



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS  
PANEVĖŽIO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLO FAKULTETAS**

**Mindaugas Vala**

**A++ KLASĖS PASTATO SUTAPDINTO STOGO  
TERMOIZOLIACINIO SLUOKSNIO DAUGIAKRITERINIS  
VERTINIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas**

Dr. Donatas Aviža

**PANEVĖŽYS, 2018**

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS  
PANEVĖŽIO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLO FAKULTETAS**

**A++ KLASĖS PASTATO SUTAPDINTO STOGO  
TERMOIZOLIACINIO SLUOKSNIO DAUGIAKRITERINIS  
VERTINIMAS**

Baigiamasis magistro projektas  
Statyba (kodas 621J80001)

**Vadovas**

(parašas) Dr. Donatas Aviža  
2018-01-09

**Recenzentas**

(parašas) Dr. Loreta Kelpšienė  
2018-01-09

**Projektą atliko**

(parašas) Mindaugas Vala  
2018-01-09



## KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Panevėžio technologijų ir verslo

(Fakultetas)

Mindaugas Vala

(Studento vardas, pavardė)

Statyba, 621J80001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„A++ klasės pastato sutapdinto stogo termoizoliacinio sluoksnio daugiakriterinis vertinimas“

### AKADEMINIO SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

20 18 m. sausio 9 d.  
Panevėžys

Patvirtinu, kad mano, **Mindaugo Valos**, baigiamasis projektas tema „A++ klasės pastato sutapdinto stogo termoizoliacinio sluoksnio daugiakriterinis vertinimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

\_\_\_\_\_  
(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

\_\_\_\_\_  
(parašas)

## BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS

**Išduota studentui:** Mindaugui Valai Grupė PMS-6

---

**1. Darbo tema:**  
Lietuvių kalba: A++ klasės pastato sutapdinto stogo termoizoliacinio sluoksnio daugiakriterinis vertinimas

Anglų kalba: Multi-criteria evaluation of the matched roof thermo-insulation layer of the A++ class building

Patvirtinta 2017 m. lapkričio mėn. 7 d. dekanu potvarkiu Nr. V25-13-18

**2. Darbo tikslas:** *Atlikti A++ energetinio naudingumo klasės gyvenamojo pastato sutapdinto stogo termoizoliacinio sluoksnio daugiakriterinį vertinimą.*

**3. Reikalavimai ir sąlygos:** *Baigiamasis projektas turi tenkinti KTU Panevėžio Technologijų ir Verslo fakulteto technologijos mokslų srities baigiamųjų projektų rengimo ir gynimo metodinius reikalavimus.*

**4. Projekto struktūra.** Turinys konkretizuojamas kartu su vadovu, atsižvelgiant į BP pobūdį.

*IVADAS*

- 1. ANALITINĖ DALIS*
- 2. SKAIČIAVIMŲ METODOLOGIJA*
- 3. STOGO DAUGIAKRITERINIS VERTINIMAS*

*IŠVADOS*

*LITERATŪROS SĄRAŠAS*

**5. Ši užduotis yra neatskiriama baigiamojo projekto dalis.**

|  |                   |
|--|-------------------|
| <b>6. Projekto pateikimo gynimui kvalifikacinėje komisijoje terminas</b> | <u>2018-01-09</u> |
|  | <i>(data)</i>     |
| Užduotį gavau: _____   | <u>2017-09-04</u> |
|  | <i>(data)</i>     |
| Vadovas: _____   | <u>2017-09-04</u> |
|  | <i>(data)</i>     |

*(studento vardas, pavardė, parašas)*

*(pareigos, vardas, pavardė, parašas)*

Mindaugas Vala. A++ *KLSAĖS PASTATO SUTAPDINTO STOGO TERMOIZOLIACINIO SLUOKSNIO DAUGIAKRITERINIS VERTINIMAS: Magistro* baigiamasis projektas / vadovas dr. Donatas Aviža; Kauno technologijos universitetas, Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas.

Mokslo kryptis ir sritis: *statybų technologijos, technologijos mokslai.*

Reikšminiai žodžiai: *stogo termoizoliacija, sutapdintas stogas, SAW metodas, gyvenamasis pastatas, A++, daugiakriterinis vertinimas.*

Panevėžys, 2018. 48 p.

## SANTRAUKA

*Pirmojoje šio magistrinio darbo dalyje apžvelgta užsienio valstybių patirtis diegiant energijos nenaudojančių pastatų koncepcijas valstybės mastu. Apžvelgti Indijos, Jungtinių Amerikos Valstijų bei Europos sąjungos valstybių išsikelti tiksliai, aptarti pasiekimai ir problemos su kuriomis yra susiduriama. Kaip ir vėsaus, taip ir šilto klimato juostose yra siekiama energetinio pastatų efektyvumo, tik šilto klimato valstybėse daugiausia dėmesio yra skiriama vėsinimui sunaudojamų energijos kaštų mažinimui.*

*Antrojoje dalyje aptariama skaičiavimų ir tyrimo metodologija. Šioje dalyje apžvelgti daugiatisksliai tyrimų metodai bei darbe taikomas paprastas adityvus svorių metodas SAW.*

*Baigiamojoje ir pagrindinėje magistrinio darbo dalyje nagrinėjamos ir lyginamos pagrindinės šiuo metu statyboje naudojamos termoizoliacinės medžiagos. Šios medžiagos lyginamos energijos beveik nenaudojančio gyvenamojo pastato sutapdinto stogo detalėje pagal pasirinktus kriterijus. Kriterijų reikšmingumas nustatomas apklausos būdu. Apklausoje dalyvavo statybos srityje dirbantys arba su ja susiję vadovai, direktoriai, dėstytojai ir kiti specialistai. Specialistų nuomone šiuo metu statyboje svarbiausias rodiklis yra kaina, o mažiausiai svarbus iš pasirinktų yra ilgalaikis vandens įmirkis. Rezultatai gauti naudojant paprastą adityvų svorių metodą SAW. Iš pasirinktų termoizoliacinių medžiagų tiriamai stogo detalei tinkamiausias yra polistireninis putplastis EPS 100 NEO. Gauti rezultatai, bei juos lėmę pagrindiniai veiksniai plačiau aptarti skaičiavimuose bei šio darbo išvadose.*

Vala, Mindaugas. *MULTI-CRITERIA EVALUATION OF THE MATCHED ROOF THERMO-INSULATION LAYER OF THE A++ CLASS BUILDING: Master's thesis in Construction / supervisor assoc. Sc. D. Donatas Aviža. Panevėžys Faculty of Technologies and Business, Kaunas University of Technology.*

Research area and field: Building Technology, Technology Science.

Key words: roof insulation, matched roof, SAW method, residential building, A++, multicriteria assessment.

Panevėžys, 2018. 48 p.

## SUMMARY

*The first part of the master's paper gives an overview of the experience of foreign countries in the implementation of the state zero-energy building concepts. In the review you will see the achievements and challenges of India, the United States and members of the European Union. In both cool and warm climates, the energy efficiency of buildings is sought, with only warm climate countries focusing on reducing the energy consumption of cooling.*

*The second part discusses the methodology of calculations and research. This section reviews the multi-purpose research methods, as well as the simple additive weight method SAW.*

*In the final and main part of the master's paper, the main currently used thermo-insulating materials are analyzed and compared. These materials of the matched roof of residential building were compared according to selected criteria. The significance of the criteria is determined by the survey method. The survey involved construction workers or related managers, directors, lecturers and other specialists. According to the specialists, the most important indicator at present in construction is the price, and the least important of the selected is the long-term water absorption. The results are obtained using the simple additive weighing method SAW. Polystyrene foam EPS 100 NEO is best suited for the selected roof insulating material. The results and their main factors are discussed in more detail in the calculations and conclusions of this paper.*

## TURINYS

|   |    |
|---|----|
| TURINYS.....  | 7  |
| ĮVADAS.....   | 10 |
| 1. APŽVALGINĖ DALIS.....  | 11 |
| 1.1 Energijos beveik nenaudojantys pastatai .....   | 11 |
| 1.2 Energijos beveik nenaudojantys pastatai Indijoje.....   | 12 |
| 1.2.1 Pirmasis energijos nenaudojantis pastatas Indijoje .....                                    | 13 |
| 1.3 Energijos beveik nenaudojantys pastatai Jungtinėse Amerikos Valstijose .....                  | 14 |
| 1.3.1 Energetiškai efektyvių pastatų tikslai Jungtinėse Amerikos Valstijose .....                 | 16 |
| 1.3.2 Energijos nenaudojantys pastatai Kalifornijoje.....   | 17 |
| 1.4 Energijos beveik nenaudojantys pastatai Europoje .....  | 18 |
| 1.4.1 Energijos vartojimo mažinimo projektai ir organizacijos Europoje.....                       | 21 |
| 1.4.2 Energijos nenaudojantys pastatai Lietuvoje .....  | 21 |
| 2. SKAIČIAVIMŲ METODOLOGIJA.....  | 23 |
| 2.1 Tiriamoji stogo detalė .....  | 23 |
| 2.2 Termoizoliacinės medžiagos.....   | 23 |
| 2.2.1 Akmens vata .....   | 24 |
| 2.2.2 Polistireninis putplastis EPS 100.....  | 25 |
| 2.2.3 Poliuretano plokštės.....   | 25 |
| 2.2.4 Ekstrūzinis polistireninis putplastis (XPS).....  | 25 |
| 2.2.5 Drėgmei atsparus polistireninis putplastis EPS 100.....                                     | 25 |
| 2.2.6 Polistireninis putplastis EPS 100 N (Neo).....  | 26 |
| 2.2.7 Polistireninis putplastis EPS 150.....  | 26 |
| 2.3 Kriterijų, pagal kuriuos bus lyginamos termoizoliacinės medžiagos, skaičiavimų aprašymas..... | 26 |
| 2.4 Daugiatiksliai sprendimo priėmimo metodai.....  | 28 |
| 2.4.1 Daugiatikslių sprendimo priėmimo metodų klasifikacija.....                                  | 28 |
| 2.4.2 Daugiatikslių sprendimo priėmimo metodų kompleksas .....                                    | 31 |
| 2.5 Šiame darbe taikoma tyrimo metodika .....   | 32 |
| 3. STOGO DAUGIAKRITERINIS VERTINIMAS .....  | 33 |
| IŠVADOS.....  | 45 |
| INFORMACINIŲ ŠALTINIŲ SĄRAŠAS .....   | 46 |

## Lentelių sąrašas

|   |    |
|---|----|
| 1 lentelė. Medžiagų degumo klasės ir jų aprašymas.....  | 28 |
| 2 lentelė. Daugiatikslių sprendimo priėmimo metodų klasifikacija .....  | 30 |
| 3 lentelė. Pastatų atitvarų šilumos perdavimo koeficientų $U(A++)$ ( $W/(m^2K)$ ) vertės A++<br>energinio naudingumo klasės pastatams ..... | 33 |
| 4 lentelė. Stogo detalės komponentų šiluminės varžos (be termoizoliacijos) .....  | 33 |
| 5 lentelė. Tiriamų termoizoliacinių medžiagų projektinių šilumos laidumo koeficientų<br>skaičiavimas .....                                  | 34 |
| 6 lentelė. Tiriamų termoizoliacinių medžiagų storių skaičiavimas .....  | 34 |
| 7 lentelė. Termoizoliacinių medžiagų svorio vienam kvadratiniam metrui stogo skaičiavimas ....  | 35 |
| 8 lentelė. Termoizoliacinių medžiagų vidutinių kainų skaičiavimas.....  | 36 |
| 9 lentelė. Termoizoliacinių medžiagų deklaruojami stipriai gniuždant.....   | 37 |
| 10 lentelė. Termoizoliacinių medžiagų deklaruojamas ilgalaikis vandens įmirkis .....  | 38 |
| 11 lentelė. Degumo klasės ir joms priskiriami balai.....  | 39 |
| 12 lentelė. Tiriamų termoizoliacinių medžiagų degumo klasės ir joms priskirti balai .....   | 40 |
| 13 lentelė. Specialistų apklausos rezultatų suvestinė.....  | 41 |
| 14 lentelė. Sprendimų priėmimo matrica.....   | 42 |
| 15 lentelė. Normalizuota matrica .....  | 43 |
| 16 lentelė. Reikšmių matrica.....   | 43 |



## Paveikslėlių sąrašas

|   |    |
|---|----|
| 1 pav. Indijos pirmasis energijos nenaudojantis pastatas - <i>Paryavaran Bhawan</i> Naujajame Delyje .....  | 13 |
| 2 pav. 10 miestų Šiaurės Amerikoje, kuriuose yra daugiausiai energijos nenaudojančių pastatų ..   | 17 |
| 3 pav. Energijos vartojimas Europos Sąjungoje (Eurostat 2015 duomenys).....   | 19 |
| 4 pav. Pastatų energinio naudingumo klasifikavimas į klases: A++ klasė – aukščiausia, nurodanti energijos beveik nevartojantį pastatą, G klasė nurodo neefektyvų pastatą..... | 22 |
| 5 pav. Stogo detalė ant kiaurymėtos g/b perdangos plokštės .....  | 23 |
| 6 pav. Palyginamoji termoizoliacinių medžiagų storių diagrama.....  | 35 |
| 7 pav. Palyginamoji termoizoliacinių medžiagų svorių diagrama.....  | 36 |
| 8 pav. Palyginamoji termoizoliacinių medžiagų kainų diagrama .....  | 37 |
| 9 pav. Palyginamoji termoizoliacinių medžiagų stiprių gniuždant diagrama.....   | 38 |
| 10 pav. Palyginamoji termoizoliacinių medžiagų ilgalaikio vandens įmirkio diagrama .....  | 39 |
| 11 pav. Palyginamoji termoizoliacinių medžiagų degumo balų diagrama .....   | 40 |
| 12 pav. Kriterijų reikšmingumo diagrama .....   | 42 |
| 13 pav. Termoizoliacijos rodiklių verčių ir jų reikšmingumo sandaugų reikšmės .....   | 44 |

## Santrumpos

SAW – Simple Additive Weighting method (paprastas adityvus svorių metodas);

NZEB – Nearly Zero Energy Building (beveik nulinės energijos pastatas);

ŠVOK – Šildymas, Vėdinimas, Oro Kondicionavimas;

GRIHA – Indijos nacionalinės „žaliųjų“ pastatų vertinimo sistema;

TERI – Indijos energetikos ir išteklių institutas;

ECBC - Indijos Energijos taupymo pastatuose kodeksas;

JAV – Jungtinės Amerikos Valstijos;

LEED – JAV žaliosios statybos taryba;

DOE – JAV energetikos departamentas;

BTO – JAV pastatų technologijų biuras;

CPUC – Kalifornijos komunalinių paslaugų komisija;

ES – Europos sąjunga;

AEA – Austrian Energy Agency (Austrijos energijos agentūra);

BPIE – Europos pastatų naudingumo institutas;

STR – Statybos techninis reglamentas.

# ĮVADAS

## **Darbo aktualumas**

Pasaulyje vis aktualesnis energijos taupymo klausimas. Visų pirma, taip yra dėl to, kad naudojant tradicinius energijos šaltinius yra gausiai išmetamos CO<sub>2</sub> dujos ir taip yra skatinamas klimato atšilimas, bei teršiama mūsų gyvenama aplinka. Visų antra, norima mažinti priklausomybę nuo tradicinius energijos šaltinius išgaunančių valstybių, bei verslininkų.

Pastatų sektoriuje sunaudojama didelė dalis energijos, todėl vienas iš būdų, kaip taupyti energiją yra pastatų energetinio efektyvumo didinimas tinkamai izoliuojant jų išorines atitvaras. Gyvenamieji pastatai daug energijos praranda per stogą, todėl šiame darbe yra tiriamas gyvenamojo pastato sutapdinto stogo detalės termoizoliacinis sluoksniu. Pagal atliktus skaičiavimus yra sukurtas viešai prieinamas įrankis, parenkantis efektyviausią termoizoliacinę medžiagą sutapdintam stogui.

## **Darbo tikslas**

Šio darbo tikslas yra atlikti A++ energetinio naudingumo klasės gyvenamojo pastato sutapdinto stogo termoizoliacinio sluoksnio daugiakriterinį vertinimą.

## **Darbo uždaviniai**

- Apžvelgti pasaulinę patirtį statant energetiškai efektyvius pastatus ir keliant jiems reikalavimus bei tikslus.
- Išanalizuoti daugiakriterinių vertinimų taikymo metodologiją.
- Pagal pasirinktus rodiklius palyginti termoizoliacines medžiagas ir atrinkti efektyviausią šiame darbe tiriamam A++ energetinio naudingumo klasės gyvenamojo pastato sutapdintam stogui, naudojant paprastąjį adityvųjį svorių metodą SAW.

## **Tyrimo metodai**

Tyrimas atliekamas paprastuoju adityviu svorių metodu SAW (angl. *Simple Additive Weighting*). Šio metodo pagrindiniai skaičiavimo duomenys yra kriterijų reikšmės bei jų reikšmingumas. Kriterijų reikšmingumas nustatomas statybos srities specialistų apklausos būdu. Pasinaudojant STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“ pateiktomis instrukcijomis, apskaičiuojamos kriterijų reikšmės.

Darbui atlikti, informacija buvo paimta iš 40-ies šaltinių. Didžiąją dalį šaltinių sudaro moksliniai straipsniai bei internetiniai puslapiai. Taip pat buvo panaudota medžiaga iš mokslinių knygų, daktaro disertacijų, statybos techninių reglamentų.

# 1. APŽVALGINĖ DALIS

## 1.1 Energijos beveik nenaudojantys pastatai

Gyvenamųjų namų ir visuomeninių pastatų sektoriuje galima sutaupyti daug energijos, statant racionaliai apšiltintus pastatus arba juos efektyviai atnaujinant. Šioje srityje suvartojama apie 40 % visos energijos kiekio (23).

Energijos beveik nenaudojantys (arba A++ energinio naudingumo klasės) pastatai – tai yra labai aukšto energinio naudingumo pastatai, kuriuose energijos sunaudojimas beveik lygus nuliui arba yra labai mažas. Didžiąją sunaudojamos energijos dalį sudaro atsinaujinančių išteklių energija, įskaitant vietoje ar netoliese pagamintą atsinaujinančių išteklių energiją (38).

Visame pasaulyje yra labai įvairių energetiškai efektyvaus pastato apibūdinimų: „mažai energijos naudojantis pastatas“, „energiją tausojantis pastatas“, „mažaenergis pastatas“, „pasyvusis namas“, „trijų litrų namas“, „beveik nulinės energijos pastatas“ (NZEB), „plusinės energijos pastatas“, „energijai neimlus namas“, „labai mažai energijos naudojantis pastatas“, „autonominis pastatas“. Daugelis šių terminų vartojami tik vienoje valstybėje, tačiau terminai „mažai energijos naudojantis pastatas“, „pasyvusis namas“ ir „beveik nulinės energijos pastatas“ taikomi plačiau. Daug pasaulio valstybių turi nacionalinius jų apibrėžimus, tačiau tie patys terminai skirtingose šalyse skiriasi ne tik pagal turinį, bet ir pagal siekiamus tikslus (26).

Neatsižvelgiant į apibrėžimą ar metriką, vartojamus apibūdinti energijos nenaudojančius pastatus, energetiškai efektyvių pastatų projektavimas turi būti pagrindinis projektuotojų tikslas ir didžiausias visų pastatų projektų prioritetas. Energijos vartojimo efektyvumo siekimas yra ekonomiškai efektyvi strategija, kurios investicijų grąža yra didžiausia, o maksimalios efektyvumo galimybės sumažina atsinaujinančių energijos šaltinių diegimo išlaidas. Naudodamos pažangias energijos analizės priemones, projektavimo komandos gali optimizuoti pastatų modelius, suderindamos dizainą ir technologijas (31).

Energijos nenaudojančio pastato (angl. NZEB) koncepcija dar visai neseniai buvo tik mokslinių tyrimų objektas. Dėl statybos technologijų, atsinaujinančios energijos sistemų ir akademinė tyrimų pažangos energijos nenaudojančių pastatų statyba tampa vis labiau priimtina. Nors sąvoka „energijos nenaudojantis pastatas“ naudojama ne visur, tačiau visi sutinka, kad, siekiant mažinti energijos vartojimą pastatuose, pirmiausia reikia mažinti energijos poreikius, o tik kitame etape – diegti atsinaujinančių energijos šaltinių sistemas (31).

Efektyvesnio energijos vartojimo priemonės:

- aukštos kokybės atitvaros;
- oro barjerinės sistemos;

- dienos šviesos panaudojimas;
- saulės kontrolės ir apšvietimo įrenginiai;
- kruopštus langų ir įstiklinimo parinkimas, natūralios saulės šilumos panaudojimas;
- natūralus vėdinimas;
- vandens išsaugojimas;
- efektyvių pastato prietaisų ir įrangos naudojimas. Tai gali būti energiją taupantis apšvietimas, elektros apšvietimo valdymas, aukštos kokybės ŠVOK ir geoterminiai šilumos siurbliai. Energijos transformacijos prietaisai, tokie kaip kombinuotos šilumos ir elektros energijos sistemos, kuro elementai ir mikro-turbinos (31).

## 1.2 Energijos beveik nenaudojantys pastatai Indijoje

Dėl aplinkosauginių ir finansinių priežasčių energijos vartojimas bei valdymas aktualus ir Azijos regionui (8).

Indija iki 2022 m. planuoja pasigaminti 100 GW energijos iš saulės kolektorių – tai gali paversti Indiją didžiausia pasaulyje saulės energetikos rinka, konkuruojančia su Kinija. Daugelis valstybinių ir viešųjų pastatų Indijoje skatinami įdiegti saulės kolektorių sistemas (17).

Šios tendencijos ir politika kelia nerimą dėl „energijos nenaudojančių pastatų“ vaidmens ir pobūdžio Indijoje, nes šiuo metu investuojama į didelio galingumo atsinaujinančių energijos šaltinių diegimą pastatuose, taip juos dirbtinai paverčiant nenaudojančiais energijos, tačiau pamirštant investuoti į energijos taupymą (17).

Tačiau saulės kolektoriais pasiekti, kad pastatas būtų nenaudojantis energijos, yra sunku net ir saulėtoje klimato zonoje, tokioje kaip Indija. Yra taisyklė, kuri lieka galioti net ir saulėto klimato sąlygomis: pigiau taupyti energiją nei ją gaminti. Pigiau įdiegti energijos taupymą – naudojant labai efektyvius langus, šešėlių ir kryžminį vėdinimą, tinkamo dydžio patalpas ar aukštą šilumos izoliacijos lygį patalpose su oro kondicionieriais, nei įsirengti didelius plotus saulės kolektorių ar pasistatyti vėjo jėgainių (17).

Siekama, kad Indijoje būtų vis daugiau kalbama apie energijos nenaudojančius pastatus. Tam reikia informuoti žmones apie energijos nenaudojančių pastatų naudą ir įgyvendinimo procesą. Pastatų savininkai visų pirma turėtų imtis diegti energijos suvartojimą mažinančias technologijas, o tik tada investuoti į atsinaujinančią energiją gaminančiąsias. Kadangi daugelyje pastatų Indijoje oro kondicionavimas sudaro daugiau kaip 60 proc. energijos suvartojimo, siekiama,

kad komerciškai perspektyvūs sprendimai, tokie kaip geoterminis oro kondicionavimas, būtų kuo efektyvesni ir atsipirktų greičiau nei per dvejus metus (30).

Dabartinė politika, kuri labai orientuota į saulės kolektorių sistemas, turėtų būti susieta su „Energijos nenaudojančių pastatų“ programa ir labiau orientuotis į energijos taupymo funkcijas (17). Indijoje gyvenamieji ir komerciniai pastatai naudoja apie 33 proc. visos sunaudojamos elektros energijos. Gyvenamųjų namų sektorius sunaudoja apie 24 proc., o komercinis – apie 9 proc. visos Indijoje sunaudojamos energijos. Gyvenamųjų namų sektoriuje Indijoje elektros energijos suvartojimas patalpoms aušinti kondicionieriais ir ventiliatoriais sudaro apie 45 proc. šio sektoriaus suvartojamos elektros energijos, o apšvietimas – 28 proc. (33). Šie skaičiai ir toliau didėtų, jeigu Indijoje nebūtų pradėta diegti „Energijos nenaudojančių pastatų“ programa. Tik energijos nenaudojančių pastatų sutaupyta energija gali padėti išspręsti klausimą dėl priklausomybės nuo naftos, anglies ar gamtinių dujų. Indijoje šių energijos šaltinių naudojimas išskiria apie 1 600 000 tonų CO<sub>2</sub> dujų per dieną, tai daro didžiulę įtaką klimato kaitai (17).



1 pav. Indijos pirmasis energijos nenaudojantis pastatas - *Paryavaran Bhawan* Naujajame Delyje  
(18)

### 1.2.1 Pirmasis energijos nenaudojantis pastatas Indijoje

Visuomenėje susidariusi tokia nuomonė, kad vyriausybės pastatai yra nuobodūs, turi didelius energijos poreikius ir teršia gamtą. Bet Indijos *Paryavaran Bhawan* pastatas Naujajame Delyje, kuriame įsikūręs Aplinkos, miškų ir klimato kaitos ministerijos biuras, yra kitoks. Tai buvo

pirmasis Indijos pastatas, patvirtintas „GRIHA“ – Indijos nacionalinės „žaliųjų“ pastatų vertinimo sistemos (angl. *India's National Rating System for Green Buildings*). Jame įdiegta daugybė atsinaujinančios energetikos technologijų. Šis pastatas Indijos vyriausybei kainavo daugiau nei 27 milijonus eurų (7).

*Paryavaran Bhavan* pirmasis Indijoje energijos nenaudojantis pastatas (žr. 1 pav.), pastatytas naudojant saulės pasyvųjį dizainą ir energiją taupančias statybines medžiagas. Energetikos ir išteklių institutas (TERI) ir Tvarių pastatų plėtros ir tyrimų asociacija rengia ekskursijas po Indijos *Paryavaran Bhavan* centrinės valdžios pastatą. Jomis siekiama padidinti tokių pastatų poreikį visoje šalyje (7).

Pastatas, kurio plotas yra 31 488,00 kvadratinė metrų, pasižymi žemės drebjimui atsparia konstrukcija. Jis užima apie 30 proc. ploto sklype, o daugiau nei 50 proc. ploto užima už pastato esančios plantacijos ir veja. Pastatas turi automatinę automobilių stovėjimo aikštelę rūsyje, kurioje gali tilpti 330 automobilių. Vietoj įprastų stalinių kompiuterių, siekiant sutaupyti energijos suvartojimą, įdiegta nedidelė klientų tinklo sistema (7).

Siekiant sumažinti energijos suvartojimą, *Paryavaran Bhavan* buvo kuriamas dizainas, kuris leidžia naudoti 75 proc. natūralios dienos šviesos. Pastate įrengtos 930 kW galios saulės baterijos. Tai yra didžiausia stogo saulės sistema daugiaaukščiuose pastatuose Indijoje. Pastatas visiškai atitinka Indijos Energijos taupymo pastatuose kodekso (ECBC) reikalavimus. Bendras energijos sutaupymas apie 40 proc. pasiektas įrengiant efektyviai šaldančią oro kondicionavimo sistemą. Šiuo atveju oro kondicionavimas atliekamas konvekciniomis srovėmis, o ne oro srautu per oro apdorojimo įrenginius. Atšaldytas vanduo paduodamas ties difuzorių taškais, skirtingai nuo įprastų sistemų. Pastato statybai buvo naudojamos „žaliosios“ medžiagos, pavyzdžiui, lakiosios pelenų plytos, regioninės statybinės medžiagos, medžiagos, pagamintos iš perdirbtų žaliavų, panaudotos didelio atspindžio terasos plytelės ir išorės sienų akmens vatos izoliacija. Durų rėmams ir žaliuzėms buvo naudojamos bambuko džiuto kompozicinės medžiagos. Panaudoti UPVC langai su hermetiškai uždarytu dvigubu stiklu, kalcio silikatinės lubų plytelės su dideliu perdirbtų medžiagų kiekiu. Vandens suvartojimas buvo sumažintas naudojant žemo vandens išleidimo įrenginius, nuotekų perdirbimą ir nuotekų valymo įrenginius. Pasodinti augalai, kurių vandens poreikis yra mažas. Naudojamos geoterminės aušinimo sistemos ŠVOK sistemoje, bei surenkamas ir panaudojamas lietaus vanduo (7).

### **1.3 Energijos beveik nenaudojantys pastatai Jungtinėse Amerikos Valstijose**

JAV yra pripažinta energijos nenaudojančių pastatų (angl. *Zero Energy Buildings* (ZEB)) ir tvarios statybos lyderė pasaulyje. Sąvoka „energijos nenaudojantis pastatas“ (angl. ZEB

arba ZNEB: *Zero Net Energy Buildings*) daugiausiai yra kilusi iš Amerikos. NREL, DOE, Energy Star programos ir JAV Žaliosios statybos taryba (LEED) yra pasauliniai ekologinės statybos, energijos vartojimo efektyvumo ir energijos nenaudojančių pastatų lyderiai. Dauguma visame pasaulyje naudojamos programinės įrangos ir įrenginių, skirtų energijos nenaudojantiems pastatams projektuoti, tyrinėti bei statybai valdyti, yra dažniausiai sukurti JAV (40).

Nors pasyvieji namai dažnai laikomi europiniu projektu, pasyviosios statybos koncepcija iš tiesų buvo Šiaurės Amerikos mokslininkų tyrimų rezultatas. Šiuos tyrimus JAV ir Kanados vyriausybės finansavo 8-ajame ir 9-ajame dešimtmėčiuose. Tyrimais nustatyti pagrindiniai pasyviojo pastato moksliniai principai, kuriais dabar grindžiama pasyviojo namo koncepcija (20).

Žinomas fizikas Williamas Shurlifas 1988m. paskelbė pasyviųjų namų koncepciją ir numatė tolesnę technologijų plėtrą medžiagų, jų komponentų bei inžinerinių sistemų gamyboje. Tačiau dėl politinių ir ekonominių veiksnių Jungtinėse Amerikos Valstijose ir Kanadoje ši plėtra buvo greitai sustabdyta (20).

JAV federaliniu lygmeniu nėra tokio „energijos nenaudojančių pastatų“ plano kaip Europos Sąjungoje. Tačiau yra keli dideli projektai, susiję su gyvenamųjų ir komercinių pastatų energinio naudingumo gerinimu. Vienas jų 2011 m. Prezidento B. Obamos paskelbtas Geresnių pastatų projektas (angl. *the Better Buildings project*). Šis projektas išaugo į Geresnių pastatų aljansą (angl. *the Alliance for Better Buildings*), kuriame yra daugiau nei 200 narių ir apima komercinį sektorių (mažmeninės prekybos ir maisto paslaugas), nekilnojamąjį turtą, o taip pat sveikatingumą ir sveikatos apsaugą, aukštąjį mokslą ir valstybinius bei viešuosius pastatus (40).

Tai esminis projektas, kadangi šių sektorių pastatai energijai sunaudoja apie 400 milijardus eurų per metus. Pagrindinis šio projekto tikslas yra padidinti energijos vartojimo efektyvumą per ateinančius 10 metų. Taip pat yra Geresnių gyvenamųjų pastatų programa (angl. *Better Buildings Residential program*), numatanti strategiją ir būdus, kaip pagerinti gyvenamųjų namų energijos efektyvumą (40).

Pastatai Amerikoje sunaudoja 75 proc. šalies elektros energijos ir 34 proc. gamtinių dujų. Atlikti skaičiavimai, kad energetiškai neefektyvūs pastatai yra pagrindinė klimato kaitos priežastis. Jie sunaudoja daugiau energijos nei pramonė ir transporto sektorius, o „energijos nenaudojantys pastatai“, atsinaujinanti energetika ir kiti energetikos patobulinimai yra labai svarbu, stabdant visuotinį atšilimą (40).

Vis labiau atsižvelgiama į didėjančias energijos kainas, energetinės nepriklausomybės svarbą ir klimato kaitos poveikį. Svarbu, kad energijos vartojimo mažinimas pastatuose būtų pagrindinis šalies energijos vartojimo mažinimo tikslas. Statybos sektorius gali žymiai sumažinti

energijos suvartojimą, įtraukdamas efektyvaus energijos vartojimo strategijas į naujų pastatų projektavimą, statybą ir eksploatavimą, bei modernizuojant, į esamų pastatų efektyvumą. Didinant atsinaujinančių energijos šaltinių naudojimą, galima sumažinti priklausomybę nuo iškastinio kuro gaunamos energijos (31).

Daugelis tradicinių energijos šaltinių išskiria anglies dvideginio, azoto oksidų, sieros dioksido ir kitas dujas, o energetiškai efektyvūs pastatai Jungtinėse Amerikos valstijose negali išmesti klimato kaitą skatinančių dujų ar teršalų. Visiems subjektams pagal įstatymus suteikta galimybė perteklinę elektros energiją, išgautą atsinaujinančiais energijos šaltiniais, tiekti į elektros tinklus (31).

### **1.3.1 Energetiškai efektyvių pastatų tikslai Jungtinėse Amerikos Valstijose**

2009 m. spalio mėn. pasirašytas vykdomasis įsakymas reikalauja, kad visi nauji federaliniai pastatai, pradėti planuoti 2020 m. ar vėliau, būtų statomi nenaudojantys energijos. Iki 2030 m. visi federaliniai pastatai turės būti nenaudojantys energijos. Be to, vykdomuoju įsakymu reikalaujama, kad iki 2015 m. bent 15 proc. esamų pastatų (daugiau nei 5000 kvadratinių pėdų) būtų aukšto efektyvumo ir atitiktų tvarių pastatų pagrindinius reikalavimus (31).

JAV energetikos departamentas (DOE) nurodo, kad energetiškai efektyvus pastatas yra toks statinys, kurio energijos suvartojimas iš tradicinių energijos šaltinių yra mažesnis arba lygus pastato pagamintai energijai iš atsinaujinančių energijos šaltinių ir pateiktai į valstybinius tinklus (DOE 2015) (6).

Energetikos departamentas (DOE) nustatė du energetikos tikslus energetiškai efektyviems gyvenamiesiems ir komerciniams pastatams. Siekiama sukurti sistemų integravimo sprendimus, kurie leistų (31):

- Iki 2020 m. pasiekti, kad energetiškai efektyvūs pastatai būtų paklausūs visuomenėje.
- Iki 2025 m. sumažinti komercinių energetiškai efektyvių pastatų kainą.

Šie tikslai suderinti su 2007 m. energetikos nepriklausomybės ir saugumo aktu, kuriame reikalaujama, kad lyginant su 2003 m., iki 2030 m. 100-u proc. būtų sumažintas iškastinio kuro naudojimas federaliniuose ir renovuojamuose pastatuose (31).

Energetikos departamento įkurtas „Pastatų technologijų biuras“ (BTO) pagrindinį dėmesį skiria pastatų ir su jais susijusių įrenginių, komponentų ir sistemų efektyvumui didinti. BTO remia mokslinius tyrimus priemonėmis, atlieka mokymus, bei tiekia techninius išteklius, kad pagerintų naujus ir esamus komercinius ir gyvenamuosius pastatus. BTO sukūrė ilgalaikę programą, kurioje numatyti biuro tikslai ir veikla, į kurią įtraukti komercinių ir gyvenamųjų pastatų moksliniai tyrimai. Jais siekiama ilgalaikių energijos taupymo tikslų (31).

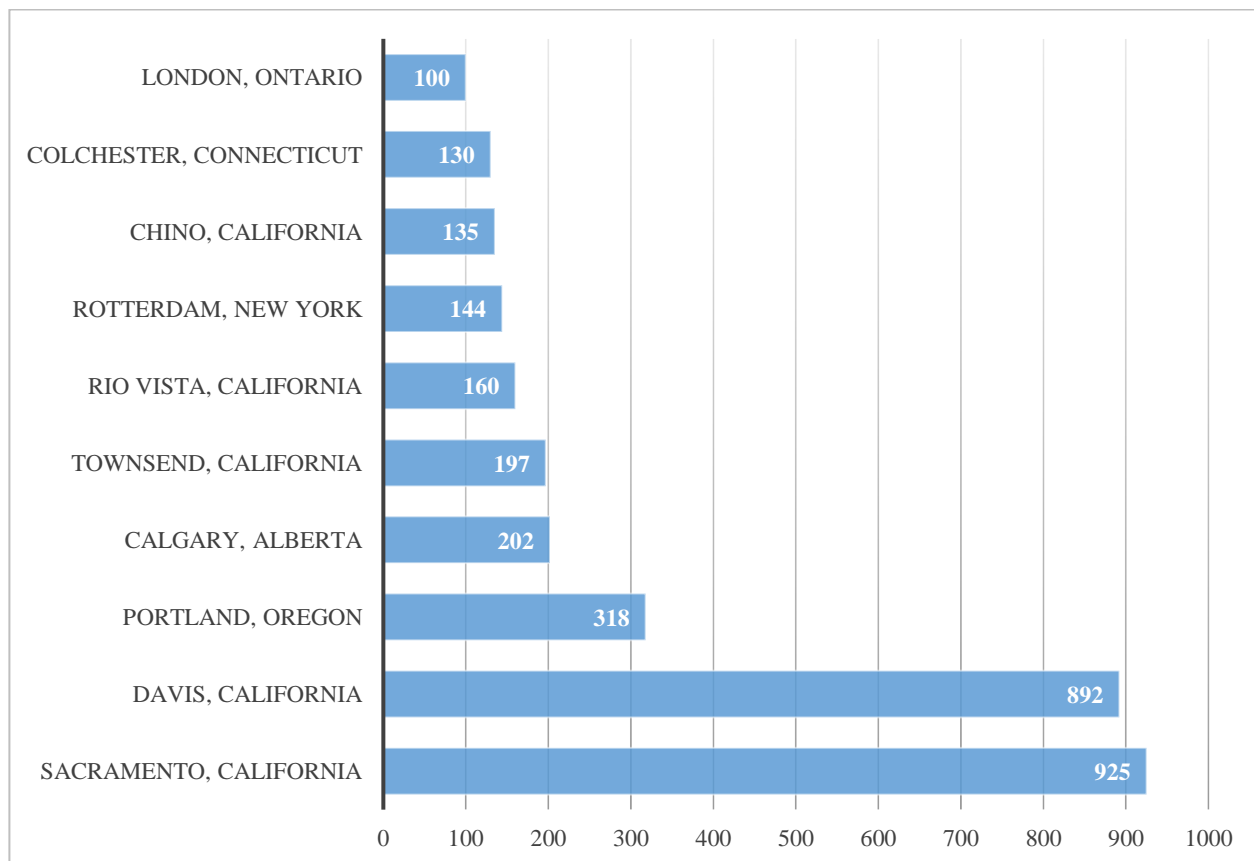


Energijos nenaudojančių komercinės paskirties pastatų iniciatyva (angl. CBI) siekia, kad iki 2025 m. išaugtų energetiškai efektyvių pastatų paklausa ir pasiūla (31).

Gyvenamųjų pastatų iniciatyvos vykdomos pagal „*Building America*“ programą, kuri vykdo rinkos reformą atliekant tyrimus (31).

Taip pat Jungtinėse Amerikos Valstijose patvirtinta energijos taupymo deklaracija „*The Energy Independence and Security Act of 2007*“, kurioje numatyta sumažinti vartojamos energijos kiekį pastatų sektoriuje iki 2030 m., o visiškai įgyvendinti reformą iki 2050 m. (Marszal et al. 2012 ir kt.) (8).

Šiuo metu Kalifornija nepralenkiama pagal energijos nenaudojančių pastatų skaičių Šiaurės Amerikoje. Pagal 2017 m. duomenis daugiausia energijos nenaudojančių pastatų yra dviejuose Kalifornijos miestuose – Sakramente ir Davise. Visi kiti miestai atsilieka gana stipriai (žr. 2 pav.).



2 pav. 10 miestų Šiaurės Amerikoje, kuriuose yra daugiausiai energijos nenaudojančių pastatų (21)

### 1.3.2 Energijos nenaudojantys pastatai Kalifornijoje

Kalifornija yra energijos nenaudojančių pastatų, „švarių“ technologijų ir atsinaujinančių energijos šaltinių lyderė Jungtinėse Amerikos Valstijose (40).

2006 m. Kalifornijoje buvo priimtas šiltnamio efektą sukeliančių dujų mažinimo įstatymas. Šio įstatymo įtakota 2007 m. Kalifornijos komunalinių paslaugų komisija (CPUC) patvirtino „*Big Bold Goals*“ tikslų sąrašą (CPUC Decision (D.) 07-10-032), į kuri įtraukė tikslą, kad iki 2020 m. visi nauji gyvenamieji pastatai būtų nevirtantys energijos. Matant, kad šis sprendimas pasiteisina, tikslas buvo patvirtintas ir 2017 m. Integruotos energetikos politikos ataskaitoje (angl. IEPR, *Integrated Energy Policy Report*), kurią parengė Kalifornijos energetikos komisija (angl. CEC, *California Energy Commission*) (27).

„*Big Bold*“ tikslai buvo paskelbti Kalifornijos ilgalaikio energijos vartojimo efektyvumo strateginiame plane, kuri 2008 m. patvirtino Kalifornijos komunalinių paslaugų komisija (CPUC). Nors „*Zero Net Energy*“ tikslai netapo įstatymais, tačiau visuomenėje tapo siekiamybe. Jie paskatino savanorišką energetiškai efektyvių pastatų plėtrą, taip pat pažangios statybos kodekso atnaujinimus (27).

Į strateginį planą buvo įtrauktos daugiau kaip 500 Kalifornijoje įsikūrusių organizacijų. 2013 m. integruotoje energetikos politikoje išdėstyti konkretūs žingsniai ir atsinaujinančių energijos šaltinių panaudojimo galimybės energijos nenaudojančiuose pastatuose (40).

Kalifornijoje buvo suskurtas veiksmų planas, kuris turi padėti įgyvendinti užsibrėžtus tikslus energijos nenaudojančių pastatų sektoriuje:

- didinti supratimą apie energijos nenaudojančių pastatų naudą, bei didinti jų paklausą;
- pagerinti energetiškai efektyvių pastatų švietimo ir apmokymų kokybę;
- užtikrinti techninių priemonių prieinamumą ir efektyvumą;
- apskaičiuoti energijos nenaudojančio pastato vertę, užtikrinti patikimą finansavimą, bei prieinamumą;
- tobulinti infrastruktūrą ir technologijas;
- suderinti reglamentus, strategiją, iniciatyvas ir įstatymus. (1)

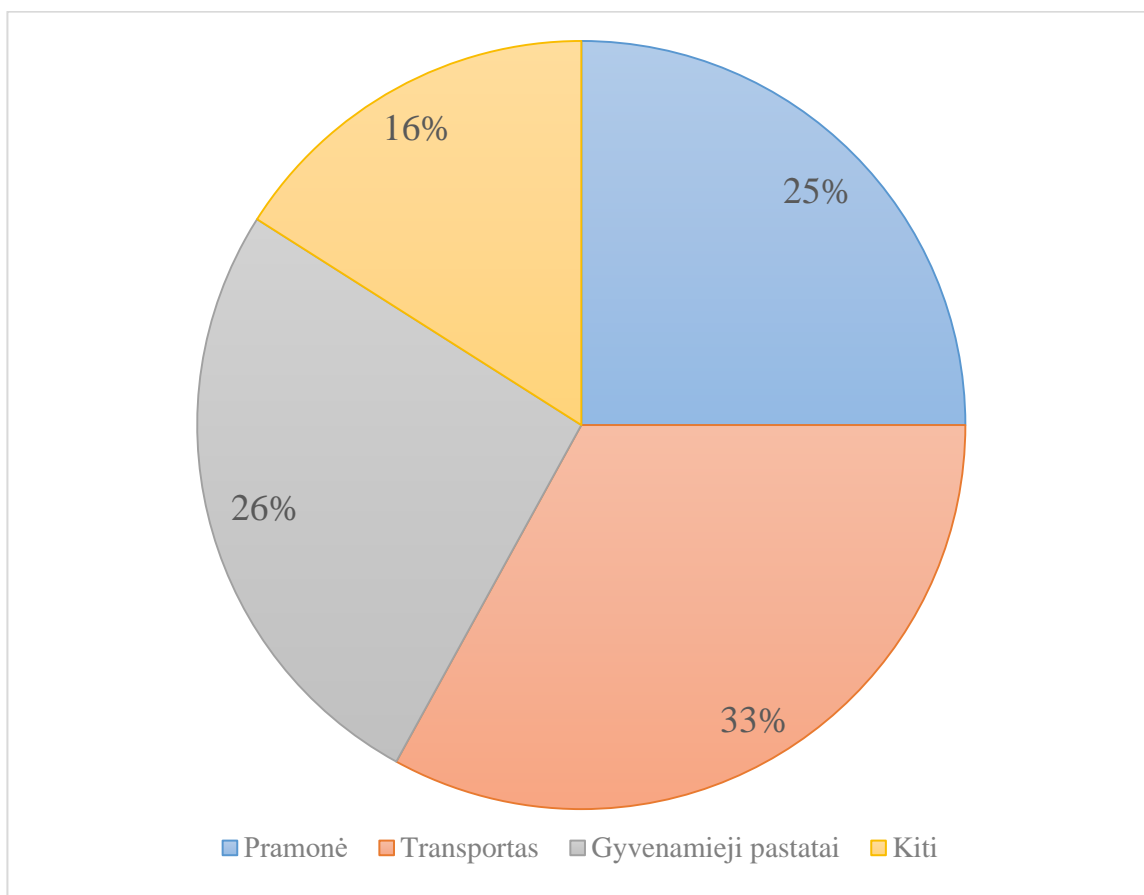
#### **1.4 Energijos beveik nenaudojantys pastatai Europoje**

Nuo 2020 m. gruodžio 31 d. Europos Sąjungos valstybės narės pagal Europos direktyvos 2010/31/EU reikalavimus turi užtikrinti, kad visi naujai statomi pastatai būtų beveik nulinės energijos pastatai (8).

„Europos energijos beveik nenaudojantys pastatai“ - tai didžiausias energijos ir „žaliųjų pastatų“ projektas (37). Ambicinga pastatų sunaudojamos energijos taupymo strategija dabar yra Europos Sąjungos teisės aktų dalis. Valstybės narės yra atsakingos už savo energetiškai efektyvių

pastatų programos įgyvendinimą reglamentuojančių taisyklių nustatymą, įvertinant būsimas energijos kainas, diskonto normas ir vietines energijos gamybos sistemas (15).

„Europos energijos beveik nenaudojantys pastatai“ turi milžinišką reikšmę. Manoma, kad šis projektas turės didžiausią įtaką klimato kaitos stabdymui. Jis beveik nesiskiria nuo Kalifornijos „Zero Net Energy Buildings 2020“, bet apima ir negyvenamuosius pastatus (Kalifornijos projekte reikalaujama, kad negyvenamųjų pastatų energija būtų nulinė iki 2030 m.). Taip pat šis projektas yra daug didesnis, kadangi Europos Sąjungos gyventojų skaičius siekia 500 milijonų žmonių, kai Kalifornijoje gyvena tik apie 38 milijonai (37).



3 pav. Energijos vartojimas Europos Sąjungoje (Eurostat 2015 duomenys) (10)

Šiuo metu energijos beveik nenaudojančių pastatų programa neatrodo svarbi daugeliui žmonių, kadangi jie nėra susipažinę su besaikio energijos vartojimo sukeliama problema ir nežino, kad pastatai sunaudoja maždaug 26% pirminės energijos (žr. 3 pav.), dėl šios priežasties jie yra viena reikšmingiausių CO<sub>2</sub> dujas išmetančių grupių (37).

Energijos nenaudojantys pastatai kartu su pažangiomis technologijomis, elektromobiliais ir energijos vartojimo efektyvumo programomis pramonės sektoriuje galės pereiti nuo iškastinio kuro prie atsinaujinančių energijos šaltinių, be to, tai yra pagrindinė kovos su klimato

kaita priemonė. Kadangi tai apima du pagrindinius verslo sektorius - pastatų ir energetikos - ši iniciatyva yra daugiamilijoninis projektas, galintis padaryti didžiulį teigiamą poveikį visoms Europos ekonomikos sritims. Tai bus nelengva, kadangi Pietų Europos šalys yra nusiteikę gana skeptiškai šio projekto atžvilgiu (37).

Europos mastu daugiausiai mokslinių tyrimų pasyvių ir mažaenergių pastatų srityje yra atlikta Austrijoje (*Österreichisches Institut für Bautechnik* OIB 2014). Pirmasis pasyvus vienbutis gyvenamasis pastatas šioje šalyje pastatytas dar 1996 m. Vorarlberge. O jau nuo 2009 m. pagal pasyvių pastatų standartus pastatytų namų tankį, Austrija užima pirmąją vietą Pasaulyje. Šalyje pastatų energinis naudingumas vertinamas pagal atskirą sertifikavimo sistemą, kuri yra griežtesnė už ES pastatų sertifikavimo reikalavimus. Šalyje pastatų energinio naudingumo sertifikatai skirstomi į 3 kategorijas: Auksinis (Gold), Sidabrinis (Silber) ir Bronzinis (Bronze). Minimalūs energinio naudingumo reikalavimai pateikti Bronzinio sertifikato standarte (OIB 2014) (38).

Austrijoje (taip pat kaip ir Lietuvoje) pastatai klasifikuojami į 9-ias energinio naudingumo klases (*Austrian Energy Agency*, AEA 2014): G, F, E, D, C, B, A, A+, A++. Aukščiausi reikalavimai keliami A++ klasės pastatams (38).

Vokietijos, Austrijos (ir kai kurių kitų šiaurės Europos šalių) ir pietų Europos atotrūkis išlieka labai didelis. Vokietija dabar yra pirmaujanti pasaulio rinka energijos vartojimo efektyvumo srityje. Vokietijos valstybės plėtros bankas paskatino privačias investicijas į energijos vartojimo efektyvumą. Investicijos 2013 m. siekė daugiau kaip 34 milijardus eurų (apie 46 milijardus JAV dolerių). Vokietijos tikslas 20 proc. sumažinti pirminės energijos sąnaudas iki 2020 m. ir 50 proc. iki 2050 m. (37).

Pasyvaus namo projektas (angl. „*Passive Houses*“) yra svarbus, bei vis labiau artimas „Energijos nenaudojančių pastatų“ projektui (angl. „*Zero Energy Building*“) (37).

Vokietijoje pirmasis norminis dokumentas, reguliuojantis šiluminės atitvarų savybes įsigaliojo jau nuo 1978 m. (Fingerling 1996). Vokietija pritaikė Švedijos standartų gerą patirtį, o 1990 m. pastatė pirmąjį pasyvaus namo prototipą (Feist 2003). Dabartiniai pastatų energinio naudingumo standartai (*Energie einsparverordnung*, EnEV 2009) pradėti taikyti nuo 2009 m. (38).

Energijos nenaudojančių pastatų projektas siūlo daugybę galimybių visoms Europos šalims. Europos Sąjunga nustatė reikšmingas finansavimo galimybes, prieinamas įmonėms, vietos valdžios institucijoms ir daugeliui kitų nacionalinių subjektų visoje Europoje. Kaip jau buvo minėta, projektas „Europos energijos beveik nenaudojantys pastatai“ yra labai panašus į patvirtintą Kalifornijoje ir apima (37):

- taisyklių, politikos, iniciatyvų ir įstatymų peržiūrą ir keitimą, tam kad energijos nenaudojantys pastatai būtų privalomi;

- žiniasklaidą ir informacines kampanijas, įtraukiant statybininkus, architektus ir kitus statybos specialistus, taip pat ir mokyklas, vietos valdžios institucijas ir visą visuomenę, informuojat apie energijos nenaudojančių pastatų svarbą;
- pramonės darbuotojų ir specialistų mokymus;
- technines priemones, skirtas architektams, dizaineriams ir statybininkams;
- finansavimo programas, užtikrinančias energijos nenaudojančių pastatų prieinamumą ir poreikį;
- paramą technologinėms inovacijoms, tiekėjams (pvz., Aukštos kokybės langų gamintojams) ir pažangioms inžinerinėms sistemoms;
- kitus projektus, susijusius su „Europos energijos beveik nenaudojančiais pastatais“.

#### **1.4.1 Energijos vartojimo mažinimo projektai ir organizacijos Europoje**

Daugelis svarbiausių organizacijų ir iniciatyvų, susijusių su projektu „Energijos beveik nenaudojantys pastatai“, yra nacionalinio masto. Tačiau yra institucijų ir iniciatyvų, turinčių tarptautinę svarbą. Vienos iš žinomiausių yra „Build Up“ – Europos pastatų energetinio mažinimo portalas. Jis sutelkia praktikus ir profesines asociacijas ir skatina juos keistis geriausia darbo praktika, žiniomis, įrankiais ir ištekliais; „EnergyCities“ - Europos vietos valdžios institucijų asociacija, kuriai priklauso daugiau kaip 1000 miestų ir 30 šalių; „Seap Plus“ ir „Net-Com“ – Europos judėjimai, kuriuose dalyvauja vietos ir regionų valdžios institucijos, įsipareigojusios didinti energijos vartojimo efektyvumą ir naudoti atsinaujinančius energijos šaltinius. Šios organizacijos nustatė tikslą viršyti Europos Sąjungos nustatytą 20 proc. CO<sub>2</sub> mažinimo tikslą iki 2020 m.; *Entranze* – projektas, skirtas Europos ekspertų iš Europos mokslinių tyrimų ir akademinės bendruomenės bendradarbiavimui su nacionaliniais sprendimų priėmėjais ir pagrindinėmis suinteresuotosiomis šalimis; bei daugelis kitų (37).

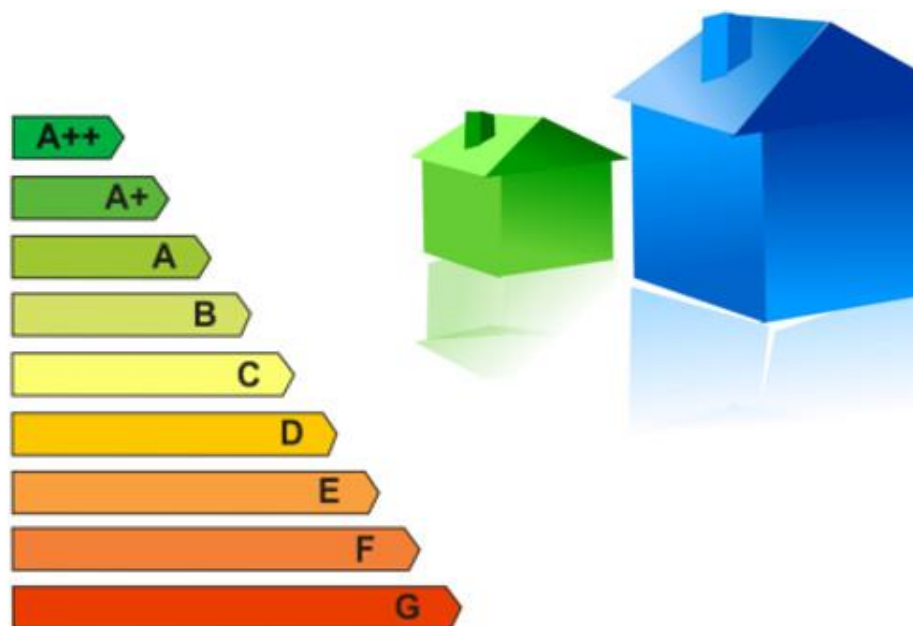
#### **1.4.2 Energijos nenaudojantys pastatai Lietuvoje**

Lietuvoje energijos suvartojimo efektyvumo didinimas pastatų sektoriuje irgi yra didelis siekinys. Efektyviai suprojektuoti ir pastatyti energijos beveik nevartojančius pastatus (pasiiekti A++ klasę) yra didelis iššūkis. Užsienio mokslininkų patirties bei analizės šiuo klausimu nėra daug. Todėl būtina atlikti kuo daugiau šios krypties tyrimų tam, kad sėkmingai vykdyti užsibrėžtus tikslus. Norint laiku juos pasiekti, t. y. pereiti nuo minimalių energinio naudingumo reikalavimų prie A++ klasės, svarbu racionaliai įvertinti optimalų atitvarų apšiltinimo būdą (8).

Tai ypač aktualūs uždaviniai gyvenamųjų pastatų sektoriuje. Pagal Europos pastatų naudingumo instituto (BPIE 2016) duomenis, gyvenamieji pastatai Lietuvoje sudaro 75,05 proc. visų

pastatų bendrojo ploto ir užima apie 143 mln. m<sup>2</sup>. Vienbučiai gyvenamieji pastatai užima daugiau kaip pusę šio ploto (8).

Pagal šiuo metu Lietuvoje galiojančius norminius reikalavimus bei statybos techninio reglamento STR 2.01 02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas (aktuali redakcija 2017.09.20)“ nuostatas pastatai klasifikuojami į 9 energinio naudingumo klases: A++, A+, A, B, C, D, E, F, G (1) (žr. 4 pav.).



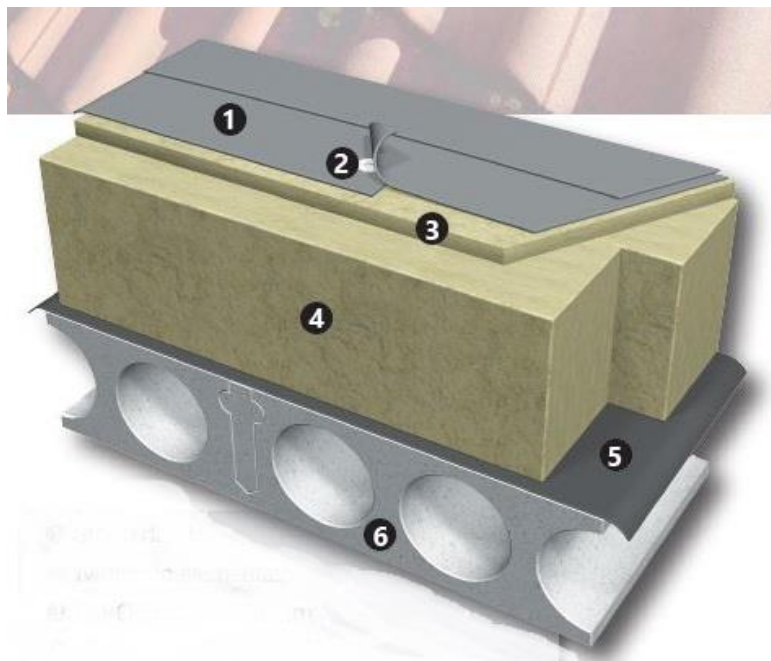
4 pav. Pastatų energinio naudingumo klasifikavimas į klases: A++ klasė – aukščiausia, nurodanti energijos beveik nevartojantį pastatą, G klasė nurodo neefektyvų pastatą (25)

Apžvelgus skirtingų pasaulio valstybių patirtį, galima daryti išvadą, kad Europos sąjunga yra pirmaujantis regionas energetiškai efektyvių pastatų srityje. Tačiau energijos taupymas yra aktualus visame pasaulyje. Kaip ir vėsaus, taip ir šilto klimato juostose yra siekiama energetinio pastatų efektyvumo, tik šilto klimato valstybėse daugiausia dėmesio yra skiriama vėsinimui sunaudojamų energijos kaštų mažinimui.

## 2. SKAIČIAVIMŲ METODOLOGIJA

### 2.1 Tiriamoji stogo detalė

Šiame darbe atliekamas A++ klasės gyvenamojo pastato sutapdinto stogo termoizoliacijos daugiakriterinis vertinimas. Atlikus vertinimą, parenkama tinkamiausia medžiaga pasirinktai stogo detalei. Tyrimui buvo pasirinkta sutapdinto stogo detalė ant kiaurymėtos, gelžbetoninės perdangos plokštės (žr. 5 pav.).



5 pav. Stogo detalė ant kiaurymėtos g/b perdangos plokštės (21). 1) Stogo danga; 2) tvirtinimo elementai; 3) kietos vatos sluoksnis; 4) termoizoliacija; 5) garo izoliacija; 6) g/b plokštė

### 2.2 Termoizoliacinės medžiagos

Prieš atliekant tyrimą, pasirenkamos medžiagos ir rodikliai pagal kuriuos bus lyginamos termoizoliacinės medžiagos.

Bus lyginamos šios termoizoliacinės medžiagos:

- akmens vata ( $\rho=130,0 \text{ kg/m}^3$ ;  $\lambda_D=0,036 \text{ W/mK}$ );
- polistireninis putplastis EPS 100 ( $\rho=21,4 \text{ kg/m}^3$ ;  $\lambda_D=0,036 \text{ W/mK}$ );
- poliuretano plokštės ( $\rho=30,0 \text{ kg/m}^3$ ;  $\lambda_D=0,022 \text{ W/mK}$ );
- ekstrūzinis polistireninis putplastis XPS ( $\rho=33,0 \text{ kg/m}^3$ ;  $\lambda_D=0,036 \text{ W/mK}$ );
- drėgmei atsparus polistireninis putplastis EPS 100 ( $\rho=21,4 \text{ kg/m}^3$ ;  $\lambda_D=0,036 \text{ W/mK}$ );
- polistireninis putplastis EPS 100 N (Neo) ( $\rho=18,5 \text{ kg/m}^3$ ;  $\lambda_D=0,030 \text{ W/mK}$ );

- polistireninis putplastis EPS 150 ( $\rho=27,5 \text{ kg/m}^3$ ;  $\lambda_D=0,035 \text{ W/mK}$ );

Medžiagos bus lyginamos pagal tokius kriterijus:

- stogo termoizoliacijos storį, m;
- medžiagos svorį, tenkantį vienam stogo kvadratiniam metrui,  $\text{kg/m}^2$ ;
- medžiagos kainą vienam kvadratiniam metrui stogo  $\text{€/m}^2$ ;
- stiprį gniuždant, kPa;
- medžiagos ilgalaikį įmirkį, %;
- degumo klasę.

### 2.2.1 Akmens vata

Akmens vata gaminama iš bazalto uolienos. Kad pluoštas būtų lengvesnis, netrupėtų, pridedama dolomito. Taip pat į žaliavą dedama kokso ir akmens vatos atliekų. Ji gaminama lydant akmenis aukštoje  $1500^\circ\text{C}$  temperatūroje. Koksas yra dedamas į šį akmenų mišinį tam, kad palaikytų aukštą lydalo temperatūrą (4).

Akmens vatą sudaro dirbtinis mineralinis pluoštas, kuriame yra nuo 95,5 % iki 99,5 % amorfinių silikatų ir nuo 0,5 % iki 4,5% organinio rišiklio mišinio (vandeninio fenolio-formaldehido dervos emulsija) (3).

Akmens vata yra mineralinės vatos rūšis. Ji apriboja šilumos srautus, dėl to vata yra šilumos izoliatorius, kuris žiemą apsaugo namą nuo šilumos praradimo, o vasarą neleidžia namui įšilti. Geriausi produktai iš mineralinės vatos turi ne didesnę šilumos pralaidumo koeficientą kaip  $0,032 \text{ W/mK}$ , nors Lietuvoje labiausiai paplitusios medžiagos, kurių koeficientas yra nuo  $0,035$  iki  $0,040 \text{ W/mK}$  (22).

Mineralinė vata – nedegi medžiaga, kuri įkaitusi neišskiria toksinų. Kadangi ugnis mineralinei vatai nepavojinga, ji naudojama kaip priešgaisrinė izoliacija. Mineralinis audinys charakterizuojamas aukščiausiomis A1 ir A2 degumo klasėmis pagal euroskalę, kur A1 yra aukščiausias rodmuo, o pats žemiausias yra F. Gaisro metu vata beveik neišskiria dūmų, dėl ko turi aukščiausią rodiklį S1. Liepsnos paveikta mineralinė vata neišteka, apie tai informuoja simbolis d0 (22).

Šiame darbe tiriamos Paroc ROS 30 akmens vatos šilumos izoliacinės plokštės yra nedegios, bei laikančios apkrovas. Jos skirtos naudoti pagrindiniam šilumos izoliacijos sluoksniui šiltinant renovuojamus ar naujai įrengiamus plokščiuosius stogus (24).



### **2.2.2 Polistireninis putplastis EPS 100**

Tai viena populiariausių šiltinimo medžiagų. EPS 100 – efektyvi, tvirta, atlaikanti dideles apkrovas, ilgaamžė, neįgerianti drėgmės, nekeičianti savo izoliacinių ir fizikinių savybių per visą tarnavimo konstrukcijoje laikotarpį termoizoliacija (34).

EPS 100 plokštės gali būti naudojamos stogams su šilumos izoliacija, apsaugota ritinine danga nuo atmosferos kritulių, rūšio sienų išorinei šilumos izoliacijai, apkrautoms grindims su šilumos izoliacija po išlyginamuoju betono sluoksniu, gali būti sąlytis su gruntu (34).

### **2.2.3 Poliuretano plokštės**

FF-PIR šilumos izoliacinės plokštės pagamintos iš standžių poliizocianurato (poliuretano) putų (PIR) šerdies ir iš abiejų pusių padengtos daugiasluoksne aliuminio folija (ar kita difuzijai nelaidžia danga). Poliizocianuratas tai izoliacinė medžiaga, pasižyminti itin mažu šilumos laidumo koeficientu ( $\lambda = 0,022 \text{ W/mK}$ ), todėl jo pagalba sukuriama labai efektyvi šilumos izoliacija. Aliuminio folijos sluoksnis (ar kita difuzijai nelaidi danga) veikia kaip garų barjeras (13).

Šios šilumos izoliacinės plokštės gali būti panaudojamos plokščių ir šlaitinių stogų izoliacijai, jomis galima izoliuoti sienas iš vidaus ir išorės, įrengti karkasinių ir trijų sluoksnių mūro sienų izoliaciją, taip pat naudoti kitų konstrukcijų apšiltinimui, kur reikalinga itin efektyvi šilumos izoliacija (13).

### **2.2.4 Ekstrūzinis polistireninis putplastis (XPS)**

Ekstrūzinis polistireninis putplastis yra šilumos izoliacija, kuri išlaiko savo izoliacines savybes net ir keičiantis aplinkos sąlygoms. Ypatinga, visiškai uždara ir vientisa porų struktūra garantuoja puikias ir patikimas šilumos izoliacijos savybes. Ekstrūzinio polistireninio putplasčio plokštės yra visiškai atsparios pelėsiui (12).

Dėl drėgmės neįgėrimo, atsparumo šaldymo ir šildymo ciklams, mechaninio tvirtumo ekstrūzinio polistireninio putplasčio plokštės gali būti plačiai naudojamos. Šias plokštes galima naudoti pamatų, grindų, stogo ir sienų šilumos izoliacijai (12).

### **2.2.5 Drėgmei atsparus polistireninis putplastis EPS 100**

Tai mažai vandens įgeriantis žalsvasis polistireninis putplastis. Nuo įprasto polistireninio putplasčio skiriasi mažesniu ilgalaikiu vandens įmirkiu panardinus vandenyje. Šio polistireninio putplasčio gamybai yra naudojama speciali tokio polistireninio putplasčio gamybai skirta žaliava, taip pat skiriasi technologinio proceso režimas. Jis pasižymi ne tik labai mažu vandens įgeriamumu, bet ir geresnėmis kitomis fizinėmis – mechaninėmis savybėmis (gniužduomoju įtempiu, kai gaminys deformuojamas 10%, bei stipriu lenkiant) (14).

### 2.2.6 Polistireninis putplastis EPS 100 N (Neo)

EPS 100 N (Neo) pilkšvasis polistireninis putplastis – tai tobulesnė baltojo polistireninio putplasčio atmaina. Nuo tradicinio polistireninio putplasčio jis skiriasi mažesniu šilumos laidumu. Geresnį izoliacinį poveikį, bei pilką spalvą lemia į medžiagą įterpti grafito infraraudonieji absorbikliai ir reflektoriai (36).

### 2.2.7 Polistireninis putplastis EPS 150

Tai tvirtesnė ir kietesnė EPS 100 atmaina, skirta apšiltinti paviršius su didelėmis apkrovomis. Gali būti naudojama pamatų, rūšio išorinių sienų, pramoninių grindų šilumos izoliacijai, kuomet apkrova į šilumos izoliaciją yra didelė (transporto priemonių eismas netoli rūšio, šaldytuvų grindys ir pan.). Taip pat naudojamas stogų su didelėmis apkrovomis šilumos izoliacijai (terasos, apželdinti stogai ir pan.), bei kelių, krantinių įrengimui, įšalo izoliacijai (35).

## 2.3 Kriterijų, pagal kuriuos bus lyginamos termoizoliacinės medžiagos, skaičiavimų aprašymas

Visų pirma apskaičiuojama reikalinga stogo ir termoizoliacinės medžiagos šiluminė varžos.

Šiluminė varža skaičiuojama pagal formulę (32):

$$R_t = \frac{1}{U}, (\text{m}^2\text{K}/\text{W}); \quad (1)$$

Čia:

$U$  – stogo šilumos perdavimo koeficientas, ( $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ).

Stogo detalės visuminė šiluminė varža sudedama iš stogo detalės sluoksnių varžų (32):

$$R_t = R_{si} + R_{gb} + R_{pl} + R_{sil} + R_{kt} + R_{bit} + R_{se}, (\text{m}^2\text{K}/\text{W}); \quad (2)$$

čia:

$R_{si}$  – stogo vidinio paviršiaus šiluminė varža ( $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ );

$R_{gb}$  – kiaurymėtos perdangos plokštės šiluminė varža ( $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ );

$R_{pl}$  – garo izoliacijos šiluminė varža ( $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ );

$R_{sil}$  – šiluminės izoliacijos šiluminė varža ( $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ );

$R_{kt}$  – kietos akmens vatos šiluminė varža ( $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ );

$R_{bit}$  – bituminės dangos šiluminė varža ( $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ );

$R_{se}$  – stogo išorinio paviršiaus šiluminė varža ( $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ ).

Termoizoliacinės medžiagos reikalinga šiluminė varža apskaičiuojama:

$$R_{sil} = R_t - (R_{si} + R_{gb} + R_{pl} + R_{kt} + R_{bit} + R_{se}), (\text{m}^2\text{K}/\text{W}); \quad (3)$$

Žinant reikalingą termoizoliacinės medžiagos šiluminę varžą, galima apskaičiuoti reikalinga medžiagos storį, kuris randamas pagal formulę (32):

$$d_{\text{šil}} = R_{\text{šil}} \times \lambda_{ds}, (\text{m}); \quad (4)$$

čia:

$d_{\text{šil}}$  – medžiagos storis, (m);

$\lambda_{ds}$  – projektinis termoizoliacinės medžiagos šilumos laidumo koeficientas (W/mK).

Projektinis šilumos laidumo koeficientas apskaičiuojamas pagal formulę (32):

$$\lambda_{ds} = \lambda_D + \Delta\lambda_w + \Delta\lambda_{cv}; \quad (4.1)$$

čia:

$\lambda_D$  – deklaruojamas termoizoliacinės medžiagos šilumos laidumo koeficientas, (W/mK); Deklaruojamas šilumos laidumo koeficientas nurodomas termoizoliacinės medžiagos aprašymuose, arba eksploatacinių savybių deklaracijose.

$\Delta\lambda_w$  – šilumos laidumo koeficiento pataisa dėl termoizoliacinio statybos produkto papildomo įdrėkimo atitvaroje, W/(mK) (duomenys iš STR 2.01 02:2016);

$\Delta\lambda_{cv}$  – šilumos laidumo koeficiento pataisa dėl šilumos konvekcijos poveikio W/(mK).

Šis dydis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$\Delta\lambda_{cv} = \lambda_D \times K_{cv}; \quad (4.2)$$

čia:

$K_{cv}$  – šilumos konvekcijos poveikio koeficientas.

Toliau galima apskaičiuoti vieno kvadratinio metro stogo termoizoliacijos svorį:

$$F = V * \rho, (\text{kg/m}^2); \quad (5)$$

čia:

$F$  – medžiagos svoris, (kg/m<sup>2</sup>);

$V$  – medžiagos tūris, (m<sup>3</sup>);

$\rho$  – medžiagos tankis, (kg/m<sup>3</sup>) – nurodytas medžiagos apraše, arba eksploatacinių savybių deklaracijoje.

Toliau yra nustatoma vidutinė rinkos kaina. Peržiūrimos bent trijų pardavėjų arba tiekėjų kainos ir apskaičiuojamas jų vidurkis. Nustačius rinkos kainų vidurkį, apskaičiuojama stogo termoizoliacijos vieno kvadratinio metro kaina.

Termoizoliacinės medžiagos apraše arba eksploatacinių savybių deklaracijoje atrandami likę trys kriterijai, pagal kuriuos vertinsime stogo termoizoliacines medžiagas, tai:

- stiprį gniuždant, (kPa);
- ilgalaikį vandens įmirkį, (%);

- degumo klasę.

Medžiagos degumo klasė yra žymima raidėmis nuo žemiausios klasės F, iki aukščiausios – A1. Degumo klasės ir jų aprašymai pateikti 1-oje lentelėje.

**1 lentelė. Medžiagų degumo klasės ir jų aprašymas (19)**

| Degumo klasė | Įnašas į gaisro plitimą          | Gaminio elgsena atliekant bandymą                               |
|--------------|----------------------------------|---|
| A1           | Visiškai nepalaiko degimo        | Neužsiliepsnoja   |
| A2           | Beveik nepalaiko degimo          | Neužsiliepsnoja   |
| B            | Nežymiai palaiko degimą          | Neužsiliepsnoja   |
| C            | Kažkiek palaiko degimą           | Užsiliepsnoja po 10 min.  |
| D            | Ženkliai palaiko degimą          | Užsiliepsnoja po 2-10 min.                                      |
| E            | Skatina degimą                   | Užsiliepsnoja mažiau nei po 2 minučių                           |
| F            | Skatina degimą arba nėra duomenų | Užsiliepsnoja greičiau nei E klasės medžiagos arba nėra duomenų |

Kadangi atliekant tolimesnius skaičiavimus naudoti raidines reikšmes būtų nepatogu, joms priskiriami reitingai (arba skaičiai) nuo 1 iki 7. F klasei – 1, E – 2 ir taip iki A1, kuriai priskiriamas 7.

Tam, kad išsiaiškinti visų aukščiau išvardintų kriterijų įtaką renkantis stogo termoizoliacinę medžiagą, yra atliekama statybos srities specialistų apklausa.

Visų kriterijų reikšmės ir jų įtaka galutiniam pasirinkimui yra analizuojamos pasitelkiant vieną iš daugiataksių sprendimo priėmimo metodų.

## 2.4 Daugiataksliai sprendimo priėmimo metodai

### 2.4.1 Daugiataksių sprendimo priėmimo metodų klasifikacija

Vienkriteriais vertinimo metodais neįmanoma išspręsti uždavinių, kuriuose reikia vertinti daugelį tikslų, todėl daugiataksliai sprendimo priėmimo metodai vis dažniau taikomi statybos inžinerijos bei investicijų skaičiavimo kompleksiniams uždaviniams spręsti (8).

Daugiakriteriai sprendimų priėmimo metodai (angl. *Multiple Criteria Decision Making* arba *MCDM methods*) yra skirstomi į dvi grupes (8):

- daugiatakslius (angl. *Multiple Decision Making* arba MODM), kai nagrinėjamos vektorinio maksimumo problemos;
- daugiarodiklius (angl. *Multiple Attribute Decision Making* arba MADM), kai ieškoma geriausio sprendimo tarp keleto galimų ir tikslingų diskrečių sprendinių.

Tyrėjai, atlikdami daugiakriterį įvertinimą (angl. *Multi-Criteria Evaluation*) ar daugiakriterę analizę (angl. *Multi-Criteria Analysis*), dažniausiai naudoja daugiakriterius metodus. Taigi žodžiai daugiakriteris ir daugiakriteris yra tapę sinonimais ir siejami su antrosios grupės daugiakriteriais sprendimų priėmimo metodais. Beto, rodiklių vertėmis yra aprašomi uždavinio tikslus išreiškiantys rodikliai. Todėl VGTU ir Lietuvos MADM mokykloje daugiakriteriai sprendimo priėmimo metodai dažnai vadinami daugiakriteriais (8).

Dauguma mokslininkų teigia, kad daugiakriteriais metodais nepasiekama galutinio sprendimo. Galutinį sprendimą priima žmogus ar grupė žmonių (ekspertų). Daugiakriteriais metodai padeda susisteminti ir apdoroti matematiškai pateiktą informaciją – sudaryti alternatyvų prioritetų eilutę (alternatyvas ranguoti), parodančią vienos alternatyvos pranašumą prieš kitą. Ekspertas, priimančias sprendimus, analizuoja galimas alternatyvas, remdamasis apibūdinančiais rodikliais, kurie gali tarpusavyje skirtis tiek savo struktūra, tiek patikimumo lygiu (8).

Daugiakriteriniai sprendimo priėmimo metodai, naudojančios vektorinę optimizaciją, pagrįstą sprendimo proceso modeliu, vadinami daugiakriteriniais optimizavimo metodais arba daugiaobjekčiais (angl. *Multi(ple) Objective Decision Making*, t.y. MODM) metodais. Šie metodai taikomi sprendžiant problemą, apimančią daugelį tikslo funkcijų, kurios optimizuojamos vienu metu. Išsamiai daugiakriterinio optimizavimo metodai nagrinėjami daugelio mokslininkų. Daugiakriteriais (angl. *Multi(ple) Attribute Decision Making*, t.y. MADM) metodai taikomi, kai reikia išrinkti racionalią alternatyvą iš konkretaus žinomų alternatyvų sąrašo (16). MADM nagrinėja problemas, kurių sprendinių aibė yra diskreti (angl. *discrete*), t.y. ją sudaro aibė galimų alternatyvų ( ) mi AAAAAA ,, ,, , 21 K K = . Alternatyvos – tai galimi skirtingi ir tikslingi sprendimai, apibūdinami tam tikrais rodikliais ( ) nj XXXX ,, ,, , 21 K K . Rodikliai atspindi tam tikrus alternatyvų nagrinėjimo aspektus ir kiekvienas iš jų apibūdina vieną alternatyvos savybę. Kadangi skirtingi rodikliai atspindi skirtingus požūrius į alternatyvas, jie gali būti prieštaraujantys vieni kitiems (pvz., kainos rodiklis gali prieštarauti naudos rodikliui ir pan.). Taip pat svarbu pažymėti, kad rodikliai gali būti matuojami skirtingais mato vienetais (pvz.: kaina – pinigais, kiekis – vnt., m<sup>2</sup>, m<sup>3</sup> ir pan.). Todėl rodiklius būtina normalizuoti, kad jie taptų bedimensiais dydžiais. Pasak kai kurių autorių, norint palyginti alternatyvas, būtina įtaką darančius veiksnius išreikšti tarpusavyje lyginamais dydžiais, kad juos būtų galima lygiavertiškai naudoti alternatyvų vertinime. Rodiklių svarbai, reikšmingumui nusakyti nustatomi santykiniai rodiklių reikšmingumai, kurie parodo, kiek vienas rodiklis yra svaresnis už kitą. Pasaulyje sukurta nemažai daugiakriterių sprendimo metodų, bet kol kas nėra nustatyta, kuris labiausiai tinka spręsti vienokio ar kitokio tipo uždaviniams (39).

Pagal pradinių duomenų, naudojamų alternatyvų rangavimui, tipą daugiakriteriais sprendimo priėmimo (MADM) metodai klasifikuojami į deterministinius, stochastinius ir neapibrėžtų

(angl. *fuzzy*) aibių teorijos metodus. Daugiau informacijos šiuo klausimu galima rasti Hwang ir Yoon (1981) bei Triantaphyllou (2000) darbuose. Kitas būdas klasifikuoti MADM metodus yra pagal tai, kiek sprendimo priėmėjų (angl. *decision makers*) dalyvauja sprendimo priėmimo. Atsižvelgiant į sprendimo priėmėjų kiekį, gali būti vieno asmens sprendimas arba grupės sprendimas. Mokslininkai Chen ir Hwang (1992) deterministinius vieno asmens MADM metodus dar skirsto į kategorijas pagal informacijos tipą ir jos prieinamumą. Remiantis daugelio mokslininkų aprašytais daugiakriterinių sprendimo priėmimo metodų klasifikacijomis, autoriaus siūloma MADM metodų sudaroma daugiakriterinių sprendimo priėmimo metodų klasifikacija, paremta informacija apie rodiklius. Naudojama klasifikacija pateikta lentelėje Nr. 2 (29).

Daugiakriterės analizės srityje naudojami metodai nėra tobuli. Triantaphyllou palygino skirtingus daugiakriterės analizės metodus ir priėjo prie išvados, kad neįmanoma nustatyti geriausio metodo. Konkrečioms problemoms spręsti metodai gali būti tinkami arba ne (11).

**2 lentelė. Daugiakriterinių sprendimo priėmimo metodų klasifikacija (29)**

| <b>Metodu klasė</b>                                  | <b>Informacija, gauta iš sprendimą priimančio asmens, apie rodiklius</b> | <b>Metodai ir jų klasės</b>  |
|--|--|--|
| Metodai pagrįsti daugiakriterine naudingumo teorija  | Kiekybiniai matavimai  | SAW, TOPSIS, TOPSIS-G, COPRAS, COPRAS-G, ARAS, MOORA, VIKOR, MultiMOORA  |
| Analitinės hierarchijos ir neapibrėžtų aibių metodai | Kiekybiniam matavimams suteikiamas kiekybinis pavaldas                   | Analitinis hierarchijos procesas (AHP)<br>Metodai naudojantys neapibrėžtas aibes (Fuzzy) (Fuzzy TOPSIS), (Fuzzy AHP) |
| Verbalinės analizės sprendimų metodai                | Kokybiniai matavimai, nepereinama prie kiekybinių kintamųjų              | Verbaliniai metodai: ZAPROS, PARK, ORKLASS, CLARA, DIFLASS, CIKL   |
| Lyginamosios preferencijos metodai                   | Kiekybiniai ir kokybiniai matavimai                                      | ELECTRE metodai, PROMETHEE metodai, MELCHIOR metodas, UTA metodas, MAUT metodas, TACTIC metodas ir kt..              |

Atsižvelgiant į turimus pradinius duomenis, daugiakriterinių sprendimo priėmimo problemų sprendimui parenkamas atitinkamas daugiakriterinis sprendimo priėmimo metodas ar metodų kompleksas. Nors visi daugiakriteriniai sprendimo priėmimo metodai skirti nagrinėjamų alternatyvų

rangavimui, tačiau kartais pasitaiko, jog taikant kelis daugiatislius sprendimų priėmimo metodus tų pačių alternatyvų rangavimui, rangavimo rezultatai nesutampa (29).

#### **2.4.2 Daugiatisliu sprendimo priėmimo metodų kompleksas**

Daugiatiskliai sprendimo priėmimo metodai taikomi daugelyje sričių, tiek inžinerinių, tiek medicininių, tiek investicinių uždavinių sprendimui. Šie uždaviniai turi keletą bendrų bruožų (16): alternatyvos vertinamos pagal keletą rodikliu, vertinimo kriterijai gali būti prieštaraujantys vieni kitiems, vertinimo rodikliai gali turėti skirtingus matavimo vienetus. Daugiatislio vertinimo tikslas – visų, nagrinėjamo reiškinio alternatyvų, surangavimas (28). Sprendimų priėmimo procesą sudaro trys etapai: 1) alternatyvų sąrašo sudarymas; 2) rodikliu, pagal kuriuos vertinamos alternatyvos, apibrėžimas; 3) alternatyvų surangavimas (29).

Pirmu darbo etapu sudaroma alternatyvų, kurios bus naudojamos uždaviniams spręsti, aibė. Šios alternatyvos trumpai vadinamos sprendimo variantais. Antru darbo etapu sudaroma rodikliu, pagal kuriuos bus vertinamos alternatyvos, aibė, nustatomos tų rodikliu reikšmės kiekvienai alternatyvai. Trečiu darbo etapu analizuojami sprendimo variantai. Geriausio varianto išrinkimas pagrįstas diferencijuotu variantų vertinimu naudojant antrame etape gautus duomenis (9). Tobulėjant valdymo metodams ir skaičiavimo technikai, daugiatisliai sprendimo priėmimo metodai tampa vis svarbesni priimant sprendimus įvairiose veiklos srityse (5).

Vienkriteriniais vertinimo metodais neįmanoma išspręsti problemų sudėtingose technologijų ar marketingo sistemose. 2007 metais (Ustinovichius et al. 2007) pasiūlytas daugiatisliu metodų kompleksas (MCDM-1), leidžia sudaryti efektyvią sudėtingų problemų sprendimo metodiką, apimančią daugelį efektyvumo rodikliu. MCDM-1 sudaro šie etapai (29):

1. sudaroma nagrinėjamo reiškinio alternatyvų aibė;
2. apibrėžiami techniniai bei ekonominiai efektyvumo rodikliai, kuriais remiantis bus vertinamos alternatyvos;
3. sudaroma sprendimų matrica;
4. sudaroma ekspertų grupė, kuri pildo efektyvumo rodikliu porinio palyginimo matricas;
5. pagal ekspertų nuomonę apskaičiuojamos rodikliu reikšmingumo reikšmės;
6. naudojant sprendimų matricą ir atitinkamas efektyvumo rodikliu reikšmingumo reikšmes, alternatyvų vertinimui taikomi trys daugiatisliai sprendimo priėmimo metodai: artumo idealiajam taškui metodas (TOPSIS), paprastasis adityvus svoriu metodas (SAW) bei kompleksinio proporcingumo vertinimo metodas (COPRAS) (9).

7. Atlikus daugiatislę analizę, daromos bendrosios išvados. Minėtų metodo komplekso pagrindu sudaroma daugiatislių sprendimo priėmimo metodų veiklos diagrama (6 pav).

## 2.5 Šiame darbe taikoma tyrimo metodika

Tyrimas bus atliekamas paprastuoju adityviu svorių metodu (SAW – Simple Additive Weighting). Metodo taisyklės apibendrino MacCrimmon (MacCrimmon, 1968) (38). Šis metodas buvo pasirinktas, kadangi jis puikiai tinka šiame darbe atliekamo tyrimo skaičiavimams. Gauti rezultatai yra tikslūs ir aiškūs. Be to tai yra vienas iš paprastesnių ir plačiausiai taikomų daugiatislių tyrimų metodų.

Įvesties duomenys – sprendimų matrica ir rodiklių reikšmingumo reikšmės. SAW metodo žingsniai:

1. Sprendimų matrica normalizuojama,
2. Normalizuotosios matricos to paties varianto kiekvienas narys dauginamas iš jo reikšmingumo ir sudedamas su kitais alternatyvos (eilutės) nariais.

Pradiniai duomenys, sprendžiant šiuo metodu, yra sprendimo matrica ir efektyvumo rodiklių reikšmingumo reikšmės, tarkim integruoto reikšmingumo, tenkinančios sąlygą (38):

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

Visi sprendimo matricos nariai, kuriuos reikia maksimizuoti, normalizuojami pagal formulę:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j^{max}}; \quad (7)$$

O tie, kuriuos reikia minimizuoti – pagal formulę:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_j^{min}}{x_{ij}}; \quad (8)$$

Nustatant varianto racionalumą, atitinkami normalizuotos matricos nariai dauginami iš efektyvumo rodiklių reikšmingumo reikšmių ir gautos sandaugos susumuojamos. Racionalaus varianto sandaugų suma bus maksimali (8):

$$A = \{A_i | \max_i \sum_{j=1}^n q_j^* \bar{x}_{ij}\}. \quad (9)$$



### 3. STOGO DAUGIAKRITERINIS VERTINIMAS

Visi skaičiavimai atliekami pasinaudojant Microsoft Excel programa. Pagal šiuos skaičiavimus autoriaus sukurtas viešai prieinamas įrankis, kurio pagalba yra parenkama tinkamiausia termoizoliacinė medžiaga sutaptintam stogui. Šį įrankį galima rasti šio darbo literatūros sąrašė 41-oje nuorodoje.

Apskaičiuojama A++ klasės gyvenamojo namo reikalinga stogo varža. Naudojama formulė Nr. 1:

$$R_t = \frac{1}{U} = \frac{1}{0,08} = 12,50 \text{ (m}^2\text{K/W)};$$

Šilumos perdavimo koeficiento U reikšmė paimta iš lentelės Nr. 3.

**3 lentelė. Pastatų atitvarų šilumos perdavimo koeficientų  $U_{(A++)}$  (W/(m<sup>2</sup>·K)) vertės A++ energinio naudingumo klasės pastatams (32)**

| Atitvarų apibūdinimas  | Gyvenamieji pastatai |
|--|----------------------|
| Stogai   | 0,080                |
| Perdangos  |                      |
| Šildomų patalpų atitvaros, kurios ribojasi su gruntu           | 0,10                 |
| Perdangos virš nešildomų rūšių ir pogrindžių                   |                      |
| Sienos   | 0,10                 |
| Langai, stoglangiai, švieslangiai ir kitos skaidrios atitvaros | 0,70                 |
| Durys, vartai  | 0,70                 |

Toliau, 4-oje lentelėje pateiktos stogo detalės sluoksnių šiluminės varžos bei jų suminė šiluminė varža (termoizoliacijos varža lentelėje nevertinta):

**4 lentelė. Stogo detalės komponentų šiluminės varžos (be termoizoliacijos)**

| Medžiaga  | Šiluminė varža $R_1$ , m <sup>2</sup> ·K/W |
|---|--|
| G/b tuštumėta perdangos plokštė   | 0,17                                       |
| Bituminė danga (2 sluoksniai)   | 0,03                                       |
| Kieta akmens vata Paroc ROB 60  | 0,53                                       |
| Stogo vidinio paviršiaus šiluminė varža $R_{si}$ (iš STR 2.01.02:2016)      | 0,100                                      |
| Polietileno plėvelės šiluminė varža $R_{pl}$                                | 0,040                                      |
| Stogo išorinio paviršiaus šiluminė varža $R_{se}$ (iš STR 2.01.02:2016)     | 0,040                                      |
| <b>Stogo šiluminė varža be termoizoliacinio sluoksnio <math>R_1</math>:</b> | <b>0,91</b>                                |

Apskaičiuojame reikalingą A++ klasės namo stogo termoizoliacijos sluoksnio šiluminę varžą. Naudojame (3) formulę:

$$R_{\text{šil}} = R_t - (R_{\text{si}} + R_{\text{gb}} + R_{\text{pl}} + R_{\text{kt}} + R_{\text{bit}} + R_{\text{se}}) = 12,5 - (0,91) = 11,59 \text{ (m}^2\text{K/W)};$$

Termoizoliacinių medžiagų eksploatacinių savybių deklaracijose pateikiamos deklaruojamos šilumos laidumo koeficiento. Tam, kad skaičiavimai būtų tikslesni, apskaičiuojamos termoizoliacinių medžiagų projektinės šilumos laidumo koeficientų vertės. Skaičiuojant naudojame (4.1) ir (4.2) formules. Rezultatai pateikti 5-oje lentelėje:

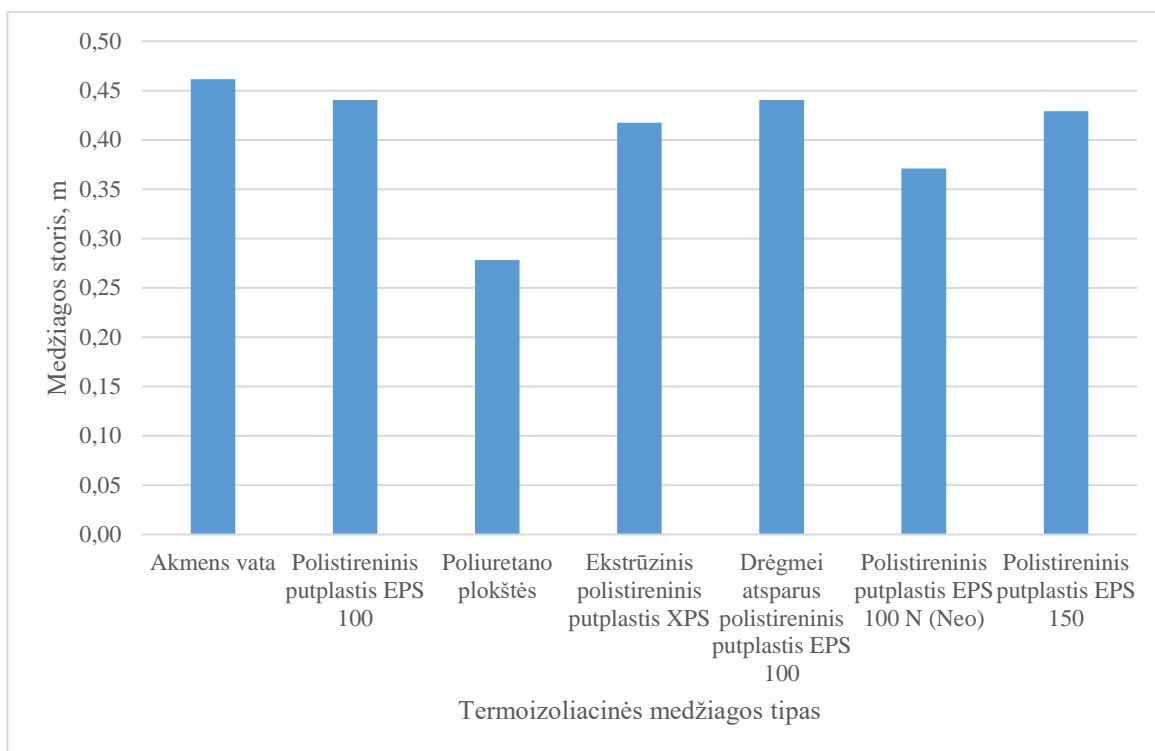
**5 lentelė. Tiriamų termoizoliacinių medžiagų projektinių šilumos laidumo koeficientų skaičiavimas**

| Medžiaga   | Deklaruojamas šilumos laidumo koef. $\lambda_D$ , W/(mK) | Pataisa dėl įdrėkio $\Delta\lambda_w$ , W/(mK) | Pataisa dėl konvekcijos $\Delta\lambda_{cv}$ , W/(mK) | Projektinis šilumos laidumo koef. $\lambda_{ds}$ , W/(mK) |
|--|--|--|---|---|
| Akmens vata  | 0,036  | 0,002  | 0,002   | 0,040   |
| Polistireninis putplastis EPS 100                  | 0,036  | 0,002  | 0,000   | 0,038   |
| Poliuretano plokštės                               | 0,022  | 0,002  | 0,000   | 0,024   |
| Ekstrūzinis polistireninis putplastis XPS          | 0,036  | 0,000  | 0,000   | 0,036   |
| Drėgmei atsparus polistireninis putplastis EPS 100 | 0,036  | 0,002  | 0,000   | 0,038   |
| Polistireninis putplastis EPS 100 N (Neo)          | 0,030  | 0,002  | 0,000   | 0,032   |
| Polistireninis putplastis EPS 150                  | 0,035  | 0,002  | 0,000   | 0,037   |

Žinodami reikiamą termoizoliacinio sluoksnio šiluminę varžą, galime apskaičiuoti kokio storio termoizoliacijos mums reikės norint ją pasiekti. Skaičiuojant naudojame (4) formulę. Visi reikiami termoizoliacinių medžiagų storiai apskaičiuoti 6-oje lentelėje.

**6 lentelė. Tiriamų termoizoliacinių medžiagų storių skaičiavimas**

| Medžiaga   | Projektinis šilumos laidumo koef. $\lambda_{ds}$ , W/(mK) | Reikalinga varža $R_{\text{šil}}$ , m <sup>2</sup> ·K/W | Medžiagos storis t, m |
|--|---|---|-----------------------|
| Akmens vata  | 0,040   | 11,59   | 0,46                  |
| Polistireninis putplastis EPS 100                  | 0,038   |   | 0,44                  |
| Poliuretano plokštės                               | 0,024   |   | 0,28                  |
| Ekstrūzinis polistireninis putplastis XPS          | 0,036   |   | 0,42                  |
| Drėgmei atsparus polistireninis putplastis EPS 100 | 0,038   |   | 0,44                  |
| Polistireninis putplastis EPS 100 N (Neo)          | 0,032   |   | 0,37                  |
| Polistireninis putplastis EPS 150                  | 0,037   |   | 0,43                  |



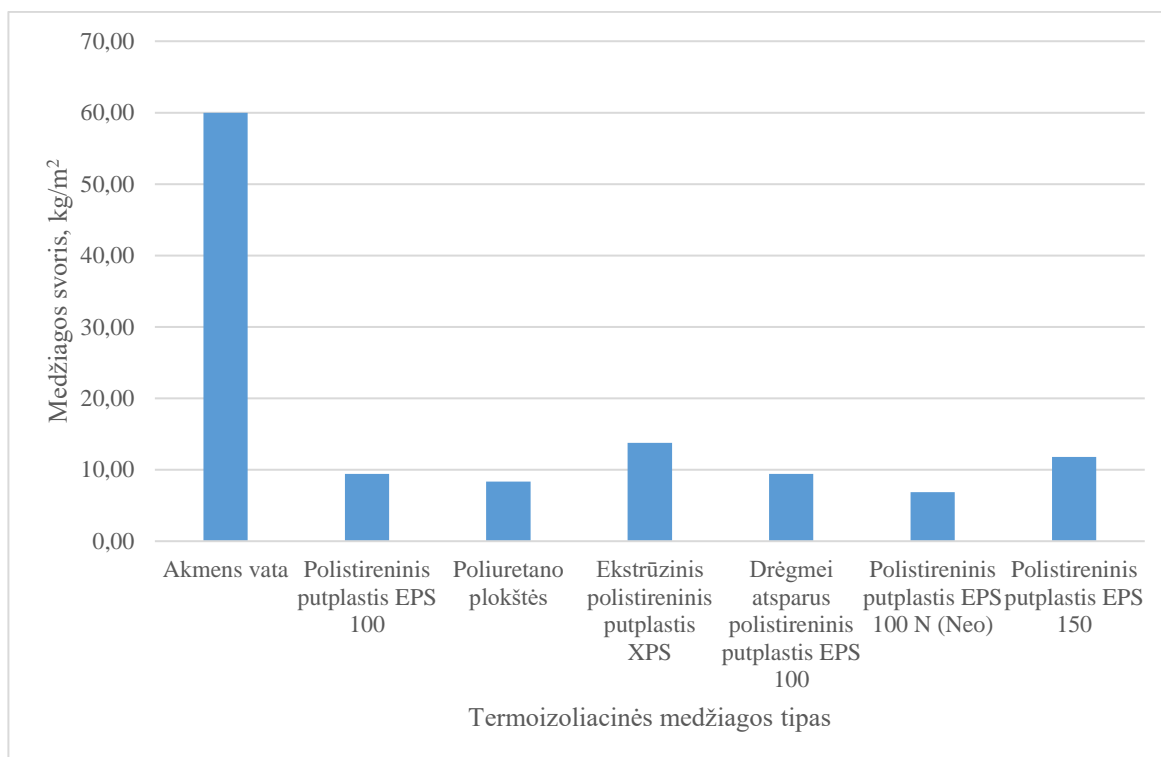
6 pav. Palyginamoji termoizoliacinių medžiagų storį diagrama

Pagal diagramoje pateiktus rezultatus – iš likusių medžiagų išsiskiria ir ploniausio termoizoliacinio sluoksnio reikės, jeigu stogas bus apšiltinamas poliuretano plokštėmis. Storiausias termoizoliacinis sluoksnis bus reikalingas, jeigu bus pasirinkti akmens vata, polistireninis putplastis EPS 100 arba drėgmei atsparus polistireninis putplastis EPS 100.

Turint reikiamą termoizoliacijos storį, galima apskaičiuoti koks bus vieno kvadratinio metro termoizoliacijos svoris. Medžiagų tankiai paimti iš medžiagų eksploatacinių savybių deklaracijų, arba aprašymų. Svoriai skaičiuojami naudojant (4) formulę. Skaičiavimų rezultatai pateikti 7-oje lentelėje.

7 lentelė. Termoizoliacinių medžiagų svorio vienam kvadratiniam metrui stogo skaičiavimas

| Medžiaga   | Sluoksnio storis | Medžiagos tūris 1m <sup>2</sup> stogo, m <sup>3</sup> | Medžiagos tankis, kg/m <sup>3</sup> | 1m <sup>2</sup> termoizoliacijos svoris, kg |
|--|------------------|---|-------------------------------------|---|
| Akmens vata  | 0,46             | 0,46  | 130,00                              | 59,99                                       |
| Polistireninis putplastis EPS 100                  | 0,44             | 0,44  | 21,40                               | 9,43  |
| Poliuretano plokštės                               | 0,28             | 0,28  | 30,00                               | 8,35  |
| Ekstrūzinis polistireninis putplastis XPS          | 0,42             | 0,42  | 33,00                               | 13,77                                       |
| Drėgmei atsparus polistireninis putplastis EPS 100 | 0,44             | 0,44  | 21,40                               | 9,43  |
| Polistireninis putplastis EPS 100 N (Neo)          | 0,37             | 0,37  | 18,50                               | 6,86  |
| Polistireninis putplastis EPS 150                  | 0,43             | 0,43  | 27,50                               | 11,80                                       |



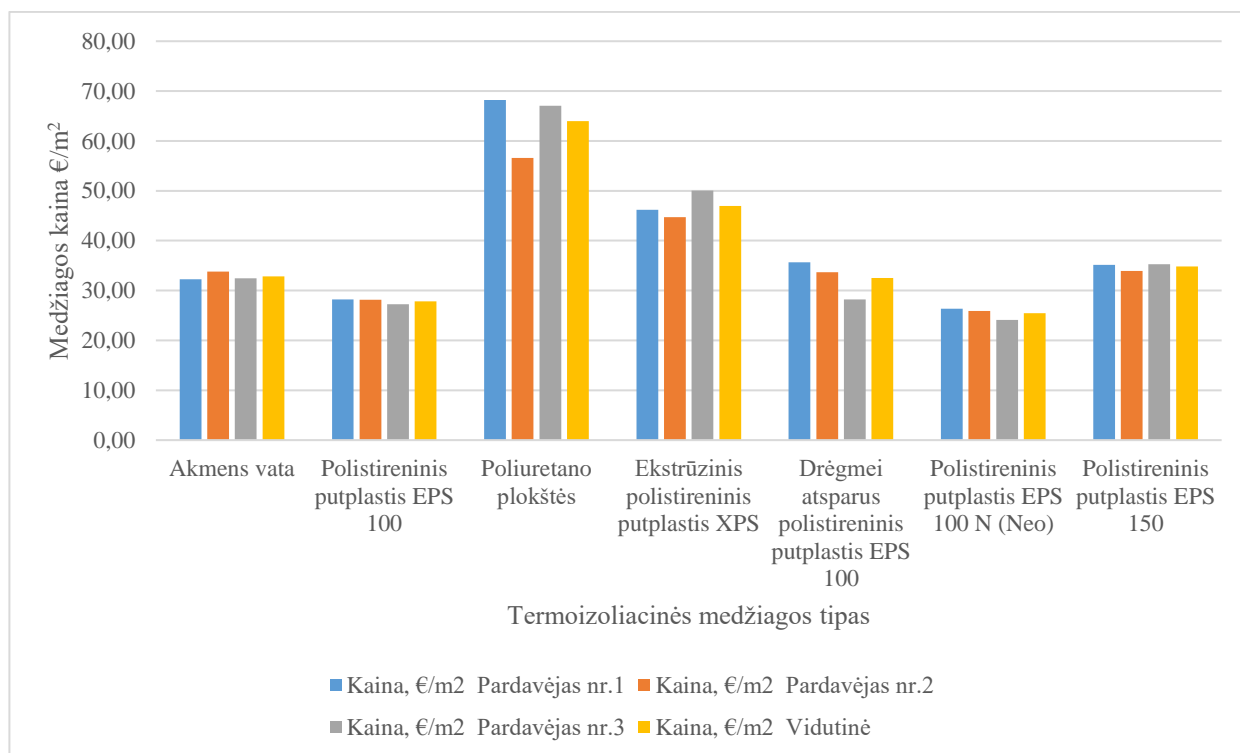
7 pav. Palyginamoji termoizoliacinių medžiagų svorių diagrama

Pagal diagramoje pateiktus rezultatus – iš likusių medžiagų išsiskiria akmens vata, kuri yra sunkiausia. Visos kitos medžiagos yra panašaus svorio.

Kitas kriterijus, pagal kurį šiame darbe bus lyginamos termoizoliacinės medžiagos, yra kaina. Lyginamos medžiagų, reikalingų vienam kvadratiniam metrui tiriamo stogo, kainos. Buvo atrinkti trys populiariausi pardavėjai Lietuvoje. Jų internetiniuose puslapiuose pateiktos 2017 metų lapkričio mėnesio kainos surašytos į lentelę ir apskaičiuotas jų vidurkis. Šie skaičiavimai pateikti 8-oje lentelėje.

8 lentelė. Termoizoliacinių medžiagų vidutinių kainų skaičiavimas

| Medžiaga   | Kaina, €/m²     |                 |                 |          |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|----------|
|  | Pardavėjas nr.1 | Pardavėjas nr.2 | Pardavėjas nr.3 | Vidutinė |
| Akmens vata  | 32,24           | 33,79           | 32,44           | 32,82    |
| Polistireninis putplastis EPS 100                  | 28,21           | 28,15           | 27,23           | 27,86    |
| Poliuretano plokštės                               | 68,21           | 56,59           | 67,05           | 63,95    |
| Ekstrūzinis polistireninis putplastis XPS          | 46,22           | 44,73           | 50,03           | 46,99    |
| Drėgmei atsparus polistireninis putplastis EPS 100 | 35,65           | 33,66           | 28,20           | 32,50    |
| Polistireninis putplastis EPS 100 N (Neo)          | 26,33           | 25,90           | 24,10           | 25,44    |
| Polistireninis putplastis EPS 150                  | 35,14           | 33,95           | 35,30           | 34,80    |



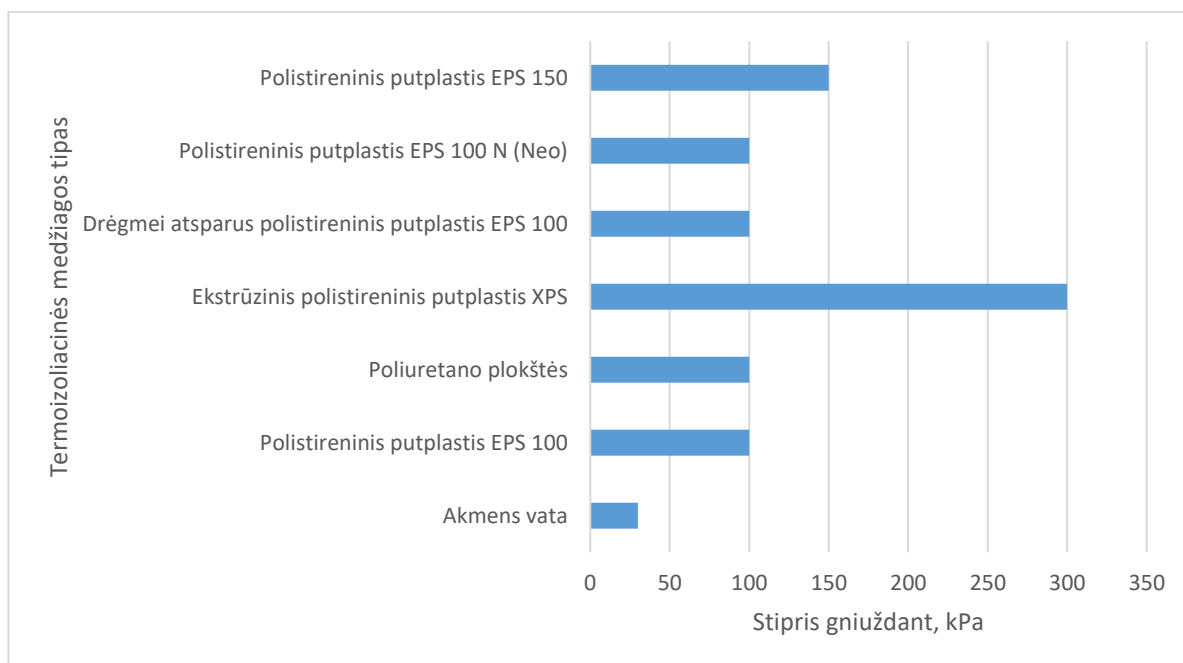
8 pav. Palyginamoji termoizoliacinių medžiagų kainų diagrama

Pagal diagramoje pateiktus rezultatus – pigiausiai apšiltinti šiame darbe tiriamą stogą pavyktų naudojant polistireninį putplastį EPS 100 N (Neo), o brangiausiai – poliuretano plokštėmis.

Termoizoliacinės medžiagos dar bus lyginamos pagal tris kriterijus. Vienas iš jų yra stipris gniuždant. Stipris gniuždant paimtas iš medžiagų eksploatacinių savybių deklaracijų arba aprašymų. Medžiagų stipriai gniuždant surašyti 9-oje lentelėje.

9 lentelė. Termoizoliacinių medžiagų deklaruojami stipriai gniuždant

| Medžiaga   | Stipris gniuždant, kPa |
|--|------------------------|
| Akmens vata  | 30,00                  |
| Polistireninis putplastis EPS 100                  | 100,00                 |
| Poliuretano plokštės                               | 100,00                 |
| Ekstrūzinis polistireninis putplastis XPS          | 300,00                 |
| Drėgmei atsparus polistireninis putplastis EPS 100 | 100,00                 |
| Polistireninis putplastis EPS 100 N (Neo)          | 100,00                 |
| Polistireninis putplastis EPS 150                  | 150,00                 |



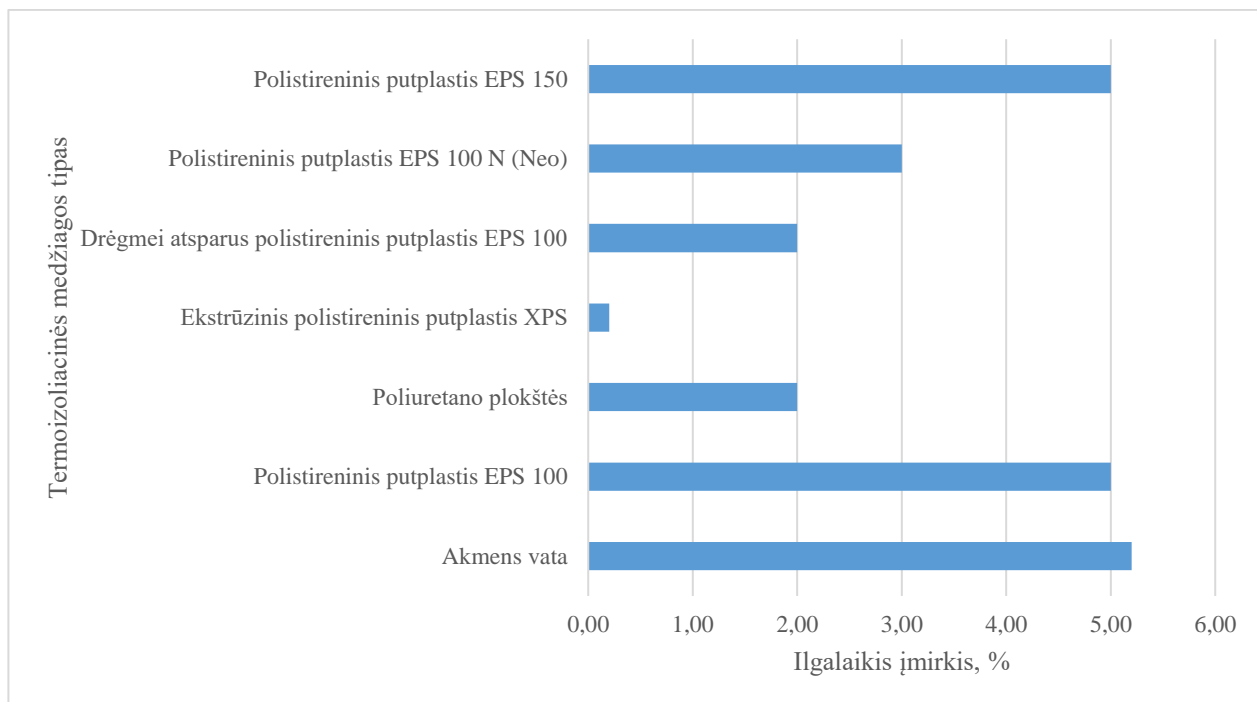
9 pav. Palyginamoji termoizoliacinių medžiagų stiprių gniuždant diagrama

Pagal šį kriterijų nepralenkiamas yra ekstrūzinis polistireninis putplastis (XPS), kuris yra tinkamiausias stogui, ant kurio planuojamos apkrovos, ar žmonių vaikščiojimas. Pats nepalankiausias variantas tokiam stogui yra akmens vata, kurios stipris gniuždant yra vos 30 kPa.

Dar vienas kriterijus yra ilgalaikis vandens įmirkis. Nors šis kriterijus termoizoliacinėms medžiagoms reikšmingesnis būtų šiltinant pamatus, kai yra sąlytis su gruntu, tačiau praktikoje pasitaiko atvejų, kai ir stogo termoizoliacinei medžiagai šis kriterijus yra gana reikšmingas. Ilgalaikio vandens įmirkio reikšmės paimtos iš medžiagų eksploatacinių savybių deklaracijų. Visos jos pateiktos 10-oje lentelėje.

10 lentelė. Termoizoliacinių medžiagų deklaruojamas ilgalaikis vandens įmirkis

| Medžiaga   | Ilgalaikis vandens įmirkis, % |
|--|-------------------------------|
| Akmens vata  | 5,20                          |
| Polistireninis putplastis EPS 100                  | 5,00                          |
| Poliuretano plokštės                               | 2,00                          |
| Ekstrūzinis polistireninis putplastis XPS          | 0,20                          |
| Drėgmei atsparus polistireninis putplastis EPS 100 | 2,00                          |
| Polistireninis putplastis EPS 100 N (Neo)          | 3,00                          |
| Polistireninis putplastis EPS 150                  | 5,00                          |



10 pav. Palyginamoji termoizoliacinių medžiagų ilgalaikio vandens įmirkio diagrama

Pagal diagramoje pateiktus rezultatus – pranašiausias šioje kategorijoje yra ekstrūzinis polistireninis putplastis (XPS). O labiausiai vandenį įgeria akmens vata bei polistireniniai putplasčiai EPS 100 ir EPS 150.

Paskutinytis kriterijus, pagal kurį lyginamos termoizoliacinės medžiagos yra degumas. Kiekviena medžiaga yra priskiriama tam tikrai degumo klasei, nuo labai degių (F klasė) iki visiškai nedegių (A1 klasė). Kadangi degumo klasės nurodytos raidėmis, kiekvienai jų priskiriame skaičių (žr. lentelę Nr. 11).

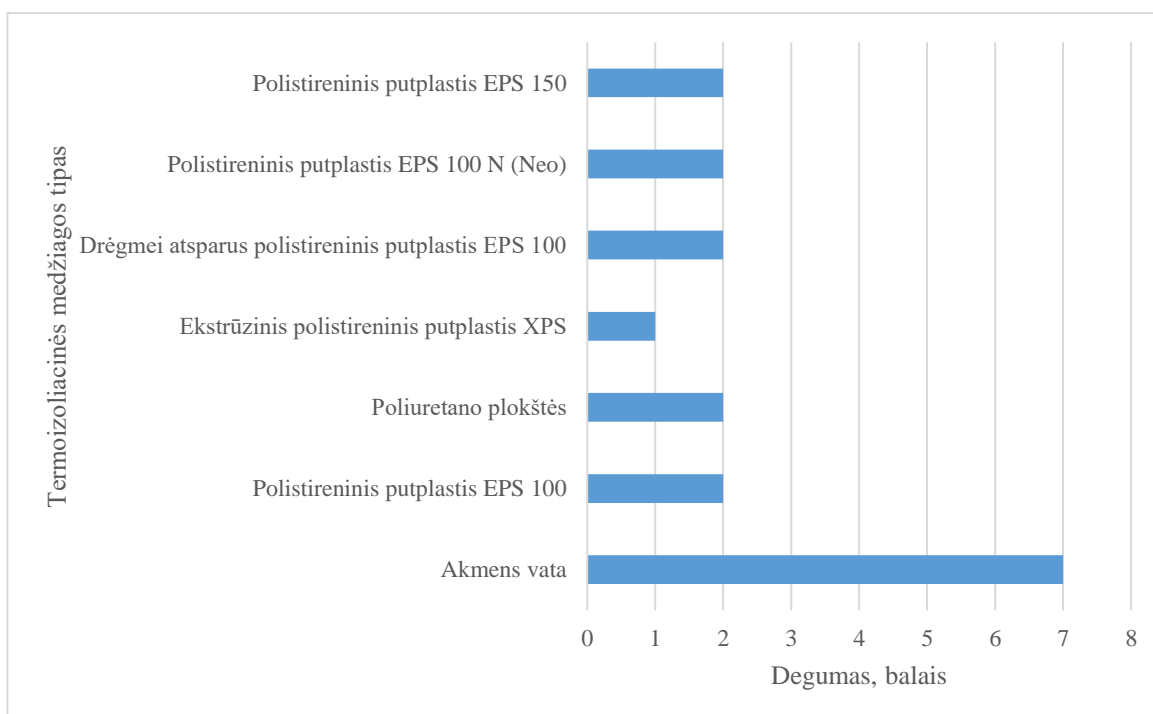
**11 lentelė. Degumo klasės ir joms priskiriami balai**

| Degumo klasė (Euro) | Balai už klasę |
|---------------------|----------------|
| A1                  | 7              |
| A2                  | 6              |
| B                   | 5              |
| C                   | 4              |
| D                   | 3              |
| E                   | 2              |
| F                   | 1              |

Medžiagos degumo klasės paimitos iš medžiagų eksploatacinių savybių deklaracijų ir kartu su joms priskirtais balais pateiktos 12-oje lentelėje.

**12 lentelė. Tiriamų termoizoliacinių medžiagų degumo klasės ir joms priskirti balai**

| Medžiaga   | Degumo klasė | Balai |
|--|--------------|-------|
| Akmens vata Paroc ROS 30                                 | A1           | 7     |
| Polistireninis putplastis EPS 100                        | E            | 2     |
| Poliuretano plokštės, dengtos aliuminio folija           | E            | 2     |
| Ekstrūzinis polistireninis putplastis XPS Finnfoam F-300 | F            | 1     |
| Drėgmei atsparus polistireninis putplastis EPS 100       | E            | 2     |
| Polistireninis putplastis EPS 100 N (Neo)                | E            | 2     |
| Polistireninis putplastis EPS 150                        | E            | 2     |



**11 pav. Palyginamoji termoizoliacinių medžiagų degumo balų diagrama**

Vienintelė nedegi iš mūsų tiriamų medžiagų yra akmens vata. Visos kitos medžiagos degios.

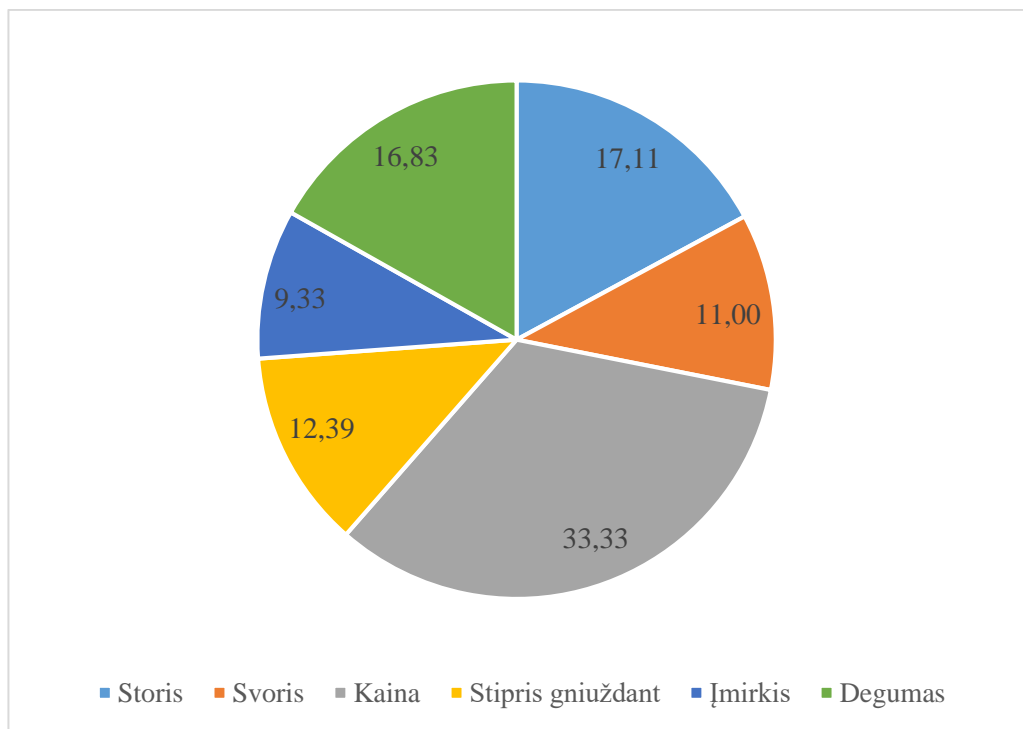
Tam, kad išsiaiškinti visų aukščiau išvardintų kriterijų reikšmingumą galutiniam termoizoliacijos pasirinkimui, buvo atlikta statybos srities specialistų apklausa. Kriterijus įvertino 18 specialistų pateikdami jų reikšmingumą procentais. Apklausos anketos su specialistų atsakymais pateiktos 1-ame priede, o apklausos rezultatai suvesti į 13-ą lentelę.



13 lentelė. Specialistų apklausos rezultatų suvestinė

| Specialistas                             | Kriterijų svoris, % |             |             |                   |             |             |
|--|---------------------|-------------|-------------|-------------------|-------------|-------------|
|  | Storis              | Svoris      | Kaina       | Stipris gniuždant | Įmirkis     | Degumas     |
| Specialistas 1                           | 5,00                | 5,00        | 50,00       | 15,00             | 5,00        | 20,00       |
| Specialistas 2                           | 40,00               | 5,00        | 40,00       | 10,00             | 2,00        | 3,00        |
| Specialistas 3                           | 20,00               | 0,00        | 60,00       | 10,00             | 0,00        | 10,00       |
| Specialistas 4                           | 20,00               | 10,00       | 20,00       | 15,00             | 5,00        | 30,00       |
| Specialistas 5                           | 5,00                | 20,00       | 45,00       | 5,00              | 5,00        | 20,00       |
| Specialistas 6                           | 5,00                | 15,00       | 60,00       | 5,00              | 5,00        | 10,00       |
| Specialistas 7                           | 3,00                | 3,00        | 70,00       | 3,00              | 1,00        | 20,00       |
| Specialistas 8                           | 20,00               | 10,00       | 30,00       | 15,00             | 10,00       | 15,00       |
| Specialistas 9                           | 15,00               | 10,00       | 15,00       | 10,00             | 10,00       | 40,00       |
| Specialistas 10                          | 25,00               | 5,00        | 10,00       | 5,00              | 30,00       | 25,00       |
| Specialistas 11                          | 25,00               | 25,00       | 30,00       | 5,00              | 5,00        | 10,00       |
| Specialistas 12                          | 30,00               | 25,00       | 25,00       | 10,00             | 5,00        | 5,00        |
| Specialistas 13                          | 20,00               | 0,00        | 40,00       | 15,00             | 10,00       | 15,00       |
| Specialistas 14                          | 10,00               | 10,00       | 5,00        | 30,00             | 5,00        | 40,00       |
| Specialistas 15                          | 25,00               | 10,00       | 30,00       | 15,00             | 10,00       | 10,00       |
| Specialistas 16                          | 10,00               | 10,00       | 20,00       | 20,00             | 30,00       | 10,00       |
| Specialistas 17                          | 20,00               | 20,00       | 30,00       | 10,00             | 10,00       | 10,00       |
| Specialistas 18                          | 10,00               | 15,00       | 20,00       | 25,00             | 20,00       | 10,00       |
| Vidutinis reikšmingumas:                 | 17,11               | 11,00       | 33,33       | 12,39             | 9,33        | 16,83       |
| <b>Dešimtainė reikšmingumo išraiška:</b> | <b>0,17</b>         | <b>0,11</b> | <b>0,33</b> | <b>0,12</b>       | <b>0,09</b> | <b>0,17</b> |

Statybos srities specialistų nuomone renkantis termoizoliacinę medžiagą šiuo metu yra svarbiausia jos kaina, kurios reikšmingumas sudaro trečdalį pasirinkimo, o mažiausiai svarbus yra ilgalaikis vandens įmirkis, kuris lemia tik 9,33 proc. pasirinkimo.



12 pav. Kriterijų reikšmingumo diagrama

Visi apskaičiuoti ir gauti duomenys apdorojami naudojant paprastąjį adityvų svorių metodą (SAW – Simple Additive Weighting). Rodiklių reikšmės surašomos į 14-ą lentelę. Taip pat šioje lentelėje nurodome rodiklio pobūdį. Jeigu geriausia rodiklio reikšmė yra didžiausia, tai rodiklis yra „max“, o jeigu geriausia rodiklio reikšmė yra mažiausia, toks rodiklis yra „min“.

14 lentelė. Sprendimų priėmimo matrica

| Stogo termoizoliacija (variantai)                  | Rodikliai |                           |                         |                        |            |                 |
|--|-----------|---------------------------|-------------------------|------------------------|------------|-----------------|
|  | Storis, m | Svoris, kg/m <sup>2</sup> | Kaina, €/m <sup>2</sup> | Stipris gniuždant, kPa | Įmirkis, % | Degumas, balais |
| Akmens vata  | 0,46      | 59,99                     | 32,82                   | 30,00                  | 5,20       | 7,00            |
| Polistireninis putplastis EPS 100                  | 0,44      | 9,43                      | 27,86                   | 100,00                 | 5,00       | 2,00            |
| Poliuretano plokštės                               | 0,28      | 8,35                      | 63,95                   | 100,00                 | 2,00       | 2,00            |
| Ekstrūzinis polistireninis putplastis XPS          | 0,42      | 13,77                     | 46,99                   | 300,00                 | 0,20       | 1,00            |
| Drėgmei atsparus polistireninis putplastis EPS 100 | 0,44      | 9,43                      | 32,50                   | 100,00                 | 2,00       | 2,00            |
| Polistireninis putplastis EPS 100 N (Neo)          | 0,37      | 6,86                      | 25,44                   | 100,00                 | 3,00       | 2,00            |
| Polistireninis putplastis EPS 150                  | 0,43      | 11,80                     | 34,80                   | 150,00                 | 5,00       | 2,00            |
| Min. ar max. rodiklis                              | min.      | min.                      | min.                    | max.                   | min.       | max.            |
| Rodiklio geriausia reikšmė                         | 0,28      | 6,86                      | 25,44                   | 300,00                 | 0,20       | 7,00            |

15-oje lentelėje rodiklių matrica yra normalizuojama naudojant 7-ą ir 8-ą formules. Taip pat šioje lentelėje surašomos statybos srities specialistų pateiktos rodiklių reikšmingumo reikšmės.

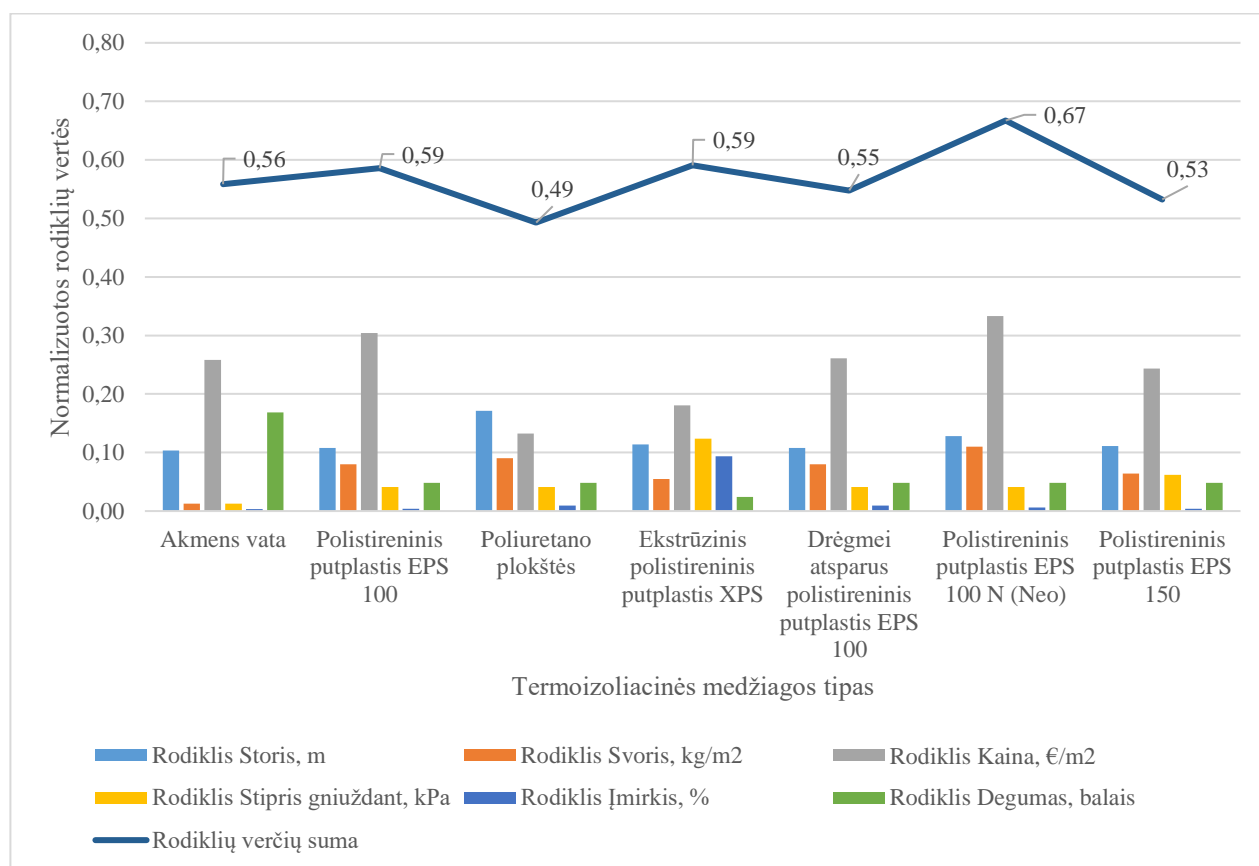
15 lentelė. Normalizuota matrica

| Stogo termoizoliacija (variantai)                  | Rodikliai |                           |                         |                        |            |                 |
|--|-----------|---------------------------|-------------------------|------------------------|------------|-----------------|
|  | Storis, m | Svoris, kg/m <sup>2</sup> | Kaina, €/m <sup>2</sup> | Stipris gniuždant, kPa | Įmirkis, % | Degumas, balais |
| Akmens vata  | 0,60      | 0,11                      | 0,78                    | 0,10                   | 0,04       | 1,00            |
| Polistireninis putplastis EPS 100                  | 0,63      | 0,73                      | 0,91                    | 0,33                   | 0,04       | 0,29            |
| Poliuretano plokštės                               | 1,00      | 0,82                      | 0,40                    | 0,33                   | 0,10       | 0,29            |
| Ekstrūzinis polistireninis putplastis XPS          | 0,67      | 0,50                      | 0,54                    | 1,00                   | 1,00       | 0,14            |
| Drėgmei atsparus polistireninis putplastis EPS 100 | 0,63      | 0,73                      | 0,78                    | 0,33                   | 0,10       | 0,29            |
| Polistireninis putplastis EPS 100 N (Neo)          | 0,75      | 1,00                      | 1,00                    | 0,33                   | 0,07       | 0,29            |
| Polistireninis putplastis EPS 150                  | 0,65      | 0,58                      | 0,73                    | 0,50                   | 0,04       | 0,29            |
| Min. ar max. rodiklis                              | min.      | min.                      | min.                    | max.                   | min.       | max.            |
| Rodiklių reikšmingumai, $q_j$                      | 0,17      | 0,11                      | 0,33                    | 0,12                   | 0,09       | 0,17            |

Kitame etape kiekvienos termoizoliacinės medžiagos kiekvienas rodiklis yra padauginamas iš rodiklio reikšmingumo ir gautos reikšmės surašomos lentelėje Nr. 16. Visos termoizoliacinės medžiagos gautos reikšmės sudedamos, o gauti rezultatai palyginami tarpusavyje bei sureitinguojami nuo didžiausio iki mažiausio. Termoizoliacinė medžiaga, kurios rodiklių verčių suma didžiausia, yra tinkamiausia pasirinktai stogo detalei.

16 lentelė. Reikšmių matrica

| Stogo termoizoliacija (variantai)                  | Rodiklis  |                           |                         |                        |            |                 | Rodiklių verčių suma | Prioritetų eilutė |
|--|-----------|---------------------------|-------------------------|------------------------|------------|-----------------|----------------------|-------------------|
|  | Storis, m | Svoris, kg/m <sup>2</sup> | Kaina, €/m <sup>2</sup> | Stipris gniuždant, kPa | Įmirkis, % | Degumas, balais |                      |                   |
| Akmens vata  | 0,10      | 0,01                      | 0,26                    | 0,01                   | 0,00       | 0,17            | 0,56                 | 4                 |
| Polistireninis putplastis EPS 100                  | 0,11      | 0,08                      | 0,30                    | 0,04                   | 0,00       | 0,05            | 0,59                 | 3                 |
| Poliuretano plokštės                               | 0,17      | 0,09                      | 0,13                    | 0,04                   | 0,01       | 0,05            | 0,49                 | 7                 |
| Ekstrūzinis polistireninis putplastis XPS          | 0,11      | 0,05                      | 0,18                    | 0,12                   | 0,09       | 0,02            | 0,59                 | 2                 |
| Drėgmei atsparus polistireninis putplastis EPS 100 | 0,11      | 0,08                      | 0,26                    | 0,04                   | 0,01       | 0,05            | 0,55                 | 5                 |
| Polistireninis putplastis EPS 100 N (Neo)          | 0,13      | 0,11                      | 0,33                    | 0,04                   | 0,01       | 0,05            | 0,67                 | 1                 |
| Polistireninis putplastis EPS 150                  | 0,11      | 0,06                      | 0,24                    | 0,06                   | 0,00       | 0,05            | 0,53                 | 6                 |



13 pav. Termoizoliacijos rodiklių verčių ir jų reikšmingumo sandaugų reikšmės

Gauti rezultatai matomi 16-os lentelės prioritetų eilutėje, bei diagramoje (žr. 14 pav.). Šiame darbe tirtai A++ klasės gyvenamojo namo sutapdinto stogo detalei tinkamiausia termoizoliacinė medžiaga yra polistireninis putplastis EPS 100 N (Neo). Antrąją ir trečiąją vietą dalinasi dvi šiame darbe vertintos medžiagos, tai – polistireninis putplastis EPS 100 ir ekstrūzinis polistireninis putplastis. Ketvirtoje vietoje liko akmens vata. 5-oje ir 6-oje pozicijose atsidūrė drėgmei atsparus polistireninis putplastis EPS 100 ir polistireninis putplastis EPS 150 – jos nuo tinkamiausio varianto atsiliko gana stipriai. Pati nepalankiausia šiame darbe vertinta medžiaga – poliuretano plokštės. Nors savo savybėmis poliuretano plokštės yra viena geriausių medžiagų, tačiau tokį rezultatą joms nulėmė didelė kaina rinkoje.

## IŠVADOS

1. Apžvelgus skirtingų pasaulio valstybių patirtį, galima daryti išvadą, kad Europos sąjunga yra pirmaujantis regionas energetiškai efektyvių pastatų srityje. Tačiau energijos taupymas yra aktualus visame pasaulyje. Kaip ir vėsiaus, taip ir šilto klimato juostose yra siekiama energetinio pastatų efektyvumo, tik šilto klimato valstybėse daugiausia dėmesio yra skiriama vėsinimui sunaudojamų energijos kaštų mažinimui.

2. Darbe buvo išanalizuota daugiakriterinių vertinimų taikymo metodologija. Šie metodai taikomi labai įvairiose srityse, tačiau jie nepriima sprendimo, o tėra tik įrankis, padedantis išrinkti geriausią variantą. Visus sprendimus priima žmogus.

3. Atlikus termoizoliacinių medžiagų rodiklių tyrimą paprastuoju adityviu svorių metodu SAW (Simple Additive Weighting), gauta, kad efektyviausias variantas apšiltinti energijos beveik nenaudojančio gyvenamojo pastato sutapdintą stogą yra polistireninis putplastis EPS 100 N (Neo). Pagal gautus rezultatus, Neo polistireninis putplastis antroje ir trečioje vietose esančius polistireninį putplastį EPS 100 ir ekstrūzinį polistireninį putplastį XPS lenkia beveik 12 proc, o paskutinėje vietoje likusios poliuretano plokštės nuo racionaliausio varianto atsiliko 26,9 proc. Tokius rezultatus daugiausia nulėmė Neo polistireninio putplasčio palyginti žemas deklaruojamas šilumos laidumo koeficientas  $\lambda_D$ , kuris yra 0,030 (W/mK). Taip pat didelę įtaką rezultatams padarė nedidelė šios termoizoliacinės medžiagos kaina rinkoje.

Norint įsirengti pigiausią ir lengviausią stogą, polistireninis putplastis EPS 100 Neo yra geriausias variantas, kadangi pagal svorį ir kainos rodiklį ši medžiaga yra pirmoje vietoje.

Esant tam tikroms aplinkybėms, kurios lemia, kad energijos beveik nenaudojančio gyvenamojo pastato sutapdintą stogą reikia įrengti kuo plonesnį, o kaina nėra lemiantis faktorius, tada pats tinkamiausias variantas yra poliuretano plokštės. Pagal reikalingą sluoksnio storį šios plokštės yra 23,5% pranašesnės už antroje vietoje esantį Neo polistireninį putplastį.

Įrengiant eksploatuojamą, atvirkštinį pastato stogą, geriausia rinktis ekstrūzinį polistireninį putplastį, kuris atlaiko didžiausias apkrovas bei įgeria mažiausiai vandens. Pagal stiprį gniuždant ši termoizoliacinė medžiaga yra 50 proc. pranašesnė už antroje vietoje esantį polistireninį putplastį EPS 150, o pagal ilgalaikį vandens įmirkį – 89 proc. už kitas termoizoliacines medžiagas.

Pastato projekte esant specialioms priešgaisriniais reikalavimams, kai termoizoliacinė medžiaga turi būti visiškai nedegi, pats tinkamiausias variantas yra akmens vata. Šios medžiagos eksploatacinių savybių deklaracijoje deklaruojama aukščiausia degumo klasė. Tai reiškia, kad akmens vata yra visiškai nedegi. Ši termoizoliacija už antroje vietoje esančias yra geresnė 70,6 proc.

Keičiantis pradinėms prielaidoms, tyrimą būtina atlikti iš naujo.

## INFORMACINIŲ ŠALTINIŲ SĄRAŠAS

1. 2020 Planning and Information for California ZNE Homes. Prieiga per internetą: <http://www.californiaznehomes.com/framework> [Žiūrėta 2017.10.15].
2. A, A+ ir A++ klasės gyvenamųjų namų stogų šiltinimas. Prieiga per internetą: <http://www.statybunaujienos.lt/naujiena/A-A-ir-A-klases-gyvenamuju-namu-stogu-siltinimas/8009> [Žiūrėta 2017.11.12].
3. Akmens vatos gamybos procesas. Prieiga per internetą: <http://www.rockwool.lt/kodel+rockwool/neprilygstamas+tvirtumas/gamybos+procesas> [Žiūrėta 2016.12.10].
4. Akmens vatos žaliavos gamyba, savybės ir panaudojimas. Prieiga per internetą: <http://statybininku.info/kita/akmens-vatos-zaliavos-gamyba-savybes-ir-panaudojimas/> [Žiūrėta 2016.12.10].
5. **Bernard Roy.** The Outranking Approach and the Foundations of Electre Methods. Berlin, 1990.
6. **Bethany Sparn, Lieko Earle, and Craig Christensen.** A Net-Zero Energy Home Grows Up: Lessons and Puzzles from 10 Years of Data; National Renewable Energy Laboratory, California, 2016.
7. **Bindu Shajan Perappadan.** India's first net zero energy building, 2014.
8. **Donatas Aviža.** Pastato atitvarų racionalaus termoizoliacinio sluoksnio daugiatikslė selektonovacija. Daktaro disertacija. – Vilnius: Leidykla Technika, 2016. – 135 puslapiai.
9. **E. K. Zavadskas, L. Ustinovičius, A. Stasiulionis.** Multicriteria valuation of commercial construction projects for investment purposes. 2004.
10. Eurostat. Prieiga per internetą: <http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&plugin=1&language=en&pcode=tsdpc320> [Žiūrėta 2017.12.14].
11. **Evangelos Triantaphyllou.** Multi-Criteria Decision Making Methods. Boston, 2000.
12. Finnfoam – patikima ir drėgmei atspari izoliacija. Prieiga per internetą: <https://www.finnfoam.lt/produktai/finnfoam/> [Žiūrėta 2017.11.27].
13. Finnfoam naujiena - FF-PIR - poliuretano plokštės. Prieiga per internetą: <https://www.finnfoam.lt/produktai/ff-pir/> [Žiūrėta 2017.11.27].
14. Geoporos. Prieiga per internetą: <http://www.ukmergesgelzbetonis.lt/geoporos/> [Žiūrėta 2017.11.27].

15. **Gunnlaug Cecilie Jensen Skarning, Christian Anker Hviid, Svend Svendsen.** Roadmap for improving roof and façade windows in nearly zero-energy houses in Europe, 2016.
16. **Hwang, C. L., & Yoon, K.** Multiple attributes decision making methods and applications. Berlin, 1981.
17. India Zero Energy Buildings. Prieiga per internetą: <http://www.house-energy.com/NZEB/India-ZNEB.html> [Žiūrėta 2017.10.16].
18. India's first net zero energy building. Prieiga per internetą: <http://www.eco-business.com/news/indias-first-net-zero-energy-building/> [Žiūrėta 2017.10.21].
19. Ką turime žinoti apie statybinių medžiagų degumą. Prieiga per internetą: <http://www.renovacija.lt/naujiena/ka-turime-zinoti-apie-statybinu-medziagu-deguma/> [Žiūrėta 2017.11.18].
20. **Katrin Klingenberg, Mike Kernagis, Mike Knezovich.** Zero energy and carbon buildings based on climate-specific passive building standards for North America, 2016. Prieiga per internetą: <http://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1744259115621800> [Žiūrėta 2017.11.04].
21. Leading cities based on number of zero energy buildings in North America as of 2015. Prieiga per internetą: <https://www.statista.com/statistics/503553/net-zero-buildings-in-north-america-by-key-city/> [Žiūrėta 2017.10.15].
22. Mineralinės vatos rūšys ir savybės. Prieiga per internetą: [http://www.supernamai.lt/mineralines\\_vatos\\_rusys\\_ir\\_savybes/](http://www.supernamai.lt/mineralines_vatos_rusys_ir_savybes/) [Žiūrėta 2016.12.10].
23. **Omer Kaynakli.** A review of the economical and optimum thermal insulation thickness for building applications. 2012.
24. PAROC ROS 30g. Prieiga per internetą: <http://www.paroc.lt/gaminiai/-statybinės-konstrukcijos/ploksciuju-stogu-plokstes/paroc-ros-30g> [Žiūrėta 2017.11.27].
25. Pastato energetinio naudingumo klasės. Prieiga per internetą: <http://www.sodaskiemasnamas.lt/namas/94-pastatu-energinio-naudingumo-klases.html> [Žiūrėta: 2017.10.14].
26. **Rasa Džiugaitė-Tumėnienė.** Mažaenergio vienbučio namo aprūpinimo energija integruotas vertinimas. Vilniaus Gedimino Technikos Universitetas, 2015.
27. Residential Zero Net Energy Building Integration Cost Analysis. California Public Utilities Commission. Document No.: 10007451-HOU-R-02-D, 2017.
28. **Romualdas Ginevičius, Valentinas Podvezko.** Daugiakriterinio vertinimo būdų suderinamumas. Vilniaus Gedimino Technikos Universitetas, 2008.

29. **Rūta Simanavičiūtė.** Kiekybinių daugiatakslių sprendimo priėmimo metodų jautrumo analizė. Daktaro disertacija. – Vilnius: Leidykla Technika, 2011. – 134 puslapiai.
30. **Sarika Malhotra.** Zero-energy buildings, 2015.
31. **Steven Winter Associates, Inc.** Net Zero Energy Buildings. Updated: 08-02-2016. Prieiga per internetą: <https://www.wbdg.org/resources/net-zero-energy-buildings> [Žiūrėta 2017.11.16].
32. **STR 2.01 02:2016** Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas. Aktuali redakcija 2017.09.20.
33. **Surabhi Nigam, Savita Vyas, Anoop Shrivastava.** Performance Analysis of EPCO building through Electrical Energy Audit, 2016.
34. Šiloporos EPS 100. Prieiga per internetą: <https://www.kaunosilas.lt/gaminiai/siloporos-eps-100.html> [Žiūrėta 2017.11.27].
35. Šiloporos EPS 150. Prieiga per internetą: <https://www.kaunosilas.lt/gaminiai/siloporos-eps-150.html> [Žiūrėta 2017.11.27].
36. Šiloporos Neo. Prieiga per internetą: <http://www.kaunosilas.lt/pdf/siloporasneo.pdf> [Žiūrėta 2017.11.27].
37. The European Near Zero energy buildings project: the greatest energy and green building project ever. Prieiga per internetą: <http://www.house-energy.com/NZEB/UE-ZNEB.html> [Žiūrėta 2017.10.28].
38. **Vala M., Aviža D.** A++ Klasės pastato stogo atitvarų termoizoliacinio sluoksnio daugiakriterinis vertinimas, Panevėžys, 2017. – 5 puslapiai.
39. **Valentinas Podvezko.** The Comparative Analysis of MCDA Methods SAW and COPRAS. Vilnius, 2011.
40. Zero Net Energy Buildings in the United States. Prieiga per internetą: <http://www.house-energy.com/NZEB/USA-ZNEB.html> [Žiūrėta 2017.10.14].
41. Viešai prieinamas sutapdinto stogo termoizoliacijos parinkimo įrankis (sukūrė autorius): [https://docs.google.com/spreadsheets/d/1BdxKw\\_NT\\_E1pRFzyQZTju7czM2Qb7N06qL27qbsRqlg/edit?usp=sharing](https://docs.google.com/spreadsheets/d/1BdxKw_NT_E1pRFzyQZTju7czM2Qb7N06qL27qbsRqlg/edit?usp=sharing)





KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS  
 Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

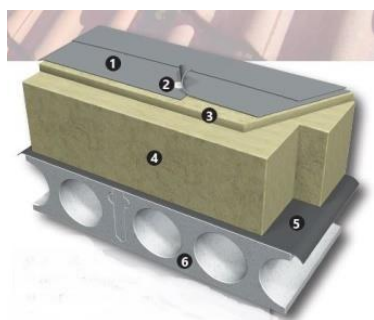
## APKLAUSA

### A++ klasės pastato sutapdinto stogo kriterijų reikšmingumo vertinimas

#### Mindaugas Vala

Kauno technologijos universitetas Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

#### Stogo detalė, kurioje yra lyginama termoizoliacija.



Stogo detalė ant kiaurymėtos g/b perdangos plokštės: (1) Stogo dangą; (2) Tvirtinimo elementai; (3) Kietą akmens vatą; (4) Termoizoliacija; (5) Garo izoliacija; (6) G/b plokštė.

#### Apklauskos aprašymas.

Esu Statybos magistrantas Kauno technologijos universitete, Panevėžio technologijų ir verslo fakultete. Rašau darbą tema "A++ klasės pastato sutapdinto stogo termoizoliacinio sluoksnio daugiakriterinis vertinimas". Šiam darbui atlikti man yra reikalinga statybos specialistų nuomonė apie stogo termoizoliacijos kriterijų reikšmingumą. Yra parinkti šeši kriterijai. Prašau išreikšti savo nuomonę, kriterijus įvertinant procentais pagal jų reikšmingumą renkantis stogo termoizoliaciją.

#### Vertinimas.

| Stogo termoizoliacijos kriterijų vertinimas, pagal reikšmingumą. | Kriterijai |        |       |                   |                    |         |
|--|------------|--------|-------|-------------------|--------------------|---------|
|  | Storis     | Svoris | Kaina | Stipris gniuždant | Ilgalaikis įmirkis | Degumas |
| Įvertinimas, %<br>(vertinimų suma = 100%)                        |            |        |       |                   |                    |         |

#### Informacija apie vertinimo lentelę užpildžiusį specialistą:

| Vardas, Pavardė | Įmonė/Įstaiga | Pareigos |
|-----------------|---------------|----------|
|                 |               |          |

Ačiū už Jūsų laiką.