	0,405	0,5392	0,8941	0,301	0,269	0,000334	0,2886	0,4624
A_{16}	0,029	0,395	0,5058	0,8790	0,282	0,239	0,000221	0,0940	0,4266

Birutė JUODAGALVIENĖ

VIENBUČIŲ NAMŲ PROJEKTINIŲ
SPRENDINIŲ DAUGIAKRITERIS
PARINKIMAS

Daktaro disertacija

Technologijos mokslai,
statybos inžinerija (02T)

MULTIPLE CRITERIA SELECTION
OF DESIGN SOLUTIONS
FOR SINGLE-FAMILY HOUSES

Doctoral Dissertation

Technological Sciences,
Civil Engineering (02T)

2018 11 16. 12,5 sp. l. Tiražas 20 egz.
Vilniaus Gedimino technikos universiteto
leidykla „Technika“,
Saulėtekio al. 11, 10223 Vilnius,
http://leidykla.vgtu.lt
Spausdino UAB „BMK leidykla“
A. Mickevičiaus g. 5, LT-08119 Vilnius