



**Kauno technologijos universitetas**  
Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

**Antrinės saulės energijos kaip atsinaujinančio šaltinio  
panaudojimo mažaaukštei gyvenamajai statybai palyginamoji  
analizė**

Baigiamasis magistro projektas

---

**Daiva Šantarytė**  
Projekto autorė

**doc. dr. Loreta Kelpšienė**  
Vadovė

---

**Panevėžys, 2019**



**Kauno technologijos universitetas**  
Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

**Antrinės saulės energijos kaip atsinaujinančio šaltinio  
panaudojimo mažaaukštei gyvenamajai statybai palyginamoji  
analizė**

Baigiamasis magistro projektas  
Statybos valdymas (6211EX007)

---

**Daiva Šantarytė**  
Projekto autorė

**doc. dr. Loreta Kelpšienė**  
Vadovė

Recenzentas

---

**Panevėžys, 2019**



**Kauno technologijos universitetas**  
Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas  
**Daiva Šantarytė**

# **Antrinės saulės energijos kaip atsinaujinančio šaltinio panaudojimo mažaaukštei gyvenamajai statybai palyginamoji analizė**

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Daivos Šantarytės, baigiamasis projektas tema „Antrinės saulės energijos kaip atsinaujinančio šaltinio panaudojimo mažaaukštei gyvenamajai statybai palyginamoji analizė“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nėra 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 mokėjusi.

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

---

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

---

(parašas)



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETO  
PANEVĖŽIO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLO FAKULTETO  
TECHNOLOGIJŲ IR VERSLUMO KOMPETENCIJŲ CENTRAS**

**TVIRTINU**  
TVKC vadovė  
doc. dr. Nida Kvedaraitė

**BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS**

Diplomantui **Daiva Šantarytei**

Baigiamojo projekto tema (lietuvių kalba)	<i>Antrinės saulės energijos kaip atsinaujinančio šaltinio panaudojimo mažaaukštei gyvenamajai statybai palyginamoji analizė</i>
Baigiamojo projekto tema (anglų kalba)	<i>Comparative Analysis of the Use of Secondary Solar Energy as a Renewable Source for Low-Rise Residential Construction</i>

Patvirtinta 2018 m. spalio mėn. 31 d. dekanu potvarkiu Nr. V25-13-26.

Irišto baigiamojo projekto pateikimo į TVKC terminas iki 2019 m. sausio 3 d.

Duomenys, reikalavimai ir sąlygos baigiamajam projektui

Tyrimų tikslas – atlikti antrinių saulės energijos šaltinių: granulinių katilų, šilumos siurblių oras/vanduo ir geoterminių sistemų – panaudojimo mažaaukštėje gyvenamojoje statyboje palyginamąją analizę.

Darbas turi būti atliktas laikantis magistro darbui keliamų reikalavimų.

Baigiamojo projekto užduotys / uždaviniai / klausimai, kurie turi būti atskleisti projekte:

- atlikti literatūros apie skirtingų pasaulio šalių patirtį atsinaujinančios energijos naudojimo gyvenamosios statybos sektoriuje apžvalgą;
- išanalizuoti tokius antrinės saulės energijos šaltinius kaip granulinius katilus, šilumos siurblius oras/vanduo ir horizontalius geoterminus įrenginius;
- charakterizuoti daugiakriterės analizės metodą TOPSIS ir pagrįsti jo taikymą tyrimo duomenų apdorojimui;
- susisteminti tyrimo duomenis ir nustatyti antrinės saulės energijos šaltinių naudojimo mažaaukštei gyvenamajai statybai efektyvumą.

Vadovė  
*(parašas, pareigos, vardas, pavardė)*

doc. dr. Loreta Kelpšienė

Užduotį gavau  
*(studento parašas, vardas, pavardė)*

Daiva Šantarytė

2018 m. lapkričio mėn. 15 d.

Šantarytė, Daiva. *Antrinės saulės energijos kaip atsinaujinančio šaltinio panaudojimo mažaaukštei gyvenamajai statybai palyginamoji analizė*. Magistro baigiamasis projektas / vadovė doc. dr. Loreta Kelpšienė; Kauno technologijos universitetas, Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis: statybos inžinerija, inžinerijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: saulė, energija, geoterminis, granulinis, oras-vanduo, šildymas.

Panevėžys, 2019. 59 p.

## SANTRAUKA

Antrinės saulės energijos kaip atsinaujinančio šaltinio panaudojimo mažaaukštei gyvenamajai statybai palyginamoji analizė yra labai svarbi ir aktuali tema, ypač Lietuvoje, kurioje vyksta perėjimo prie aukštesnės mažaaukštės gyvenamosios statybos energetinio naudingumo klasės procesas. Kadangi namų ūkiai daugiausia energijos sunaudoja šildymui, baigiamojo darbo tyrimo *objektu* pasirinkti atsinaujinančios antrinės saulės energijos šaltinius naudojančios įrenginiai: granuliniai katilai, šilumos siurbliai oras-vanduo ir horizontalus geoterminis.

Darbo *tikslas* – taikant TOPSIS metodą iširti, kuris antrinės saulės energijos šaltinis yra tinkamiausias naudoti mažaaukštės gyvenamosios statybos pastatuose. Šiam tikslui pasiekti išsikeltas uždavinys – surinkti ir palyginti mažaaukštės gyvenamosios statybos pastatų (kuo panašesnių parametru) kiekvienos šildymo sistemos duomenis. Atlikus atsinaujinančios energijos šaltinių rodiklių tyrimą TOPSIS metodu nustatyta, kad idealiausia šildymo sistema, naudotina mažaaukštei gyvenamajai statybai, yra horizontalus geoterminis šilumos siurblys.

Šantarytė, Daiva. Comparative analysis of the use of secondary solar energy as a renewable source for low-rise residential construction. Master's Final Degree Project / prof. Loreta Kelpšienė; Panevėžys Faculty of Technologies and Business, Kaunas University of Technology.

Study field and area: Civil Engineering, Engineering Sciences.

Keywords: sun, energy, geothermal, granular, air - water, heating.

Panevėžys, 2019. Fifty-nine pages.

## SUMMARY

Comparative analysis of the use of secondary solar energy as a renewable source for low-rise residential construction is a very important and relevant topic, especially in Lithuania, where the process of transition to a higher low-rise residential energy efficiency class is underway. As households consume the most energy for heating purposes, the *object* of the final thesis is renewable solar energy sources devices for heating - granular boilers, heat pumps for air - water and horizontal geothermal.

*Purpose* of the thesis: using the TOPSIS method to investigate which solar power source is most suitable for low-rise residential construction. To achieve this, the task is to collect and compare data from low-rise residential buildings, as much as possible similar parameters, for each heating system. The results of the TOPSIS method for the analysis of renewable energy sources showed that the ideal heating system for low-rise residential construction is horizontal geothermal heat pump.

## TURINYS

<b>Paveikslų sąrašas.....</b>	<b>8</b>
<b>Lentelių sąrašas.....</b>	<b>10</b>
<b>Terminai ir apibrėžtys.....</b>	<b>11</b>
<b>Ižanga.....</b>	<b>12</b>
<b>1. Atsinaujinantys energijos ištekliai .....</b>	<b>14</b>
1.1 Atsinaujinančios energijos rūšys .....	14
1.1.1 Saulės energija.....	15
1.1.2 Geoterminė energija .....	17
1.2 Atsinaujinanti energija.....	19
1.2.1 Atsinaujinanti energija pasaulyje .....	19
1.2.2 Atsinaujinanti energija Vokietijoje.....	23
1.2.3 Atsinaujinanti energija Lietuvoje .....	25
<b>2. Tyrimo metodika.....</b>	<b>32</b>
2.1 Metodo pasirinkimas .....	32
2.1.1 SAW metodas.....	32
2.1.2 COPRAS metodas .....	33
2.1.3 TOPSIS metodas .....	33
2.2 Kriterijų rango nustatymo metodika.....	36
<b>3. Tyrimas .....</b>	<b>37</b>
3.1 Tyrimo objektas.....	37
3.1.1 Granuliniai katilai .....	39
3.1.2 Šilumos siurbliai oras-vanduo .....	40
3.1.3 Horizontalūs geoterminiai siurbliai .....	42
3.2 Kriterijų rango nustatymas .....	44
3.3 TOPSIS metodo skaičiavimo algoritmas .....	46
<b>Išvados.....</b>	<b>53</b>
<b>Literatūra .....</b>	<b>54</b>
<b>Priedai .....</b>	<b>58</b>

## PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

<b>1 pav.</b> AEI panaudojimo energijos šaltiniui galimybės .....	14
<b>2 pav.</b> Saulės vidinė ir atmosferos sandara: 1 – branduolys; 2 – spindulinė zona; 3 – konvekcinė zona; 4 – fotosfera; 5 – Saulės dėmės; 6 – flokulai; 7 – chromosfera; 8 – vainikas [3] .....	15
<b>3 pav.</b> Bendroji ir sugertoji Saulės spinduliuotė [4].....	16
<b>4 pav.</b> Lietuvos šilumos srautas ( $\text{mW}/\text{m}^2$ ) [7].....	17
<b>5 pav.</b> Klaipėdos pavyzdinės geoterminės jėgainės veikimo schema [9] .....	18
<b>6 pav.</b> 2016 m. pasaulio energijos šaltinių pasiskirstymas, tiekiant pirminę energiją [10] .....	19
<b>7 pav.</b> Pirminės energijos tiekimas pasaulyje 1990–2016 m. [11].....	20
<b>8 pav.</b> Atsinaujančios energijos šaltinių dalys [10].....	20
<b>9 pav.</b> Šilumos gamyba iš atsinaujinančių šaltinių ir atliekų (1990–2016 m.) [12].....	21
<b>10 pav.</b> AEI vartojimas įvairiuose sektoriuose, 2016 m. [10].....	21
<b>11 pav.</b> AEI dalis šilumos sąnaudos, 2010–2022 m. [13] .....	22
<b>12 pav.</b> TPES, pagal šaltinį, Vokietijoje (1990–2016 m.) [16].....	23
<b>13 pav.</b> Šilumos gamyba iš atsinaujinančių šaltinių ir atliekų Vokietijoje (1990–2016 m.) [18].....	24
<b>14 pav.</b> TPES, pagal šaltinį, Lietuvoje (1990–2016 m.) [22] .....	26
<b>15 pav.</b> Nekilnojamojo turto registre įregistruotų pastatų skaičiaus ir ploto pasiskirstymas pagal naudojimo paskirtį: 1 – vieno ir dviejų butų gyvenamieji namai; 2 – trijų ir daugiau butų gyvenamieji namai; 3 – gamybos, pramonės, sandėliavimo, transporto ir garažų paskirties pastatai; 4 – žemės ūkio paskirties pastatai; 5 – kultūros, mokslo ir sporto paskirties pastatai; 6 – viešbučių, prekybos, paslaugų, maitinimo ir poilsio paskirties pastatai; 7 – administracinės paskirties pastatai; 8 – sodų paskirties pastatai; 9 – specialiosios, religinės ir kitos paskirties pastatai; 10 – gyvenamieji namai įvairioms socialinėms grupėms; 11 – gydymo paskirties pastatai.....	27
<b>16 pav.</b> Šilumos gamyba iš atsinaujinančių šaltinių ir atliekų Lietuvoje (1990–2016 m.) [25] .....	29
<b>17 pav.</b> Daugiatikslių metodų klasifikacija [27] .....	32
<b>18 pav.</b> Granulinio katilo pjūvis ir sandara: 1 – įsiurbimo turbina granulių pernešimui; 2 – konteineris granulėms; 3 – automatiniis kuro uždegimas; 4 – degimo kamera; 5 – oro padavimo anga; 6 – automatiniis valymas spiraliniais turbulatoriais; 7 – automatiniis pelenų išnešimas sraigtu; 8 – integruoti visi saugos įrenginiai; 9 – išmetamųjų dūmų temperatūros daviklis; A – patentuotos vartomos grotelės; B – rotaciniis dozatorius; C – traukos ir pūtimo ventiliatorius; D – liambda zondas; E – valdymo pultas; F – grįžtamojo kontūro vandens temperatūros kėlimo modulis su siurbliu [28].....	39
<b>19 pav.</b> Granulių, šilumos energijos, konversijos algoritmas .....	40



<b>20 pav.</b> Šilumos siurblys oras-vanduo [30].....	40
<b>21 pav.</b> Šilumos siurblio principinė veikimo schema [31].....	41
<b>22 pav.</b> Oro, šilumos energijos, konversijos algoritmas .....	41
<b>23 pav.</b> Horizontalus geoterminis siurblys [34] .....	42
<b>24 pav.</b> Vertikalus geoterminis siurblys [35] .....	43
<b>25 pav.</b> Geoterminės, šilumos energijos, konversijos algoritmas .....	43
<b>26 pav.</b> Geriausio atsinaujinančios energijos šaltinio grafinis vaizdavimas .....	52

**LENTELIŲ SĄRAŠAS**

1 lentelė. Kriterijų vertinimas .....	36
2 lentelė. Apklausos duomenys .....	44
3 lentelė. Kriterijų rangas .....	46
4 lentelė. Sprendimų priėmimo matrica .....	46
5 lentelė. Normalizuota matrica.....	48
6 lentelė. Svertinė normalizuota matrica .....	50
7 lentelė. Idealiai geriausias ir idealiai blogiausias pasirinkimas .....	51
8 lentelė. Atstumai tarp idealiai geriausio ir idealiai blogiausio pasirinkimo .....	52

**TERMINAI IR APIBRĖŽTYS**

AEI – atsinaujinantys energijos ištekliai;

K – kelvinas, temperatūros matavimo vienetas;

kcal/cm<sup>2</sup> – kalorijos kvadratiname centimetre;

MJ/m<sup>2</sup> – megadžiauliai kvadratiname metre;

mW/m<sup>2</sup> – milivatai kvadratiname metre;

°C – celsijus, temperatūros matavimo vienetas;

TPES (Total primary energy supply angl.) – bendras pirminės energijos tiekimas;

Mtne – milijonai tonų naftos ekvivalento;

Ttne – tūkstančiai tonų naftos ekvivalento;

TJ – teradžiauliai.

## IŽANGA

**Tyrimo aktualumas ir reikšmingumas.** Kiekvienam mažaaukštės gyvenamosios statybos statytojui vienas iš svarbiausių klausimų yra šildymo sistemos pasirinkimas. Ši dilema ypač aktuali Lietuvoje, kurioje vyksta perėjimo prie aukštesnio pastatų energetinio naudingumo klasių procesas. Nuo 2018 m. sausio 1 d. leidimai statyti naują statinį išduodami tik aukštesnės nei A+ energetinio naudingumo klasės pastatams. Nuo 2021 m. sausio 1 d. įsigalios A++ energetinio naudingumo klasės reikalavimai pastatams. Norint pasiekti aukštą energetinio naudingumo klasę, būtina naudoti atsinaujinančius energijos šaltinius.

Pastato šildymo sistema lemia ne tik pradines investicijas, tačiau ir visą statinio gyvavimo laikotarpį, sistemos aptarnavimo, patalpų šildymo lėšas, kurios sudaro didžiausią pastato išlaikymo sąnaudų dalį. Dabartinė rinkos pasiūla, įstatymų reikalavimai labai apsunkina šildymo sistemų pasirinkimą. Informacija apie šildymo būdus šališka, nes dažniausiai pateikiama gamintojų, kurie suinteresuoti parduoti savo produktą. Dėl skirtingų klimato sąlygų užsienio šalių analize taip pat negalima remtis. Todėl labai aktualu ir svarbu įvertinti ir palyginti antrinės saulės energijos šildymo sistemas, reikšmingas ir tinkamas naudoti mažaaukštės gyvenamosios statybos sektoriuje.

**Tyrimo objektas.** Baigiamojo darbo objektas – atsinaujinančių antrinės saulės energijos šaltinių panaudojimo mažaaukštėje gyvenamojoje statyboje efektyvumas.

**Tyrimo tikslas ir uždaviniai.** Šio darbo *tikslas* – ištirti, kuris antrinės saulės energijos šaltinis yra tinkamiausias naudoti mažaaukštės gyvenamosios statybos sektoriuje.

Minėtam tikslui pasiekti išsikelti šie uždaviniai:

- atskleisti atsinaujinančios energijos naudojimo gyvenamosios statybos sektoriuje galimybes, remiantis skirtingų pasaulio šalių patirtimi;
- aptarti tokius antrinės saulės energijos šaltinių naudojimo įrenginius kaip:
  - granulinius katilus,
  - šilumos siurblius oras-vanduo,
  - horizontalius geoterminius šilumos siurblius;
- charakterizuoti daugiakriterės analizės metodą TOPSIS ir pagrįsti jo taikymą tyrimo duomenims apdoroti;
- susisteminti ir palyginti mažaaukštės gyvenamosios statybos pastatų, kuo panašesnių parametru, kiekvienos šildymo sistemos duomenis;

- pateikti tyrimo rezultatus ir išvadas.

**Tyrimo metodai.** Darbe taikomas TOPSIS (TOPSIS – Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) variantų racionalumo nustatymo artumo idealiajam taškui metodas.

Ekspertiniais metodais nustatyti antrinės saulės energijos šildymo sistemų skirtingų kriterijų prioritetai. Ekspertai turėjo įvertinti kriterijus balais pagal svarbą. Pateikti 8 kriterijai:

- šilumos kaina per metus EUR/m<sup>2</sup>;
- sistemos įrenginio kaina EUR;
- sistemos aptarnavimas (per metus h);
- sistemos ilgaamžiškumas;
- sistemos skleidžiamas garsas;
- CO<sub>2</sub> emisija;
- sistemai reikalinga vieta patalpose;
- sistemai reikalinga vieta lauke.

Mokslinės literatūros ir šaltinių analizės metodas darbe taikomas studijuojant atitinkamą Lietuvos ir užsienio šalių literatūrą.

Neformalizuotas stebėjimo metodas taikytas analizuojamiems duomenims surinkti.

**Darbo struktūra.** Magistro darbą sudaro įžanga, 3 skyriai, išvados ir rekomendacijos, literatūros sąrašas, 1 priedas, 26 paveikslai, 8 lentelės. Darbo apimtis – 59 puslapiai. Literatūros sąrašą sudaro 35 šaltiniai.

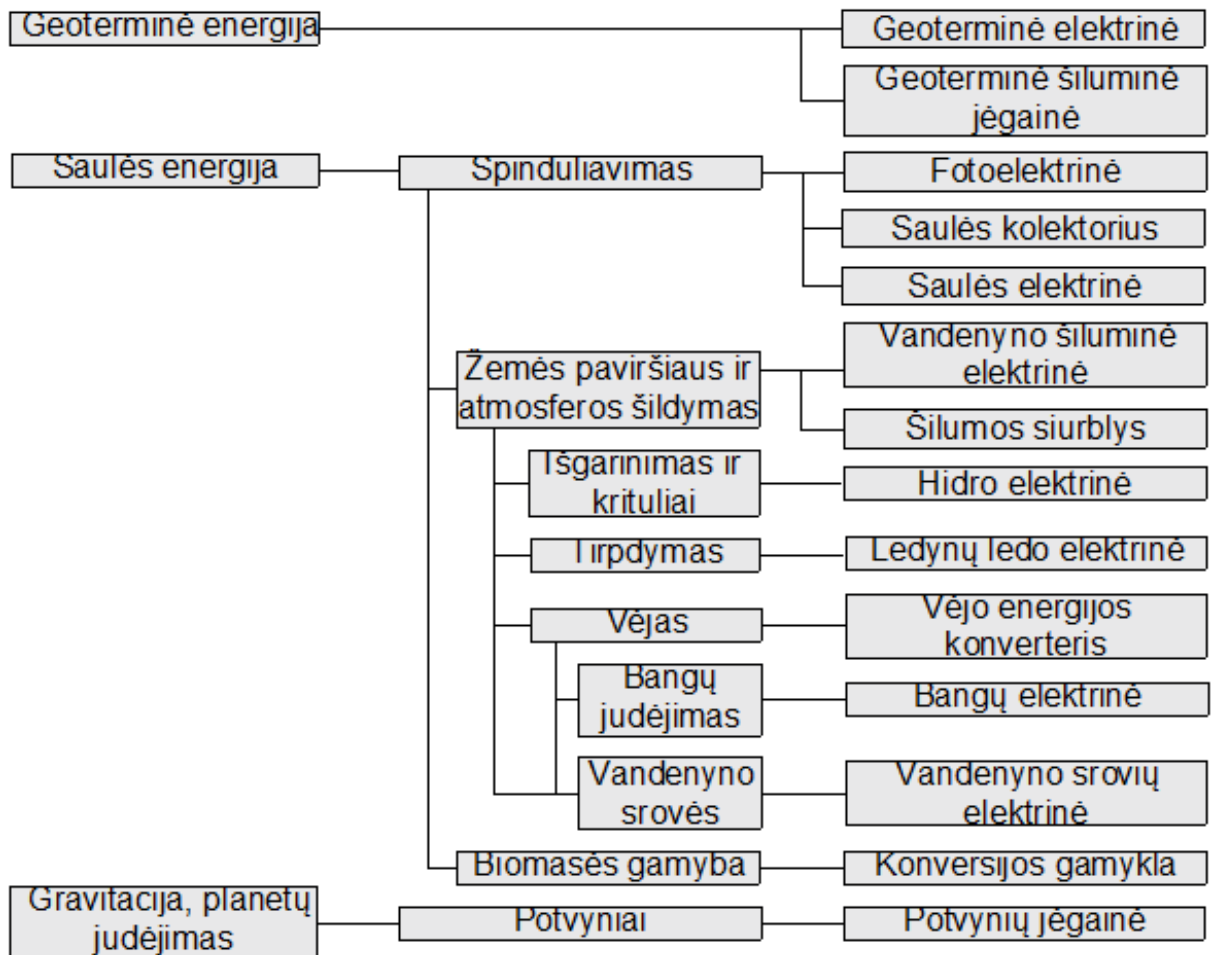
**Autoriaus publikuoti straipsniai:**

„Atsinaujinančių energijos šaltinių mažiauaukštei gyvenamajai statybai lyginamoji analizė“

# 1. ATSINAUJINANTYS ENERGIJOS IŠTEKLIAI

## 1.1 Atsinaujinančios energijos rūšys

Žemės egzistavimas be energijos – neįmanomas. Žemė naudoja tik 3 šaltinių atsinaujinančios energijos išteklius (toliau AEI): saulės, geoterminę bei gravitacijos energiją. Visos kitos energijų rūšys – pirminių trijų transformacijos rezultatas (žr. 1 pav.). Saulės energijos dalis sudaro daugiau kaip 99,9 proc. visų pirminių Žemės pasisavinamų AEI [2].

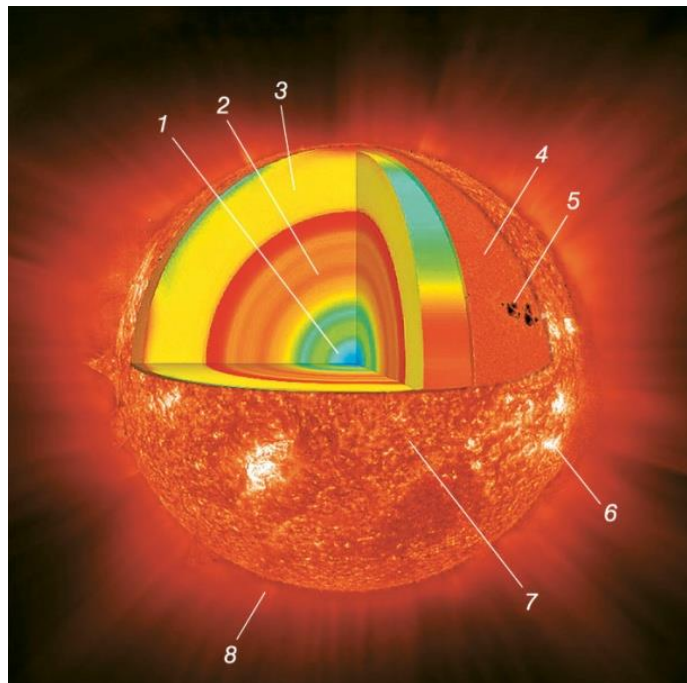


1 pav. AEI panaudojimo energijos šaltiniui galimybės

Kaip matyti, saulės energijos panaudojimo ir konvertavimo galimybės energijos šaltiniui yra plačiausios. Kur kas mažesnės yra geoterminės energijos panaudojimo perspektyvos. Visiškai ribotos yra potvynių energijos panaudojimo galimybės, nes jos įmanomos tik žemynų pakraščiuose. Kadangi Baltijos jūros potvyniai ir atoslūgiai yra vos pastebimi (1,5–3 cm), darbe jie nėra detaliau aptariami. Išsamiau analizuojamos atsinaujinančių saulės ir geoterminės energijos rūšių panaudojimo galimybės Lietuvos geografinėje zonoje.

### 1.1.1 Saulės energija

Saulė – artimiausia žvaigždė Žemei. Ji yra pagrindinė Saulės sistemos žvaigždė, aplink kurią skrieja kitos planetos ir Žemė. Tik dėl Saulės Žemėje egzistuoja gyvybė. Saulės energija reikalinga fotosintzei. Jos metu chlorofilo turintys organizmai organines medžiagas gaminasi iš neorganinių, taip pasigamindami maisto sau ir kitiems. Dėl fotosintezės Saulės energija susikaupė naudingose iškasenose, naftoje. Jos metu išsiskiriantis deguonis – gyvybės šaltinis daugeliui organizmų. Deguonis sudaro ozono sluoksnį aplink Žemę, kuris saugo gyvuosius organizmus nuo kenksmingos ultravioletinės Saulės spinduliuotės poveikio. Maži jos kiekiai naudingi. Ultravioletinė spinduliuotė turi antiseptinių savybių. Dideli kiekiai kenksmingi, sukelia ligas [3].



**2 pav.** Saulės vidinė ir atmosferos sandara: 1 – branduolys; 2 – spindulinė zona; 3 – konvekcinė zona; 4 – fotosfera; 5 – Saulės dėmės; 6 – flokulai; 7 – chromosfera; 8 – vainikas [3]

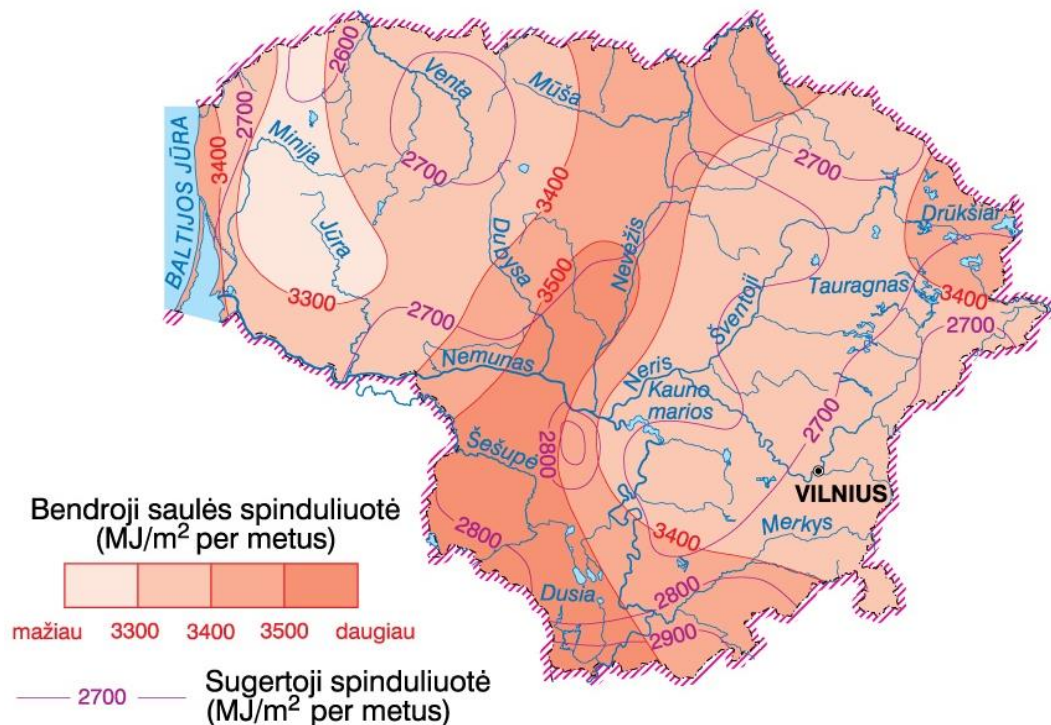
Saulė yra karštos plazmos kūnas, planetų šilumos ir šviesos šaltinis, kurios paviršiaus temperatūra 5780 K. Branduolio temperatūra siekia apie 15 milijonų K. Jame nuolat vyksta termobranduolinės protoninio ciklo reakcijos. Jų metu vandenilis ištirpsta iki helio. Gautas masės nuostolis virsta energija.

Maždaug 650 milijonų tonų per sekundę vandenilio pavirsta heliu. Reakcijos metu susidaręs skirtumas maždaug 4 milijonai tonų per sekundę virsta į energiją [2]. Branduolyje išsiskirianti energija patenka į erdvę skirtingai perėjusi Saulės sandaros sluoksnius (žr. 2 pav.). Branduolyje susidarę fotonai spinduliniu būdu skrieja spinduline zona. Pasiekę konvekcinę zoną, kurios storis apie 200 000 km,

keliauja konvekciniu būdu. Dėl to Saulės paviršius atrodo dėmėtas. Energija, palikusi Saulės paviršių, patenka į Visatą [3]. Tačiau Žemės paviršių pasiekia tik 47 proc. Saulės spinduliuotės energijos.

Saulės spinduliuotė – Saulės spinduliuojama energija. Ji susilpnėja kirsdama atmosferą, nes spinduliai yra laužiami ir virsta kitomis energijos formomis. Saulės spinduliuotė yra matuojama kcal/cm<sup>2</sup> per metus. Lietuvos bendroji Saulės spinduliuotė į horizontalų paviršių yra apie 3400 MJ/m<sup>2</sup>. Šis kiekis įsisavinamas labai skirtingai: nuo 1 proc. gruodžio mėn. iki 17 proc. birželį. Didžiausia bendroji Saulės spinduliuotė Lietuvoje tenka pietvakarinei daliai (3500 MJ/m<sup>2</sup>), mažiausia – Žemaičių aukštumos vakarinei daliai (2600 MJ/m<sup>2</sup>) [4].

Bendroji Saulės spinduliuotė Lietuvoje pavaizduota 3 paveiksle.



**3 pav.** Bendroji ir sugertoji Saulės spinduliuotė [4]

Saulės spinduliuotės sugėrimas ir albedas priklauso nuo paklotinio paviršiaus dangos. Albedas yra santykinis dydis ir parodo, kiek procentų spinduliuotės atspindi paviršius ar kūnas. Jis priklauso nuo paviršiaus spalvos, faktūros, Saulės aukščio virš horizonto. Žemės vidutinis albedas yra apie 30 proc., Lietuvos vidutinis albedas svyruoja nuo 15 iki 20 proc. Šviežio sniego atspindėjimas yra vienas iš didžiausių ir siekia net 90 proc., juodžemio – apie 11 proc. [5].

Sugertosios Saulės spinduliuotės kiekis per metus Lietuvos teritorijoje svyruoja nuo 2600 iki 2900 MJ/m<sup>2</sup> Saulės energijos. Šis kiekis per metus taip pat pasiskirsto labai netolygiai. Lietuvos teritorija

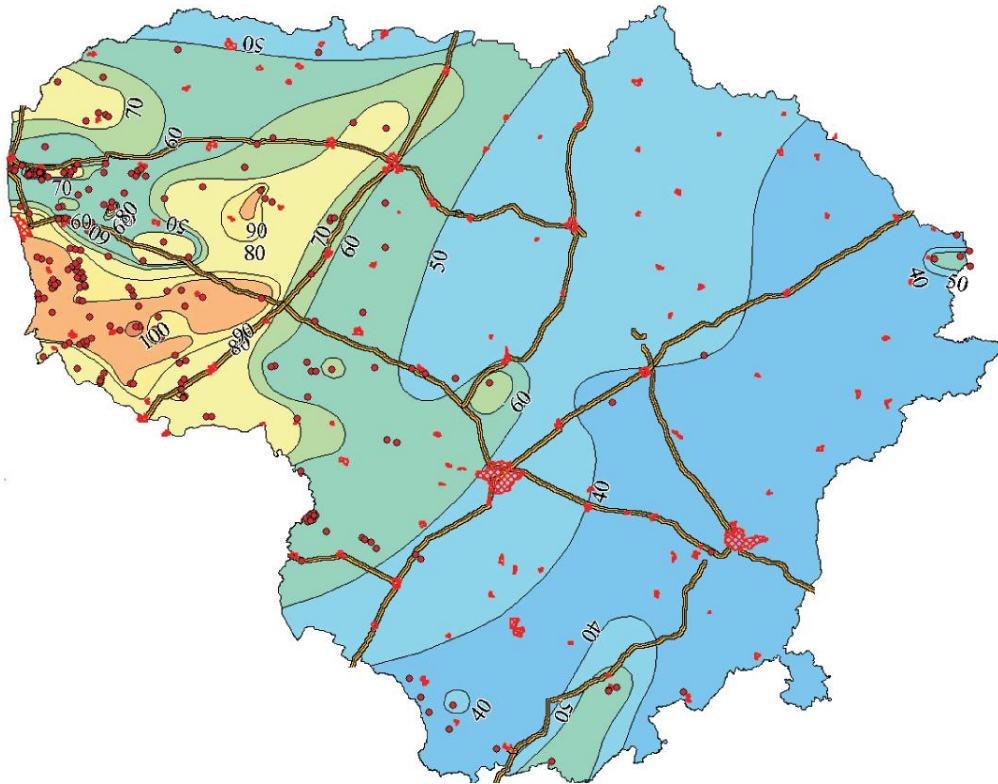


didžiausią Saulės energijos kiekį įsisavina vasarą –  $450 \text{ MJ/m}^2$ . Žiemą šis skaičius sumažėja iki  $20\text{--}25 \text{ MJ/m}^2$  [4]. Detali sugertoji Saulės spinduliuotė per metus Lietuvoje pavaizduota 3 paveiksle.

Nors šalies geografinė padėtis sudaro sąlygas gauti perpus mažiau Saulės energijos, lyginant su pusiauju, tačiau iš apžvelgtų skaičių akivaizdu, kad tai yra didžiuliai pirminiai Saulės energijos kiekiai, kurie yra antriniai AEI.

### 1.1.2 Geoterminė energija

Geoterminė energija Žemėje nepriklauso nuo pagrindinio, įvairių energijos rūšių pradinio šaltinio – Saulės. Geoterminė energija išsiskiria skylant kaliui, toriui, uranui. Galima teigti, kad geoterminė energija yra branduolinės energijos atmaina. Geoterminės energijos koncentracijos vietos Žemėje sudaro geotermines anomalijas. Geoterminė energija glūdi gilesniuosiuose Žemės sluoksniuose. Ji gali būti naudojama: buitinėms reikmėms; kaip šiluminė energija; balneologijoje; pramoninėms reikmėms; kaip pradinis energijos šaltinis elektros gamybai [6].

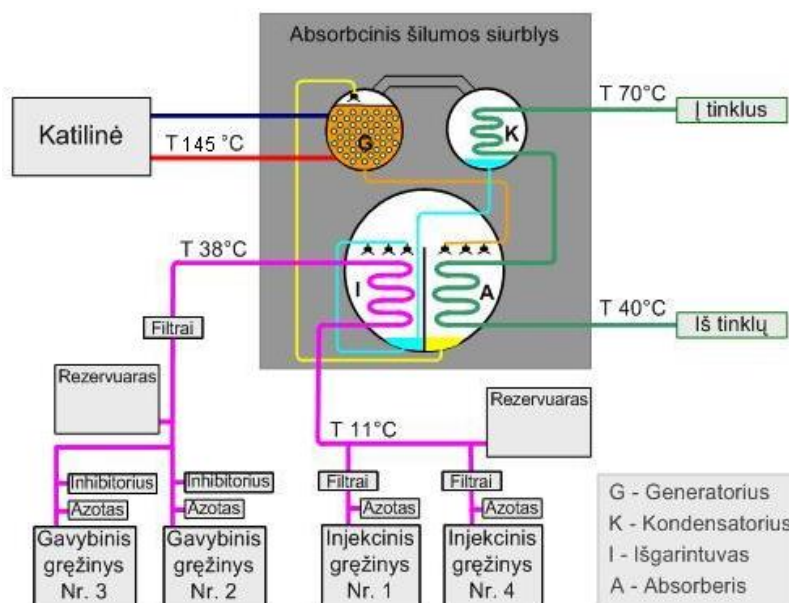


**4 pav.** Lietuvos šilumos srautas ( $\text{mW/m}^2$ ) [7]

Geoterminės energijos temperatūros padidėjimas gilėjant vadinamas geoterminiu žingsniu arba gradientu, o jos išsiskyrimas Žemės paviršiuje – šilumos srautu ir yra matuojamas milivatais kvadratiniam metre ( $\text{mW/m}^2$ ). Vidutinis žemyninės plutos paviršiaus šilumos srauto intensyvumas

siekia  $57\text{mW/m}^2$ , vandenyninės – apie  $100\text{ mW/m}^2$ . Lietuva patenka į Rytų Europos platformą. Tai vienos seniausių ir vėšiausių platformų, kurių šilumos srauto intensyvumas mažas [6]. Rytų ir Vidurio Lietuvos teritorijų geoterminis gradientas yra apie  $2\text{--}3\text{ }^\circ\text{C}/100\text{ m}$ , o šilumos srautas siekia  $45\text{ mW/m}^2$ . Tokiose vietovėse nepalanku plėtoti geoterminės energijos išgavimą dėl itin brangių technologijų. Tačiau Vakarų Lietuvoje plyti anomalija, kurios gradientas siekia  $3,5\text{--}4,0\text{ }^\circ\text{C}/100\text{ m}$ , o šilumos srauto intensyvumas  $70\text{--}100\text{ mW/m}^2$  [8]. Detalus šilumos srauto intensyvumas Lietuvoje pavaizduotas 4 paveiksle. Nustatyta geoterminė anomalija yra tik labai mažoje Lietuvos teritorijos dalyje. Geoterminė energija plačiausiai naudojama pastatų šildymui. Tai labai apriboja geoterminės energijos gavybą ir panaudojimą šalyje.

Lietuvos geoterminės energijos panaudojimo istorija prasidėjo Vydmantuose. Daržininkystės ūkyje 1989 m. buvo išgręžti du gilieji gręžiniai. Jų gylis siekė daugiau nei 2 km. Gręžiniai išbandyti 1993–1994 m. Geoterminio vandens temperatūra siekė apie  $74\text{ }^\circ\text{C}$ . Ūkis planavo geoterminės jėgainės statybą. Vydmantų daržininkystės ūkiui bankrutavus gręžiniai buvo užkonservuoti [9]. Realus geoterminės energijos įsisavinimas prasidėjo 2004 m. pastačius Klaipėdos pavyzdinę geoterminę jėgainę, kuri yra ir pirmoji tokio tipo Baltijos šalyse. Jėgainėje iš 1135 m išgaunamas  $38\text{ }^\circ\text{C}$  temperatūros vanduo. Šilumos siurblių pagalba vandens temperatūra padidinama ir perduodama Klaipėdos termofikaciniams tinklams (žr. 5 pav.). Vasarą ši jėgainė pagamina pusę Klaipėdos miestui reikalingos šilumos, o žiemą – dešimtadalį. Pastatyti jėgainei 2004 m. reikėjo 19,5 mln. JAV dolerių. Iš gręžinių įmanoma gauti iki  $700\text{ m}^3$  vandens per valandą, o grąžinti tik  $450\text{ m}^3$ .



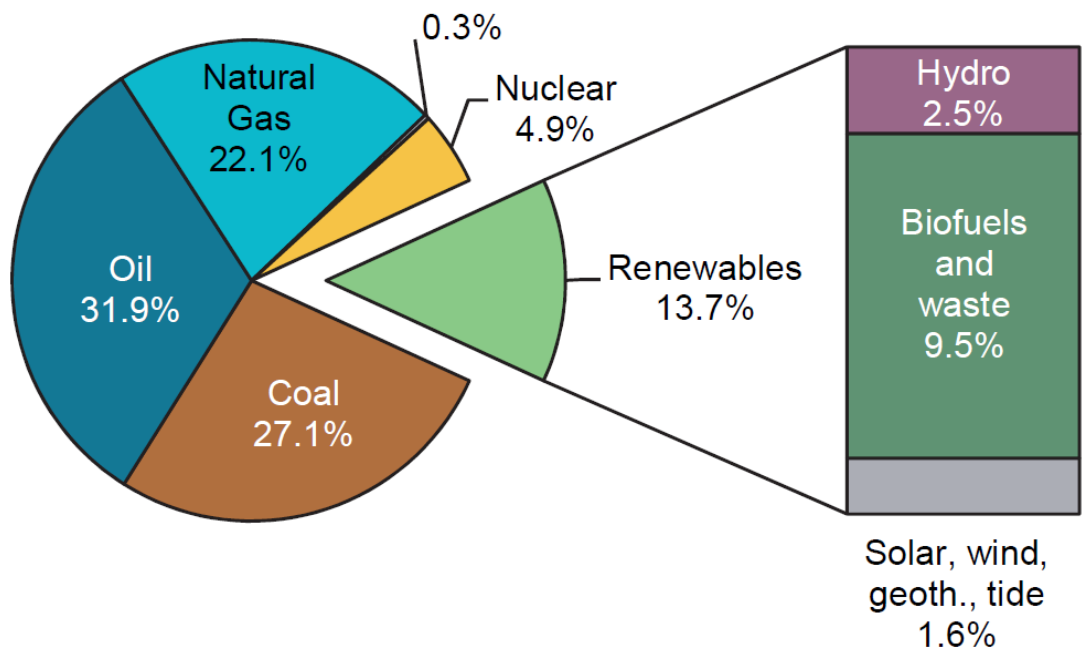
5 pav. Klaipėdos pavyzdinės geoterminės jėgainės veikimo schema [9]

Kai kalbama apie geoterminės energijos panaudojimą šilumos, elektros gamybai paprastai vartojami sekliosios ir giluminės geoterminės energijos terminai. Giluminės geoterminės energijos gavyba yra labai brangi, reikalauja išskirtinių gamtinių sąlygų, gavybos ir vartotojų lokacijos suderinamumo, nes išgaunami didžiuliai energijos kiekiai. Šalies teritorijoje mažaaukštei gyvenamajai statybai galima išnaudoti tik sekliuosius AEI. Sekliojoje geotermijoje taikomi 2 šilumos surinkimo būdai: vertikalūs ir horizontalūs kolektoriai.

## 1.2 Atsinaujinanti energija

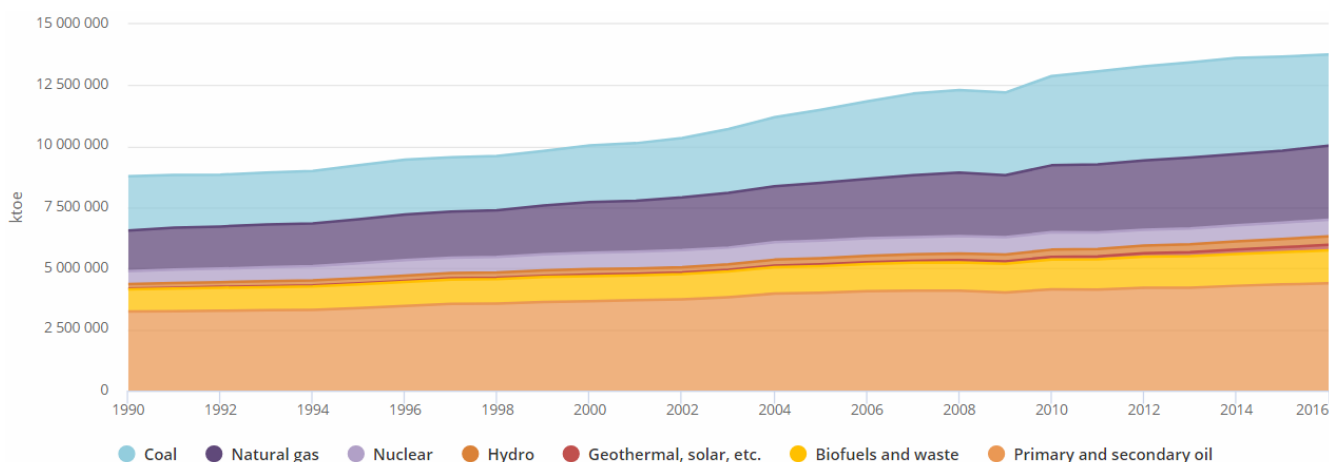
### 1.2.1 Atsinaujinanti energija pasaulyje

Remiantis 2018 m. tarptautinės energetikos agentūros ataskaita, 2016 m. pasaulio bendras pirminės energijos tiekimas (toliau TPES) buvo 13 761 milijonų tonų naftos ekvivalento (toliau Mtne), iš kurių 13,7 proc. arba 1 882 Mtne buvo pagaminta iš AEI (žr. 6 pav.).



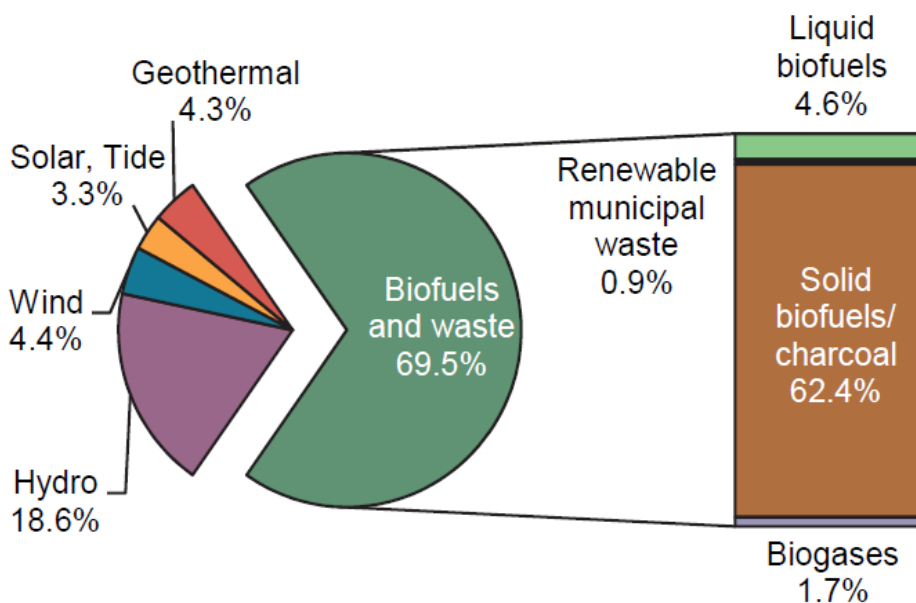
**6 pav.** 2016 m. pasaulio energijos šaltinių pasiskirstymas, tiekiant pirminę energiją [10]

Kaip matyti iš 7 paveiksle pateiktų duomenų, pirminės energijos tiekimo kiekis ir šaltinių santykis 1990–2016 m. pasaulyje ženkliai kito. Energijos poreikis išaugo beveik 1,6 karto: nuo 8 773 iki 13 761 Mtne. Per šį laikotarpį labiausiai didėjo geoterminės, saulės energijos tiekimas (nuo 37 iki 226 tūkstančių tonų naftos ekvivalento (toliau Ttne) [11].



**7 pav.** Pirminės energijos tiekimas pasaulyje 1990–2016 m. [11]

Dėl plačiai paplitusio naudojimo gyvenamųjų patalpų šildymui ir maisto ruošimui besivystančiose šalyse kietasis biokuras / medžio anglis yra didžiausia AEI dalis. Ji sudaro 62,4 proc. visų AEI (žr. 8 pav.).

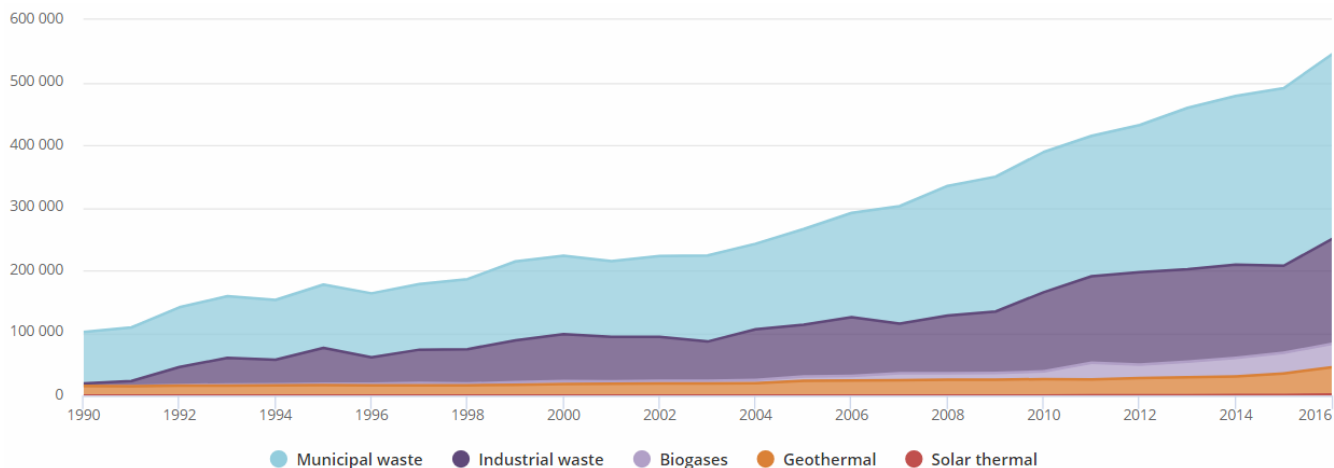


**8 pav.** Atsinaujančios energijos šaltinių dalys [10]

Akivaizdu, jog atsinaujinanti saulės energija kartu su potvynių energija sudaro 3,3 proc., o geoterminė energija – 4,3 proc. atsinaujančios energijos dalies.

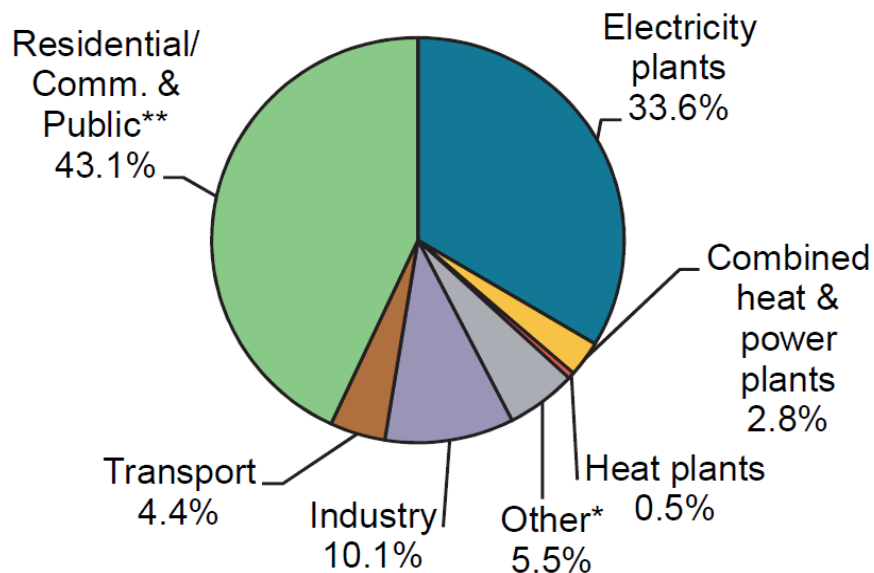
Šilumos gamyba iš atsinaujančių šaltinių ir atliekų pasaulyje per 26 m. pakito 5,4 karto: nuo 101 Ttne 1990 m. iki 545 Ttne 2016 m. (žr. 9 pav.). Šilumos gamyba iš saulės energijos tuo pačiu metu

išaugo net 261 proc. (nuo 6 TJ iki 1564 TJ), o iš geoterminės energijos – nuo 15 403 TJ iki 43 704 TJ [12].



**9 pav.** Šilumos gamyba iš atsinaujinančių šaltinių ir atliekų (1990–2016 m.) [12]

Remiantis 2016 m. pateiktais duomenimis, didžioji dalis AEI sunaudojama gyvenamajame, komerciniame ir viešųjų paslaugų sektoriuose – 43,1 proc. (žr. 10 pav.). Tai nulemia besivystančiose šalyse plačiai naudojamas kietasis kuras [10].



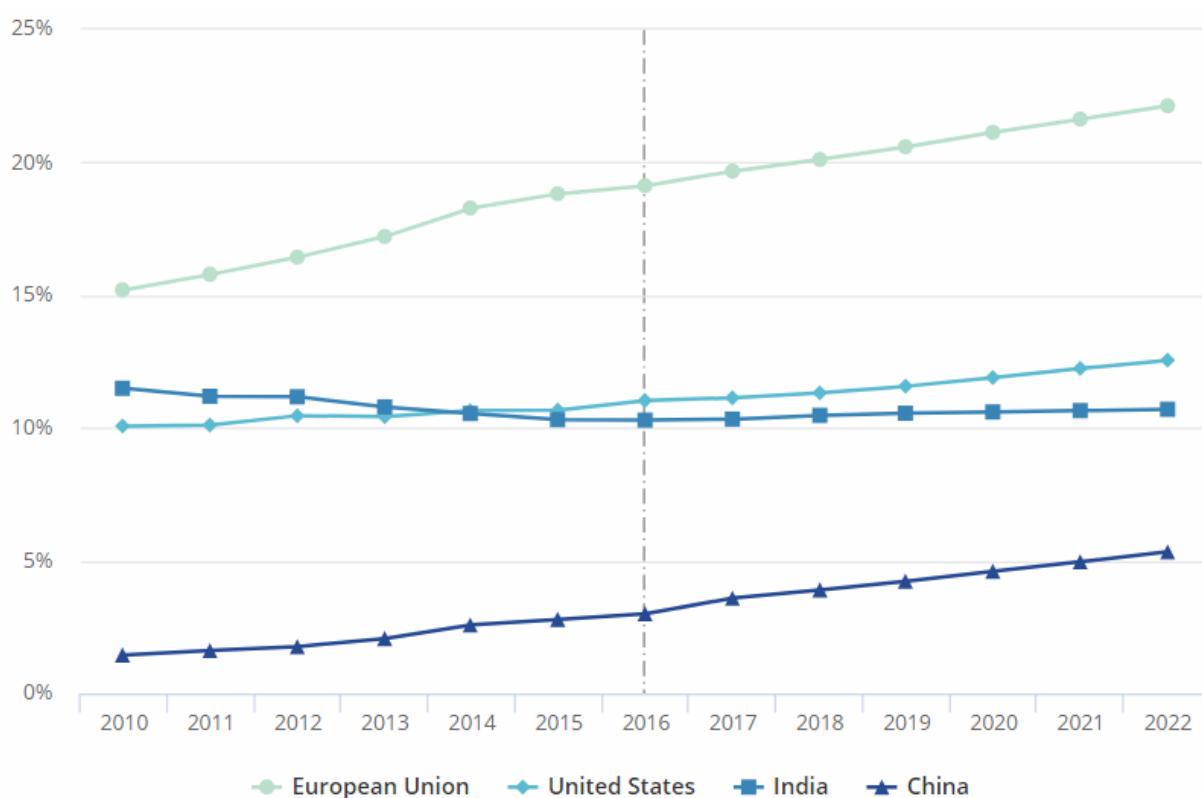
**10 pav.** AEI vartojimas įvairiuose sektoriuose, 2016 m. [10]

Pagal tarptautinės energetikos agentūros pateiktus duomenis, pasaulyje pramoninių procesų, vandens ir patalpų šildymui naudojama šiluma sudaro beveik 40% visų su energija susijusių išmetamo CO<sub>2</sub> kiekio [13]. Todėl išmetamas anglies dioksido kiekis išlieka svarbiu iššūkiu. AEI dalis šilumos

vartojimo srityje auga lėtai: nuo 9% 2015 m. iki prognozuojamų beveik 11% 2022 m. Didžiausią AEI dalį šilumos sąnaudose yra pasiekusi Europos Sąjunga. Prognozuojamu laikotarpiu ji taip pat lyderiauja. Kitos šalys pasiskirsto taip: Jungtinės Valstijos, Indija, Kinija (žr. 11 pav.).

Tikimasi, kad pastatų sektorius pirmaus naudodamas atsinaujinančią šilumą. Prognozuojama, jog sparčiausiai šioje srityje augs Kinija, Europos Sąjunga ir Šiaurės Amerika. Kinija ir Indija pastebi didelį atsinaujinančios šilumos vartojimo augimą pramonės srityje.

Viliamasi, jog bioenergija taps labiausiai naudojama kaip atsinaujinanti šiluma. Manoma, kad pasaulinis saulės šilumos energijos suvartojimas padidės daugiau nei trečdaliu, nors prognozuojama, kad augimas bus lėtesnis nei ankstesniais metais.



**11 pav.** AEI dalis šilumos sąnaudose, 2010–2022 m. [13]

Europos Sąjunga yra antroji pagal dydį augimo rinka dėl privalomų atsinaujinančiosios energijos direktyvos tikslų, ir ji išlieka pasaulinė lyderė absoliučiai atsinaujinančios energijos šilumos vartojimo požiūriu.

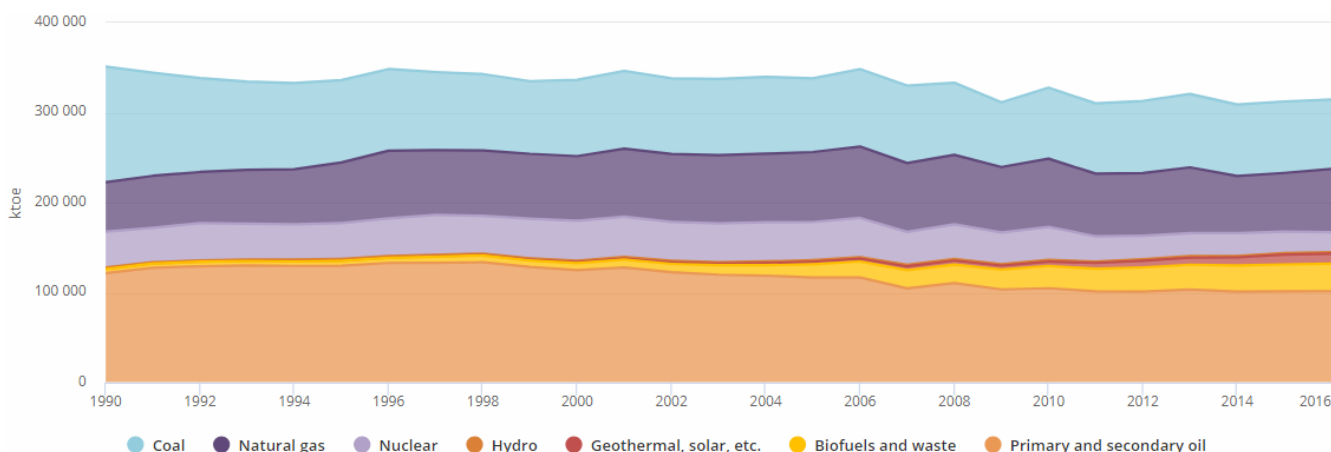
Siekiant sumažinti klimato kaitą ir skatinti AEI vartojimą Europos Parlamentas ir Taryba 2009 m. balandžio 23 d. priėmė direktyvą 2009/28/EB dėl skatinimo naudoti AEI [14]. Direktyvoje numatoma,

kad atsinaujinančių išteklių energija iki 2020 m. turi sudaryti 20 proc. bendro suvartojamo Bendrijos energijos kiekio, tačiau kiekviena valstybė narė turi sudaryti nacionalinį AEI veikslių planą.

### 1.2.2 Atsinaujinanti energija Vokietijoje

Vokietija yra lyderė tarp AEI naudotojų Europos žemyne. Šios šalies ekonomika – didžiausia Europoje. Nustatyta, kad AEI suvartojimo augimas 1 proc. padidina Vokietijos ekonomikos augimą 0,2194 proc. [15].

2016 m. bendras pirminės energijos tiekimas Vokietijoje sudarė apie 315 Ttne (žr. 12 pav.). Nuo 1990 m. jis sumažėjo apie 1,12 karto, kai per tą patį laikotarpį pasaulio TPES išaugo 1,6 karto. Geoterminės, saulės energijos tiekimas pakito net 646 proc.: nuo 17 Ttne 1990 m. iki 10 974 Ttne 2016 m. [16]. Šie skaičiai rodo neįtikėtinus Vokietijos pasiekimus skatinant vartoti AEI.



**12 pav.** TPES, pagal šaltinį, Vokietijoje (1990–2016 m.) [16]

Vokietija, įgyvendindama Europos Parlamento ir Tarybos direktyvą, iki 2020 m. turi pasiekti, kad AEI dalis pastatų šildymui ir vėsinimui sudarytų ne mažiau kaip 14 proc.

Energiewende (vok.) – energijos revoliucija, kurios siekis iki 2050 m. pereiti prie AEI. Pastatų šildymui ir vėsinimui sunaudojamą pirminę naftos ir dujų energiją Vokietijos vyriausybė iki 2050 m. siekia sumažinti 80 proc. Kad būtų pasiektas šis tikslas, pastatai taip pat turi būti energetiškai efektyvūs.

Šildymas sudaro daugiau nei pusę visos Vokietijos suvartojamos energijos. Beveik du trečdaliai šildymo ir karšto vandens sunaudojami 40 milijonų namų ūkių; likusi dalis pasiskirsto kituose sektoriuose.



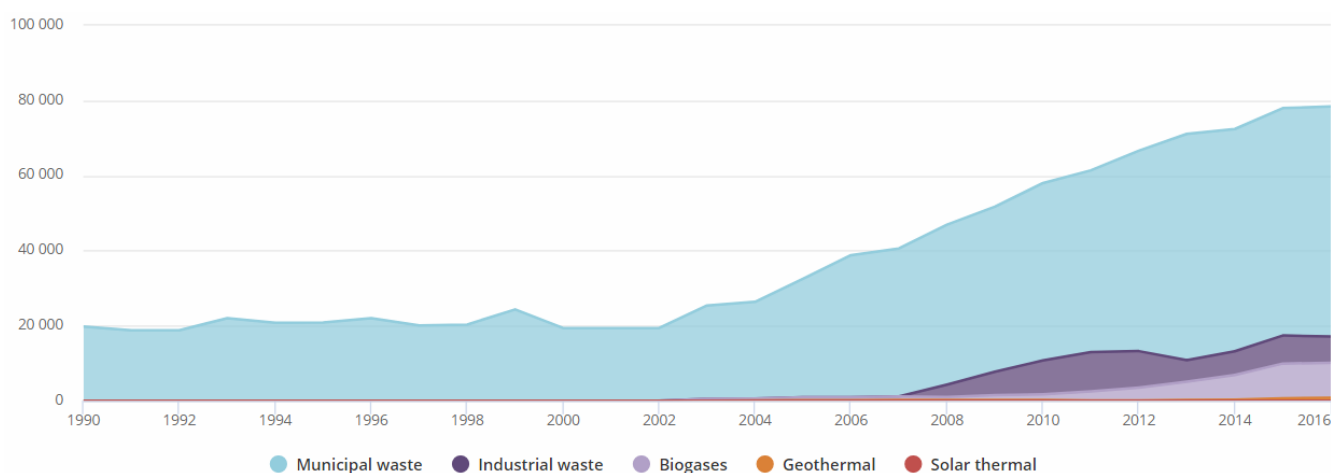
Dar 1976 m. per naftos krizę, Vokietijos vyriausybė priėmė pirmąją energijos taupymo aktą ir šiluminės izoliacijos potvarkį. Šalis greitai suprato, kiek energijos gali būti sutaupyta. Reikalavimų nuostatai buvo nuolat atnaujinami ir pritaikomi prie technikos pažangos.

Pagal AEI šilumos įstatymą, kuris nuo 2009 m. taikytinas visiems gyvenamiesiems pastatams, minimali suvartojamos energijos dalis turi būti iš AEI. Tai buvo galima įgyvendinti panaudojant saulės šiluminę energiją kartu su dujiniu, naftos šildymu arba įsirengti atsinaujinančios energijos sistemą – šilumos siurblių ar granulių katilą.

Tačiau 70 proc. visų gyvenamųjų pastatų Vokietijoje buvo pastatyti dar prieš pirmąją energijos taupymo aktą ir šiluminės izoliacijos potvarkį. Tai reiškia, kad pastatų šiluminė izoliacija nėra tinkama, o šildymui naudojamos senos, energetiškai neefektyvios sistemos, kaip naftos ar dujų katilai.

Vidutiniškai namų ūkis Vokietijoje sunaudoja 145 kWh kvadratiniam metrui gyvenamojo ploto per metus; energetiškai efektyvūs gyvenamieji pastatai – tik dešimtadalį šio kiekio. Pirminės energijos poreikis senuose pastatuose gali būti sumažintas 80 proc. didinant energijos vartojimo efektyvumą ir pereinant prie AEI. Tam reikia geresnės šiluminės izoliacijos, modernių šildymo ir aušinimo sistemų, geresnių valdymo technologijų.

Vien 2013 m. Vokietija investavo 55 milijonus eurų siekiant didesnio energijos efektyvumo. Šalies vyriausybė teikia dotacijas ir paskolas su mažomis palūkanomis kaip paskatas. Saulės šiluminės energijos jėgainės, biomasės šildymo sistemos ir šilumos siurbliai, kurie naudoja aplinkos temperatūrą, jau gamina apie 12 proc. šilumos kiekio Vokietijoje. Nuo 2000 m. Vokietijos vyriausybė teikia paskatas, kad pagreintų senųjų šildymo sistemų pakeitimą [17].



**13 pav.** Šilumos gamyba iš atsinaujinančių šaltinių ir atliekų Vokietijoje (1990–2016 m.) [18]



Šalies priemonių veiksmingumas, skatinant AEI vartojimą, atsispindi šilumos gamyboje iš atsinaujinančių šaltinių (žr. 13 pav.). Šilumos gamyba iš geoterminės energijos išaugo nuo nulio 1990 m. iki 797 TJ – 2016 m., o tuo pačiu laikotarpiu iš saulės energijos – nuo nulio iki 6 TJ [18].

Pasaulis stebisi Vokietijos užsibrėžtais tikslais ir jų masto dydžiu. Pertvarkydama savo energetikos sistemą, Vokietija rimtai prisiima atsakomybę už planetą ir jos gyventojus. Savo pavyzdžiu skatina pasaulio valstybes prisidėti prie AEI naudojimo didinimo, taršos mažinimo.

„Geriausia kilovatvalandė yra ta, kurios mes nesunaudojame“ – teigia Angela Merkel, Vokietijos kanclerė [19].

### 1.2.3 Atsinaujinanti energija Lietuvoje

Lietuvos nacionalinėje AEI plėtros strategijoje numatyta didinant AEI dalį šalies energijos balanse, elektros ir šilumos energetikos bei transporto sektoriuose kuo geriau patenkinti energijos poreikį vidaus ištekliais [20]. Atsisakyti importuojamo taršaus iškastinio kuro, taip padidinti energijos tiekimo saugumą, energetinę nepriklausomybę ir prisidėti prie tarptautinių pastangų mažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas.

Tikslas – užtikrinti, kad AEI dalis, palyginti su šalies bendru galutiniu energijos suvartojimu, 2008 m. sudariusi 15,3 proc., 2020 m. sudarytų ne mažiau kaip 23 proc., tai yra siekti:

1. AEI dalį, palyginti su transporto sektoriaus galutiniu energijos suvartojimu, padidinti nuo 4,3 proc. 2008 m. iki 10 proc. 2020 m.
2. Elektros energijos, pagamintos iš AEI, dalį, palyginti su bendru šalies elektros energijos suvartojimu, padidinti nuo 4,9 proc. 2008 m. iki 21 proc. 2020 m.
3. AEI dalį šildymo ir vėsinimo sektoriuje, palyginti su šio sektoriaus galutiniu energijos suvartojimu, padidinti nuo 28 proc. 2008 m. iki 36 proc. 2020 m., taip pat centralizuotai tiekiamos šilumos, pagamintos iš AEI, dalį padidinti nuo 14,9 proc. 2008 m. iki 50 proc. 2020 m.

Uždaviniai:

1. Derinti atskirų sektorių rinkos dalyvių veiksmus ir į AEI naudojimo skatinimą įtraukti savivaldybes.
2. Parengti ir įgyvendinti paramos schemas, kurios sukurtų palankias sąlygas naudoti AEI, teikti pirmenybę projektams, kurie su mažiausiomis sąnaudomis duotų didžiausią efektą ir užtikrintų galimybę kiekvienam potencialiam investuotojui dalyvauti su AEI susijusioje veikloje, laikantis skaidrių, paprastų, nediskriminacinių ir viešos atrankos procedūrų.
3. Užtikrinti, kad visos AEI projektams skirtos administracinės procedūros būtų proporcingos, paprastos ir skaidrios.

4. Veiksmingai plėtojant elektros energetikos, šilumos energetikos ir dujų infrastruktūrą, sudaryti palankias ir skaidrias sąlygas įgyvendinti AEI projektus ir derinti AEI plėtrą su paskirstytosios (decentralizuotos) generacijos principais.

5. Didinti visų rūšių biomasės panaudojimą šilumos ir elektros energijai gaminti.

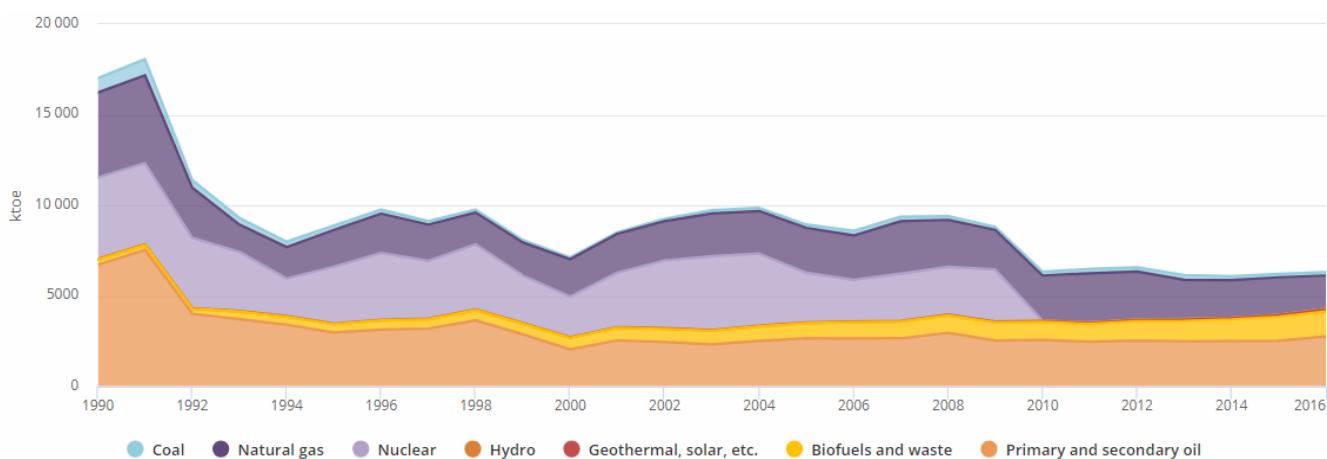
6. Didinti AEI ir elektros energijos naudojimą transporto sektoriuje – užtikrinti, kad biodegalai ir kiti skystieji bioproduktai atitiktų tvarumo kriterijus.

7. Vykdyti mokslinius tyrimus, bandomuosius projektus, taikomuosius darbus, informavimo ir šviečiamąją veiklą AEI naudojimo klausimais.

Taigi Lietuva turi užtikrinti, kad 2020 m. AEI dalis sudarytų ne mažiau kaip 23 proc. suvartotos energijos. Šį ambicingą tikslą Lietuva pasiekė jau 2014 m. – 23,66 proc. [21].

Vienas iš didžiausių iššūkių Lietuvai energetikos sektoriuje stojant į Europos Sąjungą buvo atominės energijos atsisakymas. Jis iš dalies buvo kompensuotas didžiulio energijos kiekio vartojimo sumažėjimo ir dujų kiekio tiekimo išaugimu (žr. 14 pav.), kuris įgyvendinant Europos Parlamento ir Tarybos direktyvą, palaipsniui keičiamas biokuro ir atliekų naudojimu.

Geoterminės ir saulės energijos vartojimas Lietuvoje pirmą kartą fiksuojamas 2005 m. – 3 Ttne. Akivaizdu, kad tai lėmė Klaipėdos geoterminės jėgainės atidarymas 2004 m. 2016 m. geoterminės ir saulės energijos vartojimas siekia net 105 Ttne [22].



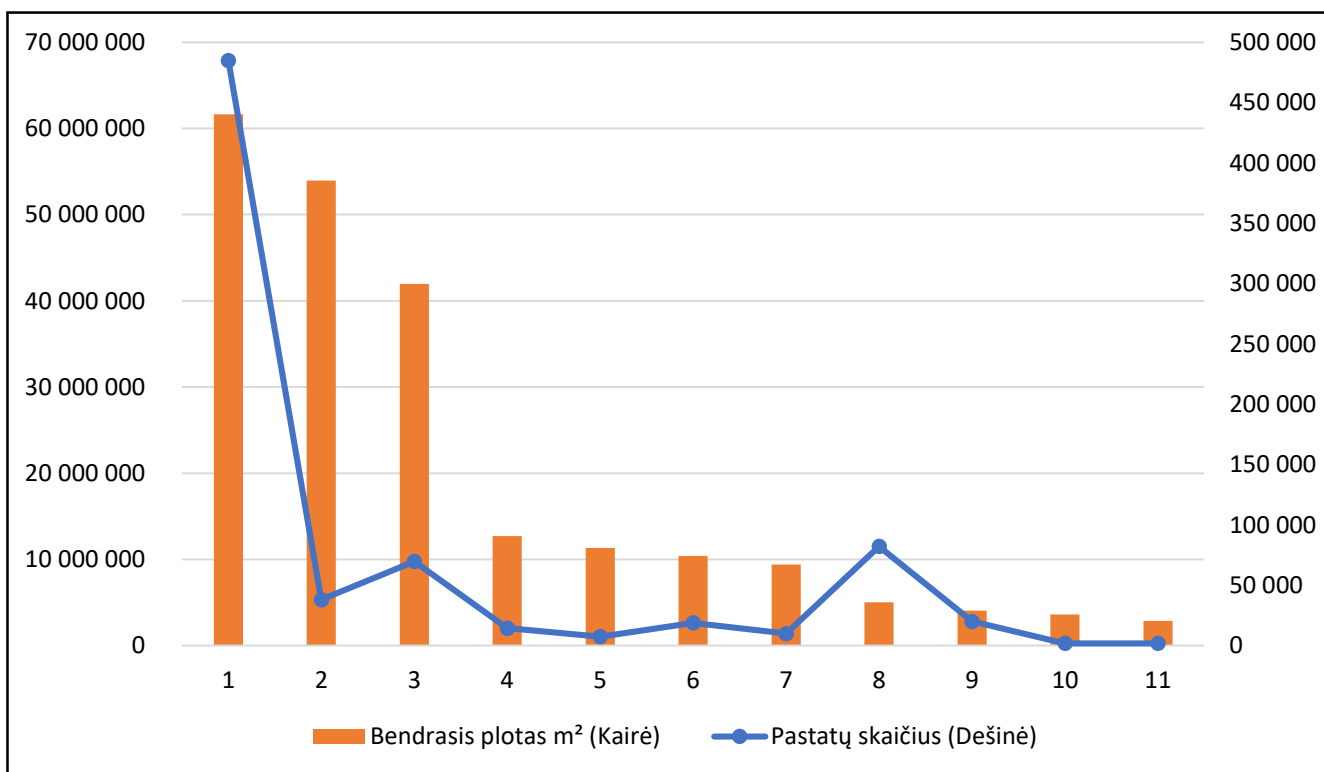
**14 pav.** TPES, pagal šaltinį, Lietuvoje (1990–2016 m.) [22]

Lietuvos nacionalinei AEI plėtros strategijai įgyvendinti numatyta daug priemonių. Mažaaaukštę gyvenamąją statybą labiausiai palietė pastatų energetinio naudingumo klasių reikalavimai.

Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija pagal naudojimo pobūdį mažaukščių gyvenamųjų namų teritorijoms priskiria žemės sklypus, kuriuose yra esami arba numatomi statyti vieno ar trijų aukštų gyvenamieji namai ir jų priklausiniai [23].

Lietuvos Respublikos nekilnojamojo turto registre įregistruotų statinių apskaitos 2018 m. sausio 1 d. duomenimis Lietuvoje įregistruotų vieno ir dviejų butų gyvenamųjų namų buvo:

- 484 691 vnt.;
- 61638507 m<sup>2</sup> – bendro ploto;
- 232087554 m<sup>3</sup> – tūrio;
- 127 m<sup>2</sup> – vidutinio bendro ploto;
- 479 m<sup>3</sup> – vidutinio bendro tūrio [24].



**15 pav.** Nekilnojamojo turto registre įregistruotų pastatų skaičiaus ir ploto pasiskirstymas pagal naudojimo paskirtį: 1 – vieno ir dviejų butų gyvenamieji namai; 2 – trijų ir daugiau butų gyvenamieji namai; 3 – gamybos, pramonės, sandėliavimo, transporto ir garažų paskirties pastatai; 4 – žemės ūkio paskirties pastatai; 5 – kultūros, mokslo ir sporto paskirties pastatai; 6 – viešbučių, prekybos, paslaugų, maitinimo ir poilsio paskirties pastatai; 7 – administracinės paskirties pastatai; 8 – sodų paskirties pastatai; 9 – specialiosios, religinės ir kitos paskirties pastatai; 10 – gyvenamieji namai įvairioms socialinėms grupėms; 11 – gydymo paskirties pastatai.

15 paveiksle iliustruojama, kad visų įregistruotų pastatų Lietuvoje kontekste šie skaičiai yra vieni didžiausių. Suvartojami didžiuliai energijos kiekiai pastatams šildyti, teršiama aplinka. Remiantis Lietuvos statistikos departamento duomenimis, 2017 m. galutinis namų ūkių suvartojamos energijos kiekis sudarė 27,2 proc. Palyginus su 2016 m., tai 1,5 proc. daugiau [21].

Kaip matyti iš 15 paveiksle pateiktos informacijos, didžiausius pastatų plotus mūsų šalyje sudaro vieno ir dviejų butų gyvenamieji namai bei trijų ir daugiau butų gyvenamieji namai. Tai yra daugiausia energijos šildymui sunaudojančios, aukščiausią temperatūrą palaikančios patalpos, kuriose vidutiniškai turi būti užtikrinta 18–22 °C temperatūra šaltuoju metų laiku.

Lietuvoje egzistuoja dvi šildymo sistemos – centralizuota šildymo sistema ir individuali šildymo sistema. Daugiabučiai gyvenamieji namai naudoja centralizuotai tiekiamą šilumą, kuri turi labai daug privalumų:

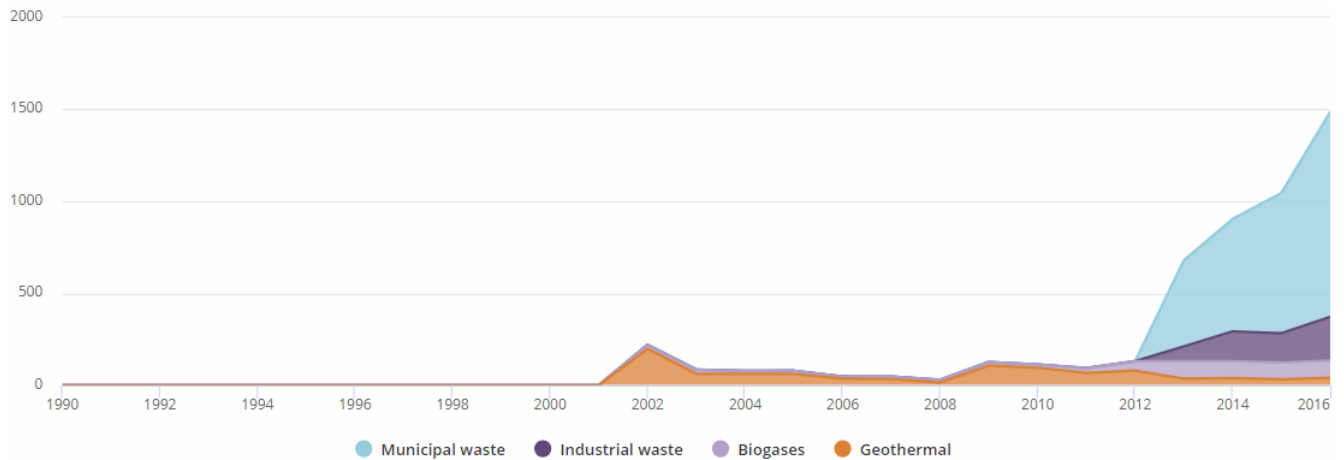
- yra pigesnė;
- mažiau teršia aplinką;
- nesukelia gaisro pavojaus;
- patogesnė: vartotojams nereikia rūpintis kuru, atliekų utilizavimu, šildymo sistema;
- nereikalingos pradinės investicijos šildymo sistemai;
- paprasčiau pakeisti pradinę energijos šaltinį;
- lengviau kontroliuoti keliamą taršą;
- neužimamas patalpų plotas šildymo įrenginiams, kurui.

Tačiau mažaukštė gyvenamoji statyba Lietuvoje naudoja individualias šildymo sistemas, kurios lyginant su centralizuotomis:

- yra brangesnės;
- ženkliai daugiau teršia aplinką;
- išlieka nuolatinis gaisro, sprogimo, apsinuodijimo (dujomis, smalkėmis) pavojus;
- reikia rūpintis kuru, atliekomis, šildymo sistema;
- sudėtinga pakeisti pradinę energijos šaltinį;
- beveik neįmanoma kontroliuoti keliamos taršos;
- šildymo įrenginiams bei kurui reikalingos patalpos.

Daugiabučių naudojama centralizuota šildymo sistema ženkliai pranašesnė. Šiuo metu didžioji dalis centralizuotų šilumos tiekėjų įrenginių, gaminančių šilumą, jau yra arba numatomi modernizuoti, pritraukiant ir panaudojant Europos Sąjungos lėšas bei įgyvendinant Europos Parlamento ir Tarybos atsinaujinančiosios energijos direktyvą. Atnaujintos katilinės energijos gamybai naudoja

atsinaujinančius šaltinius, biokurą, atliekas. Šie radikalūs pokyčiai lėmė šilumos gamybos augimą iš komunalinių atliekų nuo nulio 2012 m. iki 1114 TJ šilumos kiekio 2016m. (žr. 16 pav.).



**16 pav.** Šilumos gamyba iš atsinaujinančių šaltinių ir atliekų Lietuvoje (1990–2016 m.) [25]

Tai sudaro galimybes žymiai sumažinti aplinkos taršą ir gaminamos šilumos kainą galutiniams vartotojams bei padidinti AEI procentinę dalį. Be to, taip sumažinamas importuojamo kuro kiekis, didinama šalies energetinė nepriklausomybė ir mažinama priklausomybė nuo šalių, iš kurių tas kuras importuojamas. Lietuvos statistikos departamento duomenimis, 2017 m. energetinės priklausomybės rodiklis sudarė 72,9 proc. ir palyginti su 2016 m. sumažėjo 2,4 proc. punkto, nors vis dar gerokai viršijo Europos Sąjungos vidurkį, kuris 2016 m. buvo 53,6 proc. [21].

Tačiau vien centralizuotos šildymo sistemos modernizavimo nepakanka, siekiant mažinti suvartojamą energiją. Būtina modernizuoti senus daugiabučius. Modernizacija leidžia sutaupyti milžiniškus kiekius energijos, užtikrinti komfortą gyventojams. Ji taip pat yra viena iš priemonių įgyvendinant Europos Parlamento ir Tarybos atsinaujinančiosios energijos direktyvą.

Mažaaukštės gyvenamosios statybos sektorius Lietuvoje naudoja individualias šildymo sistemas. Ji ženkliai lenkia pastatų skaičiumi ir plotu daugiabučius namus (žr. 15 pav.). Dar daugelį metų didžiule problema išliks mažaaukštės gyvenamosios statybos neekonomiški pastatai su senomis, neefektyviomis ir taršiomis individualaus šildymo sistemomis. Esamų mažaaukštės gyvenamosios statybos pastatų ir šildymo sistemų neįmanoma taip greitai modernizuoti, kaip centralizuotų šildymo sistemų ir daugiabučių. Senų pastatų savininkų ekonominė situacija dažnu atveju vos leidžia tinkamai pasirūpinti pastatais ir jau esamomis senomis šildymo sistemomis, nekalbant apie jų modernizavimą. Teikiama atnaujinimo parama gyventojams dažnai neprieinama dėl itin didelių investicijų, griežtų modernizavimo reikalavimų, sudėtingo administracinio mechanizmo. Taip pat per mažos žinių sklaidos

apie esamas paramos galimybes, o dažnu atveju trūksta ir sąmoningumo. Žmonės nesuvokia energijos naudojimo ir taršos mažinimo prasmės, todėl dažnai net kurui naudoja neleistinas medžiagas, kurios išskiria didžiulius CO<sub>2</sub> kiekius ir teršia aplinką; o kartais tai daro ir taupumo sumetimais.

Būtina ieškoti pažangių sprendimų, kurie tenkintų didžiausios esamų pastatų dalies Lietuvoje, mažaaukštės gyvenamosios statybos, savininkų poreikius bei išspręstų aplinkos taršos problemą. Vienas galimų ateities sprendimų – antrinės saulės energijos kaip atsinaujinančio šaltinio panaudojimas mažaaukštės gyvenamosios statybos šildymo sistemoms.

Įgyvendinant Europos Parlamento ir Tarybos atsinaujinančiosios energijos direktyvą šalyje pradeda įsigaliooti reikalavimai naujai statomiems pastatams, kaip antai aukšto energetinio naudingumo klasės reikalavimai, kurių A++ klasei neįmanoma įgyvendinti be AEI, o pasiekti A+ klasę labai sudėtinga. Energetinio naudingumo klasei nustatyti sukurta speciali, sudėtinga metodika, kuri įvertina daugelį pastato parametrų:

- atskaitinės ir skaičiuojamosios metinės neatsinaujinančios pirminės energijos sąnaudas;
- energijos vartojimo efektyvumo rodiklių vertes;
- atitvarų norminius, atskaitiniu ir skaičiuojamuosius savituosius šilumos nuostolius;
- skaičiuojamosios metinės atsinaujinančios pirminės energijos sąnaudas ir šių sąnaudų santykio su metinėmis neatsinaujinančios pirminės energijos sąnaudomis verte;
- mechaninio vėdinimo su rekuperacija sistemų techninius rodiklius;
- sandarumą.

Pastatai pagal energetinį naudingumą klasifikuojami į 9 klases: G, F, E, D, C, B, A, A+, A++. Pastaroji yra aukščiausia galima energetinio naudingumo pastatams klasė, t. y. labai aukšto energetinio naudingumo pastatai, kuriuose energijos sunaudojimas beveik lygus nuliui arba energijos sunaudojimas labai mažas; didžiąją sunaudojamos energijos dalį sudaro AEI, įskaitant vietoje ar netoliese pagamintus AEI [26]. Įvertinus keliamus reikalavimus pastatams išduodamas energetinio naudingumo sertifikatas (žr. 1. priedas), kuris reikalingas priduoant pastatą užbaigus statybas, parduodant.

Taigi, jei šiuo metu dar galima rinktis AEI, nuo 2021 m. sausio 1 d., įsigaliojus A++ energetinio naudingumo klasės reikalavimams pastatams, AEI Lietuvoje bus privalomi. Ilgalikės perspektyvos požiūriu, tai labai geri sprendimai, kurie dar labiau padidins AEI dalį. Nerimą kelia didelės pradinės investicijos. Palyginus su C klasės pastatais, kurie Lietuvoje buvo statomi 10 metų (nuo 2003 iki 2013 m.), A+ energetinio naudingumo klasės pastato statybos kaina brangs apie 35 – 40 proc., o A++ klasės – apie 50 proc. Tai gali sukelti nepagrįstą senų pastatų kainų šuolį. Daugeliui Lietuvos gyventojų naujų,

aukšto energetinio naudingumo pastatų neleis įsigyti prasta ekonominė padėtis. Išaugus senų pastatų paklausai, sukiltų ir kainos, kas lemtų statybų sektoriaus vystymosi lėtėjimą ar blogiausiu atveju ekonominę krizę šalyje.

Būtina ieškoti sprendimų, kurie leistų sumažinti pastatų statybos kainą, tačiau atitiktų visus keliamus reikalavimus. Viena iš brangiausių pastato sudedamųjų dalių – AEI šildymo sistema. Pastato šildymo sistemos pasirinkimas nulemia būsimas pradines investicijas, šilumos kainą, sistemos priežiūros poreikį, aplinkos taršą.

## 2. TYRIMO METODIKA

### 2.1 Metodo pasirinkimas

Anot Simanavičienės (2011), sukurta nemažai daugiatislių sprendimo metodų, kurie gali būti suskirstomi į keturias metodų klases (žr. 17 pav.), bet kol kas nėra nustatyta, kuris labiausiai tinka spręsti vienokio ar kitokio tipo uždaviniams [27].

<i>Metodų klasė</i>	<i>Informacija, gauta iš sprendimų priimančio asmens, apie rodiklius</i>	<i>Metodai ir jų klasės</i>
Metodai pagrįsti daugiakriterine naudingumo teorija	Kiekybiniai matavimai	SAW, TOPSIS, TOPSIS-G, COPRAS, COPRAS-G, ARAS, MOORA, VIKOR, MultiMOORA
Analitinės hierarchijos ir neapibrėžtų aibių metodai	Kokybiniam matavimams suteikiamas kiekybinis pavidalas	Analitinis hierarchijos procesas (AHP) 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, TACITIC metodas ir kt.

**17 pav.** Daugiatislių metodų klasifikacija [27]

Tyrimo tikslas – nustatyti naudingiausių antrinės saulės energijos šildymo sistemą, todėl būtina pasirinkti metodus, pagrįstus daugiakriterine naudingumo teorija. Šioje metodų klasėje dažniausiai naudojami SAW, COPRAS, TOPSIS.

#### 2.1.1 SAW metodas

SAW (angl. *Simple Additive Weighting*) – paprastas adityvus svorių metodas. Tai vienas iš paprastesnių ir plačiausiai taikomų metodų. Metodo taisyklės apibendrino MacCrimmon 1968 m. SAW metodo žingsniai:

1. Normalizuojama sprendimų matrica.
2. Normalizuotosios matricos to paties varianto kiekvienas narys dauginamas iš jo reikšmingumo ir sudedamas su kitais alternatyvos nariais [27].



### 2.1.2 COPRAS metodas

COPRAS (angl. *COmplex PROportional ASsessment*) – kompleksinio proporcingumo vertinimo metodas bei daugiataksių sprendimų priėmimo metodų kompleksas. Pagrindinis COPRAS metodo principas – lyginamųjų alternatyvų santykinis reikšmingumas nustatomas remiantis juos apibūdinančiomis teigiamomis ir neigiamomis savybėmis. 1996 m. šį metodą sukūrė Zavadskas ir Kaklauskas. Sprendimas vyksta 6 etapais:

1. Sudaroma sprendimų matrica.
2. Normalizuojama sprendimų matrica.
3. Normalizuotos sprendimų matricos elementus dauginant iš atitinkamų rodiklių reikšmingumo reikšmių gaunama svertinė normalizuota sprendimų matrica.
4. Apskaičiuojamos alternatyvos svertinėje normalizuotoje sprendimų matricoje, maksimizuojamų ir minimizuojamų rodiklių sumos.
5. Nustatomas alternatyvų santykinis reikšmingumas.
6. Sudaroma alternatyvų prioritentinė eilutė [27].

### 2.1.3 TOPSIS metodas

TOPSIS (angl. *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) – Yoon ir Hwang (Hwang, Yoon, 1981) sukurta variantų prioritetiškumo nustatymo metodika, pagrįsta koncepcija, kad optimali alternatyva turi mažiausią atstumą nuo idealaus sprendimo ir didžiausią atstumą nuo „neigiamai idealaus“ sprendinio. Šis metodas vadinamas variantų racionalumo nustatymo artumo idealiajam taškui metodu.

Kiekvieno rodiklio reikšmės nuolat didėja arba nuolat mažėja. Tada galima nustatyti „idealy“ sprendimą, kuris yra sudarytas iš geriausių rodiklių reikšmių, ir „neigiamai idealy“ sprendimą, kuris yra sudarytas iš blogiausių rodiklių reikšmių.

Norint taikyti artumo idealiam taškui metodą, būtina sudaryti sprendimų matricą  $P$ , kurioje eilutės žymi nagrinėjamas alternatyvas ( $m$  – alternatyvų skaičius), stulpeliai – efektyvumo rodiklius ( $n$  – efektyvumo rodiklių skaičius), pagal kuriuos vertinamos alternatyvos:

$$P = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}; \quad (1)$$

čia  $P$  – sprendimų matrica;  
 $m$  – alternatyvų skaičius;  
 $n$  – efektyvumo rodiklių skaičius.

Taikant TOPSIS metodą, sprendimų matrica  $P$  normalizuojama atliekant vektorinę normalizaciją:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}; \quad (2)$$

čia  $\bar{x}_{ij}$  – normalizuota reikšmė;  
 $i$  – osios alternatyvos;  
 $j$  – ojo efektyvumo rodiklio reikšmė;  
 $m$  – alternatyvų skaičius.

Gauta normalizuotoji matrica  $\bar{P}$ , kurios visos efektyvumo reikšmės – bedimensiai dydžiai:

$$\bar{P} = \begin{bmatrix} \bar{x}_{11} & \bar{x}_{12} & \cdots & \bar{x}_{1n} \\ \bar{x}_{21} & \bar{x}_{22} & \cdots & \bar{x}_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \bar{x}_{m1} & \bar{x}_{m2} & \cdots & \bar{x}_{mn} \end{bmatrix}; \quad (3)$$

čia  $\bar{P}$  – normalizuota matrica.

Tarkime, kad žinomos rodiklių integruoto reikšmingumo reikšmės  $q_j^*$ , ( $j = \overline{1, n}$ ).

Taikant formulę (4), sudaroma svertinė normalizuota matrica  $\bar{P}^*$ :

$$\bar{P}^* = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \cdots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & \cdots & v_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ v_{m1} & v_{m2} & \cdots & v_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_1^* \bar{x}_{11} & q_2^* \bar{x}_{12} & \vdots & q_n^* \bar{x}_{1n} \\ q_1^* \bar{x}_{21} & q_2^* \bar{x}_{22} & \cdots & q_n^* \bar{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ q_1^* \bar{x}_{m1} & q_2^* \bar{x}_{m2} & \cdots & q_n^* \bar{x}_{mn} \end{bmatrix}; \quad (4)$$

čia  $\bar{P}^*$  – svertinė normalizuota matrica.

„Idealiai geriausias“ variantas (alternatyva) nustatomas pagal formulę:

$$A^+ = \{(\max_i v_{ij} | j \in J), (\min_i v_{ij} | j \in J') | i = \overline{1, m}\} = \{a_1^+, a_2^+, \dots, a_n^+\}; \quad (5)$$

čia  $A^+$  – „idealiai geriausias“ variantas;

$J$  – rodiklių, kurių didesnės reikšmės yra geresnės, indeksų aibė;

$J'$  – rodiklių, kurių mažesnės reikšmės yra geresnės, indeksų aibė.

„Neigiamas idealus“ variantas nustatomas pagal formulę:

$$A^- = \{(\min_i v_{ij} | j \in J), (\max_i v_{ij} | j \in J') | i = \overline{1, m}\} = \{a_1^-, a_2^-, \dots, a_n^-\}; \quad (6)$$

čia  $A^-$  – „neigiamai idealus“ variantas.

Atstumas tarp lyginamojo  $i$ -tojo ir „idealiai geriausio“  $A^+$  varianto nustatomas skaičiuojant atstumą  $n$  – matėje Euklido erdvėje, pagal formulę:

$$L_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - a_j^+)^2}, (i = \overline{1, m}); \quad (7)$$

o tarp  $i$ -tojo ir „neigiamai idealaus“  $A^-$ , pagal formulę:

$$L_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - a_j^-)^2}, (i = \overline{1, m}). \quad (8)$$

Galutiniu TOPSIS metodo žingsniu nustatomas kiekvieno  $i$ -ojo varianto santykinis atstumas iki „idealiai geriausio“ varianto:

$$K_i = \frac{L_i^-}{L_i^+ + L_i^-}, i = \overline{1, m}, \text{ kai } K_i \in [0, 1] \quad (9)$$

Kuo  $K_i$  reikšmė artimesnė vienetui, tuo  $i$ -sis variantas artimesnis  $A^+$ , t.y. racionalus variantas bus tas, kurio  $K_i$  reikšmė yra didžiausia [27].

Simanavičienė (2011) nustatė, kad artumo idealiajam taškui metodas yra jautresnis tiek rodiklių reikšmėms, tiek rodiklių reikšmingumams (lyginant su SAW ir COPRAS metodais) [27]. Todėl šio tyrimo rezultatams vertinti ir pasirinktas TOPSIS metodas. Taikant šį metodą siekiama kuo tiksliau išsiaiškinti idealiai geriausią atsinaujinančios antrinės saulės energijos alternatyvą šildymui.

## 2.2 Kriterijų rango nustatymo metodika

Baigiamajame darbe pateikta metodika galima tinkamiausiai įvertinti atsinaujinančios antrinės saulės energijos alternatyvų šildymui teikiamus privalumus ir trūkumus. Vertinimas atliekamas pagal 8 kriterijus. Remiantis šiais kriterijais, atliekamas finansinis, efektyvumo ir techninis vertinimas (žr. 1 lent.).

1 lentelė

### Kriterijų vertinimas

Finansinis vertinimas	Šilumos kaina per metus EUR/m <sup>2</sup>
	Sistemos įrenginio kaina EUR
Efektyvumo vertinimas	Sistemos aptarnavimas (per metus h)
	CO <sub>2</sub> emisija
	Sistemos ilgaamžiškumas
Techninis vertinimas	Sistemos skleidžiamas garsas
	Sistemai reikalinga vieta patalpose
	Sistemai reikalinga vieta lauke

Kriterijų vertinimas atliekamas pagal tokią metodiką:

$$S_i = \sum_{j=1}^n b_{ij}, j = \overline{1, n}; \quad (10)$$

čia  $S_i$  –  $i$  kriterijaus visų  $j$  ekspertų vertinimų balų suma;

$b_{ij}$  –  $i$  kriterijaus  $j$  eksperto įvertinimas balais;

Kriterijaus svarba nustatoma pagal formulę:

$$q_j = \frac{S_i}{\sum_{i=1}^m S_i}. \quad (11)$$

### 3. TYRIMAS

#### 3.1 Tyrimo objektas

Antrinės saulės energijos kaip atsinaujinančio šaltinio panaudojimo mažaaukštėje gyvenamojoje statyboje problemai nagrinėti buvo pasirinktos 3 šildymo sistemų alternatyvos:

- granuliniai katilai;
- šilumos siurbliai oras-vanduo;
- horizontalūs geoterminiai siurbliai.

Kad būtų galima įvertinti kiekvienos alternatyvos parametrus, pasirinktas tiriamasis objektas – mažaaukštės gyvenamosios statybos namas. Kadangi rasti objektą, naudojantį visas 3 alternatyvas, buvo neįmanoma, pasirinkti trys gyvenamieji namai. Jie atitinka keliamus kriterijus ir naudoja vieną iš tiriamų šildymo sistemų. Gyvenamajam namui keliami tokie kriterijai:

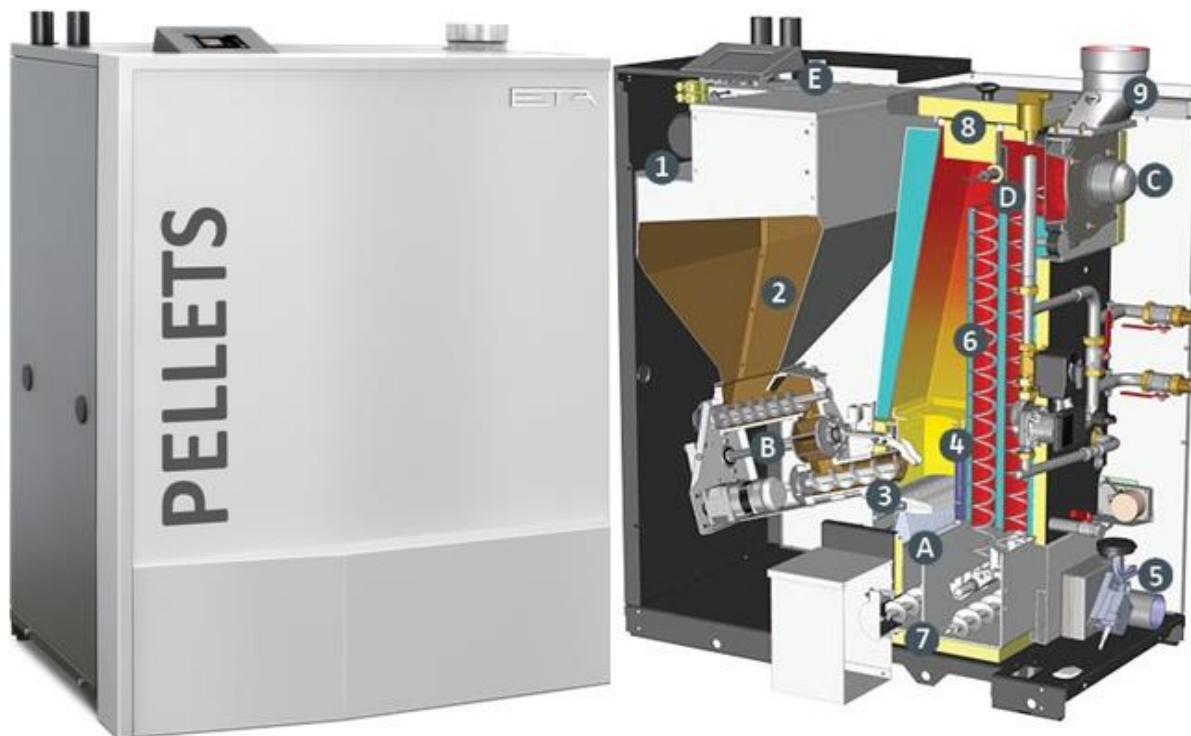
- vidutinis Lietuvoje **gyvenamasis plotas 140 m<sup>2</sup>**;
- **energetinio naudingumo klasė – B**. Kadangi A klasė galiojo 2016–2017 m., tai labai apriboja tiriamų objektų paiešką. Tuo metu išduotų statybos leidimų pastatai daugeliu atveju tik baigiami statyti arba neturi sukaupę bent vieno šildymo sezono duomenų. Todėl pasirinkta žemesnė energetinio naudingumo klasė, kurios reikalavimai pastatams buvo taikomi 2014–2015 m.;
- įrengta **grindų šildymo sistema**. Palyginus su radiatorine sistema, šis pastato šildymo būdas užtikrina didesnę komfortą; šiluma pasiskirsto tolygiai; nebūdingas nudegimo pavojus, nes nėra karštų paviršių; neužima vietos; grindų šildymo sistema tinka visoms nagrinėjamoms šildymo sistemų alternatyvoms;
- standartinė šeima – **4 gyventojai**;
- **karštas vanduo ruošiamas atskiru įrenginiu**. Šis kriterijus pasirinktas dėl duomenų tikslumo. Karšto vandens suvartojimo kiekius lemia namo gyventojų įpročiai, amžius. Todėl vertinant šildymo ir karšto vandens ruošimo sąnaudas kartu duomenys būtų iškreipti;
- **pastato vieta – Šiaulių rajonas**. Objektų paieška apribota geografiškai dėl kuo panašesnių gamtinių sąlygų: lauko temperatūra, vėjo greitis, kritulių kiekis ir kt.;
- **mechaninio vėdinimo sistema**. B klasės pastatams nėra keliamas reikalavimas įrengti rekuperacinę vėdinimo sistemą.

Tiriamoms šildymo sistemų alternatyvoms vertinti pasirinkti parametrai:

- **šilumos kaina per metus EUR/m<sup>2</sup>**. Duomenys surinkti iš 3 tyrime dalyvaujančių mažaaukštės gyvenamosios statybos namų, kurie atitiko keliamus kriterijus. Dėl kuo tikslesnių vertinimo rezultatų pasirinktas metų laikotarpis. Šilumos siurbliai oras-vanduo ir horizontalus geoterminis duomenis kaupia automatiškai, tačiau tyrimo objektu taip pat pasirinktas granulinis katilas tokios funkcijos neturi. Todėl tiksliai įvertinti buvo galima tik metines sąnaudas;
- **sistemos įrenginio kaina EUR**. Siekiant tikslesnių tyrimo rezultatų, sistemos įrenginio montavimo darbai nevertinti, nes jų kainą lemia sezoniškumas, vieta. Objektui keliamuose reikalavimuose numatytas grindinis šildymas. Jo kaina taip pat nevertinama, nes yra vienoda. Skiriasi tik sistemų įrenginio kaina. Išanalizuota šiuo metu rinkoje esanti pasiūla. Elektroniniu paštu išsiųstos užklauskos su tiriamo objekto aprašu. Gauti duomenys įvertinti ir apibendrinti. Kiekvienam šildymo įrenginiui iš kelių gautų pasiūlymų išvesti kainų vidurkiai;
- **sistemos aptarnavimas (per metus h)**. Įvertinimus pateikė tyrime dalyvavusių gyvenamųjų namų naudotojai. Išanalizuotos tiriamų alternatyvų specifikacijos bei įvairūs prieinami šaltiniai. Surinkti duomenys apibendrinti ir kiekvienai šildymo sistemai išvesti vidurkiai;
- **sistemos ilgaamžiškumas**. Gamintojai duomenų nepateikia. Apžvelgus suteikiamas garantijas, vartotojų vertinimus, patvariausia sistema išrinktas geoterminis siurblys ir prilygintas – 3, atitinkamai granulinis katilas – 2, šilumos siurblys oras-vanduo – 1;
- **sistemos skleidžiamas garsas**. Byrėdamos granulės sukelia triukšmą, todėl granulinis katilas įvertintas kaip triukšmingiausias – 3, šilumos siurblys oras-vanduo – 2, geoterminis siurblys – 1;
- **CO<sub>2</sub> emisija**. Iš tyrime vertinamų sistemų vienintelė granulinė išskiria CO<sub>2</sub>, todėl prilyginta – 3, kitos dvi – 1;
- **sistemai reikalinga vieta patalpose**. Katilinės patalpų kainą taip pat reikėtų priskirti šildymo sąnaudoms. Visų alternatyvų katilines būtų galima vertinti kaip vienodo dydžio, tad vertinti jų kainą būtų netikslinga. Tačiau granulėms sandėliuoti reikia vietos patalpose, nes jos labai jautrios drėgmei. Todėl granulinė sistema prilyginta – 3, kitos dvi – 1;
- **sistemai reikalinga vieta lauke**. Vienintelės oras-vanduo sistemos dalis statoma lauke, todėl prilyginta – 3, kitos dvi – 1.

## 3.1.1 Granuliniai katilai

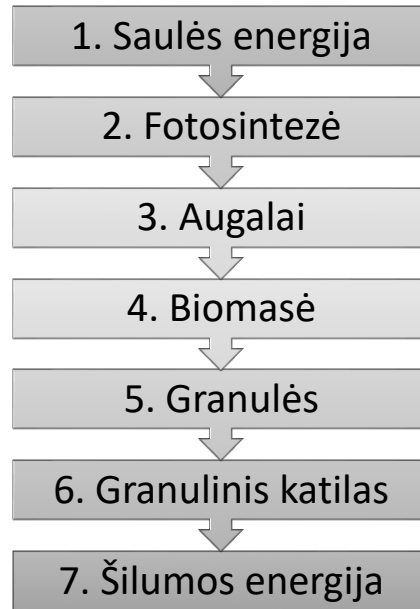
Taupus ir ekologiškas šildymo būdas – granuliniai katilai. Jie yra automatizuoti, o nuo jų automatizacijos lygio priklauso katilo veikimo laikas be priežiūros, kuris gali siekti nuo kelių iki keliolikos parų. Šių katilų sandara (žr. 18 pav.) yra gana nesudėtinga. Išskiriamos trys svarbiausios dalys: granuliu degikliai, granuliu talpos, kitaip dar vadinamos bunkeriais, ir granuliu konvejeriai, dar vadinami šnekais.



**18 pav.** Granulinio katilo pjūvis ir sandara: 1 – įsiurbimo turbina granuliu pernešimui; 2 – konteineris granuliams; 3 – automatinis kuro uždegimas; 4 – degimo kamera; 5 – oro padavimo anga; 6 – automatinis valymas spiraliniais turbulatoriais; 7 – automatinis pelenų išnešimas sraigtu; 8 – integruoti visi saugos įrenginiai; 9 – išmetamųjų dūmų temperatūros daviklis; A – patentuotos vartomos grotelės; B – rotacinis dozatorius; C – traukos ir pūtimo ventiliatorius; D – liambda zondas; E – valdymo pultas; F – grįžtamojo kontūro vandens temperatūros kėlimo modulis su siurbliu [28].

Šių dalių veikimo principą nulemia granuliniu katilų automatizacijos lygis: visiškai automatiniai granuliniai katilai ne tik savaime užsidegs ir užges, bet ir į atskirą, tam skirtą konteinerį šalins pelenus, taip pat išvalys šilumokaitį. Mažiausiai automatizuoti katilai savaime atlieka kur kas mažiau funkcijų – čia automatiškai atliekamas tik kuro tiekimas iš granuliu talpos (bunkerio) į pakurą [29]. Juose galima kūrenti įvairių rūšių biomasės granules. Lietuvoje populiariausias yra medienos biokuras. Europos Sąjunga skiria lėšų, kad nederlingose žemėse būtų auginami gluosniai. Jiems užauginti reikia apie 5 m.,

tačiau jau po 3 m. jie būna pagaminę tiek deguonies, kiek sunaudoja degdami. Biomasės šiluminė energija gaunama iš saulės energijos (žr. 19 pav.).



**19 pav.** Granulių, šilumos energijos, konversijos algoritmas

### 3.1.2 Šilumos siurbliai oras-vanduo

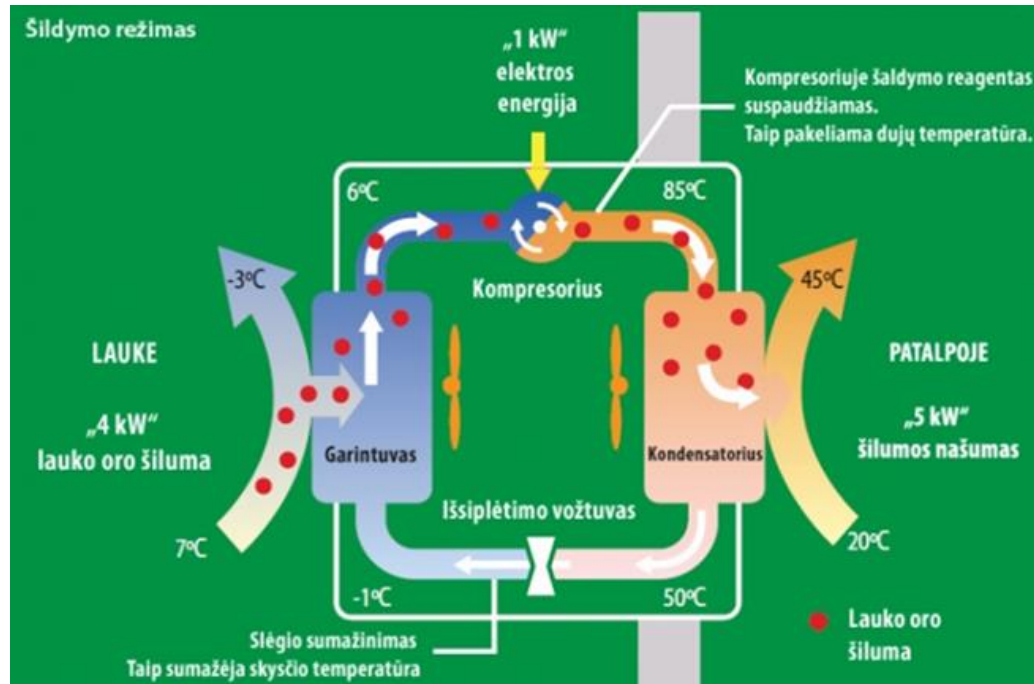
Šilumos siurblio technologija paremta labai paprastu, visiems žinomu principu. Jis veikia kaip ir mums įprastas namų šaldytuvas (žr. 20 pav.).



**20 pav.** Šilumos siurblys oras-vanduo [30]

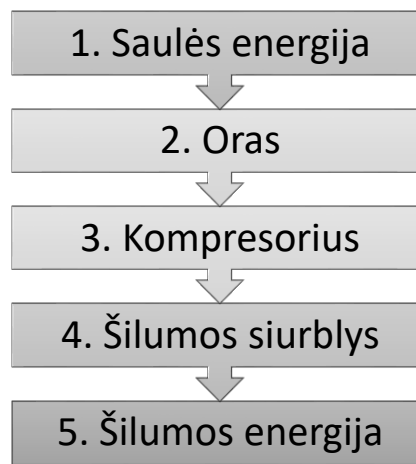


Pagrindiniai šilumos siurblio komponentai yra kompresorius, išsiplėtimo vožtuvas bei du šilumokaičiai (garintuvas ir kondensatorius) (žr. 21 pav.).



21 pav. Šilumos siurblio principinė veikimo schema [31]

Ventiliatorius įtraukia lauko orą į šilumos siurblio garintuvą. Kai į jį patenka oras, jame esantis šaltnešis virsta garais. Garų, suspaustų kompresoriaus, temperatūra padidėja tiek, kad kondensatoriuje gali atiduoti šilumą namo šildymo sistemai. Tuo pačiu metu šaltnešio garai virsta skysčiu ir gali vėl paimti šilumą [32]. Tokiu principu šilumos siurbliai oras-vanduo naudoja antrinę saulės energiją kaip atsinaujinantį šaltinį, perduodamą oro (žr. 22 pav.).



22 pav. Oro, šilumos energijos, konversijos algoritmas

Šilumos siurblių naudingumo koeficientas – COP. Jis parodo santykį tarp gaunamos šilumos ir sunaudojamos energijos. Pavyzdžiui, jeigu COP yra 5, tai reiškia, kad sunaudojus 1 kWh elektros energijos gausime 5 kWh šiluminės energijos. Koeficientas skaičiuojamas esant lauko temperatūrai + 7°C. Tai didžiausias koeficiento skaičiavimo trūkumas. Todėl 2014 m. buvo įvestas SCOP – sezoninis įrenginio energijos vartojimo efektyvumo koeficientas, kuris apskaičiuojamas norminių metinių šildymo poreikį padalijant iš metinių elektros energijos sąnaudų šildymui.

### 3.1.3 Horizontalūs geoterminiai siurbLIAI

Geoterminės energetikos požiūriu, kai kalbama apie Žemės šilumos panaudojimą individualių namų ir jų grupių bei miestų ir gyvenviečių termofikacijos tikslams bei elektros energijos gavybai, paprastai vartojami sekliosios ir giluminės geoterminės energijos terminai. Seklioji geoterminė energija yra daugiau susijusi su egzogenine Žemės šiluma, o giluminė – su endogenine.

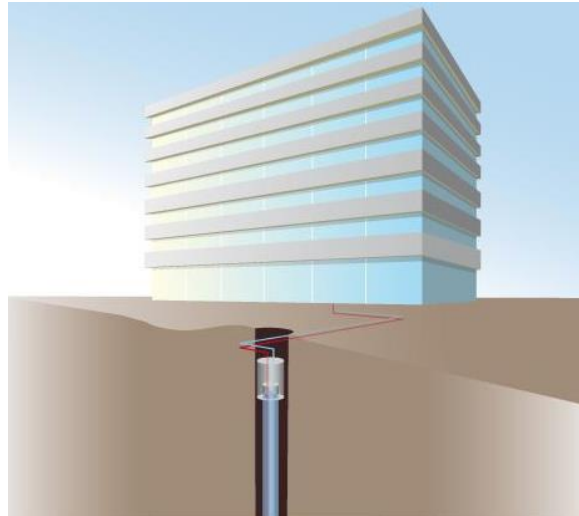
Egzogeninės Žemės šiluma susijusi su Saulės radiacija. Jos šilumą – paviršiuje slūgsančių uolienu ir požeminio vandens temperatūrą – daugiausia lemia klimatas, jo sezoniškumas. Klimatinių veiksnių poveikis dažniausiai siekia 15–25 m, rečiau 40 m gylį.

Endogeninė Žemės šiluma kilusi iš vidinės Žemės planetos šilumos. Jos šiluma susijusi su astenosfera ir magmos židiniiais, kurie slūgso maždaug 100–700 m gylyje [33].

Seklieji geoterminiai siurbLIAI šilumą paima vamzdynų sistema – kolektoriais. Nuo to, kokiam gylyje įrengti kolektoriai, priklauso, kokią energiją jie naudoja. Pagal kolektorių padėtį žemėje geoterminiai siurbLIAI gali būti horizontalūs (žr. 23 pav.) ir vertikalūs (žr. 24 pav.).



23 pav. Horizontalus geoterminis siurblys [34]



**24 pav.** Vertikalus geoterminis siurblys [35]

Vertikalūs gręžiniai naudoja mišrią saulės ir žemės giluminę geoterminę energiją; jų gylis siekia 100–130 m. Horizontalūs gręžiniai naudoja saulės išildytos aeracijos zonos energiją. Jie įrengiami 1–1,5 m gylyje (žr. 23, 25 pav.).



**25 pav.** Geoterminės, šilumos energijos, konversijos algoritmas

Geoterminių šilumos siurblių technologija taip pat paremta šaldytuvo veikimo principu. Energija įsisavinama šilumos siurbliu. Žemėje susikaupusią saulės energijos šilumą surenka horizontalus kolektorius. Juo cirkuliuoja neužšalantis skystis, kuris perneša šilumą į šilumos siurblių. Jame šiluma išgarina cirkuliuojantį freoną, kurio temperatūrą dar labiau padidina kompresorius. Toliau šiluma perduodama į namo šildymo sistemą. Naudingumo koeficientai tokie pat, kaip ir oras-vanduo šilumos siurblių.

### 3.2 Kriterijų rango nustatymas

Kaip minėta, pasirinkta TOPSIS metodika galima tinkamiausiai įvertinti antrinės saulės energijos kaip atsinaujinančio šaltinio panaudojimą mažaaukštėje gyvenamojoje statyboje. Tyrimas atliekamas pagal 8 kriterijus:

- šilumos kaina per metus EUR/m<sup>2</sup>;
- sistemos įrenginio kaina EUR;
- sistemos aptarnavimas (per metus h);
- sistemos ilgaamžiškumas;
- sistemos skleidžiamas garsas;
- CO<sub>2</sub> emisija;
- sistemai reikalinga vieta patalpose;
- sistemai reikalinga vieta lauke.

Remiantis šiais kriterijais, atliekamas finansinis, efektyvumo ir techninis vertinimas (žr. 1 lentelę). Sudaromas kriterijų rangas (pagal jų svarbą). Rangui nustatyti pritaikytas ekspertinis metodas. Ekspertai turėjo įvertinti kriterijus balais. Reikšmingiausias kriterijus įvertintas 10 balų. Mažiausiai reikšmingas kriterijus įvertintas 1. Anonimiškai buvo apklausti 13 statybų sektoriaus ekspertų. Apklausos duomenys pateikti 2 lentelėje.

2 lentelė

#### Apklausos duomenys

Kriterijai	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>4</sub>	E <sub>5</sub>	E <sub>6</sub>	E <sub>7</sub>	E <sub>8</sub>	E <sub>9</sub>	E <sub>10</sub>	E <sub>11</sub>	E <sub>12</sub>	E <sub>13</sub>
Šilumos kaina per metus EUR/m <sup>2</sup>	8	8	9	8	10	10	8	10	9	9	8	9	10
Sistemos įrenginio kaina EUR	7	6	10	9	9	9	9	9	10	8	9	8	9
Sistemos aptarnavimas (per metus h)	6	7	5	7	4	6	10	7	7	5	7	10	7
Sistemos ilgaamžiškumas	3	10	8	10	8	7	7	8	6	10	6	7	8
Sistemos skleidžiamas garsas	1	3	4	2	3	5	5	4	5	3	4	4	6
CO <sub>2</sub> emisija	10	9	3	6	7	8	6	3	8	6	10	6	5
Sistemai reikalinga vieta patalpose	5	2	7	5	6	4	4	6	4	4	5	5	4
Sistemai reikalinga vieta lauke	4	1	6	1	5	2	1	5	1	7	2	3	3

Skaičiavimai atlikti *Microsoft Office Excel* programa. Kadangi vertinamų kriterijų yra 8, o ekspertų vertinimų – 13, tai pateikti visus skaičiavimus būtų netikslinga, todėl pristatyti tik keli kiekvieno skaičiavimo pavyzdžiai. Visų kriterijų rangas pateiktas 3 lentelėje.

Kiekvieno iš kriterijų vertinimų suma apskaičiuojama pagal (10) formulę:

$$S_1 = \sum_{j=1}^n b_{1j} = 8 + 8 + 9 + 8 + 10 + 10 + 8 + 10 + 9 + 9 + 8 + 9 + 10 = 116$$

$$S_2 = 7 + 6 + 10 + 9 + 9 + 9 + 9 + 9 + 10 + 8 + 9 + 8 + 9 = 112$$

$$S_3 = 6 + 7 + 5 + 7 + 4 + 6 + 10 + 7 + 7 + 5 + 7 + 10 + 7 = 88$$

...

$$S_8 = 4 + 1 + 6 + 1 + 5 + 2 + 1 + 5 + 1 + 7 + 2 + 3 + 3 = 41$$

Kriterijaus svarba nustatoma pagal (11) formulę:

$$q_1 = \frac{S_1}{\sum_{i=1}^m S_i} = \frac{116}{652} = 0,178$$

$$q_2 = \frac{112}{652} = 0,172$$

$$q_3 = \frac{88}{652} = 0,135$$

...

$$q_8 = \frac{41}{652} = 0,063$$

Ekspertų nuomone, svarbiausi yra finansiniai kriterijai. Kaip matyti, dominuoja šilumos kainos per metus kriterijus. Ateityje ypač svarbus kriterijus – CO<sub>2</sub> emisija – „užima“ tik 5 vietą. Tai atskleidžia šalies ekonominę padėtį, formuojamas vertybes, visuomenės požiūrį į ekologiją. Tik stipriai pažengusiose, turtingose valstybėse šis kriterijus yra reikšmingiausias ir svarbiausias.

**Kriterijų rangas**

Kriterijai	$S_i$	$q$	Vieta
Šilumos kaina per metus EUR/m <sup>2</sup>	116	0,178	1
Sistemos įrenginio kaina EUR	112	0,172	2
Sistemos aptarnavimas (per metus h)	88	0,135	4
Sistemos ilgaamžiškumas	98	0,15	3
Sistemos skleidžiamas garsas	49	0,075	7
CO <sub>2</sub> emisija	87	0,133	5
Sistemai reikalinga vieta patalpose	61	0,094	6
Sistemai reikalinga vieta lauke	41	0,063	8
$\Sigma$	652	1	

**3.3 TOPSIS metodo skaičiavimo algoritmas**

Sudaroma sprendimų matrica (žr. 4 lentelę). Šio etapo sprendimams atlikti reikalingi visų alternatyvų duomenys.

**Sprendimų priėmimo matrica**

Rodikliai	Atsinaujinantis energijos šaltinis			Min. ar max. rodiklis
	Granulės	Oras-vanduo	Geoterminis	
Šilumos kaina per metus EUR/m <sup>2</sup>	2,27	2,26	2,20	min.
Sistemos įrenginio kaina EUR	5500	5673	9692	min.
Sistemos aptarnavimas (per metus h)	180	2	2	min.
Sistemos ilgaamžiškumas	2	1	3	max.
Sistemos skleidžiamas garsas	3	2	1	min.
CO <sub>2</sub> emisija	3	1	1	min.
Sistemai reikalinga vieta patalpose	3	1	1	min.
Sistemai reikalinga vieta lauke	1	3	1	min.

Matricos normalizavimas. Naudojama 2 formulė (žr. 5 lentelę).

Granulių sistemos šilumos kainos per metus EUR/m<sup>2</sup> vektorinis normalizavimas:

$$\bar{x}_{11} = \frac{x_{11}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} = \frac{2,27}{\sqrt{(2,27^2 + 2,26^2 + 2,20^2)}} = 0,584$$

Granulių sistemos įrenginio kainos EUR vektorinis normalizavimas:

$$\bar{x}_{12} = \frac{5500}{\sqrt{(5500^2 + 5673^2 + 9692^2)}} = 0,44$$

...

Granulių sistemai reikalingos vietos lauke vektorinis normalizavimas:

$$\bar{x}_{18} = \frac{1}{\sqrt{(1^2 + 3^2 + 1^2)}} = 0,302$$

Oras-vanduo šilumos kainos per metus EUR/m<sup>2</sup> vektorinis normalizavimas:

$$\bar{x}_{21} = \frac{2,26}{\sqrt{(2,27^2 + 2,26^2 + 2,20^2)}} = 0,582$$

Oras-vanduo įrenginio kainos EUR vektorinis normalizavimas:

$$\bar{x}_{22} = \frac{5673}{\sqrt{(5500^2 + 5673^2 + 9692^2)}} = 0,454$$

...

Oras-vanduo sistemai reikalingos vietos lauke vektorinis normalizavimas:

$$\bar{x}_{28} = \frac{3}{\sqrt{(1^2 + 3^2 + 1^2)}} = 0,905$$

Geoterminės sistemos šilumos kainos per metus EUR/m<sup>2</sup> vektorinis normalizavimas:

$$\bar{x}_{31} = \frac{2,20}{\sqrt{(2,27^2 + 2,26^2 + 2,20^2)}} = 0,566$$

Geoterminės sistemos įrenginio kainos EUR vektorinis normalizavimas:

$$\bar{x}_{32} = \frac{9692}{\sqrt{(5500^2 + 5673^2 + 9692^2)}} = 0,775$$

...

Geoterminiai sistemai reikalingos vietos lauke vektorinis normalizavimas:

$$\bar{x}_{38} = \frac{1}{\sqrt{(1^2 + 3^2 + 1^2)}} = 0,302$$

5 lentelė

#### Normalizuota matrica

Rodikliai	Atsinaujinantis energijos šaltinis			Rodiklių reikšmingumai, $q$
	Granulės	Oras-vanduo	Geoterminis	
Šilumos kaina per metus EUR/m <sup>2</sup>	0,584	0,582	0,566	0,178
Sistemos įrenginio kaina EUR	0,44	0,454	0,775	0,172
Sistemos aptarnavimas (per metus h)	1	0,011	0,011	0,135
Sistemos ilgaamžiškumas	0,535	0,267	0,802	0,15
Sistemos skleidžiamas garsas	0,802	0,535	0,267	0,075
CO <sub>2</sub> emisija	0,905	0,302	0,302	0,133
Sistemai reikalinga vieta patalpose	0,905	0,302	0,302	0,094
Sistemai reikalinga vieta lauke	0,302	0,905	0,302	0,063

Svertinės normalizuotos matricos  $\bar{P}^*$  sudarymas. Naudojama 4 formulė (žr. 6 lentelę).

Granulių sistemos šilumos kainos per metus EUR/m<sup>2</sup> svetas:

$$\bar{P}_{11}^* = 0,584 \times 0,178 = 0,104$$



Granulių sistemos įrenginio kainos EUR svertas:

$$\overline{P}_{12}^* = 0,44 \times 0,172 = 0,076$$

...

Granulių sistemai reikalingos vietos lauke svertas:

$$\overline{P}_{18}^* = 0,302 \times 0,063 = 0,019$$

Oras-vanduo šilumos kainos per metus EUR/m<sup>2</sup> svertas:

$$\overline{P}_{21}^* = 0,582 \times 0,178 = 0,104$$

Oras-vanduo įrenginio kainos EUR svertas:

$$\overline{P}_{22}^* = 0,454 \times 0,172 = 0,078$$

...

Oras-vanduo sistemai reikalingos vietos lauke svertas:

$$\overline{P}_{28}^* = 0,905 \times 0,063 = 0,057$$

Geoterminės sistemos šilumos kainos per metus EUR/m<sup>2</sup> svertas:

$$\overline{P}_{31}^* = 0,566 \times 0,178 = 0,101$$

Geoterminės sistemos įrenginio kainos EUR svertas:

$$\overline{P}_{32}^* = 0,775 \times 0,172 = 0,133$$

...

Geoterminei sistemai reikalingos vietos lauke svertas:

$$\overline{P}_{38}^* = 0,302 \times 0,063 = 0,019$$

**Svertinė normalizuota matrica**

Rodikliai	Atsinaujinantis energijos šaltinis		
	Granulės	Oras-vanduo	Geoterminis
Šilumos kaina per metus EUR/m <sup>2</sup>	0,104	0,104	0,101
Sistemos įrenginio kaina EUR	0,076	0,078	0,133
Sistemos aptarnavimas (per metus h)	0,135	0,001	0,001
Sistemos ilgaamžiškumas	0,08	0,04	0,12
Sistemos skleidžiamas garsas	0,06	0,04	0,02
CO <sub>2</sub> emisija	0,12	0,04	0,04
Sistemai reikalinga vieta patalpose	0,085	0,028	0,028
Sistemai reikalinga vieta lauke	0,019	0,057	0,019

Idealiai geriausios ir blogiausios alternatyvos nustatymas. Naudojamos 5, 6 formulės (žr. 7 lentelę).

Šilumos kainos per metus EUR/m<sup>2</sup>, idealiai geriausia alternatyva:

$$A_1^+ = 0,101$$

...

Sistemai reikalingos vietos lauke idealiai geriausia alternatyva:

$$A_8^+ = 0,019$$

Šilumos kainos per metus EUR/m<sup>2</sup>, blogiausia alternatyva:

$$A_1^- = 0,104$$

...

Sistemai reikalingos vietos lauke blogiausia alternatyva:

$$A_8^- = 0,057$$

**Idealiai geriausias ir idėaliai blogiausias pasirinkimas**

Idealus variantas	Idealiai geriausias	Idealiai blogiausias
Šilumos kaina per metus EUR/m <sup>2</sup>	0,101	0,104
Sistemos įrenginio kaina EUR	0,076	0,133
Sistemos aptarnavimas (per metus h)	0,001	0,135
Sistemos ilgaamžiškumas	0,12	0,04
Sistemos sklaidžiamas garsas	0,02	0,06
CO <sub>2</sub> emisija	0,04	0,12
Sistemai reikalinga vieta patalpose	0,028	0,085
Sistemai reikalinga vieta lauke	0,019	0,057

Atstumų tarp lyginamųjų ir idėaliai geriausių bei blogiausių alternatyvų nustatymas. Naudojamos 7, 8 formulės (žr. 8 lentelę):

$$L_1^+ = \sqrt{(0,104 - 0,101)^2 + (0,076 - 0,076)^2 + (0,135 - 0,001)^2 + (0,08 - 0,12)^2 + (0,06 - 0,02)^2 + (0,12 - 0,04)^2 + (0,085 - 0,028)^2 + (0,019 - 0,019)^2} = 0,175$$

...

$$L_3^+ = \sqrt{(0,101 - 0,101)^2 + (0,133 - 0,076)^2 + (0,001 - 0,001)^2 + (0,12 - 0,12)^2 + (0,02 - 0,02)^2 + (0,04 - 0,04)^2 + (0,028 - 0,028)^2 + (0,019 - 0,019)^2} = 0,058$$

$$L_1^- = \sqrt{(0,104 - 0,104)^2 + (0,076 - 0,133)^2 + (0,135 - 0,135)^2 + (0,08 - 0,04)^2 + (0,06 - 0,06)^2 + (0,12 - 0,12)^2 + (0,085 - 0,085)^2 + (0,019 - 0,057)^2} = 0,08$$

...

$$L_3^- = \sqrt{(0,101 - 0,104)^2 + (0,133 - 0,133)^2 + (0,001 - 0,135)^2 + (0,12 - 0,04)^2 + (0,02 - 0,06)^2 + (0,04 - 0,12)^2 + (0,028 - 0,085)^2 + (0,019 - 0,057)^2} = 0,192$$

8 lentelė

**Atstumai tarp idealiai geriausio ir idealiai blogiausio pasirinkimo**

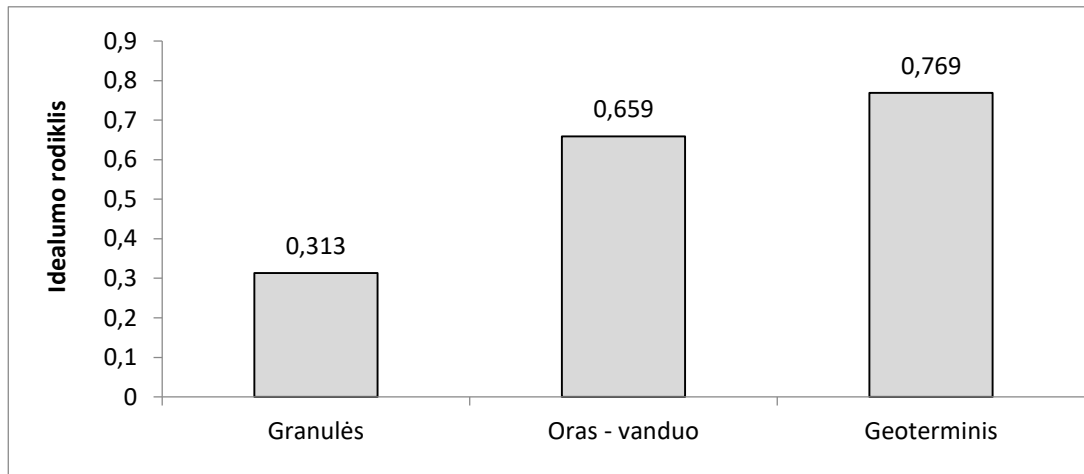
Granulės	$L_1^+$	0,175	$L_1^-$	0,08
Oras-vanduo	$L_2^+$	0,091	$L_2^-$	0,176
Geoterminis	$L_3^+$	0,058	$L_3^-$	0,192

Atlikus santykinio atstumo iki idealaus skaičiavimus nustatyta, kad geriausias atsinaujinančios energijos šaltinis mažaaukštei gyvenamajai statybai yra horizontalus geoterminis siurblys (žr. 26 pav.). Naudojama 9 formulė:

$$K_1 = \frac{0,08}{0,175 + 0,08} = 0,313$$

...

$$K_3 = \frac{0,058}{0,192 + 0,058} = 0,769$$



**26 pav.** Geriausio atsinaujinančios energijos šaltinio grafinis vaizdavimas

**IŠVADOS**

1. Mokslinės literatūros apie atsinaujinančius energijos išteklius (AEI) studijos atskleidė, jog esminis AEI kilmės šaltinis – saulės energija.
2. Taikant ekspertinį kriterijų vertinimo metodą nustatyta, kad finansiniai kriterijai yra svarbiausi, vertinant antrinės saulės energijos panaudojimą mažaaukštės gyvenamosios statybos sektoriuje.
3. Atlikus tyrimą TOPSIS metodu išsiaiškinta, jog antrinės saulės energijos kaip atsinaujinančio šaltinio panaudojimo idealiausia šildymo sistema mažaaukštei gyvenamajai statybai yra horizontalus geoterminis siurblys.
4. Atliktas tyrimas rodo, kad antrinės saulės energijos sistema – horizontalus geoterminis šilumos siurblys – yra 2,46 karto pranašesnė už granulinę šildymo sistemą ir 1,17 karto pranašesnė už šildymo sistemą oras-vanduo.

## LITERATŪRA

1. LOGAN, Robert K. *The Poetry of Physics and the Physics of Poetry*. Singapore: World Scientific, 2010. ISBN-13 978-981-4295-92-5.
2. KALTSCHMIT, Martin and STREICHER, Wolfgang and WEISE, Andreas. *Renewable Energy*. Berlin: Springer, 2007. ISBN978-3-540-70947-3.
3. SŪDŽIUS, Jokūbas. *Visuotinė lietuvių enciklopedija. Saulė* [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2018 12 15]. Prieiga per internetą: <https://www.vle.lt/Straipsnis/Saule-84189>
4. BUKANTIS, Arūnas. *Visuotinė lietuvių enciklopedija. Lietuvos klimatas* [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2018 12 15]. Prieiga per internetą: <https://www.vle.lt/Straipsnis/lietuvos-klimatas-117637>
5. BUKANTIS, Arūnas ir SŪDŽIUS, Jokūbas. *Visuotinė lietuvių enciklopedija. Albedas* [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2018 12 15]. Prieiga per internetą: <https://www.vle.lt/Straipsnis/albedas-72241>
6. *Visuotinė lietuvių enciklopedija. Geoterminė energija* [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2018 12 15]. Prieiga per internetą: <https://www.vle.lt/Straipsnis/geotermine-energija-117818>
7. ŠLIAUPA, Saulius. Lietuvos hidrogeologiniai ištekliai. *Geologijos akiračiai* [interaktyvus]. Vilnius, Lietuvos geologų sąjunga, 2009 [žiūrėta 2018 12 15]. ISSN 1392–0006. Prieiga per internetą: [http://www.lgeos.lt/images/stories/geologijos\\_akiraciai/2009\\_03\\_04/11-19p.pdf](http://www.lgeos.lt/images/stories/geologijos_akiraciai/2009_03_04/11-19p.pdf)
8. SUVEIZDIS, Povilas ir RASTENIENĖ, Vita. *Žemės gelmių šiluma Lietuvoje: ekologiška, atsinaujinanti energijos rūšis. Geografijos metraštis* [interaktyvus]. Vilnius: Geologijos ir geografijos institutas, 2005 [žiūrėta 2018 12 15]. ISSN 0132–3156. Prieiga per internetą: [http://www.gamtostyrimai.lt/uploads/publications/docs/268\\_db3630df7e1c97520e6c7b83dc7990a3.pdf](http://www.gamtostyrimai.lt/uploads/publications/docs/268_db3630df7e1c97520e6c7b83dc7990a3.pdf)
9. *Geoterma* [interaktyvus]. 2010 [žiūrėta 2018 12 15]. Prieiga per: <http://www.geoterma.lt/>
10. *International Energy Agency. Statistics. Renewables information: overview 2018* [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2018 12 15]. Prieiga per internetą: [https://webstore.iea.org/download/direct/2260?fileName=Renewables\\_Information\\_2018\\_Overview.pdf](https://webstore.iea.org/download/direct/2260?fileName=Renewables_Information_2018_Overview.pdf)
11. *International Energy Agency. Statistics. Global energy data at your fingertips* [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2018 12 15]. Prieiga per internetą: <https://www.iea.org/statistics/?country=WORLD&year=2016&category=Key%20indicators&indicator=TPESbySource&mode=chart&categoryBrowse=false&dataTable=BALANCES&showDataTable=false>

12. *International Energy Agency. Statistics. Global energy data at your fingertips* [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2018 12 15]. Prieiga per internetą: <https://www.iea.org/statistics/?country=WORLD&year=2016&category=Key%20indicators&indicator=HeatProdRenew&mode=chart&categoryBrowse=false&dataTable=RENEWABLES&showDataTable=false>
13. *International Energy Agency. Renewable transport and heat* [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2018 12 15]. Prieiga per internetą: <https://www.iea.org/publications/renewables2017/#section-5>
14. *EUROPOS PARLAMENTO IR TARYBOS DIREKTYVA 2009/28/EB 2009 m. balandžio 23d. dėl skatinimo naudoti atsinaujinančių išteklių energiją, iš dalies keičianti bei vėliau panaikinanti direktyvas 2001/77/EB ir 2003/30/EB* [interaktyvus]. 2009 [žiūrėta 2018 12 15]. Prieiga per internetą: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/?uri=CELEX:02009L0028-20130701>
15. *Science Direct. Impacts of renewable energy consumption on the German economic growth: Evidence from combined cointegration test* [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2018 12 15]. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116308541?via%3Dihub>
16. *International Energy Agency. Statistics. Global energy data at your fingertips* [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2018 12 15]. Prieiga per internetą: <https://www.iea.org/statistics/?country=GERMANY&year=2016&category=Key%20indicators&indicator=TPESbySource&mode=chart&categoryBrowse=false&dataTable=BALANCES&showDataTable=false>
17. *Energiewende. Pleasantly warm, renewable and efficient* [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2018 12 15]. Prieiga per internetą: <http://www.energiewende-global.com/en/heat.html>
18. *International Energy Agency. Statistics. Global energy data at your fingertips* [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2018 12 15]. Prieiga per internetą: <https://www.iea.org/statistics/?country=GERMANY&year=2016&category=Key%20indicators&indicator=HeatProdRenew&mode=chart&categoryBrowse=false&dataTable=RENEWABLES&showDataTable=false>
19. *Energiewende. The German Energiewende* [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2018 12 15]. Prieiga per internetą: <http://www.energiewende-global.com/en/?topic=energy-efficiency>
20. *Teisės aktų registras. Dėl Nacionalinės atsinaujinančių energijos išteklių plėtros strategijos patvirtinimo* [interaktyvus]. 2010 [žiūrėta 2018 12 15]. Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.F433A10E3DC2>
21. *Lietuvos statistikos departamentas. Energetikos statistika 2017 m.* [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2018 12 15]. Prieiga per internetą: <https://osp.stat.gov.lt/naujienos?articleId=5744093>

22. *International Energy Agency. Statistics. Global energy data at your fingertips* [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2018 12 15]. Prieiga per internetą: <https://www.iea.org/statistics/?country=LITHUANIA&year=2016&category=Key%20indicators&indicator=TPESbySource&mode=chart&categoryBrowse=false&dataTable=BALANCES&showDataTable=false>
23. *Teisės aktų registras. Dėl pagrindinės tikslinės žemės naudojimo paskirties žemės naudojimo būdų ir žemės naudojimo pobūdžių, įrašytų Nekilnojamojo turto kadastrė, pertvarkymo taisyklių patvirtinimo* [interaktyvus]. 2008 [žiūrėta 2018 12 15]. Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.A1322EE2F8F2>
24. Nacionalinė žemės tarnyba prie Žemės ūkio ministerijos. Valstybės įmonė „Registru centras“. Lietuvos Respublikos nekilnojamojo turto registre įregistruotų statinių apskaitos duomenys 2018 m. sausio 1 d. [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2018 12 15]. Prieiga per internetą: [https://zis.lt/wp-content/uploads/2018/04/NTR\\_20180101.pdf](https://zis.lt/wp-content/uploads/2018/04/NTR_20180101.pdf)
25. *International Energy Agency. Statistics. Global energy data at your fingertips* [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2018 12 15]. Prieiga per internetą: <https://www.iea.org/statistics/?country=LITHUANIA&year=2016&category=Key%20indicators&indicator=HeatProdRenew&mode=chart&categoryBrowse=false&dataTable=RENEWABLES&showDataTable=false>
26. *STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“* [interaktyvus]. 2017 [žiūrėta 2018 12 15]. Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/2c182f10b6bf11e6aae49c0b9525cbbb/vUIAHduDvW>
27. SIMANAVIČIENĖ, Rūta. *Kiekybinių daugiatikslių sprendimo priėmimo metodų jautrumo analizė*. Vilnius: Technika, 2011. ISBN 978-609-457-055-1.
28. *Strefa* [interaktyvus]. 2014 [žiūrėta 2018 12 15]. Prieiga per internetą: <http://strefa.lt/granulinis-katilas-pellets-compact-eta-pc20-50-kw-3/>
29. *Statau 24. Granuliniai katilai – komfortiškas pastatų šildymas* [interaktyvus]. 2017 [žiūrėta 2018 12 15]. Prieiga per internetą: <https://statau24.lt/granuliniai-katilai-komfortiskas-pastatu-sildymas/>
30. *Elmitra* [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2018 12 15]. Prieiga per internetą: <http://www.elmitra.lt/silumos-siurbliai/oras-vanduo/samsung-oras-vanduo-silumos-siurbliai-1862031660/16-0-kw-400-v-split-oras-vanduo-silumos-siurblys-ae160jxedgh-eu-ae160jnydgh-eu-samsung.html>
31. *Eko2šiluma. Veikimo principas* [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2018 12 15]. Prieiga per internetą: <http://www.eko2siluma.lt/pagalbos-centras/veikimo-principas/>

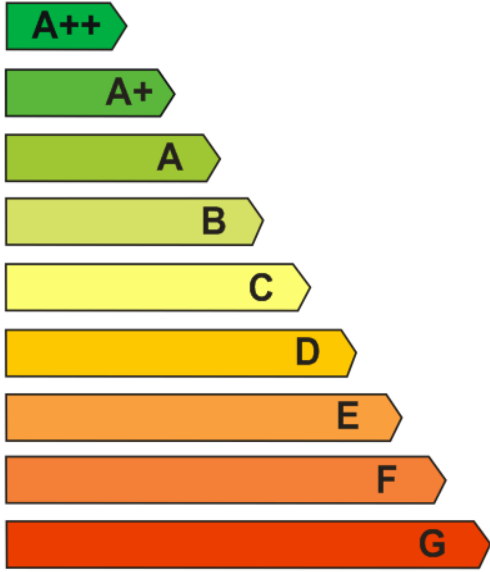



32. *Ekoklima* [interaktyvus]. 2015 [žiūrėta 2018 12 15]. Prieiga per internetą: <http://www.ekoklima.lt/kaip-gauti-siluma-is-salto-oro/>
33. Atsinaujinantieji energijos šaltiniai ir žemės šiluma. *Geologijos akiračiai* [interaktyvus]. Vilnius, Lietuvos geologų sąjunga, 2009 [žiūrėta 2018 12 15]. ISSN 1392–0006. Prieiga per internetą: [http://www.lgeos.lt/images/stories/geologijos\\_akiraciai/2009\\_03\\_04/6-10p.pdf](http://www.lgeos.lt/images/stories/geologijos_akiraciai/2009_03_04/6-10p.pdf)
34. *ASA.LT* [interaktyvus]. 2012 [žiūrėta 2018 12 15]. Prieiga per internetą: <http://lt.lt.allconstructions.com/portal/categories/173/1/0/1/article/3744/geoterminis-sildymas>
35. *15min.lt. Geoterminis šildymas daugiabučiuose, arba Kas bendra tarp žemės energijos ir šaldytuvo?* [interaktyvus]. 2014 [žiūrėta 2018 12 15]. Prieiga per internetą: <https://www.15min.lt/verslas/naujiena/energetika/geoterminis-sildymas-daugiabuciuose-arba-kas-bendra-tarp-zemes-energijos-ir-saldytuvo-664-460486>

## PRIEDAI

## 1. PRIEDAS

## PASTATO ENERGETINIO NAUDINGUMO SERTIFIKATO FORMA

1 lapas / 2 lapų			
PASTATO ENERGINIO NAUDINGUMO SERTIFIKATAS			
Nr. _____			
Pastato (jo dalies) unikalus pastato numeris:		Adresas:	
Pastato (jo dalies) paskirtis:			
Pastato (jo dalies) šildomas plotas (m <sup>2</sup> ):			
Viso pastato šildomas plotas (m <sup>2</sup> ):			
Pastatų (jų dalių) energinio naudingumo klasifikavimas į klases*:  * A++ klasė yra laikoma aukščiausia, ji nurodo energijos beveik nevartojantį pastatą, G klasė nurodo energiškai neefektyvų pastatą			Nustatyta pastato (jo dalies) energinio naudingumo klasė:          
<b>Skaičiuojamosios metinės rodiklių vertės vienam kvadratiniam metrui pastato (jo dalies) šildomo ploto:</b>			
Neatsinaujinančios pirminės energijos sąnaudos (kWh/(m <sup>2</sup> ·metai)):			
Atsinaujinančios pirminės energijos sąnaudos (kWh/(m <sup>2</sup> ·metai)):			
Metinių atsinaujinančios pirminės energijos sąnaudų santykio su metinėmis neatsinaujinančios pirminės energijos sąnaudomis vertė (vnt.):			
Šiluminės energijos sąnaudos pastatui šildyti (kWh/(m <sup>2</sup> ·metai)):			
Šiluminės energijos sąnaudos pastatui vėsinti (kWh/(m <sup>2</sup> ·metai)):			
Šiluminės energijos sąnaudos karštam buitiniam vandeniui ruošti (kWh/(m <sup>2</sup> ·metai)):			
Suminės elektros energijos sąnaudos (kWh/(m <sup>2</sup> ·metai)):			
Elektros energijos sąnaudos patalpų apšvietimui (kWh/(m <sup>2</sup> ·metai)):			
<b>Pastato į aplinką išmetamas CO<sub>2</sub> kiekis (kgCO<sub>2</sub>/(m<sup>2</sup>·metai)):</b>			
<b>Sertifikavimo eksperto pastabos:</b>			
Sertifikato išdavimo data :		Sertifikato galiojimo terminas:	
Sertifikatą išdavė ekspertas	_____ parašas	_____ vardas, pavardė	_____ pažymėjimo numeris

PASTATO ENERGINIO NAUDINGUMO SERTIFIKATAS	
Nr. _____	
Pastato (jo dalies) unikalus pastato numeris:	Adresas:
Pastato (jo dalies) paskirtis:	
Pastato (jo dalies) šildomas plotas (m <sup>2</sup> ):	
Viso pastato šildomas plotas (m <sup>2</sup> ):	
Pastato (jo dalies) energinio naudingumo klasė:	
<b>METINĖS RODIKLIŲ VERTĖS VIENAM KVADRATINIAMMETRUI PASTATO (JO DALIES) ŠILDOMO PLOTO:</b>	
<b>Pastato (jo dalies) pirminės energijos sąnaudos:</b>	
Norminės neatsinaujinančios pirminės energijos sąnaudos (kWh/(m <sup>2</sup> ·metai)):	
Atskaitinės neatsinaujinančios pirminės energijos sąnaudos (kWh/(m <sup>2</sup> ·metai)):	
Skaičiuojamosios neatsinaujinančios pirminės energijos sąnaudos (kWh/(m <sup>2</sup> ·metai)):	
Skaičiuojamosios atsinaujinančios pirminės energijos sąnaudos (kWh/(m <sup>2</sup> ·metai)):	
Skaičiuojamųjų metinių atsinaujinančios pirminės energijos sąnaudų santykio su metinėmis neatsinaujinančios pirminės energijos sąnaudomis vertė (vnt.):	

<b>Energijos sąnaudos pastatui (jo daliai) šildyti:</b>	Norminės	Atskaitinės	Skaičiuojamosios
Neatsinaujinančios pirminės energijos (kWh/(m <sup>2</sup> ·metai)):			
Atsinaujinančios pirminės energijos (kWh/(m <sup>2</sup> ·metai)):	-	-	
Šiluminės energijos (kWh/(m <sup>2</sup> ·metai)):			
<b>Energijos sąnaudos pastatui (jo daliai) vėsinti:</b>	Norminės	Atskaitinės	Skaičiuojamosios
Neatsinaujinančios pirminės energijos (kWh/(m <sup>2</sup> ·metai)):	0	0	
Atsinaujinančios pirminės energijos (kWh/(m <sup>2</sup> ·metai)):	-	-	
Šiluminės energijos (kWh/(m <sup>2</sup> ·metai)):	0	0	
<b>Energijos sąnaudos karštam buitiniam vandeniui ruošti:</b>	Norminės	Atskaitinės	Skaičiuojamosios
Neatsinaujinančios pirminės energijos (kWh/(m <sup>2</sup> ·metai)):			
Atsinaujinančios pirminės energijos (kWh/(m <sup>2</sup> ·metai)):	-	-	
Šiluminės energijos (kWh/(m <sup>2</sup> ·metai)):			
<b>Elektros energijos sąnaudos pastate (jo dalyje):</b>	Norminės	Atskaitinės	Skaičiuojamosios
Neatsinaujinančios pirminės energijos suminės sąnaudos (kWh/(m <sup>2</sup> ·metai)):			
Atsinaujinančios pirminės energijos suminės sąnaudos (kWh/(m <sup>2</sup> ·metai)):	-	-	
Elektros energijos suminės sąnaudos (kWh/(m <sup>2</sup> ·metai)):			
Elektros energijos sąnaudos patalpų apšvietimui (kWh/(m <sup>2</sup> ·metai)):			

<b>Pastatui (jo daliai) šildyti naudojami šilumos šaltiniai ir šildomi plotai, kuriuose jie naudojami:</b>	
Šilumos šaltiniai:	Šildomi plotai (m <sup>2</sup> ):
<b>Pastatui (jo daliai) vėsinti naudojamų orą šaldančių įrenginių tipai ir šildomi plotai, kuriuose jie naudojami:</b>	
Orą šaldančių įrenginių tipas:	Šildomi plotai (m <sup>2</sup> ):
<b>Pastatui (jo daliai) vėdinti naudojamų vėdinimo sistemų tipai ir šildomi plotai, kuriuose jos naudojamos:</b>	
Vėdinimo sistemos tipas:	Šildomi plotai (m <sup>2</sup> ):
<b>Pastate (jo dalyse) karštam buitiniam vandeniui ruošti naudojamos įrangos tipai ir šildomi plotai, kuriuose jie naudojami:</b>	
Karšto buitinio vandens ruošimo sistemos įrangos tipas:	Šildomi plotai (m <sup>2</sup> ):
<b>Pastato (jo dalies) į aplinką išmetamas CO<sub>2</sub> kiekis (kgCO<sub>2</sub>/(m<sup>2</sup>·metai)):</b>	
<b>Pastato (jo dalies) sandarumo matavimų duomenys (kartai per valandą):</b>	
<b>Nuorodos išsamesnei informacijai gauti apie pastato (jo dalies) ekonomiškai efektyvų energinio naudingumo gerinimą:</b>	<a href="http://www.betalt.lt">www.betalt.lt</a> ; <a href="http://www.atnaujinkbusta.lt">www.atnaujinkbusta.lt</a> ; <a href="http://www.ena.lt">www.ena.lt</a>
Sertifikato išdavimo data :	Sertifikato galiojimo terminas:
Sertifikatą išdavė ekspertas	parašas
	vardas, pavardė
	pažymėjimo numeris