



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

STATYBOS FAKULTETAS

STATYBOS TECHNOLOGIJOS IR VADYBOS KATEDRA

Aurimas Bružas

**DAUGIABUČIŲ PASTATŲ ATNAUJINIMO VERTINIMO TAIKANT LEED  
IR BREEAM METODUS GALIMYBIŲ ANALIZĖ**

**FEASIBILITY OF APARTMENT BUILDINGS REFURBISHMENT RATING  
USING METHODS BREEAM AND LEED**

Baigiamasis magistro darbas

Statybos technologijos ir valdymas, valstybinis kodas 621J80003

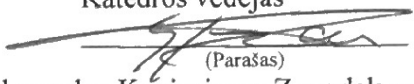
Statybos technologijos ir vadybos specializacija

Statybų technologijos studijų kryptis

Vilnius, 2015

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS  
STATYBOS FAKULTETAS  
STATYBOS TECHNOLOGIJOS IR VADYBOS KATEDRA

TVIRTINU  
Katedros vedėjas

  
(Parašas)  
Edmundas Kazimieras Zavadskas  
(Vardas, pavardė)

\_\_\_\_\_  
(Data)

Aurimas Bružas

**DAUGIABUČIŲ PASTATŲ ATNAUJINIMO VERTINIMO TAIKANT LEED  
IR BREEAM METODUS GALIMYBIŲ ANALIZĖ**

**FEASIBILITY OF APARTMENT BUILDINGS REFURBISHMENT RATING  
USING METHODS BREEAM AND LEED**

Baigiamasis magistro darbas

Statybos technologijos ir valdymas, valstybinis kodas 621J80003

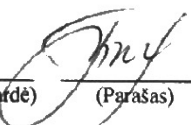
Statybos technologijos ir vadybos specializacija

Statybų technologijos studijų kryptis

**Vadovas**

doc. dr. Tatjana Vilutienė

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

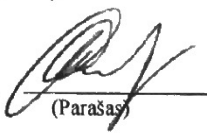
  
(Parašas)

2015-05-20  
(Data)

**Konsultantas**

doc. dr. Darius Migilinskas

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

  
(Parašas)

2015-05-20  
(Data)

**Lietuvių kalbos konsultantas** lektorė Lina Rutkienė

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

  
(Parašas)

2015-05-19  
(Data)

Vilnius, 2015

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS  
STATYBOS FAKULTETAS  
STATYBOS TECHNOLOGIJOS IR VADYBOS KATEDRA

Statybų technologijos studijų kryptis

Statybų technologijų ir valdymo studijų programa, valstybinis kodas  
621J80003

Statybos technologijos ir vadybos specializacija

TVIRTINU  
Katedros vedėjas

(Parašas)  
Edmundas Kazimieras Zavadskas  
(Vardas, pavardė)

(Data)

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO  
UŽDUOTIS

2013 m. lapkričio 12 d. Nr. ....  
Vilnius

Studentui (ei) Aurimui Bružui  
(Vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema: **Daugiabučių pastatų atnaujinimo vertinimo taikant LEED ir BREEAM metodus galimybių analizė,**

patvirtinta 2014 m. spalio mėn. 16 d. dekanų potvarkiu Nr. 503 st.

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2015 m. gegužės mėn. 21 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

*Suburti modelį modernizavimo priemonių daromos - kasty analizės. Patvirtinti hipotezę dėl pagal aplinkos sąlygas, standartus parengtose projektuose išanalizuoti daromos su aplinkos priemonių efektyvumo pasiskirstymą. Statybos objektuose išanalizuoti priemonių daromos su aplinkos pasiskirstymą analizuoti BREEAM ir LEED metodus. Daromos - kasty analizės pagrindų išanalizuoti priemonių daromos, pilnais pavyzdžiais atnaujinimo pastatų ir seniausių sumontuoti infrastruktūrą įvertinti aplinkai.*

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai:

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Vadovas

(Parašas)

doc. dr. Tatjana Vilutienė  
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Užduotį gavau

(Parašas)

Aurimas Bružas

(Vardas, pavardė)

2013.11.12  
(Data)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas  
Statybos fakultetas  
Statybos technologijos ir vadybos katedra

ISBN  
Egz. sk. ....  
Data .....-.....-.....

Antrosios pakopos studijų **Statybos technologijų ir valdymo** programos magistro baigiamasis darbas

Pavadinimas **Daugiabučių pastatų atnaujinimo vertinimo taikant LEED ir BREEAM  
metodus galimybių analizė**

Autorius **Aurimas Bružas**

Vadovas **doc. dr. Tatjana Vilutienė**

**Kalba:** lietuvių

### **Anotacija**

Baigiamajame magistro darbe nagrinėjamos penkios alternatyvos. Jie vertinami BREEAM ir LEED pastatų darnos su aplinka metodais. Alternatyvos nagrinėjamos iš investuotojo ir naudotojo pozicijų. Rezultatai gaunami daugiakriterio vertinimo metodais ARAS ir SAW. Reikšmingumai parinktiems kriterijams nustatomi AHP metodu. Sudaromos prioritetinės eilutės ir nustatoma, kuri alternatyva racionali investuotojui, o kuri naudotojui. Rezultatai palyginami darnos su aplinka vertinimo metodais nustatytais pastatų įvertinimais. Nustatoma ar geriau įvertintas pastatas patrauklus naudotojui ar investuotojui.

Siekiant parinkti racionaliausias priemones, įvertinamos tos, kurios leidžia objektams surinkti daugiausiai kreditų ir kurių kainą būtų maža. Tokios priemonės nulemia pastato darną su aplinka, mažina užterštumą ir efektyviai naudoja resursus.

Darbą sudaro 3 dalys: pastatų darnos su aplinka vertinimo sistemos, daugiabučių namų atnaujinimo priemonių darnos vertinimo taikant BREEAM ir LEED metodus galimybių analizė, alternatyvų aprašymas.

Darbo apimtis 84 p. teksto be priedų, 19 iliustracijų, 53 lentelės, 32 literatūros šaltiniai. Atskirai pridedami darbo priedai.

**Prasminiai žodžiai:** BREEAM, LEED, investuotojas, naudotojas, SAW, ARAS, AHP, Bajeso teorema, darnos su aplinka, atnaujinimas

Vilnius Gediminas Technical University  
Faculty of Civil Engineering  
Department of Construction Technology and Management

ISBN  
Copies No. ....  
Date .....-.....-..... ISSN

Master Degree Studies **Construction Technologies and Management** study programme Master Graduation Thesis

Title **Feasibility of apartment buildings refurbishment rating using methods BREEAM and LEED**  
Author **Aurimas Bružas**  
Academic supervisor **Assoc Prof Dr Tatjana Vilutienė**

**Thesis language:** Lithuanian

#### **Annotation**

The final master thesis analyzes the five alternatives, buildings. They are valued according to harmony with the environment methods BREEAM and LEED. Alternatives also are considered by the investor and the user position. The results are obtained by multiple criteria methods ARAS and SAW. Priorities of criteria are set with AHP method. Priority lines of alternatives are calculated and determined which alternative rational from the investor aspects, and which one is most rational from user aspects. The results are compared with harmony with the environment assessment methods, monitoring if better ranked buildings are attractive to one of the group.

In order to assess the possibilities the renovation of buildings, chosen the most rational and the most effective tools which gives the building better harmony with the environment that let achieve higher rating for the buildings according to BREEAM and LEED methods. It lets reduce pollution and efficient use of resources.

The work consists of 11 parts: content, abbreviations, illustrations and tables list, introduction, building coherence between the environmental assessment system, multi-renovation measures of sustainability assessment under BREEAM and LEED methods of analysis of the potential alternatives, conclusions, bibliography and appendices.

Work size: 84 p. text without appendixes, 19 figures, 53 tables, 32 references. Separately added appendixes.

**Keywords:** BREEAM, LEED, the investor, user, SAW, ARAS, AHP, Bayes theorem, harmony with the environment, renewal

**(Baigiamojo darbo sąžiningumo deklaracijos forma)**

**VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS**

Aurimas Bružas, 20082961

(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

Statybos fakultetas

(Fakultetas)

Statybos technologijos ir valdymas, STVfm-13

(Studijų programa, akademinė grupė)

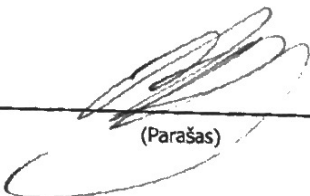
**BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO)  
SĄŽININGUMO DEKLARACIJA**

2015 m. gegužės 11 d.

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas tema „Daugiabučių pastatų atnaujinimo vertinimo taikant LEED ir BREEAM metodus galimybių analizė“ patvirtintas 2014 m. spalio 16 d. dekanų potvarkiu Nr. 503st, yra savarankiškai parašytas. Šiame darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Parinkant ir įvertinant medžiagą bei rengiant baigiamąjį darbą, mane konsultavo mokslininkai ir specialistai: dr. Darius Migilinskas. Mano darbo vadovas doc. dr. Tatjana Vilutienė.

Kitų asmenų indėlio į parengtą baigiamąjį darbą nėra. Jokių įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs (-usi).

  
(Parašas)

Aurimas Bružas

(Vardas ir pavardė)

# TURINYS

|                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS .....                                                                                          | 9  |
| LENTELIŲ SĄRAŠAS .....                                                                                           | 10 |
| SANTRUMPOS .....                                                                                                 | 12 |
| ĮVADAS .....                                                                                                     | 13 |
| 1. PASTATŲ DARNOS SU APLINKA VERTINIMO SISTEMOS .....                                                            | 16 |
| 1.1. BREEAM ir LEED .....                                                                                        | 16 |
| 1.2. Skaičiavimo metodika.....                                                                                   | 20 |
| 1.3. Darnos su aplinka metodų taikymo pavyzdžiai .....                                                           | 24 |
| 1.3.1. Prekybos centras IKEA. ....                                                                               | 24 |
| 1.3.2. Tvarusis Kalnėnų miestelis GREEN HILLS.....                                                               | 25 |
| 1.3.3. BREEAM: pramoninės paskirties pastatas .....                                                              | 27 |
| 2. DAUGIABUČIŲ NAMŲ ATNAUJINIMO PRIEMONIŲ DARNOS VERTINIMO TAIKANT BREEAM IR LEED METODUS GALIMYBIŲ ANALIZĖ..... | 29 |
| 2.1. Darbo modelio schema .....                                                                                  | 29 |
| 2.2. Metodų taikytų darbe apžvalga.....                                                                          | 31 |
| 2.3. Investicijų efektyvumo rodiklių kompleksas .....                                                            | 37 |
| 2.3.1. Naudingos objekto vietos investicinis segmentas.....                                                      | 37 |
| 2.3.2. Konstrukcinių planinių sprendimų investicinis segmentas .....                                             | 37 |
| 2.4. Finansinių rodiklių segmentas .....                                                                         | 38 |
| 3. ALTERNATYVŲ APRAŠYMAS .....                                                                                   | 45 |
| 3.1. Alternatyvų vertinimo kriterijų sistemos .....                                                              | 45 |
| 3.1.1. LEED, BREEAM metodikų kriterijai .....                                                                    | 45 |
| 3.1.2. Kriterijų sistema vertinant alternatyvas iš naudotojo pozicijos .....                                     | 46 |
| 3.1.3. Kriterijų sistema vertinant alternatyvas iš investuotojo pozicijos .....                                  | 46 |
| 3.2. Lyginamų alternatyvų aprašymas .....                                                                        | 46 |
| 3.2.1. Namas Verkių slėnyje, Bajorų kalvos.....                                                                  | 47 |
| 3.2.2. Namas Pilaitėje, M. Jankaus g. ....                                                                       | 49 |
| 3.2.3. Namas Šnipiškėse, Rinktinės g. ....                                                                       | 52 |
| 3.2.4. Namas Pilaitėje, Priegliaus g. ....                                                                       | 54 |
| 3.2.5. Namas Šnipiškėse, Linkmenų g. ....                                                                        | 57 |
| 3.3. Alternatyvų vertinimas daugiakriterio vertinimo metodais .....                                              | 59 |
| 3.3.1. Alternatyvų vertinimas atsižvelgiant į naudotojo prioritetus .....                                        | 59 |
| 3.3.2. Skaičiavimai SAW metodu.....                                                                              | 60 |
| 3.3.3. Skaičiavimas ARAS metodu.....                                                                             | 62 |
| 3.3.4. Alternatyvų vertinimas investuotojui. ....                                                                | 65 |

|                                                       |     |
|-------------------------------------------------------|-----|
| 3.3.6. <i>Skaičiavimas ARAS metodu</i> .....          | 68  |
| 3.4. Gautų rezultatų analizė .....                    | 71  |
| IŠVADOS .....                                         | 78  |
| LITERATŪROS SĄRAŠAS.....                              | 81  |
| PRIEDAI .....                                         | 85  |
| A priedas alternatyvų įvertinimas BREEAM metodu ..... | 85  |
| B priedas alternatyvų įvertinimas LEED metodu .....   | 103 |
| C priedas BREEAM metodo priemonių skaičiavimas .....  | 117 |
| D priedas BREEAM metodo priemonių skaičiavimas .....  | 124 |

## PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

|                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>1 pav.</b> Green Hill namo vizualizacija (Vesta 2014). .....                         | 25 |
| <b>2 pav.</b> Atsinaujinančių energijos išteklių sistemos (Vesta 2014). .....           | 26 |
| <b>3 pav.</b> Namų langų orientacija saulės kryptimi ir išdėstymas (Vesta 2014). .....  | 27 |
| <b>4 pav.</b> Pastato vizualizacija (Vesta 2015). .....                                 | 28 |
| <b>5 pav.</b> Sprendimų priėmimo modelis. ....                                          | 30 |
| <b>6 pav.</b> Aras metodo skaičiavimo etapai (Zavadskas, Turskis 2010). .....           | 31 |
| <b>7 pav.</b> SAW metodo skaičiavimo etapai (Hwang, Yoon 1981). .....                   | 34 |
| <b>8 pav.</b> Daugiabutis Bajorų kalvos (Bajorų kalvos 2015). .....                     | 47 |
| <b>9 pav.</b> Statomo namo Bajorų kalvos, Vilniaus mieste (Bajorų kalvos 2015). .....   | 47 |
| <b>10 pav.</b> Daugiabutis M. Jankaus g. (Namas Pilaitėje 2015). .....                  | 49 |
| <b>11 pav.</b> Statomo namo M. Jankaus g. Vilniaus mieste (Namas Pilaitėje 2015). ..... | 50 |
| <b>12 pav.</b> Daugiabutis Rinktinės g. (Namas Šnipiškėse 2015). .....                  | 52 |
| <b>13 pav.</b> Statomo namo Rinktinės g. Vilniaus mieste (Namas Šnipiškėse 2015). ..... | 52 |
| <b>14 pav.</b> Daugiabutis Priegliaus g. (Namas Pilaitėje B 2015). .....                | 54 |
| <b>15 pav.</b> Namas Priegliaus g. Vilniaus mieste (Namas Pilaitėje B 2015). .....      | 55 |
| <b>16 pav.</b> Daugiabutis Šnipiškėse, Linkmenų g. (Namas Šnipiškėse B 2015). .....     | 57 |
| <b>17 pav.</b> Statomo namo vieta Vilniaus mieste (Namas Šnipiškėse B 2015). .....      | 57 |
| <b>18 pav.</b> Priemonių kainų ir gautų kreditų palyginimas pagal BREEAM. ....          | 74 |
| <b>19 pav.</b> Priemonių kainų ir gautų kreditų palyginimas pagal LEED. ....            | 76 |

## LENTELIŲ SĄRAŠAS

|                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>1 lentelė.</b> BREEAM metodo kriterijų grupės ir jų reikšmingumai .....                       | 17 |
| <b>2 lentelė.</b> Svarbiausių LEED 2009 vertinimo sričių reikšmingumai.....                      | 17 |
| <b>3 lentelė.</b> Tarptautinis LEED ir BREEAM metodų panaudojimas (Cole, Valdebenito 2013) ..... | 19 |
| <b>4 lentelė.</b> BREEAM 2014 metodo kriterijų grupės ir jų kriterijai.....                      | 20 |
| <b>5 lentelė.</b> LEED v3. 2009 metodo kriterijų grupės ir jų kriterijai .....                   | 22 |
| <b>6 lentelė.</b> Žaliųjų plotų buvimas.....                                                     | 37 |
| <b>7 lentelė.</b> Darželių ir mokyklų skaičius.....                                              | 37 |
| <b>8 lentelė.</b> Šildymo tipas.....                                                             | 37 |
| <b>9 lentelė.</b> Palyginimas su gretimai statomų kitų įmonių objektais.....                     | 37 |
| <b>10 lentelė.</b> Eksperto apklausos lentelės pavyzdys.....                                     | 39 |
| <b>11 lentelė.</b> Žalio pastato vertinimo sistemos pavyzdys.....                                | 39 |
| <b>12 lentelė.</b> LEED ir BREEAM metodais gautų įvertinimų palyginimas .....                    | 40 |
| <b>13 lentelė.</b> Apklaustų ekspertų rezultatai .....                                           | 41 |
| <b>14 lentelė.</b> Skaičiavimo rezultatai nustatant reikšmingumus .....                          | 42 |
| <b>15 lentelė.</b> Skaičiavimo matrica .....                                                     | 43 |
| <b>16 lentelė.</b> Normalizuota matrica .....                                                    | 44 |
| <b>17 lentelė.</b> Alternatyvų įvertinimas .....                                                 | 44 |
| <b>18 lentelė.</b> BREEAM metodo kriterijų grupės ir jų reikšmingumai .....                      | 45 |
| <b>19 lentelė.</b> Svarbiausių LEED 2009 vertinimo sričių reikšmingumai .....                    | 45 |
| <b>20 lentelė.</b> BREEAM svarbiausių vertinimo sričių reikšmingumai.....                        | 48 |
| <b>21 lentelė.</b> LEED svarbiausių vertinimo sričių reikšmingumai .....                         | 48 |
| <b>22 lentelė.</b> BREEAM svarbiausių vertinimo sričių reikšmingumai.....                        | 50 |
| <b>23 lentelė.</b> LEED svarbiausių vertinimo sričių reikšmingumai .....                         | 51 |
| <b>24 lentelė.</b> BREEAM svarbiausių vertinimo sričių reikšmingumai.....                        | 53 |
| <b>25 lentelė.</b> LEED svarbiausių vertinimo sričių reikšmingumai .....                         | 53 |
| <b>26 lentelė.</b> BREEAM svarbiausių vertinimo sričių reikšmingumai.....                        | 55 |
| <b>27 lentelė.</b> LEED svarbiausių vertinimo sričių reikšmingumai .....                         | 56 |
| <b>28 lentelė.</b> BREEAM svarbiausių vertinimo sričių reikšmingumai.....                        | 58 |
| <b>29 lentelė.</b> LEED svarbiausių vertinimo sričių reikšmingumai .....                         | 58 |
| <b>30 lentelė.</b> AHP metodu nustatyti kriterijų reikšmingumai .....                            | 59 |
| <b>31 lentelė.</b> AHP kriterijų reikšmingumų įvertinimas .....                                  | 60 |
| <b>32 lentelė.</b> Pradinių duomenų matrica.....                                                 | 60 |
| <b>33 lentelė.</b> Normalizuota matrica .....                                                    | 61 |

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>34 lentelė.</b> Geriausios alternatyvos nustatymas .....                          | 62 |
| <b>35 lentelė.</b> Pradinė matrica.....                                              | 62 |
| <b>36 lentelė.</b> Normalizuota matrica .....                                        | 63 |
| <b>37 lentelė.</b> Normalizuota matrica .....                                        | 63 |
| <b>38 lentelė.</b> Svertinė matrica.....                                             | 64 |
| <b>39 lentelė.</b> Naudingumo laipsnio nustatymas .....                              | 64 |
| <b>40 lentelė.</b> AHP metodu nustatyti kriterijų reikšmingumai .....                | 65 |
| <b>41 lentelė.</b> AHP kriterijų reikšmingumų įvertinimas .....                      | 66 |
| <b>42 lentelė.</b> Pradinė duomenų matrica.....                                      | 67 |
| <b>43 lentelė.</b> Normalizuota matrica .....                                        | 67 |
| <b>44 lentelė.</b> Geriausios alternatyvos nustatymas .....                          | 68 |
| <b>45 lentelė.</b> Normalizuota matrica .....                                        | 68 |
| <b>46 lentelė.</b> Normalizuota matrica .....                                        | 69 |
| <b>47 lentelė.</b> Duomenys paverčiami bedimensiais dydžiais.....                    | 69 |
| <b>48 lentelė.</b> Svertinė matrica.....                                             | 70 |
| <b>49 lentelė.</b> Naudingumo laipsnio nustatymas .....                              | 70 |
| <b>50 lentelė.</b> Investuotojo ir naudotojo įvertinimų MCDA metodais suvestinė..... | 71 |
| <b>51 lentelė.</b> Vertinimo BREEAM IR LEED metodais rezultatų suvestinė .....       | 72 |
| <b>52 lentelė.</b> BREEAM įvertinimo, gautų rezultatų suvestinė .....                | 73 |
| <b>53 lentelė.</b> LEED įvertinimo, gautų rezultatų suvestinė .....                  | 75 |

## **SANTRUMPOS**

AHP (angl. Analytic Hierarchy Process) – analitinio hierarchinio proceso metodas;

ARAS (ang. Additive Ratio Assessment ) – adityvinis kriterijų santykių įvertinimo metodas;

BREEAM (angl. Building Research Establishment Environmental Assessment Method) – pastatų poveikio aplinkai vertinimo metodas;

LEED (angl. The Leadership in Energy and Environment Design) – energiška efektyvaus ir ekologiško projektavimo vadovas;

COPRAS (angl. COmplex PROportional ASsessment) kompleksinio proporcingumo vertinimo metodas;

SAW (angl. Simple Additive Weighting) – paprastas svorių sudėjimo metodas.

MCDA (angl. Multiple Criteria Decision. Analysis) daugiakriterinė sprendimų analizė.

## IVADAS

**Darbo aktualumas.** Aplinkos ministerijai priėmus naują daugiabučių namų atnaujinimo (modernizavimo) programą vis daugiau daugiabučių namų gyventojų sutinka atlikti modernizavimą. 96 % daugiabučių namų pastatyta iki 1993 m., dauguma jų yra ekonomiškai neefektyvus (Atnaujink būstą 2013). Norint pagerinti pastatų energinį efektyvumą reikia atlikti, pavyzdžiui, tokius darbus:

1. Šildymo ir karšto vandens sistemų pertvarkymas ir keitimas;
2. Ventiliacijos ir rekuperacijos sistemų pertvarkymas, keitimas ar įrengimas;
3. Stogo šiltinimas, taip pat naujos dangos ar naujo šlaitinio stogo įrengimas ir perdangos po vėdinama šlaitinio stogo pastoge šiltinimas;
4. Fasado sienų (taip pat ir cokolio) šiltinimas, įskaitant sienų (cokolio) konstrukcijos defektų pašalinimą ir nuograndos sutvarkymas;
5. Balkonų ar lodžių įstiklinimas, įskaitant esamos balkonų ar lodžių konstrukcijos sustiprinimą ir naujos įstiklinimo konstrukcijos įrengimą pagal vieną projektą;
6. Laiptinių lauko durų ir tambūro durų keitimas, įskaitant susijusius apdailos darbus, įėjimo laiptų remontą ir pritaikymą neįgalųjų poreikiams.
7. Butų ir kitų patalpų langų keitimas į mažesnio šilumos pralaidumo langus.
8. Rūsio perdangos šiltinimas.
9. Liftų atnaujinimas (modernizavimas) – jų keitimas techniniu energiniu požiūriu efektyvesniais liftais, įskaitant prieėjimo prie lifto pritaikymą neįgalųjų poreikiams (Atnaujink būstą 2013).

Rengiant investicinį projektą pastato modernizavimui modernizavimo priemonės kol kas parenkamos pagal du pagrindinius kriterijus: priemonės kaina ir priemonės poveikis šilumos energijos sutaupymui modernizavus pastatą. Taip pat skaičiuojama, kiek CO<sub>2</sub> bus sutaupyta modernizavus pastatą. Tačiau kompleksinė pastato atnaujinimo priemonių darnos analizė neatliekama.

Projektuojant ir statant naujus pastatus vis dažniau taikomi pastatų darnumo su aplinka vertinimo metodai BREEAM ir LEED (BREEAM 2013). Tačiau šių metodų taikymo galimybės rengiant modernizavimo projektus dar nebuvo nagrinėjamos.

Siekiant įvertinti BREEAM ir LEED naudojimo modernizavimo priemonių parinkimui galimybes darbe bus nagrinėjami nekilnojamojo turto rinkoje paklausūs daugiabučiai namai, esantys Vilniuje: Bajorų kalvose, M. Jankaus g., Rinktinės g., Priegliaus g. ir Linkmenų g. Tokių objektų paklausą nekilnojamojo turto rinkoje lemia ne tik tai, kad pastatas naujas, bet ir tai kokią šiluminį – energinį komfortą gyventojams sukuria priemonės, įdiegtos statant juos. Naujos statybos

daugiabučiai pasirinkti, nes jų energinė klasė ne mažesnė nei B, statant juos vis dažniau įrengiamos mechaninės vėdinimo sistemos su šilumogrąža, kitos energiją taupančios ir gyvenimo kokybę gerinančios priemonės. Modernizuojant senus pastatus leidžiama pasiekti tik C energinio efektyvumo klasę. Tai pasiekama minimaliomis leistinėmis (ir dažnai pigiausiomis) priemonėmis, dėl to dažnai skundžiamasi, kad po modernizacijos gyvenimo kokybė (šiluminio komforto ir sveikatos atžvilgiu) tokiuose daugiabučiuose nepagerėjo. Pasirinkus naujos statybos daugiabučius taip pat tikimasi įvertinti, kiek šiuo metu naujai statomi daugiabučiai darnūs vertinant BREEAM ir LEED metodais bei kokios juose įdiegtos su darna susijusios priemonės ekonomiškai efektyvios atnaujinant pastatus.

### **Darbe taikyti metodai**

Darbe atnaujinimo priemonių darnos vertinimui taikomi BREEAM ir LEED metodai. Kriterijų reikšmingumams nustatyti atliekama ekspertų apklausa. Ekspertų nuomonių suderinamumas tikrinamas taikant Bajeso teoremą (Turskis *et al.* 2010). Kriterijų reikšmingumui nustatyti naudojamas AHP metodas (Saaty 2008). Pasirinkti daugiabučiai įvertinami iš naudotojo ir investuotojo pozicijų taikant daugiakriterės analizės metodus. Tokiu būdu parenkamas gyvenamasis namas, kuris patraukliausias tiek investuotojui, tiek ir gyventojui. Nustačius pastatų patrauklumą, daugiabučiuose įdiegtos priemonės vertinamos BREEAM ir LEED metodais. Gauti rezultatai lyginami su vartotojo ir investuotojo pasirinktais namais ir stebima, ar geriau įvertinti pastatai pagal darnos su aplinka metodus atitinka naudotojo ir investuotojo pasirinkimus vertinant pagal kitus, ne darnos kriterijų grupėse esamus kriterijus.

Naudojantis BREEAM ir LEED metodais įvertinti pastatai tarpusavyje palyginami pagal panaudotas priemones darnai su aplinka pasiekti. Skaičiuojama pritaikytų priemonių darnai su aplinka pasiekti investicijų kaina. Gauti rezultatai parodo taikytų priemonių patrauklumą tiek darnos, tiek ekonominių kriterijų atžvilgiu, jei būtų investuojama į pastato atnaujinimą.

Darbe atlikus visus skaičiavimus analizuojamos BREEAM ir LEED taikymo vertinant pastatus pagal darną su aplinka galimybės. Atliktas tyrimas naudingas dar tuo, kad leidžia įvertinti, kaip šiuo metu vykdomi statybos procesai atitinka BREEAM IR LEED darnos kriterijus.

**Tyrimo objektas** – pastatų modernizavimui parinktų darnos su aplinka priemonių pagrindumas darnos ir kaštų aspektais.

**Hipotezė** – brangūs ir pagal aplinkosauginius standartus parengti projektai nebūtinai yra ekonomiškai pagrįsti ir investicija gali būti neracionali.

**Darbo tikslas** – atlikti naujai statomuose pastatuose įdiegtų priemonių, leidžiančių pasiekti darną su aplinka, kaštų analizę ir nustatyti, kurios jų gali būti taikomos modernizuojant pastatus.

### **Darbo uždaviniai:**

1. Sukurti modelį modernizavimo priemonės darnos kaštų analizei.

2. Parinkti metodus darnos kaštų analizei atlikti.
3. Pritaikyti modelį naudojant realius pavyzdžius.
4. Parinkti darnos kaštų analizei kriterijų sistemą visapusiškai apibūdinančią analizuojamas alternatyvas.
5. Įvertinti alternatyvas iš investuotojo ir naudotojo pozicijų.
6. Atlikti rezultatų analizę ir suformuluoti išvadą dėl hipotezės patvirtinimo arba paneigimo.
7. Išrinkti priemones, kurias galima panaudoti atnaujinant pastatus siekiant sumažinti neigiamą poveikį aplinkai.

# **1. PASTATŲ DARNOS SU APLINKA VERTINIMO SISTEMOS**

## **1.1. BREEAM ir LEED**

Pastatai šiuo metu suvartoja daugiau nei 40 % energijos ir išskiria 36 % Europos sąjungos CO<sub>2</sub> emisijos. Pastatai, palyginti su transporto, žemės ūkio ir pramonės sektoriais, išskiria daugiausia anglies dioksido.

Viena iš esminių priemonių, leidžiančių sutaupyti energiją ir mažiau išskirti šalutinių produktų – tai pastatai su stiklinėmis išorės sienomis. Tai leidžia sutaupyti iki 40 % pastato suvartojamos energijos. Dėl to daugelis architektų renkasi tokias konstrukcijas ir architektūrą, nes stiklas yra ekologiška medžiaga ir leidžia tinkamai panaudoti saulės energiją. Vietovėse, kur labai karšta, stiklas leidžia panaudoti saulės šviesą patalpų apšvietimui, o ten kur šaltesnis klimatas, saulė panaudojama ir natūraliam patalpų šildymui. Tai suteikia daug privalumų pastatams vertinant juos pastatų darnumo vertinimo metodais (Sustainable Buildings 2013).

Naudoti energiją taupančias medžiagas pastatų statybai – tai viena, bet kontroliuoti medžiagų savybes ir kriterijus jų egzistavimo periodu yra visai kas kita. Tam reikia įvertinti daug ekologiškų, žaliųjų kriterijų. Tai tokie kriterijai kaip medžiagų perdirbimo lygis, perdirbtos medžiagos panaudojimas, pastato palankumas aplinkai, vidaus oro kokybė (Sustainable Buildings 2013).

Labiausiai paplitusios reitingavimo sistemos, taikomos pastatams vertinti Europoje, yra LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) ir BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method). Šie vertinimo metodai skirti įvertinti pastatų efektyvumą naudojant energiją, vandenį ir kitas priemones, kad būtų sumažintas poveikis aplinkai bei užterštumas.

BREEAM 1990 metais sukurtas Didžiojoje Britanijoje. Šiuo metodu įvertintas ir sertifikuotas pastatas Kaune, Karaliaus Mindaugo pr. 49. Jis išskirtas į dvi dalis, kurios skirtingai įvertintos. Pirmoji dalis surinko 29,4 % ir antroji 47,4 %. Pastatas pastatytas 2006 metais (BREEAM Certified Projects 2012).

BREEAM metodas skirtas sumažinti pastatų daromą poveikį aplinkai, skatinti darnių pastatų paklausą ir pripažinimą pagal jų poveikį aplinkai.

Kokie kriterijai išskiriami ir kokie suteikiami jiems reikšmingumai, vertinant LEED ir BREEAM metodais (žr. 1 ir 2 lenteles).

**1 lentelė.** BREEAM metodo kriterijų grupės ir jų reikšmingumai

| Eil. Nr. | Kriterijų grupė                                    | Balai | Reikšmingumas (%) |
|----------|----------------------------------------------------|-------|-------------------|
| 1.       | Valdymas (Management)                              | 21    | 12                |
| 2.       | Sveikata ir gerovė (Health and Wellbeing)          | 18    | 15                |
| 3.       | Energija (Energy)                                  | 22    | 15                |
| 4.       | Transportas (Transport)                            | 10    | 9                 |
| 5.       | Vanduo (Water)                                     | 8     | 7                 |
| 6.       | Medžiagos (Materials)                              | 14    | 13,5              |
| 7.       | Atliekos (Waste)                                   | 8     | 8,5               |
| 8.       | Žemės naudojimas ir ekologija (Land Use & Ecology) | 10    | 10                |
| 9.       | Tarša (Pollution)                                  | 13    | 10                |
| 10.      | Inovacijos (Innovation)                            | 19    | Papildomai – 10   |

**2 lentelė.** Svarbiausių LEED 2009 vertinimo sričių reikšmingumai

| Eil. Nr. | Kriterijų grupė                                       | Reikšmingumas (%) |
|----------|-------------------------------------------------------|-------------------|
| 1.       | Darnūs sklypai (Sustainable sites)                    | 26                |
| 2.       | Vandens vartojimo efektyvumas (Water efficiency)      | 10                |
| 3.       | Energija ir atmosfera (Energy and atmosphere)         | 35                |
| 4.       | Medžiagos ir ištekliai (Materials and resources)      | 14                |
| 5.       | Patalpų aplikos kokybė (Indoor environmental quality) | 15                |
| 6.       | Dizaino inovacijos (Innovation in design)             | 10                |
| 7.       | Vietos paklausimo kreditas (Regional priority credit) | 4                 |

Vertinant LEED būdu pastatai suskirstomi į 4 grupes tai:

- sertifikuoti (Certified) pastatai: surinkta 40 – 49 balai;
- Sidabriniai (Silver) įvertinti pastatai: surinkta 50 – 59 balai;
- Auksiniai (Gold) įvertinti pastatai: surinkta 60 – 79 balai;
- Platininiai (Platinum) įvertinti pastatai: surinkta 80+ balų.

Įvertinus BREEAM reitingavimo „BREEAM Europe Commercial“ būdu suskirstomi pastatai į 5 grupes:

- atitinkantys (Pass) surinko 30 – 45 %;
- geri (Good) 45 – 55 %;
- labai geri (Very Good) 55 – 70 %;
- puikus (Excellent) 70 – 85 %;
- nepakartojami (Outstanding) >85 %.

LEED metodas buvo sukurtas 1993 metais Jungtinėse Amerikos Valstijose, įkūrus Jungtinių Valstijų žaliųjų pastatų valdybą. 2000 metais sukurta naujesnio tipo vertinimo sistema „LEED NC Version-2“, skirta naujo dizaino pastatams ir esminėms renovacijoms tiek gyvenamųjų pastatų, tiek komercinės paskirties pastatų darnumo vertinimui.

BREEAM metodas (Didžioji Britanija) ir LEED metodas (JAV) skirti pastatų darnumui įvertinti. Jų įkūrėjai plėtoja metodus ne tik savo šalyse bet ir užsienio valstybėse. Jų populiarumą ir panaudojimą galima stebėti internete. BREEAM duomenys yra viešai prieinami „GreenBookLive Database“ jame matomi sertifikuoti projektai nuo 2008 metų. LEED duomenys prieinami per „GBCI Project Directory Database“ jame galima rasti visą sąrašą projektų ir sertifikuotų pastatų nuo 2000 metų. Palyginimui pateikiami duomenys 3 lentelėje (Cole, Valdebenito 2013).

**3 lentelė.** Tarptautinis LEED ir BREEAM metodų panaudojimas (Cole, Valdebenito 2013)

| <b>LEED</b>                                                            |                                                  |                                             |                     |
|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------|
| Šalių skaičius naudojantis šį metodą (įskaitant ir JAV)                | Projektų skaičius (įskaitant JAV)                | Projektų skaičius ne JAV                    | LEED Aps skaičius   |
| 135                                                                    | 47 651                                           | 6348 (13 %)                                 | 165.918             |
| <b>BREEAM</b>                                                          |                                                  |                                             |                     |
| Šalių skaičius naudojantis šį metodą (įskaitant ir Didžiąją Britaniją) | Projektų skaičius (įskaitant Didžiąją Britaniją) | Projektų skaičius ne Didžiojoje Britanijoje | BREEAM Aps skaičius |
| 34                                                                     | 2898                                             | 681 (23 %)                                  | 483                 |

Vienas iš pavyzdžių galėtų būti Vilniaus Gedimino technikos universiteto studentų miestelio plėtros projektas, kuriame svarstoma, kaip pagerinti studijų infrastruktūrą. Šiam vertinimui buvo naudojama kelių metodų apibendrinti kriterijai, kad atitiktų regiono reikalavimus. Tai: aplinkos ir sveikatos apsauga, inovacijų taikymas, energinis efektyvumas, vandentvarkos ir išteklių naudojimo efektyvumas, atliekų tvarkymo ir taršos sprendimai. Buvo atliekami tyrimai, empirinių tyrimų metodika – atlikta apklausa. Kaip respondentai pasirinkti universiteto studentai ir absolventai. Respondentų buvo klausama, kokių patalpų reikėtų naujai įrengtame savarankiškų studijų pastate. Buvo pateikta dešimt galimų atsakymo variantų: 1) skaityklos, 2) darbo kompiuteriais patalpos, 3) susirinkimų salės, 4) grupinio darbo patalpų, 5) biuro paslaugų patalpos, 6) kūrybinio darbo patalpų, 7) kavinės, 8) individualaus darbo patalpų, 9) seminarų patalpos, 10) kitos paskirties patalpų (nurodykite). Apklausoje, kuri vyko tiesiogiai, dalyvavo daugiau kaip 100 respondentų. Tyrimai užtruko vieną savaitę.

Apibendrinus gautus apklausos rezultatus paaiškėjo, kad studentai labiausiai pageidautų patalpų, skirtų darbui grupėse (17 % respondentų), kūrybinio darbo patalpų (17 % respondentų) bei individualaus darbo patalpų (15 % respondentų). Nemažai respondentų manė, kad būtų reikalingos seminarų patalpos su projektoriumi (11 % respondentų), kurios būtų skirtos pasirengti studijų darbų pristatymams, gynimams ar peržiūroms. Gauti apklausos rezultatai rodo, kad empirinių tyrimų metodai taikytini formuojant pastato konversijos programą, funkcinę schemą bei techninę užduotį. Tačiau rengiantis galimam studentų miestelio pokyčiui reiktų atsižvelgti į įvairius urbanistinius ir architektūrinius aplinkos tyrimus (Mickaitis, Laštauskienė 2013).

## 1.2. Skaičiavimo metodika

Kiekviena kriterijų grupė turi savo kriterijus, pagal kuriuos pastatas vertinamas suteikiant tam tikrą balų (kreditų) skaičių, kurį vertintojas skiria, jeigu vertinamasis objektas atitinka kriterijaus keliamus reikalavimus.

BREEAM 2014 darnių daugiabučių pastatų vertinimo metodo grupių kriterijai.

Reitingo pagal BREEAM nustatymo procesas atliekamas taip:

1. Kiekvienai aplinkos sekcijai suteiktų kreditų skaičius turi būti nustatytas vertintojo pagal kiekvieną vertinimo problemos kriterijų.

2. Apskaičiuojamas kreditų procentas pasiektas kiekvienoje sekcijoje, kuris dauginamas iš atitinkamo sekcijos reikšmingumo. Taip gaunamas bendras aplinkos sekcijos rezultatas.

3. Sekcijų rezultatai sudedami, taip gaunamas bendras BREEAM rezultatas, kuris palyginamas su BREEAM reitingų gairėmis ir, jeigu visi minimalių standartų reikalavimai buvo patenkinti, tai atitinkamas BREEAM reitingas buvo pasiektas.

4. Papildomas 1 % gali būti pridėtas prie galutinio BREEAM įvertinimo rezultato už kiekvieną gautą inovacijų kreditą (daugiausia iki 10 %) (žr. 4 lentelę).

**4 lentelė.** BREEAM 2014 metodo kriterijų grupės ir jų kriterijai

|                                                     |                                  |
|-----------------------------------------------------|----------------------------------|
|                                                     |                                  |
| <b>ENERGIJA</b>                                     | <b>VANDUO</b>                    |
| CO <sub>2</sub> emisijos sumažinimas                | Vandens sunaudojimas             |
| Energijos suvartojimo apskaita                      | Vandens skaitikliai              |
| Energija taupantis išorinis apšvietimas             | Vandens nutekėjimo aptikima      |
| Mažai ar išvis neišskiriantys anglies technologijos | Vandens perdirbimas              |
| Energiją taupantys įrenginiai                       | <b>ATLIEKOS</b>                  |
| Džiovinimo vietos                                   | Statybos atliekų valdymas        |
| <b>TRANSPORTAS</b>                                  | Perdirbtos medžiagos             |
| Susisiekimas                                        | Perdirbamų atliekų sandėliavimas |
| Infrastruktūra                                      | Kompostavimas                    |

|                                                         |                                                     |
|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Patogumai dviratininkams                                | <b>MEDŽIAGOS</b>                                    |
| Pėsčiųjų ir dviratininkų sauga                          | Statybos elementai                                  |
| Automobilių stovėjimo vietos                            | Pastato fasado naudojimas                           |
| <b>TARŠA</b>                                            | Esamų pastato sprendimų naudojimas                  |
| Šaldymo skysčio globalinio klimato atšilimo potencialas | Racionalus medžiagų naudojimas                      |
| Šaldymo skysčio nutekėjimas                             | Izoliacija                                          |
| Šildymo šaltinių NOx emisija                            | Atsparumo užtikrinimas                              |
| Potvynio rizika                                         | Racionalus medžiagų naudojimas – apdailos elementai |
| Vandenviečių taršos mažinimas                           | <b>SVEIKATA IR GEROVĖ</b>                           |
| <b>VALDYMAS</b>                                         | Natūralus apšvietimas                               |
| Statybos darbų kontrolė                                 | Vaizdas pro langą                                   |
| Profesionalūs statytojai                                | Privatumo užtikrinimas                              |
| Statybvietės poveikis aplinkai                          | Aukšto dažnio įtampos – srovės galios keitiklis     |
| Pastato panaudojimo instrukcija                         | Vidinio ir išorinio apšvietimo lygis                |
| Konsultavimas                                           | Natūralus vėdinimas                                 |
| Saugumas                                                | Vidinio oro kokybė                                  |
| <b>ŽEMĖS NAUDOJIMAS IR EKOLOGIJA</b>                    | Lakieji organiniai junginiai                        |
| Sklypas                                                 | Šiluminis komfortas                                 |
| Užteršta žemė                                           | Šilumos reguliavimas                                |
| Ekologinė vertė ir ekologinių savybių apsauga           | Mikrobinis užterštumas                              |
| Poveikis sklypo ekologinei vertei                       | Išorinė aplinka                                     |
| Sklypo ekologijos pagerinimas                           | Garso izoliacija                                    |
|                                                         | <b>INOVACIJOS</b>                                   |
|                                                         | Naujos technologijos                                |

LEED v3. 2009. Skirtingai nei BREEAM 2014 naudojant šį metodą įvertinama mažiau pozicijų.

Reitingo pagal LEED nustatymo procesas atliekamas taip:

1. Kiekvienai aplinkos sekcijai suteiktų kreditų skaičius parenkamas pagal vertinamą objektą. Sekcijos ir vertinimo balai skiriasi jai pastato paskirtis ligoninė, jai darželis ar gyvenamasis namas. Taip pat skiriasi lentelės ir balų skaičius priklausomai nuo vertinimo objekto būsenos. Ar tai nauja statyba, ar atnaujinamas pastatas, ar jau pastatytas pastatas (žr. 5 lentelę).

2. Apskaičiuojamas kreditų procentas pasiektas kiekvienoje sekcijoje, kuris dauginamas iš atitinkamo sekcijos reikšmingumo. Taip gaunamas bendras aplinkos sekcijos rezultatas.

3. Sekcijų rezultatai sudedami, taip gaunamas bendras LEED rezultatas, kuris palyginamas su LEED reitingų gairėmis ir, jeigu visi minimalių standartų reikalavimai buvo patenkinti, tai atitinkamas LEED reitingas buvo pasiektas.

**5 lentelė.** LEED v3. 2009 metodo kriterijų grupės ir jų kriterijai

| <b>Privalomos sąlygos</b>                                                                                                                                         | <b>Naudojamas sklypas</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Minimalus projekto reikalavimai.<br>Projekto sudėties detalizaciją.<br>Vartotojų informavimas ir naudojimosi instrukcija.<br>Grafikai ir ataskaitų dokumentacija. | Statybos žalos mažinimas aplinkai.<br>Vietos parinkimas.<br>Tobulinimas susisiekimo ir bendravimo technologijų gausa.<br>Apleistos teritorijos panaudojimas.<br>Alternatyvus transportas – viešojo transporto patogus pasiekiamumas.<br>Alternatyvus transportas – dviračių stovėjimo vietos.<br>Alternatyvus transportas – Mažai kuro naudojančios ir mažai teršiančios aplinką mašinos.<br>Alternatyvus transportas – stovėjimo vietų pakankamumas.<br>Vietos panaudojimas – apsaugoti gyventojai.<br>Vietos panaudojimas – maksimizuotas atviras plotas.<br>Lietaus vandens – tikimybės kontrolė.<br>Lietaus vandens – kokybės kontrolė.<br>Saulės energijos panaudojimas.<br>Šilumos sulaikymas – stoge.<br>Šviesos pertekliaus mažinimas |

| Vandens panaudojimo efektyvumas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Energija ir atmosfera                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Sumažinamas vandens suvartojimas.</p> <p>Efektyviai panaudojamas aplinkos vanduo.</p> <p>Inovatyvios nuotekų technologijos.</p> <p>Vandens naudojimo sumažinimas</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <p>Pagrindinių pastato energijos sistemų eksploatacija.</p> <p>Minimalus energijos suvartojimas efektyvumas.</p> <p>Pagrindinės šaldymo sistemos</p> <p>Valdymas.</p> <p>Optimizuotas energijos valdymas.</p> <p>Darbo aikštelėje atsinaujinantys energijos šaltiniai.</p> <p>Pagerinta eksploatacija.</p> <p>Šaldymo sistemos valdymas.</p> <p>Matavimas ir patikrinimas sistemų.</p> <p>Energija gauta iš atsinaujinančių energijos šaltinių.</p>                                                                                                                                                                                                                         |
| Medžiagos ir ištekliai                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Vidaus patalpų gyvenimo kokybė                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <p>Laikymas ir surinkimas perdirbamų medžiagų.</p> <p>Pastato panaudojimas – išlaikant sienas, grindis ir stogą.</p> <p>Pastato panaudojimas – išlaikant interjerą ne konstrukcinius elementus.</p> <p>Statybinių šiukšlių kontrolė ir valdymas.</p> <p>Medžiagų daugkartinis panaudojimas.</p> <p>Perdirbtų medžiagų panaudojimas.</p> <p>Vietinės žaliavos panaudojamos.</p> <p>Atsinaujinančio medžiagos naudojamos.</p> <p>Sertifikuota mediena.</p> | <p>Minimalus vidaus patalpų oro kokybės užtikrinimas.</p> <p>Vidaus tabako ir rūkymo (ETS) kontrolė.</p> <p>Gryno oro patekimo į patalpas fiksavimas ir monitoringas.</p> <p>Padidinta ventiliacija.</p> <p>Patalpų oro kokybė statybų metu – statybų metu.</p> <p>Patalpų oro kokybė statybų metu – prieš apgyvendinant patalpas.</p> <p>Mažai kenksmingos medžiagos – klijai ir sandarikliai.</p> <p>Mažai kenksmingos medžiagos – dažai ir paviršiaus apdaila.</p> <p>Mažai kenksmingos medžiagos – grindų sistemos.</p> <p>Mažai kenksmingų medžiagų naudojimas – mediena ir mažai anglies turinčios medžiagos.</p> <p>Vidaus patalpų ir išorinio teršimo kontrolė.</p> |

|                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                    | Šviesos intensyvumo valdymas.<br>Šilumos valdymas.<br>Šilumos komfortas – dizainas.<br>Šilumos komfortas – patikrinimas.<br>Dienos šviesa ir vaizdas – dienos šviesa.<br>Dienos šviesa ir vaizdas – vaizdas už lango. |
| <b>Dizaino inovacijos</b>                                                                                                          | <b>Vietos prioritetiškumas</b>                                                                                                                                                                                        |
| Dizaino inovacijos.<br>Kreditas skirtas už inovaciją, kuri nėra numatyta LEED vertinimo metode. Po 1 kreditą už kiekvieną naujovę. | Vietos paklausumo kreditas.<br>Pagal vietos paklausumą įvertinimas.<br>Priklausomai ar vieta paklausesnė. Jai paklausiausia skiriama 4 kreditai.                                                                      |

### 1.3. Darnos su aplinka metodų taikymo pavyzdžiai

#### 1.3.1. Prekybos centras IKEA.

R. Marčėnaitė (2013) rašė, jog baldų ir apyvokos daiktų prekybos centrui IKEA savininkams kilo mintis įvertinti, ar projektas atitinka aplinkosauginius reikalavimus ir ar atitinka sertifikatų reikalavimus.

IKEA centro techninį projektą rengusios ir projekto priežiūrą vykdančios projektuotojų bei inžinierių kompanijos „Baltic Engineers“ (buvusi „Ramboll Lietuva“) generalinis direktorius Darius Kvedaras pritarė idėjai – kartu su projekto partneriais, islandų kompanijos „Arkis“ architektais, jis buvo pasiūlęs ne vieną energiją taupantį sprendimą. Karštas vanduo IKEA prekybos centre bus ruošiamas naudojant saulės kolektorių generuojamą energiją, orui kondicionuoti bus įrengti šilumos siurbliai, yra ir daugiau aplinką tausojančių sprendimų. Taigi sužinoti pastato vietą darnos su aplinka siekiančių statinių kontekste buvo smalsu visiems.

„BREEAM“ standarto konsultanto vertintojo licenciją Lietuvoje gaunama išklauius Jungtinėje Karalystėje veikiančios organizacijos „BREEAM Global“ rengiamus mokymus ir išlaikius egzaminą. Beje, ši organizacija kontroliuoja ir audituoja vertinimo procedūrų kokybę. „BREEAM“ pasaulyje – populiariausia metodologija, pagal ją sertifikuota bene daugiausia pastatų.

„BREEAM“ metodologija numato platų kategorijų ir kriterijų vertinimo spektrą: tai – valdymas, sveikata ir gerovė, energija, transportas, medžiagos, vandens naudojimas, atliekos, žemės naudojimas, sklypo ekologija, tarša, naujovės. Valdymas – tai tvarka statybvietėse, darbų organizavimas, priežiūra ir viešieji pirkimai; sveikata ir gerovė – vidaus ir išorės aplinkos poveikis (triukšmas, apšvietimas, oro kokybė), atliekos – statybos išteklių naudojimo veiksmingumas, atliekų mažinimas, tvarkymas etc. Pagal pasiektus rezultatus „BREEAM“ sertifikate gali atsirasti įvertinimų

nuo „patenkinamai“ (30 % standarto) iki „labai puikiai“ (85 %).

Kai kurios aplinkosaugos srityje toliau nuėjusios valstybės – tokios kaip Nyderlandai, Švedija – „BREEAM“ terpėje yra susikūrusios savo organizacijų ir labiau savo specifikai adaptuotų vertinimo skalių.

„BREEAM“ vertinimas apima visus pastato gyvavimo ciklo etapus: projektavimą ir statybas, pastato eksploatavimą ir perdirbimą bei utilizavimą. Nors teoriškai išauginti pastatą iki „BREEAM“ standarto galima net jį renovuojant. „BREEAM“ standarto konsultantą vertintoją į projektą racionaliausia įtraukti dar projektinių siūlyimų stadijoje.

Jeigu konsultantas prie projekto prisijungia vėlesniame etape, pavyzdžiui, kai jau prasidėjusios statybos, bet kokie jo pasiūlyti pakeitimai, suprantama, kainuos papildomus pinigus. Jei visos priemonės kompleksiškai planuojamos nuo pat pradžių, natūralu, kad statybų metu nebereikės perplanuoti nei darbų, nei investicijų. Pagal „BREEAM“ standartus suprojektuotas pastatas yra taupesnis, mažiau kainuoja jo eksploatacija, kuri, vertinant ilgalaikiu periodu, gerokai viršija statybos sąnaudas.

### **1.3.2. Tvarusis Kalnėnų miestelis GREEN HILLS**

Tai pirmasis Lietuvoje vystomas gyvenamųjų namų projektas, kuris yra projektuojamas, bus vertinamas ir sertifikuojamas aukščiausiu pasaulyje pastatų poveikio aplinkai vertinimo standartu BREEAM. Siekiamas BREEAM įvertinimas „Gerai“ – tai įmonės socialinės atsakomybės ir novatoriškumo ženklas (1 pav.).

Visiems miestelio namams suteikta projektinė energinio naudingumo A klasė.

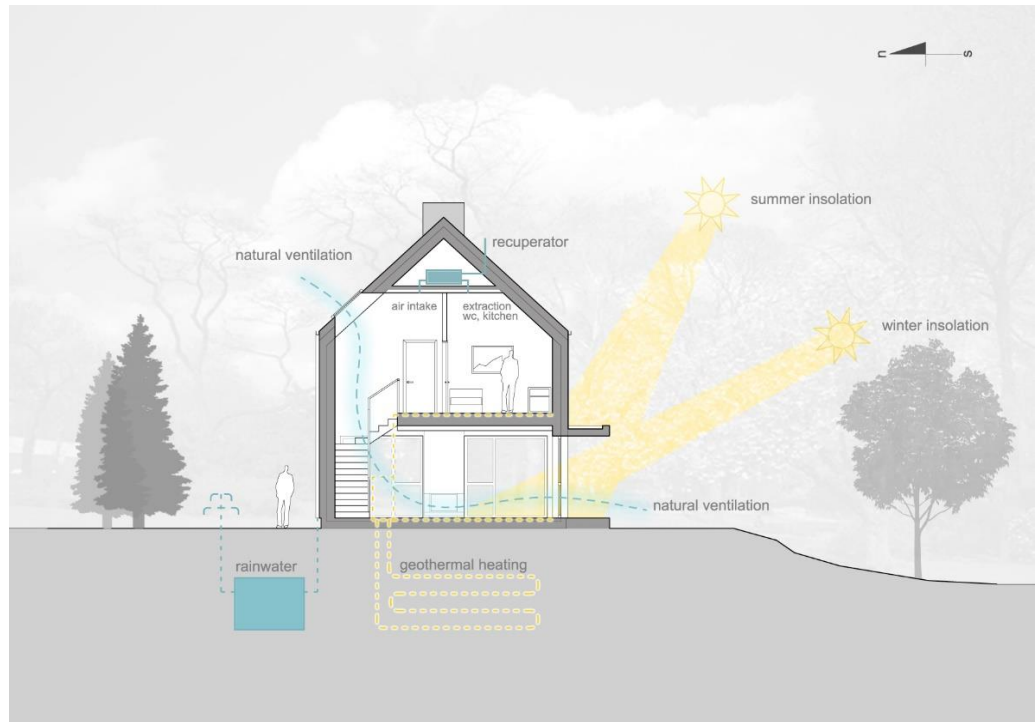


**1 pav.** Green Hill namo vizualizacija (Vesta 2014)

Naudojama atsinaujinančių energijos išteklių sistema (2 pav.):

A. Geoterminė vertikali sistema (šilumos siurblys žemė – vanduo) patalpų šildymui, vandens pašildymui ir vėsinimui.

B. Įdiegtos atsinaujinančių energijos išteklių sistemos 40 – 50 % sumažina CO<sub>2</sub> emisiją.



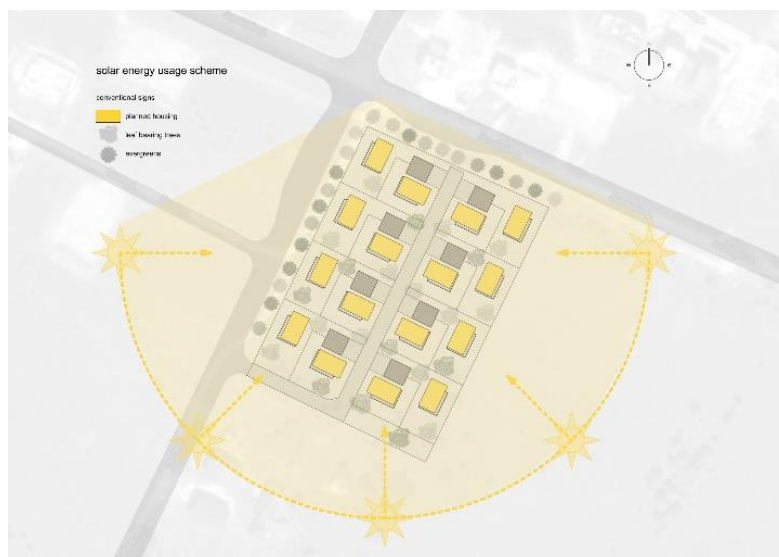
**2 pav.** Atsinaujinančių energijos išteklių sistemos (Vesta 2014)

Efektyviai išnaudota pasyvioji saulės energija (3 pav.):

A. Optimali visų miestelyje pastatų orientacija, t.y. išilgai ašies rytai–vakarai su galimu 25 laipsnių nukrypimu nuo jos.

B. 50 % visų pastato langų suprojektuota pietinėje namo pusėje, o šiaurinėje tik 10 %.

C. Gyvenamosios patalpos išdėstytos pietinėje pusėje, pagalbinės – šiaurinėje.



**3 pav.** Namų langų orientacija saulės kryptimi ir išdėstymas (Vesta 2014)

### ***1.3.3. BREEAM: pramoninės paskirties pastatas***

Pramoninės paskirties pastatas (gamykla su administracinėmis patalpomis). 4675 kv.m. Tai pirmasis Baltijos šalyse vystomas pramoninės paskirties projektas, kuris yra projektuojamas, vertinamas ir sertifikuojamas aukščiausiu pasaulyje pastatų poveikio aplinkai vertinimo standartu BREEAM (4 pav.).

Siekiamas BREEAM įvertinimas „Gera“. „Vesta Consulting“ atliko BREEAM pirminį pastato vertinimą (Prie-assessment), kuris parodė galimybes siekti aukštą įvertinimą.



**4 pav.** Pastato vizualizacija (Vesta 2015)

Apžvelgus objektus matoma, jog statybos įmonės pradeda statyti pagal naujus standartus. Taip tausojama gamta ir jos ištekliai. Įvertinti pastatų darną su aplinka leidžia plačiai naudojami pasaulyje BREEAM ir LEED vertinimo metodai.

## **2. DAUGIABUČIŲ NAMŲ ATNAUJINIMO PRIEMONIŲ DARNOS VERTINIMO TAIKANT BREEAM IR LEED METODUS GALIMYBIŲ ANALIZĖ**

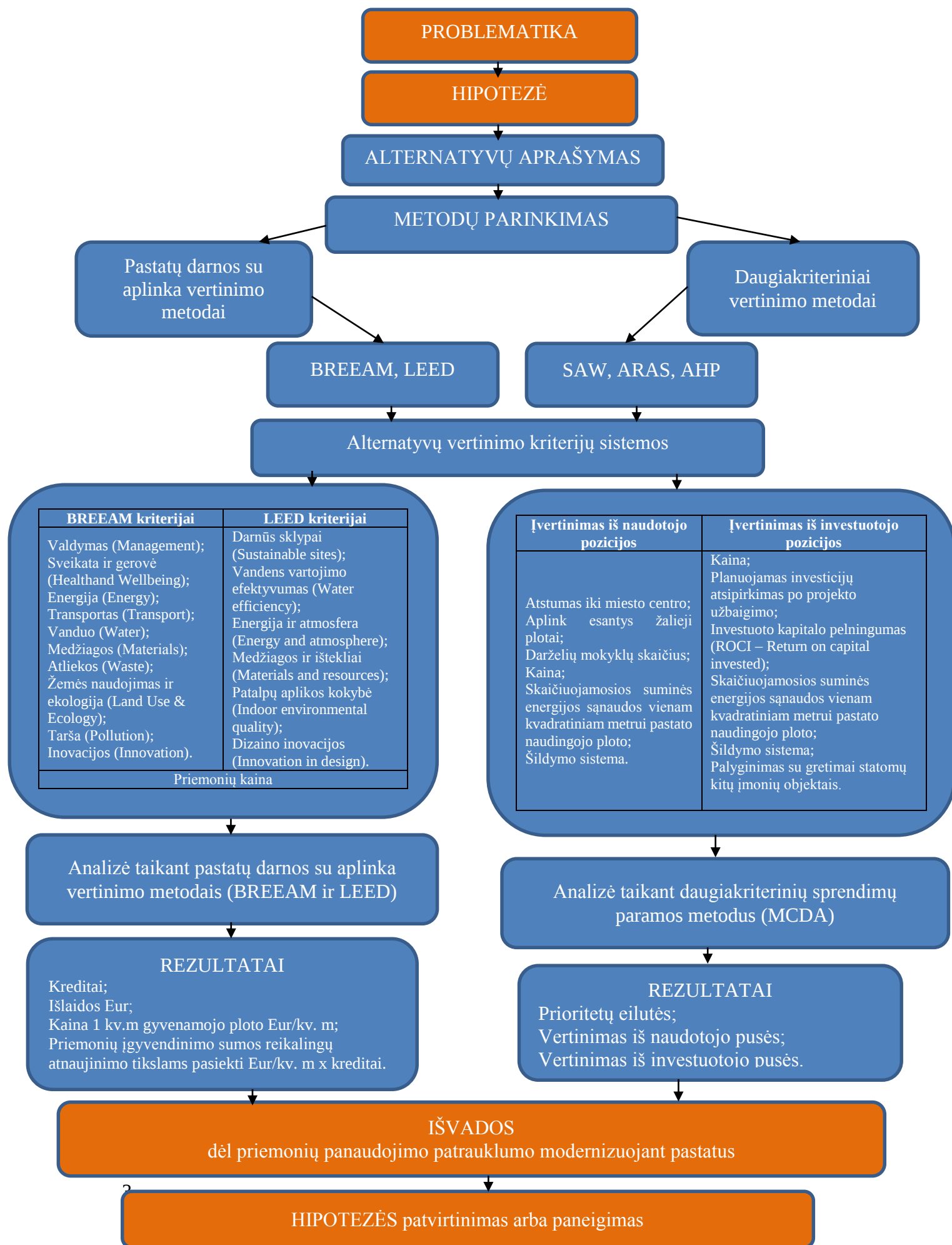
### **2.1. Darbo modelio schema**

Įvertinus šių dienų situaciją stebima, jog labiau dairomasi į efektyvesnių namų statybą ir neigiamo poveikio aplinkai mažinimą. Siekiama mažinti gamtos užterštumą ir išteklių panaudojimą. Darbe nagrinėjama problematika susijusi su priemonėmis, kurios leistų efektyviai modernizuoti pastatus. Minimaliais kaštais pasiekti geriausius rezultatus.

Suformuluojama hipotezė, jog brangūs ir pagal aplinkosauginius standartus parengti projektai nebūtinai yra ekonomiškai pagrįsti ir investicija gali būti neracionali. Ji nagrinėjama parenkant realias alternatyvas. Duomenys yra viešai prieinami ir gauti rezultatai įvertina pastatus remiantis ekspertų nuomone ir sudarytais kriterijais, kurie aktualūs investuotojui ir naudotojui. Rezultatai gali kisti naudojantis kitomis vertinimo sistemomis ir vertinant pastatus apklausiant kitus ekspertus.

Konkrečiu atveju pastatų darnos su aplinka vertinimui parenkami metodai BREEAM ir LEED. Įvertinti alternatyvų patrauklumą iš investuotojo ir naudotojo pozicijų naudojami AHP, SAW, ir ARAS daugiakriterė sprendimų paramos sistemos. Sudaromos alternatyvų vertinimo kriterijų sistemos, pateikiama detali informacija. Vertinant alternatyvas aktualiausia yra kaina. Įvertinama, kaip pastatai įvertinti darnos su aplinka metodais, atitinka naudotojo ir investuotojo pasirinkimus. Tai leidžia parinkti racionaliausias priemones, kurios naudojamos geriau įvertintuose pastatuose, ir tas priemones panaudoti pastatų modernizavimui.

Apibendrinus gautus rezultatus ir išnagrinėjus grafikus paneigiama arba patvirtinama iškelta hipotezė (5 pav.).

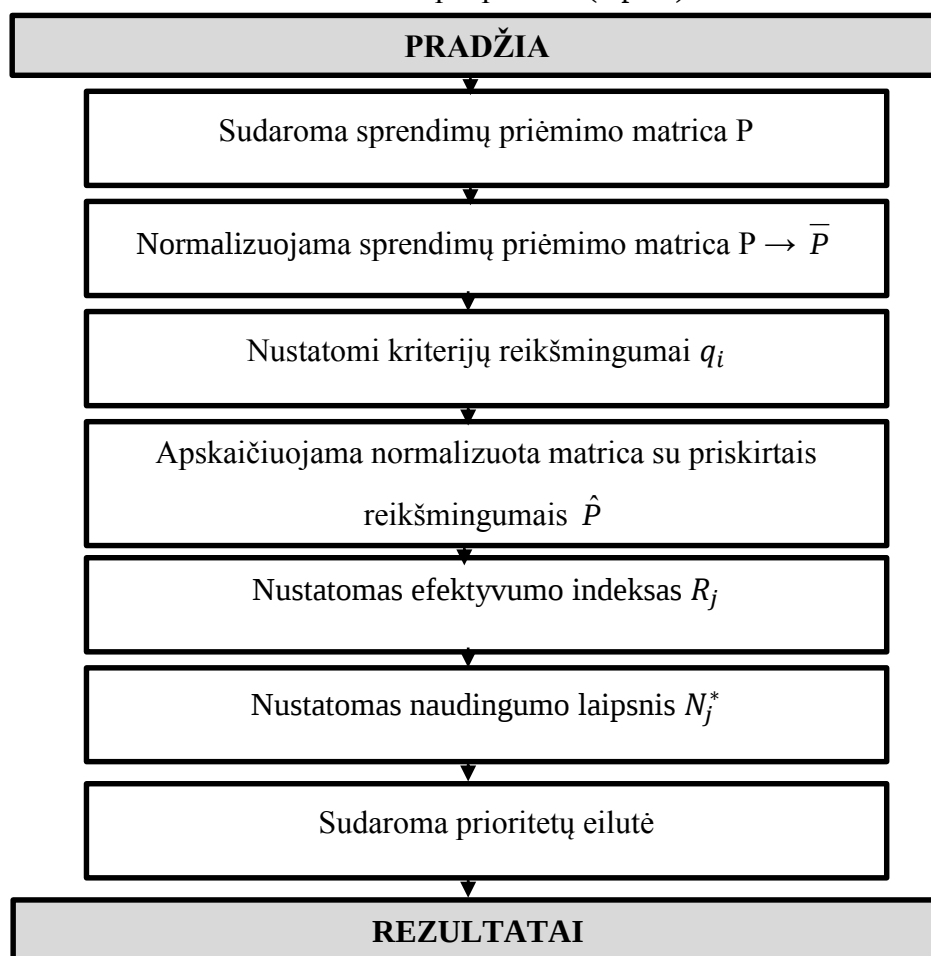


5 pav. Sprendimų priėmimo modelis

## 2.2. Metodų taikytų darbe apžvalga

Efektyvumui nustatyti naudojami kriterijai yra matuojami skirtingai matavimo vienetais ir savo fizine prasme nesutampa. Keičiant vieną arba kitą parametą, keičiasi ir likusių sprendimų racionalumas. Norint tiksliai įvertinti ir apskaičiuoti visų pokyčių įtaką galutiniam vertinimo rezultatui, taikomas kompleksinio proporcingumo įvertinimo metodas, o konkrečiu atveju du metodai: ARAS ir SAW.

ARAS (ang. Additional Ratio Assessment) – santykių sumavimo metodas, kurio taikymo tikslas – iš daugelio alternatyvų išrinkti geriausią (artimiausią optimaliai alternatyvai). Metodas kilo iš VGTU mokslininkų E. K. Zavadsko ir A. Kaklauskio (1996) sukurto daugiakriterio vertinimo metodo COPRAS. Skaičiavimo etapai pateikti (6 pav.).



6 pav. Aras metodo skaičiavimo etapai (Zavadskas, Turskis 2010)

Metodas ARAS naudojamas suklasifikuoti alternatyvas ir parinkti geriausią iš jų. Tipiška daugiakriterio sprendimų priėmimo problema yra susijusi su užduotimi suklasifikuoti duotą skaičių sprendimų alternatyvų, kurių kiekviena yra tiksliai aprašyta skirtingais kriterijais, kurie turi būti vertinami kartu.

ARAS technika paremta argumentu, kad pasaulio reiškinius galima suprasti naudojant paprastus santykinis palyginimus. Teigiama, kad aptariamų alternatyvų optimalumo laipsnis yra

santykis tarp jų aprašančių normalizuotų ir pasvertos vertės kriterijų sumos ir sumos normalizuotų ir pasvertos vertės kriterijų, kurie apibūdina optimalią alternatyvą. Pagal ARAS metodą, naudingumo funkcijos reikšmė, apibrėžianti galimos alternatyvos reliatyvaus efektyvumo kompleksą, yra tiesiogiai proporcinga projekte vertinamo pagrindinio kriterijaus verčių ir svorių reliatyviam efektui.

Pirmas abstrakčios optimizavimo problemos sprendimų priėmimo matricos (DMM) formavimo etapas. Daugiakriteriame sprendimų priėmime, bet kuri sprendina problema yra reprezentuojama sprendimų priėmimo matrica, sudaryta iš pirmenybių tarp  $m$  galimų alternatyvų (eilutėse) lyginamų su  $n$  kriterijų (stulpeliuose):

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

Kai  $m$  – alternatyvų skaičius,  $n$  – kriterijų, aprašančių kiekvieną alternatyvą, skaičius,  $X_{ij}$  – reikšmė, rodanti  $i$  alternatyvos savybių vertę pagal  $j$  kriterijų,  $X_{0j}$  –  $j$  kriterijaus optimali vertė.

Jei optimali  $j$  kriterijaus reikšmė nežinoma, tai

$$\begin{aligned} x_{0j} &= \max_i x_{ij}, & \text{jei pageidaujama } \max_i x_{ij} \text{ ir} \\ x_{0j} &= \min_i x_{ij}^*, & \text{jei pageidaujama } \min_i x_{ij}^*. \end{aligned} \quad (2)$$

Paprastai  $X_{ij}$  – savybių vertės ir  $W_j$  kriterijų svoriai yra matomi kaip sprendimų priėmimo matricos įrašai.

Kriterijų sistema kaip ir kriterijų vertės bei pirminiai svoriai yra apibrėžiami ekspertų. Informacija gali būti taisoma suinteresuotų šalių, atsižvelgiant į jų tikslus ir galimybes.

Tuomet alternatyvų pirmenybių nustatymas vykdomas keliais etapais.

Paprastai kriterijai turi skirtingus matus. Kito etapo tikslas yra iš lyginamų kriterijų priimti bemates pasvertas vertes. Siekiant išvengti sunkumų, nulemtų skirtingų kriterijų matų, naudojamas optimalios vertės koeficientas.

Yra įvairių teorijų, aprašančių optimalios vertės koeficientą. Tačiau vertės yra arba intervale  $[0;1]$  arba intervale  $[0;\infty]$  pritaikant sprendimų priėmimo matricos normalizavimą.

Antrasis etapas. Antrajame etape pradinės kriterijų vertės yra normalizuojamos – apibrėžiamos normalizuotos sprendimų priėmimo matricos  $\bar{X}$  vertės  $\bar{x}_{ij}$ :

$$\bar{X} = \begin{bmatrix} \bar{x}_{01} & \cdots & \bar{x}_{0j} & \cdots & \bar{x}_{0n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{x}_{i1} & \cdots & \bar{x}_{ij} & \cdots & \bar{x}_{in} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{x}_{m1} & \cdots & \bar{x}_{mj} & \cdots & \bar{x}_{mn} \end{bmatrix}; \quad i = \overline{0, m}; j = \overline{1, n}. \quad (3)$$

Kriterijai, kurių pageidaujamos vertės yra maksimalios, yra normalizuojami taip:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=0}^m x_{ij}}. \quad (4)$$

Kriterijai, kurių pageidaujamos vertės yra minimalios, normalizuojami taikant dviejų etapų procedūrą:

$$\begin{aligned} x_{ij} &= \frac{1}{x_{ij}^*}; \\ \bar{x}_{ij} &= \frac{x_{ij}}{\sum_{i=0}^m x_{ij}}. \end{aligned} \quad (5)$$

Kai bematės kriterijų reikšmės yra žinomos, visi kriterijai, pradžioje turėję skirtingus matavimus, gali būti palyginti.

Trečiasis etapas. Trečias etapas yra normalizuotos pasvertos matricos  $\hat{X}$  apibrėžimas. Galima įvertinti kriterijus su svoriais  $0 < w_j < 1$ .

Turi būti naudojami tik pagrįsti svoriai, nes svoriai visuomet yra subjektyvūs ir paveikia sprendimą. Svorio  $w_j$  vertės dažnai apibrėžiamos ekspertų vertinimo metodu. Svių  $w_j$  suma būtų apribota taip:

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1. \quad (6)$$

$$\hat{X} = \begin{bmatrix} \hat{x}_{01} & \cdots & \hat{x}_{0j} & \cdots & \hat{x}_{0n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{x}_{i1} & \cdots & \hat{x}_{ij} & \cdots & \hat{x}_{in} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{x}_{m1} & \cdots & \hat{x}_{mj} & \cdots & \hat{x}_{mn} \end{bmatrix}; \quad i = \overline{0, m}; j = \overline{1, n}. \quad (7)$$

Visų kriterijų normalizuotos pasvertos vertės skaičiuojamos taip:

$$\hat{x}_{ij} = \bar{x}_{ij} w_j; \quad i = \overline{0, m}, \quad (8)$$

Kai  $w_j$  yra  $j$  kriterijaus svoris (svarba) ir  $\bar{x}_{ij}$  yra  $j$  kriterijaus normalizuotas vertinimas.

Kita užduotis yra nustatyti optimalumo funkcijos vertes:

$$S_i = \sum_{j=1}^n \hat{x}_{ij}; \quad i = \overline{0, m}, \quad (9)$$

Kai  $S_i$  yra  $i$  alternatyvos optimalumo funkcijos vertė.

Didžiausia vertė yra geriausia, o mažiausia – blogiausia. Atsižvelgiant į skaičiavimo procesą, optimalumo funkcija  $S_i$  turi tiesioginį ir proporcingą santykį su vertėmis  $\bar{x}_{ij}$  ir svoriais  $w_j$  tiriamų kriterijų ir jų reliatyvios įtakos galutiniam rezultatui. Todėl kuo didesnė optimalumo funkcijos

$S_i$  reikšmė, tuo efektyvesnė alternatyva. Alternatyvų prioritetai gali būti apibrėžti pagal  $S_i$  vertę. Taigi šio metodo pagalba patogiau vertinti ir klasifikuoti alternatyvas.

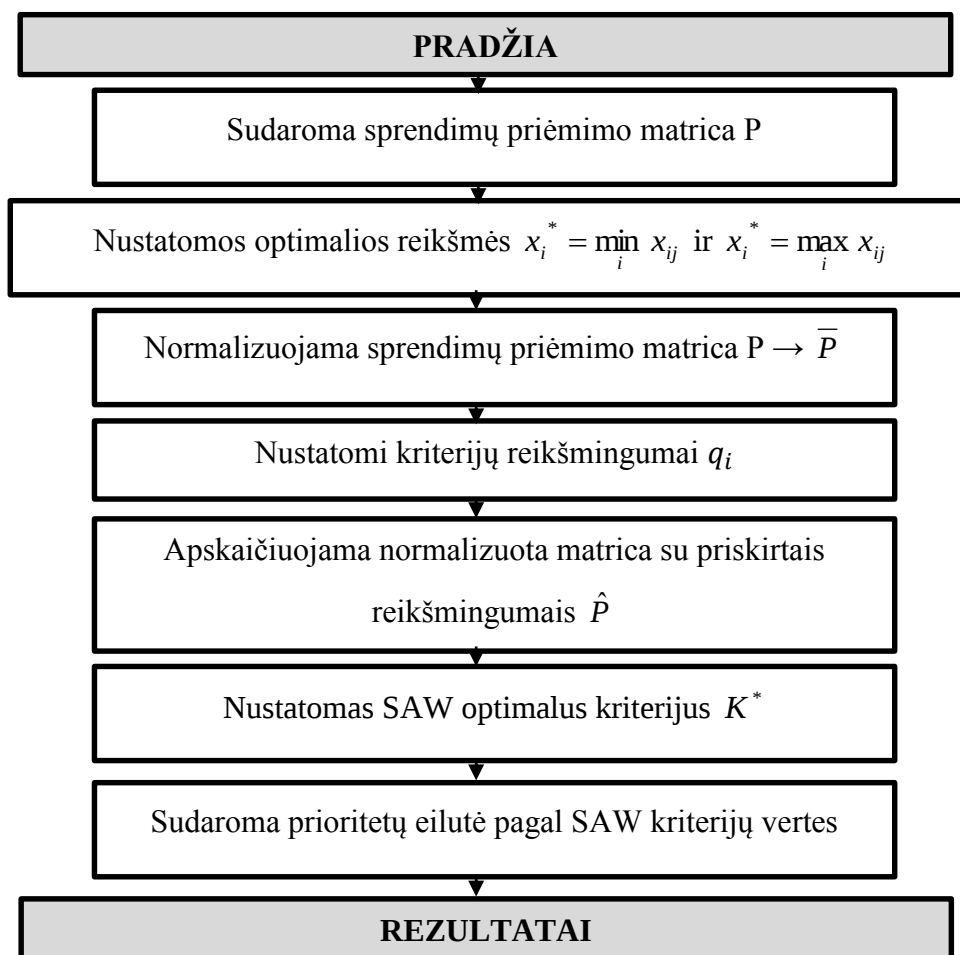
Alternatyvų naudingumo laipsnis yra apibrėžiamas lyginant analizuojamą variantą su idealiai geriausiu  $S_0$ . Alternatyvos  $a_i$  naudingumo laipsnio  $K_i$  skaičiavimo lygtis yra tokia:

$$K_i = \frac{S_i}{S_0}; \quad i = \overline{0, m}, \quad (10)$$

kai  $S_i$  ir  $S_0$  yra optimalumo kriterijaus vertės, gautos iš formulės (9).

Akivaizdu, kad suskaičiuotos vertės  $K_i$  yra intervale  $[0, 1]$  ir gali būti sudėliotos didėjančia tvarka pagal pirmumą. Galimos alternatyvos kompleksinis reliatyvus efektyvumas gali būti apibrėžtas pagal naudingumo funkcijos vertes (Zavadskas, Turskis, 2010).

„SAW“ (Simple Addictive Weighting) – Hwang, Yoon 1981. Skaičiavimo etapai pateikti (7 pav.).



7 pav. SAW metodo skaičiavimo etapai (Hwang, Yoon 1981)

Išeities duomenys – sprendimų matrica ir reikšmingumų dydžiai. Sprendimų matrica negali turėti neskaitinių reikšmių. Sprendžiama tokiais etapais:

1. Matrica normalizuojama;

2. Normalizuotos matricos to paties varianto kiekvienas narys dauginamas iš jo reikšmingumo ir sudedamas su kitais alternatyvos (eilutės) nariais. Gauta suma dalijama iš svorių (reikšmingumų) sumos.

Paprastų svorių sudėjimo metodas (angl. SAW – Simple Additive Weighting) leidžia įvertinti įvairių dimensijų rodiklius. Visų rodiklių reikšmingumų suma turi būti lygi vienetui ( $\sum_{i=1}^n q_i = 1$ ). Šiuo metodu uždavinys sprendžiamas tokiu nuoseklumu.

Turime pradinę sprendimo priėmimo matricą D:

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

1–as žingsnis. Sprendimo priėmimo matricos normalizavimas:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_i^{\max}}; \quad (11)$$

$$r_{ij} = \frac{x_i^{\min}}{x_{ij}}. \quad (12)$$

Pagal (11) formulę normalizuojami maksimizuojami elementai, o pagal (12) formulę – minimizuojami elementai.

2–as žingsnis. Normalizuotos matricos tos pačios alternatyvos kiekvienas narys dauginamas iš jo reikšmingumo ir sudedamas su kitais alternatyvos nariais.

$$S_j = \max_j \sum_{i=1}^n r_{ij} \times q_i, \quad j = 1, 2, 3, \dots, m. \quad (13)$$

3–ias žingsnis. Geriausios alternatyvos išrinkimas pagal (13) sąlygą (Hwang, Yoon, 1981).

AHP – vienas populiariausių metodų daigiatiksliams uždaviniams spręsti. Jį pasiūlė Saaty (1980). AHP naudoja tris principus siekiant išspręsti problemas:

- 1) struktūrinę hierarchiją;
- 2) porinio palyginimo rodiklių matricą;
- 3) svorių nustatymo metodiką.

AHP metodu galima vertinti alternatyvas tiek kokybinių (subjektyvių), tiek kiekybinių (objektyvių) rodiklių atžvilgiu. Porinio palyginimo metodika mažina šališkumą ir tendencingumą priimant sprendimą. Taikant AHP metodą naudojamos santykinės reikšmės, todėl šį metodą galima taikyti esant įvairių dimensijų rodikliams.

Ekspertai lygina tarpusavyje visus vertinamus rodiklius  $C_1, C_2, \dots, C_n$  ir paprasčiausiu rodiklių porinio lyginimo metodu nustato, kuris iš dviejų lyginamų rodiklių  $C_i$  ir  $C_j$  yra svarbesnis. Lyginimo rezultatu tampa kvadratinė matrica:

$$A = [a_{ij}] = \begin{matrix} & \begin{matrix} C_1 & C_2 & \dots & C_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{a_{1n}} & \frac{1}{a_{2n}} & \dots & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}, \quad (14)$$

$$\text{kur } a_{ii} = 1, a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}, i = \overline{1, n} \text{ ir } j = \overline{1, n}.$$

Matricos  $A$  elementai traktuojami kaip rodiklių  $C_1, C_2, \dots, C_n$  svorių reikšmių santykiai  $\frac{q_i}{q_j} = a_{ij}$  čia  $i = \overline{1, n}$  ir  $j = \overline{1, n}$ . Saaty (1980) įrodė, kad AHP metodo svoriai yra lyginimo matricos  $A$  tikrinio vektoriaus, atitinkančio didžiausią tikrinę reikšmę  $\lambda_{\max}$ , normalizuotos komponentės:

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n a_{ij} \frac{q_i}{q_j}, \quad (15)$$

jeigu matrica  $A$ , atlikus porinį palyginimą, yra suderinama, tai tikrinis vektorius  $Z$  gali būti apskaičiuojamas pagal šią formulę:

$$(A - \lambda_{\max} I)Z = 0, \quad (16)$$

Taikant daugiatislių metodų vertinimus būtina akcentuoti ekspertų nuomonių suderinamumo laipsnį. Matricos neprieštarinamumui tikrinti Saaty *et al.* (1991) pasiūlė naudoti suderinamumo indeksą (consistency index – C.I.) ir atsitiktinumo indeksą (random index – R.I.) nustatant suderinamumo koeficientą (consistency ratio – C.R.).

C.I. ir C.R. reikšmės apskaičiuojamos taip (Saaty *et al.* 1991):

$$C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}, \quad (17)$$

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.}. \quad (18)$$

R.I. reikšmės nustatomos pagal matricos komponentų skaičių iš Saaty *et al.* (1991) pasiūlytos R.I. koeficientų lentelės.

Jei apskaičiuotas suderinamumo koeficientas  $C.R. < 0,1$ , matrica yra suderinama, priešingu atveju, jei  $C.R. > 0,1$  matrica nesuderinama.

## 2.3. Investicijų efektyvumo rodiklių kompleksas

### 2.3.1. Naudingos objekto vietos investicinis segmentas

Siekiant išsirinkti tinkamą bustą ir jo vietos reikšmingumą pasirenkami šie rodikliai:

- 1) Atstumas iki centro. Rodiklis matuojamas kilometrais atstumu iki prezidentūros, kiekybinis minimizuojamas;
- 2) Aplink esantys žalieji plotai. Rodiklis kokybinis ir išreiškiamas balais ir maksimizuojamas (žr. 6 lentelę).

**6 lentelė.** Žaliųjų plotų buvimas

| Aplink esantys žalieji plotai | Parkai 1 km spinduliu aplink namą | Kieme esantys žalieji plotai | Parkai toliau nei 1 km atstumu |
|-------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| Balai                         | 5                                 | 3                            | 1                              |

- 3) Darželių mokyklų skaičius. Rodiklis kokybinis ir išreiškiamas balais, maksimizuojamas (žr. 7 lentelę).

**7 lentelė.** Darželių ir mokyklų skaičius

| Darželių mokyklų skaičius | 5 – 6 vnt | 3 – 5 vnt. | 1 – 3 vnt. |
|---------------------------|-----------|------------|------------|
| Balai                     | 5         | 3          | 1          |

### 2.3.2. Konstrukcinių planinių sprendimų investicinis segmentas

Renkantis B klasės ir A klasės namą geriausiai konstrukcinį segmentą apibūdina šie rodikliai:

- 4) Šildymo sistemos tipas. Rodiklis maksimizuojamas, kokybinis (žr. 8 lentelę).

**8 lentelė.** Šildymo tipas

| Šildymo sistema | Rekuperatorius su individualiu šildymu ir grindiniu šildymu. | Individualus šildymas su šildomomis grindimis tik vonioje ir tualete | Centralizuotas šildymas. |
|-----------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| Balai           | 5                                                            | 3                                                                    | 1                        |

- 5) Skaičiuojamosios suminės energijos sąnaudos vienam kvadratiniam metrui pastato naudingojo ploto kWh/(kv. m x metai). Rodiklis minimizuojamas, kiekybinis.
- 6) Palyginimas su gretimai statomų kitų įmonių objektais. Rodiklis minimizuojamas, kiekybinis (žr. 9 lentelę).

**9 lentelė.** Palyginimas su gretimai statomų kitų įmonių objektais

| Palyginimas su gretimai statomų kitų įmonių objektais | 1 įmonė ir mažiau | 2 – 3 įmonės | Daugiau nei 3 įmonės |
|-------------------------------------------------------|-------------------|--------------|----------------------|
| Balai                                                 | 5                 | 3            | 1                    |

## 2.4. Finansinių rodiklių segmentas

Renkantis ekonomišką, energetiškai efektyvų A klasės ir B klasės namą, konstrukcinių sprendimų finansinių rodiklių segmentą geriausiai apibūdina šie rodikliai:

1. Kaina: 1 kv.m kiekybinis rodiklis, minimizuojamas, įvertinamas pagal buto pardavimo kainą eurai.
2. Investicijų kaina: 1 kv. m, kiekybinis rodiklis, minimizuojamas, įvertinamas pagal bendrą investicijų kainą eurai.
3. Planuojamas investicijų atsipirkimas po projekto užbaigimo. Rodiklis kiekybinis, minimizuojamas pagal metus arba mėnesius.
4. Investuoto kapitalo pelningumas (ROCI – Return on capital invested): kuo didesnė ROCI reikšmė, tuo projektas pelningesnis.

$$ROCI = \frac{P - P_m}{R} \cdot 100\% \quad (19)$$

kur R – investicijos; P – pelnas;  $P_m$  – pelno mokestis.

## 2.5. LEED ir BREEAM metodų palyginimas

Siekiant labiau įvertinti žmogaus poreikius reikia atkreipti dėmesį į tai, jog pastatai yra skirtingų charakteristikų, tokių kaip apgyvendinimo tankis, šilumą skleidžiančių mechanizmų ir oro kondicionierių kiekiu. Siekiant įvertinti kriterijus, kurie leidžia namą pripažinti labiau palankiu gamtai taikoma ekspertų grupės apklausa ir AHP metodas. Kinijoje panašias problemas AHP metodo pagalba sprendė Wei Yu *et al.* 2015.

Siekiant įvertinti BREEAM ir LEED sistemas reikia įvertinti kaip gaunami jų reitingo rezultatai.

BREEAM reitingas skaičiuojamas taikant šia formulę (BREEAM 2013):

$$Reitingas = \sum_i \left( W_i \times \left( \sum_{Tot_i} \frac{Q_i}{Tot_i} \right) \right) \quad (20)$$

LEED apskaičiuojamas (LEED v3 2013):

$$Reitingas = \sum Q_i \quad (21)$$

$\sum Q_i$  – bendras įvertinimas

Toti – maksimalus galimas įvertinimas

$W_i$  – reikšmingumas

$Q_i$  – gautas rezultatas už tam tikrą poziciją.

Tyrimo metu naudojamas AHP metodas. Jį 1970 metais sudarė Saaty (Satty 1980). Tai priartėjimo metodas, kurio pagalba nustatomi prioritetai. Šiuo metodu galima gauti grupės bendrą sprendimą per vieną skaičiavimo raundą. Šiuo metodu sugaištama mažiau laiko, negu su Delphi metodu. Delphi metodu gaunami nepriklausomų ekspertų atsakymai į klausimus vienu ar keliais raundais. Ekspertai atsakinėja į klausimus tiek raundų, kol gaunamas bendras sprendimas. Toks metodas atima daug laiko ir brangiai kainuoja, nes reikia daugiau nei vieno apklausos raundo.

Siekiant įvertinti ekspertų nuomonę sudaroma apklausos lentelė (žr. 10 lentelę):

**10 lentelė.** Eksperto apklausos lentelės pavyzdys

| Kategorijos          | Sklypas | Energija | Vanduo | Medžiagos, ištekliai | Interjeras | Konstrukcija | Valdymas |
|----------------------|---------|----------|--------|----------------------|------------|--------------|----------|
| Sklypas              | 1,00    | 0,33     | 3,00   | 0,50                 | 0,50       | 3,00         | 0,33     |
| Energija             | 3,03    | 1,00     | 3,00   | 3,00                 | 2,00       | 3,00         | 0,50     |
| Vanduo               | 0,33    | 0,33     | 1,00   | 0,50                 | 0,50       | 3,00         | 0,33     |
| Medžiagos, ištekliai | 2,00    | 0,33     | 2,00   | 1,00                 | 2,00       | 3,00         | 0,50     |
| Interjeras           | 2,00    | 0,50     | 2,00   | 0,50                 | 1,00       | 3,00         | 0,33     |
| Konstrukcija         | 0,33    | 0,33     | 0,33   | 0,33                 | 0,33       | 1,00         | 0,33     |
| Valdymas             | 3,03    | 2,00     | 3,03   | 2,00                 | 3,03       | 3,03         | 1,00     |

Nustatomos visų ekspertų nuomonės ir sudaromas bendras rezultatas (žr. 11 lentelę):

**11 lentelė.** Žalio pastato vertinimo sistemos pavyzdys

| Kriterijai | Sklypas W1 | Energija W2 | Vanduo W3 | Medžiagos W4 | Interjeras W5 | Konstrukcija W6 | Valdymas W7 |
|------------|------------|-------------|-----------|--------------|---------------|-----------------|-------------|
| Dizainas   | 0,15       | 0,35        | 0,10      | 0,15         | 0,25          | –               | –           |
| Valdymas   | 0,12       | 0,28        | 0,08      | 0,12         | 0,20          | 0,05            | 0,15        |

Tokiu būdu nustatomi prioritetai vertinant namą, kuris būtų palankus aplinkai ir būtų vadinamas žaliuoju. Tokiu metodu išskiriama energijos suvartojimas ir jos panaudojimo efektyvumas, kuris apima daugiau nei 30% visų balų, antroje vietoje vidaus klimato sąlygos ir komfortas.

Siekiant įvertinti darnaus pastatų vertinimo metoduose taikomų palyginimo rodiklių reikšmingumus atlikau ekspertų apklausą, siekiant nustatyti kaip pasiskirsto prioritetai. Tam naudojama Bajeso teorema (Turskis *et al.* 2010), kuri leidžia įvertinti ekspertų nuomones, nustatyti jų nuomonių atitikimą ir gauti reikšmingumus.

Ekspertų vertinimu atrinkti panašūs LEED ir BREEAM metodikose taikomi kriterijai. BREEAM kriterijai sugrupuojami pagal LEED kriterijų struktūrą (žr. 12 lentelę). Smulkesni BREEAM kriterijai apjungiami į bendras grupes, taip, kad būtų panašios į LEED grupes.

**12 lentelė. LEED ir BREEAM metodais gautų įvertinimų palyginimas**

| <b>LEED</b>                    | <b>Įvertinimas</b> | <b>BREEAM</b>                                              | <b>Įvertinimas</b> |
|--------------------------------|--------------------|------------------------------------------------------------|--------------------|
| Vietovės išnaudojimas          | 30                 | Valdymas<br>Ekologija ir žemės panaudojimas<br>Transportas | 31                 |
| Vandens naudojimo efektyvumas. | 10                 | Vanduo                                                     | 7                  |
| Energija ir atmosfera          | 35                 | Energija                                                   | 15                 |
| Medžiagos ir ištekliai         | 14                 | Teršimas<br>Medžiagos<br>Atliekos                          | 32                 |
| Vidaus aplinkos kokybė         | 15                 | Sveikata ir gerovė                                         | 15                 |
| Dizaino naujovės               | 6                  | Inovacijos                                                 | 10                 |
| Kiti                           | 0                  | Kiti                                                       | 0                  |
|                                | 110                |                                                            | 110                |

Ekspertų vertinimui LEED ir BREEAM metodikose taikomi panašūs kriterijai apjungti ir suformuota integruotų vertinimo kriterijų sistema:

- vieta ir infrastruktūra;
- vandens išnaudojimo efektyvumas;
- energijos vartojimo efektyvumas ir atmosfera;
- medžiagų ir išteklių panaudojimas visa gyvavimo laikotarpį;
- pastato vidaus aplinkos kokybė;
- inovacijos ir naujovės.

Apklausiami 17 ekspertų kurie pateikia savo atsakymus (žr. 13 lentelę).

**13 lentelė.** Apklaustų ekspertų rezultatai

| Ekspertai | Vieta ir infrastruktūra | Vandens išnaudojimo efektyvumas | Energijos vartojimo efektyvumas ir atmosfera | Medžiagų ir išteklių panaudojimas visa gyvavimo laikotarpį | Pastato vidaus aplinkos kokybė | Inovacijos ir naujovės |
|-----------|-------------------------|---------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------|------------------------|
| 1         | 1                       | 6                               | 2                                            | 3                                                          | 4                              | 5                      |
| 2         | 1                       | 4                               | 2                                            | 3                                                          | 5                              | 6                      |
| 3         | 1                       | 6                               | 2                                            | 3                                                          | 4                              | 5                      |
| 4         | 1                       | 4                               | 5                                            | 2                                                          | 3                              | 6                      |
| 5         | 1                       | 6                               | 2                                            | 3                                                          | 4                              | 5                      |
| 6         | 1                       | 5                               | 2                                            | 3                                                          | 4                              | 5                      |
| 7         | 1                       | 6                               | 2                                            | 4                                                          | 3                              | 5                      |
| 8         | 2                       | 6                               | 3                                            | 1                                                          | 4                              | 5                      |
| 9         | 1                       | 6                               | 3                                            | 4                                                          | 2                              | 5                      |
| 10        | 1                       | 5                               | 2                                            | 4                                                          | 3                              | 6                      |
| 11        | 1                       | 6                               | 2                                            | 4                                                          | 3                              | 5                      |
| 12        | 1                       | 6                               | 2                                            | 4                                                          | 3                              | 5                      |
| 13        | 1                       | 5                               | 2                                            | 3                                                          | 4                              | 6                      |
| 14        | 1                       | 6                               | 2                                            | 3                                                          | 5                              | 4                      |
| 15        | 2                       | 5                               | 1                                            | 6                                                          | 3                              | 4                      |
| 16        | 1                       | 6                               | 3                                            | 2                                                          | 5                              | 4                      |
| 17        | 1                       | 5                               | 3                                            | 2                                                          | 6                              | 4                      |

Nustatomi reikšmingumai, atliekami skaičiavimai, 14 lentelė.

**14 lentelė.** Skaičiavimo rezultatai nustatant reikšmingumus

| Skaičiavimo eiliškumas                                                                            | Efektyvumo rodikliai;<br>$x_j \quad j=1, \dots, n \quad n = 6$                                                   |       |        |        |        |       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|--------|--------|--------|-------|
|                                                                                                   | $X_1$                                                                                                            | $X_2$ | $X_3$  | $X_4$  | $X_5$  | $X_6$ |
| Svarbumo suma<br>$t_j = \sum_{k=1}^{r-9} t_{jk}$                                                  | 100                                                                                                              | 26    | 79     | 65     | 54     | 34    |
| Vidutinis svarbumas<br>$\bar{t}_j = \frac{\sum_{k=1}^{r-9} t_{jk}}{r}$                            | 5,882                                                                                                            | 1,529 | 4,647  | 3,824  | 3,176  | 2,000 |
| Rangas                                                                                            | 1                                                                                                                | 6     | 2      | 3      | 4      | 5     |
| Rodiklio reikšmingumas (svoris)<br>$\bar{q}_j = \frac{t_j}{\sum_{j=1}^{n=6} t_j}$                 | 0,279                                                                                                            | 0,073 | 0,221  | 0,182  | 0,151  | 0,095 |
| Kvadratinų nuokrypių suma<br>$\sum_{k=1}^{r=9} (t_{jk} - \bar{t}_j)^2$                            | 1,765                                                                                                            | 8,235 | 11,882 | 20,471 | 16,471 | 8,000 |
| Ekspertų įverčių dispersija<br>$\sigma^2 = \frac{1}{r-1} \sum_{k=1}^{r=9} (t_{jk} - \bar{t}_j)^2$ | 0,110                                                                                                            | 0,515 | 0,743  | 1,279  | 1,029  | 0,500 |
| Variacija<br>$\beta_j = \frac{\sigma}{\bar{t}_j}$                                                 | 0,056                                                                                                            | 0,469 | 0,185  | 0,296  | 0,319  | 0,354 |
| Svarbumo sumos vidurkis                                                                           | $V = \frac{1}{r} \sum_{j=1}^{n=6} \sum_{k=1}^{r=17} t_{jk} = \frac{1}{6} (100 + 26 + 79 + 65 + 54 + 34) = 59,67$ |       |        |        |        |       |

|                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vidutinio rango kvadratinio nuokrypio suma                                                                                       | $S = \sum_{j=1}^{n=6} \left( \sum_{k=1}^{r=9} t_{jk} - V \right)^2 = (100 - 59,67)^2 + (26 - 59,67)^2 + (79 - 59,67)^2 + (65 - 59,67)^2 + (54 - 59,67)^2 + (34 - 59,67)^2 = 3853$ |
| Konkordancijos koeficientas (Kendall)                                                                                            | $W = \frac{12S}{r^2(n^3 - n)} = \frac{12 \cdot 3853}{17^2(6^3 - 6)} = 0,762$                                                                                                      |
| Konkordancijos koeficiento reikšmingumas (nėra susietų rangų)<br>$\chi^2_{\alpha, \nu} \quad \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^r T_k = 0$ | $\chi^2_{\alpha, \nu} = \frac{12S}{rn(n+1) - \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^r T_k} = \frac{12 \cdot 3853}{17 \cdot 6 \cdot (6+1)} = 64,76$                                              |
| Sprendžiamo uždavinio laisvės laipsnių skaičius<br><br>Kai reikšmingumas lygus 1 %.<br>$\chi^2_{\alpha, \nu}$                    | $\nu = n - 1 = 6 - 1 = 5 \quad \chi^2_{tbl} = 15,09$                                                                                                                              |
| Compatibility of expert judgement (Kendall, 1970).                                                                               | <p>The hypothesis about the consent of experts in rankings is accepted</p> $\chi^2_{\alpha, \nu} = 64,76 > \chi^2_{tbl} = 15,09$                                                  |

Atlikus skaičiavimus nustatyta, jog ekspertų nuomonės suderintos ir nustatyti kriterijų svoriai. Kad būtų galima palyginti BREEAM ir LEED metodus, kuris labiau atitinka ekspertų priimtus reikšmingumų reikalavimus, skaičiavimai bus atliekami SAW metodu.

Sudaroma skaičiavimo matrica (žr. 15 lentelę).

**15 lentelė.** Skaičiavimo matrica

| Alternatyvos | Rodikliai               |                                 |                                              |                                                           |                                |                        |
|--------------|-------------------------|---------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------|------------------------|
|              | Vieta ir infrastruktūra | Vandens išnaudojimo efektyvumas | Energijos vartojimo efektyvumas ir atmosfera | Medžiagų ir resursų panaudojimas visa gyvavimo laikotarpį | Pastato vidaus aplinkos kokybė | Inovacijos ir naujovės |
| A1           | 30                      | 10                              | 35                                           | 14                                                        | 15                             | 6                      |
| A2           | 31                      | 7                               | 15                                           | 32                                                        | 15                             | 10                     |
| qi           | 0,279                   | 0,073                           | 0,221                                        | 0,182                                                     | 0,151                          | 0,095                  |
| min/max      | max                     | max                             | max                                          | max                                                       | max                            | max                    |

Sudarius skaičiavimo matrica sudaroma normalizuota matrica (žr. 16 lentelę).

**16 lentelė.** Normalizuota matrica

| Alternatyvos | Rodikliai               |                                 |                                              |                                                           |                                |                        |
|--------------|-------------------------|---------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------|------------------------|
|              | Vieta ir infrastruktūra | Vandens išnaudojimo efektyvumas | Energijos vartojimo efektyvumas ir atmosfera | Medžiagų ir resursų panaudojimas visa gyvavimo laikotarpį | Pastato vidaus aplinkos kokybė | Inovacijos ir naujovės |
| A1           | 0,97                    | 1,00                            | 1,00                                         | 0,44                                                      | 1,00                           | 0,60                   |
| A2           | 1,00                    | 0,70                            | 0,43                                         | 1,00                                                      | 1,00                           | 1,00                   |
| qi           | 0,279                   | 0,073                           | 0,221                                        | 0,182                                                     | 0,151                          | 0,095                  |
| min/max      | max                     | max                             | max                                          | max                                                       | max                            | max                    |

Atlikus skaičiavimus atliekamos alternatyvų įvertinimas ir išrenkama racionaliausia alternatyva (žr. 17 lentelę).

**17 lentelė.** Alternatyvų įvertinimas

| Alternatyvos | Rodikliai               |                                 |                                              |                                                           |                                |                        | A      |
|--------------|-------------------------|---------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------|------------------------|--------|
|              | Vieta ir infrastruktūra | Vandens išnaudojimo efektyvumas | Energijos vartojimo efektyvumas ir atmosfera | Medžiagų ir resursų panaudojimas visa gyvavimo laikotarpį | Pastato vidaus aplinkos kokybė | Inovacijos ir naujovės |        |
| A1           | 0,97                    | 1,00                            | 1,00                                         | 0,44                                                      | 1,00                           | 0,60                   | 0,8509 |
| A2           | 1,00                    | 0,70                            | 0,43                                         | 1,00                                                      | 1,00                           | 1,00                   | 0,8521 |
| qi           | 0,279                   | 0,073                           | 0,221                                        | 0,182                                                     | 0,151                          | 0,095                  |        |
| min/max      | max                     | max                             | max                                          | max                                                       | max                            | max                    |        |

Atliekant BREEAM ir LEED metodų palyginimą reikia įvertinti, jog abu metodai įvertina tiek pastato, tiek ir jo vykdomų procesų visumos poveikį aplinkai. Tai ne tik energijos suvartojimas CO<sub>2</sub> išskyrimas, bet ir kenksmingų medžiagų išskyrimas, atliekų tvarkymas ir utilizavimas bei rūšiavimas. LEED metodas išskirto kriterijus į 6 grupes, o BREEAM į 10, labiau detalizuojami procesai ir poveikiai. Apibendrinus rezultatus, abu metodai vertina labai panašias savybes, gautų metodų įvertinimų skirtumas nereikšmingas (skiriasi tik trečias skaičius po kablelio), todėl galima teigti, kad metodai lygiaverčiai ir gali būti taikomi kartu viename sprendimų modelyje.

### 3. ALTERNATYVŲ APRAŠYMAS

#### 3.1. Alternatyvų vertinimo kriterijų sistemos

##### 3.1.1. LEED, BREEAM metodikų kriterijai

Įvertinant namus darnos su aplinka metodais vertinamos kriterijų grupės (žr. 18 ir 19 lenteles). Skaičiavimai atlikti BREEAM metodu pateikti A priede, skaičiavimai atlikti LEED metodu pateikti B priede.

**18 lentelė.** BREEAM metodo kriterijų grupės ir jų reikšmingumai

| Eil. Nr. | Kriterijų grupė                                    | Balai | Reikšmingumas (%) |
|----------|----------------------------------------------------|-------|-------------------|
| 1.       | Valdymas (Management)                              | 21    | 12                |
| 2.       | Sveikata ir gerovė (Health and Wellbeing)          | 18    | 15                |
| 3.       | Energija (Energy)                                  | 22    | 15                |
| 4.       | Transportas (Transport)                            | 10    | 9                 |
| 5.       | Vanduo (Water)                                     | 8     | 7                 |
| 6.       | Medžiagos (Materials)                              | 14    | 13,5              |
| 7.       | Atliekos (Waste)                                   | 8     | 8,5               |
| 8.       | Žemės naudojimas ir ekologija (Land Use & Ecology) | 10    | 10                |
| 9.       | Tarša (Pollution)                                  | 13    | 10                |
| 10.      | Inovacijos (Innovation)                            | 19    | Papildomai – 10   |

**19 lentelė.** Svarbiausių LEED 2009 vertinimo sričių reikšmingumai

| Eil. Nr. | Kriterijų grupė                                        | Reikšmingumas (%) |
|----------|--------------------------------------------------------|-------------------|
| 1.       | Darnūs sklypai (Sustainable sites)                     | 26                |
| 2.       | Vandens vartojimo efektyvumas (Water efficiency)       | 10                |
| 3.       | Energija ir atmosfera (Energy and atmosphere)          | 35                |
| 4.       | Medžiagos ir ištekliai (Materials and resources)       | 14                |
| 5.       | Patalpų aplinkos kokybė (Indoor environmental quality) | 15                |
| 6.       | Dizaino inovacijos (Innovation in design)              | 10                |
| 7.       | Vietos paklausumo kreditas (Regional priority credit)  | 4                 |

### ***3.1.2. Kriterijų sistema vertinant alternatyvas iš naudotojo pozicijos***

- Atstumas iki miesto centro – rodiklis matuojamas kilometrais atstumu iki prezidentūros, kiekybinis minimizuojamas;
- Aplink esantys žalieji plotai – rodiklis kokybinis ir išreiškiamas balais ir maksimizuojamas;
- Darželių mokyklų skaičius – darželių mokyklų skaičius. Rodiklis kokybinis ir išreiškiamas balais, maksimizuojamas;
- Kaina – 1 kv.m kiekybinis rodiklis, minimizuojamas, įvertinamas pagal buto pardavimo kainą eurai;
- Skaičiuojamosios suminės energijos sąnaudos vienam kvadratiniam metrui pastato naudingojo ploto – rodiklis minimizuojamas, kiekybinis kWh/(kv.m x metai).
- Šildymo sistema – rodiklis maksimizuojamas, kokybinis;

### ***3.1.3. Kriterijų sistema vertinant alternatyvas iš investuotojo pozicijos***

- Kaina – 1 kv.m, kiekybinis rodiklis, minimizuojamas, įvertinamas pagal bendrą investicijų kainą eurai;
- Planuojamas investicijų atsipirkimas po projekto užbaigimo – Rodiklis kiekybinis, minimizuojamas pagal metus arba mėnesius.
- Investuoto kapitalo pelningumas (ROCI – Return on capital invested) – kuo didesnė ROCI reikšmė, tuo projektas pelningesnis.

$$ROCI = \frac{P - P_m}{R} \cdot 100\% ;$$

- Skaičiuojamosios suminės energijos sąnaudos vienam kvadratiniam metrui pastato naudingojo ploto – rodiklis minimizuojamas, kiekybinis kWh/(kv.m x metai).
- Šildymo sistema – rodiklis maksimizuojamas, kokybinis;
- Palyginimas su gretimai statomų kitų įmonių objektais – rodiklis minimizuojamas, kiekybinis.

## **3.2. Lyginamų alternatyvų aprašymas**

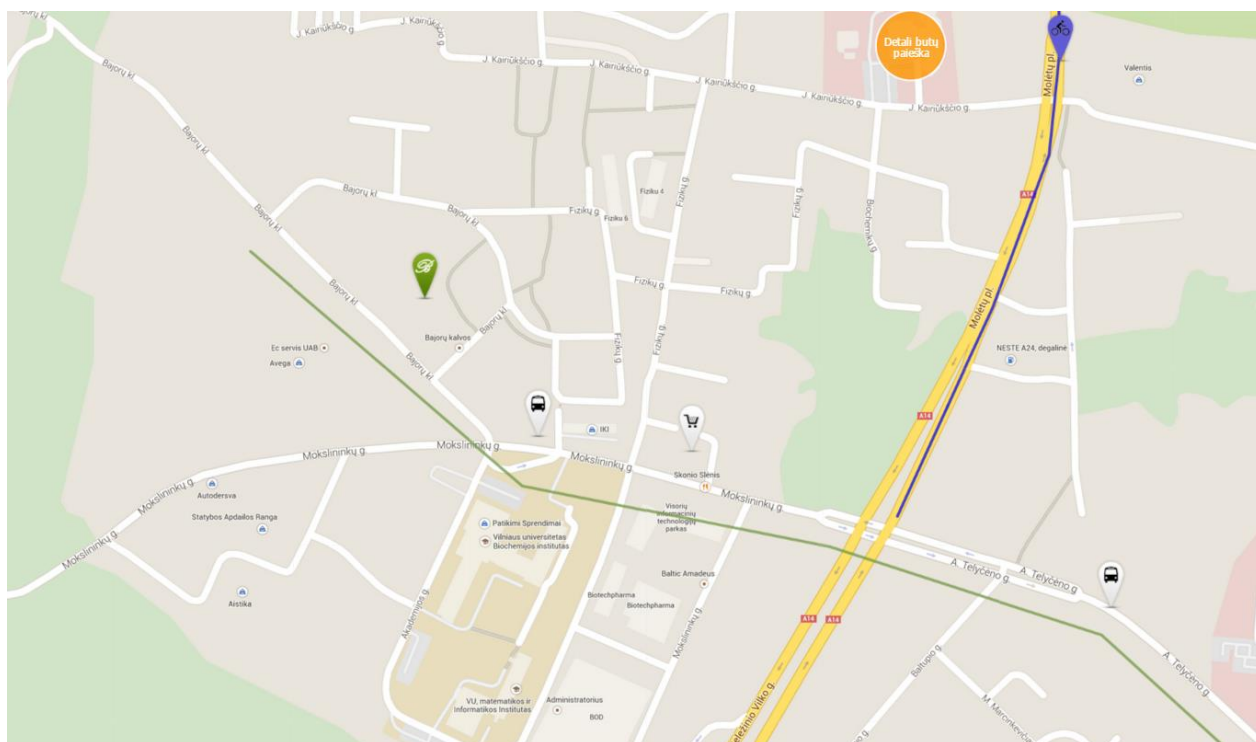
Lyginamos alternatyvos vertinamos hipotetiniais skaičiavimais. Skaičiavimuose naudojama informacija yra viešai prieinama. Rezultatais siekiama neišskirti alternatyvas, kuri

geresnė, bet išskirti priemones, kurios leistų efektyviai naudojant lėšas modernizuoti pastatus. Atliekant skaičiavimus apklausti ekspertai ir naudotos vertinimo sistemos parinktos siekiant patikrinti suformuluotą hipotezę. Esant kitoms aplinkybėms rezultatai gali kisti.

### **3.2.1. Namas Verkių slėnyje, Bajorų kalvos**



**8 pav.** Daugiabutis Bajorų kalvos (Bajorų kalvos 2015)



**9 pav.** Statomo namo Bajorų kalvos, Vilniaus mieste (Bajorų kalvos 2015)

Pirmoji alternatyva statomas namas A klasės Bajorų kalvose 8 ir 9 pav. Sudaromos pagrindinių kriterijų darnos su aplinka vertinimo metodų BREEAM ir LEED įvertinimo suvestinės (žr. 20 ir 21 lenteles). Apskaičiuojami kriterijai, aktualūs investuotojui ir naudotojui.

**20 lentelė.** BREEAM svarbiausių vertinimo sričių reikšmingumai

| Eil. Nr. | Kriterijų grupė                                    | Reikšmingumas (%) | Įvertinimas |
|----------|----------------------------------------------------|-------------------|-------------|
| 1.       | Valdymas (Management)                              | 12                | 7,43        |
| 2.       | Sveikata ir gerovė (Health and Wellbeing)          | 15                | 11,67       |
| 3.       | Energija (Energy)                                  | 15                | 8,18        |
| 4.       | Transportas (Transport)                            | 9                 | 5,4         |
| 5.       | Vanduo (Water)                                     | 7                 | 5,25        |
| 6.       | Medžiagos (Materials)                              | 13,5              | 8,68        |
| 7.       | Atliekos (Waste)                                   | 8,5               | 3,19        |
| 8.       | Žemės naudojimas ir ekologija (Land Use & Ecology) | 10                | 1           |
| 9.       | Tarša (Pollution)                                  | 10                | 5,38        |
| 10.      | Inovacijos (Innovation)                            | Papildomai – 10   | 3,16        |
| Iš viso: |                                                    |                   | 58,34       |

**21 lentelė.** LEED svarbiausių vertinimo sričių reikšmingumai

| Eil. Nr. | Kriterijų grupė                                        | Reikšmingumas (%) | Įvertinimas |
|----------|--------------------------------------------------------|-------------------|-------------|
| 1.       | Naudojamas sklypas (Sustainable sites)                 | 26                | 10          |
| 2.       | Vandens vartojimo efektyvumas (Water efficiency)       | 10                | 6           |
| 3.       | Energija ir atmosfera (Energy and atmosphere)          | 35                | 24          |
| 4.       | Medžiagos ir ištekliai (Materials and resources)       | 14                | 7           |
| 5.       | Patalpų aplinkos kokybė (Indoor environmental quality) | 15                | 13          |
| 6.       | Dizaino inovacijos (Innovation in design)              | 6                 | 0           |
| 7.       | Vietos paklausumo kreditas (Regional priority credit)  | 4                 | 1           |
| Iš viso: |                                                        |                   | 63          |

Kriterijų, kurie svarbūs naudotojui, reikšmės:

- atstumas iki miesto centro – 8 km;
- aplink esantys žalieji plotai – Verkių parkas, puikus kiemas šalia namo (5 balai);
- darželių mokyklų skaičius – 1;
- kaina: 1 506 Eur/kv.m;

- skaičiuojamosios suminės energijos sąnaudos vienam kvadratiniam metrui pastato naudingojo ploto – 38,52 kWh/(kv.m x metai);
- Šildymo sistema: rekuperatorius su individualiu šildymu ir grindiniu šildymu – 5 balai.

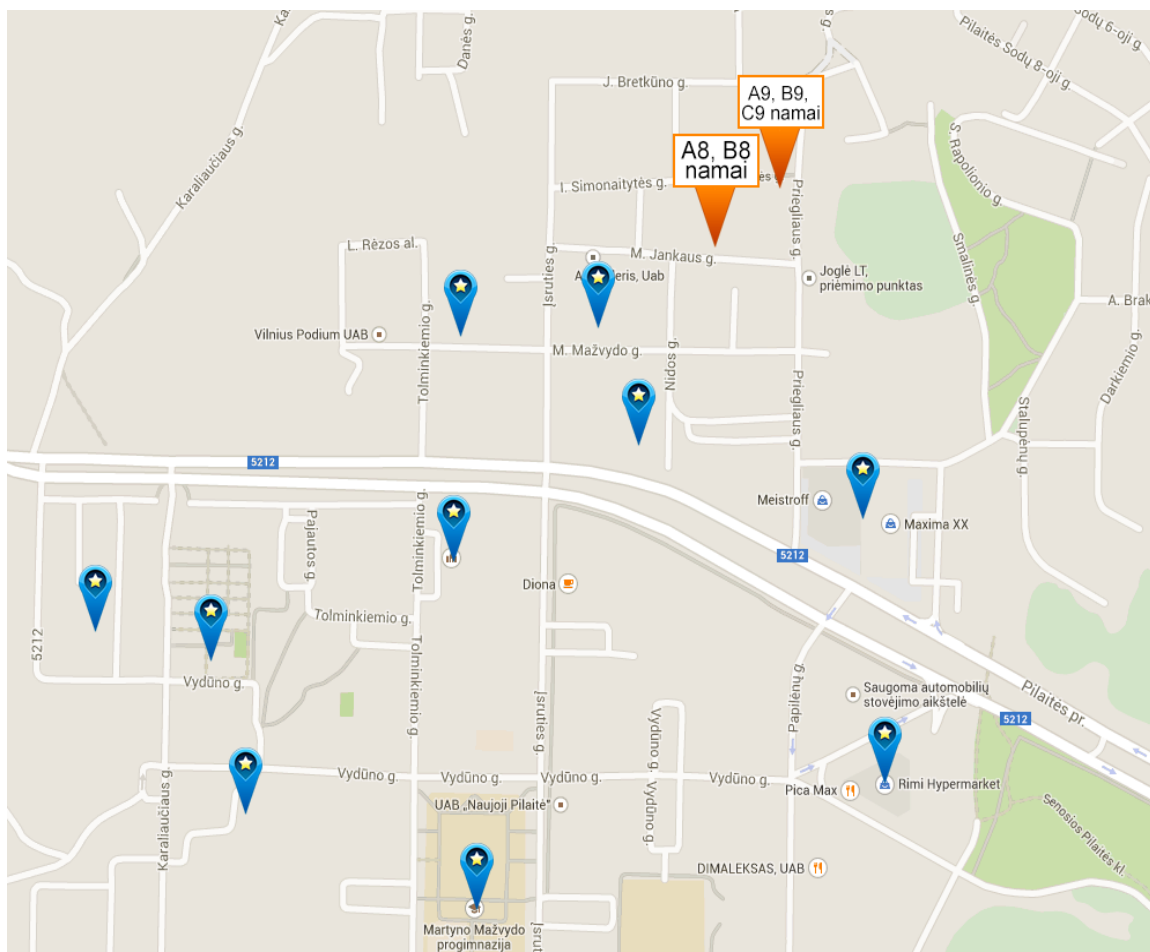
Kriterijų, kurie svarbūs investuotojui, reikšmės:

- kaina: 1 361 Eur/kv.m investicijos;
- planuojamas investicijų atsipirkimas po projekto užbaigimo 3 metai;
- investuoto kapitalo pelningumas (ROCI – Return on capital invested): 9,06%;
- skaičiuojamosios suminės energijos sąnaudos vienam kvadratiniam metrui pastato naudingojo ploto – 38,52 kWh/(kv.m x metai);
- šildymo sistema: rekuperatorius su individualiu šildymu ir grindiniu šildymu – 5 balai;
- palyginimas su gretimai statomų kitų įmonių objektais – 5 balai.

### ***3.2.2. Namas Pilaitėje, M. Jankaus g.***



**10 pav.** Daugiabutis M. Jankaus g. (Namas Pilaitėje 2015)



**11 pav.** Statomo namo M. Jankaus g. Vilniaus mieste (Namas Pilaitėje 2015)

Antroji alternatyva statomas B klasės namas M. Jankaus g. 10 ir 11 pav. Sudaromos pagrindinių kriterijų darnos su aplinka vertinimo metodų BREEAM ir LEED įvertinimo suvestinės (žr. 22 ir 23 lenteles). Apskaičiuojami kriterijai, aktualūs investuotojui ir naudotojui.

**22 lentelė.** BREEAM svarbiausių vertinimo sričių reikšmingumai

| Eil. Nr. | Kriterijų grupė                                    | Reikšmingumas (%) | Įvertinimas |
|----------|----------------------------------------------------|-------------------|-------------|
| 1.       | Valdymas (Management)                              | 12                | 6,86        |
| 2.       | Sveikata ir gerovė (Health and Wellbeing)          | 15                | 10,83       |
| 3.       | Energija (Energy)                                  | 15                | 8,18        |
| 4.       | Transportas (Transport)                            | 9                 | 3,60        |
| 5.       | Vanduo (Water)                                     | 7                 | 5,25        |
| 6.       | Medžiagos (Materials)                              | 13,5              | 7,71        |
| 7.       | Atliekos (Waste)                                   | 8,5               | 2,13        |
| 8.       | Žemės naudojimas ir ekologija (Land Use & Ecology) | 10                | 1           |
| 9.       | Tarša (Pollution)                                  | 10                | 5,38        |
| 10.      | Inovacijos (Innovation)                            | Papildomai – 10   | 2,63        |
| Iš viso: |                                                    |                   | 55,58       |

**23 lentelė. LEED svarbiausių vertinimo sričių reikšmingumai**

| Eil. Nr. | Kriterijų grupė                                       | Reikšmingumas (%) | Įvertinimas |
|----------|-------------------------------------------------------|-------------------|-------------|
| 1.       | Darnūs sklypai (Sustainable sites)                    | 26                | 10          |
| 2.       | Vandens vartojimo efektyvumas (Water efficiency)      | 10                | 6           |
| 3.       | Energija ir atmosfera (Energy and atmosphere)         | 35                | 12          |
| 4.       | Medžiagos ir ištekliai (Materials and resources)      | 14                | 7           |
| 5.       | Patalpų aplikos kokybė (Indoor environmental quality) | 15                | 13          |
| 6.       | Dizaino inovacijos (Innovation in design)             | 10                | 0           |
| 7.       | Vietos paklausumo kreditas (Regional priority credit) | 4                 | 2           |
| Iš viso: |                                                       |                   | 50          |

Kriterijų, kurie svarbūs naudotojui, reikšmės:

- atstumas iki miesto centro – 11 km;
- aplink esantys žalieji plotai – puikus kiemas šalia namo – 3 balai;
- darželių mokyklų skaičius – 3 – 3 balai;
- kaina: 1 434 Eur/kv.m;
- skaičiuojamosios suminės energijos sąnaudos vienam kvadratiniam metrui pastato naudingojo ploto – 56,27 kWh/(kv.m x metai);
- šildymo sistema: rekuperatorius su individualiu šildymu ir grindiniu šildymu – 5 balai.

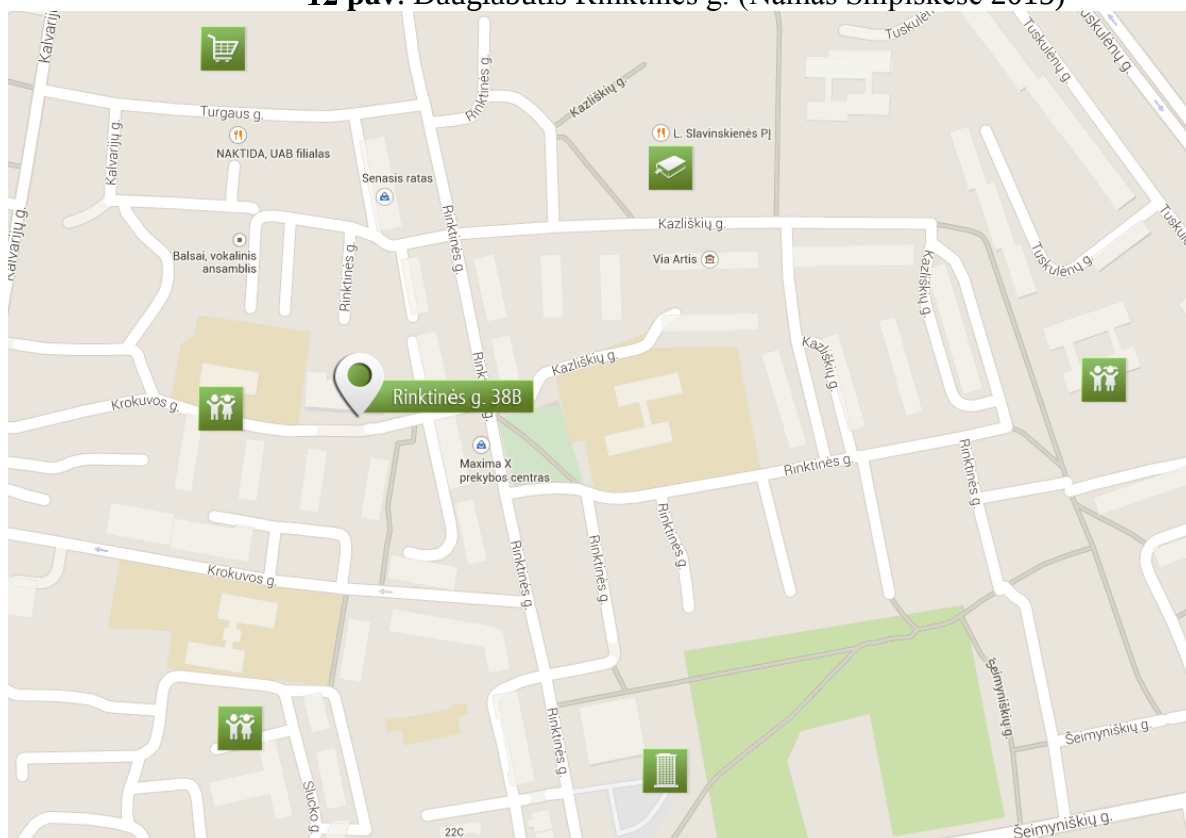
Kriterijų, kurie svarbūs investuotojui, reikšmės:

- kaina: 985 Eur/kv.m investicijos;
- planuojamas investicijų atsipirkimas po projekto užbaigimo 2 metai;
- investuoto kapitalo pelningumas (ROCI – Return on capital invested): 38,75%;
- skaičiuojamosios suminės energijos sąnaudos vienam kvadratiniam metrui pastato naudingojo ploto – 56,27 kWh/(kv.m x metai);
- šildymo sistema: rekuperatorius su individualiu šildymu ir grindiniu šildymu – 5 balai;
- palyginimas su gretimai statomų kitų įmonių objektais – 1 balas.

### 3.2.3. Namas Šnipiškėse, Rinktinės g.



12 pav. Daugiabutis Rinktinės g. (Namas Šnipiškėse 2015)



13 pav. Statomo namo Rinktinės g. Vilniaus mieste (Namas Šnipiškėse 2015)

Trečioji alternatyva statomas B klasės namas Rinktinės g. 12 ir 13 pav. Sudaromos pagrindinių kriterijų darnos su aplinka vertinimo metodų BREEAM ir LEED įvertinimo suvestinės (žr. 24 ir 25 lenteles). Apskaičiuojami kriterijai, aktualūs investuotojui ir naudotojui.

**24 lentelė.** BREEAM svarbiausių vertinimo sričių reikšmingumai

| Eil. Nr. | Kriterijų grupė                                    | Reikšmingumas (%) | Įvertinimas |
|----------|----------------------------------------------------|-------------------|-------------|
| 1.       | Valdymas (Management)                              | 12                | 4,00        |
| 2.       | Sveikata ir gerovė (Health and Wellbeing)          | 15                | 5,83        |
| 3.       | Energija (Energy)                                  | 15                | 6,14        |
| 4.       | Transportas (Transport)                            | 9                 | 6,30        |
| 5.       | Vanduo (Water)                                     | 7                 | 3,50        |
| 6.       | Medžiagos (Materials)                              | 13,5              | 6,75        |
| 7.       | Atliekos (Waste)                                   | 8,5               | 1,06        |
| 8.       | Žemės naudojimas ir ekologija (Land Use & Ecology) | 10                | 1           |
| 9.       | Tarša (Pollution)                                  | 10                | 3,85        |
| 10.      | Inovacijos (Innovation)                            | Papildomai – 10   | 1,58        |
| Iš viso: |                                                    |                   | 40,58       |

**25 lentelė.** LEED svarbiausių vertinimo sričių reikšmingumai

| Eil. Nr. | Kriterijų grupė                                        | Reikšmingumas (%) | Įvertinimas |
|----------|--------------------------------------------------------|-------------------|-------------|
| 1.       | Darnūs sklypai (Sustainable sites)                     | 26                | 9           |
| 2.       | Vandens vartojimo efektyvumas (Water efficiency)       | 10                | 2           |
| 3.       | Energija ir atmosfera (Energy and atmosphere)          | 35                | 6           |
| 4.       | Medžiagos ir ištekliai (Materials and resources)       | 14                | 4           |
| 5.       | Patalpų aplinkos kokybė (Indoor environmental quality) | 15                | 7           |
| 6.       | Dizaino inovacijos (Innovation in design)              | 10                | 0           |
| 7.       | Vietos paklausumo kreditas (Regional priority credit)  | 4                 | 4           |
| Iš viso: |                                                        |                   | 32          |

Kriterijų, kurie svarbūs naudotojui, reikšmės:

- atstumas iki miesto centro – 1,8 km;
- aplink esantys žalieji plotai – puikus kiemas šalia namo – 3 balai;
- darželių mokyklų skaičius – 6 – 5 balai;
- kaina: 1 700 Eur/kv.m;
- skaičiuojamosios suminės energijos sąnaudos vienam kvadratiniam metrui pastato naudingojo ploto – 98,76 kWh/(kv.m x metai);

- šildymo sistema: centralizuotas šildymas. – 1 balas.

Kriterijų, kurie svarbūs investuotojui, reikšmės:

- kaina: 1 028 Eur/kv.m investicijos;
- planuojamas investicijų atsipirkimas po projekto užbaigimo 1 metai;
- investuoto kapitalo pelningumas (ROCI – Return on capital invested): 55,56 %;
- skaičiuojamosios suminės energijos sąnaudos vienam kvadratiniam metrui pastato naudingojo ploto – 98,76 kWh/(kv.m x metai);
- šildymo sistema: centralizuotas šildymas. – 1 balas;
- palyginimas su gretimai statomų kitų įmonių objektais – 1 balas.

#### ***3.2.4. Namas Pilaitėje, Priegliaus g.***



**14 pav.** Daugiabutis Priegliaus g. (Namas Pilaitėje B 2015)



**15 pav.** Namas Priegliaus g. Vilniaus mieste (Namas Pilaitėje B 2015)

Ketvirtoji alternatyva B klasės namas Priegliaus g. 14 ir 15 pav. Sudaromos pagrindinių kriterijų darnos su aplinka vertinimo metodų BREEAM ir LEED įvertinimo suvestinės (žr. 26 ir 27 lenteles). Apskaičiuojami kriterijai, aktualūs investuotojui ir naudotojui.

**26 lentelė.** BREEAM svarbiausių vertinimo sričių reikšmingumai

| Eil. Nr. | Kriterijų grupė                                    | Reikšmingumas (%) | Įvertinimas |
|----------|----------------------------------------------------|-------------------|-------------|
| 1.       | Valdymas (Management)                              | 12                | 5,14        |
| 2.       | Sveikata ir gerovė (Health and Wellbeing)          | 15                | 7,50        |
| 3.       | Energija (Energy)                                  | 15                | 5,45        |
| 4.       | Transportas (Transport)                            | 9                 | 3,60        |
| 5.       | Vanduo (Water)                                     | 7                 | 3,50        |
| 6.       | Medžiagos (Materials)                              | 13,5              | 6,75        |
| 7.       | Atliekos (Waste)                                   | 8,5               | 1,06        |
| 8.       | Žemės naudojimas ir ekologija (Land Use & Ecology) | 10                | 1,00        |
| 9.       | Tarša (Pollution)                                  | 10                | 4,62        |
| 10.      | Inovacijos (Innovation)                            | Papildomai – 10   | 1,05        |
| Iš viso: |                                                    |                   | 40,25       |

**27 lentelė. LEED svarbiausių vertinimo sričių reikšmingumai**

| Eil. Nr. | Kriterijų grupė                                       | Reikšmingumas (%) | Įvertinimas |
|----------|-------------------------------------------------------|-------------------|-------------|
| 1.       | Darnūs sklypai (Sustainable sites)                    | 26                | 8           |
| 2.       | Vandens vartojimo efektyvumas (Water efficiency)      | 10                | 2           |
| 3.       | Energija ir atmosfera (Energy and atmosphere)         | 35                | 6           |
| 4.       | Medžiagos ir ištekliai (Materials and resources)      | 14                | 5           |
| 5.       | Patalpų aplikos kokybė (Indoor environmental quality) | 15                | 7           |
| 6.       | Dizaino inovacijos (Innovation in design)             | 10                | 0           |
| 7.       | Vietos paklausumo kreditas (Regional priority credit) | 4                 | 2           |
| Iš viso: |                                                       |                   | 30          |

Kriterijų, kurie svarbūs naudotojui, reikšmės:

- atstumas iki miesto centro– 10 km;
- aplink esantys žalieji plotai – puikus kiemas šalia namo – 3 balai;
- darželių mokyklų skaičius – 3 – 3 balai;
- kaina: 1 063 Eur/kv.m;
- skaičiuojamosios suminės energijos sąnaudos vienam kvadratiniam metrui pastato naudingojo ploto – 121,11 kWh/(kv.m x metai);
- šildymo sistema: centralizuotas šildymas. – 1 balas.

Kriterijų, kurie svarbūs investuotojui, reikšmės:

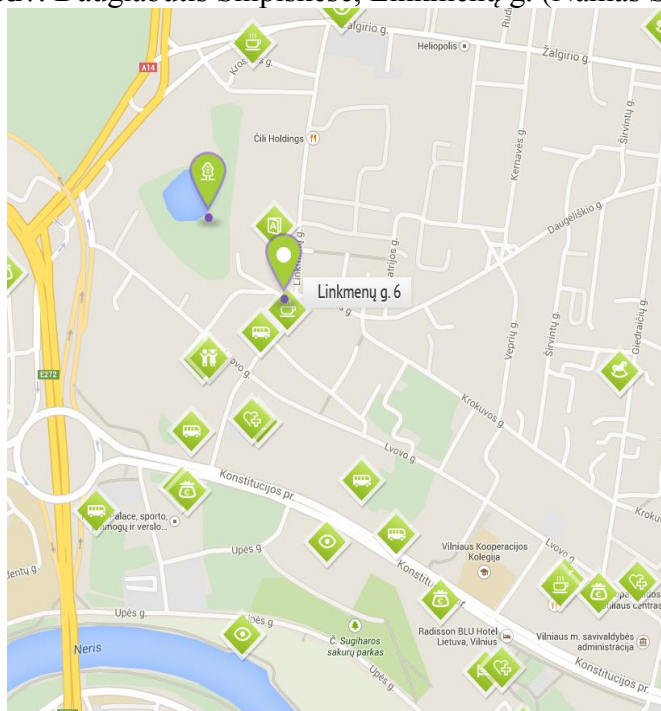
- kaina: 530 Eur/kv.m investicijos;
- planuojamas investicijų atsipirkimas po projekto užbaigimo 1 metai;
- investuoto kapitalo pelningumas (ROCI – Return on capital invested): 85.48%;
- skaičiuojamosios suminės energijos sąnaudos vienam kvadratiniam metrui pastato naudingojo ploto – 121,11 kWh/(kv.m x metai);
- šildymo sistema: centralizuotas šildymas. – 1 balas;

- palyginimas su gretimai statomų kitų įmonių objektais – 1 balas.

### 3.2.5. *Namas Šnipiškėse, Linkmenų g.*



**16 pav.** Daugiabutis Šnipiškėse, Linkmenų g. (Namas Šnipiškėse B 2015)



**17 pav.** Statomo namo vieta Vilniaus mieste (Namas Šnipiškėse B 2015)

Penktoji alternatyva B klasės namas Linkmenų g. 16 ir 17 pav. Sudaromos pagrindinių kriterijų darnos su aplinka vertinimo metodų BREEAM ir LEED įvertinimo suvestinės (žr. 28 ir 29 lenteles). Apskaičiuojami kriterijai, aktualūs investuotojui ir naudotojui.

**28 lentelė.** BREEAM svarbiausių vertinimo sričių reikšmingumai

| Eil. Nr. | Kriterijų grupė                                    | Reikšmingumas (%) | Įvertinimas |
|----------|----------------------------------------------------|-------------------|-------------|
| 1.       | Valdymas (Management)                              | 12                | 4,57        |
| 2.       | Sveikata ir gerovė (Health and Wellbeing)          | 15                | 7,50        |
| 3.       | Energija (Energy)                                  | 15                | 5,45        |
| 4.       | Transportas (Transport)                            | 9                 | 4,50        |
| 5.       | Vanduo (Water)                                     | 7                 | 3,50        |
| 6.       | Medžiagos (Materials)                              | 13,5              | 6,75        |
| 7.       | Atliekos (Waste)                                   | 8,5               | 2,13        |
| 8.       | Žemės naudojimas ir ekologija (Land Use & Ecology) | 10                | 1,00        |
| 9.       | Tarša (Pollution)                                  | 10                | 3,85        |
| 10.      | Inovacijos (Innovation)                            | Papildomai – 10   | 1,58        |
| Iš viso: |                                                    |                   | 41,40       |

**29 lentelė.** LEED svarbiausių vertinimo sričių reikšmingumai

| Eil. Nr. | Kriterijų grupė                                        | Reikšmingumas (%) | Įvertinimas |
|----------|--------------------------------------------------------|-------------------|-------------|
| 1.       | Darnūs sklypai (Sustainable sites)                     | 26                | 7           |
| 2.       | Vandens vartojimo efektyvumas (Water efficiency)       | 10                | 2           |
| 3.       | Energija ir atmosfera (Energy and atmosphere)          | 35                | 6           |
| 4.       | Medžiagos ir ištekliai (Materials and resources)       | 14                | 5           |
| 5.       | Patalpų aplinkos kokybė (Indoor environmental quality) | 15                | 7           |
| 6.       | Dizaino inovacijos (Innovation in design)              | 10                | 0           |
| 7.       | Vietos paklausumo kreditas (Regional priority credit)  | 4                 | 4           |
| Iš viso: |                                                        |                   | 31          |

Kriterijų, kurie svarbūs naudotojui, reikšmės:

- atstumas iki miesto centro – 4,5 km;
- aplink esantys žalieji plotai – Japoniškas sodas (bus 2016 m.) – 5 balai;
- darželių mokyklų skaičius 3 – 3 balai;
- kaina: 1 810 Eur/kv.m;
- skaičiuojamosios suminės energijos sąnaudos vienam kvadratiniam metrui pastato

naudingojo ploto – 128,22 kWh/(kv.m x metai);

- šildymo sistema: centralizuotas šildymas. – 1 balas.

Kriterijų, kurie svarbūs investuotojui, reikšmės:

- kaina: 988 Eur/kv.m investicijos;
- planuojamas investicijų atsipirkimas po projekto užbaigimo 2 metai;
- investuoto kapitalo pelningumas (ROCI – Return on capital invested): 70.72%;
- skaičiuojamosios suminės energijos sąnaudos vienam kvadratiniam metrui pastato naudingojo ploto – 128,22 kWh/(kv.m x metai);
- šildymo sistema: centralizuotas šildymas. – 1 balas;
- palyginimas su gretimai statomų kitų įmonių objektais – 1 balas.

### 3.3. Alternatyvų vertinimas daugiakriterio vertinimo metodais

#### 3.3.1. Alternatyvų vertinimas atsižvelgiant į naudotojo prioritetus

Nustatome rodiklių svorius, kurie aktualūs naudotojui AHP metodu (žr. 30 lentelę):

**30 lentelė.** AHP metodu nustatyti kriterijų reikšmingumai

|          | <b>Kriterijai</b>                                                                                        | <b>Reikšmingumas</b> | <b>Rangas</b> |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|---------------|
| <b>1</b> | Atstumas iki miesto centro                                                                               | 7,8%                 | 6             |
| <b>2</b> | Aplink esantys žalieji plotai                                                                            | 13,3%                | 5             |
| <b>3</b> | Darželių mokyklų skaičius                                                                                | 15,0%                | 4             |
| <b>4</b> | Kaina                                                                                                    | 22,9%                | 1             |
| <b>5</b> | Skaičiuojamosios<br>suminės energijos sąnaudos vienam<br>kvadratiniam metrui pastato<br>naudingojo ploto | 19,7%                | 3             |
| <b>6</b> | Šildymo sistema                                                                                          | 21,3%                | 2             |

Apklausiama 10 ekspertų. Jie nustato kriterijų prioritetiškumus, skaičiavimai atliekami naudojant Goepel (2013) sukurtą skaičiuoklę (žr. 31 lentelę).

**31 lentelė.** AHP kriterijų reikšmingumų įvertinimas

|   |   | Kriterijus                    |                        | svarbesnis ? | Skalė |
|---|---|-------------------------------|------------------------|--------------|-------|
| i | j | A                             | B                      | A or B       | (1-9) |
| 1 | 2 | Atstumas iki miesto centro    | Aplink esantys žalieji | B            | 2     |
| 1 | 3 |                               | Darželių mokyklų       | B            | 3     |
| 1 | 4 |                               | Kaina                  | B            | 3     |
| 1 | 5 |                               | Skaičiuojamosios       | B            | 8     |
| 1 | 6 |                               | Šildymo sistema        | B            | 9     |
| 1 | 7 |                               |                        | B            | 5     |
| 1 | 8 |                               |                        | B            | 8     |
| 2 | 3 | Aplink esantys žalieji plotai | Darželių mokyklų       | B            | 1     |
| 2 | 4 |                               | Kaina                  | B            | 1     |
| 2 | 5 |                               | Skaičiuojamosios       | B            | 7     |
| 2 | 6 |                               | Šildymo sistema        | B            | 1     |
| 2 | 7 |                               |                        | B            | 3     |
| 2 | 8 |                               |                        | B            | 3     |
| 3 | 4 | Darželių mokyklų skaičius     | Kaina                  | A            | 2     |
| 3 | 5 |                               | Skaičiuojamosios       | B            | 8     |
| 3 | 6 |                               | Šildymo sistema        | B            | 1     |
| 3 | 7 |                               |                        | B            | 4     |
| 3 | 8 |                               |                        | B            | 2     |
| 4 | 5 | Kaina                         | Skaičiuojamosios       | A            | 9     |
| 4 | 6 |                               | Šildymo sistema        | A            | 3     |
| 4 | 7 |                               |                        | B            | 5     |
| 4 | 8 |                               |                        | B            | 5     |
| 5 | 6 | Skaičiuojamosios suminės      | Šildymo sistema        | B            | 9     |
| 5 | 7 |                               |                        | B            | 9     |
| 5 | 8 |                               |                        | B            | 1     |
| 6 | 7 |                               |                        | A            | 4     |
| 6 | 8 |                               |                        | A            | 4     |
| 7 | 8 |                               |                        | A            | 4     |

Įvertinamas nuomonių sutapimas C.R. ir ar tai  $< 0.1$ . Gauta tikrinamoji vertė liamda: 6,349, o C.R. –  $0,056 < 0,1$ .

### 3.3.2. Skaičiavimai SAW metodu

Pirmiausia sudaroma pradinė duomenų matrica, kurios eilutės – analizuojami variantai, o stulpeliai – rodikliai. Toliau nurodoma, kurie iš rodiklių bus minimizuojami, o kurie maksimizuojami (žr. 32 lentelę).

**32 lentelė.** Pradinė duomenų matrica

| Pastatas      | Rodikliai                  |                               |                            |               |                                                                                                 |                 |
|---------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
|               | Atstumas iki miesto centro | Aplink esantys žalieji plotai | Darželių, mokyklų skaičius | Kaina 1 kv. m | Skaičiuojamosios suminės energijos sąnaudos vienam kvadratiniam metrui pastato naudingojo ploto | Šildymo sistema |
| Bajorų kalvos | 8                          | 5                             | 1                          | 1506          | 38,52                                                                                           | 5               |
| M. Jankaus g. | 11                         | 3                             | 3                          | 1434          | 56,27                                                                                           | 5               |
| Rinktinės g.  | 1,8                        | 3                             | 5                          | 1700          | 98,76                                                                                           | 1               |

|               |       |       |      |       |        |       |
|---------------|-------|-------|------|-------|--------|-------|
| Priegliaus g. | 10    | 3     | 3    | 1063  | 121,11 | 1     |
| Linkmenų g.   | 4,5   | 5     | 3    | 1810  | 128,22 | 1     |
| qi            | 0,078 | 0,133 | 0,15 | 0,229 | 0,197  | 0,213 |
| min/max       | min   | max   | max  | min   | min    | max   |

Lentelės duomenys normalizuojami (žr. 33 lentelę) (t. y. dydžiai paverčiami bedimensiais) maksimizavimo atveju taikant (11) formulę ir minimizavimo atveju taikyti (12) formulę.

**33 lentelė.** Normalizuota matrica

| Pastatas      | Rodikliai                  |                               |                            |               |                                                                                                 |                 |
|---------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
|               | Atstumas iki miesto centro | Aplink esantys žalieji plotai | Darželių, mokyklų skaičius | Kaina 1 kv. m | Skaičiuojamosios suminės energijos sąnaudos vienam kvadratiniam metrui pastato naudingojo ploto | Šildymo sistema |
| Bajorų kalvos | 0,23                       | 1,00                          | 0,20                       | 0,71          | 1,00                                                                                            | 1,00            |
| M. Jankaus g. | 0,16                       | 0,60                          | 0,60                       | 0,74          | 0,68                                                                                            | 1,00            |
| Rinktinės g.  | 1,00                       | 0,60                          | 1,00                       | 0,63          | 0,39                                                                                            | 0,20            |
| Priegliaus g. | 0,18                       | 0,60                          | 0,60                       | 1,00          | 0,32                                                                                            | 0,20            |
| Linkmenų g.   | 0,40                       | 1,00                          | 0,60                       | 0,59          | 0,30                                                                                            | 0,20            |
| qi            | 0,078                      | 0,133                         | 0,15                       | 0,229         | 0,197                                                                                           | 0,213           |
| min/max       | max                        | max                           | max                        | max           | min                                                                                             | max             |

Nustatome rodiklių svorius bei apskaičiuojame alternatyvų prioritetus (žr. 34 lentelę) pagal (13) formulę.

**34 lentelė.** Geriausios alternatyvos nustatymas

| Pastatas      | Rodikliai                  |                               |                            |               |                                                                                                 |                 | Ai          |
|---------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------|
|               | Atstumas iki miesto centro | Aplink esantys žalieji plotai | Darželių, mokyklų skaičius | Kaina 1 kv. m | Skaičiuojamosios suminės energijos sąnaudos vienam kvadratiniam metrui pastato naudingojo ploto | Šildymo sistema |             |
| Bajorų kalvos | 0,23                       | 1,00                          | 0,20                       | 0,71          | 1,00                                                                                            | 1,00            | <b>0,75</b> |
| M. Jankaus g. | 0,16                       | 0,60                          | 0,60                       | 0,74          | 0,68                                                                                            | 1,00            | <b>0,70</b> |
| Rinktinės g.  | 1,00                       | 0,60                          | 1,00                       | 0,63          | 0,39                                                                                            | 0,20            | <b>0,57</b> |
| Priegliaus g. | 0,18                       | 0,60                          | 0,60                       | 1,00          | 0,32                                                                                            | 0,20            | <b>0,52</b> |
| Linkmenų g.   | 0,40                       | 1,00                          | 0,60                       | 0,59          | 0,30                                                                                            | 0,20            | <b>0,49</b> |
| qi            | 0,078                      | 0,133                         | 0,15                       | 0,229         | 0,197                                                                                           | 0,213           |             |
| min/max       | max                        | max                           | max                        | max           | min                                                                                             | max             |             |

Sudaroma prioritetinė eilutė: Bajorų kalvos  $\succ$  M. Jankaus g.  $\succ$  Rinktinės g.  $\succ$  Priegliaus g.  $\succ$  Linkmenų g.

Racionali nustatyta alternatyva naudotojui namas – Bajorų kalvose.

### 3.3.3. Skaičiavimas ARAS metodu

Pirmiausia sudaroma pradinė duomenų matrica (žr. 35 lentelę).

**35 lentelė.** Pradinė matrica

| Pastatas      | Rodikliai                  |                               |                            |               |                                                                                                 |                 |
|---------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
|               | Atstumas iki miesto centro | Aplink esantys žalieji plotai | Darželių, mokyklų skaičius | Kaina 1 kv. m | Skaičiuojamosios suminės energijos sąnaudos vienam kvadratiniam metrui pastato naudingojo ploto | Šildymo sistema |
| Bajorų kalvos | 8                          | 5                             | 1                          | 1506          | 38,52                                                                                           | 5               |
| M. Jankaus g. | 11                         | 3                             | 3                          | 1434          | 56,27                                                                                           | 5               |
| Rinktinės g.  | 1,8                        | 3                             | 5                          | 1700          | 98,76                                                                                           | 1               |
| Priegliaus g. | 10                         | 3                             | 3                          | 1063          | 121,11                                                                                          | 1               |
| Linkmenų g.   | 4,5                        | 5                             | 3                          | 1810          | 128,22                                                                                          | 1               |
| Optimalus     | 2                          | 5                             | 5                          | 900           | 50                                                                                              | 5               |
| qi            | 0,078                      | 0,133                         | 0,15                       | 0,229         | 0,197                                                                                           | 0,213           |
| min/max       | min                        | max                           | max                        | min           | min                                                                                             | max             |

Toliau turime visus kriterijus maksimizuoti naudodamiesi (4) formule (žr. 36 lentelę).

**36 lentelė.** Normalizuota matrica

| Pastatas      | Rodikliai                  |                               |                            |               |                                                                                                 |                 |
|---------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
|               | Atstumas iki miesto centro | Aplink esantys žalieji plotai | Darželių, mokyklų skaičius | Kaina 1 kv. m | Skaičiuojamosios suminės energijos sąnaudos vienam kvadratiniam metrui pastato naudingojo ploto | Šildymo sistema |
| Bajorų kalvos | 0,125                      | 0,200                         | 1,000                      | 0,001         | 0,026                                                                                           | 0,200           |
| M. Jankaus g. | 0,091                      | 0,333                         | 0,333                      | 0,001         | 0,018                                                                                           | 0,200           |
| Rinktinės g.  | 0,556                      | 0,333                         | 0,200                      | 0,001         | 0,010                                                                                           | 1,000           |
| Priegliaus g. | 0,100                      | 0,333                         | 0,333                      | 0,001         | 0,008                                                                                           | 1,000           |
| Linkmenų g.   | 0,222                      | 0,200                         | 0,333                      | 0,001         | 0,008                                                                                           | 1,000           |
| Optimalus     | 0,500                      | 0,200                         | 0,200                      | 0,001         | 0,020                                                                                           | 0,200           |
| qi            | 0,078                      | 0,133                         | 0,15                       | 0,229         | 0,197                                                                                           | 0,213           |
| min/max       | min                        | max                           | max                        | min           | min                                                                                             | max             |

Sprendimų matrica normalizuojama, visi dydžiai paverčiami bedimensiais pagal (5) formulę (žr. 37 lentelę).

**37 lentelė.** Normalizuota matrica

| Pastatas      | Rodikliai                  |                               |                            |               |                                                                                                 |                 |
|---------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
|               | Atstumas iki miesto centro | Aplink esantys žalieji plotai | Darželių, mokyklų skaičius | Kaina 1 kv. m | Skaičiuojamosios suminės energijos sąnaudos vienam kvadratiniam metrui pastato naudingojo ploto | Šildymo sistema |
| Bajorų kalvos | 0,078                      | 0,125                         | 0,417                      | 0,146         | 0,289                                                                                           | 0,056           |
| M. Jankaus g. | 0,057                      | 0,208                         | 0,139                      | 0,153         | 0,198                                                                                           | 0,056           |
| Rinktinės g.  | 0,349                      | 0,208                         | 0,083                      | 0,129         | 0,113                                                                                           | 0,278           |
| Priegliaus g. | 0,063                      | 0,208                         | 0,139                      | 0,207         | 0,092                                                                                           | 0,278           |
| Linkmenų g.   | 0,139                      | 0,125                         | 0,139                      | 0,121         | 0,087                                                                                           | 0,278           |
| Optimalus     | 0,314                      | 0,125                         | 0,083                      | 0,244         | 0,222                                                                                           | 0,056           |
| qi            | 0,078                      | 0,133                         | 0,15                       | 0,229         | 0,197                                                                                           | 0,213           |
| min/max       | min                        | max                           | max                        | min           | min                                                                                             | max             |

Nustatome kriterijų reikšmingumus ir sudarome svertinę matricą, kiekvieną elementą dauginame iš reikšmingumo, pagal (8) formulę (žr. 38 lentelę).

**38 lentelė.** Svertinė matrica

| Pastatas      | Rodikliai                  |                               |                            |               |                                                                                                 |                 |
|---------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
|               | Atstumas iki miesto centro | Aplink esantys žalieji plotai | Darželių, mokyklų skaičius | Kaina 1 kv. m | Skaičiuojamosios suminės energijos sąnaudos vienam kvadratiniam metrui pastato naudingojo ploto | Šildymo sistema |
| Bajorų kalvos | 0,006                      | 0,017                         | 0,063                      | 0,033         | 0,057                                                                                           | 0,012           |
| M. Jankaus g. | 0,004                      | 0,028                         | 0,021                      | 0,035         | 0,039                                                                                           | 0,012           |
| Rinktinės g.  | 0,027                      | 0,028                         | 0,013                      | 0,030         | 0,022                                                                                           | 0,059           |
| Priegliaus g. | 0,005                      | 0,028                         | 0,021                      | 0,047         | 0,018                                                                                           | 0,059           |
| Linkmenų g.   | 0,011                      | 0,017                         | 0,021                      | 0,028         | 0,017                                                                                           | 0,059           |
| Optimalus     | 0,024                      | 0,017                         | 0,013                      | 0,056         | 0,044                                                                                           | 0,012           |
| qi            | 0,078                      | 0,133                         | 0,15                       | 0,229         | 0,197                                                                                           | 0,213           |
| min/max       | min                        | max                           | max                        | min           | min                                                                                             | max             |

Nustatome efektyvumo indeksą pagal (9) formulę, sumuojamos kiekvienos alternatyvos svertinės reikšmės.

Nustatydami naudingumo laipsnį sužinome, kiek kiekviena alternatyva yra nutolusi nuo optimalios alternatyvos, kitaip tariant, nustatome naudingumo laipsnį (žr. 39 lentelę) (suinteresuotų grupių poreikių tenkinimą), pagal (10) formulę.

**39 lentelė.** Naudingumo laipsnio nustatymas

| Pastatas      | Ri    | Nj         |
|---------------|-------|------------|
| Bajorų kalvos | 0,187 | <b>113</b> |
| M. Jankaus g. | 0,139 | <b>84</b>  |
| Rinktinės g.  | 0,178 | <b>108</b> |
| Priegliaus g. | 0,178 | <b>108</b> |
| Linkmenų g.   | 0,152 | <b>92</b>  |
| Optimalus     | 0,165 | <b>100</b> |

Sudaroma prioritetinė eilutė: Bajorų kalvos ➤ Rinktinės g. ➤ Priegliaus g. ➤ Optimalus ➤ Linkmenų g. ➤ M. Jankaus g.

Racionali nustatyta alternatyva naudotojui namas – Bajorų kalvose.

### 3.3.4. Alternatyvų vertinimas investuotojui.

Nustatome rodiklių svorius, kurie aktualus investuotojui AHP metodu (žr. 40 lentelę).

**40 lentelė.** AHP metodu nustatyti kriterijų reikšmingumai

| <b>Kriterijai</b> |                                                                                                | <b>Reikšmingumas</b> | <b>Rangas</b> |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|---------------|
| <b>1</b>          | Kaina                                                                                          | 28,2 %               | 1             |
| <b>2</b>          | Planuojamas investicijų atsipirkimas po projekto užbaigimo                                     | 16,3 %               | 3             |
| <b>3</b>          | Investuoto kapitalo pelningumas                                                                | 12,3 %               | 5             |
| <b>4</b>          | Skačiuojamosios suminės energijos sąnaudos vienam kvadratiniam metrui pastato naudingojo ploto | 9,9 %                | 6             |
| <b>5</b>          | Šildymo sistema                                                                                | 15,1 %               | 4             |
| <b>6</b>          | Palyginimas su gretimai statomų kitų įmonių objektais                                          | 18,2 %               | 2             |

Atliekama 10 ekspertų apklausa pagal Goepel (2013) sukurtą skaičiuoklę. Ekspertai nurodo savo prioritetus (žr. 41 lentelę).

41 lentelė. AHP kriterijų reikšmingumų įvertinimas

|   |   | Kriterijus                   |                         | svarbesnis ? | Skalė |
|---|---|------------------------------|-------------------------|--------------|-------|
| i | j | A                            | B                       | A or B       | (1-9) |
| 1 | 2 | Kaina                        | Planuojamas investicijų | A            | 5     |
| 1 | 3 |                              | Investuoto kapitalo     | A            | 3     |
| 1 | 4 |                              | Skaičiuojamosios        | A            | 3     |
| 1 | 5 |                              | Šildymo sistema         | A            | 9     |
| 1 | 6 |                              | Palyginimas su          | A            | 5     |
| 1 | 7 |                              |                         | B            | 5     |
| 1 | 8 |                              |                         | B            | 8     |
| 2 | 3 | Planuojamas investicijų ats. | Investuoto kapitalo     | A            | 1     |
| 2 | 4 |                              | Skaičiuojamosios        | A            | 1     |
| 2 | 5 |                              | Šildymo sistema         | A            | 7     |
| 2 | 6 |                              | Palyginimas su          | A            | 1     |
| 2 | 7 |                              |                         | B            | 3     |
| 2 | 8 |                              |                         | B            | 3     |
| 3 | 4 | Investuoto kapitalo pelning. | Skaičiuojamosios        | A            | 2     |
| 3 | 5 |                              | Šildymo sistema         | B            | 8     |
| 3 | 6 |                              | Palyginimas su          | B            | 1     |
| 3 | 7 |                              |                         | B            | 4     |
| 3 | 8 |                              |                         | B            | 2     |
| 4 | 5 | Skaičiuojamosios suminės     | Šildymo sistema         | B            | 9     |
| 4 | 6 |                              | Palyginimas su          | B            | 3     |
| 4 | 7 |                              |                         | B            | 5     |
| 4 | 8 |                              |                         | B            | 5     |
| 5 | 6 | Šildymo sistema              | Palyginimas su          | B            | 9     |
| 5 | 7 |                              |                         | B            | 9     |
| 5 | 8 |                              |                         | B            | 1     |
| 6 | 7 |                              |                         | A            | 4     |
| 6 | 8 |                              |                         | A            | 4     |
| 7 | 8 |                              |                         | A            | 4     |

Įvertinamas nuomonių sutapimas C.R. ir ar tai  $< 0,1$ . Gauta tikrinamoji vertė lamda: 6,302, o C.R. – 0,048  $< 0,1$ .

### 3.3.5. Skaičiavimai SAW metodu

Pirmiausia sudaroma pradinių duomenų matrica, kurios eilutės – analizuojami variantai, o stulpeliai – rodikliai. Toliau nurodoma, kurie iš rodiklių bus minimizuojami, o kurie maksimizuojami.

Pradinių duomenų matrica (žr. 42 lentelę):

**42 lentelė.** Pradinė duomenų matrica

| Pastatas      | Rodikliai           |                               |                                 |                                                                               |                 |                                                       |
|---------------|---------------------|-------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------------------|
|               | Kaina, investicijos | Planuojams atsipirkimo laikas | Investuoto kapitalo pelningumas | Skaičiuojamosios sąnaudos vienam kvadratiniam metrui pastato naudingojo ploto | Šildymo sistema | Palyginimas su gretimai statomų kitų įmonių objektais |
| Bajorų kalvos | 1361                | 3                             | 9,06                            | 38,52                                                                         | 5               | 5                                                     |
| M. Jankaus g. | 985                 | 2                             | 38,75                           | 56,27                                                                         | 5               | 1                                                     |
| Rinktinės g.  | 1028                | 1                             | 55,56                           | 98,76                                                                         | 1               | 1                                                     |
| Priegliaus g. | 530                 | 1                             | 85,48                           | 121,11                                                                        | 1               | 1                                                     |
| Linkmenų g.   | 988                 | 2                             | 70,72                           | 128,22                                                                        | 1               | 1                                                     |
| qi            | 0,282               | 0,163                         | 0,123                           | 0,099                                                                         | 0,151           | 0,182                                                 |
| min/max       | min                 | min                           | max                             | min                                                                           | max             | max                                                   |

Lentelės duomenys normalizuojami (žr. 43 lentelę) (t. y. dydžiai paverčiami bedimensiais) maksimizavimo atveju taikant (11) formulę ir jei matricos nariai minimizuojami (12) formulę.

**43 lentelė.** Normalizuota matrica

| Pastatas      | Rodikliai           |                               |                                 |                                                                               |                 |                                                       |
|---------------|---------------------|-------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------------------|
|               | Kaina, investicijos | Planuojams atsipirkimo laikas | Investuoto kapitalo pelningumas | Skaičiuojamosios sąnaudos vienam kvadratiniam metrui pastato naudingojo ploto | Šildymo sistema | Palyginimas su gretimai statomų kitų įmonių objektais |
| Bajorų kalvos | 0,39                | 0,33                          | 0,11                            | 1,00                                                                          | 1,00            | 1,00                                                  |
| M. Jankaus g. | 0,54                | 0,50                          | 0,45                            | 0,68                                                                          | 1,00            | 0,20                                                  |
| Rinktinės g.  | 0,52                | 1,00                          | 0,65                            | 0,39                                                                          | 0,20            | 0,20                                                  |
| Priegliaus g. | 1,00                | 1,00                          | 1,00                            | 0,32                                                                          | 0,20            | 0,20                                                  |
| Linkmenų g.   | 0,54                | 0,50                          | 0,83                            | 0,30                                                                          | 0,20            | 0,20                                                  |
| qi            | 0,282               | 0,163                         | 0,123                           | 0,099                                                                         | 0,151           | 0,182                                                 |
| min/max       | min                 | min                           | max                             | max                                                                           | max             | max                                                   |

Nustatome rodiklių svorius bei apskaičiuojame alternatyvos racionalumus (žr. 44 lentelę).  $A_i$  apskaičiuojama pagal (13) formulę.

**44 lentelė.** Geriausios alternatyvos nustatymas

| Pastatas      | Rodikliai           |                               |                                 |                                                                               |                 |                                                       | Ai   |
|---------------|---------------------|-------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------------------|------|
|               | Kaina, investicijos | Planuojams atsipirkimo laikas | Investuoto kapitalo pelningumas | Skaičiuojamosios sąnaudos vienam kvadratiniam metrui pastato naudingojo ploto | Šildymo sistema | Palyginimas su gretimai statomų kitų įmonių objektais |      |
| Bajorų kalvos | 0,39                | 0,33                          | 0,11                            | 1,00                                                                          | 1,00            | 1,00                                                  | 0,61 |
| M. Jankaus g. | 0,54                | 0,50                          | 0,45                            | 0,68                                                                          | 1,00            | 0,20                                                  | 0,54 |
| Rinktinės g.  | 0,52                | 1,00                          | 0,65                            | 0,39                                                                          | 0,20            | 0,20                                                  | 0,49 |
| Priegliaus g. | 1,00                | 1,00                          | 1,00                            | 0,32                                                                          | 0,20            | 0,20                                                  | 0,67 |
| Linkmenų g.   | 0,54                | 0,50                          | 0,83                            | 0,30                                                                          | 0,20            | 0,20                                                  | 0,43 |
| qi            | 0,282               | 0,163                         | 0,123                           | 0,099                                                                         | 0,151           | 0,182                                                 |      |
| min/max       | min                 | min                           | max                             | max                                                                           | max             | max                                                   |      |

Sudaroma prioritentinė eilutė: Priegliaus g.  $\succ$  Bajorų kalvos  $\succ$  M. Jankaus g.  $\succ$  Rinktinės g.  $\succ$  Linkmenų g.

Racionali nustatyta alternatyva naudotojui namas Priegliaus g.

### 3.3.6. Skaičiavimas ARAS metodu.

Pirmiausia sudaroma pradinė duomenų matrica (žr. 45 lentelę).

**45 lentelė.** Normalizuota matrica

| Pastatas      | Rodikliai           |                               |                                 |                                                                               |                 |                                                       |
|---------------|---------------------|-------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------------------|
|               | Kaina, investicijos | Planuojams atsipirkimo laikas | Investuoto kapitalo pelningumas | Skaičiuojamosios sąnaudos vienam kvadratiniam metrui pastato naudingojo ploto | Šildymo sistema | Palyginimas su gretimai statomų kitų įmonių objektais |
| Bajorų kalvos | 1361                | 3                             | 9,06                            | 38,52                                                                         | 5               | 5                                                     |
| M. Jankaus g. | 985                 | 2                             | 38,75                           | 56,27                                                                         | 5               | 1                                                     |
| Rinktinės g.  | 1028                | 1                             | 55,56                           | 98,76                                                                         | 1               | 1                                                     |
| Priegliaus g. | 530                 | 1                             | 85,48                           | 121,11                                                                        | 1               | 1                                                     |
| Linkmenų g.   | 988                 | 2                             | 70,72                           | 128,22                                                                        | 1               | 1                                                     |
| Optimalus     | 600                 | 1                             | 60                              | 50                                                                            | 5               | 5                                                     |
| qi            | 0,282               | 0,163                         | 0,123                           | 0,099                                                                         | 0,151           | 0,182                                                 |
| min/max       | min                 | min                           | max                             | max                                                                           | max             | max                                                   |

Toliau turime visus kriterijus maksimizuoti (žr. 46 lentelę), naudodamiesi (4) formule.

**46 lentelė.** Normalizuota matrica

| Pastatas      | Rodikliai           |                               |                                 |                                                                                                 |                 |                                                       |
|---------------|---------------------|-------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------------------|
|               | Kaina, investicijos | Planuojams atsipirkimo laikas | Investuoto kapitalo pelningumas | Skaičiuojamosios suminės energijos sąnaudos vienam kvadratiniam metrui pastato naudingojo ploto | Šildymo sistema | Palyginimas su gretimai statomų kitų įmonių objektais |
| Bajorų kalvos | 0,001               | 0,333                         | 0,110                           | 0,026                                                                                           | 0,200           | 0,200                                                 |
| M. Jankaus g. | 0,001               | 0,500                         | 0,026                           | 0,018                                                                                           | 0,200           | 1,000                                                 |
| Rinktinės g.  | 0,001               | 1,000                         | 0,018                           | 0,010                                                                                           | 1,000           | 1,000                                                 |
| Priegliaus g. | 0,002               | 1,000                         | 0,012                           | 0,008                                                                                           | 1,000           | 1,000                                                 |
| Linkmenų g.   | 0,001               | 0,500                         | 0,014                           | 0,008                                                                                           | 1,000           | 1,000                                                 |
| Optimalus     | 0,002               | 1,000                         | 0,017                           | 0,020                                                                                           | 0,200           | 0,200                                                 |
| qi            | 0,282               | 0,163                         | 0,123                           | 0,099                                                                                           | 0,151           | 0,182                                                 |
| min/max       | min                 | min                           | max                             | min                                                                                             | max             | max                                                   |

Sprendimų matrica normalizuojama, visi dydžiai paverčiami bedimensiais (žr. 47 lentelę), pagal (5) formulę.

**47 lentelė.** Duomenys paverčiami bedimensiais dydžiais

| Pastatas      | Rodikliai           |                                |                                 |                                                                                                 |                 |                                                       |
|---------------|---------------------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------------------|
|               | Kaina, investicijos | Planuojam s atsipirkimo laikas | Investuoto kapitalo pelningumas | Skaičiuojamosios suminės energijos sąnaudos vienam kvadratiniam metrui pastato naudingojo ploto | Šildymo sistema | Palyginimas su gretimai statomų kitų įmonių objektais |
| Bajorų kalvos | 0,101               | 0,077                          | 0,561                           | 0,289                                                                                           | 0,056           | 0,045                                                 |
| M. Jankaus g. | 0,139               | 0,115                          | 0,131                           | 0,198                                                                                           | 0,056           | 0,227                                                 |
| Rinktinės g.  | 0,133               | 0,231                          | 0,092                           | 0,113                                                                                           | 0,278           | 0,227                                                 |
| Priegliaus g. | 0,259               | 0,231                          | 0,059                           | 0,092                                                                                           | 0,278           | 0,227                                                 |
| Linkmenų g.   | 0,139               | 0,115                          | 0,072                           | 0,087                                                                                           | 0,278           | 0,227                                                 |
| Optimalus     | 0,229               | 0,231                          | 0,085                           | 0,222                                                                                           | 0,056           | 0,045                                                 |
| qi            | 0,282               | 0,163                          | 0,123                           | 0,099                                                                                           | 0,151           | 0,182                                                 |
| min/max       | min                 | min                            | max                             | min                                                                                             | max             | max                                                   |

Nustatome kriterijų reikšmingumus ir sudarome svertinę matricą (žr. 48 lentelę), kiekvieną elementą dauginame iš reikšmingumo pagal (8) formulę.

**48 lentelė.** Svertinė matrica

| Pastatas      | Rodikliai           |                               |                                 |                                                                               |                 |                                                       |
|---------------|---------------------|-------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------------------|
|               | Kaina, investicijos | Planuojams atsipirkimo laikas | Investuoto kapitalo pelningumas | Skaičiuojamosios sąnaudos vienam kvadratiniam metrui pastato naudingojo ploto | Šildymo sistema | Palyginimas su gretimai statomų kitų įmonių objektais |
| Bajorų kalvos | 0,028               | 0,013                         | 0,069                           | 0,029                                                                         | 0,008           | 0,008                                                 |
| M. Jankaus g. | 0,039               | 0,019                         | 0,016                           | 0,020                                                                         | 0,008           | 0,041                                                 |
| Rinktinės g.  | 0,038               | 0,038                         | 0,011                           | 0,011                                                                         | 0,042           | 0,041                                                 |
| Priegliaus g. | 0,073               | 0,038                         | 0,007                           | 0,009                                                                         | 0,042           | 0,041                                                 |
| Linkmenų g.   | 0,039               | 0,019                         | 0,009                           | 0,009                                                                         | 0,042           | 0,041                                                 |
| Optimalus     | 0,064               | 0,038                         | 0,010                           | 0,022                                                                         | 0,008           | 0,008                                                 |
| qi            | 0,282               | 0,163                         | 0,123                           | 0,099                                                                         | 0,151           | 0,182                                                 |
| min/max       | min                 | min                           | max                             | min                                                                           | max             | max                                                   |

Nustatome efektyvumo indeksą, sumuojamos kiekvienos alternatyvos svertinės reikšmės pagal (9) formulę.

Nustatydami naudingumo laipsnį sužinome, kiek kiekviena alternatyva yra nutolusi nuo optimalios alternatyvos, kitaip tariant, nustatome naudingumo laipsnį pagal (10) formulę (žr. 49 lentelę) (suinteresuotų grupių poreikių tenkinimą).

**49 lentelė.** Naudingumo laipsnio nustatymas

| Pastatas      | Ri    | Nj  |
|---------------|-------|-----|
| Bajorų kalvos | 0,155 | 103 |
| M. Jankaus g. | 0,144 | 95  |
| Rinktinės g.  | 0,181 | 120 |
| Priegliaus g. | 0,210 | 139 |
| Linkmenų g.   | 0,159 | 105 |
| Optimalus     | 0,151 | 100 |

Sudaroma prioritetinga eilutė: Priegliaus g.  $\succ$  Rinktinės g.  $\succ$  Linkmenų g.  $\succ$  Bajorų kalvos  $\succ$  Optimalus  $\succ$  M. Jankaus g.

### 3.4. Gautų rezultatų analizė

Pateikiama suvestinė pagal naudotoja ir investuotojo įvertinimus ir prioriteto eilutes, (žr. 50 lentelę).

**50 lentelė.** Investuotojo ir naudotojo įvertinimų MCDA metodais suvestinė

|                                     | Bajorų kalvos | M. Jankaus g. | Rinktinės g. | Priegliaus g. | Linkmenų g. |
|-------------------------------------|---------------|---------------|--------------|---------------|-------------|
| <b>SAW metodu gauti rezultatai</b>  |               |               |              |               |             |
| Naudotojo                           | 0,75          | 0,70          | 0,57         | 0,52          | 0,49        |
| Investuotojo                        | 0,61          | 0,54          | 0,49         | 0,67          | 0,43        |
| Σ Rezultatų                         | 1,36          | 1,24          | 1,06         | 1,19          | 0,92        |
| Rangas                              | 1             | 2             | 4            | 3             | 5           |
| <b>ARAS metodu gauti rezultatai</b> |               |               |              |               |             |
| Naudotojo                           | 113           | 84            | 108          | 108           | 92          |
| Investuotojo                        | 103           | 95            | 120          | 139           | 105         |
| Σ Rezultatų                         | 216           | 179           | 228          | 247           | 197         |
| Rangas                              | 3             | 5             | 2            | 1             | 4           |

Įvertinę suvestinę lentelę, matome, jog įvertinimai investuotojui ir naudotojui skiriasi. Investuotojas suinteresuotas rinktis mažiau investicijų reikalaujantį projektą Priegliaus g. su maksimalia nauda, o naudotojui reikalinga alternatyva, kuri kainos ir kokybės atžvilgiu yra geriausia, tai yra Bajorų kalvose. Rezultatai skiriasi dėl skirtingų kriterijų reikšmingumų vertinant iš naudotojo ir investuotojo pozicijų.

Įvertinti pastatai BREEAM IR LEED metodais pagal pasirinktas 5 alternatyvas, su nurodytomis 1 kredito kaina (žr. 51 lentelę).

**51 lentelė.** Vertinimo BREEAM IR LEED metodais rezultatų suvestinė

| <b>Namas</b>         | <b>BREEAM<br/>ĮVERTINIMAS</b>    | <b>Kaina 1<br/>kredito Eur</b> | <b>LEED<br/>ĮVERTINIMAS</b> | <b>Kaina 1<br/>kredito Eur</b> |
|----------------------|----------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| <b>Bajorų kalvos</b> | 58,34 Labai geras<br>(Very Good) | 61547,96                       | 54 Sidabrinis<br>(Silver)   | 41381,64                       |
| <b>M. Jankaus g.</b> | 55,57 Labai geras<br>(Very Good) | 57101,1                        | 50 Sidabrinis<br>(Silver)   | 38852,79                       |
| <b>Rinktinės g.</b>  | 40,58 Atitinkantis<br>(Pass)     | 70552,96                       | 32 Nesertifikuotas          | 55716,82                       |
| <b>Priegliaus g.</b> | 40,25 Atitinkantis<br>(Pass)     | 26812,01                       | 30 Nesertifikuotas          | 24932,57                       |
| <b>Linkmenų g.</b>   | 41,40 Atitinkantis<br>(Pass)     | 21554,47                       | 31 Nesertifikuotas          | 20482,45                       |

Gauti rezultatai rodo, jog racionaliausia vertinant BREEAM ir LEED metodais alternatyva – namas Bajorų kalvose. Jis vertinant BREEAM ir LEED metodais surinko daugiausiai balų. Maksimalus įvertinimas abiem metodais yra 110 balų. Vertinant BREEAM metodu namas surinko 58,34 %, o vertinant LEED metodu 54 balus.

Tikslu įvertinti alternatyvų patrauklumą investicijų aspektu, buvo skaičiuota priemonių vertintų BREEAM ir LEED metodikose kaina. Stebint kaip kinta 1 kredito kaina, galima teigti jog siekiant aukšto įvertinimo bendra investicija į kreditą išauga. Pagal kredito kainos dydį ir pagal įvertinimą pirmoje vietoje yra Bajorų kalvose esantis namas. Antroje vietoje pagal kreditus yra M. Jankaus g. esantis namas. Tačiau Rinktinės g. esantis namas trečioje vietoje pagal kreditus yra antroje vietoje pagal vieno kredito kainą. Tai rodo, kad priemonės panaudotos tokiam įvertinimui gauti parinktos neracionaliai.

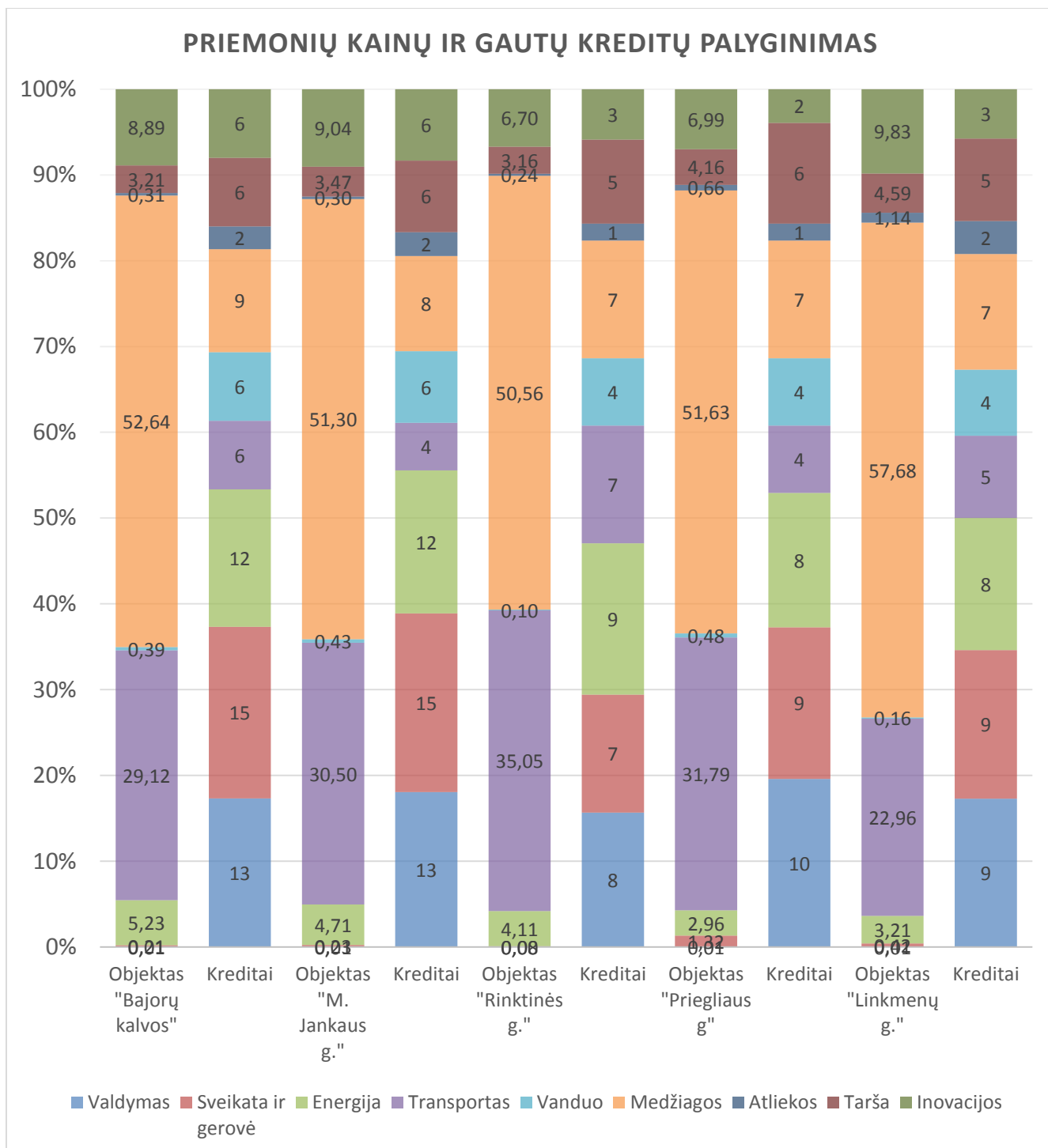
Įvertinus pastatus BREEAM pastatų darnos su aplinka metodu, (žr. 52 lentelę), nustatyta, jog didžiausios išlaidos skirtos priemonėms, kurios užtikrina tokį įvertinimą yra objektui Bajorų kalvose. Projektas įvertintas geriausiai – 58,34 pagal BREEAM vertinimo skalę vidutiniškai (Very Good). Antroje vietoje objektas M. Jankaus g. Jo išlaidos 1 kv. m beveik 2 kartus mažesnės, nors įvertinimas tik 3 % mažesnis ir įvertintas pagal BREEAM irgi vidutiniškai (Very Good) (žr. 51 lentelę). Mažėjant įvertinimui mažėja ir išlaidos. Palyginus kiek kainuoja 1 kreditas pastebima, kad objekte „Bajorų kalvose“ pritaikytos priemonės kainuoja brangiausiai tačiau šis objektas geriausiai įvertintas (žr. 52 lentelę). Antroje vietoje pagal kainą atsiduria objektas „Linkmenų g.“, trečioje vietoje objektas „Rinktinės g.“ ir tik ketvirtoje vietoje objektas „M. Jankaus g.“, kuris antras pagal darnos įvertinimą. Daroma išvada, jog papildomos išlaidos objektams, kad bent gautų sertifikatą su užrašų atitinka „Pass“ labai skiriasi priklausomai nuo gyvenamojo ploto ir nuo statybos dydžio. Atliekant didesnės apimties projektus papildomų išlaidų kaina 1 kv. m sumažėja iki tam tikros ribos. Siekiant gauti geresnį įvertinimą reikia pritaikyti papildomas priemones. Tokiu atveju priemonių

kaina ženkliai išauga tai parodo ir objektas Bajorų kalvose. Gyvenamasis plotas lyginant su kitais objektais mažas bet naudojamos priemonės ir jų kiekis didesnis.

52 lentelė. BREEAM įvertinimo, gautų rezultatų suvestinė

| Alternatyvos                                                          | Matavimo vienetai | Objektas "Bajorų kalvos" | Objektas "M. Jankaus g." | Objektas "Rinktinės g." | Objektas "Priegliaus g" | Objektas "Linkmenų g." |
|-----------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| Bendras įvertinimas                                                   | %                 | 58,34                    | 55,57                    | 40,58                   | 40,25                   | 41,40                  |
| Bendra išlaidų suma                                                   | Eur               | 3590707,99               | 3173107,88               | 2863038,93              | 1079183,29              | 892355,13              |
| Gyvenamasis plotas                                                    | kv. m             | 2096,00                  | 3385,00                  | 3840,00                 | 4859,07                 | 1024,55                |
| Kaina 1 kv.m gyvenamojo ploto                                         | Eur/kv. m         | 1713,12                  | 937,40                   | 745,58                  | 222,10                  | 870,97                 |
| Priemonių įgyvendinimo sumos reikalingų Atnaujinimo tikslams pasiekti | Eur/kv. m × %     | 29,37                    | 16,87                    | 18,37                   | 5,52                    | 21,04                  |

Tokius gerus objekto „Bajorų kalvos“ rezultatus lėmė tai, kad pastatas projektuojamas A energinės efektyvumo klasės. Naudojami vandenį tausojantys klozeto vandens nuleidimo bakeliai, šviesos diodų apšvietimo sistema, rekuperatorinė vėdinimo sistema, pasirinktos vietinės medžiagos, kurios patikrintos ir metų ir turima daug informacijos apie jų ilgaamžiškumą. Pastate įrengti saulės kolektoriai, kurie deklaruojamais duomenimis turėtų pilnai padengti išlaidas būtų išnaudojamos energijos patalpų šildymui. Sutaupyti pinigai būtų panaudojami pastato priežiūrai ir papildomiems poreikiams. Kitos alternatyvos ne tokios efektyvios. M. Jankaus g. pastatas B energinės klasės namas, kuris statomas Pilaitėje. Šis namas pasižymi irgi rekuperatorinė vėdinimo sistema, gera šilumine varža, gerų medžiagų parinkimu, bet neturi saulės kolektorių.



**18 pav.** Priemonių kainų ir gautų kreditų palyginimas pagal BREEAM

Matome, jog geriausiai įvertinti pastatai pasiekia tokius gerus balus, nes jau projektavimo metu yra nustatomi pagrindiniai kriterijai, kuriais bus vadovujamasi. Pasirenkamos tinkamos medžiagos, priemonės ir technologijos, kurių diegimas ir naudojimas tausoją gamtą. Darnos su aplinka vertinimo metodų esmė ir yra įvertinti, kokį poveikį aplinkai ir šalia esančiai infrastruktūrai turės statomi/renovuojami pastatai. Statant ir vertinant tokius pastatus kuriama praktika, kuri leidžia

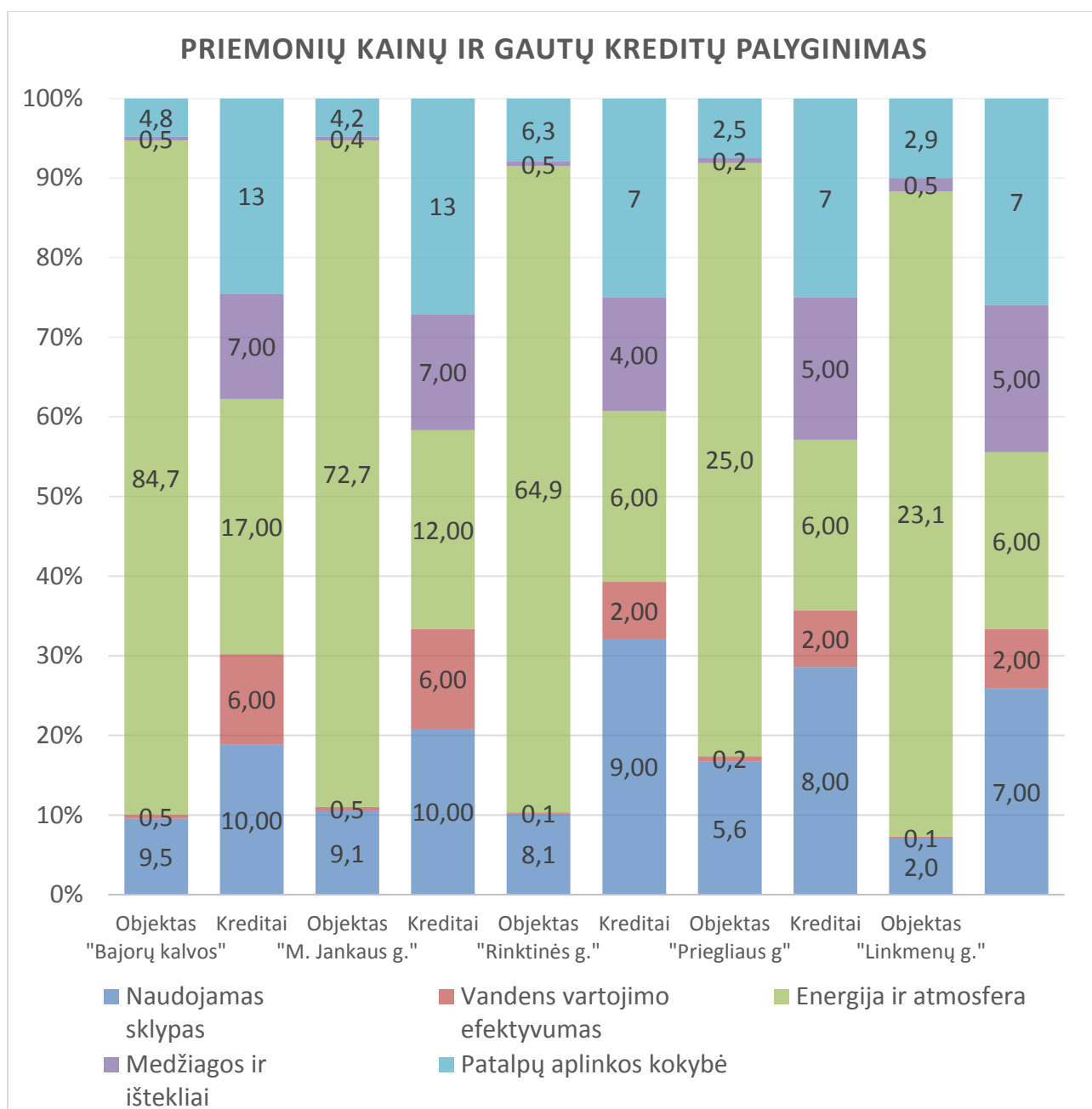
rangovams ja naudotis ir taikyti patikrintus metodus. Metodai skirti ne tik įvertinti, bet ir formuoti naują požiūrį į pastatų poveikio aplinkai mažinimą.

Stebint atliktus skaičiavimus pagal LEED metodiką rezultatas stebimas toks pat kaip ir BREEAM metodikos taikymo atveju. Geriausiai įvertintas pastatas „Bajorų kalvose“ surinko 54 kreditus, žiūrėti (žr. 53 lentelę). Antroje vietoje objektas M. Jankaus g.. Lyginant išlaidas papildomų priemonių 1 kv. m matoma, jog objekto Bajorų kalvose suma didesnė beveik du kartus.

**53 lentelė.** LEED įvertinimo, gautų rezultatų suvestinė

| Alternatyvos                                                                 | Matavimo vienetai    | Objektas "Bajorų kalvos" | Objektas "M. Jankaus g." | Objektas "Rinktinės g." | Objektas "Priegliaus g" | Objektas "Linkmenų g." |
|------------------------------------------------------------------------------|----------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| Bendras įvertinimas                                                          | Kreditai             | 54,00                    | 50,00                    | 32,00                   | 30,00                   | 31,00                  |
| Bendra išlaidų suma                                                          | Eur                  | 2234608,75               | 1942639,37               | 1782938,20              | 747977,09               | 634955,81              |
| Gyvenamasis plotas                                                           | kv.m                 | 2096,00                  | 3385,00                  | 3840,00                 | 4859,07                 | 1024,55                |
| Kaina 1 kv.m gyvenamojo ploto                                                | Eur/kv. m            | 1066,13                  | 573,90                   | 464,31                  | 153,93                  | 619,74                 |
| Priemonių įgyvendinimo sumos reikalingų <b>Atnaujinimo</b> tikslams pasiekti | Eur/kv. M × kreditai | 19,74                    | 11,48                    | 14,51                   | 5,13                    | 19,99                  |

Vertinant išlaidas matome, jog mažiausio gyvenamojo ploto pastatas turi investuoti daug lėšų į tas pačias ar panašias priemones siekiant surinkti pastatų darnos su aplinką kreditus. Išlaidos 1 kv. m didžiausios objekto „Bajorų kalvos“. Stebima tokia pat tendencija. Didėjant plotui mažėja išlaidos 1 kv. m ir įvertintiems prasčiau pastatams išlaidos mažesnės.



**19 pav.** Priemonių kainų ir gautų kreditų palyginimas pagal LEED

Alternatyvos vertinamos BREEAM metodu ir LEED metodu, kai statomas naujas pastatas. Vertinant buvo atsižvelgta į tai, kokia statybos organizavimo vykdymo strategija pasirinkta, kokios naudojamos medžiagos, kaip efektyviai naudojami ištekliai ir medžiagos statybos metu ir kaip taupomi tie patys gamtos, energijos ištekliai eksploatacijos metu.

Kiekvienas metodas reikalauja, jog į procesą įsitrauktų ekspertai, nuo pačios pradinės statybų proceso stadijos. Tai leidžia pasirinkti metodus ir tokią statybų eigą, kuri maksimaliai tausotų gamtą. Jei bus padaryta mažiau klaidų projektavimo metu, bus sutaupoma daug laiko ir finansų, statybos metu aikštelėse. Reikia daug laiko skirti organizavimui planavimui ir sprendimų detalizavimui.

Pagal naudotojo parinktus kriterijus įvertinus alternatyvas SAW ir ARAS metodais apskaičiuota, jog racionaliausias pasirinkimas naudotojui yra objektas Bajorų kalvose. Pagal kriterijus aktualius investuotojui racionaliausia alternatyva pasirinkta Priegliaus gatvėje esantis objektas.

Gyventojui aktuali kaina ir kokybė. Pagal BREEAM ir LEED metodus racionali alternatyva yra Bajorų kalvose, tokį pat variantą pasirinktų ir naudotojas, nes pastatas ne tik ilgaamžiškas, bet ir ekonomišką, taupantis energiją, gamtos išteklius. Prasčiausiai įvertintas darnos su aplinka metodais namas Priegliaus g. atitinka investuotojo pasirinkimą. Tai parodo, jog investuotojas pasirenka investuoti mažiau ir mažiau rizikuoti.

## IŠVADOS

Baigiamajame darbe išnagrinėta pastate diegiamų priemonių darnos–kaštų vertinimo problematika. Statybos sektorius vis labiau atsižvelgia į gamtosauginius reikalavimus ir savo procesuose diegia sistemas, kurios leidžia mažinti taršą ir gamtos išteklių naudojimą statybos metu. Baigiamojo darbo uždaviniui suformuotas sprendimų modelis, kuris leidžia atlikti pastate įdiegtų priemonių darnos–kaštų analizę.

Pastate įdiegtų priemonių darnos su aplinka įvertinimui atlikti pasirinkti BREEAM ir LEED metodai. Aprašyti metodų taikymo principai ir taikymo pavyzdžiai. Alternatyvų patrauklumui iš investuotojo ir naudotojo pozicijų vertinimui pritaikyti daugiakriteriai sprendimų paramos sistemų metodai AHP, SAW ir ARAS.

Palyginimui parinkti realūs objektai, kurių informacija yra viešai prieinama. Alternatyvų darnumas įvertinamas BREEAM ir LEED metodais. Skaičiavimai pateikti A ir B prieduose. Geriausiai įvertintas pastatas Bajorų kalvose, antroje vietoje objektas M. Jankaus g. Jie surinko daugiausiai kreditų pagal LEED metodą ir didžiausią procentinį įvertinimą pagal BREEAM metodą. Abu pastatai yra A energinės efektyvumo klasės. Juos statant buvo atkreipiamas didelis dėmesys į gyvenimo kokybę. Abiejuose įdiegta rekupiaratorinė vėdinimo sistema, aukštos klasės langai ir durys. Naudotojai turi galimybę reguliuoti šilumą individualiai, įdiegta šviesos intensyvumo reguliavimo sistema. Ji leidžia taupyti elektros energiją. Papildomai įrengti klozeto bakeliai su reguliuojamu vandens nuleidimo kiekiu. Tai leidžia sutaupyti suvartojamo vandens kaštus.

Alternatyvos taip pat įvertintos iš naudotojo ir investuotojo pozicijų, parinkus jiems svarbius kriterijus. Reikšmingumams nustatyti pritaikytas AHP metodas. Naudotojui reikšmingiausias kriterijus yra kaina, tai sudaro 22,9 %, antroje vietoje – šildymo sistema atstumas – 21,3 %, trečioje – skaičiuojamosios suminės energijos sąnaudos vienam kvadratiniam metrui pastato naudingojo ploto – 19,7 %. 15,0 % – darželių ir mokyklų skaičius, 13,3 % aplink esantys žalieji plotai ir 7,8 % atstumas iki miesto centro. Investuotojui svarbiausias kriterijus irgi kaina – 28,2 %, palyginimas su gretimai statomais kitų įmonių objektais – 18,2 %, planuojamas investicijų atsipirkimas po projekto užbaigimo – 16,3 %, šildymo sistema – 15,1 %, investuoto kapitalo pelningumas – 12,3 % ir skaičiuojamosios suminės energijos sąnaudos vienam kvadratiniam metrui pastato naudingojo ploto – 9,9 %. Abiem grupėms svarbiausia kaina, o naudotojui svarbi energinė klasė sudaro 21,3 %, investuotojui 9,9 %. Tai rodo, jog investuotojas linkęs mažiau investuoti į gyvenimo kokybę. Naudotojas suinteresuotas pasirinkti kokybiškas, ateityje mažiau reikalaujančias išlaidų patalpas.

Atlikus skaičiavimus matome, jog pagal BREEAM ir LEED geriau įvertintas pastatas Bajorų kalvose yra patrauklesnis naudotojui, o prasčiausiai įvertintas Priegliaus g. patrauklesnis

investuotojui. Abiem grupėms svarbiausias kriterijus kaina ir ji sudaro daugiau nei ketvirtadalį reikšmingumo.

Siekiant patikrinti hipotezę atsižvelgiama į investicijų poreikį priemonėms. Daugiausiai kainuojančios priemonės, susijusios pagal BREEAM (18 pav.) vertinimo metodą, yra medžiagos visiems objektams. Tai statybinės medžiagos ir naudotos sistemos statybų metu. Tai vidutiniškai leidžia surinkti tik 8 kreditus objektui, o išlaidos sudaro daugiau nei 50 % visos sumos. Pavyzdžiui, Bajorų kalvose už medžiagas gauti 9 kreditai, o priemonių kainą sudaro 52,64 % nuo visos sumos. Vidutiniškai objektams išlaidų suma medžiagoms sudaro 52 %. Antra brangiausia priemonė tai „transportas“, už kurį gaunama vidutiniškai 5 kreditai, o kaina sudaro vidutiniškai 32 % visos sumos. Išlaidos susidaro už stovėjimo aikštelės ir dviračių saugyklos įrengimą. Tačiau tai vieni iš pagrindinių privalomųjų priemonių, kurios turi būti įgyvendintos įvertinimui gauti, nes kitaip pastatai apkritai negaus sertifikato. Daugiausiai procentų įvertinimo surenka sveikata ir gerovė. Bajorų kalvose tai sudaro 15 kreditų, vidutiniškai visose objektuose 9 tai sudaro 11 kreditų. Kita svarbi priemonė – vandens taupymas, vidutinis įvertinimas visuose objektuose 11 kreditų. Bendras rezultatas rodo, jog daugiausiai investicijų reikalaujančios priemonės sugeneruoja palyginus mažą dalį bendro darnos įvertinimo balais.

Vertinant LEED metodu (19 pav.), nustatyta, kad daugiausiai investicijų reikalauja „energijos ir atmosferos“ grupės priemonės, kuri Bajorų kalvose esančiam objektui suteikia 17 kreditų, o M. Jankaus g. objektui suteikia 12 kreditų, vidutiniškai priemonė objektams suteikia 9 kreditus. Tai sudaro didžiąją dalį įvertinimo visiems objektams. Antroje ir trečioje vietoje pagal investicijų poreikį yra naudojamas sklypas ir patalpų aplinkos kokybė. Jos pagal suteiktą kreditų kiekį irgi yra antroje ir trečioje vietoje. Nors Rinktinės g. esančiam objektui kriterijus „naudojamas sklypas“ suteikia daugiausiai kreditų – 9, taip pat ir objektui Priegliaus g. suteikia daugiausiai kreditų – 8. Vienodai kreditų (po 7) gavo objektui Linkmenų g. priemonės „naudojamo sklypo“ ir „patalpų aplinkos kokybės“. Išlaidos susidaro už dviračių aikštelės įrengimą, automobilių stovėjimo aikštelės įrengimą, reguliuojamas šviesos intensyvumas Patalpų aplinkos kokybės priemonės būtų rekupiaratorinė vėdinimo sistema ir taip pat reguliuojamas šviesos intensyvumas.

Apibendrinus gautus rezultatus galima išskirti priemones, kurias galima naudoti daugiabučių pastatų modernizavimui. Pagrindinė priemonė yra valdymas. Ji susideda iš projektavimo ir organizavimo darbų ir atitinkamų išlaidų. Tai būtina sąlyga sertifikatui gauti. Siekiant aukšto įvertinimo būtina skirti pakankamai lėšų šiai priemonei realizuoti. Antra pagal svarbumą priemonė yra medžiagos, nes jos užtikrina efektyvią pastato šilumos ir hidro–izoliaciją, skatinama naudoti perdirbtas medžiagas ir sistemas, dėl ko tausojama gamta ir jos ištekliai. Svarbios priemonės modernizuojant pastatus būtų susijusios su vandens ir elektros taupymu. Tai būtų reguliuojamo vandens nuleidimo kiekio klozetų bakeliai, reguliuojamas šviesos intensyvumas ir individualus

šildymas. Visa tai leidžia mažinti taršą ir užtikrina darną su aplinka, nors priemonės ir reikalauja papildomų išlaidų.

Atlikus visus skaičiavimus ir apibendrinus gautus rezultatus galima teigti, kad hipotezė, iškelta darbo pradžioje, pasitvirtino. Brangūs ir pagal aplinkosauginius standartus parengti projektai nebūtinai yra ekonomiškai pagrįsti ir investicija gali būti neracionali.

## LITERATŪROS SĄRAŠAS

Atnaujink būstą. 2013a. Būsto atnaujinimo (modernizavimo) programa. [interaktyvus]. [žiūrėta 2014-12-11]. Prieiga per internetą: <<http://www.atnaujinkbusta.lt/index.php/lt/p/atnaujink-busta/apie-daugiabuciu-modernizavimo-programa/busto-modernizavimoprograma>>.

Atnaujink būstą. 2013b. Būsto atnaujinimo (modernizavimo) programa. [interaktyvus]. [žiūrėta 2014-12-11]. Prieiga per internetą: <<http://www.atnaujinkbusta.lt/index.php/lt/p/atnaujink-busta/apie-programa/%20daugiabucio-atnaujinimo-priemones>>.

Bajorų kalvos. [interaktyvus]. [žiūrėta 2014-11-11]. Prieiga per internetą: <<http://www.bkalvos.lt/apie-projekta/naujienos/25-pirmasis-a-klases-daugiabutis-bajoru-kalvose.html>>.

BREEAM 2010-2013. What is BREEAM? [interaktyvus]. [žiūrėta 2013-12-13]. Prieiga per internetą: <<http://www.breeam.org/about.jsp?id=66>>.

BREEAM Certified Projects 2012. [interaktyvus]. [žiūrėta 2014-12-13]. Prieiga per internetą: <<http://www.greenbooklive.com/search/buildingsearch.jsp?id=202&productName=&sectionid=0&partid=10023&countryId=51>>.

Cole, R., J.; Valdebenito, M., J. 2013. *The importation of building environmental certification systems: international usages of BREEAM and LEED*, BRI Research paper, Vol. 41, No. 6, p. 662-676. [interaktyvus]. [žiūrėta 2013-12-15]. Prieiga per internetą: <<http://dx.doi.org/10.1080/09613218.2013.802115>>.

Cristóbal, J., R., San. 2011. *Multi-criteria decision-making in the selection of a renewable energy project in Spain: The Vikor method*. [interaktyvus]. [žiūrėta 2014-12-18]. Prieiga per internetą: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148110003563>>.

Doukas, H. 2012. *Modelling of linguistic variables in multicriteria energy policy support*. [interaktyvus]. [žiūrėta 2014-11-18]. Prieiga per internetą: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221712008740>>.

Hwang, C. L., Yoon, K. 1981. *Multiple Attribute Decision Making – Methods and Application*. Springer-Verlag, Berlin, p. 317-377.

Goepel, K., D. 2013. *AHP Analytic Hierarchy Process*. [interaktyvus]. [žiūrėta 2015-01-10]. Prieiga per internetą: <<http://bpmsg.com>>.

Kaya, T.; Kahraman, C. 2011. *Multicriteria decision making in energy planning using a modified fuzzy TOPSIS methodology*. [interaktyvus]. [žiūrėta 2014-11-20]. Prieiga per internetą: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417410013199>>.

LEED v4 2013. User Guide. [interaktyvus]. [žiūrėta 2014-06-19] Prieiga per internetą: <<http://www.usgbc.org/resources/leed-v4-user-guide>>.

Marčėnaitė, R. 2013. *Pagal kokius standartus statysime?* [interaktyvus]. [žiūrėta 2014-10-15]. Prieiga per internetą: <<http://sa.lt/pagal-kokius-standartus-statysime/>>.

Mickaitis, M.; Laštauskienė, V. 2013. *Angaro rekonstrukcija įgyvendinant inovatyvius darnio architektūros sprendimus*. *Journal of Architecture and Urbanism*, 37:1. P. 59-65. [interaktyvus]. [žiūrėta 2014-12-18]. Prieiga per internetą: <<http://dx.doi.org/10.3846/20297955.2013.783997>>.

Namas Pilaitėje, M. Jankaus g. [interaktyvus]. [žiūrėta 2014-11-10]. Prieiga per internetą: <<http://butai.lt/>>.

Namas Šnipiškėse, Rinktinės g. [interaktyvus]. [žiūrėta 2015-01-20]. Prieiga per internetą: <<http://www.rinktinesnamai.lt/apie-projekta/apie-projekta-2>>.

Namas Pilaitėje B, Priegliaus g. [interaktyvus]. [žiūrėta 2015-01-25]. Prieiga per internetą: <<http://www.eika.lt/butai/nauji-butai-pilaiteje/334>>.

Namas Šnipiškėse B, Linkmenų g. [interaktyvus]. [žiūrėta 2015-02-15]. Prieiga per internetą: <<http://www.linkparko.lt/>>.

Pohekar, S., D.; Ramachandran M. 2004. *Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning—A review*. [interaktyvus]. [žiūrėta 2014-12-15]. Prieiga per internetą: <<http://www.journals.elsevier.com/energy-conversion-and-management>>.

Poškas, G.; Poškas, P.; Sirvydas, A.; Šimonis, A. 2012. *Daugiakriterės analizės metodo taikymas parenkant Ignalinos AE VI pastato įrengimų išmontavimo būdą*. Energetika, p. 86-96.

Saaty, T., L. 2008. *Decision making with the analytic hierarchy process*. Int. J. Serv. Sci. 1, 83. doi:10.1504/IJSSCI.2008.017590, *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, p. 277-290.

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

Saaty, T. L. 1980. *The analytic hierarchy process*. New York: McGraw–Hill.

Saaty, T. L. 1996. *Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process*. RWS Publications, Pittsburgh.

Sustainable Buildings. *The EU building industry is entering a greener era driven by four major shifts*. 2013. [interaktyvus]. [žiūrėta 2014-12-15]. Prieiga per internetą:

<<http://www.agc-glass.eu/English/Homepage/Our-Values/Environment/Environmental-Report-2013/Sustainable-Buildings/page.aspx/2469>>.

.Vesta Consulting, 2014. Green Hills, tvarusis Kalnėnų miestelis. [interaktyvus]. [žiūrėta 2014-11-12]. Prieiga per internetą: <<http://www.vestaconsulting.lt/lt/projektai.html?nid=17>>.

Vesta Consulting, 2015. BREEAM: Industrial. [interaktyvus]. [žiūrėta 2014-11-12]. Prieiga per internetą: <<http://www.vestaconsulting.lt/lt/projektai.html?nid=22>>.

Virgone, T., C., J.; Blanco, E. 2011. *Multi-source energy systems analysis using a multi-criteria decision aid methodology*. [interaktyvus]. [žiūrėta 2014-08-15]. Prieiga per internetą:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148111000188#>>.

Turskis, Z.; Zavadskas, E., K.; Zagorskas, J. 2010. *Sustainable city compactness evaluation on the basis of GIS and bayes rule*. *International Journal of Strategic Property Managment*, p. 185-207. [interaktyvus]. [žiūrėta 2014-12-08]. Prieiga per internetą:  
<<http://dx.doi.org/10.1080/1648715X.2006.9637552>>.

Turskis, Z.; Zavadskas, E., K. 2010. *A new additive ratio assessment (ARAS) method in multicriteria decision-making*, *Ukio Technologinis ir Ekonominis Vystymas*, 16:2, p. 159-172. [interaktyvus]. [žiūrėta 2014-12-08]. Prieiga per internetą:  
<<http://dx.doi.org/10.3846/tede.2010.10>>.

Zavadskas, E., K.; Turskis, Z.; Vilutiene, T. 2010. *Multiple criteria analysis of foundation instalment alternatives by applying Additive Ratio Assessment (ARAS) method*. *Archives of Civil and mechanical engineering*, Vol. X, No. 3, p. 123-141.

Yazdani-Chamzini, A.; Fouladgar, M., M.; Zavadskas, K., E.; Moini, S., H., H. 2013. *Selecting the optimal renewable energy using multi criteria decision making*. [interaktyvus]. [žiūrėta 2015-01-11]. Prieiga per internetą:  
<<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3846/16111699.2013.766257#.UnulqxW9vIU>>.

Yu, W.; Li, B.; Yang, X.; Wang, Q. 2015. *A development of a rating method and weighting system for green store buildings in China*, Volume 73, p. 123-129. [interaktyvus]. [žiūrėta 2014-12-17]. Prieiga per internetą:  
<[http://ac.els-cdn.com/S096014811400353X/1-s2.0-S096014811400353X-main.pdf?\\_tid=fb058dd6-85d9-11e4-9783-00000aab0f26&acdnat=1418813379\\_12527e02c8085f9f89dcb268afcde240](http://ac.els-cdn.com/S096014811400353X/1-s2.0-S096014811400353X-main.pdf?_tid=fb058dd6-85d9-11e4-9783-00000aab0f26&acdnat=1418813379_12527e02c8085f9f89dcb268afcde240)>.